

ODPORNOST URBANEGA OKOLJA PROTI VROČINI

FAZA



Odpornost urbanega okolja proti vročini



UNIVERZA
V LJUBLJANI

FA

Fakulteta
za arhitekturo

Odpornost urbanega okolja proti vročini

Urednici

Martina Zbašnik-Senegačnik in **Alenka Fikfak**

Recenzenta

Peter Šenk in **Aleksander S. Ostan**

Lektorica

Tina Kralj

Oblikovanje

Gašper Mrak

Prelom

CTP d.o.o.

Založila:

© **Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo**

Za izdajatelja:

Mihael Dešman, dekan Fakultete za arhitekturo Univerze v Ljubljani

Kraj in leto izida

Ljubljana, 2026

Publikacija je brezplačna. Spletni dostop: <https://www.fa.uni-lj.si/odpornost-urbanega-okolja-proti-vrocini>

Monografija je del Raziskovalnega projekta Ciljnega raziskovalnega programa »CRP 2024« »Vpliv pregrevanja prostora na spremi-
njanje morfologije grajenega prostora slovenskih naselij ter zdravje uporabnikov«, ki sta ga sofinancirala Javna agencija za znan-
stvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) in Ministrstvo za naravne vire in prostor (MNVP).



Javna agencija za znanstvenoraziskovalno
in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA NARAVNE VIRE IN PROSTOR

Za vsebino posameznih prispevkov so odgovorni njihovi avtorji.

Brez soglasja založnika je prepovedano vsakršno razmnoževanje ali prepis v katerikoli obliki.

Cobiss ID
280666371

Zapis CIP

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili
v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani
COBISS.SI-ID 280666371
ISBN 978-961-7032-75-8 (PDF)

Kazalo

Predgovor	8
Martina Zbašnik-Senegačnik, Alenka Fikfak	
Podnebni izzivi urbanega okolja	
Prostorski, okoljski in družbeni vidiki urbanega pregrevanja	12
Alenka Fikfak	
Smernice za blaženje urbanih toplotnih otokov	24
Martina Zbašnik-Senegačnik	
Izzivi mest pri blaženju in prilagajanju podnebnih sprememb	35
Lučka Kajfež Bogataj	
Zdravstveni vidiki urbanega okolja	
Mikroklima kot dejavnik tveganja za zdravje ljudi	42
Rok Fink	
Toplotna psihologija mesta in vpliv vročine na počutje	56
Matija Svetina	
Vpliv urbanega toplotnega otoka na toplotno ugodje	63
Samo Drobne	
Vloga pristopa Eno zdravje pri povezavi okolja in zdravja	73
Damjana Drobne, Sara Novak	
Merjenje temperature in relativne vlage ter kakovost bivanja	80
Gregor Geršak, Valentina Stanić, Andraž Janežič, Janko Drnovšek	
Globalno segrevanje in zdravje človeka	89
Marko Vudrag	

Okoljski vidiki urbanega okolja

Vloga zelenih površin pri blaženju pregrevanja in vplivu na zdravje	98
Barbara Goličnik Marušič, Živa Ravnikar	
Načrtovanje zelene infrastrukture za varovanje narave	108
Jože Bavcon, Blanka Ravnjak	
Potencial vertikalne ozelenitve pri blaženju toplotnih obremenitev	117
Jana Kozamernik	
Večkriterijsko vrednotenje modro-zelene infrastrukture	125
Matej Radinja, Nataša Atanasova	

Praktični vidiki prilagajanja urbanega okolja

Učinkoviti prostorski odzivi pri pregrevanju urbanega prostora	138
Aleš Švigelj, Marko Lazič	
Odziv lokalnih skupnosti na pregrevanje urbanega prostora v Singapurju	150
Blaž Križnik, Yoonhee Jung	
Temperatura tal kot pokazatelj vpliva urbanizacije	157
Marina Lovrič, Katarina Kuk, Alen Mangafič	
Kulturna dediščina in podnebne spremembe	176
Aleksandra Ažman, Barbara Mušič	
Obvladovanje pregrevanja kot podnebnega tveganja	183
Barbara Mušič	
Materiali kot sooblikovalci urbane mikroklimе	190
Janez Peter Grom, Tadej Glažar	
Grajeno okolje in pregrevanje	198
Jernej Červek	
Recenzija	208
Peter Šenk	
Recenzija	210
Aleksander S. Ostan	
Seznam avtorjev	213
Stvarno kazalo	217

Predgovor

Predgovor

Martina Zbašnik-Senegačnik, Alenka Fikfak

Poleti mesto diha drugače. Zrak se zdi težji, ulice počasnejše, ritmi vsakdana nekoliko upočasnjeni. Tisto, kar je nekoč prineslo živahnost, na primer tlakovani trg, široka cesta, odprta fasada, lahko v času vročinskih valov nenadoma postane prostor, ki se mu izogibamo. Senca postane vrednota, veter privilegij, drevo zavetje. V takšnih trenutkih postane jasno, da vročina ni več zgolj vremenski pojav, temveč prostorska izkušnja.

V zadnjih desetletjih se ta izkušnja izrazito spreminja. Poletja so daljša, vročinski valovi pogostejši in intenzivnejši, noči vse manj prinašajo olajšanje. Podnebne spremembe, ki smo jih še nedavno razumeli predvsem kot globalno okoljsko težavo, danes vse bolj postajajo del vsakdanjega urbanega življenja. Občutimo jih v pregretem javnem prostoru, v stanovanjih brez nočnega ohlajanja, v obremenjeni infrastrukturi ter vse pogosteje tudi v vplivu na zdravje in kakovost bivanja.

Mesta se pri tem znajdejo v posebnem paradoksu. So med največjimi povzročitelji podnebnih sprememb, hkrati pa prostori, kjer njihove posledice najizraziteje občutimo. Prav urbana območja ustvarjajo razmere, v katerih se vročina kopiči, zadržuje in stopnjuje. Način, kako gradimo, kako uporabljamo prostor, kako ravnamo z zelenimi površinami, vodo, materiali in prometom, neposredno vpliva na oblikovanje mikroklimе. Mesto tako ni zgolj kulisa podnebnih procesov, temveč njihov aktivni soustvarjalec.

Monografija Odpornost urbanega okolja proti vročini je nastala prav iz potrebe po celostnem razumevanju teh procesov. Njeno izhodišče je, da pregrevanja urbanega prostora ni mogoče obravnavati zgolj kot tehnične ali podnebne težave, temveč kot kompleksen pojav, ki nastaja na presečišču prostora, družbe, okolja in zdravja. Vprašanje vročine v mestu zato ni več le vprašanje temperature, temveč je vprašanje načina življenja, kakovosti bivanja in prihodnjega razvoja urbanih okolij.

Monografija se navezuje na raziskovalni okvir, ki preučuje povezave med morfologijo grajenega okolja, mikroklimatskimi razmerami in zdravjem ljudi, pri čemer v ospredje postavlja razumevanje mesta kot dinamičnega sistema medsebojno povezanih procesov. V tem okviru postane jasno, da prostorske strukture niso nevtralne – vsaka odločitev o pozidavi, odprtem prostoru, materialih ali vegetaciji vpliva tudi na podnebne razmere ter človekovo izkušnjo prostora.

Prispevki, zbrani kot poglavja v monografiji, problematiko urbanega pregrevanja obravnavajo z različnih strokovnih in raziskovalnih vidikov, vendar jih povezuje skupno izhodišče: razumevanje, da je odpornost mest mogoče graditi le z interdisciplinarnim povezovanjem znanja.

Monografija pri tem odpira več medsebojno povezanih tematskih ravni.

Prva obravnava prostor kot podnebni dejavnik. Urbano pregrevanje je predstavljeno kot pojav, ki je tesno povezan z morfologijo mesta, gostoto pozidave, organizacijo odprtega prostora, materiali ter razmerji med grajenimi in naravnimi površinami. V ospredje stopa urbani toplotni otok kot eden ključnih pojavov sodobnega urbanega okolja, ki razkriva, da mesto ni enotna podnebna celota, temveč mozaik različnih mikrookolij z izrazito različnimi toplotnimi obremenitvami. Pregrevanje tako ni naključno porazdeljeno, ampak neposredno povezano s prostorskimi značilnostmi urbanega tkiva.

Druga raven monografije se osredotoča na človeka in njegovo izkušnjo prostora. Vročina ni zgolj fizikalna kategorija, ampak neposredno vpliva na zdravje, počutje, vedenje in vsakodnevno uporabo prostora. Posebno pozornost monografija namenja vprašanju ranljivosti, saj posledice pregrevanja ne prizadenejo vseh prebivalcev enako. Otroci, starejši, kronični bolniki in socialno ranljive skupine so pogosto najbolj izpostavljeni toplotnemu stresu, kar odpira pomembna vprašanja mikroklimatske in prostorske pravičnosti.

Tretja tematska raven obravnava možnosti prilagajanja urbanemu pregrevanju in blaženja njegovih učinkov. V ospredju so modro-zelena infrastruktura, vegetacija, vodni sistemi, materiali ter urbanistični in arhitekturni pristopi, ki lahko pomembno prispevajo k izboljšanju mikroklimatskih razmer. Drevesa, senca, voda, prepustne površine in prezračevanje niso razumljeni le kot tehnični ukrepi ali estetski dodatki, temveč kot ključni elementi prihodnje odpornosti mest. Monografija pri tem poudarja, da učinkovitih rešitev ni mogoče iskati skozi posamezne izolirane ukrepe, temveč predvsem z njihovim medsebojnim povezovanjem in celostnim načrtovanjem prostora.

Četrta raven problematiko umešča v širši družbeni in razvojni kontekst. Podnebne spremembe niso več vprašanje oddaljene prihodnosti, temveč vprašanje sedanjosti, ki zahteva nove modele upravljanja, sodelovanja in načrtovanja. V ospredje stopajo vprašanja trajnostnega razvoja, krožnega gospodarstva, participacije, upravljanja prostora in dolgoročne odpornosti urbanih skupnosti. Monografija tako opozarja, da prilagajanje na vročino ni zgolj tehnična naloga stroke, temveč širši družbeni proces, ki vključuje institucije, lokalne skupnosti in uporabnike prostora.

Monografija je rezultat interdisciplinarnega sodelovanja priznanih strokovnjakov z različnih znanstvenih in raziskovalnih področij, ki s svojimi prispevki osvetljujejo problematiko podnebnih sprememb, urbanega pregrevanja ter vplivov na kakovost bivanja v mestih. Avtorji skozi tematska poglavja predstavljajo najnovejše znanstvene ugotovitve, raziskovalne metode in strokovne usmeritve, ki omogočajo celostno razumevanje kompleksnih odnosov med podnebjem, grajenim okoljem, zdravjem, družbo ter prostorom.

Posebna vrednost dela je prav v povezovanju različnih disciplin – od klimatologije, meteorologije, zdravstva, urbanizma in arhitekture, psihologije, krajinske arhitekture, vodarstva in metodologije do področij spomeniškega varstva ter reciklažnega urbanizma. S tem monografija presega ozke disciplinarne okvire in odpira prostor za strokovni dialog, integracijo znanj ter oblikovanje učinkovitih rešitev za prilagajanje mest podnebnim spremembam. Iz prispevkov tako raznolikih avtorjev izhaja pomembno skupno spoznanje: mesta niso dokonč(a)ni sistemi, temveč organizmi, ki se nenehno spreminjajo. Prav v tej sposobnosti prilagajanja pa je tudi njihova največja možnost. Če je urbanizacija pomembno prispevala k nastanku današnjih podnebnih obremenitev, lahko premišljeno načrtovanje prostora pomembno prispeva tudi k njihovemu blaženju.

Morda je prav zato osrednje sporočilo te monografije preprosto, a bistveno: vprašanje vročine v mestu ni več vprašanje prihodnosti, temveč vprašanje sedanjosti. In način, kako bomo na ta izziv odgovorili danes, bo odločal o kakovosti bivanja v mestih prihodnosti.

**Podnebni
izzivi
urbanega
okolja**

Prostorski, okoljski in družbeni vidiki urbanega pregrevanja

Alenka Fikfak

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo

Izvleček

Poglavje obravnava pregrevanje urbanega prostora kot kompleksen prostorski, okoljski in družbeni pojav, ki se v kontekstu podnebnih sprememb v mestih izraža izraziteje kot v njihovem zaledju. Osrednji teoretski okvir predstavlja koncept urbanega toplotnega otoka (UTO), ki je razumljen kot posledica prepleta globalnih podnebnih vplivov in lokalnih morfoloških značilnosti urbanega tkiva. Poseben poudarek je na povezavi med urbano morfologijo, mikroklimatskimi razmerami ter kakovostjo bivanja in zdravjem prebivalcev. Poglavje sistematično obravnava ključne morfološke kazalnike, kot so gostota pozidave, višinska struktura, ulična mreža, raba površin ter zeleni in modri sistemi, ter pojasnjuje njihov vpliv na toplotno obremenitev mestnega prostora. Metodologija je ponazorjena na primeru zgodovinskega mestnega jedra Kranja, kjer analiza pokaže izrazito prostorsko raznolikost mikroklimatskih razmer in pomembno vlogo naravnega okolja pri blaženju pregrevanja. V sklepnem delu prispevek utemeljuje pomen celostnega, interdisciplinarnega načrtovanja podnebno odpornih mest in opozarja na vprašanje mikroklimatske pravičnosti kot ključnega vidika prihodnjega urbanega razvoja.

Ključne besede:

urbano pregrevanje, urbani toplotni otok (UTO), urbana morfologija in kazalniki, mikroklima mesta, urbana odpornost in mikroklimatska pravičnost

Abstract

This chapter addresses urban overheating as a complex spatial, environmental, and social phenomenon that is intensified in cities under current climate change conditions. The central theoretical framework is the concept of the Urban Heat Island (UHI), understood as the result of interactions between global climatic drivers and locally specific urban morphological characteristics. Particular emphasis is placed on the relationship between urban form, microclimatic conditions, and the quality of living and public health. The chapter systematically examines key morphological indicators, including building density, height structure, street network configuration, land cover, and green and blue infrastructure, and explains their role in shaping local thermal environments. The methodological approach is illustrated through a case study of the historical city centre of Kranj, where the analysis reveals pronounced spatial differentiation of microclimatic conditions and highlights the importance of natural features in mitigating urban overheating. In conclusion, the paper argues for a holistic, interdisciplinary approach to urban planning aimed at enhancing climate resilience and emphasizes microclimatic justice as a critical dimension of future urban development.

Keywords:

urban overheating, urban heat island (UHI), urban morphology and indicators, urban microclimate, urban resilience and microclimatic justice

1 Uvod

Naraščanje povprečnih temperatur zraka in vse pogostejši vročinski valovi so med najizrazitejšimi lokalnimi učinki podnebnih sprememb, pri čemer so urbana območja zaradi svojih strukturnih in funkcionalnih značilnosti še posebej izpostavljena. Številni negativni vplivi podnebnih sprememb – med njimi zviševanje temperature zraka, spreminjanje padavinskih vzorcev ter večja pogostost in intenzivnost ekstremnih vremenskih pojavov – se v mestih izražajo izraziteje kot v njihovem širšem zaledju (Kosanović idr., 2015; McCarthy idr., 2010). Procesi urbanizacije, za katere so značilni visoka stopnja pozidanosti, postopno zmanjševanje zelenih in odprtih površin ter koncentracija človekovih dejavnosti, delujejo kot ojačevalci teh vplivov, kar vodi v povečano toplotno obremenitev urbanega prostora (Arnds idr., 2015; Emmanuel in Loconsole, 2015).

Osrednji pojav, s katerim se v tem kontekstu spoprijemajo sodobna mesta, je urbani toplotni otok – UTO (angl. *Urban Heat Island* – UHI), ki označuje temperaturno razliko med urbanimi območji in njihovim neposrednim ruralnim zaledjem. Povišane temperature v mestnem prostoru so posledica kompleksnega prepleta dejavnikov, med katerimi izstopajo akumulacija toplote v grajenih materialih, omejena evapotranspiracija zaradi pomanjkanja vegetacije, spremenjene vetrovne razmere ter stalni prispevek antropogene toplote (Oke, 1987; Arnfield, 2003; Cocci Grifoni idr., 2016). Empirične raziskave kažejo, da so učinki UTO izrazito prostorsko diferencirani in tesno povezani z značilnostmi urbanega tkiva, kot so gostota in tip pozidave, razporeditev stavb, razmerje med grajenimi in zelenimi površinami ter možnosti naravnega prezračevanja (Wilby, 2008; Fikfak idr., 2017).

Pregrevanje urbanega prostora tako ni zgolj podnebni pojav, temveč kompleksna prostorska in družbena težava, ki nastaja na presečišču globalnih podnebnih sprememb, lokalnih urbanističnih odločitev, morfoloških značilnosti mest in sprememb v družbenem okolju. Njegove posledice se neposredno odražajo v zmanjšanem toplotnem ugodju ter povečani izpostavljenosti prebivalcev toplotnemu stresu, zlasti v obdobjih intenzivnih vročinskih valov (Cocci Grifoni idr., 2016; Guerreiro idr., 2018). Poleg neposrednih zdravstvenih vplivov, kot sta povečana obolenost in smrtnost, ima pregrevanje tudi pomembne družbene in gospodarske posledice, ki se kažejo v večji rabi energije za hlajenje, povečani obremenitvi urbanih infrastrukturnih sistemov ter poglobljanju družbene neenakosti med različnimi skupinami prebivalstva.

Namen poglavja je osvetliti pomen pregrevanja urbanega prostora z vidika urbane morfologije ter vzpostaviti konceptualni okvir za razumevanje povezav med prostorsko strukturo mest in pojavom UTO. Cilji prispevka so: (1) opredeliti urbani toplotni otok kot prostorsko pogojeni pojav v kontekstu sodobnih podnebnih sprememb, (2) pregledati in sistematizirati spoznanja iz obstoječe literature o vlogi ključnih morfoloških parametrov pri oblikovanju lokalnih mikroklimatskih razmer v urbanem prostoru ter (3) osvetliti pomen razumevanja pregrevanja urbanega prostora kot izhodišča za nadaljnje raziskave vplivov na bivalne razmere in izpostavljenost prebivalcev toplotnemu stresu.

2 Pregrevanje prostora in kakovost bivanja

2.1 Toplotno ugodje: objektivna in subjektivna razsežnost

Toplotno ugodje je stanje, ko posameznik svoje termično okolje zaznava kot prijetno oziroma sprejemljivo. Gre za kategorijo, ki ima objektivno fizikalno osnovo (temperatura zraka, vlažnost, hitrost vetra, toplotno sevanje), hkrati pa je močno odvisna od subjektivnih dejavnikov (kultura, navade, starost, spol, oblačila in aktivnosti posameznika). Enake mikroklimatske razmere lahko različni ljudje doživljajo različno.

V kontekstu urbanega pregrevanja je pomembno prepoznati razkorak med izmerjenimi fizikalnimi kazalniki (npr. temperatura zraka v senci) in dejansko zaznano vročino. Ljudje pogosto bolj občutijo vpliv sevalne toplote (sončnega obsevanja) in pomanjkanja vetra kot vpliv same absolutne temperature zraka. Zato tehnični podatki (npr. 35 °C izmerjene temperature) ne povedo vsega o tem, ali je prostor še udoben za uporabo. Pri preučevanju toplotnega ugodja moramo vključiti človeško izkušnjo prostora (kako se ljudje prilagajajo zadrževanju v senci, počivanju, hidraciji ipd.) in ne le surovih fizikalnih meritev. Le s takšnim celostnim delovanjem lahko razumemo, zakaj neki mestni ambient pri enaki temperaturi deluje znosno, drug pa nevzdržno vroč.

2.2 Mikroklima odprtega prostora

Mikroklimatske razmere na prostem so rezultat prepleta temperatur zraka, sevalne toplote, vlažnosti in gibanja zraka. Pri blaženju toplotnih obremenitev v mestih imajo ključno vlogo senčenje, vegetacija in možnost zračenja. Drevesa, pergole in nadstreški ščitijo pred neposrednim soncem, zelene površine z evapotranspiracijo ohlajajo zrak, veter pa odvaja odvečno toploto. Kjer teh elementov primanjkuje, se mestni prostor hitreje in močneje pregreva – še posebej sončna sevalna obremenitev tal (asfalta, betona) in fasad dviguje občutek vročine.

Pogosto izmerjena temperatura zraka ne odraža v celoti toplega občutka, ki ga doživljamo. Na odprtem soncu, brez vetra, je lahko subjektivni občutek vročine veliko hujši, kot kaže termometer. V takih razmerah se ljudje praviloma umikajo v senco ali klimatizirane prostore, javne površine pa izgubijo svojo uporabnost. Pregreti urbani odprti prostori neposredno vplivajo na kakovost bivanja: zmanjšujejo možnost zunanjih aktivnosti, rekreacije, druženja in celo mobilnosti (peš ali s kolesom) v toplejšem delu leta. Načrtovanje mest mora zato upoštevati mikroklimo z zagotavljanjem senc, vodnih elementov, ozelenitve in prevetritve, da bi bili odprti prostori uporabni in prijetni tudi v poletni vročini.

2.3 Socialna in prostorska pravičnost v zvezi z vročino

Posledice pregrevanja prostora niso porazdeljene enakomerno med vse prebivalce. Ranljive skupine (starejši, majhni otroci, kronični bolniki) so občutljivejše na toplotni stres in bolj trpijo ob vročinskih valovih (Srivanit in Kazunori, 2011; O'Malley idr., 2014; Venter idr., 2022). Statistično je med vročinskimi valovi umrljivost največja prav pri starejših zaradi oslabele termoregulacije in pogostih kroničnih bolezni (Varga in CEEweb, 2022; Laville, 2022). Otroci in tudi zdravi odrasli lahko v vročini trpijo za dehidracijo in poslabšano kognitivno zbranostjo (Varga in CEEweb, 2022).

Pomemben dejavnik sta tudi socialnoekonomski položaj prebivalcev in prostorska razporeditev vročinskih tveganj po mestu. Revnejše skupnosti in marginalizirane etnične skupine so pogosto koncentrirane v gosto pozidanih četrtih z manj zelenja, bližje prometnicam in industriji. Ti predeli mesta imajo zaradi pomanjkanja parkov in dreves višje temperature, prebivalci pa imajo hkrati manj sredstev za ublažitev vročine (npr. klimatske naprave, možnost umika na podeželje). Pregrevanje mesta tako pogloblja družbeno neenakost – ljudje z nižjimi dohodki in slabšim dostopom do zelenih površin doživljajo nesorazmerno velik delež toplotnega bremena (Menga, 2022). Tudi znotraj posameznega mesta se lahko nekatere soseske bolj pregrevajo kot druge zaradi neenakomerne razporeditve parkov, drevoredov ali vodnih površin (Menga, 2022). Vročinski otoki znotraj mesta pogosto sovpadajo z območji, kjer živijo socialno ranljivejši prebivalci, kar odpira vprašanje prostorske pravičnosti: ali mesto vsem svojim prebivalcem zagotavlja enako zdravo bivalno okolje?

2.4 Vpliv pregrevanja na zdravje ljudi

Dolgotrajna izpostavljenost visokim temperaturam povzroča toplotni stres, ki resno ogroža zdravje. Človeško telo se v vročini intenzivno hladi z znojenjem, kar ob dehidraciji obremenjuje srčno-žilni sistem in lahko vodi v nevarna stanja, kot sta toplotna izčrpanost in toplotni udar. Epidemiološke študije potrjujejo porast obolevnosti in umrljivosti med vročinskimi valovi: povečajo se primeri srčno-žilnih zapletov, poslabšanja pljučnih bolezni, sladkorne bolezni, odpovedi ledvic, pogostejše so tudi poškodbe in poslabšanje duševnega zdravja zaradi vročine (Fastl idr., 2024). V evropskem prostoru so bile posledice vročine še posebej izrazite poleti 2022, ko je bilo po ocenah 61.672 smrti med 30. majem in 4. septembrom 2022 pripisanih vročini, kar zgovorno priča o smrtonosnosti ekstremnih temperatur v urbanem okolju (Ballester idr., 2023).

V gosto pozidanih mestnih območjih se zdravstvena tveganja še stopnjujejo. Kombinacija visokih temperatur, učinka UTO in neustreznih bivanjskih razmer (npr. slabo izolirana ali neklimatizirana stanovanja v starejših stavbah) lahko privede do nezdrave notranje klime. Starejši stavbni fond pogosto nima izolacije ali možnosti nočnega hlajenja, zato se prostori ponoči dodatno pregrevajo (oddajanje toplote), kar onemogoča regeneracijo telesa med spanjem. Še posebej ranljivi so starejši prebivalci, ki živijo sami v stanovanjih v višjih nadstropjih brez dvigala in brez klimatskih naprav – ti so med vročinskimi valovi slabše mobilni in pogosto izolirani, pomč pa do njih težje pride. Vse to vodi v povečano tveganje smrtnih zapletov ob ekstremnih vročinah.

Iz navedenega sledi, da pregrevanje urbanega prostora ni le okoljska in prostorska težava, temveč pomemben javnozdravstveni izziv. Povezava med grajenim okoljem, mikroklimo sosesk in zdravjem prebivalcev terja interdisciplinarno delovanje: urbanisti, arhitekti in prostorski načrtovalci morajo sodelovati s strokovnjaki s področja javnega zdravja pri oblikovanju mest, da bodo kos vročinskim obremenitvam. Z na človeka osredotočenim načrtovanjem (npr. senčenje ulic, sajenje dreves, ohlajeni javni prostori, prilagoditev stavb) lahko urbani prostori postanejo prijaznejši za uporabo. Na ta način se ne le ublaži toplotni stres, temveč tudi dolgoročno izboljšata zdravstveno počutje in kakovost življenja v mestih.

3 Urbana morfologija in pregrevanje prostora

3.1 Urbana morfologija kot prostorsko pogojeni podnebni dejavnik

Podnebne spremembe se v mestih ne izražajo niti enakomerno niti linearno. Zaradi posebnosti urbanega okolja so učinki globalnega segrevanja v mestih pogosto povečani z lokalnimi značilnostmi urbanega tkiva (Menga, 2023). Urbana morfologija tako deluje kot posrednik med globalnimi podnebnimi trendi in dejanskimi lokalnimi temperaturnimi izkušnjami prebivalcev. Toplotna obremenitev v mestu ni zgolj neposredna posledica višjih temperatur zraka, temveč rezultat kompleksnega prepletanja prostorske strukture, rabe tal in materialnih lastnosti urbanega okolja. Pregrevanje mest se vzpostavlja kot izrazito prostorsko pogojeni pojav, katerega intenzivnost in razporeditev v veliki meri določa morfološka zasnova mesta.

3.2 Urbani toplotni otok kot morfološko pogojeni pojav

Osrednji pojav, s katerim pojasnjujemo lokalno pregrevanje urbanega prostora, je UTO, ki označuje sistematično višje temperature v urbanih območjih v primerjavi z njihovim ruralnim zaledjem. Številne raziskave (Oke, 1987; Arnfield, 2003; Conzen, 2018; Hu idr., 2016; Marat-Mendes, 2016; Matthews idr. 2015; McCarthy idr., 2010; Ramyar idr., 2021; Rode idr., 2014; Santiago idr., 2013) so pokazale, da je UTO predvsem posledica »geometrije« urbanega prostora, dejavnosti in delovanja človeka in družbe, lastnosti površin ter povečanja onesnaženosti ozračja. Urbanizirana območja imajo namreč večjo sposobnost shranjevanja toplote – grajeno okolje s stavbami, cestami in drugo infrastrukturo absorbira ter oddaja sončno toploto precej bolj kot naravna krajina, kar vodi v višje lokalne temperature kot v manj urbanizirani okolici (Varga in CEEweb, 2022). Poleg tega pomanjkanje vegetacije zmanjšuje naravno hlajenje z evapotranspiracijo, k segrevanju pa prispevajo tudi človeške aktivnosti (promet, hlajenje stavb ipd.), ki dodatno oddajajo toploto (Menga, 2023). UTO tako ni zgolj podnebna posebnost, temveč izrazito prostorsko in morfološko pogojeni pojav, ki izhaja iz načina, kako je mesto zgrajeno in organizirano.

3.3 Morfološki kazalniki in mikroklima

Sodobno razumevanje urbane morfologije presega zgolj obliko in razporeditev stavb – vključuje tudi mikroklimatske procese ter vpliv prostorskih značilnosti na lokalno podnebje. V številnih raziskavah (Oliveira, 2016, 2018; Nikšič idr., 2025; Conzen, 2018; Hall, 2008; Hopkins, 2001; Kropf, 1996; Marat-Mendes, 2016) so morfološki kazalniki opredeljeni kot strukturne značilnosti naselja, ki vključujejo razmerje med zidanim in odprtim prostorom, ulično mrežo in profil, parcelacijo, stavbno tkivo in bloke, volumetrične značilnosti stavb ter zeleni sistem in naravne danosti. Ti kazalniki v medsebojni soodvisnosti oblikujejo morfološke vzorce naselij, ti vzorci pa odločilno vplivajo na mikroklimatske razmere, kakovost bivanja in dolgoročno odpornost urbanega prostora.

Raziskave (Ramyar idr., 2021; Rode idr., 2014) dosledno potrjujejo, da konfiguracija urbanega tkiva močno vpliva na lokalno energijsko bilanco prostora. Goste pozidave z masivnimi, temnimi površinami čez dan akumulirajo veliko toplote in jo počasi oddajajo ponoči, kar vzdržuje povišane nočne temperature (Varga in CEEweb, 2022). Neustrezna prevetrenost ozkih ulic in zaprtih območij dodatno omejuje odvajanje akumulirane toplote – zaradi upočasnjenega pretoka zraka se toplota zadržuje dlje časa (Arnfield, 2003; Malcoti, Zia in Kabre, 2023). Posledično so morfološke značilnosti mest eden ključnih vzrokov, da so toplotne obremenitve prostorsko neenakomerno porazdeljene, nastajajo pa izrazita vročinska žarišča v mestu.

Med ključne morfološke kazalnike (preglednica 1), ki vplivajo na pregrevanje urbanega prostora, spadajo:

- gostota pozidave: večja gostota in kompaktnost pomeni več akumulirane toplote in manj možnosti za učinkovito prevetritev, kar vodi v višje temperature (Oke, 1982; Arnfield, 2003). Študije kažejo, da z naraščajočo pozidanostjo povprečna hitrost vetra občutno upade (do 60 % v zelo gostih območjih), s tem pa se zmanjšuje odvajanje toplote (Malcoti ird., 2023). Velika gostota stavb tako praviloma prispeva k močnejšemu učinku UTO, še posebej če primanjkuje zelenih površin;
- višina stavb in ulična geometrija: višina, razporeditev in medsebojna razmerja stavb določajo količino osonečnosti in senčenja ter oblikujejo ulične koridorje. Ozki profili ulic z visokimi stavbami pogosto zmanjšujejo dostop vetra v notranjost mesta in povečujejo sevalno obremenitev površin, kar krepi UTO (Wilby, 2008). Po drugi strani pa lahko premišljena usmeritev ulic in preboji v pozidavi ustvarijo vetrne koridorje, ki izboljšajo naravno hlajenje;
- širina ulic in odprtost prostora: širše ulice, trgi in druge odprte površine lahko služijo kot območja za odvajanje toplote in mešanje zraka. Bolj odprta urbanistična zasnova omogoča več nočnega ohlajanja zaradi lažjega izhoda toplega zraka v višje plasti ozračja. Nasprotno pa ozke, zgrajene ulične mreže z malo odprtinami delujejo kot past za vroči zrak;
- razmerje med grajenimi in zelenimi površinami: delež vegetacije in nepozidanih površin je eden najpomembnejših parametrov za uravnavanje mikroklimе. Zeleni prostori (parki, drevoredi, vrtovi ipd.) z osenčevanjem in evapotranspiracijo ohlajajo površine ter znižujejo temperaturo zraka v okolici (López in Pérez, 2022). Nasprotno pa velike nepropustne površine (ceste, parkirišča, pozidana dvorišča) delujejo kot toplotni akumulatorji, ki čez dan vsrkajo sončno energijo in jo oddajajo v okolico še ponoči. Zlasti obsežne asfaltirane površine in parkirišča znatno prispevajo k pregrevanju prostora, saj nimajo hladilnega učinka vegetacije (Fikfak idr., 2017, 2020);
- prisotnost vodnih elementov: vodne površine (reke, potoki, ribniki, jezera ter odprti vodni kanali) pomembno vplivajo na mikroklimo urbanega prostora zaradi svoje visoke toplotne kapacitete in hladilnega učinka izhlapevanja. V primerjavi z grajenimi in tlakovanimi površinami se voda počasneje segreva in počasneje ohlaja, zato deluje kot regulator temperaturnih ekstremov. Prek evaporacije in konvekcije vodne površine prispevajo k lokalnemu zniževanju temperature zraka, zlasti v neposredni okolici, ter lahko omilijo dnevne temperaturne vrhove in izboljšajo nočno ohlajanje. Učinek vodnih površin je še izrazitejši, kadar so te prostorsko povezane z zelenimi območji in vetrnimi tokovi, saj takšna modro-zelena infrastruktura omogoča prenos hladnejšega zraka v gostejše pozidane dele mesta. Nasprotno pa odsotnost vodnih elementov v kompaktnem urbanem tkivu pomeni izgubo pomembnega pasivnega hladilnega mehanizma, kar prispeva k večji intenzivnosti urbanega toplotnega otoka (Oke, 1987; Fikfak idr., 2020).

Zaradi naštetih vplivov morfoloških kazalnikov lahko dve različni mestni četrti z enakimi vremenskimi razmerami doživljata povsem različno mikroklimo.

3.4 Kompaktnost naselja in prezračevanje: dilema toplotnega ugodja

V trajnostnem urbanizmu se pogosto opozarja na pomen kompaktnih mestnih struktur. Strnjeno mestno tkivo je energijsko učinkovitejše: zahteva manj infrastrukture in omogoča krajše razdalje, hkrati pa gosto postavljene stavbe medsebojno senčijo ulice ter lahko zmanjšajo neposredno izpostavljenost sončnemu sevanju (Curdes, 2010). Vendar pa se pri kompaktnosti pojavi ključno protislovje: gostota onemogoča ustrezno prezračevanje. Curdes (2010) opozarja, da »kompaktnost pripomore k varčevanju z energijo, vendar pomanjkanje prezračevanja ogroža zdravje«. Gosto pozidani, slabo prevetreni prostori v času vročinskih valov omejujejo naravno hlajenje in močno povečujejo fiziološko obremenitev prebivalcev.

Reševanje tega protislovja zahteva premišljeno načrtovanje urbanih oblik, ki združujejo prednosti zgoščevanja z zagotavljanjem prezračevalnih poti. Ustrezna zasnova ulične mreže, odprtih prostorov ter zelenih in modrih površinskih »cezur« lahko omogoči kroženje zraka, nočno ohlajanje ter lokalno znižanje temperatur tudi v kompaktnih mestnih območjih. Prav organizacija pozidave, ki vključi namenske prevetritvene koridorje, je prepoznana kot eden najučinkovitejših ukrepov pasivnega hlajenja mesta (Malcoti ird., 2023).

Preglednica 1: Struktura morfoloških kazalnikov za analizo pregrevanja urbanega prostora

SKUPINA KAZALNIKOV	Morfološki kazalnik	Kazalnik / opis	Vir podatkov / metoda	Pomen za pregrevanje prostora
URBANA MORFOLOGIJA (antropogeno oblikovani dejavniki)	Faktor zazidanosti (FZ)	Delež zazidanih površin	GURS	Akumulacija toplote, zmanjšano hlajenje
	Faktor izrabe zemljišča (FIZ)	Bruto tloris / površina zemljišča	GURS	Intenzivnost rabe, toplotna obremenitev
	Gostota prebivalstva	Prebivalci / ha	GURS, GURS	Posredna ranljivost
	Etažnost stavb	Povprečna / max.	GURS, preveritev na terenu	Senčenje, koridorski učinek
	Razmerje H/W	Višina / širina ulice	GURS	Zadrževanje toplote
	Tip ulične mreže	Mrežna, organska ipd.	GURS, preveritev na terenu	Prevetrenost
	Orientacija ulic	Prevladujoča smer	GURS, preveritev na terenu	Osončenost
	Prehodnost za veter	Odprtost, prekinitve	CFD simulacije	Odvajanje toplote
	Vetni koridorji	Prisotni / odsotni	CFD simulacije	Lokalno hlajenje
	Grajene površine	m ² / %	GURS, Landsat, preveritev na terenu	Glavni toplotni akumulator
	Tlakovane površine	m ² / %	GURS, Landsat, preveritev na terenu	Visoke površinske temperature
	Prevladujoči materiali	Strehe, tlaki	GURS, Landsat, preveritev na terenu	Albedo, akumulacija toplote
SKUPINA KAZALNIKOV	Morfološki parameter	Kazalnik / opis	Vir podatkov / metoda	Pomen za pregrevanje prostora
ZELENI SISTEM (biotski hladilni sistem)	Zelene površine	m ² / % vzorca	GURS, preveritev na terenu	Hlajenje z evapotranspiracijo
	Tip zelenih površin	Park, drevored, vrt	GURS, preveritev na terenu	Različen hladilni učinek
	Položaj zelenih površin	Notranjost / rob	GURS, preveritev na terenu	Razporeditev hlajenja
	Povezanost zelenih površin	Fragmentirane / povezane	GURS, preveritev na terenu	Večja učinkovitost
	Prisotnost dreves	Posamična / linijska	GURS, preveritev na terenu	Senčenje
	Gostota dreves	Redko / gosto	Vizualna ocena	Intenzivnost hlajenja
	Dostopnost zelenih površin	Javna / nejavna	GURS, preveritev na terenu	Bivalno ugodje
	Površinska temperatura vegetacije	°C (indikativno)	GURS, Landsat, preveritev na terenu	Hladilni potencial
SKUPINA KAZALNIKOV	Morfološki parameter	Kazalnik / opis	Vir podatkov / metoda	Pomen za pregrevanje prostora
MODRI SISTEM (abiotski hladilni sistem)	Vodne površine	m ² / % vzorca	GURS, preveritev na terenu	Termična regulacija
	Tip vodnega elementa	Reka, potok, ribnik	GURS, preveritev na terenu	Različen hladilni potencial
	Položaj vodnih površin	Rob / notranjost	GURS, preveritev na terenu	Interakcija z mestom
	Povezanost z zelenim sistemom	Modro-zeleni pasovi	GURS, vizualna ocena, preveritev na terenu	Sinergijski učinki
	Dostopnost obvodnih prostorov	Da / ne	GURS, preveritev na terenu	Bivalno ugodje
	Vloga pri prezračevanju	Smer, odprtost	CFD simulacije	Vetni koridor
	Površinska temperatura vode	°C	GURS, Landsat, preveritev na terenu	Hladilni potencial
SKUPINA KAZALNIKOV	Morfološki parameter	Kazalnik / opis	Vir podatkov / metoda	Pomen za pregrevanje prostora
TOPOGRAFIJA (naravni kontekst)	Nagib terena	% / stopinje	GURS, DMR	Gibanje zraka, zadrževanje toplote
	Reliefna odprtost	Dolina, planota, pobočje	GURS, DMR, preveritev na terenu	Mikroklima
SKUPINA KAZALNIKOV	Odzivni kazalnik	Kazalnik / opis	Vir podatkov / metoda	Pomen za analizo
MIKROKLIMATSKI ODZIV (posledica zgornjih dejavnikov)	Površinska temperatura	°C	GURS, Landsat, preveritev na terenu	Identifikacija vročinskih žarišč
	UHI indeks	Relativna razlika	CFD simulacije, GURS, Landsat, preveritev na terenu	Primerjava z zaledjem

GURS - Geodetska uprava Republike Slovenije; GIS - Geografski informacijski sistem; SURS - Statistični urad Republike Slovenije; CFD – *Computational Fluid Dynamics* (sl. računalniška dinamika tekočin). Prezračevanje urbanega prostora je analizirano s pomočjo CFD simulacij, ki omogočajo numerično modeliranje gibanja zraka v kompleksnem urbanem okolju in ocenitev vpliva morfoloških parametrov na lokalne vetrovne razmere. Primeri orodij za simulacije: ENVI-met, OpenFOAM, ANSYS Fluent, Autodesk CFD ipd.; DMR - Digitalni model reliefa; DOF – Državni ortofoto; LANDSAT – satelitski program Landsat (NASA/USGS).

V literaturi najdemo več poskusov opredelitve ključnih morfoloških kazalnikov za oblikovanje podnebno odpornih naselij. Tako na primer Curdes (2010) navaja: stopnja kompaktnosti urbanega tkiva, razmerje med površino ovoja in volumnom stavb, tipologija in oblika stavb, gostota in višina pozidave, zmožnost prezračevanja skozi ulično mrežo ter delež nepozidanih (zelenih) površin. Ti kazalniki vedno delujejo v soodvisnosti in skupaj odločajo o nastanku UTO, o lokalnih mikroklimatskih razmerah in o tem, kako so toplotnemu stresu izpostavljeni prebivalci v posameznem delu mesta.

3.5 Morfološka kontinuiteta in odpornost mest

Morfološki vzorci mest niso zgolj zgodovinska danost, temveč nosijo v sebi zapis nekdanjih prilagoditev na lokalne podnebne razmere. Zgodovinska mestna jedra so bila zasnovana v času, ko so bile možnosti mehanskega hlajenja omejene, zato so že v izhodišču temeljila na prostorskih strategijah blaženja vročine, kot so strnjena pozidava, senčenje ulic, orientacija glede na sonce in uporaba materialov z ugodnimi termičnimi lastnostmi. Salat in Bourdic (2012) ugotavljata, da so se mesta v zadnjih desetletjih spreminjala hitreje kot kadar koli prej, vendar »ne glede na to, koliko različnih oblik je mesto doživelo v preteklosti, ostaja njegova začetna morfološka zasnova najbolj odporna«. To pomeni, da prvotni urbanistični koncept – običajno bolj organski, človeku merjen in podnebnim razmeram prilagojen – ohranja prilagodljivost tudi ob spoprijemanju z modernimi izzivi.

Prepoznavanje in razumevanje obstoječih morfoloških vzorcev kot orodja prostorskega načrtovanja je ključno za povečanje podnebne odpornosti mest. S spoštovanjem prostorske kontinuitete urbanega tkiva ter z nadgradnjo starih zasnov z novim znanjem (npr. vključevanje zelene in modre infrastrukture) lahko oblikujemo bolj skladna, človeku prijazna in podnebno odporna bivalna okolja. Poglobljeno razumevanje urbane morfologije torej ne služi le kot razlaga za pojav urbanega pregrevanja, temveč je temelj za celostno obravnavo kakovosti bivanja in zdravja prebivalcev v mestih.

4 Primer mestnega jedra Kranja

Na primeru mestnega jedra Kranja (slika 1) je prikazan način branja urbanega prostora z vidika izbranih morfoloških kazalnikov v povezavi s pojavom pregrevanja oziroma UTO. Kranj je srednje veliko mesto z zgodovinskim središčem na pomolu nad sotesko reke Kokre; kompaktna zasnova njegovega srednjeveškega jedra nudi značilni primer gosto pozidanega urbanega tkiva. Analiza je strukturirana na naboru morfoloških kazalnikov (preglednica 1), ki skupaj omogočajo celovit opis prostorske zgradbe in interpretacijo mikroklimatskih odzivov v tako oblikovanem urbanem okolju.

Gostota pozidave je temeljni kazalnik analize. Mestno jedro Kranja (slika 2) je opredeljeno kot kompaktno urbano območje z visoko stopnjo zgoščenosti, nizkimi do srednje visokimi stavbami in minimalnimi odmiki med objekti. Strnjena vrstna pozidava in majhen delež odprtih prostorov pomenita prevlado grajenega tkiva,



DOF POSNETEK VZORCA 01

MERILO 1:5000



FRANČEJSKI KATASTER

MERILO 1:5000

Slika 1: Staro mestno jedro Kranja (Fikfak idr., 2019)

splošni opis	OBCINA	Mestna občina Kranj
	NASELJE	Kranj
	EUP	KR J1
	namenska raba	CU
grajene lastnosti	hierarhija v naselju	centralno
	tipologija stavb	veržična hiša, vrstna hiša
	vrsta agregacije	mrežno
	odnos med objekti	zamikano, poravnano
	prometna shema	zvezna mreža
	prevladujoča orientacija	S-J
	vrsta parcelacije	pravokotna, paralelogramske, nepravilne oblike
	prometni dostop	obedno
izraba	nagib površine	0
	leto nastanka	1500-1900
	površina vzorca	125655.12
	zeleno površine	294.79.15
	tlakovane površine	36073.75
	grajena površina	60102.22
	bivalne površine - skupaj	112204.44
	FZ	48%
	FIZ	1.15
	FZP / FBP	0.23 / 0.89
prebivalstvo	etažnost	1 do 6
	bruto površina stavb	144245.33
	ocena preb.	1907
	gostota	15.2
GA	vodovodno omrežje [m]	2808 m
	kanalizacijsko omrežje [m]	4659 m
	cestno omrežje [m]	2502 m

KAZALO - vir: izdelan na podlagi podatkov GIS



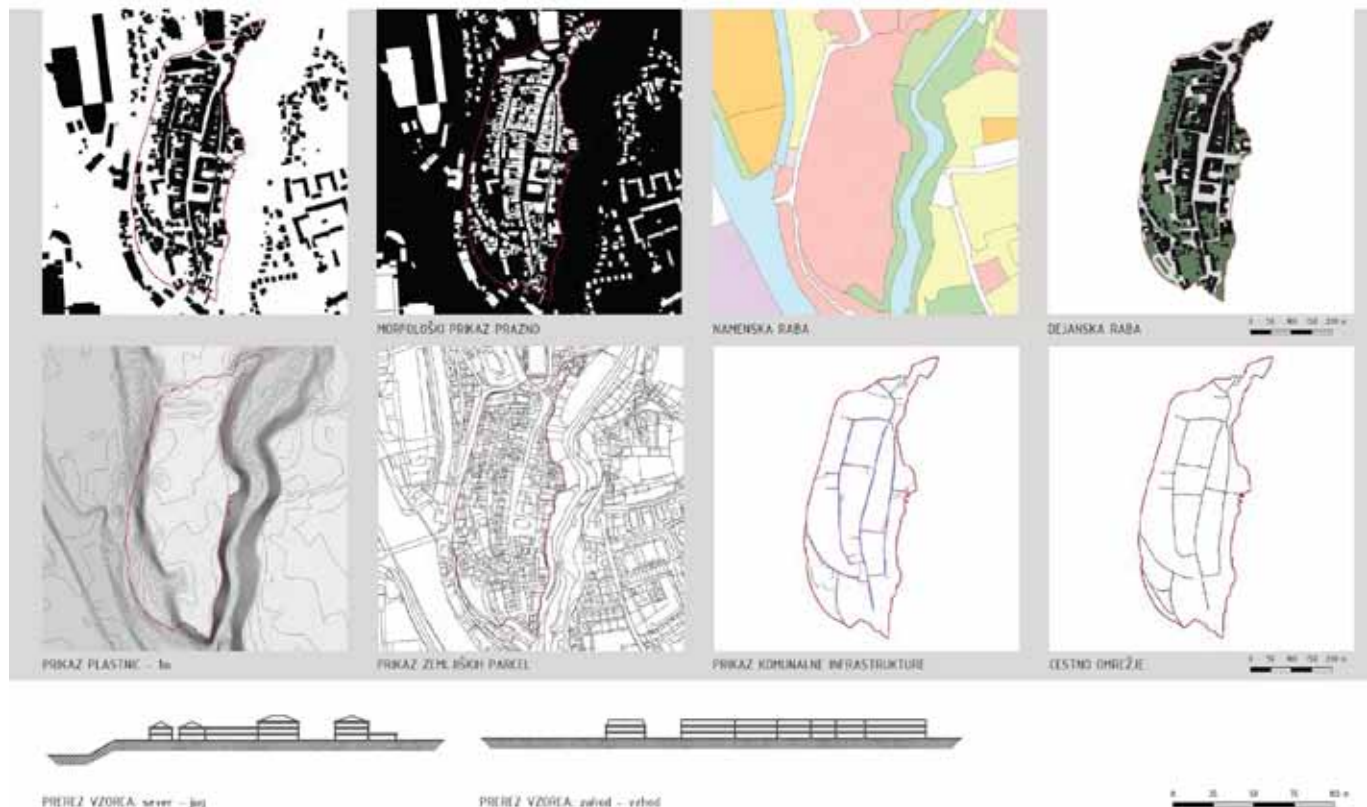
FOTOGRAFIJA VZORCA: staro mestno jedro - slika (vir: Google Imid.) 28.1.2019

V vzorcu 001 je zajeto staro mestno jedro Kranja, nastalo med leti 1500 in 1900 s tipičnimi objekti fistaga časa. Območje EUP ima oznako KR J1 in je omejeno s Savsko ceste na severu, zahodu in jugu ter desnim bregom Kokre na vzhodu. Grajeno tkivo je strnjeno gradnje, prevladujoča orientacija je S-J in s tem tvori glavne mestne ulice. Višine stavb so od 1 do največ 6 etaž, prevladujejo pa 2 in 3 etažni objekti. FZ je zaradi strnjene gradnje 77%, FIZ pa znaša 1.15. Glavno cestno omrežje je speljano po obodu, znotraj pa so ožje ulice, ki so nastale v preteklosti. Znotraj območja je uvedena peš cona. Namenska raba je namenjena pretežno centralnim dejavnostim.

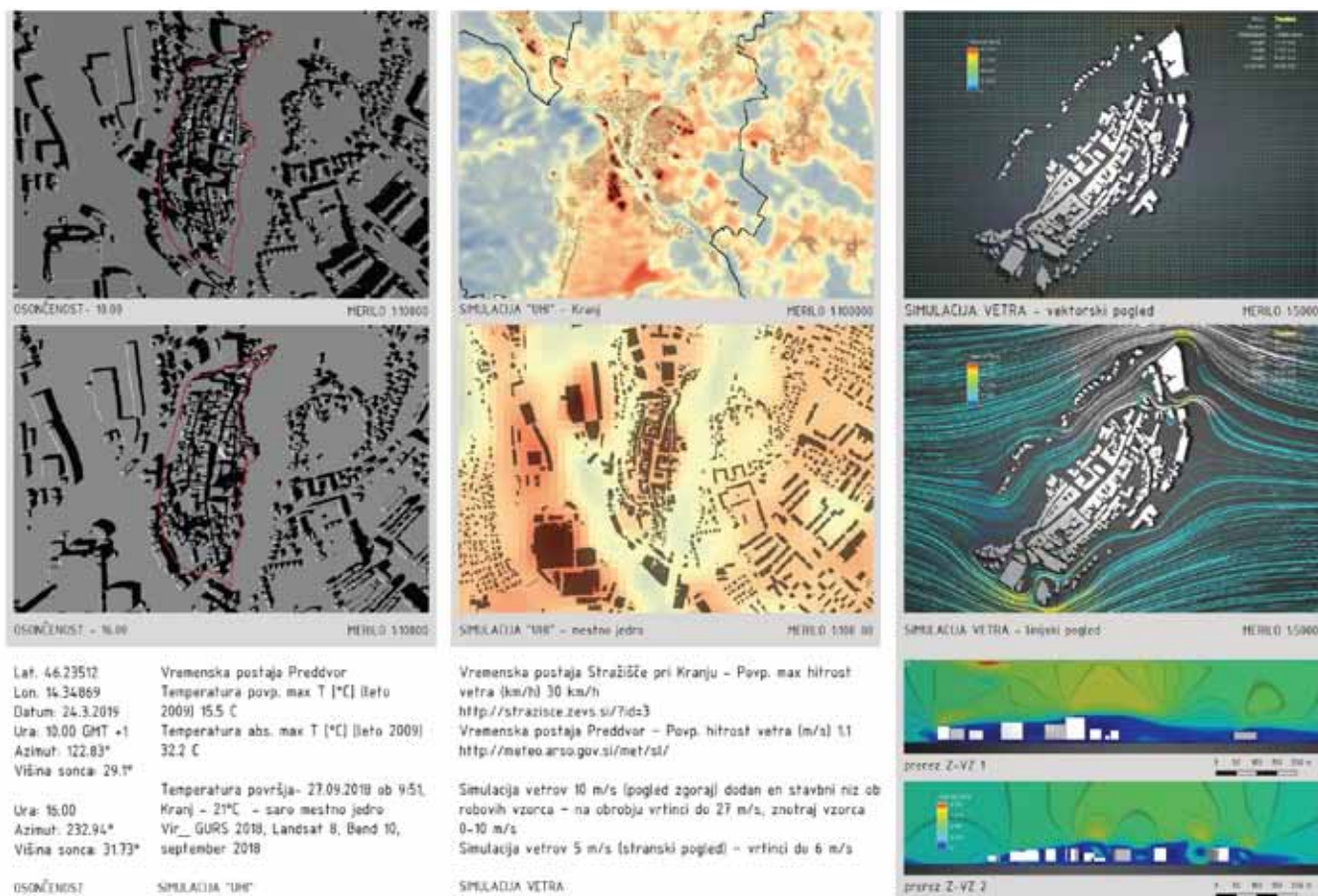
Slika 2: Podatki o lokaciji – staro mestno jedro Kranja (Fikfak idr., 2019)

kar povečuje akumulacijo toplote ter hkrati omejuje hlajenje tal prek vegetacije in izhlapevanja. Zaradi varstva zgodovinske zasnove gostota pozidave v jedru ostaja nespremenljiva (Beganović, 2025), zato ta kazalnik deluje kot stalna prostorska omejitev pri blaženju toplotnih obremenitev in vpliva na vse druge analizirane kazalnike.

Višinska struktura in ulični profili so v mestnem jedru razmeroma homogeni. Prevladujejo objekti z dvema do tremi nadstropji, ulice pa so ozke in prostorsko zaprte, kar ustvarja izrazite ulične koridorje. Ključni kazalnik je razmerje med višino stavb in širino ulice, ki v jedru Kranja (slika 3) vodi v nizek faktor vidnega neba. To vpliva na sevalno bilanco prostora, saj omejuje nočno oddajanje toplote, hkrati pa zmanjšuje možnosti za učinkovito prezračevanje. Enotna višina pozidave ne ustvarja vetrovnega gradienta, kar dodatno omejuje na-



Slika 3: Analize lokacije – staro mestno jedro Kranja (Fikfak idr., 2019)



Slika 4: Morfološki kazalniki in pregrevanje, staro mestno jedro Kranja (Fikfak idr., 2019)

ravno hlajenje. Zaradi spomeniškovarstvenih režimov bolj raznolika višinska struktura, ki bi lahko izboljšala prevetrenost, v jedru ni dopustna (Beganović, 2025).

Ulična mreža in orientacija v mestnem jedru sledita zgodovinskemu razvoju in naravni obliki konglomeratnega pomola. Glavna os poteka približno v smeri sever–jug, stranske ulice pa se nanjo priključujejo pod različnimi koti, kar ustvarja heterogene mikroklimatske razmere. Analiza (slika 3) kaže izrazite razlike med bolj odprtimi, proti soncu orientiranimi prostori in ozkimi, senčnimi ulicami. Gasilski trg, ki leži na odprtem severovzhodnem robu jedra, je zaradi svoje orientacije in oblike izrazito osončen ter bolj izpostavljen pregrevanju, medtem ko so ozke ulice in notranja dvorišča (npr. Tomšičeva ulica in dvorišče Tomšičeva 19) mikroklimatsko bistveno ugodnejša (Beganović, 2025). Orientacija in konfiguracija omrežja se tako kažeta kot pomembna kazalnika prostorske diferenciacije toplotnega ugodja znotraj sicer zelo kompaktnega mestnega vzorca.

Raba in pokrovnost površin v mestnem jedru Kranja (slika 3) kažeta izrazito prevlado grajenih in tlakovano utrjenih površin ter zelo majhen delež zelenih površin. Zeleni sistem je razdrobljen in v veliki meri omejen na robove jedra, zlasti na koridor reke Kokre ter nekaj manjših parkov, medtem ko je v notranjosti prisotno le posamezno drevje in začasne zasaditve. Takšna struktura pomeni omejen hladilni učinek vegetacije ter močno povečuje sevalno in akumulacijsko toploto v tlakovanih tleh. Zgodovinska izguba vrtov znotraj mestnih karejev je dodatno prispevala k današnji mikroklimatski ranljivosti jedra (Beganović, 2022).

Prezračevanje in mikroklimatski odzivi so v mestnem jedru (slika 4) močno omejeni zaradi kombinacije visoke gostote, ozkih uličnih profilov in neenotne orientacije ulic glede na prevladujoče vetrove. Možne prevetritvene poti so redke in večinoma vezane na robne prostore ter odprtost proti koridorju Kokre. Satelitske analize površinskih temperatur potrjujejo izrazit učinek UTO v jedru Kranja, hkrati pa kažejo izrazito hladnejše razmere v neposredni bližini reke, ki deluje kot lokalni modro-zeleni hladilni element. Primer Kranja tako potrjuje, da mikroklimatski odzivi niso enakomerni, temveč močno prostorsko raznoliki in neposredno pogojeni s kombinacijo morfoloških kazalnikov.

5 Sklep

Predhodna metodološka in analitična izhodišča tega poglavja so se v empiričnem pregledu mestnega jedra Kranja pokazala za učinkovita pri razumevanju soodvisnosti med prostorsko zasnovo in mikroklimatskimi razmerami. Rezultati študije (Fikfak idr., 2019) starega mestnega jedra Kranja jasno kažejo, da mikroklimatski odzivi v mestu niso enakomerno porazdeljeni. V najgosteje pozidanih delih jedra je ugotovljen izraziti pojav UTO, medtem ko bližina reke Kokre na robu območja ustvarja opazno hladnejše mikroklimatske razmere. To potrjuje tezo, da so lokalne temperature neposredno pogojene z urbano morfologijo in razporeditvijo odprtega prostora. Hkrati se izkaže, da učinkovitega spopadanja s pregrevanjem ni mogoče doseči brez upoštevanja človeške izkušnje vročine – upoštevati je treba tako objektivne meritve kot subjektivno počutje prebivalcev.

Ugotovitve za Kranj odpirajo širše vprašanje mikroklimatske pravičnosti v mestih. Toplotno breme v urbanem okolju ni porazdeljeno enako med vse prebivalce; ranljive skupine (npr. starejši, majhni otroci, kronični bolniki) so nesorazmerno močno prizadete. Prostorska analiza je pokazala, da so posamezni mestni predeli (brez zelenih površin, z gosto pozidavo in omejeno ventilacijo) veliko bolj izpostavljeni vročini kot drugi. S tem se postavlja vprašanje prostorske pravičnosti – ali mesto vsem svojim prebivalcem zagotavlja enako zdravo in udobno bivalno okolje v razmerah vse pogostejših vročinskih ekstremov? Za pravičnejši mikroklimatski odziv bo moralo urbanistično načrtovanje prepoznati najbolj ogrožena območja in tja usmeriti omilitvene ukrepe (npr. s povečanjem zelenih površin, zasenčenjem ulic, zagotavljanjem dostopnih ohlajenih javnih prostorov). Načrtovanje, ki upošteva »socialno« prostorsko dimenzijo vročine, lahko prispeva k zmanjšanju razlik v toplotnem ugodju med različnimi soseskami ter tako izboljša kakovost bivanja za celotno mestno prebivalstvo.

Z vidika urbane odpornosti je ključno prepoznati in preiščeno nadgraditi obstoječe prostorske strukture mest. Salat in Bourdic (2012) poudarjata, da je prvotna morfološka zasnova mesta v času ena najbolj trdoživih lastnosti urbanega tkiva. Kontinuiteta urbanega tkiva se torej lahko izkoristi kot osnova, na katero se dodajo sodobni prilagoditveni elementi. Integracija zelene in modre infrastrukture, vzpostavitev vetrovnihih koridorjev, strateško senčenje javnih površin ter uporaba reflektivnih oziroma hladilnih materialov so med ukrepi, ki dokazano zmanjšujejo učinek UTO in izboljšujejo mikroklimatsko ugodje v mestu. S trajnostnimi urbanističnimi ukrepi, ki združujejo tradicionalno kompaktnost mestnega jedra z izboljšano prezračevanostjo, dosežemo večjo odpornost gosto pozidanih območij proti vročinskiim ekstremom, ne da bi pri tem ogrozili njihovo prostorsko identiteto in dediščino (Beganović, 2025). Urbanistično in arhitekturno načrtovanje imata pri tem proaktivno vlogo, saj lahko s preiščlenim oblikovanjem prostora neposredno prispevata k blaženju toplotnih obremenitev in ustvarjanju prijaznejših mest za prebivalce.

Pomembno je tudi zavedanje, da mikroklimatski izzivi pregrevanja niso omejeni le na največja mesta. Urbani toplotni otoki se lahko pojavijo tudi v manjših mestih in suburbanih območjih, če njihova prostorska zasnova ustvarja podobne razmere za akumulacijo toplote. Koncentracija grajenega tkiva in pomanjkanje vegetacije lahko lokalno povzročita izrazito segrevanje ozračja, ne glede na formalno kategorizacijo prostora kot urbane ali ruralnega. To kliče k obravnavi naselij kot neprekinjenega spektra prostorskih vzorcev, znotraj katerega se vročinski ekstremi manifestirajo različno. Načine prilagajanja mikroklimatke bo zato treba prilagoditi specifični posameznih prostorskih tipov – od zgodovinskih mestnih jeder (primer Kranja) do razpršenih obmestnih naselij –, pri čemer univerzalne rešitve ne bodo zadoščale.

S celostnim, interdisciplinarnim delovanjem – ki povezuje urbanizem, klimatološke vede, javno zdravje in druge stroke – lahko mesta prihodnosti postanejo bolj odporna proti podnebnim ekstremom ter hkrati ostanejo zdrava, prijetna okolja za bivanje vseh svojih prebivalcev. Razprava o urbani odpornosti in mikroklimatski pravičnosti tako ne pomeni sklepa prispevka, temveč ponuja izhodišče za nadaljnje poglobljanje razumevanja ter iskanje inovativnih rešitev, s katerimi bomo mesta pripravili na segrevajočo se prihodnost.

Zahvala

Prispevek je nastal v okviru ciljnega raziskovalnega projekta »Vpliv pregrevanja prostora na spreminjanje morfologije grajenega prostora slovenskih naselij ter zdravje uporabnikov« (V5-24033), ki ga sofinancirata Agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) in Ministrstvo za naravne vire in prostor Republike Slovenije (MNVP), ter raziskovalnega programa »Trajnostno oblikovanje kvalitetnega bivalnega okolja« (P5-0068), ki ga financira Agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS).

Opomba

Pri urejanju besedila je bila uporabljena pomoč orodja umetne inteligence (ChatGPT 5.2), pri čemer so vse znanstvene vsebine, analize in sklepi avtorsko delo.

Viri in literatura

- Arnds, D., Böhner, J. in Bechtel, B. (2017). Spatio-temporal variance and meteorological drivers of the urban heat island in a European city. *Theoretical and Applied Climatology*, 128, 43–61. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1687-4>
- Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23(1), 1–26. <https://doi.org/10.1002/joc.859>
- Ballester, J., Quijal-Zamorano, M., Méndez Turrubiates, R. F., Pegenaute, F., Herrmann, F. R., Robine, J. M., Basagaña, X., Tonne, C., Antó, J. M. in Achebak, H. (2023). Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. *Nature Medicine*, 29, 1857–1866. <https://doi.org/10.1038/s41591-023-02419-z>
- Beganović, N. (2025). *Hladne oaze v objemu kulturne dediščine: revitalizacija starega Kranja z ukrepi blaženja urbanega toplotnega otoka*. Magistrsko delo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo.
- Cocci Grifoni, R., D'Onofrio, R., Sargolini, M. in Pierantozzi, M. A. (2016). Parametric Optimization Approach to Mitigating the Urban Heat Island Effect: A Case Study in Ancona, Italy. *Sustainability*, 8(9), 896. <https://doi.org/10.3390/su8090896>
- Conzen, M. R. G. (2018). Notes on Urban Morphology: Its Nature and Development (1992–1999). *Teaching Urban Morphology*, 51–64. Cham: Springer.
- Curdes, G. (2010). Urban morphology and climate change. Which morphology can survive? V: 17. *Conference International Seminar on Urban Form- ISUF - »Formation and Persistence of Townscape« Hamburg and Lübeck*. Hamburg, Lübeck, 20.–23. 8. 2010.
- Emmanuel, R. in Loconsole, A. (2015). Green infrastructure as an adaptation approach to tackling urban overheating in the Glasgow Clyde Valley Region, UK. *Landscape and Urban Planning*, 138, 71–86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.012>
- Fastl, C., Arnberger, A., Gallistl, Stein, V. V. in Dorner, T. E. (2024). Heat vulnerability: health impacts of heat on older people in urban and rural areas in Europe. *Wien Klin Wochenschr*, 136, 507–514. <https://doi.org/10.1007/s00508-024-02419-0>
- Fikfak, A., Kosanović, S., Konjar, M., Grom, J. P. in Zbašnik-Senegačnik, M. (2017). The impact of morphological features on summer temperature variations on the example of two residential neighborhoods in Ljubljana, Slovenia. *Sustainability*, 9(1), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su9010122>
- Fikfak, A., Goršič, N., Grom, J. P., Konjar, M., Mušič, B., Nikšič, M., Ostan, A., Červek, J., Peršak Cvar, S., Lavtižar, K., Mljač, Ž. in Pokupec, N. (2019). *Morfologija: državni prostorski red*. Zaključno poročilo. Urbanistični inštitut Republike Slovenije.
- Fikfak, A., Lavtižar, L., Grom, J. P., Kosanović, S. in Zbašnik-Senegačnik, M. (2020). Study of Urban Greenery Models to Prevent Overheating of Parked Vehicles in P + R Facilities in Ljubljana, Slovenia. *Sustainability*, 12(12), 5160. <https://doi.org/10.3390/su12125160>
- Guerreiro, S. B., Dawson, R. J., Kilsby, C., Lewis, E. in Ford, A. (2018). Future heat-waves, droughts and floods in 571. European cities. *Environmental research letters*, 13, 034009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaaad3>
- Hall, T. (2008). The form-based development plan: bridging the gap between theory and practice in urban morphology. *Urban Morphology*, 12(2), 77–95.
- Hopkins, M. I. W. (2001). Exploring the links between urban morphology and urban ecology. *Urban Morphology*, 5(1), 51–53.
- Hu, Y., White, M. in Ding, W. (2016). An Urban Form Experiment on Urban Heat Island Effect in High Density Area. *Procedia Engineering*, 169, 166–174. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.020>
- Kosanović, S., Hildebrand, L., Stević, G. in Fikfak, A. (2015). Resilience of inland urban areas to disasters occurred due to extreme precipitations. *Open urban studies and demography journal*, 1, 41–51. <https://doi.org/10.2174/2352631901401010041>
- Kreft, S., Eckstein, D. in Melchior, I. (2016). *Global Climate Risk Index 2017. Who Suffers Most From Extreme Weather Events? Weather-related Loss Events in 2015 and 1996 to 2015*. Germanwatch. <https://www.germanwatch.org/sites/default/files/publication/16411.pdf>
- Kropf, K. (1996). Aspects of urban form. *Urban Morphology*, 13(2), 105–120.
- Laville, S. (2022, 24. november). *Over 20,000 died in western Europe's summer heatwaves, figures show*. The Guardian. <https://www.theguardian.com/environment/2022/nov/24/over-20000-died-western-europe-heatwaves-figures-climate-crisis>
- López, M. in Pérez, I. (2022). Impact of urban heat islands on local climate patterns. *International Journal of Geography, Geology and Environment*, 4(1), 202–205. <https://www.geojournal.net/uploads/archives/6-2-4-570.pdf>
- Malcoti, M. D., Zia, H. in Kabre, C. (2023). Relevance of Urban Geometry and Outdoor Thermal Comfort in Urban Heat Island Mitigation – A Review. *Journal of Climate Change*, 9(1), 39–52. <https://doi.org/10.3233/JCC230005>
- Marat-Mendes, T. (2016). Physical, social and cultural dimensions of urban morphology: redressing the balance? *Urban Morphology*, 20, 167–168. <https://doi.org/10.51347/jum.v20i2.4617>
- Matthews, T., Lo, A. Y. in Byrne, J. A. (2015). Adapting cities for climate change through urban green infrastructure planning. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(2), 397–410. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.03.005>
- McCarthy, M. P., Best, M. J. in Betts, R. A. (2010). Climate change in cities due to global warming and urban effects. *Environmental research letters*, 37, 1–5. <https://doi.org/10.1029/2010GL042845>
- Menga, M. (2023, 6. junij). *The urban divide: unequal distribution of heat-related risks on city dwellers*. The Foresight, CMCC Foundation. <https://www.climateforesight.eu/articles/the-urban-divide-unequal-distribution-of-heat-related-risks-on-city-dwellers/>
- Nikšič, M., Fikfak, A., Grom, J. P., Dimitrovska Andrews, K., Ostan, A. S., Konjar, M. in Mušič, B. (2025). *Morfologija*. Priročnik. Ministrstvo za naravne vire in prostor, Direktorat za prostor in graditev.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, 108, 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Oke, T. R. (1987). *Boundary Layer Climates*. Routledge.

- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A. in Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- Oliveira, V. (2016). *Urban Morphology. An Introduction to the Study of the Physical Form of Cities*. Springer.
- Oliveira, V. (ur.). (2018). *Teaching urban morphology*. Springer International Publishing.
- O'Malley, C., Piroozfarb, P. A. E., Farr, E. R. P. in Gates, J. (2014). An investigation into minimizing urban heat island (UHI) effects: A UK perspective. *Energy Procedia*, 62, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.368>
- Ramyar, R., Ackerman, A. in Johnston, D. M. (2021). Adapting cities for climate change through urban green infrastructure planning. *Cities*, 117, 103316. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103316>
- Rode, P., Keim, C., Robazza, G., Viejo, P. in Schofield, J. (2014). Cities and energy: urban morphology and residential heat-energy demand. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 41(1), 138–162. <https://doi:10.1068/b39065>
- Santiago, J. L., Coceal, O. in Martilli, A. (2013). How to parametrize urban-canopy drag to reproduce wind-direction effects within the canopy. *Boundary-Layer Meteorology*, 149(1), 43–63. <https://doi.org/10.1007/s10546-013-9833-y>
- Srivani, M. in Kazunori, H. (2011). The Influence of Urban Morphology Indicators on Summer Diurnal Range of Urban Climate in Bangkok Metropolitan Area, Thailand. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, 11, 34–46. http://www.ijens.org/Vol_11_I_05/112805-7676-IJCEE-IJENS.pdf
- Varga, A. in CEEweb (2022). *Cities and Climate Change: Urban temperature*. CEEweb for Biodiversity. <https://www.ceeweb.org/article.php?id=658>
- Venter, Z. S., Krog, N. H. in Barton, D. N. (2020). Linking green infrastructure to urban heat and human health risk mitigation in Oslo, Norway. *Science of The Total Environment*, 709, 136193. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136193>
- Wilby, R. L. (2008). Constructing climate change scenarios of urban heat island intensity and air quality. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 35(5), 902–919. <https://doi:10.1068/b33066t>

Smernice za blaženje urbanih toplotnih otokov

Martina Zbašnik-Senegačnik

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo

Izvleček

Podnebne spremembe in vročinski valovi močno obremenjujejo urbana okolja, kjer visoka pozidava in neprepustne površine povzročajo pojav urbanega toplotnega otoka. Poglavje raziskuje vlogo modro-zelene infrastrukture, arhitekturnih in urbanističnih rešitev ter izbire materialov pri zmanjševanju toplotnih obremenitev. Urbano zelenje, vključno z drevesi, parki, zelenimi strehami in fasadami, znižuje temperature, izboljšuje kakovost zraka, spodbuja biodiverzitetu in prispeva k zdravju ter socialni povezanosti prebivalcev. Vodni elementi dopolnjujejo te učinke z izhlapevalnim hlajenjem in stabilizacijo mikroklimе. Arhitekturni in urbanistični ukrepi, kot so pasivno senčenje, optimalna gostota stavb ter prezračevanje, skupaj z uporabo svetlih, prepustnih in reflektivnih materialov, učinkovito zmanjšujejo segrevanje mest. Celostno načrtovanje, ki povezuje vegetacijo, vodo, oblikovanje stavb in materiale, je ključno za trajnosten, zdrav in odporen razvoj mest ter za izboljšanje kakovosti bivanja v urbanem okolju.

Ključne besede:

urbani toplotni otok, pregrevanje odprtega javnega prostora, zelena infrastruktura, modra infrastruktura, zelene strehe, zelene fasade, prepustnost tal, albedo

Abstract

Climate change and heat waves increasingly affect urban areas, where high building density and impervious surfaces contribute to the urban heat island effect. This chapter examines the role of blue-green infrastructure, architectural and urban design, and material selection in mitigating urban heat stress. Urban greenery—including trees, parks, green roofs, and green facades—reduces temperatures, improves air quality, supports biodiversity, and promotes physical and mental health as well as social cohesion. Water elements complement these benefits through evaporative cooling and microclimate regulation. Architectural and urban strategies, such as passive shading, optimal building density, and ventilation, combined with light-colored, permeable, and reflective materials, effectively reduce urban heat accumulation. A holistic approach integrating vegetation, water, building design, and material choices is essential for sustainable, healthy, and resilient cities, enhancing both environmental performance and overall quality of urban life.

Keywords:

urban heat island, overheating of open public space, green infrastructure, blue infrastructure, green roofs, green facades, soil permeability, albedo

1 Uvod

Podnebne spremembe so med ključnimi izzivi sodobnih mest, saj povzročajo vse pogostejše in intenzivnejše vročinske valove – ti so v urbanih območjih še posebej izraziti. Zaradi visoke gostote pozidave, velikega deleža neprepustnih površin in omejene prisotnosti naravnih elementov se mesta segrevajo bistveno bolj kot njihova okolica, kar vodi v pojav urbanega toplotnega otoka (UTO) (Oke, 1987). Posledice tega pojava so povečana toplotna obremenitev prebivalcev, poslabšano zdravstveno stanje, višja stopnja umrljivosti v obdobjih ekstremne vročine ter povečana raba energije za hlajenje stavb (Nazish idr., 2024; Santamouris, 2014). Raziskave potrjujejo, da ima urbano okolje pomembno vlogo pri oblikovanju lokalne mikroklimе in da lahko premišljeno načrtovanje bistveno zmanjša negativne učinke vročine (Li idr., 2020).

Evropske in nacionalne strateške usmeritve vse pogosteje poudarjajo pomen modro-zelene infrastrukture kot del celostnega načrtovanja podnebno odpornega razvoja mest (EEA, 2020; EC, 2020; MOP, 2019). Modra infrastruktura prispeva k zniževanju temperature predvsem z evaporativnim hlajenjem, zelena infrastruktura pa dokazano znižuje temperaturo zraka in površin, izboljšuje kakovost zraka, spodbuja biodiverzitetu ter prispeva k boljšemu fizičnemu in duševnemu zdravju prebivalcev (Bowler idr., 2010; Gill idr., 2007; UN, 2023; Lin in Li, 2025). Med pomembne strategije za blaženje UTO spadata tudi prilagojena arhitekturna in urbanistična zasnova ter izbor materialov z ugodnimi toplotnimi lastnostmi.

Namen poglavja je predstaviti vlogo zelenja in vode, arhitekturnih in urbanističnih rešitev ter materialov pri zmanjševanju toplotne obremenitve v mestih ter osvetliti možnosti, ki jih naštetu ponuja kot naravne in trajnostne ukrepe za izboljšanje bivalnih razmer v urbanem okolju.

2 Vključevanje zelenja in vodnih elementov v urbana okolja

Zelena in modra infrastruktura imata pri iskanju rešitev proti pregrevanju odprtega prostora vse večji pomen, saj poleg estetske in rekreacijske vrednosti zagotavljata številne okoljske, družbene in zdravstvene koristi ter tvorita ključne elemente trajnostnega urbanega razvoja in prispevata k oblikovanju bolj odpornih in zdravih mest (de Oliveira Santos idr., 2024).

2.1 Vpliv zelenja na zdravje ljudi in kakovost bivanja

Prisotnost zelenih površin v urbanem okolju ima neposredne fiziološke in psihološke učinke na prebivalce. Epidemiološke študije kažejo, da imajo območja z večjim deležem zelenja bistveno nižje stopnje bolezni in umrljivosti, povezane z vročinskimi obremenitvami, hkrati pa se izkazujejo pozitivni učinki na duševno zdravje, zmanjševanje stresa in splošno subjektivno počutje (Nazish idr., 2024). Zelene prostori omogočajo in spodbujajo telesno dejavnost, kot so hoja, tek, kolesarjenje in igra, kar prispeva k zmanjševanju tveganja nastanka srčno-žilnih bolezni, debelosti in drugih kroničnih bolezni, povezanih s sedečim načinom življenja (UN, 2023).

Poleg zdravstvenih koristi ima urbano zelenje tudi pomembno socialno razsežnost. Dostop do kakovostnih zelenih površin lahko prispeva k zmanjševanju socialnih neenakosti, saj izboljšuje bivalne razmere v gosto pozidanih in pogosto socialno ranljivejših mestnih četrtih. Razporejanje parkov, drevoredov in skupnostnih vrtov omogoča bolj enakovreden dostop do zdravega in kakovostnega urbanega okolja ter spodbuja socialno povezanost in vključevanje prebivalcev (UN, 2023).

2.2 Okoljski učinki urbanega zelenja

Urbane površine, sestavljene pretežno iz asfalta, betona in drugih neprepustnih materialov, podnevi akumulirajo velike količine toplote, ki jo ponoči oddajajo v okolico. Posledično se mestna območja počasneje ohlajajo in dosegajo višje temperature v primerjavi z okoliško podeželsko krajino. Zelene površine v obliki gostih drevesnih zasaditev, parkov, zelenih streh in zelenih fasad te učinke bistveno omilijo s senčenjem, evapotranspiracijo in izboljšano zračno cirkulacijo (Lin in Li, 2025). Evapotranspiracija je ključni hladilni mehanizem urbanega zelenja, saj rastline z izhlapevanjem vode iz listov in tal porabljajo toplotno energijo ter tako znižu-

jejo temperaturo okolice. Ta proces v vročih poletnih obdobjih pomembno prispeva k izboljšanju mikroklimе (Lin in Li, 2025).

Urbana vegetacija ima tudi pomembno vlogo pri izboljševanju kakovosti zraka. Drevesa in grmovnice vežejo ogljikov dioksid ter na površini listov in iglic zadržujejo delce PM_{10} in $PM_{2,5}$, kar vodi do opaznega zmanjšanja koncentracij trdnih delcev v zraku. Povprečno zmanjšanje znaša približno $1,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za $PM_{2,5}$ in $2,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za PM_{10} (Seyrek Şik in Widera, 2026; San Jose in Perez-Camanyo, 2022). Poleg tega urbano zelenje prispeva k odstranjevanju plinastih onesnaževal, kot so O_3 , NO_2 in SO_2 (Nowak idr., 2006).

Zelene površine v mestih niso pomembne le za ljudi, temveč so tudi življenjski prostor številnih rastlinskih in živalskih vrst. Zelenje prispeva k večji biotski raznovrstnosti ter zagotavlja ključne ekosistemske storitve, kot so oprasčevanje, zadrževanje vode, čiščenje zraka in tal ter stabilizacija tal (Proutsos in Solomou, 2025). V gostih urbanih območjih, kjer so naravni habitati močno fragmentirani, imajo takšni zeleni elementi ključno vlogo pri ohranjanju naravnih procesov in ekološke odpornosti mest.

2.3 Vključitev zelenja in vode v urbano okolje

Zelenje je v urbano tkivo vključeno v različnih prostorskih in tipoloških oblikah, ki skupaj tvorijo celovit sistem zelene oziroma modro-zelene infrastrukture (Salmond idr., 2016). Med najpogostejšimi oblikami so ulično zelenje v obliki drevoredov, mestnih in lokalni parkov, urbanih gozdov, skupnostnih vrtov ter sodobne rešitve, kot so deževni vrtovi in zelene strehe ter fasade.

Posebne možnosti v gosto pozidanih mestnih središčih ponujajo strehe in fasade stavb, saj je tam prostorska razpoložljivost talnih zelenih površin pogosto omejena. Zelene strehe in fasade so se v zadnjih desetletjih uveljavile kot učinkovita strategija za blaženje učinka urbanega toplotnega otoka. Empirične raziskave kažejo znižanje površinskih temperatur streh in fasad za $20\text{--}40 \text{ }^\circ\text{C}$ ter znižanje temperature zraka v okolici stavb za $1\text{--}3 \text{ }^\circ\text{C}$ tudi v obdobjih ekstremne poletne vročine (Mahmoud in Gan, 2021; Pérez idr., 2011; Manso in Castro-Gomes, 2015; Vijayaraghavan, 2016).

Zelena infrastruktura ima pomembno vlogo tudi pri upravljanju vode v mestih. Zadrževanje padavin na zelenih površinah zmanjšuje obremenitev sistema kanalizacijskega in meteornege odvajanja, s čimer se zmanjšuje tveganje za poplave. Hkrati takšni ukrepi prispevajo k stabilnejšim, bolj odpornim in trajnostno naravnanim urbanim ekosistemom (UN, 2023).

Zelene strehe

Zelenje ni blažilni ukrep proti pregrevanju samo v obliki travnatih in parkovnih površin na tleh, ampak tudi na strehah (sliki 1 in 2). Glede na debelino substrata in namen uporabe so zelene strehe lahko biotopske, ekstenzivne in intenzivne (Shahmohammad idr., 2022). Biotopska ozelenitev temelji na naravni mineralni nosilni plasti, na kateri raste izključno samorasla avtohtona vegetacija, ki ne zahteva nege in vzdrževanja ter brez težav prenese sušna obdobja. Ekstenzivna ozelenitev zahteva manj kot 15 cm substrata in vključuje nizko rastoče rastline, ki ne zahtevajo veliko nege, vgradnja in vzdrževanje pa sta poceni. Hoja po taki strešni površini je navadno omejena le na nujno potrebno vzdrževanje. Intenzivna ozelenitev je sistem ozelenitve z od 20 do 200 cm substrata, ki dopušča neomejeno in zelo različno uporabo zelenih površin in rast grmičevja in nizkorastočih dreves. Na ta način je mogoče oblikovati tudi javne zelene površine, na primer parke, otroška igrišča in podobno. Tako oblikovan prostor spodbuja socialno interakcijo, celo gibanje in rekreacijo (de Oliveira Santos idr., 2024; Lee idr., 2023) (slike 1, 2, 13). Na strehi je možno gojenje zelenjave, pa tudi sadežev ali zelišč (Walters in Stoelzle Midden, 2018). Kljub številnim prednostim zelene strehe obstajajo tudi omejitve – take strehe je treba ustrezno načrtovati, redno vzdrževati in zanje izbrati ustrezno prilagojene rastlinske vrste, pri čemer se kot posebej primerne izkazujejo avtohtone vrste (Trenta idr., 2025).

Zelene fasade

Vertikalno ozelenjevanje fasad je učinkovita strategija za zmanjševanje segrevanja stavbnih ovojev in okolice, kar sicer prispeva k pregrevanju okolice. Raziskave potrjujejo, da lahko zelene fasade ob ustreznem namaka-



Slika 1: Parkovno urejena površina strehe na večstanovanjski hiši je prostor za sproščanje in rekreacijo (New Jersey, ZDA).



Slika 2: Bivalni vrt na strehi garažne hiše ob večstanovanjski stavbi zmanjša toplotne obremenitve okolice in hkrati omogoča socialno interakcijo (New Jersey, ZDA).

nju znižajo temperaturo površin stavb tudi za do 13,7 °C (Gao idr., 2020; Sun idr., 2014). Poleg okoljskih učinkov imajo zelene fasade tudi pomembno estetsko in psihološko vlogo, saj izboljšujejo zaznavanje prostora, zmanjšujejo monotonost grajenega okolja ter krepijo občutek povezanosti z naravo (Jungels idr., 2023). Rastline z različnimi barvami, teksturami in oblikami listov nudijo barvno in teksturno pestrost, s cvetenjem ter spreminjanjem barv pa ustvarjajo sezonsko dinamiko (slika 3). Fasada tako postane »aktivna«, saj se stalno spreminja zaradi procesa razvoja rastlin pa tudi zaradi igre svetlobe in senc ob stalnem gibanju sonca. Zelena fasada daje stavbam prepoznaven značaj, lahko jih naredi celo kulturne (sliki 4 in 5).

Sodobne tehnologije omogočajo razvoj raznolikih sistemov zelenih fasad, ki se med seboj razlikujejo tako po tehničnih kot vizualnih lastnostih (Irga idr., 2023). Rastline so lahko posajene v tla, po fasadi pa se vzpenjajo z oprijemalnimi koreninami, viticami ali priseski. Vzpenjajo se samostojno, lahko se same zarasejo v steno ali na mreže, ki so pritrjene v steno (slika 8). Najsodobnejši ozelenitveni sistemi so fasadni paneli s substratom ter namakalnim in drenažnim sistemom. Rastline so posajene v posebne odprtine, posamezne rastne lončke ali korita v panelu (slika 6). Preraščajo velike površine panela, kombinacija različnih vrst rastlin pa omogoča ustvarjanje vzorcev na fasadi in spodbuja biotsko raznovrstnost. Rastline se za nekatere namene lahko posadijo v namensko oblikovane elemente, pritrjene v fasadno konstrukcijo. Stavbi dajejo individualni značaj. Z dodatno opremo lahko nastane celo vertikalni vrt, ki za boljši izkoristek sončne energije celo sledi gibanju sonca (slika 7). Tovrstni sistemi so že tehnično dovršeni in omogočajo gojenje zelenjave, dišavnic, sadja in celo poljščin (Akintuyi, 2024) (slika 8).



Slika 3: Zelena fasada kot živi likovni akcent, ki doda barvo, teksturo in dinamiko (San Francisco, ZDA)



Slika 4: Ozelenitveni sistem na fasadi botaniko in arhitekturo poveže v likovno doživetje (Pariz, Francija)



Slika 5: Grmovnice in manjša drevesa na terasah in balkonih učinkujejo kot zelena fasada (Milano, Italija).



Slika 6: Zelenje pred fasado zmanjša segrevanje betona in pregrevanje okolice (Valvigna, Toskana, Italija).



Slika 7: Fasadna površina predstavlja vertikalni vrt. Premični paneli z zelenjavo, sadjem in dišavnicami sledijo gibanju sonca, kar rastlinam omogoča optimalne razmere (Expo 2015, Milano, Italija)



Slika 8: Vertikalno žitno polje na fasadi (Expo 2015, Milano, Italija)



Slika 9: Drevesa v mestnem parku senčijo tla, prepustna površina tal omogoča evaporacijo deževnice, kar še dodatno zmanjšuje pregrevanje odprtega prostora (Rim, Italija) (foto: Kristjan Krapež)

Parki in druge zelene površine

Mestni parki, lokalni parki, drevoredi in travnate površine so temelj zelene infrastrukture mest. Slovenski strateški dokumenti poudarjajo njihovo ključno vlogo pri zagotavljanju podnebne odpornosti in izboljševanju bivalnih razmer (MOP, 2019). Raziskave potrjujejo, da mestni parki delujejo kot izrazite hladilne točke, katerih vpliv se lahko razširi več sto metrov v pozidavo (Zhou idr., 2017). Tudi manjši lokalni parki pomembno prispevajo k znižanju lokalnih temperatur in izboljšanju toplotnega ugodja, zlasti za ranljive skupine prebivalstva (Bowler idr., 2010) (slika 9).

Senčenje ulic s pergolami in premičnimi senčili

V urbanih okoljih so ulice in pločniki pogosto izpostavljeni neposrednemu sončnemu obsevanju, kar povzroča močno segrevanje tlakov in poslabšuje toplotno ugodje pešcev. Kadar sajenje dreves zaradi prostorskih, infrastrukturnih ali varnostnih omejitev ni mogoče, so ozelenjene pergole in premična senčila učinkovit alternativni ukrep za zmanjševanje toplotne



Slika 10: Gosto ozelenjena pergola nad ulico preprečuje segrevanje tlaka (Lezbos, Grčija)

obremenitve (sliki 10 in 11). Delujejo kot fizična ovira med soncem in tlaki ter tako zmanjšujejo količino sončne energije, ki doseže površine ulic. S tem se znižujeta temperatura tal in povprečna sevalna temperatura prostora, ki ima glavni vpliv na zaznavanje vročine v urbanem okolju. Takšni elementi so še posebej primerni za ozke ulice, trge in območja z gosto pozidavo, kjer je zasaditev vegetacije omejena. Poleg funkcionalne vloge imajo lahko tudi estetsko vrednost in prispevajo k večji vizualni kakovosti javnega prostora.



Slika 11: Premična sončna zaščita nad ulico nudi senco in zmanjšuje pregrevanje tlaka (Sicilija, Italija)

Voda in vodni elementi

Pomemben dopolnilni ukrep pri zmanjševanju pregrevanja urbanih območij je tudi vključevanje vode in vodnih elementov v mestni prostor. Vodne površine, kot so ribniki, fontane, vodni kanali, deževni vrtovi in odprti zadrževalniki padavinske vode, prispevajo k ohlajanju okolice predvsem s procesom izhlapevanja, pri katerem se porablja toplotna energija iz zraka (EEA, 2020). Posledično se znižuje temperatura okolice, hkrati pa se povečuje relativna zračna vlaga, kar izboljšuje toplotno ugodje prebivalcev, zlasti v vročih poletnih obdobjih (sliki 12, 13). Evropske študije (Barcelona, Amsterdam, Stockholm) kažejo, da prisotnost vodnih površin zmanjša temperaturo za 1–4 °C, pri čemer je učinek odvisen od velikosti vodnega telesa in lokalnih vetrovnih razmer (Johansson idr., 2019).

V kombinaciji z urbanim zelenjem vodni elementi dodatno krepijo učinek evapotranspiracije in ustvarjajo lokalne hladilne otoke, ki učinkovito blažijo pojav urbanega toplotnega otoka (Kabisch idr., 2017; EC, 2020). Poleg termoregulacijske funkcije vodni elementi prispevajo tudi k trajnostnemu upravljanju padavinske vode, zmanjšujejo površinski odtok ter razbremenjujejo kanalizacijske sisteme, s čimer povečujejo odpornost mest proti podnebnim spremembam in ekstremnim vremenskim pojavom (UN, 2023). Vključitev modro-zelene infrastrukture je tako metoda celostnega izboljševanja mikroklimе, kakovosti bivanja in ekološke stabilnosti urbanih okolij.

V urbanih prostorih, kot so trgi, terase in pasaže, se pogosto uporablja sistem evaporativnega (izhlapevalnega) hlajenja (slika 14). Iz osrednjega stebra se v okolico razpršuje zelo drobna vodna meglica (mikroaerosol). Zaradi majhne velikosti kapljic voda ne pada neposredno na tla, temveč izhlapeva že v zraku. Pri prehodu vode iz tekočega v plinasto stanje se porablja toplotna energija iz okoliškega zraka, kar povzroči znižanje temperature zraka v neposredni bližini sistema. Gre za klasičen proces evaporativnega hlajenja, ki je še posebej učinkovit v vročih in suhih razmerah. V kombinaciji s senčenjem, zračenjem in zelenjem lahko taki sistemi lokalno znižajo zaznano temperaturo zraka za več stopinj Celzija ter bistveno izboljšajo toplotno ugodje uporabnikov, ne



Slika 12: Voda in portik imata hladilni učinek na okolje (Bagno Vignoni, Toskana, Italija)



Slika 13: Bazen na strehi garažne hiše hladi okolico z evaporacijo in nudi prijetno sprostitve za stanovalce (New Jersey, ZDA)

da bi zahtevali energijsko intenzivne mehanske hladilne naprave. Zaradi kombinacije vode, sence in pasivnih fizikalnih procesov so učinkovit ukrep za blaženje pregrevanja urbanih zunanjih prostorov.

3 Arhitekturna in urbanistična zasnova

Arhitekturna in urbanistična zasnova neposredno vplivata na akumulacijo toplote, izpostavljenost sončnemu sevanju in prezračevalne razmere v urbanem prostoru. Oblikovanje stavbnih volumnov, razmerja med objekti, fasadami in strehami ter njihova prostorska razporeditev pomembno določajo mikroklimatske razmere v mestu (Li idr., 2020). Ukrepi na ravni posameznih stavb so pri tem enako pomembni kot širše urbanistične odločitve, saj se učinki sevanja, senčenja in prezračevanja seštevajo na različnih prostorskih ravneh (Santamouris, 2014).

Eden temeljnih arhitekturnih načinov zmanjševanja toplotnih obremenitev je pasivno senčenje. Elementi, kot so pergole, nadstreški, napušči, portiki in lože, zmanjšujejo neposredno obsevanje fasad in talnih površin v poletnem obdobju, hkrati pa pozimi omogočajo vstop sončne energije z nižjim vpadnim kotom (sliki 15 in 16) (EEA, 2025). Z omejevanjem neposredne solarne obremenitve se zmanjšuje segrevanje fasadnih površin in s tem tudi prenos toplote v notranjost stavb ter v okolico. Takšni elementi dokazano izboljšujejo toplotno ugodje zunanjih prostorov in prispevajo k nižjim temperaturam zraka v območjih intenzivne rabe (Lionar, 2024).

Urbanistična morfologija, zlasti gostota in višinska raznolikost stavb, močno vpliva na intenzivnost toplotne obremenitve. Tradicionalno gostejša pozidava v vročih podnebnih povečuje senčenje ulic in fasad ter zmanjšuje izpostavljenost tal neposrednemu sončnemu sevanju, kar vodi v nižjo absorpcijo toplote (slika 17) (Liu idr., 2023). Raziskave kažejo, da območja z raznoliko višino stavb dosegajo učinkovitejše znižanje temperatur v primerjavi z morfološko enotnim območjem, predvsem zaradi boljših učinkov senčenja (Shareef in Abu-Hijleh, 2020).

Gostota stavb pa ne vpliva le na senčenje, temveč tudi na prezračevanje. Ustrezno oblikovani stavbni nizi in višinske razlike lahko spodbujajo turbulentne tokove zraka in navzkrižno prezračevanje, kar omogoča odvajanje odvečne toplote z ulic in javnih prostorov (Sun idr., 2025). Po drugi strani prevelika gostota brez prezračevalnih koridorjev povečuje tveganje za zadrževanje toplote, zlasti ponoči, ko je učinkovito hlajenje ključno za zmanjševanje toplotnega stresa. Zato morajo biti senčilni in morfološki ukrepi uravnoteženi z zagotavljanjem zadostnega pretoka zraka in odprtih prostorskih struktur (Yin idr., 2025).



Slika 14: Hlajenje z razprševanjem drobne vodne meglice, ki ob izhlapevanju jemlje toploto iz okolice; platnena sončna zaščita preprečuje akumulacijo toplote v tlaku (Noventa di Piave, Italija)



Slika 15: Loža v urbanem središču nudi zavetje pred poletno vročino (Pienza, Italija)



Slika 16: Arkade ustvarjajo prijetno okolje (Arezzo, Italija)



Slika 17: Gosta pozidava – hiše so tesno skupaj, da senčijo druga drugo, zelenje na ulicah ima dodatni hladilni učinek (Taormina, Italija)

4 Izbor materialov

Arhitekturna in urbanistična zasnova ne delujeta kot samostojni ukrep za blaženje pregrevanja mest, temveč kot del celostnega sistema, ki vključuje zelenje, vodo ter izbiro ustreznih materialov. Materiali v urbanem prostoru pomembno vplivajo na energijsko bilanco površin, saj določajo, kolikšen delež sončnega sevanja se absorbira, odbije ali odda nazaj v okolje. Tlaki, fasade in strehe so največje neprekinjene površine, neposredno izpostavljene sončnemu sevanju, zato imajo njihove fizikalne lastnosti ključno vlogo pri intenzivnosti urbane-ga toplotnega otoka.

Med najpomembnejšimi lastnostmi materialov sta albedo in emisivnost, ki opredeljujeta sposobnost površin za odbijanje kratkovalovnega sončnega sevanja ter oddajanje akumulirane toplote (Santamouris, 2014; Wang idr., 2022).

4.1 Albedo in optične lastnosti materialov

Albedo je razmerje med odbitim in vpadnim sončnim sevanjem ter neposredno vpliva na segreva-



Slika 18: Opečni tlak se zaradi nižje toplotne prevodnosti počasneje segreva, akumulirana deževnica pa počasi izhlapeva in ohlaja okolico (Siena, Italija)



Slika 19: Prepustno, delno travnato parkirišče ob zeleni steni iz vinske trte na fasadi poslovne stavbe (Valvigna, Toskana, Italija)

nje urbanih površin. Svetli in visoko odbojni materiali z visokim albedom absorbirajo manj energije, kar se odraža v nižjih površinskih temperaturah. Raziskave kažejo, da lahko visoko odbojne strešne kritine v primerjavi s temnimi materiali znižajo površinsko temperaturo za več kot 30 °C, kar nato vpliva tudi na nižje temperature zraka v neposredni okolici stavb (Santamouris, 2014).

Podoben učinek imajo svetli tlaki in fasadni materiali, ki odbijejo večji delež kratkovalovnega sevanja in

zmanjšujejo segrevanje urbanih talnih površin. V zadnjih letih se razvijajo tudi napredni solarno-reflektivni premazi, kot so polimerne in epoksi prevleke z dodatki TiO_2 in SiO_2 , ki dokazano znižujejo temperature asfaltiranih in betonskih površin za več stopinj Celzija (López-Montero idr., 2024).

Posebej obetavni so retroreflektivni materiali, ki sevanje odbijajo nazaj proti nebu in dosegajo izjemno visoke stopnje reflektivnosti, s čimer dodatno zmanjšujejo sevalno obremenitev urbanega prostora (Yuan, 2025). K omejevanju akumulacije toplote prispevajo tudi lahki reflektivni betoni z nizko toplotno maso, ki shranjujejo manj energije in tako zmanjšujejo nočno oddajanje toplote v okolje (Shafiquzzaman in Uddin, 2025).

4.2 Prepustnost talnih površin

Prepustnost talnih površin je pomemben dejavnik pri uravnavanju mikroklimе in hidrološkega ravnovesja v urbanem prostoru. V mestih, kjer prevladujejo neprepustni tlaki, se padavinska voda hitro odvaja iz prostora, kar povečuje obremenitev kanalizacijskega sistema in tveganje lokalnih poplav, hkrati pa se površine močno segrevajo in akumulirajo toploto, ki se ponoči postopno oddaja v okolico. Ti procesi pomembno prispevajo k intenzivnosti urbanega toplotnega otoka (Santamouris, 2014).

Prepustne talne površine omogočajo pronicanje vode v tla in njeno zadrževanje v zgornjih plasteh, kar vpliva tako na toplotno kot na hidrološko obnašanje površin. Zaradi porozne strukture in pogosto nižje toplotne prevodnosti se takšni materiali počasneje segrevajo, zadržana voda pa postopno izhlapeva in pri tem porablja toplotno energijo (slika 18). Raziskave poroznih betonov, opečnih in keramičnih elementov ter vodoprepustnih kompozitnih tlakov kažejo na znižanje površinskih temperatur v vročih obdobjih ter dodatne koristi pri filtraciji meteorne vode (Shafiquzzaman in Uddin, 2025).

Toplotni učinek prepustnih talnih površin je lahko dodatno okrepljen z ustreznimi optičnimi lastnostmi materialov. Svetli, vodoprepustni materiali pogosto izkazujejo tudi višji albedo, kar pomeni manjšo absorpcijo sončnega sevanja in dodatno omejevanje segrevanja površin (Wang idr., 2022).

Največji učinek se doseže v kombinaciji prepustnih površin z vegetacijo (slika 19). Prepustni tlaki izboljšujejo razmere za rast dreves in drugih rastlin, kar povečuje evapotranspiracijo in s tem prispeva k znižanju temperatur ter izboljšanju toplotnega ugodja. Sinergijski učinki prepustnih površin, visoko odbojnih materialov in zelenja potrjujejo, da je prepustnost tal ključni element celostnega in podnebno prilagojenega oblikovanja urbanih prostorov (Ye idr., 2025).

5 Sklep

Pregled raziskav in primerov dobre prakse jasno kaže, da so negativni učinki urbanih toplotnih otokov kompleksna težava, ki zahteva celostno in interdisciplinarno delovanje. Učinkovito blaženje pregrevanja mest ni

mogoče z enim samim ukrepom, temveč z usklajenim delovanjem zelenih in vodnih sistemov, prilagojene urbanistične in arhitekturne zasnove ter premišljene izbire materialov.

Urbano zelenje se je pokazalo za enega najučinkovitejših naravnih mehanizmov za zniževanje temperature in izboljšanje mikroklima. Drevesa, parki, zelene strehe in fasade delujejo prek senčenja, evapotranspiracije in izboljšane ventilacije ter lahko lokalno znižajo temperaturo tudi za več stopinj Celzija. Poleg okoljskih koristi zelenje pomembno prispeva k zdravju prebivalcev, socialni vključenosti in ohranjanju biotske raznovrstnosti, kar dodatno krepi odpornost mest proti podnebnim spremembam.

Pomembno vlogo imajo tudi vodni elementi, zlasti v kombinaciji z vegetacijo, saj dokazano zmanjšujejo toplotni stres v poletnih mesecih in izboljšujejo toplotno ugodje v gosto pozidanih območjih. Arhitekturni ukrepi, kot so pasivno senčenje, primerna gostota in raznolikost stavbnih volumnov ter možnost prezračevanja, dodatno prispevajo k zmanjšanju akumulacije toplote.

Izbira materialov z visokim albedom in prepustnih tlakov dopolnjuje te ukrepe, saj zmanjšuje absorpcijo sončnega sevanja in omogoča boljše upravljanje meteorne vode. Največji učinek pri zniževanju lokalnih temperatur pa se doseže prav s kombinacijo ustreznih materialov in vegetacije.

Sklepno lahko ugotovimo, da vključevanje zelenja, vode in podnebno prilagojenih arhitekturnih in materialnih rešitev ni več zgolj estetska ali dopolnilna izbira, temveč nujni pogoj za trajnosten in zdrav razvoj mest. Takšno načrtovanje ne prispeva le k blaženju posledic podnebnih sprememb, temveč dolgoročno izboljšuje kakovost bivanja, okoljsko odpornost in socialno kohezijo urbanih skupnosti.

Zahvala

Prispevek je nastal v okviru ciljnega raziskovalnega projekta »Vpliv pregrevanja prostora na spreminjanje morfologije grajenega prostora slovenskih naselij ter zdravje uporabnikov« (V5-24033), ki ga sofinancirata Agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) in Ministrstvo za naravne vire in prostor Republike Slovenije (MNVP), ter raziskovalnega programa »Trajnostno oblikovanje kvalitetnega bivalnega okolja« (P5-0068) in projekta UL VIP »ReGreenUrb« na podlagi pogodbe št. SN-ZRD/22-27/510, ki ju financira Agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS).

Viri in literatura

- Akintuyi, O. B. (2024). Vertical farming in urban environments: A review of architectural integration and food security. *Open Access Research Journal of Biology and Pharmacy*, 10(2), 114–126. <https://doi.org/10.53022/oarjbp.2024.10.2.0017>
- Bai, D., Miao, C., Xi, Y., Liu, H. in He, C. (2025). The impact of 2D/3D building morphology and green spaces on urban heat environments: Relative contributions, interaction and marginal effects. *Ecological Indicators*, 180, 114296. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.114296>
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M. in Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- de Oliveira Santos, T. D., Leal Pacheco, F. A. in Filipe, L. in Fernandes, S. (2024). A systematic analysis on the efficiency and sustainability of green facades and roofs. *Science of the Total Environment*, 932, 173107. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173107>
- EEA, European Environment Agency (2020). *Urban adaptation to climate change in Europe 2020* (EEA Report No. 2/2020).
- EC, European Commission (2020). *EU biodiversity strategy for 2030: Bringing nature back into our lives*.
- Gao, K., Santamouris, M. in Feng, J. (2020). On the cooling potential of irrigation to mitigate urban heat island. *Science of the Total Environment*, 740, 139754. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139754>
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R. in Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115–133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
- Irga, P. J., Torpy, F. R., Griffin, D. in Wilkinson, S. J. (2023). Vertical Greening Systems: A Perspective on Existing Technologies and New Design Recommendation. *Sustainability*, 15, 6014. <https://doi.org/10.3390/su15076014>
- Johansson, E., Thorsson, S., Emmanuel, R. in Krüger, E. (2019). Outdoor thermal comfort in European urban areas: A multi-city study. *Urban Climate*, 28, 100–118. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.12.009>
- Jungels, J., Rakow, D. A., Allred, S. B. in Skelly, S. M. (2013). Attitudes and aesthetic reactions toward green roofs in the Northeastern United States. *Landscape and Urban Planning*, 117, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.04.013>
- Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J. in Bonn, A. (2017). *Nature-based solutions to climate change in urban areas*. Springer.

- Lee, J., Kang, M., Lee, S. in Lee, S. (2023). Effects of vegetation structure on psychological restoration in an urban rooftop space. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 260. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010260>
- Li, D., Bou-Zeid, E. in Oppenheimer, M. (2020). The effectiveness of urban heat mitigation strategies in a changing climate. *Nature Communications*, 11, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15709-0>
- Lin, H. in Li, X. (2025). The role of urban green spaces in mitigating the urban heat island effect: A systematic review from the perspective of types and mechanisms. *Sustainability*, 17(13), 6132. <https://doi.org/10.3390/su17136132>
- Lionar, R. (2024). A review of research on self-shading façades in warm climates. *Energy and Buildings*, 314, 114203. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114203>
- Liu, B., Guo, X. in Jiang, J. (2023). How urban morphology relates to the urban heat island effect: A multi-indicator study. *Sustainability*, 15(14), 10787. <https://doi.org/10.3390/su151410787>
- López-Montero, T., Martínez, A. H., Miró i Rovira, A., Villar Méndez, R., Miró, R., Pérez-Cabré, E. in Millán, M. S. (2024). Cool pavements for urban heat island mitigation: Surface material performance. *Land*, 13(3), 314. <https://doi.org/10.3390/land13030314>
- Mahmoud, A. H. in Gan, X. (2021). Green roofs' cooling effects in Mediterranean and continental climates: A review of recent empirical studies. *Building and Environment*, 195, 107734. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107734>
- Manso, M. in Castro-Gomes, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 863–871. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>
- MOP, Ministrstvo za okolje in prostor (2019). *Ozelenitev streh in vertikalnih površin: Priporočila*. https://www.gov.si/assets/ministrstva/MNVP/Dokumenti/Prostorski-red/Zelene_strehe.pdf
- Nazish, A., Abbas, K. in Sattar, E. (2024). Health impact of urban green spaces: A systematic review of heat-related morbidity and mortality. *BMJ Open*, 14(9), e081632. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-081632>
- Nowak, D. J., Crane, D. E. in Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4(3–4), 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>
- Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates*. Routledge.
- Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J. M. in Cabeza, L. F. (2011). Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. *Applied Energy*, 88(12), 4854–4859. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.032>
- Proutsos, N. D. in Solomou, A. D. (2025). Urban green spaces as an effective tool to regulate urban climate and biodiversity: Current research and challenges. *Land*, 14(3), 497. <https://doi.org/10.3390/land14030497>
- Salmond, J. A., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Coutts, A., Demuzere, M., Dirks, K. N., Heaviside, C., Lim, S., Macintyre, H., McInnes, R. N. in Wheeler, B. W. (2016). Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environmental Health*, 15(36), 95–11. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0103-6>
- San Jose, R. in Perez-Camanyo, J. L. (2022). Modelling effects of type of trees on urban air pollution with a computational fluid dynamics model. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 7, 381–389. <https://doi.org/10.1007/s41207-022-00321-7>
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities: A review of reflective and green roof mitigation technologies. *Solar Energy*, 103, 682–703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- Seyrek Şık, C. I. in Widera, B. (2026). Impact of vertical green façades on urban heat island mitigation and outdoor air quality. *Energy and Buildings*, 352(1), 116784. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116784>
- Shafiquzzaman, M. in Uddin, B. (2025). Evaluating permeable clay bricks for mitigating urban heat island effects and stormwater pollution. *Scientific Reports*, 15, 23450. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-08603-0>
- Shahmohammad, M., Hosseinzadeh, M., Dvorak, B., Bordbar, F., Shahmohammadmirab, H., in Aghamohammadi, N. (2022). Sustainable green roofs: a comprehensive review of influential factors. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(52), 78228–78254. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23405-x>
- Shareef, S. in Abu-Hijleh, B. (2020). The effect of building height diversity on outdoor microclimate conditions in hot climate. A case study of Dubai-UAE. *Urban Climate*, 32, 100611. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100611>
- Trenta, M., Quadri, A., Sambuco, B., Perez Garcia, C. A., Barbaresi, A., Tassinari, P. in Torreggiani, D. (2025). Green Roof Management in Mediterranean Climates: Evaluating the Performance of Native Herbaceous Plant Species and Green Manure to Increase Sustainability. *Buildings*, 15(4), 640. <https://doi.org/10.3390/buildings15040640>
- UN, United Nations (2023). Green spaces as an invaluable resource for delivering sustainable urban health. *UN Chronicle*, LX(2).
- Vijayaraghavan, K. (2016). Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 740–752. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>
- Walters, S. A. in Stoelzle Midden, K. (2018). Sustainability of urban agriculture: Vegetable production on green roofs. *Agriculture*, 8(11), 168. <https://doi.org/10.3390/agriculture8110168>
- Wang, Z., Xie, Y., Mu, M., Feng, L., Xie, N. in Cui, N. (2022). Materials to mitigate the urban heat island effect for cool pavement: A brief review. *Buildings*, 12(8), 1221. <https://doi.org/10.3390/buildings12081221>
- Ye, Z., Liu, J. in Huang, Z. (2025). Identifying the best combination of vegetation and paving materials to improve the outdoor thermal comfort in a campus courtyard. *Scientific Reports*, 15, 20602. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-05742-2>
- Yin, X., Li, H. in Zhang, Y. (2025). Urban morphology and nighttime cooling: Balancing building density and ventilation. *Journal of Urban Climate*, 20(3), 45–60. <https://doi.org/10.1007/s11356-025-03005>
- Yuan, J., Jiao, Z., Sheng, S., Bavarsad, F. S., Zhengsong, Z., Chai, J. in Kong, X. (2025). Harnessing retro-reflective materials for urban heat island mitigation: Simulation insights and future directions. *Discover Cities*, 2, 43. <https://doi.org/10.1007/s44327-025-00086-y>
- Zhou, X., Yan, X. in Zhang, F. (2017). Cooling and energy-saving effects of urban parks: A case study in China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 24, 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.03.020>

Izzivi mest pri blaženju in prilagajanju podnebnih sprememb

Lučka Kajfež Bogataj

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta

Izveček

Urbana območja so epicentri podnebnih sprememb, tako glede na vzroke kot glede na posledice. Globalna poročila, kot je šesto ocenjevalno poročilo IPCC, potrjujejo, da se svet nevarno približuje meji segrevanja, tj. 1,5 °C – rekordno vroče leto 2024 in nadaljnji trendi v letu 2025 to samo potrjujejo. Urbana območja ta kriza najbolj prizadeva in rešitve zanje so najnujnejše. Mesta, ki ustvarjajo več kot 70 odstotkov emisij na svetovni ravni in so dom več kot polovici svetovnega prebivalstva, se borijo z dvojnim izzivom: kako zmanjšati svoj ogljični odtis, hkrati pa zaščititi ranljivo prebivalstvo pred urbanimi toplotnimi otoki, poplavami, novimi boleznimi, pomanjkanjem virov in upadanjem kakovosti življenja. Ne gre več zgolj za vprašanje prihodnosti; gre za vprašanje preživetja in odpornosti mestnih skupnosti, saj so se meje prilagajanja v nekaterih regijah že začele dosegati. Ta poglavje raziskuje podnebne scenarije in vidike pričakovanih podnebnih sprememb v Sloveniji ter možne načine za ustvarjanje podnebno odporne urbane prihodnosti.

Ključne besede:

podnebne projekcije, vročinski valovi, mestne poplave, infrastruktura, zdravje

Abstract

Urban areas are the epicentres of climate change – both in terms of causes and consequences. Global reports, such as the IPCC Sixth Assessment Report, confirm that the world is dangerously approaching the 1.5 °C warming threshold – an exceptionally hot year 2024 and the continuing trends in 2025 only reinforce this warning. Urban environments are where this crisis strikes hardest and where solutions are most urgently needed. Cities, which generate more than 70% of global greenhouse gas emissions and are home to over half of the world's population, face a dual challenge: reducing their carbon footprint while at the same time protecting vulnerable populations from urban heat islands, flooding, emerging diseases, resource shortages, and declining quality of life. This is no longer merely a question of the future – it is a matter of survival and resilience of urban communities, as the limits of adaptation have already been reached in some regions. This article explores climate scenarios and the projected impacts of climate change in Slovenia, as well as potential pathways towards creating a climate-resilient urban future.

Keywords:

climate projections, heat waves, urban flooding, infrastructure, health

1 Uvod

Podnebne spremembe so ključni izziv sodobne urbane civilizacije. Mesta so središča prebivalstva, gospodarske dejavnosti in inovacij ter hkrati glavni povzročitelji emisij toplogrednih plinov in območja z največjo izpostavljenostjo posledicam spreminjajočega se podnebja (IPCC, 2023). Urbani sistemi so odgovorni za približno 70 % svetovnih izpustov CO₂, večinoma zaradi prometa, rabe energije v stavbah in industrijskih procesov (EEA, 2021).

Podnebne spremembe se v slovenskih mestih kažejo z naraščanjem povprečnih temperatur, prek učinka urbanega toplotnega otoka, s povečano pogostostjo vročinskih valov, intenzivnejšimi nalivi ter s tem povezanimi mestnimi poplavami in degradacijo infrastrukture. Močno poslabšujejo kakovost zraka v topli polovici leta. Obalna naselja ogrožajo tudi dvig morske gladine in spremljajoče posledice poplav. Ti pojavi vplivajo na zdravje prebivalcev, kakovost bivanja, energijsko porabo in prostorske vzorce razvoja. Družbenogospodarsko ranljive skupine so pri tem nesorazmerno prizadete, kar dodatno pogloblja prostorsko in okoljsko neenakost (EEA, 2017). Kako torej preoblikovati mesta, da bodo odporna, trajnostna in prijazna do ljudi? Odgovor na to vprašanje bo v veliki meri določil, kakšna bo prihodnost.

Načini reševanja teh izzivov temeljijo na načelih trajnostnega urbanizma, podnebne odpornosti in zeleno-modre infrastrukture. Trajnostni urbanizem mora ponuditi rešitve za zmanjšanje izpustov skozi energijsko učinkovite stavbe, nizkoogljični promet in obnovljive vire energije. Podnebna odpornost mest se gradi z integracijo naravnih rešitev, kot so parkovni sistemi, zeleni koridorji in urbani gozdovi, ki prispevajo k zmanjšanju urbanega toplotnega otoka in zadrževanju meteorne vode (Mukim in Roberts, 2023). Hkrati so potrebni interdisciplinarnе metode, prostorske simulacije, participativno upravljanje in raba podatkovnih tehnologij (metoda »pametno mesto«) za boljše prilagajanje mest na podnebne razmere. Ključnega pomena je povežovanje podnebnih politik z lokalnimi strategijami prostorskega razvoja, kar omogoča prehod k podnebno nevtralnim, družbeno pravičnim in ekološko stabilnim mestom.

2 Viri podatkov in podnebne projekcije

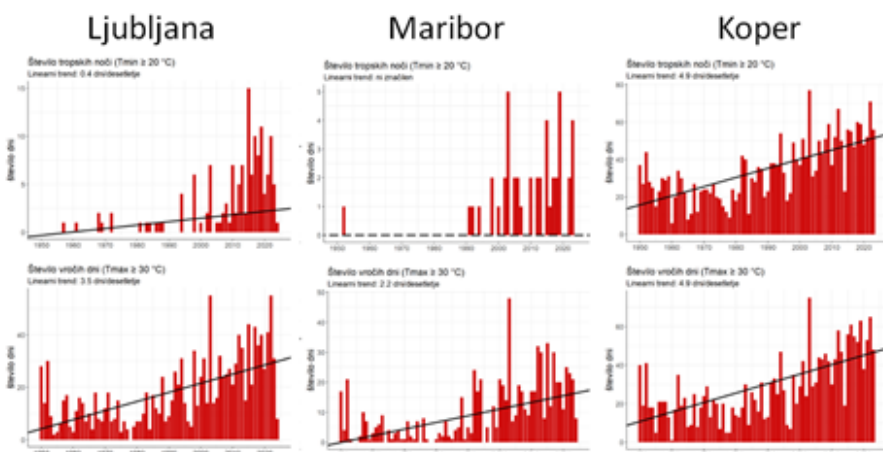
Za optimalno načrtovanje ukrepov blaženja posledic podnebnih sprememb in prilagajanja nanje v prvi fazi potrebujemo kvantitativne podnebne projekcije za glavne meteorološke spremenljivke, še zlasti projekcije temperatur in količin padavin.

V Sloveniji je projekcije sprememb temperature zraka in padavin ter ustreznih izvedenih spremenljivk pripravil ARSO v okviru projekta Ocena podnebnih sprememb za Slovenijo do konca 21. stoletja. Pričakovane spremembe spremenljivk so ocenjene za tri 30-letna obdobja (2011–2040, 2041–2070 in 2071–2100) glede na primerjalno obdobje 1981–2010. Projekcije so zasnovane za tri scenarije izpustov toplogrednih plinov, to so RCP2.6, RCP4.5 in RCP8.5. Scenarij RCP2.6 predvideva aktivno politiko blaženja podnebnih sprememb in s tem povezane zelo majhne izpuste toplogrednih plinov. Za doseg tega optimističnega scenarija bi bilo potrebno takojšnje občutno zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov. Stabilizacijski scenarij RCP4.5, ki velja za zmerno optimističnega, z začetkom druge polovice 21. stoletja predvideva postopno zmanjševanje izpustov in ustalitev sevalnega prispevka kmalu po letu 2100 pri vrednosti 4,5 W/m². »Pesimistični« scenarij, brez predvidenega blaženja podnebnih sprememb, je RCP8.5. Predvideva velik izpust toplogrednih plinov in posledično naraščanje njihove vsebnosti še po letu 2100. Predvideva veliko rabo energije, ki je posledica predvidene visoke rasti prebivalstva in počasnega tehnološkega razvoja.

Podnebne projekcije temeljijo na simulacijah regionalnih podnebnih modelov. Zaradi negotovosti podnebnih simulacij se pri izdelavi podnebnih projekcij upoštevajo simulacije več različnih modelov. Gre za ansambelske simulacije podnebja na množici dinamičnih in empirično-statističnih regionalnih podnebnih modelov v okviru EU-projekta EURO-CORDEX. Vhodni podatki so izračuni globalnih podnebnih modelov, ki so računsko zelo zahtevni. Vodoravna prostorska ločljivost modelov je od 100 do 500 km, časovna ločljivost pa šest ur. Pri preračunu rezultatov globalnih modelov na lokalno raven z regionalnimi podnebnimi modeli pridobimo boljše prostorsko ločljivost od 10 do 50 km. Regionalni modeli upoštevajo kroženje zraka v gorah in medsebojno vplivanje kopnega in morja, zato simulirajo podrobnejše značilnosti regionalnega in lokalnega podnebja (Jacob idr., 2014).

Temperatura zraka v Sloveniji bo v 21. stoletju naraščala, velikost dviga pa je zelo odvisna od scenarija. V primeru optimističnega scenarija izpustov (RCP2.6) bo temperatura do konca stoletja v primerjavi z obdobjem 1981–2010 zrasla za približno 1,3 °C, v primeru zmerno optimističnega scenarija izpustov (RCP4.5) za približno 2 °C, v primeru pesimističnega scenarija (RCP8.5) pa za približno 4,1 °C. Vse spremembe temperature imajo visoko stopnjo zanesljivosti (Bertalanč idr., 2018). Naraščanje temperature je prostorsko enakomerno, razlike pa so po letnih časih. V severni in vzhodni Sloveniji bo temperatura pozimi naraščala hitreje od letnega povprečja. Dvig temperature bo močno povečal toplotno obremenitev, še zlasti v grajenem okolju. Že zdaj v slovenskih mestih opažamo naraščanje števila tropskih noči, ko temperatura zraka ponoči ne pade pod 20 °C, in vročih dni (slika 1).

Analiza izvedenih temperaturnih kazalnikov kaže, da bodo spremembe povprečnih razmer spremljale tudi spremembe ekstremov. Obeta se nam veliko večje število vročih dni, ko najvišja temperatura zraka preseže 30 °C, kot doslej (preglednica 1). Pri zmerno optimističnem scenariju za približno 11 dni, v primeru pesimističnega scenarija izpustov pa za 27 dni v slovenskem povprečju. V vseh scenarijih se poveča število in trajanje vročinskih valov. V primeru zmerno optimističnega scenarija izpustov bomo imeli konec stoletja povprečno vsaj en vročinski val letno, ki bo po jakosti primerljiv z vročinskim valom, ki smo ga imeli poleti 2003, ali hujši. Vroči dnevi se bodo pojavljali tudi na večjih nadmorskih višinah, na meji visokogorja. Število hladnih (dnevna najnižja temperatura pod 0 °C) in ledenih (dnevna najvišja temperatura ne preseže 0 °C) se bo precej zmanjšalo, še zlasti v visokogorju.



Slika 1: Naraščanje števila tropskih noči (zgoraj) in vročih dni (spodaj) v obdobju 1950–2024

Preglednica 1: Razpon projekcij temperaturnih razmer poleti za nižinski del osrednje Slovenije glede na obdobje 1981–2010 za različne scenarije

Obdobje	Sprememba povprečne Tmaks poleti	Sprememba letnega števila vročinskih valov	Sprememba letnega števila vročih dni
2041–2070	od +1,0 do +2,6 °C	od +1,5 do +3,9 vala	od +8 do +22 dni
2071–2100	od +2,6 do +5,0 °C	od +3,5 do +6,4 vala	od +20 do +45 dni

V nasprotju s scenariji za temperaturo so za Slovenijo scenariji za spremembe padavin manj zanesljivi, saj so te časovno in prostorsko bolj raznolike. Optimistični scenarij izpustov na letni ravni v nobenem obdobju ne predvideva statistično značilnih sprememb. V primeru zmerno optimističnega scenarija izpustov (RCP4.5) višina padavin vseskozi raste, v začetnem obdobju so spremembe na letni ravni zelo majhne, vendar se signal z odmikom v prihodnost stopnjuje. Pesimistični scenarij izpustov (RCP8.5) sprva predvideva naraščanje padavin po vsej državi, v drugi polovici 21. stoletja pa so napovedi negotove. Z izjemo poletja je v drugih letnih časih ob koncu stoletja predvidena večja količina padavin, zlasti pozimi.

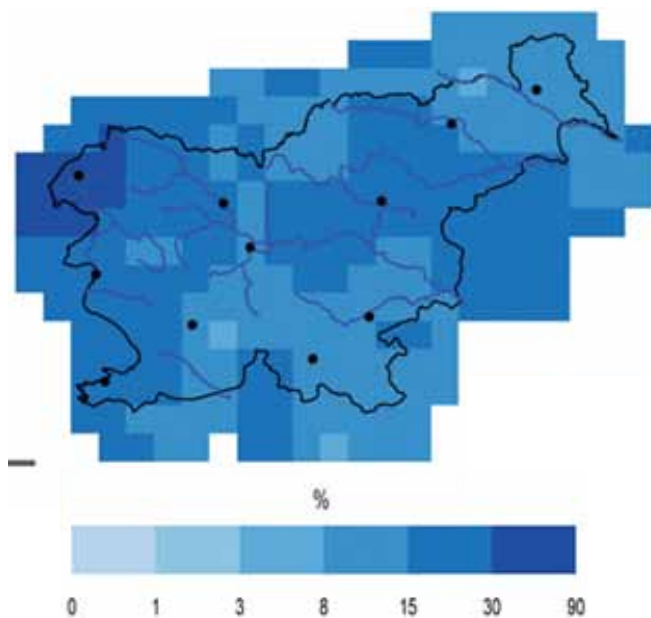
Jakost in pogostost izjemnih padavin se bosta povečali, najbolj po pesimističnem scenariju (RCP8.5). Za razmere v mestih so zelo pomembni nalivi in ekstremne količine padavin, saj taki dogodki lahko vodijo v mestne poplave. Dnevi s srednje intenzivnimi dnevnimi padavinami (več kot 10 mm), ki so danes precej pogosti na alpsko-dinarski pregradi, bodo na vzhodu pogostejši. Dnevi z obilnejšimi padavinami (nad 20 mm), ki se danes v večini Slovenije ne pojavljajo pogosto, bodo po zmerno optimističnem scenariju (RCP4.5) pogostejši že sredi stoletja, do konca stoletja pa se bo povečanje še stopnjevalo. Spremembe so statistično zanesljive najprej na vzhodu Slovenije, do konca stoletja pa po vsej državi, z izjemo alpsko-dinarske pregrade. Povečanje takšnih dni bo najizrazitejše jeseni in pozimi. Še večje spremembe so predvidene za pesimistični scenarij (RCP8.5), ko se bo število takšnih dni povečalo sredi in konec stoletja v vseh nižinskih območjih države. Možno povečanje največje dnevne količine padavin do konca stoletja je prostorsko prikazano na sliki 2 in ocenjeno v preglednici 2.

Preglednica 2: Povečanje (v odstotkih) največje dnevne višine padavin v sredini in ob koncu stoletja v primerjavi z največjo dnevno višino padavin v obdobju 1981–2010, razpon različnih scenarijev

Obdobje	Sprememba najvišje dnevne višine padavin
2041–2070	od +13 do +20 %
2071–2100	od +14 do +37 %

3 Pričakovani vplivi višjih temperatur zraka, močnejših nalivov in drugih tveganj na urbano okolje

Zelo pomembni so vplivi podnebnih sprememb na delovanje in vzdržljivost infrastrukture. Ob pregrevanju mest in povečanem številu ekstremnih padavinskih dogodkov za ključne infrastrukturne podsisteme – prometni, energijski, vodovodni in stavbni – velja znatno tveganje za zanesljivost, varnost in dolgoročno vzdržnost (EEA, 2020; IPCC, 2023).



Slika 2: Povečanje (v odstotkih) največje dnevne višine padavin ob koncu stoletja (2071–2100) v primerjavi z največjo dnevno padavin v obdobju 1981–2010, če se bodo izpusti toplogrednih plinov še povečevali

povečujejo porabo vode, kar povečuje hidravlični pritisk v omrežjih ter s tem možnost poškodb na cevovodih in črpalkah. Zaradi temperaturnih nihanj se materiali cevi raztezajo in krčijo, kar lahko vodi do razpok, puščanj in lokalnih motenj v oskrbi. Visoke temperature lahko vplivajo tudi na kakovost vode, saj spodbujajo mikrobiološko rast v distribucijskih sistemih.

Stavbni fond in grajeno okolje so prav tako občutljivi na toplotne obremenitve. Strehe, fasade in zunanje površine vpijajo sončno sevanje, kar povzroča pregrevanje notranjih prostorov ter večjo rabo energije za hlajenje. Toplotni stres vpliva tudi na gradbene materiale, predvsem beton in jeklo, kar lahko povzroča razpoke,

Eden najizrazitejših učinkov visokih temperatur se kaže na cestnih površinah. Asfalt pri povišanih temperaturah izgublja trdnost, kar vodi do mehčanja in deformacij površine. Podobne težave so zaznane pri železniški infrastrukturi, kjer se jekleni tiri zaradi toplotne ekspanzije raztezajo in ukrivljajo, kar povečuje tveganje iztirjenja ter zahteva omejevanje hitrosti vlakov v poletnih mesecih. Vročinski stres dodatno vpliva na prometna sredstva – zlasti na pnevmatike in motorne sisteme –, saj pospešuje njihovo obrabo ter povečuje verjetnost okvar.

Energijski sistemi so med najbolj občutljivimi na temperaturne ekstreme. Povišane temperature zmanjšujejo učinkovitost transformatorjev, daljnovodov in kablov, kar zmanjšuje prenosno zmogljivost električnega omrežja in povečuje možnost preobremenitev. Hkrati vročinski valovi povzročajo izrazit porast povpraševanja po električni energiji, predvsem zaradi delovanja klimatskih naprav in hladilnih sistemov. Kombinacija povečanega povpraševanja in zmanjšane učinkovitosti lahko vodi do izpadov električne energije

Tudi vodovodni sistemi so podvrženi vplivom podnebnih sprememb (Hoekstra idr., 2018). Vročinski valovi in sušna obdobja

Preglednica 3: Nekateri vplivi višjih temperatur zraka, močnejših nalivov in drugih tveganj na infrastrukturo, ekosisteme in ljudi v urbanem okolju

Ekstremni dogodek	Vpliv na infrastrukturo	Vpliv na ljudi	Vpliv na živali	Vpliv na ekosisteme
Vročinski valovi	Mehčanje asfalta, deformacije cest, ukrivljanje železniških tirov, obraba vozil; zmanjšana učinkovitost transformatorjev in kablov; povečana raba energije za hlajenje stavb	Toplotni stres, dehidracija, poslabšanje kroničnih bolezni, povečano onesnaženje zraka z ozonom, več hospitalizacij, psihofizična obremenitev	Omejen dostop do vode in hrane, vročinski stres, zmanjšani produktivnost, reprodukcija in preživetje	Toplotni stres rastlin, zmanjšana biotska raznovrstnost, upočasnjena fotosinteza in rast
Poplave in neurja	Neprevozne ceste, erozija temeljev cest in mostov, poškodbe podzemnih kablov, črpališč, kanalizacijskih in vodovodnih sistemov, poškodbe stavb in javnih objektov	Onesnaženje pitne vode, širjenje bolezni, motnje oskrbe, psihični stres, evakuacije	Izguba habitata, moten dostop do hrane, ogrožena preživetja urbanih živali	Degradacija tal, erozija, izguba biotske raznovrstnosti, poškodba vodnih in parkovnih habitatov
Suša in požari	Otežena preskrba z vodo, zapora transportnih poti	Pomanjkanje pitne vode, izpostavljenost dimu in toksinom, težave v turizmu, energetiki	Izguba habitata, moten dostop do vode, povečana smrtnost, migracije	Izguba biotske raznovrstnosti, poškodba gozdnih habitatov, pojav tujerodnih vrst

deformacije ter zmanjšano statično stabilnost objektov. Dolgotrajna izpostavljenost toplotnim valovom vodi k hitrejši degradaciji materialov in zmanjšanju energijske učinkovitosti stavb.

Ekstremne padavine in poplave tveganju dodajajo še eno dimenzijo. Poplavljenе ceste motijo oskrbo, delo nujnih služb in gospodarske aktivnosti. Dolgotrajna izpostavljenost povzroča erozijo cestnih temeljev ter poškodbe mostov in tunelov in s tem strukturne okvare (EEA, 2021). Podobno so prizadeta energijska omrežja – transformatorske postaje, podzemni kabli in fotonapetostne naprave. V sistemih vodovoda in kanalizacije so zlasti ranljivi mešani sistemi, kjer se fekalne vode in padavinska voda združujejo. Ob preobremenitvah pride do izlita in onesnaženja pitne vode, kar povzroči resno zdravstveno tveganje. Poplave pogosto poškodujejo tudi črpališča in čistilne naprave, kar zahteva dolgotrajna popravila ter obremenjuje občinske proračune.

Stavbe in podzemni objekti, kot so garaže, metroji ali skladišča, so izpostavljeni neposrednim poškodbam zaradi poplav, vključno z degradacijo temeljev, korozijo kovinskih konstrukcij in razvojem plesni. Tako imenovana kritična infrastruktura – bolnišnice, šole, policijske in gasilske postaje – se ob tem spoprijema z velikim tveganjem motenj v delovanju, saj so lahko hkrati motene logistične verige hrane, zdravil in osnovnih dobrin.

5 Vpliv podnebnih ekstremov na zdravje in dobrobit ljudi

Podnebne spremembe, zlasti v obliki vročinskih valov in poplav, imajo izrazite in večplastne posledice za zdravje in dobrobit prebivalcev (Pogačar idr., 2016). Učinki teh pojavov so fiziološki, psihični in družbeni ter pogosto nesorazmerno prizadenejo ranljive skupine, kot so starejši, otroci, kronični bolniki in revnejši prebivalci (WHO, 2025; IPCC, 2023).

Vročinski valovi povzročajo toplotni stres, ki lahko vodi v toplotni udar, dehidracijo, izčrpanost ter poslabšanje kroničnih srčno-žilnih, respiratornih in ledvičnih bolezni. Epidemiološke raziskave kažejo, da se smrtnost med vročinskimi valovi poveča za 10–20 %, pri čemer je najbolj prizadeto mestno prebivalstvo. Izpostavljenost dolgotrajnim vročinskimi obdobjem lahko vodi v pojav anksioznosti, nespečnosti, razdražljivosti in depresivnih simptomov. Visoke temperature ponoči zmanjšujejo kakovost spanja in regeneracijo organizma, kar vpliva na delovno učinkovitost. Pomanjkanje dostopa do hlajenja in energijska revščina povečujeta neenakost med prebivalstvom.

Poplave povzročajo neposredne in posredne zdravstvene učinke. Neposredne posledice vključujejo utopitve, poškodbe in okužbe, povezane z onesnaženo vodo in poškodovano infrastrukturo. Posredni vplivi se kažejo v širjenju nalezljivih bolezni, onesnaženju pitne vode, motnjah v delovanju zdravstvenih sistemov. Izguba doma, materialna škoda, selitve in negotovost povečujejo tveganje nastanka depresije. Podnebni ekstremi vplivajo tudi na delovanje zdravstvenih sistemov. Povečan pritisk na urgentne službe, prekinitve dobav zdravil, izpadi električne energije in motnje v komunikacijskih omrežjih zmanjšujejo učinkovitost odziva na krizne razmere.

6 Sklep

Podnebne spremembe so kompleksen in večplasten izziv sodobne urbanizirane družbe. Mesta so tudi glavni povzročitelji emisij toplogrednih plinov in območja največje izpostavljenosti njihovim posledicam, saj s spremenjeno mikroklimo ustvarjajo razmere, v katerih se učinki podnebnih ekstremov medsebojno krepijo. Infrastrukturni sistemi, od prometnih omrežij do energetske in vodovodnih sistemov, so v vročinskih obdobjih in med poplavami izpostavljeni mehanskim, toplotnim ter strukturnim obremenitvam, ki zmanjšujejo njihovo učinkovitost in življenjsko dobo. Posledično se povečuje ranljivost mestnih funkcij, kar vpliva na gospodarstvo, mobilnost in kakovost bivanja.

Na ravni prebivalstva se podnebni ekstremi odražajo v povečanem zdravstvenem tveganju. Posledice podnebnih sprememb razkrivajo sistemsko ranljivost javnozdravstvenih struktur, ki se pogosto spoprijemajo z omejenimi zmogljivostmi in pomanjkanjem krizne pripravljenosti. Vročinski stres, izguba habitatov in spremembe vodnega režima vplivajo na biodiverzitetu, delovanje ekosistemov in sposobnost naravnih sistemov za uravnavanje mikroklimе ter zadrževanje vode v urbanem okolju.

Reševanje teh izzivov zahteva celostno in interdisciplinarno upravljanje mest, ki povezuje prostorsko načrtovanje, energetiko, okoljske politike in javno zdravje. Koncepti, kot so zelena in modra infrastruktura, naravne rešitve, krožno gospodarstvo in trajnostna mobilnost, ponujajo okvir za prilagoditev mest na podnebne spremembe. Hkrati je ključno razvijati lokalno prilagojene strategije, ki temeljijo na podatkih, participaciji skupnosti in vključevanju ranljivih skupin. Potrebujemo tudi raziskave sinergijskih učinkov med vročinskimi valovi, poplavami in drugimi podnebnimi pojavi, izboljšanje modelov za napovedovanje tveganj ter razvoj orodij za oceno socialne in zdravstvene ranljivosti, saj podnebna odpornost ni le tehnični, temveč tudi družbeni in etični izziv. Nova paradigma urbanega razvoja zahteva povezovanje naravoslovnih, družboslovnih in tehničnih ved ter prepoznavanje soodvisnosti med človekom, okoljem in tehnologijo. Le tako bodo mesta prostor, kjer podnebna odpornost ni izredni odziv, temveč temeljni del trajnostnega načina življenja.

Viri in literatura

- Bertalančič, R., Dolinar, M., Draksler, A., Honzak, L., Kobold, M., Kozjek, K., Lokošek, N., Medved, A., Vertačnik, G., Vlahovič, Ž. in Žust, A. (2018). *Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja*. Sintezno poročilo – prvi del. MOP, ARSO, Ljubljana.
- EEA (2017). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016: An indicator-based report*. Office for Official Publications of the European Union, Luxembourg.
- EEA, European Environment Agency (2020). *Urban adaptation in Europe: How cities and towns respond to climate change*. EEA Report No 12/2020.
- Hoekstra, A. Y., Buurman, J. in van Ginkel K. C. H. (2018). Urban Water Security: A Review. *Environmental Research Letters*, 13(5), 053002.
- IPCC (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 35–115.
- Jacob, D. idr. (2014). EURO-CORDEX. New high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2), 563–578.
- Mukim, M. in Roberts, M. (ur.) (2023). *Thriving : Making Cities Green, Resilient, and Inclusive in a Changing Climate*. World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/38295>
- Pogačar, T., Zalar, P., in Kajfež Bogataj, L. (2016). Vročinski valovi v povezavi z zdravjem in produktivnostjo. *Ujma*, 30, 151–160. <https://ojs-gr.zrc-sazu.si/ujma/article/view/8532/7972>
- Romanello, M. idr. (2021). The 2021 Report of the Lancet Countdown on Health and Climate Change: Code Red for a Healthy Future. *The Lancet*, 398(10311) 1619–1662. [https://www.thelancet.com/article/S0140-6736\(21\)01787-6/fulltext](https://www.thelancet.com/article/S0140-6736(21)01787-6/fulltext)
- WHO (2025). *Mapping climate change and health indicators*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240112346>

**Zdravstveni
vidiki
urbanega
okolja**

Mikroklima kot dejavnik tveganja za zdravje ljudi

Rok Fink

Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta

Izveček

Mikroklima pomembno vpliva na delovanje človeškega telesa in njegovo sposobnost ohranjanja stabilne notranje temperature. Toplotne obremenitve zahtevajo aktivacijo termoregulacijskih mehanizmov, kot so znojenje, širjenje žil in spremembe metabolizma. Spremljanje mikroklimatskih razmer je ključno za preprečevanje toplotnega stresa, zlasti pri ranljivih skupinah, kot so starostniki, otroci, bolniki, delavci in športniki. Za oceno toplotnega ugodja in tveganj se uporabljajo različni kazalniki in adaptivni modeli. Ti omogočajo boljše razumevanje vpliva okolja na človeka ter pomagajo pri načrtovanju zdravih bivalnih in delovnih razmer. Zaradi podnebnih sprememb se povečuje pogostost in intenzivnost vročinskih valov, zato je nujno razvijati preventivne ukrepe, spodbujati aklimatizacijo in izboljševati bivalne razmere za zaščito zdravja in varnosti prebivalstva. Poglavje obravnava pomen mikroklimе za zdravje ljudi, termoregulacijo človeškega telesa, parametre za oceno toplotnega odziva človeka ter ranljive skupine ljudi za toplotno obremenitev.

Ključne besede:

mikroklima, toplotni stres, termoregulacija, aklimatizacija, ranljive skupine

Abstract

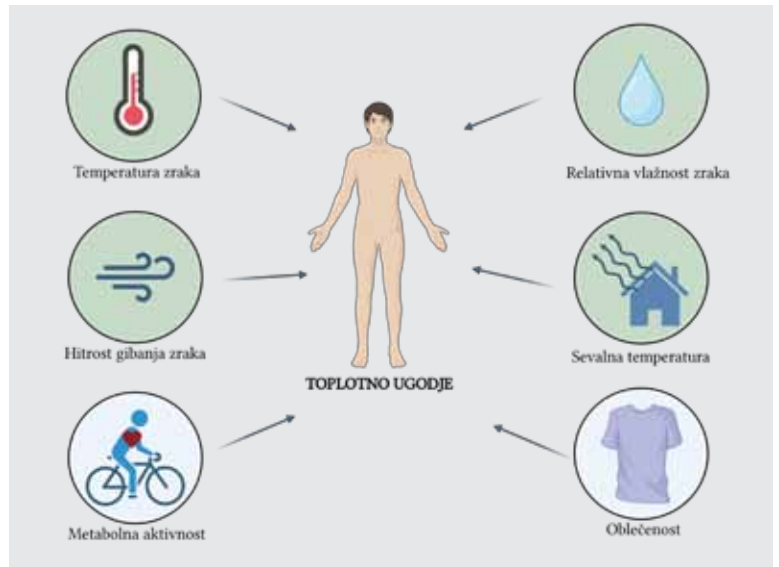
The thermal environment significantly affects human physiological functioning and the ability to maintain a stable internal temperature. Thermal loads require the activation of thermoregulatory mechanisms such as sweating, vasodilation, and metabolic adjustments. Monitoring microclimatic conditions is crucial for preventing heat stress, particularly among vulnerable groups such as the elderly, children, patients, workers, and athletes. Various indicators and adaptive models are used to assess thermal comfort and risk. These tools improve understanding of environmental impacts on humans and support the design of healthy living and working environments. Due to climate change, the frequency of heatwaves is increasing, making it essential to develop preventive measures, promote acclimatisation, and improve living conditions to protect public health and safety. This chapter discusses the importance of microclimate for human health, thermoregulation of the human body, parameters for assessing human thermal response, and groups vulnerable to heat stress.

Keywords:

microclimate, heat stress, thermoregulation, acclimatisation, vulnerable groups

1 Uvod

Mikroklima močno vpliva na delovanje človeškega telesa in njegovo sposobnost ohranjanja stabilne notranje temperature. Temperaturna obremenitev za telo je vsaka sprememba okolja, ki zahteva prilagoditev termoregulacijskih mehanizmov, kot so znojenje, širjenje ali zoženje krvnih žil in prilagoditve metabolizma (Parsons, 2007). Spremljanje toplotne obremenitve je zato ključnega pomena, saj omogoča oceno tveganja pregrevanja, preprečevanje poškodb in ohranjanje učinkovitosti telesne dejavnosti. Posebej ranljive skupine so športniki zaradi intenzivne fizične aktivnosti in opreme, starostniki in majhni otroci zaradi zmanjšane termoregulacije ter ranljive socialnoekonomske skupine, kot so migranti, begunci ali brezdomci, zaradi neustreznih bivalnih razmer, omejenega dostopa do vode in zdravstvene oskrbe. Na tveganje zaradi toplotne obremenitve močno vplivajo tudi grajena in urbana okolja, saj neustrezna toplotna izolacija, slabo prezračevanje, pregrevanje stavb in urbani toplotni otoki povečujejo izpostavljenost visoki toplotni obremenitvi (Yao, 2024). Poleg tega podnebne spremembe na svetovni ravni prinašajo več vročinskih valov in ekstremnih vremenskih pojavov, kar še dodatno povečuje nevarnost pregrevanja in izpostavlja ranljive skupine večjemu tveganju (Ryan idr., 2024). Razumevanje interakcije med mikroklimo, fiziološkim odzivom telesa, bivalnim okoljem in ranljivostjo posameznih skupin je zato ključno za preprečevanje toplotnega stresa ter zagotavljanje varnosti ljudi v spreminjajočem se podnebj.



Slika 1: Vplivni parametri toplotnega ugodja človeka (Created in BioRender. Fink, R. (2025) <https://BioRender.com/bw34pub>)

2 Mikroklima in pomen za zdravje

Toplotno okolje človeka opisujemo z osnovnimi mikroklimatskimi parametri, kot so temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, hitrost gibanja zraka in sevalna temperatura. Temperatura zraka pomeni povprečno kinetično energijo gibanja molekul na določenem prostoru. V mirujočem zraku se molekule gibljejo enako pogosto v vse smeri. Če je gibanje molekul v eno smer nekoliko pogostejše, se to na makroskopski ravni kaže kot premikanje zraka v določeno smer, kar imenujemo hitrost gibanja zraka. Relativna vlažnost zraka pa je razmerje med dejanskim in nasičenim parnim tlakom pri trenutni temperaturi. Sevalna temperatura je povprečna temperatura površin, ki omejujejo bivalni prostor (Skok, 2023).

Na zaznavo toplotnega okolja poleg fizikalnih parametrov vpliva tudi vedenje posameznika, kar vključuje stopnjo oblečenosti in metabolizem oziroma fizično aktivnost. Mikroklima skupaj z vedenjem ljudi tvori tako imenovano toplotno ugodje, ki je subjektivni občutek zadovoljstva s toplotnim okoljem osebe v nekem prostoru (slika 1). Vsak odklon od idealnih razmer toplotnega okolja povzroča nezadovoljstvo, večji odkloni pa lahko pomenijo tudi tveganje za zdravje (Tochihara, 2025).

Mikroklimatske razmere so neločljivo povezane s človekovim obstojem, vedenjem in delovanjem. Na primer, vrsta oblečil, zasnova stavb, cikli spanja in budnosti ter potek vsakodnevnih dejavnosti so pod vplivom mikroklimе. Globalno segrevanje bo v prihodnosti še bolj vplivalo na tiste, ki opravljajo fizično delo na prostem, kot so delavci, kmetje, vojaško osebje in gasilci. Nekatere poklicne skupine, kot so vojaki in gasilci, so dodatno izpostavljene toplotni obremenitvi zaradi oblečenosti in osebne varovalne opreme ter fizičnega napora (Ioanou idr., 2022).

Tudi športne dejavnosti na prostem, zlasti tiste, ki zahtevajo visoko intenzivnost in daljše trajanje, bodo zaradi globalnega segrevanja otežene. Nastajanje metabolične toplote se med intenzivno telesno dejavnostjo lahko poveča za več kot desetkrat, kar lahko preseže sposobnost telesa za odvajanje toplote in povzroči njeno kopičenje v telesu (Pantavou idr., 2025).

3 Fiziološki odziv človeka na toplotno okolje

Termoregulacija človeka je proces, s katerim telo vzdržuje notranjo temperaturo v ozkem optimalnem območju približno 36,5–37,5 °C kljub spremembam temperature okolja ali telesni aktivnosti. To je ključni mehanizem homeostaze, ki omogoča pravilno delovanje encimov, metabolizma in organov. Glavni regulator termoregulacije je hipotalamus, ki prejema informacije iz termoreceptorjev v koži in notranjih organih ter sproži odzive za uravnavanje toplote (Parsons, 2007).

Telo toploto izgublja na več načinov: s prevodnostjo, konvekcijo, sevanjem in izhlapevanjem (slika 2). Pri povišanih temperaturah ali intenzivni telesni aktivnosti izhlapevanje znoja postane glavni mehanizem hlajenja, pri visoki vlažnosti pa je manj učinkovito. Če je telo izpostavljeno mrazu ali povečanemu toplotnemu stresu, se aktivirajo mehanizmi za nastajanje toplote in zmanjšanje izgube toplote. Sem spadajo termogeneza v mišicah in rjavi maščobi, povečanje metabolizma pod vplivom hormonov ter vazokonstrikcija, ki zmanjšuje izgubo toplote skozi kožo. Pri visokih temperaturah se žile na površini kože širijo (vazodilatacija) in sproži se znojenje, da se poveča izguba toplote (Luo, 2019).

Pri toplotni obremenitvi se telesna temperatura lahko zviša, kar zaznajo receptorji, občutljivi na spremembe temperature v koži, mišicah, prebavilih ter v delih osrednjega živčnega sistema in v sprednjem delu hipotalamusa. Ti receptorji pošiljajo signale po živčnem sistemu v hipotalamus, kjer se spremlja tudi razmerje med natrijevimi in kalcijevimi ioni. Ko temperatura preseže nastavljeno mejno vrednost, se prek simpatičnega živčnega sistema uravnava krvni obtok v posameznih delih telesa. To razširi žilje v koži, s čimer se poveča pretok krvi skozi kožo in po potrebi sproži potenje. Tako se omogoči učinkovitejše oddajanje toplote in ohranjanje normalne telesne temperature. Ker srce ne more oskrbovati vseh organov hkrati, živčni in hormonski sistem uravnava razporeditev krvi med njimi glede na trenutne potrebe.

Med telesno dejavnostjo sprva pride do simpatične vazokonstrikcije, kar omogoča, da kri priteka predvsem v aktivne mišice. Če je treba odvajati toploto, se pretok krvi skozi kožo poveča. Pri dolgotrajnem delu v vročini se zaradi razširitve kožnih žil zmanjša volumen krvi v osrednjem obtoku, utripni volumen srca pade, zato se mora srčni utrip povečati, da ohrani zadosten pretok krvi. Poleg tega se s potenjem izgublja voda, kar dodatno zmanjšuje učinkovitost krvnega obtoka (Cramer idr., 2022).

Znojne žleze spodbuja delovanje holinergičnih simpatičnih živcev, ki izločajo znoj na površino kože. Običajna hitrost potenja je približno en liter na uro, pri čemer telo z vsakim litrom izhlapele tekočine izgubi približno 675 vatov toplote na uro. Velike izgube znoja zmanjšajo količino vode v telesu in s tem učinkovitost uravnavanja temperature. S potenjem se izgublja tudi natrijev klorid, približno 4 g na liter (pri aklimatiziranih ljudeh približno 1 g). Ker običajna prehrana vsebuje 8–14 g soli na dan, dodatki soli običajno niso potrebni, razen če je izguba zelo velika. S potenjem se izgublja tudi kalij, vendar ga večina ljudi z običajno prehrano, zlasti s sadjem in zelenjavo, nadomesti brez težav (Tochihara, 2025).

Fiziološki odziv telesa na kopičenje toplote se začne z razširitvijo žil, ki zviša temperaturo kože, sledi močno potenje. Del znoja se sicer odstrani s kože in ne pripomore k hlajenju, a pomeni pomembno izgubo vode. Če se jedrna telesna temperatura še naprej zvišuje in je koža povsem omočena, lahko pride do pojave, imenovanega hidromeioza – zmanjšanje potenja zaradi otekline in zapore znojnih žlez v vlažnih razmerah. Zaradi zmanjšanega potenja se telesna temperatura lahko hitro dvigne nad 38–39 °C, kar lahko povzroči omedlevico, pri temperaturah nad 41 °C (jedro telesa) pa lahko nastopi toplotni udar. Ta se kaže kot zmedenost, spremembe vedenja, odpoved uravnavanja temperature v možganih in prenehanje potenja, kar lahko privede do smrti zaradi denaturacije telesnih beljakovin (Luo, 2019).

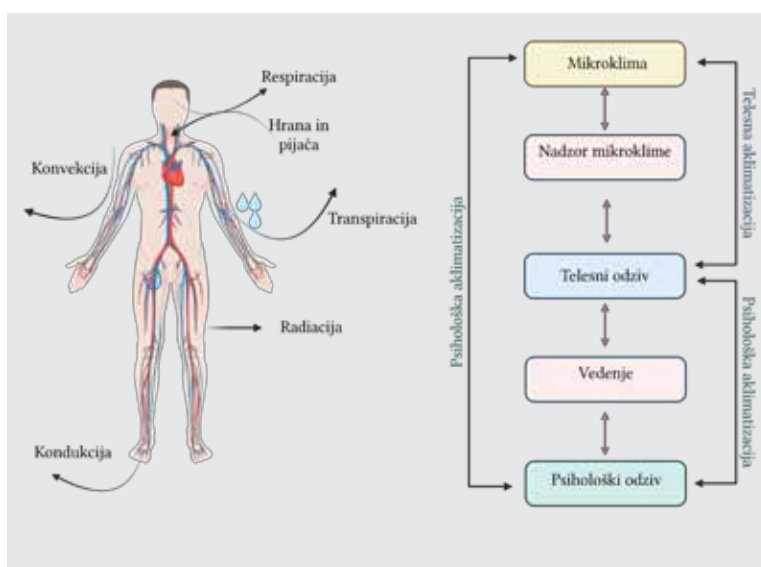
Ljudje, ki niso prilagojeni na vroče okolje, lahko sprva doživljajo precejšen stres, vendar se po nekaj dneh njihova odpornost proti vročini občutno poveča. To se zgodi zaradi vedenjskih sprememb, kot so zmanjšanje telesne aktivnosti, prilagoditev oblačil in prehrane, ter zaradi fizioloških sprememb v telesu. Aklimatizacija pomeni pomembne fiziološke prilagoditve, ki se razvijejo po daljši izpostavljenosti vročini. Glavni učinek je »urjenje« znojnih žlez, da proizvajajo več znoja. Tako telo učinkoviteje uravnava notranjo temperaturo in srčni utrip, saj povečano potenje omogoča večje izhlapevanje in s tem boljše odvajanje toplote (Chong in Zhu, 2017). Med drugimi fiziološkimi spremembami, povezanimi z aklimatizacijo, so povečanje pretoka krvi, znižanje notranje

telesne temperature ter zmanjšanje vsebnosti natrijevega klorida v znoju in urinu. Raziskave so pokazale, da je stopnja aklimatizacije neposredno povezana z višino in trajanjem vsakodnevnega povišanja telesne temperature; bolj se telo postopno in varno segreva, učinkoviteje se prilagodi na vročinske razmere. Poleg vedenjske in telesne aklimatizacije se telo na spremenjene toplotne razmere prilagaja tudi psihološko. Razlaga tako imenovanega toplotnega pričakovanja temelji na prepričanju, da ljudje oblikujejo svoja pričakovanja glede toplotnega okolja na podlagi preteklih izkušenj (slika 2). Če so dlje časa izpostavljeni neudobnim, toplotno neugodnim razmeram, sčasoma znižajo svoja pričakovanja in zahteve glede ugodja. Nasprotno pa ljudje, ki dalj časa živijo v prijetnem, udobnem toplotnem okolju, postopoma zvišujejo svoja merila. Posledično imajo tudi višja pričakovanja glede toplotnega ugodja v okolju, v katerem so (Qian in Liu, 2025; Tavakoli idr., 2022).

4 Parametri za oceno fiziološkega odziva na toplotno okolje

Odziv telesa na toplotno okolje je vedno posledica sočasnega delovanja več parametrov, zato običajno posamezne fizikalne parametre združujemo v indekse, ki omogočajo natančnejšo in realnejšo oceno odziva:

Indeks PMV oziroma indeks napovedane ocene toplotnega okolja (angl. Predicted Mean Vote) napove povprečno subjektivno oceno skupine ljudi o toplotnem ugodju na sedemstopenjski lestvici (+3 zelo vroče, 0 nevtralnno, -3 zelo mrzlo). Indeks združuje parametre temperature zraka, relativne vlažnosti zraka, hitrosti gibanja zraka, sevalne temperature, metabolizma telesa in oblečenosti. Medtem PPD (angl. Predicted Percentage of Dissatisfied) oziroma napovedani delež nezadovoljnih pove, kolikšen delež ljudi bo v določenem okolju nezadovoljnih s toplotnimi razmerami (pretoplo ali prehladno), tudi če je povprečje (PMV) blizu 0. Ker temelji na natančno definiranih enačbah, omogoča objektivno in ponovljivo oceno toplotnih razmer.



Slika 2: Fiziološki odziv telesa na toplotno okolje in prilagajanje spremembam mikroklimе (Created in BioRender, Fink, R. (2025) <https://BioRender.com/96meh48>)

Dodatna prednost je, da sta kazalnika standardizirana, kar omogoča primerjavo rezultatov med različnimi stavbami in lokacijami. PMV-PPD model dobro opisuje povprečni občutek večjih skupin ljudi v klimatiziranih in kontroliranih notranjih okoljih, kar je zelo uporabno pri načrtovanju pisarn, šol, bolnišnic in podobnih prostorov. Poleg tega PPD neposredno pove, kolikšen delež ljudi bo kljub optimalnim razmeram še vedno nezadovoljen, kar je dragocen podatek pri projektiranju udobnega bivalnega okolja. Ključna pomanjkljivost modela je, da velja predvsem za stabilne toplotne razmere, torej za okolje, v katerem so razmere v prostoru in toplotno ravnovesje telesa stalni.

Model ne daje zanesljivih rezultatov v nestabilnih ali prehodnih okoljih, na primer pri prehodu iz zunanega vročega okolja v klimatiziran prostor. Prav tako ni primeren za naravno prezračevane stavbe, kjer imajo uporabniki možnost prilagajanja, saj se v teh primerih ljudje pogosto počutijo udobno tudi pri širšem razponu temperatur. Model je tudi manj zanesljiv pri ekstremnih temperaturah in ne upošteva individualnih razlik med ljudmi, kot so spol, starost, telesna konstitucija ali stopnja aklimatizacije (Parsons, 2007).

Indeks WBGT (angl. Wet Bulb Globe Temperature) je kazalnik, ki se uporablja za oceno toplotne obremenitve človeka v zunanjem ali notranjem okolju, zlasti v delovnih in športnih razmerah. Namenjen je oceni tveganja toplotnega stresa, torej za pregrevanje telesa pri delu ali telesni aktivnosti v vročem okolju. Indeks vključuje parametre temperature zraka, relativne vlažnosti in sevalne temperature. Njegova glavna prednost je, da preprosto in hitro oceni toplotno obremenitev človeka, saj upošteva temperaturo zraka, vlažnost in sevanje sonca. Uporablja se lahko tako v zunanjih kot notranjih okoljih ter je zelo koristen pri varstvu pri delu, športu in vojski, kjer pomaga preprečevati pregrevanje in toplotne udare. Pomanjkljivost indeksa je, da ne upošteva vseh fizioloških dejavnikov, kot so presnovna aktivnost, oblačila ali individualne razlike med ljudmi (Brimiconde idr., 2023).

Univerzalni toplotni podnebni indeks (angl. Universal Thermal Climate Index – UTCI) je ekvivalentna temperatura (°C) in je merilo fiziološkega odziva človeka na toplotno okolje. UTCI opisuje celovite toplotne izmenjave med človekovim telesom in okoljem, torej energijsko bilanco, fiziološke procese in vpliv oblačil. Pri tem upošteva tudi prilagajanje oblačil prebivalstva glede na dejanske okoljske temperature. Za izračun UTCI so potrebne štiri spremenljivke: temperatura zraka na višini 2 m, temperatura rosišča na 2 m (ali relativna vlažnost), hitrost vetra na 10 m nad tlemi ter povprečna sevalna temperatura.

UTCI razvršča toplotne razmere v deset skupin toplotnega stresa, ki ustrezajo fiziološkim odzivom človeka na okolje: nad +46 °C ekstremen toplotni stres, od +38 °C do +46 °C zelo močan toplotni stres, od +32 °C do +38 °C močan toplotni stres, od +26 °C do +32 °C zmeren toplotni stres, od +9 °C do +26 °C brez toplotnega stresa, od +9 °C do 0 °C rahel stres zaradi mraza, od 0 °C do –13 °C zmeren stres zaradi mraza, od –13 °C do –27 °C močan stres zaradi mraza, od –27 °C do –40 °C zelo močan stres zaradi mraza, pod –40 °C ekstremen stres zaradi mraza (Mahdavinejad idr., 2024).

Vročinski indeks (angl. Heat Index) je kazalnik, ki združuje podatke o temperaturi zraka in relativni vlažnosti v zasenčenih območjih ter izraža občuteno temperaturo, torej kako vroče se človeku dejansko zdi. Vročinski indeks opisuje temperaturo, ki jo človek občuti v senci, vendar ne upošteva vpliva neposredne sončne svetlobe, telesne dejavnosti ali ohlajanja zaradi vetra. Človeško telo se običajno hladi z izhlapevanjem znoja. Visoka relativna vlažnost zmanjšuje izhlapevanje in s tem ohlajanje telesa, kar povečuje občutek neugodja ter tveganje toplotnega stresa.

Občutek vročine se med posamezniki razlikuje glede na obliko telesa, presnovo, stopnjo hidracije, nosečnost ali druge fizične dejavnike. Merjenje občutene temperature temelji na poročilih preiskovancev o tem, kako vroče so občutili določene kombinacije temperature in vlažnosti v nadzorovanih razmerah. Vročinski indeks za dano kombinacijo suhe temperature zraka in relativne vlažnosti je opredeljen kot temperatura suhega termometra, ki bi jo človek občutil enako, če bi bil parni tlak vodne pare 1,6 kPa. Ta parni tlak na primer ustreza temperaturi zraka 29 °C in relativni vlažnosti 40 % na psihrometrični karti na morski gladini. Višje temperature pomenijo, da enaka relativna vlažnost povzroči večje povečanje vročinskega indeksa. Študije ocenjujejo, da je enačba za izračun vročinskega indeksa veljavna le pri temperaturi 27 °C ali višjih. Prag relativne vlažnosti, pod katerim izračunani vročinski indeks daje vrednost, enako dejanski temperaturi zraka ali nižjo od nje, se spreminja glede na temperaturo in ni linearen. V praksi je ta prag pogosto določen pri približno 40 % relativne vlažnosti (Fink idr., 2013).

Adaptivni modeli toplotnega ugodja temeljijo na spoznanju, da ljudje aktivno prilagajamo svoje vedenje in pričakovanja glede toplotnih razmer glede na okolje, v katerem smo. V primerjavi z modelom PMV-PPD, ki predpostavlja stalne razmere in povprečnega človeka, adaptivni model upošteva, da se ljudje navajamo na podnebje in imamo možnost prilagajanja (npr. odpiranje oken, sprememba oblačil, uporaba senčil, zmanjšanje aktivnosti). Adaptivni model predvideva, da je optimalna notranja temperatura odvisna od zunanje povprečne temperature. Če je zunaj topleje, ljudje sprejemamo tudi višje notranje temperature kot udobne, in obratno. Toplotno ugodje torej ni stalno, ampak dinamično – odvisno od izkušenj, pričakovanj in možnosti prilagoditve uporabnikov. Adaptivni modeli se uporabljajo predvsem za naravno prezračevane ali delno klimatizirane stavbe, kjer imajo uporabniki vpliv na toplotne razmere. Pogosto se uporabljajo v šolah, stanovanjih, pisarnah z naravnim prezračevanjem in v sodobnih trajnostnih stavbah (Domjan idr., 2025).

5 Ranljive skupine

Ranljive skupine so posamezniki ali skupine ljudi, ki so zaradi fizioloških, socialnih, gospodarskih ali okoljskih dejavnikov bolj izpostavljeni tveganjem poškodb, bolezni ali negativnih učinkov okolja, kot sta toplotni stres ali druge zdravstvene obremenitve. Pri toplotni obremenitvi so med pomembnejšimi ranljivimi skupinami:

Starostniki: S staranjem se spreminja fiziološki odziv telesa na toplotne razmere. Zaradi sprememb, povezanih s starostjo, se lahko zmanjša količina proizvedenega znoja in pretok krvi v kožo, kar otežuje učinkovito hlajenje telesa v vročih dneh. Poleg tega je pri starejših večje tveganje dehidracije, saj se z leti zmanjšata občutek žeje in skupna količina vode v telesu. Na toplotno občutljivost vplivajo tudi kronična zdravstvena stanja, ki lahko

povečajo dovzetnost za bolezni, povezane z vročino. Zdravila, kot so diuretiki, ki se pogosto predpisujejo pri težavah s srcem ali ledvicami, lahko dodatno zmanjšajo sposobnost telesa za ohlajanje ali povečajo tveganje izgube tekočine. Pomemben dejavnik so tudi življenjske okoliščine – če starejša oseba zboli ali živi sama, morda nima nikogar, ki bi ji v vročinskem valu pomagal. Poleg tega imajo nekateri starostniki omejeno gibljivost ali težave s spominom, kar lahko oteži skrb zase, redno pitje tekočine in ustrezno prilagajanje toplotnim razmeram. Vse to povečuje tveganje toplotne obremenitve in zahteva dodatno pozornost okolice (Fink idr., 2015).

Dojenčki in majhni otroci so posebej ranljivi za bolezni, povezane z vročino, saj še nimajo popolnoma razvitega sistema za uravnavanje telesne temperature. Njihovo telo se hitreje pregreje, hkrati pa se sami ne znajo učinkovito zaščititi pred vročino ali se ustrezno ohladiti. Zato v vročem vremenu potrebujejo posebno skrb in nadzor. Pomembno je, da so oblečeni v lahka oblačila, se zadržujejo v senčnih ali hladnih prostorih ter redno uživajo tekočino, da se prepreči dehidracija. Najpomembneje je zagotoviti, da ostanejo ohlajeni in dobro hidrirani, saj njihovo zdravje lahko hitro ogrozi previsoka temperatura okolja (Elbi idr., 2021).

Bolniki s kroničnimi boleznimi: Pri osebah s srčno-žilnimi boleznimi vročina dodatno obremeni organizem. Visoke temperature povečajo potrebo telesa po hlajenju, zato mora srce črpati več krvi na minuto, da ohrani ustrezno temperaturno ravnovesje. To lahko vodi do povečane obremenitve srca in ožilja, kar je pri že obstoječih srčnih obolenjih posebej tvegano. Pri sladkornih bolnikih visoka raven glukoze v krvi povzroča izgubo tekočine in dehidracijo, kar pomeni, da ima telo manjšo zalogo vode za uravnavanje temperature. Dolgotrajni zapleti diabetesa lahko povzročijo poškodbe žil in živcev, kar oslabi zaznavanje vročine in upočasni odziv nanjo. Poleg tega lahko nekatera zdravila vplivajo na sposobnost telesa, da se prilagodi vročinskim obremenitvam. Pri boleznih, kot sta astma in kronična obstruktivna pljučna bolezen, lahko vroč in suh zrak sproži težave z dihanjem ali napad astme. Ker vročina poveča potrebo telesa po kisiku, so osebe z dihalnimi boleznimi še dodatno obremenjene, saj imajo pogosto zmanjšano pljučno kapaciteto. Nekatera zdravila, zlasti antidepresivi, lahko vplivajo na zaznavanje toplote in zmanjšujejo potenje, kar povečuje tveganje pregrevanja. Poleg tega lahko spremembe v vedenju, kot so zmanjšana skrb za pitje tekočine, neustrezna izbira oblačil ali počasnejše prepoznavanje nevarnosti, zmanjšajo sposobnost posameznika, da se pravočasno in ustrezno odzove na vročino (Fink idr., 2017).

Delavci, zlasti tisti, ki delajo na prostem ali v vročih delovnih okoljih, so posebej izpostavljeni tveganju toplotnega stresa in nastanka bolezni, povezanih z vročino. Med delom so pogosto izpostavljeni visokim temperaturam, neposrednemu soncu in fizičnemu naporu, kar povečuje proizvodnjo toplote v telesu. Če ni zagotovljeno ustrezno hlajenje ali hidracija, se telesna temperatura lahko hitro dvigne na nevarno raven. Dodatno tveganje pomenijo kronične bolezni, kot so srčno-žilna obolenja, sladkorna bolezen ali bolezen dihal, saj motijo naravne mehanizme uravnavanja telesne temperature. Delavci s takšnimi boleznimi se težje ohlajajo in so bolj dovzetni za dehidracijo, izčrpanost ter toplotni udar. Neaklimatizirani delavci, zlasti tisti, ki še niso vajeni dela v vročini, so prav tako ranljivejši. Njihovo telo se še ni prilagodilo na visoke temperature, zato se bolj pregreva, proizvaja manj znoja in počasneje vzpostavi učinkovito termoregulacijo. Aklimatizacija običajno traja od 7 do 14 dni postopnega prilagajanja. Pomemben dejavnik tveganja je tudi osebna varovalna oprema, ki pogosto zmanjšuje izhlapevanje znoja in kroženje zraka, s čimer se zmanjša sposobnost telesa za ohlajanje. Tesna oblačila, čelade, rokavice ali zaščitne obleke lahko zadržujejo toploto in vlago ter povzročajo dodatno obremenitev. Zaradi kombinacije teh dejavnikov: fizičnega napora, toplotnih razmer, zdravstvenih omejitev, pomanjkljive aklimatizacije in uporabe zaščitne opreme spadajo delavci med najbolj ogrožene skupine ob pojavu visokih temperatur, zato je zanje nujno zagotoviti ustrezne ukrepe za preprečevanje toplotnega stresa, kot so redni odmori, hidracija, senčenje in postopno prilagajanje na delo v vročini (Gibb idr., 2024).

Športniki so posebej tvegana skupina za toplotno obremenitev zaradi več medsebojno povezanih dejavnikov. Pogosto trenirajo ali tekmujejo na prostem, kjer so izpostavljeni visokim temperaturam, neposredni sončni svetlobi in povečani relativni vlažnosti, kar otežuje termoregulacijo. Obleka in športna oprema, kot so zaščitni ščitniki, čelade in tesno oprijeta oblačila, dodatno omejujejo odvajanje toplote prek znojenja in konvekcije. Dehidracija, pogosta pri intenzivnem fizičnem naporu, zmanjša sposobnost organizma za uravnavanje telesne temperature in poveča tveganje toplotnega stresa. Uporaba prehranskih dopolnil in nedovoljenih snovi lahko vpliva na presnovo, srčno-žilni sistem in termoregulacijo ter še dodatno poveča nevarnost pregrevanja. Zaradi kombinacije teh dejavnikov so športniki izpostavljeni večji verjetnosti toplotne izčrpanosti, vročinskega udara in drugih posledic čezmerne toplotne obremenitve (Orr idr., 2022).

Socialnoekonomske skupine, kot so migranti, brezdomci in begunci, so posebej ranljive za toplotno obremenitev zaradi kombinacije okoljskih, socialnih in gospodarskih dejavnikov. Pogosto živijo ali bivajo v neprimernih stanovanjskih razmerah brez ustreznega prezračevanja, hlajenja ali zaščite pred ekstremnimi temperaturami. Omejen dostop do vode, hrane in zdravstvene oskrbe povečuje tveganje dehidracije in zdravstvenih zapletov, povezane s čezmerno vročino. Socialna in finančna negotovost pogosto prispevata k pomanjkanju informacij o nevarnostih vročine in ukrepih za zaščito, kar zmanjšuje možnosti preventive. Poleg tega lahko kulturne in jezikovne ovire otežujejo razumevanje opozoril, priporočil ali dostop do javnih virov za zaščito pred vročino. Skupine z nizkim socioekonomskim statusom so tako bolj izpostavljene toplotnemu stresu, vročinski izčrpanosti in vročinskemu udaru, zlasti med dolgimi vročinskimi valovi ali ekstremnimi vremenskimi pojavi (Ryan idr., 2024; Ren in McGregor, 2021).

6 Sklep

Mikroklima ima izjemno pomembno vlogo pri ohranjanju zdravja in dobrega počutja človeka, saj neposredno vpliva na delovanje telesnih funkcij, sposobnost termoregulacije ter učinkovitost pri delu ali telesni dejavnosti. Človeško telo je sposobno vzdrževati stabilno notranjo temperaturo kljub spremembam v okolju, vendar so mehanizmi, ki to omogočajo, to so znojenje, širjenje in oženje žil ter presnovne prilagoditve, omejeni. Ko okoljske razmere presežejo te zmožnosti, nastopi toplotni stres, ki lahko vodi v resne zdravstvene zaplete, kot je toplotna izčrpanost ali toplotni udar. Zato je razumevanje vpliva mikroklimе in fizioloških odzivov telesa ključno za preprečevanje pregrevanja ter ohranjanje varnosti ljudi v različnih razmerah.

Toplotno ugodje, ki ga človek zaznava, ni odvisno le od fizikalnih parametrov, kot so temperatura, vlaga, gibanje zraka in sevanje, temveč tudi od vedenjskih dejavnikov, kot so oblačila, stopnja aktivnosti in možnost prilagajanja. Ti elementi skupaj ustvarjajo subjektivni občutek toplotnega zadovoljstva, ki je pri vsakem posamezniku drugačen. Pomembno je, da se pri ocenjevanju toplotnega okolja uporabljajo integrirani kazalniki, kot so PMV-PPD, WBGT, UTCI, vročinski indeks in adaptivni modeli, saj omogočajo natančnejše razumevanje interakcije med človekom in okoljem. Ti indeksi so orodje za načrtovanje zdravih in udobnih prostorov ter pomagajo prepoznati tveganje toplotnega stresa pri delu, športu in vsakdanjem življenju.

Z vidika zdravja in varnosti so posebej pomembne ranljive skupine prebivalstva. Starostniki imajo zaradi fizioloških sprememb zmanjšano sposobnost hlajenja telesa, dojenčki in otroci pa še nimajo popolnoma razvitega termoregulacijskega sistema. Bolniki s kroničnimi obolenji, delavci, športniki ter osebe z nizkim socialnoekonomskim statusom so prav tako bolj izpostavljeni nevarnostim vročine zaradi kombinacije zdravstvenih, vedenjskih in okoljskih dejavnikov. Pri teh skupinah so nujni preventivni ukrepi, kot so zagotovitev senčnih in ohlajenih prostorov, dostop do vode, prilagoditev delovnih pogojev ter ozaveščanje o nevarnostih toplotne obremenitve.

Vpliv podnebnih sprememb dodatno zaostre razmere, saj se povečuje pogostost in intenzivnost vročinskih valov. To zahteva celovito delovanje, ki združuje fiziološko, okoljsko, tehnično in družbeno znanje. Prilagoditev stavb, mestnih območij in delovnih okolij novim toplotnim razmeram postaja ključni del javnozdravstvene in prostorske politike. Raziskovanje mikroklimе, spremljanje toplotnih obremenitev ter razvoj preventivnih strategij bodo v prihodnje bistvenega pomena za zmanjševanje tveganj in zaščito zdravja prebivalstva.

Celostno razumevanje povezave med mikroklimo, fiziološkim odzivom telesa in družbenimi dejavniki je temelj učinkovitega prilagajanja na spreminjajoče se okolje. Le z usklajenim delovanjem znanstvenih spoznanj, tehničnih rešitev in družbene odgovornosti je mogoče zagotoviti varno, zdravo in udobno bivanje ljudi v razmerah, ki jih prinaša globalno segrevanje.

Viri in literatura

- Brimicombe, C., Lo, C. H. B., Pappenberger, F., Di Napoli, C., Maciel, P., Quintino, T., ... in Cloke, H. L. (2023). Wet bulb globe temperature: Indicating extreme heat risk on a global grid. *Global Environmental and Occupational Health*, 7(2), e2022GH000701. <https://doi.org/10.1029/2022GH000701>
- Chong, D. in Zhu, N. (2017). Human heat acclimatization in extremely hot environments: A review. *Procedia Engineering*, 205, 248–253. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.960>
- Cramer, M. N., Gagnon, D., Laitano, O. in Crandall, C. G. (2022). Human temperature regulation under heat stress in health, disease, and injury. *Physiological reviews*, 102(4). <https://doi.org/10.1152/physrev.00047.202>
- Domjan, S., Fink, R. in Medved, S. (2025). Coupling the assessment of indoor environmental quality and cognitive performance in Building Information Modelling with integral indicators. *Energy and Buildings*, 330, 115354. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115354>
- Ebi, K. L., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., de Dear, R., Havenith, G., ... in Jay, O. (2021). Hot weather and heat extremes: health risks. *The Lancet*, 398(10301), 698–708. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01208-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3)
- Fink, R., Eržen, I. in Medved, S. (2013). Impacts of the thermal environment and indoor air quality on potential risks for elderly people with cardiovascular diseases. *REHVA Journal*, 38–39. https://www.rehva.eu/fileadmin/REHVA_Journal/REHVA_Journal_2013/RJ_issue_6/P.38/38-39_Fink_RJ1306.pdf
- Fink, R., Eržen, I. in Medved, S. (2017). Symptomatic response of the elderly with cardiovascular disease during a heat wave in Slovenia. *Central European Journal of Public Health*, 25(4), 293–298. <https://doi.org/10.21101/cejph.a4931>
- Fink, R., Eržen, I., Medved, S. in Kastelec, D. (2015). Experimental research on physiological response of elderly with cardiovascular disease during heat wave period. *Indoor and Built Environment*, 24(4), 534–543. <https://doi.org/10.1177/1420326X14552277>
- Gibb, K., Beckman, S., Vergara, X. P., Heinzerling, A. in Harrison, R. (2024). Extreme heat and occupational health risks. *Annual review of public health*, 45, 315–335. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-060222-034715>
- Ioannou, L. G., Foster, J., Morris, N. B., Pii, J. F., Havenith, G., Mekjavic, I. B., ... in Flouris, A. D. (2022). Occupational heat strain in outdoor workers: a comprehensive review and meta-analysis. *Temperature*, 9(1), 67–102. <https://doi.org/10.1080/23328940.2022.2030634>
- Luo, M. (2019). *The dynamics and mechanism of human thermal adaptation in building environment: A glimpse to adaptive thermal comfort in buildings*. Springer Nature.
- Mahdavinejad, M., Shaeri, J., Nezami, A. in Goharian, A. (2024). Comparing universal thermal climate index (UTCI) with selected thermal indices to evaluate outdoor thermal comfort in traditional courtyards with BWh climate. *Urban Climate*, 54, 101839. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101839>
- Orr, M., Inoue, Y., Seymour, R. in Dingle, G. (2022). Impacts of climate change on organized sport: A scoping review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 13(3), e760. <https://doi.org/10.1002/wcc.760>
- Pantavou, K., Fillon, A., Li, L., Maniadis, Z. in Nikolopoulos, G. K. (2025). Thermal indices for assessing the impact of outdoor thermal environments on human health: A systematic review of epidemiological studies. *International Journal of Biometeorology*, 1–24. <https://doi.org/10.1007/s00484-025-02501-0>
- Parsons, K. (2007). *Human thermal environments: The effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance*. CRC Press.
- Qian, Y. in Liu, T. (2025). Heat vulnerability assessment: A systematic review of critical metrics. *Hygiene and Environmental Health Advances*, 15, 100138. <https://doi.org/10.1016/j.heha.2025.100138>
- Ren, C. in McGregor, G. (ur.). (2021). *Urban climate science for planning healthy cities*. Springer.
- Ryan, B. J., Kako, M., Garner, S., Fink, R., Tayfur, I., Abrahams, J., ... in Brooks, B. W. (2024). Prioritizing strategies for building the resilience of public health systems to disasters across multiple communities and countries. *International Journal of Disaster Risk Science*, 15(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s13753-024-00485-2>
- Skok, G. (2023). *Introduction to meteorology*. Fakulteta za matematiko in fiziko.
- Tavakoli, E., O'Donovan, A., Kolokotroni, M. in O'Sullivan, P. D. (2022). Evaluating the indoor thermal resilience of ventilative cooling in non-residential low energy buildings: A review. *Building and Environment*, 222, 109376. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109376>
- Tochihara, Y. (ur.). (2025). *The thermal environment: From viewpoints of physiological anthropology and environmental ergonomics*. Springer Nature.
- Yao, R. (ur.). (2024). *Resilient urban environments: Planning for livable cities*. Springer Nature.

Visoke temperature in vplivi na zdravje

Vesna Viher Hrženjak, Ana Hojs,
Simona Perčič, Katarina Bitenc,
Majda Pohar, Anja Jutraž

Nacionalni inštitut za javno zdravje

Izvleček

Visoke temperature so pomemben okoljski dejavnik tveganja za zdravje. Izpostavljenost visokim temperaturam lahko vodi v pregretje telesa, poslabšanje osnovnih bolezni, poveča tveganje nesreč in prenosa nalezljivih bolezni ter povečuje umrljivost. Visoke temperature imajo tudi številne negativne učinke na življenjski slog, splošno dobro počutje in kakovost bivanja. Raziskave umrljivosti v času vročinskih valov v Sloveniji so pokazale, da je bilo število umrlih v času vročinskih valov statistično značilno večje kot v času brez vročinskih valov v letih 2006, 2007, 2014 in 2015. Prizadeti so bili predvsem starejši in bolniki s srčno-žilnimi obolenji. Po letu 2016 se je število umrlih v času vročinskih valov ustalilo in nismo zaznali povečanja, velja tudi za mestno okolje. V prihodnosti bodo vročinski valovi pogostejši, daljši in intenzivnejši, pričemer ne vemo, ali se bosta obolevnost in umrljivost v času vročinskih valov ponovno povečali, zato je treba nadaljevati izvajanje javnozdravstvenih ukrepov, ki so namenjeni vsem prebivalcem, predvsem pa bolnikom s srčno-žilnimi obolenji in starejšim. Potrebne bodo tudi prilagoditve v načrtovanju in upravljanju urbanega prostora.

Ključne besede:

vročinski valovi, obolevnost, umrljivost, javnozdravstveni ukrepi, urbanistično načrtovanje

Abstract

High temperatures are an important environmental risk factor for health. Exposure to high temperatures can lead to overheating, worsening of underlying diseases, increases the risks of accidents and increased transmission of infectious diseases and increases mortality. High temperatures have also numerous negative effects on lifestyle, general well-being and quality of life. Research on mortality during heat waves in Slovenia has shown that the number of deaths during heat waves was statistically significantly higher than during non-heat waves in 2006, 2007, 2014 and 2015. The elderly and patients with cardiovascular diseases were mainly affected. Since 2016, the number of deaths during heat waves has stabilized and we have not recorded an increased number of deaths, also in urban areas. Since heat waves will be more frequent, longer and more intense in the future, we do not know whether morbidity and mortality during heat waves will increase again, so it is necessary to continue with public health measures for all residents, especially patients with cardiovascular diseases and the elderly. Also adjustments will be needed in the planning and management of urban space.

Keywords:

heat waves, morbidity, mortality, public health measures, urban planning

1 Uvod

Visoke temperature so pomemben okoljski dejavnik tveganja za zdravje (WHO, 2024). Daljše obdobje visokih temperatur lahko povzroči različne težave zaradi pregretja telesa in poslabšanja osnovnih bolezni, poveča tveganje nesreč in prenosa nekaterih nalezljivih bolezni (NIJZ, 2025) ter povečuje umrljivost – v letih od 2000 do 2019 je zaradi vročine umrlo povprečno 489.000 ljudi letno, od tega 36 % v Evropi (Zhao idr., 2021).

Zaradi podnebnih sprememb bodo v Evropi dnevi z visokimi temperaturami pogostejši in tudi vročinski valovi bodo pogostejši, intenzivnejši in daljši (WHO, 2024). Slovenija ne bo izjema. Že v preteklih letih se je v Sloveniji število in trajanje vročinskih valov povečevalo (Perčič idr., 2024a), projekcije pa z veliko zanesljivostjo kažejo, da se bo do konca stoletja v vseh scenarijih izpustov nadaljeval trend povečevanja števila dni z visokimi temperaturami ter števila in trajanja vročinskih valov (Bertalanč idr., 2018).

Dodatno bodo k povečevanju tveganj za zdravje zaradi vročine prispevali trendi naraščanja in staranja prebivalstva, urbanizacija in družbenoekonomski razvoj. Posebej izpostavljeno poviševanju temperature je urbano okolje zaradi antropogenega ustvarjanja toplote (z oddajanjem toplote iz stavb in vozil) (Ebi idr., 2021) in urbanističnih značilnosti (fenomen urbanega toplotnega otoka) (WHO, 2016).

Na tveganja za zdravje bo poleg toplotne obremenitve vplivala tudi ranljivost prebivalstva. Ocena ranljivosti in tveganj za zdravje zaradi podnebnih sprememb po podnebnih regijah v Sloveniji (Hojs idr., 2024) kaže, da je ranljivost na območjih z omiljenim sredozemskim podnebjem (predvsem zaradi demografske slike, socialnoekonomskih dejavnikov in toplotnih obremenitev) in omiljenim celinskim podnebjem (predvsem zaradi zdravstvenega stanja) velika, medtem ko je na preostalih podnebnih območjih zmerna. Ocena ranljivosti za obdobje 2041–2070 pa kaže, da bo ranljivost velika na območjih z omiljenim sredozemskim podnebjem, z vlažnim podnebjem hribovitega sveta in omiljenim celinskim podnebjem, za preostala območja pa bo ostala zmerna. Povečevanje ranljivosti po posameznih podnebnih regijah kaže na povečana tveganja za zdravje.

Večino bolezni in smrti, povezanih z vročino, bi bilo mogoče preprečiti z ustreznimi ukrepi prilagajanja, zlasti z boljšo pripravljenostjo in izogibanjem izpostavljenosti (Ebi idr., 2021).

Namen poglavja je opisati vpliv visokih temperatur na zdravje. Na podlagi opravljenih epidemioloških raziskav bomo prikazali stanje v Sloveniji glede obolevnosti in umrljivosti v obdobju vročinskih valov v preteklih letih ter razpravljali o možnih ukrepih prilagajanja.

2 Vpliv visokih temperatur na zdravje

Visoke temperature so pomemben okoljski dejavnik tveganja za zdravje (WHO, 2024). Izpostavljenost človeka visokim temperaturam povzroča pregrevanje telesa in s tem povezane zdravstvene posledice, ko telo s fiziološkimi mehanizmi (zlasti z razširjenjem žil na površini telesa in potenjem) ni več sposobno uravnati temperature centralnega dela telesa (Ebi idr., 2021; Cramer idr., 2022).

Pregretje telesa povzroči različne težave, od blažjih, kot so kožni izpuščaji, do težjih, kot so vročinski krči, omedlevica, vročinska izčrpanost, in najtežjih, kot je vročinska kap, ki spada med nujna stanja (NIJZ, 2025). Vročinski krči nastanejo najpogosteje ob hkratnem pomanjkanju vode in soli v telesu. Omedlevica (kratkotrajna, prehodna izguba zavesti) nastane kot posledica kombinacije dehidracije, širjenja žil na površini telesa, padca krvnega tlaka, učinkov nekaterih zdravil. Vročinska izčrpanost nastane ob vse večji dehidraciji in izgubi soli, kar poslabša stanje in privede do splošne oslabeledosti, slabosti, bruhanja. V razmerah ekstremne toplotne obremenitve se vročinska izčrpanost stopnjuje in napreduje v vročinsko kap, ko sposobnost telesa za uravnavanje temperature odpove (Ahčan idr., 2007; Ebi idr., 2021).

Izpostavljenost vročini povzroča tudi poslabšanje osnovnih bolezni, kot so srčno-žilne bolezni, sladkorna bolezen, duševne motnje, astma, poveča tveganje nesreč in prenosa nekaterih nalezljivih bolezni (NIJZ, 2025), zmanjša delovno učinkovitost in poveča tveganje nezgod pri delu ter ogroža izvajanje zdravstvenih storitev (Ebi idr., 2021).

Vročina prizadene vse prebivalce, posebej občutljive so ranljive skupine. Najranljivejša skupina prebivalstva za škodljive vplive visokih temperatur na zdravje so starejši. Staranje vpliva na sposobnost termoregulacije in lahko zmanjša zaznavanje toplote, kar vodi do slabših vedenjskih odzivov starejših na toplotni stres ter poveča pojavnost bolezni in smrti, povezanih s toploto. Starejši ljudje so še posebej ogroženi zaradi oslabljenih mehanizmov za uravnavanje toplote v telesu, kronične dehidracije, več hkratnih kroničnih bolezni, uporabe zdravil, invalidnosti, nesamostojnosti in morebitne socialne izolacije (WHO, 2021).

Zaradi večjega razmerja med površino telesa in prostornino v primerjavi z odraslimi so posebej občutljivi na toplotni stres in dehidracijo dojenčki in otroci. Poleg tega imajo otroci manj učinkovito sposobnost prilagajanja na vročino kot odrasli (NIJZ, 2025).

Nosečnice so lahko bolj dovzetne za toplotni stres zaradi povečanja telesne teže, ki poveča nastajanje toplote v telesu in zmanjša sposobnost oddajanja toplote z znojenjem. Tudi plod oziroma otrok prispeva toploto s svojim metabolizmom. Težave s termoregulacijo in dehidracija pri nosečnicah lahko povzročijo zmanjšanje krvnega pretoka v maternici, kar lahko sproži prezgodnji porod. Metaanalize kažejo, da je izpostavljenost vročini v nosečnosti povezana s pogostejšimi prezgodnjimi porodi, nizko porodno težo in mrtvorojenostjo (Chersich idr., 2020).

Bolj ogroženi zaradi vročine so tudi bolniki z obolenji, ki vplivajo na uravnavanje toplote v telesu, na mobilnost in sposobnost presojanja. Gre predvsem za osebe s srčno-žilnimi obolenji, obolenji dihal, sladkorno boleznijo, obolenji ledvic, duševnimi motnjami, bolnike z drisko, bruhanjem, povišano telesno temperaturo in nepokretne. Na uravnavanje toplote vpliva tudi uživanje nekaterih zdravil in uporaba drog (NIJZ, 2025).

Na ogroženost zaradi vročine vplivajo tudi socialnoekonomski dejavniki, dodatna izpostavljenost nekaterim dejavnikom iz okolja in razmere, v katerih bivajo. Ogroženi so predvsem ljudje z nizkim socialnoekonomskim statusom, brezdomci, socialno izolirani, prebivalci s slabšim dostopom do zdravstvenih ustanov, delavci, ki delajo na prostem, športniki, popotniki, begunci in ljudje s slabimi bivalnimi razmerami (podstrešna stanovanja, slabše prezračeni ali prenatrpani prostori, brez klimatskih naprav) (NIJZ, 2025).

3 Raziskave vpliva visokih temperatur v Sloveniji

V Sloveniji je bilo izvedenih več epidemioloških raziskav o vplivu vročinskih valov na umrljivost in obolevnost prebivalcev.

Prve analize umrljivosti v času vročinskih valov so bile izvedene za leto 2003 (Tomšič idr., 2008). Pokazale so, da je takrat umrlo 81 prebivalcev več (13-odstotni porast), kot jih sicer umre v takem časovnem obdobju brez vročinskega vala (Tomšič idr., 2008).

Leta 2014 je bil prvič predstavljen kazalnik »število umrlih v obdobju vročinskih valov«, in sicer za leto 2013. V letu 2013 so bili trije vročinski valovi. Število umrlih se je v tem času povečalo (povprečno 52 umrlih na dan, v obdobju brez vročinskih valov povprečno 48 umrlih na dan). Kazalnik se spremlja še danes z rednimi posodobitvami (ARSO, 2024).

Bolj poglobljene analize umrljivosti v času vročinskih valov so se začele pripravljati na Nacionalnem inštitutu za javno zdravje leta 2016, v naslednjih letih pa je bilo objavljenih več raziskav. Namen teh raziskav je bil preučiti povezanost med vročinskimi valovi in umrljivostjo v Sloveniji po opazovanih diagnozah, spolu, starostnih skupinah, lokaciji bivanja (mesto/ruralno), opredeliti ranljive skupine in pripraviti oceno za na dokazih temelječe javnozdravstvene ukrepe.

V primerjavi kratkotrajne povezanosti med vročinskimi valovi in številom umrlih za leti 2003 in 2015 za celotno Slovenijo je bilo ugotovljeno, da je bilo število umrlih večje v letu 2015, predvsem zaradi srčno-žilnih bolezni in pri starejših (Perčič idr., 2018). V raziskavi, ki je primerjala leti 2014 in 2018, je bilo večje število umrlih ugotovljeno v letu 2014, zlasti pri ženskah zaradi obstoječih in akutnih srčno-žilnih bolezni. Statistično značilno povečanje števila umrlih je bilo zaznано tako za ruralno kot za mestno področje (Grašič in Perčič, 2022).

Za območje Upravne enote Ljubljana (urbani toplotni otok) je bila opravljena raziskava povezanosti med vročinskimi valovi in številom umrlih za obdobje 2013–2020. Statistično značilno povečanje števila umrlih je bilo ugotovljeno le za leto 2017, in sicer za celotno opazovano populacijo, zaradi vseh vzrokov (Perčič idr., 2023).

Sledila je raziskava, ki je s pomočjo kratkotrajnih analiz povezanosti po letih (1999–2020) dokazala, da je v Sloveniji v času vročinskih valov v letu 2006 in 2007 umrlo nekaj več starejših od pričakovanega, medtem ko v drugih opazovanih letih povezava ni bila potrjena (Perčič idr., 2024a). Raziskava o povezavi med vročinskimi valovi in obiski na urgenci Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana v letih 2013–2017 je pokazala statistično značilno povezanost le v letu 2013, in sicer med vročinskimi valovi in endokrinimi boleznimi, v drugih letih povezava ni bila potrjena (Perčič idr., 2024b).

4 Vplivi visokih temperatur na življenjski slog, splošno dobro počutje in kakovost bivanja

Zdravstveni vplivi vročine so dobro poznani, manj pa vemo, kako visoke temperature vplivajo na vsakdanje življenje in življenjski slog. Raziskava v Avstraliji je pokazala, da vročina vodi do sprememb vedenja, ki lahko dolgoročno vplivajo na zdravje: manj dejavnosti na prostem (67 %), več uživanja sladkih pijač (27 %) in alkohola (11 %), pogostejša uporaba klimatskih naprav (66 %) ter slabša kakovost spanja (Zander idr., 2024). Študija, izvedena med vročinskim valom v Združenem kraljestvu, je pokazala, da visoke temperature poslabšajo spanec (67 %), zmanjšujejo produktivnost doma (41 %) in na delovnem mestu (25 %) ter tek (29 %). Ugotovljeni so bili tudi pozitivni učinki (boljše razpoloženje in telesno zdravje), vendar so negativni prevladovali (Godwin idr., 2025).

Vročina vpliva na telesno dejavnost in dnevno rutino: zmanjšuje aktivnosti na prostem ter jih premika v hladnejše dele dneva. Analize lokacijskih podatkov iz 10.499 parkov po Kitajski so pokazale upad obiska pri $> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ za 5 % in pri $> 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ za 13 % ter premik dnevnih aktivnosti v jutranje ali večerne ure (Fan idr., 2023). Manjši obisk mestnih parkov pomeni manj druženja na prostem (Hao idr., 2023). Visoke temperature vplivajo na spanje: višje nočne temperature povečujejo število samoporočanih noči z nezadostnim spanjem, zlasti pri starejših in socialno šibkejših (Obradovich idr., 2017).

Otroci so posebej občutljivi: visoke temperature zmanjšujejo gibanje med odmori, otroci zaradi toplotnega neugodja poiščejo senco, zato se priporoča prilagoditev odmorov in aktivnosti (krajši odmori, prestavitev v senco) (Lanza idr., 2022). Vročina slabša učno uspešnost, moti učni proces in zavira učenje, klimatizacija v šolah ta učinek delno ublaži (Park idr., 2020).

Visoke temperature vplivajo tudi na splošno počutje. Povišane temperature in temperaturna nihanja so lahko povezani s pogostejšimi samomori, več hospitalizacijami zaradi duševnih motenj ter s poslabšanjem zdravja in blagostanja skupnosti (Thompson idr., 2023). Študija v ZDA je pokazala, da temperature nad $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ zmanjšujejo pozitivna čustva (veselje, sreča), povečujejo negativna (stres, jeza) in utrujenost (Noelke idr., 2016). Dolgotrajna izpostavljenost vročini znižuje samoocenjeno zdravje in zadovoljstvo z življenjem, zlasti pri starejših in kroničnih bolnikih (Zhang idr., 2025).

Kakovost bivanja in stanovanj sta tesno povezana z notranjimi in zunanji toplotnimi razmerami. V neustrezno izoliranih ali slabo prezračevanih stanovanjih se notranja temperatura hitro zviša, kar povzroča toplotno neugodje in lahko vodi do različnih zdravstvenih težav. Raziskava med starejšimi na Nizozemskem je pokazala pomembno povezavo med notranjo in zunanjo temperaturo ter poročanjem o težavah, povezanih z vročino. Ob povišanju notranje temperature za $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ se je občutek neugodja zaradi vročine povečal za 33 % in motnje spanja za 24 %. Zunanja temperatura je bila povezana z manjšim porastom, in sicer 13 % za občutek neugodja in 11 % za motnje spanja (van Loenhout idr., 2016). V urbanih okoljih ta učinek dodatno stopnjuje pojav urbanega toplotnega otoka, medtem ko zelena infrastruktura (drevesa, parki, zelene strehe) znižuje temperature in izboljšuje ugodje (Aram idr., 2019).

Vročina pospešuje širjenje klimatizacije in s tem vpliva na energijsko revščino in družbeno neenakost. Ranljive skupine, kot so starejši, kronični bolniki in socialno šibkejši, so pri tem najbolj prizadete, saj pogosto nimajo

dostopa do ustrezno hlajenih prostorov. Študije potrjujejo, da pomanjkanje klimatizacije pomembno povečuje tveganje nastanka vročinske obolevnosti in umrljivosti. Vgradnja klimatskih naprav prinaša predvsem duševne koristi pri blaženju učinkov vročine, njihova pretirana uporaba pa lahko povzroča fiziološke težave (Yin idr., 2024).

5 Sklep

Visoke temperature so pomemben dejavnik tveganja za zdravje. Daljša izpostavljenost visokim temperaturam povzroča akutne težave, vpliva na poslabšanje osnovnih bolezni in umrljivost, ima negativne učinke na življenjski slog, splošno dobro počutje ter kakovost bivanja. Prizadene celotno prebivalstvo, posebej pa ranljive skupine.

Rezultati raziskav potrjujejo, da vročinski valovi tudi v Sloveniji vplivajo na zdravje prebivalcev. Odprto ostaja vprašanje, zakaj se učinki vročinskih valov med leti in med skupinami prebivalcev razlikujejo. Za boljše razumevanje bi bile potrebne podrobnejše analize vpliva dejavnikov, kot so kakovost bivalnega okolja, socialno-ekonomski status in dostop do storitev. Smiselno bi bilo izvajati dolgoročne analize povezanosti med vročinskimi valovi in številom umrlih, podrobneje raziskovati ranljive skupine ter razvijati integrirane kazalnike, ki bi združevali podatke o zdravstvenih izidih, podnebnih razmerah in socialnoekonomskih dejavnikih.

Učinkovito prilagajanje vročini zahteva integracijo javnega zdravja v prostorsko načrtovanje: mestni načrti naj vključujejo presojo vplivov na zdravje, koordinirane akcijske načrte za vročinske valove in jasne protokole opozarjanja ter naj bodo ciljani na najbolj ranljive soseske in populacijske skupine. Ker višje urbane temperature izhajajo iz čezmerne pozidave in pomanjkanja zelenih površin, je ključna medsektorska politika, ki naj obravnava uporabo reflektivnih in prepustnih materialov, senčenje, zeleno in modro infrastrukturo ter socialno pravičnost. Dopolnilno je pomembno zagotavljati prost dostop do ohlajenih javnih prostorov v času vročinskih valov, saj to neposredno izboljšuje počutje in kakovost bivanja. Dejstvo je, da bodo brez skupnih, usklajenih ukrepov vseh resorjev za obvladovanje tveganj podnebne spremembe še naprej povečevale nevarnosti, povezane z vročino, ter s tem povezani obolevnost in umrljivost.

Viri in literatura

- Ahčan, U., Horvat, M., Derganc, M., Smrkolj, V. in Cimerman, M. (2007). *Prva pomoč: priročnik s praktičnimi primeri*. Rdeči križ Slovenije.
- Aram, F., Higuera García, E., Solgi, E. in Mansournia, S. (2019). Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon*, 5(4), e01339. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2019.E01339>
- ARSO OKOLJE (2024). *Kazalci zdravja in okolja. Število umrlih v obdobju vročinskih valov*. Agencija Republike Slovenije za okolje, 2024. <https://kazalci.arso.gov.si/sl/content/stevalo-umrlih-v-obdobju-vrocinskih-valov-2>
- Bertalančič, R., Dolinar, M., Draksler, A., Honzak, L., Kobold, M., Kozjek, K. idr. (2018). *Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja – sintezno poročilo*. Ministrstvo za okolje. Agencija Republike Slovenije za okolje. https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/OPS21_Porocilo.pdf
- Chersich, M. F., Pham, M. D., Areal, A., Haghghi, M. M., Manyuchi, A., Swift, C. P., Wernecke, B., Robinson, M., Hetem, R., Boeckmann, M. in Hajat, S. (2020). Associations between high temperatures in pregnancy and risk of preterm birth, low birth weight, and stillbirths: systematic review and meta-analysis. *BMJ*, 371. <https://doi.org/10.1136/BMJ.M3811>
- Cramer, M. N., Gagnon, D., Laitano, O. in Crandall, C. G. (2022). Human temperature regulation under heat stress in health, disease, and injury. *Physiological Reviews*, 102(4), 1907–1989. <https://doi.org/10.1152/physrev.00047.2021>
- Ebi, K. L., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., de Dear, R., Havenith, G. idr. (2021). Hot weather and heat extremes: Health risks. *The Lancet*, 398(10301), 698–708. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01208-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3)
- Fan, Y., Wang, J., Obradovich, N. in Zheng, S. (2023). Intraday adaptation to extreme temperatures in outdoor activity. *Scientific Reports*, 13(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/S41598-022-26928-Y.SUBJMETA>
- Godwin, J. L., Eunice Lo, Y. T., Maude, U., Timpson, N. J. in Northstone, K. (2025). Extreme heat impacts on daily life and adaptive behaviours captured through lived experience. *Environmental Research Letters*, 20(5), 054077. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ADCB5>
- Grašič, M. in Perčič, S. (2022). Število umrlih v času vročinskih valov po diagnozah, spolu, starostnih skupinah ter mestnem in podeželskem okolju, za Slovenijo, primerjava med letoma 2014 in 2018. *Medicinski razgledi*, 61(4): 437–56. <https://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-0K9LYVWE>
- Hao, T., Chang, H., Liang, S., Jones, P., Chan, P. W., Li, L. in Huang, J. (2023). Heat and park attendance: Evidence from “small data” and “big data” in Hong Kong. *Building and Environment*, 234, 110123. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2023.110123>
- Hojš, A., Pohar, M., Perčič, S., Uršič, S., Krošel, A., Lampič, V. idr. (2024). *Ocena ranljivosti in tveganja za zdravje zaradi podnebnih sprememb po podnebnih regijah v Sloveniji*. Nacionalni inštitut za javno zdravje. https://nijz.si/wp-content/uploads/2025/03/PODNEBNE-RANLJIVOST_popravek_10062025_poslano.pdf
- Lanza, K., Alcazar, M., Durand, C. P., Salvo, D., Villa, U. in Kohl, H. W. (2022). Heat-Resilient Schoolyards: Relations Between Temperature, Shade, and Physical Activity of Children During Recess. *Journal of Physical Activity and Health*, 20(2), 134–141. <https://doi.org/10.1123/JPAH.2022-0405>

- NIJZ, 2025. Napotki prebivalcem za ravnanje v vročih dneh. 2025. <https://nijz.si/moje-okolje/podnebne-spremembe/napotki-prebivalcem-za-ravnanje-v-vrocih-dneh/>
- Noelke, C., McGovern, M., Corsi, D. J., Jimenez, M. P., Stern, A., Wing, I. S. in Berkman, L. (2016). Increasing ambient temperature reduces emotional well-being. *Environmental Research*, 151, 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.06.045>
- Obradovich, N., Migliorini, R., Mednick, S. C. in Fowler, J. H. (2017). Nighttime temperature and human sleep loss in a changing climate. *Science Advances*, 3(5), e1601555. <https://doi.org/10.1126/SCIADV.1601555>
- Park, R. J., Goodman, J., Hurwitz, M. in Smith, J. (2020). Heat and Learning. *American Economic Journal: Economic Policy*, 12(2), 306–339. <https://doi.org/10.1257/POL.20180612>
- Perčič, S., Bitenc, K., Pohar, M., Uršič, A., Cegnar, T. in Hojs, A. (2024a). Assessing Heatwave-Related Deaths among Older Adults by Diagnosis and Urban/Rural Areas from 1999 to 2020 in Slovenia. *Climate*, 12, 148. <https://doi.org/10.3390/cli12090148>
- Perčič, S., Bitenc, K., Pohar, M., Uršič, A., Medved, A., Lampič, V. in Hojs, A. (2023). Spremljanje povečanega/zmanjšanege števila umrlih v času vročinskih valov za Upravo enoto Ljubljana v letih od 2013 do 2020. *Vetrnica: glasilo Slovenskega meteorološkega društva*, 15, 32–43.
- Perčič, S., Hojs, A., Pohar, M., Bitenc, K., Medved, A., Lampič, V. in Možina, H. (2024b). Association between heatwaves and Emergency Department visits at the Ljubljana University Medical Centre from 2013 to 2017. *Zdravniški vestnik: glasilo Slovenskega zdravniškega društva*, 93(9–10), 301–312. <https://doi.org/10.6016/ZdravVestn.3473>
- Perčič, S., Kukec, A., Cegnar, T. in Hojs, A. (2018). Number of heat wave deaths by diagnosis, sex, age groups, and area, in Slovenia, 2015 vs. 2003. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(1): 173. <https://doi.org/10.3390/ijerph15010173>
- Thompson, R., Lawrance, E. L., Roberts, L. F., Grailey, K., Ashrafiān, H., Maheswaran, H., Toledano, M. B. in Darzi, A. (2023). Ambient temperature and mental health: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Planetary Health*, 7(7), e580–e589. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00104-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00104-3)
- Tomšič, S., Šelb Šemerl, J. in Omerzu M. (2008). Vpliv vročinskih valov na umrljivost ljudi. V M., Gabrijelčič Blenkuš (ur.), *Svetovni dan zdravja 2008. Podnebne spremembe vplivajo na zdravje: moje, tvoje, naše* (str. 34–37). Inštitut za varovanje zdravja Republike Slovenije.
- van Loenhout, J. A. F., le Grand, A., Duijm, F., Greven, F., Vink, N. M., Hoek, G. in Zuurbier, M. (2016). The effect of high indoor temperatures on self-perceived health of elderly persons. *Environmental Research*, 146, 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.12.012>
- WHO, 2016. Urban green spaces and health – a review of evidence. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. 2016. <https://blogs.ubc.ca/2017/wufor200/files/2017/01/Urban-Green-Spaces-and-Health-WHO-2016.pdf>
- WHO, 2021. *Heat and health in the WHO European Region: Updated evidence for effective prevention*. WHO Regional Office for Europe, 2021. <https://www.humanitarianlibrary.org/resource/heat-and-health-who-european-region-updated-evidence-effective-prevention>
- WHO, 2024. *Heat and health*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health>
- Yin, B., Chen, Y. in Xu, X. (2024). How Does Temperature Change Affect Residents' Health? A Multidimensional Health Perspective. *Weather, Climate, and Society*, 16(4), 723–738. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-24-0041.1>
- Zander, K. K., Mathew, S. in Carter, S. (2024). Behavioural (mal)adaptation to extreme heat in Australia: Implications for health and wellbeing. *Urban Climate*, 53, 101772. <https://doi.org/10.1016/J.UCLIM.2023.101772>
- Zhang, X., Lin, Y., Bai, Y., Wang, Z. in Wang, C. (2025). Health undermined in extreme temperatures: Empirical evidence from China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 116, 105127. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2024>
- Zhao, Q., Guo, Y., Ye, T., Gasparri, A., Tong, S., Overcenco, A. idr. (2021). Global, regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: a three-stage modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 5(7), 415–425. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00081-4)

Toplotna psihologija mesta in vpliv vročine na počutje

Matija Svetina

Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za psihologijo

Izveček

V tem poglavju obravnavamo psihološke vidike urbanih toplotnih otokov in ugotavljamo, da vročina v mestih ni le fizikalni, temveč tudi psihološki pojav. Medtem ko so fiziološki učinki toplotnega stresa dobro raziskani, se zdi, da so njegovi kognitivni, čustveni in vedenjski vidiki premalo poznani. Na podlagi raziskav s področja okoljske psihologije pokažemo, da so povišane temperature povezane z vrsto kognitivnih in vedenjskih izidov, na primer s spremembami v pozornosti, spominu, z izvršilnimi funkcijami, prosocialnim vedenjem in stopnjo agresivnosti. Zaznavanje toplotnega stresa se razlikuje med posamezniki, nanj pa vplivajo psihološki dejavniki, kot so lokus kontrole, zaznavanje časa, socialni kontekst, kultura in drugi. V pričujočem poglavju obravnavamo tudi metode ocenjevanja subjektivnega toplotnega ugodja, s katerimi dopolnjujemo objektivne fizikalne in fiziološke kazalnike temperature v mestu. Z vključevanjem psiholoških spoznanj v raziskave toplotnih obremenitev v urbanem okolju prispevamo k celovitejšemu razumevanju toplotnega počutja in vedenja ter k oblikovanju mest, ki bi bila lahko bolj odporna proti temperaturnim spremembam.

Ključne besede:

toplotni stres, toplotno ugodje, zaznavanje toplotnega udobja, kognicija, razpoloženje, socialno vedenje

Abstract

The chapter examines the psychological dimensions of urban heat islands and argues that urban heat is not merely a physical phenomenon but also a psychological one. While the physiological effects of heat stress appear to be well known, its cognitive, emotional, and behavioural aspects remain comparatively underexplored. Drawing on insights from environmental psychology, we demonstrate that elevated temperatures are associated with a range of cognitive and behavioural outcomes, such as changes in attention, memory, executive functioning, prosocial behaviour, and aggression. Individuals differ in their perception of heat stress, and this perception is shaped by psychological factors including locus of control, time perception, social context, culture, and others. The chapter also discusses methods for assessing subjective thermal comfort, which complement objective physical and physiological indicators of temperature in urban settings during field research. By integrating psychological knowledge into the study of heat in urban environments, we contribute to a more comprehensive understanding of thermal experience and behaviour, as well as to the design of cities that may be more resilient to temperature fluctuations.

Keywords:

thermal stress, thermal comfort, perception of thermal comfort, cognition, mood, social behavior

1 Uvod

Podatki kažejo, da se v zadnjih desetletjih toplotni stres v mestnih okoljih krepi; pojav, ki ga nekateri avtorji (npr. Haddad idr., 2024; Ren idr., 2023) označujejo z izrazom urbani toplotni otok, pomeni, da je temperatura na nekaterih točkah v mestu višja kot na drugih točkah v istem mestu ali kot na podeželju. Razlogi za to so lahko različni (Abedrabboh idr., 2025; Lee idr., 2017) – zgoščena pozidava, velike asfaltne in druge vodonepropustne površine, pomanjkanje zelenih in vodnih površin, pomanjkanje sence, zaradi pozidave prekinjeni zračni tokovi, aktivno segrevanje ozračja (z avtomobilskimi motorji, klimatskimi in drugimi električnimi napravami), postavitve in orientacija stavb, interakcija teh sprememb s podnebnimi spremembami in druge. Medtem ko so fiziološki učinki toplotnih obremenitev (npr. dehidracija, povišano tveganje nastanka žilno-srčne bolezni, povišana smrtnost v vročinskih valovih) relativno dobro opisani (Lee idr., 2017; Mansi idr., 2021; Mora idr., 2017; Pandya idr., 2025; Simion idr., 2016), se zdi, da so vedenjske in duševne posledice manj poznane in ponekod spregledane.

V pričujočem poglavju se osredotočamo prav nanje. Pregled literature pokaže, da se učinki toplotnih obremenitev kažejo skozi različne duševne procese (npr. pozornost, spomin, izvršilne funkcije), z vedenjem (produktivnost in število napak pri delu, število prometnih nesreč), razdražljivostjo in konflikti ter tudi na razpoloženju in drugih subjektivnih merah počutja. Zaznavanje toplotnega ugodja je kompleksen proces (npr. Lian, 2024; Mansi idr., 2021; Nikolopoulou in Steemers, 2003; Pandya idr., 2025; Ren idr., 2023) in vključuje prepletanje okoljskih parametrov (npr. temperatura in vlažnost zraka), fizioloških odzivov nanje (npr. srčni utrip, telesna temperatura), subjektivne kazalnike toplotnega ugodja (npr. zadovoljstvo, razdražljivost), kognitivne (npr. pozornost), vedenjske in socialne vidike (npr. nasilje). Toplotno ugodje opredeljujemo kot duševno stanje, pri katerem posameznik izraža zadovoljstvo glede svojega toplotnega okolja (Hoppe, 2002).

V prvem delu poglavja prikažemo najpomembnejše korelate in dejavnike toplotnega stresa pri posamezniku (npr. kultura oblačenja, časovni pritisk, lokus kontrole). V drugem delu poglavja predstavljamo nekatere metode, ki se uporabljajo za posameznikovo subjektivno ocenjevanje toplotne obremenitve. Poudariti želimo, da so pri ocenjevanju toplotnih obremenitev na posameznika, enako kot pri objektivno izmerjenih okoljskih fizikalnih količinah (npr. toplota in vlažnost zraka idr.), pomembni psihološki dejavniki, ki fizikalne okoliščine po eni strani lahko delno kompenzirajo in s tem zmanjšujejo, po drugi pa intenzivirajo in povečujejo učinke toplotnega stresa. Z drugimi besedami, v istem prostoru je lahko enemu človeku vroče, drugemu pa ne; enake okoljske razmere tudi nas lahko enkrat motijo bolj drugič pa manj. V nadaljevanju navajamo ugotovitve študij, iz katerih lahko sklepamo, zakaj je tako.

2 Duševne posledice toplotne obremenitve

Kognicija. Podatki kažejo, da je temperatura v okolju, ki je nad psihološko mero ugodja, praviloma povezana z omejenimi ravnmi kognitivnega funkcioniranja. Podatki iz eksperimentalne študije so npr. pokazali (Gaoua idr., 2012), da se pri povišanem subjektivnem zaznavanju toplotnega stresa podaljšajo odzivni časi pri nalogah, ki zahtevajo kompleksnejše mentalne procese; reakcijski časi so se pri udeležencih podaljšali pri zaznanem toplotnem neugodju tudi takrat, ko so poročali o tem, da jim je vroče, čeprav fiziološki odziv (npr. telesna temperatura) še ni bil prisoten. Temperaturni stres je praviloma povezan z daljšimi odzivnimi časi, težavami s pozornostjo, učenjem, sklepanjem, spominom, reševanjem matematičnih problemov, je pokazala pregledna študija (Pilcher idr., 2002).

Posledice toplotne obremenitve pa niso v vseh primerih enake – povezane so s časom posameznikove izpostavljenosti toplotnemu stresu, tipu in kompleksnosti naloge ter s časom reševanja same naloge. Cedeño Laurent in soavtorji (2018) so v dva tedna dolgem vročinskem valu vsako jutro merili selektivno pozornost, hitrost reševanja kognitivnih problemov in delovnega spomina; ugotovili so, da so študentje, ki so spali v stavbah brez klimatske naprave, dosegli nižje rezultate na vseh navedenih testih kot študentje, ki so spali v klimatiziranih prostorih. Tudi podatki za udeležence, ki so v nadzorovanih eksperimentih (Lan idr., 2011) pri dveh različnih temperaturah prostora (22 in 30 stopinj Celzija) reševali kognitivne naloge, so pokazali, da so bile produktiv-

nost, hitrost in točnost reševanja problemov v razmerah z višjo temperaturo prostora slabše. Tudi pregledna študija Hancock in Vasmatzidis (2003) je pokazala, da se z naraščajočo toplotno obremenitvijo niža uspešnost reševanja tako kompleksnejših kot tudi bolj preprostih mentalnih nalog.

Promet in učinkovitost pri delu. Izpostavljenost toplotni obremenitvi se kaže tudi v delovnem okolju in drugih okoljih, na primer v višjem številu bolniških odsotnosti in nižji produktivnosti na delu (Zander idr., 2015), kažejo podatki. Tudi podatki, zbrani pri večletnem spremljanju temperatur in prometnih nesreč, so pokazali (Metin, 2023), da so temperatura zraka, vlažnost in drugi parametri okolja povezani s subjektivno zaznavo toplotnega neudobja ter z višjim številom prometnih prekrškov in prometnih nesreč.

Razpoloženje. Podatki kažejo, da z naraščanjem toplotnega stresa naraščajo težave, povezane z motnjami razpoloženja, na primer stopnja anksioznosti, depresivnosti, tudi število samomorov (Anderson, 2001; Fisher idr., 2024; Ozbey in Turhan, 2024). Opozoriti velja, da teh odnosov brez nadaljnjih študij ne smemo razumeti kot vzročno-posledične.

Socialno vedenje. Raziskave kažejo, da so temperature povezane tudi s spremembami v socialnem vedenju; z višanjem temperature se zmanjšujeta sodelovalnost in prosocialno obnašanje, zvišujeta pa se tako raven razdražljivosti kot tudi stopnja konfliktov (Anderson, 2001; Anderson idr., 2000; Fisher idr., 2024). Ranson (2012) je iz podatkov mesečnih temperatur v ZDA v razdobju 50 let ugotovil, da se v obdobjih vročinskih valov poveča stopnja tako rekoč vseh oblik nasilja, na primer tatvin, ropov, napadov, pretepev, vlomov, kraj avtomobilov, pa tudi posilstev in umorov. Podatki druge pregledne študije (Hsiang idr., 2013) so pokazali, da se pri porastu temperature (za eno standardno deviacijo) povečata konfliktnost in nasilje med socialnimi skupinami. Po drugi strani so podatki pokazali, da prisotnost vegetacije v mestu zmanjšuje stopnjo kriminala; študija (Kuo in Sullivan, 2001) na podatkih iz Chicaga je pokazala, da je v okrožjih, kjer je več zelenih površin, manj kriminalnih dogodkov – tudi, če so kontrolirali ekonomski in socialni status soseske.

3 Dejavniki zaznavanja toplotnega stresa

Ureditve javnih prostorov. Podatki kažejo, da je zaznavanje temperature povezano tudi s samo ureditvijo mestnih prostorov, kot so urbane strukture in materiali na javnih prostorih. Študija na Nizozemskem (Lenzholzer in van der Wulp, 2010) je pokazala, da je zaznava toplotnega neudobja višja na mestnih trgih, ki jih obiskovalci zaznavajo kot prazne. Kaj to pomeni? Udeleženci so kvadratne trge zaznavali kot bolj vroče v primerjavi s pravokotnimi. Avtorji ugotavljajo, da so za toplotno ugodje primernejši trgi z razmerjem 1 : 4 med širino in dolžino; razlog, kot menijo avtorji, bi bil lahko skrit v zaznavnem procesu, povezanem s tako imenovanim vizualnim zamejevanjem, tigmotaksijo (tendenco, da se na odprtih površinah raje gibljemo ob robovih kot po sredini prostora) in občutjem varnosti na odprtih prostorih. Podatki so pokazali tudi, da velike prazne javne površine zaznavamo kot bolj vroče v primerjavi s prostori, na katerih so zelenje, vodnjaki ali urbano pohištvo. Tudi prostore z velikimi gladkimi površinami (npr. beton, steklo, velike prazne betonske površine idr.) zaznavamo kot bolj vroče od tistih z bolj toplimi materiali (npr. les, opeka) in razgibanimi oblikami stavb okrog teh trgov.

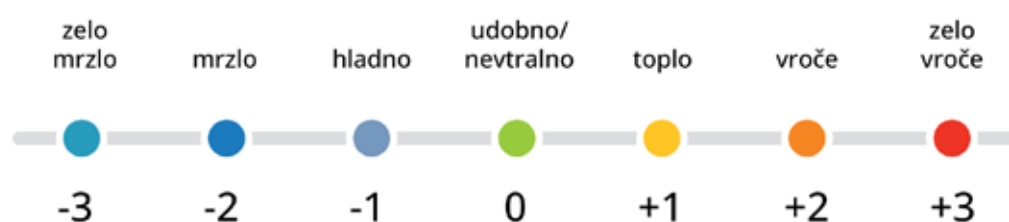
Lokus kontrole. Z izrazom lokus kontrole (Kormanik in Rocco, 2009) označujemo posameznikovo prepričanje o tem, kolikšen nadzor ima nad dogodki, ki se mu dogajajo, oziroma v kolikšni meri so njegove odločitve in aktivnosti povezane z izidom nekega dogodka. Notranji lokus kontrole pomeni posameznikovo prepričanje, da so dogodki v njegovem življenju posledica lastnih odločitev in aktivnosti, zunanji pa, da so posledica stvari, ki so izven njega in nanje nima neposrednega vpliva (npr. naključje, sistem itd.). Študije iz okoljske psihologije kažejo, da je lokus kontrole neposredno povezan z vrsto posamezniku neprijetnih okoljskih dogodkov, na primer zaznavanjem gneče, hrupa in temperature (Gifford, 2014; Hellwig, 2015). Podatki med drugim kažejo, da je zaznavanje toplotnega neugodja obratno sorazmerno z možnostjo nadzora nad zunanjimi dejavniki. Vročina nas manj moti, kadar vemo, da lahko gremo v senco, ohlajen prostor, vklopimo klimatsko napravo ali prezračimo prostor, se slečemo in drugo, kot takrat, ko se nam zdi, da take možnosti nimamo – čeprav ni nujno, da kaj od naštetega tudi naredimo. Udeležencem eksperimenta, ki so imeli možnost nastaviti temperaturo v sobi ali na vlaku, je bilo npr. manj vroče kot tistim, ki te možnosti niso imeli (Zierke idr., 2023), čeprav njihova aktivnost v resnici ni vplivala na dejansko temperaturo v prostoru. Avtorji (Zierke idr., 2023) ugotavljajo, da prepričanje, da lahko vplivamo na temperaturo v prostoru, zmanjša zaznavo toplotnega stresa, četudi deluje kot placebo.

Socialno okolje. Socialno okolje pomembno oblikuje posameznikovo doživljanje toplotnega stresa, saj določa standarde ugodja, pričakovanje glede sprejemljivih temperatur ter načine spoprijemanja z vročino (npr. Knez in Thorsson, 2006; Wong idr., 2021). Raziskave so pokazale, da prebivalci toplih podnebij poročajo o višji toleranci do vročine in o nižjih zahtevah po mehanskem hlajenju kot prebivalci zmernih območij (de Dear in Brager, 2002; Nicol in Humphreys, 2002). Na zaznavanje toplotnega ugodja vplivajo tudi kulturno pogojene prakse oblačenja, vedenjski vzorci, kot so urniki aktivnosti, druženje na javnih prostorih, navade glede pitja tekočin (Aljawabra in Nikolopoulou, 2018). Študije so pokazale tudi nekatere razlike v zaznavanju toplotnega stresa po spolu: Kalegeropoulos in sodelavci (2022) med drugim poročajo, da je bilo ženskim udeleženkam študije v istih okoljskih razmerah bolj vroče kot moškim udeležencem.

4 Ocenjevanje toplotnega udobja

Zdi se, da je v znanstveni skupnosti zanimanje za raziskovanje mehanizmov in učinkov toplotnih tokov precej veliko in s časom narašča. Iskalnik Google Scholar pokaže, da je bilo med letoma 1975 in 2000 na to temo objavljenih približno 130.000 člankov, med letoma 2001 in 2025 pa skoraj še enkrat več, približno 220.000, od tega se jih je desetina (približno 28.000) ukvarjala z vprašanjem toplotnega ugodja.

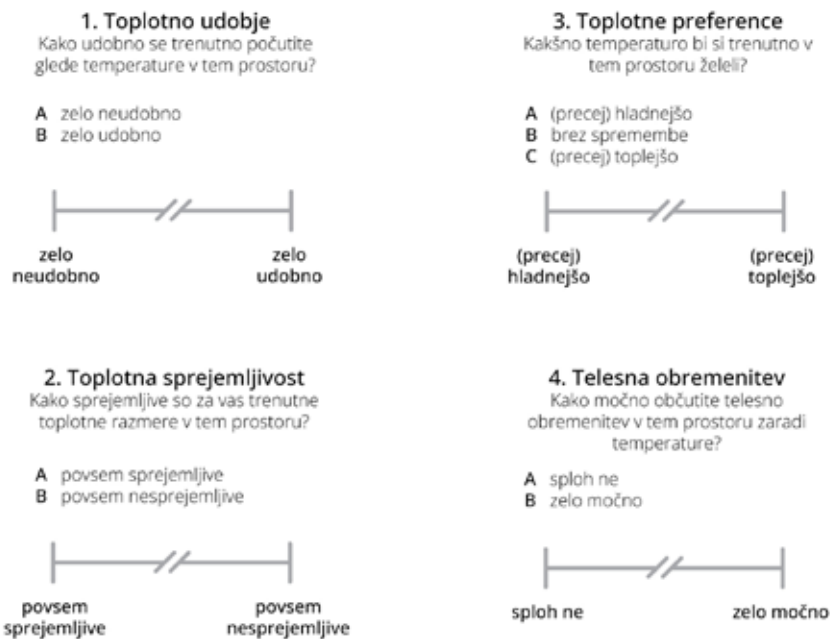
Pregledne študije (npr. Abedrabboh idr., 2025; Lee idr., 2017; Mansi idr., 2021; Pandaya idr., 2025; Ren idr., 2023; Shooshrtarian, 2020) pokažejo, da je toplotno ugodje povezano z vrsto okoljskih in telesnih korelatov. Avtorji (glej, med drugim, Lee idr., 2017; Pandya idr., 2025; Simion idr., 2016) so modelirali različne vidike toplotnega ugodja, pri katerih so med drugim upoštevali temperaturo in vlažnost zraka, zračne tokove, fiziološke odzive (kot sta vlažnost kože, pritisk) in druge. Za ocenjevanje teh parametrov so uporabljali različne podatkovne zbirke, senzorje okoljskih parametrov na terenu in druge pripomočke, o katerih avtorji poročajo skupaj z njihovimi tehničnimi lastnostmi. Tehnične lastnosti so pomembne zato, ker natančni merski instrumenti zagotavljajo zanesljivost in veljavnost meritev (npr. Donateo idr., 2023; Kalegeropoulos idr., 2022). Po drugi strani pa je presenetljivo, da avtorji istih študij kot glavno merilo toplotnega ugodja praviloma uporabljajo preproste subjektivne lestvice toplotnega ugodja, z navedkom, da je to instrument, ki ga uporabljajo tudi avtorji drugih študij. Med njimi je posebej popularna ASHRAE 7-stopenjska lestvica toplotnega ugodja (Ren idr., 2023; slika 1).



Slika 1: ASHRAE 7-stopenjska lestvica toplotnega ugodja

Njen nastanek je povezan s projektom ASHRAE Global Thermal Comfort Database II (ASHRAE 1; de Dear in Brager, 2002; Roni in Hariri, 2021), ki je potekal pod okriljem univerz Berkley in Sidney sredi 90-ih let prejšnjega stoletja. Gre za zbirko metod, ugotovitev in velikih podatkovnih zbirk, ki omogočajo vpogled v najrazličnejše parametre toplotnega ugodja. Vsebujejo, na primer, podatke o fizičnih parametrih toplotnega okolja (zunanja in notranja temperatura, vlaga, hitrost zračnega gibanja), demografske in vedenjske parametre uporabnikov prostorov (npr. spol, starost, oblačila idr.), namembnost (pisarna, šola, dom), podatke o tem, ali je mogoče odpreti okna, ali v prostoru uporabniki lahko sami uravnavajo temperaturo, ali imajo prostori klimatske naprave - in subjektivne lestvice toplotnega ugodja. Zaradi sistematičnosti zbiranja podatkov, širokega nabora kazalnikov toplotne obremenitve, velikega števila meritev in proste dostopnosti podatkov lahko iz zbirke izbiramo različne kombinacije podatkov ter z njihovo pomočjo odgovarjamo na vprašanja, kot so določanje okoljskih parametrov (npr. temperatura, vlaga idr.), ki so še sprejemljivi za uporabnike prostorov, ocenjevanje razlik po spolu, starosti, kulturi; razumevanje, kako je to povezano s preferencami glede obleke in prezračevanja in drugo. Zaradi kompleksnosti in dostopnosti podatkov je navedena podatkovna zbirka postala ena od pomembnejših referenc za ocenjevanje toplotnega stresa.

Medtem ko se študije toplotnega ugodja po eni strani v veliki meri posvečajo tehničnim parametrom fizikalnih in fizioloških merilnikov toplotnega ugodja, so psihometrične lastnosti osrednje mere, subjektivne ocene toplotnega ugodja, deležne presenetljivo malo zanimanja, čeprav nekateri avtorji (npr. Schweiker idr., 2020) ugotavljajo, da imajo te mere vrsto pomanjkljivosti. Zdi se, da je subjektivna mera toplotnega ugodja večdimenzionalni pojav, ki se kaže, med drugim, vsaj prek toplotne zaznave, toplotnih preferenc, toplotnega zadovoljstva in toplotne sprejemljivosti, avtorji pa jih ocenjujejo na podlagi različnih binarnih, kategorialnih ali kontinuiranih meril. Na sliki 2 je predstavljenih nekaj primerov takih lestvic, ki jih lahko uporabljamo, npr. kot kategorialne (z odgovori A, B ali C, na primerih zgoraj), ali pa kot kontinuirane (npr. vizualno-analogne, na primerih spodaj).



Slika 2: Primeri subjektivnih lestvic toplotnega ugodja

plotnega ugodja je zato zelo pomemben del ocenjevanja toplotnega stresa. Poleg fizičnih (npr. temperatura in vlažnost zraka) in fizioloških meritev (npr. srčni utrip, upornost kože, kazalniki potenja, frekvenca dihanja itd.) je prav subjektivna ocena tista mera, ki nam da vpogled v to, kako posameznik doživlja (zaznava in vrednoti) temperaturo okolice in svoj telesni odziv nanjo. To nato raziskovalci praviloma tudi uporabljajo kot kriterijsko mero v svojih računskih modelih. Kot so pokazale študije, imajo lahko podobna temperatura in vlaga v okolici ter podoben telesni odziv nanjo povsem drugačno subjektivno kakovost (občutje), če smo jim izpostavljeni hote (npr. v savni, na plaži) ali proti svoji volji (npr. na parkirišču, na avtobusu). Merjenje zgolj objektivnih kazalnikov toplotne obremenitve torej ni dovolj, saj nam ne da vpogleda v to, kolikšen stres povzročijo toplotne razmere posamezniku. Ker je odgovor, kot kažejo študije, odvisen od vprašanja, ki ga pri tem zastavimo posamezniku (Pigliautile idr., 2025), je treba psihološki instrumentarij za oceno toplotnega ugodja skrbno izbrati, sicer dobimo vrednosti, ki niso niti veljavne niti zanesljive.

5 Sklep

Razumevanje urbanih toplotnih otokov se tradicionalno osredotoča na fizikalne in fiziološke kazalnike – temperaturo, vlago, emisije toplote, fiziološke stresne odzive in zdravstvene zaplete, v tem poglavju pa smo pokazali, da ima vročina v mestu tudi izrazito psihološko dimenzijo. Toplotni stres, kažejo podatki, je povezan s pozornostjo, spominom, izvršilnimi funkcijami in razpoloženjem, kar povečuje verjetnost napak, zmanjšuje delovno učinkovitost in spreminja vzorce socialnih aktivnosti.

Pomembna je tudi ugotovitev, da zaznavanje toplotne obremenitve ni enodimenzionalni konstrukt; na podobna vprašanja o toplotnem ugodju lahko od istega posameznika dobimo odgovore, ki na videz niso skladni med seboj, zrcalijo pa mehanizme zaznavanja, motivacije, osebnostnih lastnosti, konteksta in drugih duševnih

Schweiker in soavtorji (2020) so odkrili, da avtorji, ki ocenjujejo toplotno ugodje, pri uporabi merskih instrumentov pogosto zanemarjajo instrumente iz predhodnih študij in oblikujejo vsak svoje mere subjektivnega toplotnega ugodja, poročanje o merskih lastnostih teh instrumentov pa je, kot ugotavljajo, nepopolno in ponekod celo izpuščeno. Zaradi teh pomanjkljivosti, menijo avtorji, pogosto ne vemo, ali so razlike med posameznimi študijami posledica okoljskih in kontekstualnih dejavnikov ali pa zgolj nepreverjenih psihometričnih elementov meritev toplotnega ugodja, kot sta zanesljivost in veljavnost.

Izbira lestvice je odvisna od cilja, ki ga želimo doseči z merjenjem. Izbira subjektivne lestvice za ocenjevanje to-

elementov našega doživljanja toplotnega (ne)ugodja. Ista temperatura je lahko enkrat znosna, drugič pa ne – odvisno od subjektivnih dejavnikov, kot so npr. lokus kontrole, motivacija, socialno okolje, časovni kontekst.

Psihološki dejavniki ne določajo le, kako močno posameznik doživlja vročino, temveč tudi, kako se nanjo odziva: z iskanjem sence, zmanjšanjem aktivnosti ali socialnim umikom. To po eni strani odpira potrebo po vključevanju psiholoških mer in teorij v načrtovanje in upravljanje mestnih okolij, po drugi pa odpira tudi številna vprašanja, povezana z oblikovanjem interdisciplinarnih modelov, ki bi povezovali fizične kazalnike, fiziološke odzive in duševne procese v enoten okvir, uporaben za načrtovalce mest.

Poglavje tako zaključujemo z mislijo, da mesta niso le fizični, ampak so tudi, ali morda predvsem, psihološki in socialni prostori, o katerih imajo stroke vrsto empiričnih podatkov in uporabnih teorij. Menimo, da prav poznavanje vseh teh prostorov in interdisciplinarno razumevanje povezav med njimi omogoča ključno pot k priznanejšemu in učinkovitejšemu prostorskemu načrtovanju – in navsezadnje k boljši toplotni odpornosti mest.

Viri in literatura

- Abedrabboh, O., Alfarra, M. R., Al-Ansari, T. in Fountoukis, C. (2025). Enhancing human thermal comfort in hot arid cities: A systematic review of urban heat island observations and mitigation strategies. *Building and Environment*, 283, 113398. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113398>
- Aljawabra, F. in Nikolopoulou, M. (2018). Thermal comfort in urban spaces: A cross-cultural study in the hot arid climate. *International Journal of Biometeorology*, 62(10), 1901–1909. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1592-5>
- Anderson, C. A. (2001). Heat and violence. *Current Directions in Psychological Science*, 10(1), 33–38. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.00109>
- Anderson, C. A., Anderson, K. B., Dorr, N., DeNeve, K. M. in Flanagan, M. (2000). Temperature and aggression. *Advances in Experimental Social Psychology*, 32, 63–133. [https://doi.org/10.1016/S0065-2601\(00\)80004-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2601(00)80004-0)
- ASHRAE 1, ASHRAE global thermal database II. <https://www.kaggle.com/datasets/claytonmiller/ashrae-global-thermal-comfort-database-ii>
- Cedeño Laurent, J. G., Williams, A., Oulhote, Y., Zanobetti, A., Allen, J. G. in Spengler, J. D. (2018). Reduced cognitive function during a heat wave among residents of non-air-conditioned buildings. *PLoS Medicine*, 15(7), e1002605. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002605>
- de Dear, R. J. in Brager, G. S. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, 34(6), 549–561. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00005-1)
- Donateo, A., Palusci, O., Pappaccogli, G., Esposito, A., Martilli, A., Santiago, J. L. in Buccolieri, R. (2023). Analysis of urban heat island and human thermal comfort in a Mediterranean city: A case study of Lecce (Italy). *Sustainable Cities and Society*, 98, 104849. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104849>
- Fischer, S., Naegeli, K., Cardone, D., Filippini, C., Merla, A., Hanusch, K. U. in Ehlert, U. (2024). Emerging effects of temperature on human cognition, affect, and behaviour. *Biological Psychology*, 189, 108. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2024.108791>
- Gaoua, N., Racinais, S., Grantham, J. in El Massioui, F. (2012). Sensory displeasure reduces complex cognitive performance in the heat. *Journal of Environmental Psychology*, 32(2), 158–163. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2012.01.002>
- Gifford, R. (2014). *Environmental psychology: Principles and practices*. Optimal books.
- Haddad, S., Zhang, W., Paolini, R., Gao, K., Altheeb, M., Al Mogirah, A., ... in Santamouris, M. (2024). Quantifying the energy impact of heat mitigation technologies at the urban scale. *Nature Cities*, 1(1), 62–72. <https://doi.org/10.1038/s44284-023-00005-5>
- Hancock, P. A. in Vasmatazidis, I. (2003). Effects of heat stress on cognitive performance: The current state of knowledge. *International Journal of Hyperthermia*, 19(3), 355–372. <https://doi.org/10.1080/0265673021000054630>
- Hellwig, R. T. (2015). Perceived control in indoor environments: A conceptual approach. *Building Research in Information*, 43(3), 302–315. <https://doi.org/10.1080/09613218.2015.1004150>
- Hsiang, S. M., Burke, M. in Miguel, E. (2013). Quantifying the influence of climate on human conflict. *Science*, 341(6151), 1235367. <https://doi.org/10.1126/science.1235367>
- Kalogeropoulos, G., Dimoudi, A., Touboulidis, P. in Zoras, S. (2022). Urban heat island and thermal comfort assessment in a medium-sized Mediterranean city. *Atmosphere*, 13(7), 1102. <https://doi.org/10.3390/atmos13071102>
- Knez, I. in Thorsson, S. (2006). Influences of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square. *International Journal of Biometeorology*, 50(5), 258–268. <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0024-0>
- Kormanik, M. B. in Rocco, T. S. (2009). Internal versus external control of reinforcement: A review of the locus of control construct. *Human Resource Development Review*, 8(4), 463–483. <https://doi.org/10.1177/1534484309342080>
- Kuo, F. E. in Sullivan, W. C. (2001). Environment and crime in the inner city: Does vegetation reduce crime? *Environment and Behavior*, 33(3), 343–367. <https://doi.org/10.1177/0013916501333002>
- Lan, L., Wargocki, P. in Lian, Z. (2011). Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort. *Energy and Buildings*, 43(5), 1057–1062. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.09.001>
- Lee, Y. Y., Din, M. F. M., Ponraj, M., Noor, Z. Z., Iwao, K. in Chelliapan, S. (2017). Overview of urban heat island (UHI) phenomenon towards human thermal comfort. *Environmental Engineering in Management Journal (EEMJ)*, 16(9). <https://doi.org/10.30638/eemj.2017.217>
- Lenzholzer, S. in van der Wulp, N. Y. (2010). Thermal experience and perception of the built environment in Dutch urban squares. *Journal of Urban Design*, 15(3), 375–401. <https://doi.org/10.1080/13574809.2010.488030>
- Lian, Z. (2024). Revisiting thermal comfort and thermal sensation. *Building Simulation*, 17(3), 421–437. <https://doi.org/10.1007/s12273-024-1107-8>

- Mansi, S. A., Barone, G., Forzano, C., Pigliautile, I., Ferrara, M., Pisello, A. L. in Arnesano, M. (2021). Measuring human physiological indices for thermal comfort assessment through wearable devices: A review. *Measurement*, 183, 109872. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109872>
- Metin, A. E. (2023). Evaluation of the Effects of Thermal Comfort Conditions and Weather Conditions on Traffic Rule Violations and Traffic Accidents. *Pure and Applied Geophysics*, 180(8), 3157–3175. <https://doi.org/10.1007/s00024-023-03320-z>
- Mora, C., Dousset, B., Caldwell, I. R., ... in Trauernicht, C. (2017). Global risk of deadly heat. *Nature Climate Change*, 7(7), 501–506. <https://doi.org/10.1038/nclimate3322>
- Nicol, J. F. in Humphreys, M. A. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, 34(6), 563–572. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00006-3)
- Nikolopoulou, M. in Steemers, K. (2016). Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*, 35(1), 95–101. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00084-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00084-1)
- Özbeý, M. F. in Turhan, C. (2024). Investigating the Relationship Between Thermal Comfort and Human Psychology: A Review. *Journal of Building Design and Environment*, 3(2). <https://doi.org/10.37155/2811-0730-0302-16>
- Pandya, P., Llaguno-Munitxa, M., Edwards, M. G., Lacroix, E., Manoli, G., in Middel, A. (2025). Environmental, neuropsychological, and physiological factors in urban outdoor thermal comfort assessments: A systematic review. *International Journal of Biometeorology*, 69, 1819–1841. <https://doi.org/10.1007/s00484-025-02942-3>
- Pigliautile, I., Nespoli, L. in Closs, L. (2025). Design and validation of a thermal comfort questionnaire using exploratory and confirmatory factor analyses. *Energy and Buildings*, 306, 113514. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.113514>
- Pilcher, J. J., Nadler, E. in Busch, C. (2002). Effects of hot and cold temperature exposure on performance: A meta-analytic review. *Ergonomics*, 45(10), 682–698. <https://doi.org/10.1080/00140130210158419>
- Ranson, M. (2014). Crime, weather, and climate change. *Journal of Environmental Economics and Management*, 67(3), 274–302. <https://doi.org/10.1016/j.jeeem.2013.11.008>
- Ren, J., Shi, K., Li, Z., Kong, X. in Zhou, H. (2023). A review on the impacts of urban heat islands on outdoor thermal comfort. *Buildings*, 13(6), 1368. <https://doi.org/10.3390/buildings13061368>
- Roni, M. S. B. in Hariri, A. (2021). ASHRAE Global Thermal Comfort Database II: Comparison of Thermal comfort Conditions in Different Type of Building. *Research Progress in Mechanical and Manufacturing Engineering*, 2(2), 189–200 <https://doi.org/10.30880/rpmme.2021.02.02.023>
- Schweiker, M., André, M., Al-Atrash, F., ... in Zomorodian, Z. (2020). Evaluating assumptions of scales for subjective assessment of thermal environments: Do laypersons perceive them the way we researchers believe? *Energy and Buildings*, 211, 109761. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109761>
- Shooshtarian, S., Lam, C. K. C. in Kenawy, I. (2020). Outdoor thermal comfort assessment: A review on thermal comfort research in Australia. *Building and Environment*, 177, 106917. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106917>
- Simion, M., Socaciu, L. in Unguresan, P. (2016). Factors which influence the thermal comfort inside of vehicles. *Energy Procedia*, 85, 472–480. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.229>
- Zander, K. K., Botzen, W. J. W., Oppermann, E., Kjellstrom, T. in Garnaut, R. (2015). Heat stress causes substantial labour productivity loss in Australia. *Nature Climate Change*, 5(7), 647–651. <https://doi.org/10.1038/nclimate2623>

Vpliv urbanega toplotnega otoka na toplotno ugodje

Samo Drobne

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Izvleček

Prispevek obravnava vpliv urbanega toplotnega otoka – UTO (angl. Urban Heat Island – UHI) na toplotno ugodje na prostem – TUP (angl. *Outdoor Thermal Comfort – OTC*) v Ljubljani. Raziskava temelji na integriranem terenskem delu, ki združuje mikroklimatske meritve, spremljanje izbranih fizioloških kazalnikov ter subjektivne psihološke ocene zaznanega toplotnega ugodja. Terenski eksperiment je bil izveden na petih morfološko in funkcionalno raznolikih mikrolokacijah v toplem delu leta 2025. Rezultati kažejo izrazite razlike v toplotni obremenitvi med posameznimi lokacijami, povezane z gostoto pozidave, deležem rastlinstva, senčenjem in izpostavljenostjo sončnemu sevanju. Zaznano splošno ugodje je dosledno negativno povezano z naraščanjem temperature in kazalnikov toplotnega stresa. Ugotovitve potrjujejo pomembni vpliv UTO na doživljanje urbanega prostora ter poudarjajo vlogo prostorskih in morfoloških značilnosti pri blaženju toplotnega stresa in varovanju zdravja uporabnikov.

Ključne besede:

urbani toplotni otok, toplotno ugodje na prostem, fiziološki odziv, psihološki odziv, Ljubljana

Abstract

This paper examines the impact of the Urban Heat Island – UHI (slov. urbani toplotni otok – UTO) phenomenon on Outdoor Thermal Comfort – OTC (slov. *toplotno ugodje na prostem* – TUP) in Ljubljana. The study uses an integrated field approach, combining microclimatic measurements, selected physiological indicators, and subjective psychological assessments of perceived thermal comfort. A field experiment was conducted at five morphologically and functionally diverse micro-locations during the warm season of 2025. The results reveal pronounced differences in thermal load between locations, related to building density, vegetation coverage, shading, and solar exposure. Perceived overall comfort is consistently negatively associated with increasing temperature and thermal stress indices. The findings confirm the significant influence of UTO on the perception of urban space and highlight the importance of spatial and morphological characteristics in mitigating heat stress and protecting human health.

Keywords:

urban heat island, outdoor thermal comfort, physiological response, psychological response, Ljubljana

1 Uvod

Urbani toplotni otok – UTO (angl. *Urban Heat Island* – UHI) je med najpomembnejšimi mikroklimatskimi pojavi v urbanih okoljih, pri katerem so temperature zraka in površin v mestu, zlasti v gosteje pozidanih delih, višje kot v manj pozidanem zaledju. Klasična razlaga temelji na energijskem ravnovesju urbanih površin: temni, neprepustni materiali z visoko toplotno kapaciteto in nizkim albedom povečajo vpijanje sončnega sevanja, zmanjšana evapotranspiracija pa oslabi naravno hlajenje. Hkrati geometrija urbanih koridorjev vpliva na turbulenco in izmenjavo zraka (Oke, 1982; Santamouris, 2015). V zadnjih letih se razumevanje UTO dodatno standardizira z okvirom lokalnih podnebnih območij (angl. *Local Climate Zones* – LCZ), ki omogoča primerjavo morfološko-materialnih tipov prostora z vidika njihovega toplotnega odziva (Stewart in Oke, 2012). Povezava med morfologijo in mikroklimo je posebej pomembna za načrtovanje urbanega prostora, saj se toplotna obremenitev v urbanem okolju ne porazdeli enakomerno, temveč je močno pogojena z gostoto pozidave, višino objektov, razmerjem med grajenimi in zelenimi površinami ter stopnjo senčenja (Oke, 1982; Stewart in Oke, 2012; Santamouris, 2015).

Z vidika podnebnih sprememb postaja pojav UTO še pomembnejši, saj se vročinske skrajnosti pojavljajo pogosteje, trajajo dlje in so intenzivnejše. IPCC (2023) poudarja, da bodo vročinski valovi v številnih evropskih regijah pogostejši, kar v mestih pomeni povečano toplotno izpostavljenost in s tem povezane obremenitve za zdravje prebivalcev. WHO (2015) poudarja potrebo po sistemih opozarjanja in prilagoditvenih ukrepih, ki upoštevajo prostorsko heterogenost tveganj, zlasti v območjih z manj senčenja in omejeno modro-zeleno infrastrukturo. Zdravstveni vidik urbanega pregrevanja je dobro dokumentiran: toplotni stres povečuje tveganje nastanka srčno-žilnih in dihalnih zapletov ter prispeva k presežni umrljivosti, pri čemer sta posebej ranljivi skupini starejši in kronični bolniki (Thompson idr., 2024; Masselot idr., 2023). V Sloveniji se povezave med vročino in zdravjem obravnavajo v epidemioloških analizah in študijah toplotnih valov; rezultati kažejo na zaznavno presežno umrljivost v obdobjih ekstremne vročine (Perčič idr., 2018; Grašič in Perčič, 2022), novejšee ocene pa posebej opozarjajo na ranljivost starejših med vročinskimi valovi (Perčič idr., 2024).

Toplotno ugodje na prostem – TUP (angl. *Outdoor Thermal Comfort* – OTC) je multidisciplinarni koncept, ki se je v raziskavah uveljavil kot most med mikroklimo in uporabniško izkušnjo prostora. Raziskave so pokazale, da je zaznava ugodja močno pogojena s psihološko prilagoditvijo, pričakovanji in vedenjem posameznikov (Nikolopoulou in Steemers, 2003; Zhuang idr., 2022). Pregledne študije in metaanalize potrjujejo, da je pri TUP nujna kombinacija objektivnih kazalnikov (meteorološke spremenljivke in indeksi) ter subjektivnih ocen, saj lahko enake fizikalne razmere v različnih prostorskih in kulturnih kontekstih vodijo do različno zaznanega ugodja (Lindberg idr., 2018; Ren idr., 2023; Wilson idr., 2025). Na podlagi sistematičnih pregledov terenskih študij TUP je ugotovljeno, da so najpogosteje uporabljeni kazalniki fiziološko ekvivalentna temperatura (angl. *Physiologically Equivalent Temperature* – PET), univerzalni indeks toplotnega podnebjaja (angl. *Universal Thermal Climate Index* – UTCI) in indeks temperature mokrega termometra in črne krogle (angl. *Wet Bulb Globe Temperature* – WBGT); njihova uporabnost se poveča, ko so dopolnjeni z anketami in razlago prostorskega konteksta (Aghamolaei idr., 2023; Ren idr., 2023). Poleg teh kazalnikov je v praksi pogosto ključna tudi lokalna vetrovna komponenta, saj veter v veliki meri modulira konvekcijsko hlajenje, ki je prepoznano kot ena najboljčutljivejših spremenljivk v biometeorologiji (Matzarakis idr., 1999; Bröde idr., 2012).

Raziskave vse bolj poudarjajo, da so razlike v TUP v mestu predvsem posledica urbane morfologije in materialov v prostoru. Sistematični pregled povezav med urbano morfologijo in TUP kaže, da so ključni dejavniki gostota pozidave, razmerje med višino objektov in širino ulic, rastlinstvo, albedo ter prisotnost vode (Stewart in Oke, 2012; Ren idr., 2023). V vroče-vlažnih okoljih so že zgodnje terenske raziskave pokazale, da lahko morski vetrovi in posebna morfologija pomembno vplivajo na mikroklimo in ugodje (Emmanuel in Johansson, 2006), kar je metodološko pomembno tudi za celinske lokacije, kjer lokalni pretoki zraka in senčenje odločajo o razlikah med mikrolokacijami. Modro-zelena infrastruktura postaja osrednji ukrep blaženja; v metaštudijah ugotavljajo, da kombinacija drevesnega senčenja in evapotranspiracije znižuje toplotno obremenitev ter izboljšuje zaznano ugodje (Bowler idr., 2010; Norton idr., 2015; Ren idr., 2023; Soltanifard in Amani-Beni, 2025). Pri sodobnih, k človeku usmerjenih metodah blaženja vročine se poudarja, da ukrepi niso le fizični (materiali, senčenje), temveč tudi organizacijski (upravljanje prostora, raba in dostopnost ohlajevalnih točk) (Stone idr., 2014; WHO, 2015; Vargo idr., 2016).

Metodološko se področje raziskav toplotnega ugodja na prostem hitro razvija, vendar terenske ankete ostajajo temelj raziskav, saj omogočajo zajem zaznav, vedenjskih prilagoditev in psihološkega vidika rabe prostora (Nikolopoulou idr., 2001; Nikolopoulou in Steemers, 2003; Wei idr., 2022). Interpretacija zaznanega ugodja je tesno povezana z bioklimatskimi kazalniki, zlasti s fiziološko ekvivalentno temperaturo (PET) in srednjo sevalno temperaturo (T_{mrt}), ki se izkazujeta kot ključna dejavnika v odprtih urbanih prostorih (Matzarakis idr., 1999; Thorsson idr., 2007; Blazejczyk idr., 2012). Razlike v TUP so močno pogojene z urbano morfologijo in prostorskim kontekstom, kar je v literaturi obravnavano v okviru UTO in LCZ (Oke, 1982; Stewart in Oke, 2012; Santamouris, 2015). V metodoloških pregledih dodatno poudarjajo pomen kombiniranja anket, meritev in jasnega opisa prostorskega konteksta (Johansson idr., 2014; Ren idr., 2023), medtem ko nacionalne analize potrjujejo naraščajočo toplotno obremenitev tudi v Sloveniji (Kajfež-Bogataj idr., 2014; Perčič idr., 2018; Črepinšek idr., 2023; ARSO, 2025).

Raziskovanje toplotnega stresa in vplivov podnebnih sprememb na človeka v Sloveniji vključuje analize na ravni celotnega ozemlja države in tudi posameznega mesta. Nacionalne študije, ki temeljijo na dolgoročnih meteoroloških podatkih in bioklimatskih kazalnikih, kažejo na izrazito naraščanje toplotne obremenitve v zadnjih desetletjih ter na povečano pogostost in intenzivnost vročinskih dogodkov v različnih delih Slovenije (Kajfež-Bogataj idr., 2014; Perčič idr., 2018; Črepinšek idr., 2023; ARSO, 2025). Te analize potrjujejo, da trendi toplotnega stresa obstajajo tako v urbanih kot v ruralnih okoljih, pri čemer so urbana območja zaradi lokalnih morfoloških in funkcionalnih značilnosti pogosto dodatno obremenjena. V tem kontekstu se slovenski prispevek k raziskovanju urbanega pregrevanja najizraziteje kaže v študijah Ljubljane, kjer je bilo izvedenih več poglobljenih analiz urbanih toplotnih razmer. Dolgoročna analiza zračnih temperatur in kazalnikov vročine za obdobje 1948–2022 potrjuje naraščanje intenzivnosti in pogostosti toplotnih ekstremov v Ljubljani ter kaže, da se tveganje vročinskega stresa izrazito povečuje predvsem po letu 1990 kot posledica sočasnega vpliva podnebnih sprememb in urbanega razvoja (Črepinšek idr., 2025). Študija UTO v Ljubljani predstavi razvoj, mehanizme in prostorske značilnosti pojava ter njegov pomen za urbanistično načrtovanje (Komac idr., 2016). Kartiranje LCZ Ljubljane z uporabo GIS-podatkov omogoča boljšo prostorsko primerljivost in razlago termalnih vzorcev znotraj mesta (Gregorčič idr., 2025). Poleg poletnega vidika je pomemben tudi zimski: analiza zimskega UTO v Ljubljani pokaže sezonsko posebnost urbanih toplotnih razlik in opozarja, da so urbani toplotni režimi kompleksni vse leto (Ogrin idr., 2023).

Na tej podlagi je bila zasnovana raziskava vpliva UTO na TUP v Ljubljani, ki nadgrajuje obstoječe raziskave z integracijo mikroklimatskih meritev, subjektivnih ocen in izbranih fizioloških kazalnikov v stvarnih, morfološko raznolikih mikrolokacijah. Osrednji cilj je prepoznati, kako prostorske značilnosti vplivajo na toplotno obremenitev in doživljanje prostora, ter zagotoviti podlago za ukrepe, ki zmanjšujejo toplotni stres in krepijo odpornost mesta proti vročinskim skrajnostim.

V literaturi se vse bolj poudarja razlika med »podnebnim« in »uporabniškim« pogledom: meteorološke meritve zanesljivo opisujejo temperaturo, vlažnost, veter in sevanje sonca, vendar ne odgovarjajo neposredno na vprašanja, kako ljudje prostor uporabljajo, kdaj se izpostavljajo, kako se prilagajajo in kdaj se odločijo za umik v notranjost ali v senco oziroma zeleno okolje. Zato sodobne terenske metode spremljanja TUP pogosto združujejo meritve z anketami, ki zajemajo zaznave, preference in vedenjske strategije (Lindberg idr., 2018; Aghamolaei idr., 2023; Mandić idr., 2024). Psihološki vidik je posebej pomemben v mestih, kjer se uporabniki srečujejo z raznolikimi prostorskimi tipi na kratkih razdaljah (torej z različnimi mikroklimami) in kjer »ugodje« ni le bioklimatsko, temveč tudi funkcionalno in socialno pogojeno (Nikolopoulou in Steemers, 2003; Zhuang idr., 2022).

Vzporedno s tem se razvija fiziološko spremljanje. Čeprav TUP tradicionalno temelji na samoocenah, nosljive naprave omogočajo kontinuirano evidentiranje odzivov, kot sta srčni utrip in spremenljivost srčnega utripa, kar odpira možnost boljšega vrednotenja anketnih podatkov ter prepoznavanja mikrolokacij, kjer se toplotni stres izraziteje odraža v fiziološkem stanju (Matzarakis in Nouri, 2022; Wei idr., 2022; Thompson idr., 2024). Na podlagi sistematičnih pregledov velikopovršinskih študij pa se kaže, da bo razvoj področja v prihodnje temeljil na standardiziranih protokolih, interoperabilnih zbirkah podatkov in jasnem opisovanju prostorskega konteksta, vključno z LCZ, rabo prostora in materialnimi značilnostmi (Johansson idr., 2014; Stewart in Oke, 2012; Li idr., 2025).

Za načrtovanje ukrepov je ključno razumeti, kateri prostorski elementi najbolj prispevajo k toplotni izpostavljenosti. Pregledi morfoloških odločilnih dejavnikov kažejo, da se toplotna obremenitev zaradi sevanja sonca in povišane temperature pogosto kopiči na tlakovanih, odprtih površinah brez senčenja in z omejenim rastlinstvom, medtem ko drevje, vodni elementi in prepustne površine pomembno prispevajo k hlajenju urbanega prostora (Bowler idr., 2010; Norton idr., 2015; Ren idr., 2023; Soltanifard in Amani-Beni, 2025). Na ravni upravljanja mest je zato smiselno razmišljati o mreži hladilnih območij in povezav med njimi, pri čemer je treba upoštevati uporabniške poti, rabo prostora in dnevne dejavnosti (Norton idr., 2015; Santamouris, 2015). V Sloveniji je to še posebej pomembno, saj trendi toplotnega stresa kažejo povečanje poletnih toplotnih obremenitev (Črepinšek idr., 2023), hkrati pa se demografska struktura spreminja v smer večjega deleža starejših, ki so bolj ranljivi za vročino (Massetot idr., 2023; Perčič idr., 2024; Thompson idr., 2024).

Raziskava temelji na teh teoretičnih in metodoloških spoznanjih ter jih prenaša v urbano okolje Ljubljane. Posebna dodana vrednost je, da se toplotno ugodje na prostem ne ocenjuje le na ravni enega značilnega mesta ali ene merilne postaje, temveč na ravni več mikrolokacij znotraj mesta, ki odražajo dejansko heterogenost urbanega prostora. Tak način omogoča oblikovanje bolj ciljanih priporočil za prostorsko načrtovanje in upravljanje javnih površin v skladu z mednarodnimi smernicami za prilagajanje na vročino (WHO, 2015) ter pričakovanimi podnebnimi projekcijami (IPCC, 2023). V nadaljevanju so predstavljeni raziskovalni načini ter najpomembnejši rezultati in ugotovitve študije vpliva urbanega toplotnega otoka na toplotno ugodje na prostem v Ljubljani. Študija je bila izvedena v okviru ciljnega raziskovalnega projekta »Vpliv pregrevanja prostora na spreminjanje morfologije grajenega prostora slovenskih naselij ter zdravje uporabnikov« (V5-24033), katerega sofinancerja sta Agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) in Ministrstvo za naravne vire in prostor Republike Slovenije (MNVP), izvajalke pa Fakulteta za arhitekturo Univerze v Ljubljani (UL FA), Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (UL FGG) ter Geodetski inštitut Republike Slovenije (GIS).

2 Integrirani terenski poskus ocenjevanja toplotnega ugodja na prostem

Metodologija raziskave je bila zasnovana kot integrirani terenski poskus s poudarkom na primerjavi morfološko različnih mikrolokacij znotraj istega urbanega sistema. Metoda združuje: 1) objektivne mikroklimatske meritve, 2) sočasno samoanketiranje za zajem zaznav in prilagoditev uporabnikov ter 3) spremljanje izbranih fizioloških kazalnikov. Takšna zasnova sledi priporočilom iz metodoloških in preglednih študij toplotnega ugodja na prostem, ki poudarjajo, da je za razumevanje toplotnega ugodja v urbanem okolju nujno hkratno upoštevanje izpostavljenosti, prostorskega konteksta in odziva uporabnikov (Johansson idr., 2014; Ren idr., 2023; Li idr., 2025), ter se vse pogosteje dopolnjuje z vključevanjem fizioloških vidikov toplotnega stresa (Matzarakis in Nouri, 2022).

Izbor mikrolokacij je potekal večstopenjsko. Najprej je bila izvedena prostorska analiza možnih območij na podlagi rabe prostora, katastra stavb, gospodarske javne infrastrukture, podatkov o rastlinstvu ter satelitskih termalnih podatkov, kar je uveljavljeno pri analizah urbanih mikroklimatskih razmer (Lindberg idr., 2018; Santamouris, 2015). V izbor so bile vključene lokacije, ki značilno predstavljajo kontrastne urbane tipe, kot so gosto pozidana prometna križišča, območja trgovsko-poslovne rabe, stanovanjske soseske z nizkim in višjim deležem rastlinstva ter rekreacijski pas z modro-zeleno infrastrukturo, skladno s teoretičnimi in metodološkimi izhodišči raziskav UTO in LCZ (Oke, 1982; Stewart in Oke, 2012; Emmanuel in Johansson, 2006). Končnih pet mikrolokacij je bilo izbranih tako, da je možna primerjava vpliva gostote pozidave, senčenja, rastlinstva in bližine vodnih elementov na mikroklimatske razmere in odzive udeležencev, pri čemer se opira na ugotovitve o hladilnih učinkih rastlinstva in vode v urbanem prostoru (Bowler idr., 2010).

Terensko delo je potekalo sedem dni v toplem delu leta 2025, praviloma med 11. in 15. uro, ko je toplotna obremenitev v urbanem okolju najizrazitejša in so razlike med urbanih mikrookolji najbolj očitne (Oke, 1982; Santamouris, 2015). Na vsaki lokaciji so bile izmerjene osnovne mikroklimatske spremenljivke, vključno s temperaturo zraka, relativno vlažnostjo, hitrostjo vetra in sončnim sevanjem, kar je standardni nabor za ocenjevanje toplotnega ugodja na prostem (Johansson idr., 2014; Thorsson idr., 2007). Izdelana je bila

primerjava referenčnih meteoroloških razmer in uradnih meritev na merilni postaji Ljubljana Bežigrad, kar omogoča umestitev mikrolokacijskih razlik v širši meteorološki okvir in primerjavo z dolgoročnimi toplotnimi značilnostmi mesta (Komac idr., 2016; Črepinšek idr., 2025).

Psihološki del je temeljil na strukturiranem vprašalniku za samoanketiranje. Udeleženci oziroma raziskovalci so na standardizirani način ocenjevali zaznano temperaturo, zaznano sončno obsevanje, splošno toplotno ugodje ter želje po spremembi razmer, kot so želja po nižji temperaturi, manjšem neposrednem sončnem obsevanju, drugačni vlažnosti ali močnejšem vetru. Te spremenljivke so v literaturi prepoznane kot ključne za razlago vedenjskih prilagoditev in rabe prostora v urbanem okolju (Nikolopoulou in Steemers, 2003; Lindberg idr., 2018). Posebej je bila upoštevana razlika med meritvami v senci in na soncu, saj senčenje pogosto odločilno vpliva na zaznano toplotno obremenitev v odprtih urbanih prostorih (Bowler idr., 2010; Norton idr., 2015; Thorsson idr., 2007; Ren idr., 2023).

Fiziološki del je vključeval spremljanje izbranih kazalnikov, ki so v novejših študijah pogosto uporabljeni kot posredni kazalniki toplotnega stresa, kot sta srčni utrip in spremenljivost srčnega utripa (Wei idr., 2022; Thompson idr., 2024). Ti kazalniki ne nadomeščajo subjektivnih ocen toplotnega ugodja, temveč omogočajo preverjanje skladnosti med zaznavo in fiziološkim odzivom ter prispevajo k robustnejši razlagi rezultatov pri ocenjevanju toplotnega stresa in njegovih možnih zdravstvenih posledic (Matzarakis in Nouri, 2022; Masselot idr., 2023).

Analitični del je bil zasnovan v treh korakih. Prvič, izvedene so bile opisne primerjave mikroklimatskih razmer po posameznih lokacijah in pogojih (senca/sonce) z namenom opredelitve razpona izpostavljenosti. Drugič, analizirane so bile porazdelitve psiholoških ocen in želja po spremembi razmer, da bi prepoznali tipične vzorce odziva v različnih morfoloških tipih prostora. Tretjič, izvedene so bile korelacijske analize med mikroklimatskimi kazalniki ter a) psihološkimi in b) fiziološkimi spremenljivkami, skladno z uveljavljenimi analitičnimi metodami v študijah toplotnega ugodja na prostem (Johansson idr., 2014). Pri razlagi korelacij je bila upoštevana večparametričnost mikroklimatske, saj je zaznana toplotna ugodje v praksi rezultat kombinacije temperature zraka, sevanja, vetra in vlažnosti, ne pa ene same spremenljivke (Matzarakis idr., 1999; Blazejczyk idr., 2012; Ren idr., 2023).

Operativno je bil terenski protokol zasnovan tako, da smo na vsaki lokaciji izvedli standardizirani niz korakov: a) stabilizacijo merilne opreme, b) izvedbo meritev mikroklimatske v primerljivem časovnem intervalu, c) izpolnjevanje vprašalnika in d) sinhronizacijo fizioloških podatkov, kar je uveljavljeno v terenskih raziskavah toplotnega ugodja na prostem (Lindberg idr., 2018). S tem se zmanjšajo razlike, ki bi nastale zaradi različnega zaporedja korakov ali časa izpostavljenosti. Vprašalnik je bil oblikovan tako, da zajame trenutno stanje (zaznava temperaturo, sevanja in splošnega toplotnega ugodja) ter željo po spremembi razmer, kar se v literaturi izkazuje kot učinkovit način za zaznavanje smeri vedenjskih in prostorskih prilagoditev (Nikolopoulou in Steemers, 2003; Wei idr., 2022).

Ker se v urbanem prostoru pogosto pojavlja izrazita lokalna spremenljivost vetra, je bila posebna pozornost namenjena evidentiranju vetrovnih razmer. To je pomembno, saj lahko veter pri enakem temperaturnem režimu bistveno spremeni zaznano toplotno ugodje; pri nizkih hitrostih vetra se sevalna komponenta toplotne bilance izraziteje odraža v zaznavi neugodja (Matzarakis idr., 1999; Bröde idr., 2012). Podobno je bila upoštevana relativna vlažnost, ki vpliva na termoregulacijo in lahko ob visokih temperaturah povečuje občutek sopare, pri čemer se ta učinek v odprtih urbanih prostorih pogosto prepleta z vplivi vetra in sevanja (Johansson idr., 2014).

V analitičnem delu so korelacije predstavljene previdno; cilj raziskave namreč ni bil zgraditi napovednega modela za vse razmere, temveč prepoznati stabilne in ponovljive odnose med izpostavljenostjo in odzivom, ki se pojavljajo na različnih mikrolokacijah. Tak način je skladen s priporočili metodoloških in preglednih študij toplotnega ugodja na prostem, ki poudarjajo potrebo po preglednem poročanju o omejitvah terenskih vzorcev, po previdni razlagi korelacij in oceni prenosljivosti rezultatov (Johansson idr., 2014; Ren idr., 2023; Li idr., 2025).

Raziskava je bila zasnovana kot raziskovalno usmerjena terenska študija, katere cilj ni statistična posplošitev rezultatov, temveč prepoznavanje stabilnih vzorcev povezav med mikroklimatskimi razmerami, zaznavami in odzivi uporabnikov v različnih morfoloških tipih urbanega prostora.

3 Povezave med urbano morfologijo, toplotno obremenitvijo in uporabniškimi odzivi

Rezultati so pokazali izrazito mikroklimatsko raznolikost med obravnavanimi mikrolokacijami, kar potrjuje, da je urbani toplotni otok v praksi sestavljen iz mozaika lokalnih toplejših in hladnejših območij, ki so pogojena z urbano morfologijo in rabo prostora (Stewart in Oke, 2012; Komac idr., 2016). Na lokacijah z gosto pozidavo, omejenim deležem rastlinstva in izrazitejšim urbanim koridorskim učinkom so bile evidentirane višje temperature zraka in večja toplotna obremenitev zaradi kratkovalovnega sončnega sevanja ter dolgovalovnega toplotnega sevanja. Nasprotno so lokacije z večjim deležem rastlinstva ali bližino modro-zelene infrastrukture izkazovale nižjo toplotno obremenitev, kar je skladno z ugotovitvami o hladilnih učinkih rastlinstva in vode v urbanem okolju (Bowler idr., 2010; Norton idr., 2015; Ren idr., 2023; Soltanifard in Amani-Beni, 2025).

Psihološki odzivi udeležencev so bili skladni z ugotovljenimi mikroklimatskimi razlikami med obravnavanimi mikrolokacijami. Splošno zaznано toplotno ugodje je upadalo z naraščanjem temperature in kazalnikov toplotnega stresa, kar je skladno z ugotovitvami preglednih študij toplotnega ugodja na prostem, da so subjektivne ocene stabilno povezane z objektivnimi kazalniki, kadar so meritve izvedene v dejanskih terenskih razmerah (Lindberg idr., 2018; Ren idr., 2023). Na bolj toplotno obremenjenih lokacijah so udeleženci pogosteje izražali željo po znižanju temperature, zmanjšanju sončnega obsevanja ter povečani potrebi po senci. Ti odzivi potrjujejo pomen senčenja kot enega ključnih prostorskih dejavnikov za zmanjševanje zaznane obremenitve, kar poudarjajo tudi k človeku usmerjeni načini blaženja vročine in obravnave toplotnih tveganj (Stone idr., 2014; WHO, 2015; Vargo idr., 2016).

V primerjavi razmer »senca« in »sonce« se je pokazalo, da se pri izpostavljenosti neposrednemu sončnemu sevanju povečajo tako negativne ocene toplotnega ugodja kot tudi izražene želje po spremembi razmer, zlasti po zmanjšanju obremenitve zaradi sončnega sevanja. Tak vzorec je skladen z ugotovitvami, da je sevalna komponenta toplotne bilance pogosto glavni vir neugodja v odprtih urbanih prostorih, zlasti v razmerah šibkega vetra (Matzarakis idr., 1999; Bröde idr., 2012). Rezultati študije imajo pomembne posledice za prostorske ukrepe, saj lahko ustrezno umeščeno drevje, pergole, senčniki ter materialne rešitve, ki zmanjšujejo toplotno obremenitev zaradi sevanja, bistveno izboljšajo toplotno ugodje na prostem tudi brez spremembe širših meteoroloških razmer (Bowler idr., 2010; Norton idr., 2015; Ren idr., 2023).

Fiziološki kazalniki so v povprečju kazali smer, skladno s psihološkimi ocenami: v bolj toplotno obremenjenih mikroklimatskih razmerah so se pojavljale višje vrednosti kazalnikov obremenitve oziroma znaki intenzivnejšega fiziološkega odziva. Razlike med mikrolokacijami so bile pogosto zmerne, kar je razumljivo glede na kratkotrajno izpostavljanje posameznikov več lokacijam v istem dnevu in izrazito individualno spremenljivost fizioloških odzivov. Kljub temu rezultati potrjujejo dodano vrednost vključevanja fizioloških meritev kot dopolnila samoocenam, kar vse pogosteje priporočajo tudi v sodobnih preglednih študijah toplotnega ugodja na prostem (Matzarakis in Nouri, 2022; Wei idr., 2022; Li idr., 2025).

Korelacijske analize med psihološkimi in mikroklimatskimi spremenljivkami so pokazale, da so ocene zaznane temperature, zaznanega sončnega sevanja ter izražene želje po spremembi razmer najtesneje povezane z objektivnimi kazalniki toplotne obremenitve. Splošno zaznано toplotno ugodje je bilo dosledno negativno povezano s temperaturo zraka in indeksi toplotnega stresa, kar potrjuje razlago, da se urbani toplotni otok v uporabniški izkušnji prostora odraža predvsem kot poslabšanje zaznanega ugodja ob višjih toplotnih obremenitvah. Pomembno je, da so bile ugotovljene korelacije konsistentne med različnimi mikrolokacijami, kar kaže, da se učinek ne pojavlja zgolj na posameznih »vročih točkah«, temveč je sistematično povezan s kombinacijo mikroklimatskih razmer in prostorskih značilnosti urbanega okolja (Ren idr., 2023; Gregorčič idr., 2025).

Za razlago rezultatov je pomembno tudi širše ozadje trendov toplotnega stresa. Naraščajoče toplotne obremenitve, ki jih kažejo analize trenda za Slovenijo, pomenijo, da bodo razlike med »ugodnejšimi« in »neugodnejšimi« mikrolokacijami v prihodnje predvidoma še izrazitejše (Črepinšek idr., 2023). To bo imelo pomembne posledice tudi z vidika javnega zdravja in upravljanja tveganj, kar poudarjajo tako mednarodna priporočila za obvladovanje vročinskih obremenitev kot sodobne zdravstvene ocene vplivov vročine na prebivalstvo (WHO, 2015; Thompson idr., 2024; IPCC, 2023).

Pokazalo se je tudi, da se uporabniški odziv ne spreminja le z absolutno temperaturo zraka, temveč tudi z dinamiko izpostavljenosti: prehodi med senčnimi in osončenimi deli prostora pogosto sprožijo izrazitejšo spremembo v zaznavi in izraženih željah po spremembi razmer, kot bi jih pričakovali zgolj na podlagi razlike v temperaturi zraka. To je skladno z ugotovitvami, da sta izpostavljenost sončnemu in dolgovalovnemu toplotnemu sevanju pogosto odločilna dejavnika zaznanega toplotnega ugodja v odprtih urbanih prostorih (Lindberg idr., 2018; Ren idr., 2023). V praksi to pomeni, da prostorske rešitve, ki zmanjšujejo toplotno obremenitev zaradi sevanja sonca, kot so drevje, pergole in premične senčne strukture, lahko zagotovijo znatno izboljšanje toplotnega ugodja na prostem tudi v razmerah, ko regionalna temperatura ostaja visoka (Bowler idr., 2010; Norton idr., 2015; Ren idr., 2023).

Pri razlagi fizioloških meritev je pomembno poudariti izrazito individualno spremenljivost odzivov. Na fiziološke kazalnike vplivajo telesna pripravljenost, stopnja hidracije (zadostna oskrba telesa z vodo), oblačila, predhodna telesna dejavnost ter psihološki dejavniki, kot je stres zaradi prometa ali hrupa. Zaradi teh vplivov kombinacija fizioloških in psiholoških podatkov omogoča bolj stvarno razumevanje prostorsko pomembnih toplotnih obremenitev: kadar se subjektivno zaznava ugodje in znaki fiziološke obremenitve pojavljajo hkrati, je verjetnost, da gre za prostorsko pomembno »vročo točko«, večja. Takšna triangulacija je skladna z novjšimi usmeritvami na področju toplotnega ugodja na prostem (Matzarakis in Nouri, 2022; Zhuang idr., 2022).

Rezultati so pomembni tudi za razlago urbanega in lokalnega vidika UTO. UTO je pogosto predstavljen kot razlika v temperaturi med mestom in njegovim zaledjem, vendar so za uporabnike urbanega javnega prostora pogosto pomembnejše razlike znotraj mesta. Razlika med dvema lokacijama v istem mestu je lahko za uporabnika enako pomembna kot razlika med urbanim in podeželskim okoljem, zlasti v obdobjih toplotnih valov (IPCC, 2023). To podpira odločitve, da se ukrepi ne načrtujejo le na ravni »mesta kot celote«, temveč tudi ciljno na ravni najbolj toplotno obremenjenih mikrolokacij, kjer se ljudje zadržujejo in kjer se toplotni stres najizraziteje zazna (Stone idr., 2014; WHO, 2015; Vargo idr., 2016).

V slovenskem okolju so ugotovitve skladne z raziskavami, ki opozarjajo na izrazito prostorsko heterogenost Ljubljane z vidika toplotnih razmer (Komac idr., 2016; Gregorčič idr., 2025) ter na sezonsko posebnost urbanih toplotnih razlik (Ogrin idr., 2023). Ob naraščajočih trendih toplotnega stresa v Sloveniji to dodatno poudarja potrebo po nadgradnji urbanističnih metod in sistematičnem spremljanju učinkov izvedenih ukrepov v prostoru (Črepinšek idr., 2023).

4 Sklep

Ugotovitve iz študije potrjujejo, da je urbani toplotni otok v Ljubljani pomemben dejavnik sooblikovanja toplotnega ugodja na prostem ter da so razlike v toplotnem ugodju med posameznimi mikrolokacijami tesno povezane z urbano morfologijo, deležem rastlinstva, stopnjo senčenja in izpostavljenostjo sončnemu sevanju. Integrirana raziskovalna metoda, ki združuje mikroklimatske meritve, samoanketiranje in spremljanje fizioloških kazalnikov, se je pokazala za primerno za celostno razumevanje toplotnega ugodja na prostem ter za prepoznavanje prostorskih značilnosti, ki prispevajo k toplotni ranljivosti ali odpornosti urbanega prostora. Skladno s sodobnimi priporočili za k človeku usmerjeno blaženje vročine rezultati kažejo, da lahko ciljni ukrepi na ravni mikrolokacij, kot so senčenje, povečanje evapotranspiracije ter materialne rešitve z višjim odbojnim količnikom (albedom), pomembno izboljšajo uporabniško izkušnjo prostora tudi brez spremembe regionalnih meteoroloških razmer (Stone idr., 2014; WHO, 2015; Vargo idr., 2016).

Z vidika prostorskega načrtovanja je ključna operacionalizacija ugotovitev raziskave. Okvir lokalnih podnebnih območij (LCZ) omogoča prenosljiv in sistematičen opis urbanih morfoloških tipov ter s tem ciljno in primerljivo načrtovanje prilagoditvenih ukrepov (Stewart in Oke, 2012). Na območjih z gosto pozidavo in izrazitim toplotnim stresom zaradi sevanja so prednostni ukrepi povečanje senčenja, zmanjšanje akumulacije toplote ter zagotavljanje dostopa do ohlajevalnih točk oziroma zatočišč. Rezultati za območja z modro-zeleno infrastrukturo potrjujejo, da takšni prostori delujejo kot pomembna zatočišča v vročinskih razmerah, kar je skladno z ugotovitvami o hladilnih učinkih rastlinstva in vode v urbanem okolju (Bowler idr., 2010; Norton idr., 2015; Ren idr., 2023; Soltanifard in Amani-Beni, 2025).

Omejitve raziskave izhajajo predvsem iz značilnosti vzorca in časovne zasnove terenskega dela: udeleženci so bili le raziskovalci na projektu, izpostavitve vročini pa so bile časovno omejene. Nadaljnje raziskave bi morale vključiti širši nabor uporabnikov urbanega prostora, vključno z ranljivimi skupinami, daljša opazovalna obdobja ter povezavo z zdravstvenimi kazalniki, saj so učinki vročine na zdravje dobro dokumentirani tudi v slovenskem prostoru (Perčič idr., 2018; Grašič in Perčič, 2022; Perčič idr., 2024). V prihodnje bo zaradi pričakovanega povečanja vročinskih skrajnosti in z njimi povezanih tveganj (IPCC, 2023) ter potrebe po učinkovitem upravljanju toplotnih obremenitev ključna sistematična integracija znanstvenih ugotovitev v prakso prostorskega načrtovanja in upravljanja javnega prostora (WHO, 2015).

Če rezultate študije umestimo v širši okvir javnega zdravja, se pokaže jasna uporabnost ugotovitev za načrtovanje prilagajanja na vročino. Epidemiološke analize v Sloveniji kažejo, da vročinski dogodki že vplivajo na presežno umrljivost (Perčič idr., 2018; Grašič in Perčič, 2022) in da so starejši prebivalci pri tem posebej izpostavljeni (Perčič idr., 2024). Ker se prebivalstvo Slovenije demografsko stara, bodo ukrepi, ki izboljšujejo toplotno ugodje na prostem v urbanem prostoru, vedno tesneje povezani tudi s socialno pravičnostjo, zlasti z vidika dostopa do sence, zelenih in obvodnih površin ter možnosti varnega gibanja v vročinskih obdobjih (Thompson idr., 2024).

Praktična priporočila temeljijo na kombinaciji empiričnih rezultatov in pregledne literature ter vključujejo: 1) prednostno zagotavljanje senčenja na tlakovanih odprtih površinah z visoko toplotno obremenitvijo, 2) krepitev modro-zelene infrastrukture, ki prinaša večplastne koristi, kot so hlajenje, zadrževanje vode in izboljšanje kakovosti zraka, 3) uporabo materialov z višjim odbojnim količnikom (albedom) in večjo prepustnostjo ter 4) upravljanje javnega prostora z vidika rabe, na primer prilagoditev programov in dejavnosti v času vročinskih valov. Takšna kombinacija ukrepov je skladna s smernicami Svetovne zdravstvene organizacije, poročili IPCC ter načeli k človeku usmerjenega blaženja vročine (Stone idr., 2014; WHO, 2015; Vargo idr., 2016; IPCC, 2023).

Študijo je treba razumeti kot raziskovalno usmerjeno in pilotno, saj temelji na omejenem vzorcu in krajšem časovnem obdobju, vendar kljub temu ponuja robustne vpogled v prostorsko pogojene razlike toplotnega ugodja na prostem.

Za nadaljnje raziskave predlagamo dodatno preverjanje standardizacije raziskovalnega protokola, zlasti z novjšimi študijami, ter razširitev študije na daljša obdobja, vključno z vročinskimi valovi, in na širši nabor uporabniških skupin. To bi omogočilo neposrednejšo kvantifikacijo učinkov prilagoditvenih ukrepov in jasnejše povezovanje toplotnega ugodja na prostem z zdravstvenimi izidi v stvarnih terenskih razmerah, kar je ena osrednjih usmeritev sodobnih raziskav na tem področju (Matzarakis in Nouri, 2022; Ren idr., 2023; Li idr., 2025).

Zahvala

Prispevek je nastal v okviru ciljnega raziskovalnega projekta »Vpliv pregrevanja prostora na spreminjanje morfologije grajenega prostora slovenskih naselij ter zdravje uporabnikov« (V5-24033), ki ga sofinancirata Agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) in Ministrstvo za naravne vire in prostor Republike Slovenije (MNVP).

Opomba

Pri urejanju besedila je bila uporabljena pomoč orodja umetne inteligence (ChatGPT 5.2), pri čemer so vse znanstvene vsebine, analize in ugotovitve avtorsko delo.

Viri in literatura

- Aghamolaei, R., Azizi, M. M., Aminzadeh, B. in O'Donnell, J. (2023). A comprehensive review of outdoor thermal comfort in urban areas: Effective parameters and approaches. *Energy and Environment*, 34(6), 2204–2227. <https://doi.org/10.1177/0958305X221116176>
- ARSO (2025). Climate change, Slovenian Environment Agency – ARSO. https://www.arso.gov.si/en/soer/climate_change.html
- Blazejczyk, K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H. in Tinz, B. (2012). Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology*, 56, 515–535. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0453-2>
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M. in Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97, 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>

- Bróde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K. idr. (2012). Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56, 481–494. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>
- Črepinšek, Z., Žnidaršič, Z. in Pogačar, T. (2023). Spatio-Temporal Analysis of the Universal Thermal Climate Index (UTCI) for the Summertime in the Period 2000–2021 in Slovenia: The Implication of Heat Stress for Agricultural Workers. *Agronomy*, 13(2), 331. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020331>
- Črepinšek, Z., Žnidaršič, Z. in Pogačar, T. (2025). Urban thermal data analysis over the period 1948–2022: a case study of Ljubljana, Slovenia. *International Journal of Biometeorology*, 69, 3229–3242 (2025). <https://doi.org/10.1007/s00484-025-03021-3>
- Emmanuel, R. in Johansson, E. (2006). Influence of urban morphology and sea breeze on hot humid microclimate: The case of Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Climatology*, 26(10), 1397–1411. <https://doi.org/10.1002/joc.1324>
- Grašič, M. in Perčič, S. (2022). Število umrlih v času vročinskih valov po diagnozah, spolu, starostnih skupinah ter mestnem in podeželskem okolju, za Slovenijo, primerjava med letoma 2014 in 2018. *Medicinski razgledi*, 61(4), 437–456. <https://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:doc-0K9LYVWE>
- Gregorčič, T., Savič, S., Repe, B. in Ogrin, M. (2025). Kartiranje lokalnih podnebnih območij Ljubljane: dvojni metodološki pristop. *Dela*, 63, 5–32. <https://doi.org/10.4312/GRKP6310>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2023). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Johansson, E., Thorsson, S., Emmanuel, R. in Krüger, E. (2014). Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies – The need for standardization. *Urban Climate*, 10, 346–366. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2013.12.002>
- Kajfež-Bogataj, L., Črepinšek, Z., Zalar, M., Golobič, M., Marot, N. in Lestan, K. A. (2014). *Podlage za pripravo ocene tveganj in priložnosti, ki jih podnebne spremembe prinašajo za Slovenijo*. Končno poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehnična fakulteta. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/slv222670.pdf>
- Komac, B., Ciglič, R., Loose, A., Pavšek, M., Čermelj, S., Oštir, K., Kokalj, Ž. in Topole, M. (2016). Urban heat island in the Ljubljana city. In F. Musco (ed.), *Counteracting Urban Heat Island Effects in a Global Climate Change Scenario* (str. 323–344). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10425-6_12
- Li, Y., Fei, W., Yang M., Zhang, H., Du, Y. in Wang, Y. (2025). How to realize large-scale outdoor thermal comfort studies? A systematic review based on OTC characterization, methods and research trends. *Frontiers in Sustainable Cities*, 7, 1552994. <https://doi.org/10.3389/frsc.2025.1552994>
- Lindberg, F., Grimmond, C. S., Gabey, A., Huang, B., Kent, C. W., Sun, T., Theeuwes, N. E., Järvi, L., Ward, H. C., Capel-Timms, I., Chang, Y., Jonsson, P., Krave, N., Liu, D., Meyer, D., Olofson, K. F., Tan, J., Wästberg, D., Xue, L. in Zhang, Z. (2018). Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP): An integrated tool for city-based climate services. *Environmental Modelling & Software*, 99, 70–87. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.09.020>
- Mandić, L., Đjukić, A., Marić, J. in Mitrović, B. (2024). A Systematic Review of Outdoor Thermal Comfort Studies for the Urban (Re)Design of City Squares. *Sustainability*, 16, 4920. <https://doi.org/10.3390/su16124920>
- Masselot, P., Mistry, M., Vanoli, J. idr. (2023). Excess mortality attributed to heat and cold: a health impact assessment study in 854 cities in Europe. *Lancet Planet Health*, 7(4), e271–81. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00023-2](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00023-2)
- Matzarakis, A., Mayer, H. in Iziomon, M. (1999). Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43, 76–84. <https://doi.org/10.1007/s004840050119>
- Matzarakis, A. in Nouri, A. S. (2022). Perception of heat stress in cities and measures for health protection. *PLOS Climate*, 1(11), e0000104. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000104>
- Nikolopoulou, M. in Steemers, K. (2003). Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*, 35(1), 95–101. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00084-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00084-1)
- Nikolopoulou, M., Baker, N. in Steemers, K. (2001). Thermal comfort in outdoor urban spaces: Understanding the human parameter. *Solar Energy*, 70, 227–235. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00093-1](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00093-1)
- Norton, B. A., Coutts, A. M., Livesley, S. J., Harris, R. J., Hunter, A. M. in Williams, N. S. G. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure. *Landscape and Urban Planning*, 134, 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.018>
- Ogrin, M., Svetlin, D., Stefanovski, S. in Lampič, B. (2023). Assessment of Winter Urban Heat Island in Ljubljana, Slovenia. *Meteorology*, 2(2), 222–238. <https://doi.org/10.3390/meteorology2020014>
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Perčič, S., Bitenc, K., Pohar, M., Uršič, A., Cegnar, T., in Hojs, A. (2024). Assessing Heatwave-Related Deaths among Older Adults by Diagnosis and Urban/Rural Areas from 1999 to 2020 in Slovenia. *Climate*, 12(9), 148. <https://doi.org/10.3390/cli12090148>
- Perčič, S., Kuček, A., Cegnar, T. in Hojs, A. (2018). Number of Heat Wave Deaths by Diagnosis, Sex, Age Groups, and Area, in Slovenia, 2015 vs. 2003. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(1), 173. <https://doi.org/10.3390/ijerph15010173>
- Ren, J., Shi, K., Li, Z., Kong, X. in Zhou, H. (2023). A Review on the Impacts of Urban Heat Islands on Outdoor Thermal Comfort. *Buildings*, 13(6), 1368. <https://doi.org/10.3390/buildings13061368>
- Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities. *Science of the Total Environment*, 512–513, 582–598. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.060>
- Soltanifard, H. in Amani-Beni, M. (2025). The cooling effect of urban green spaces as nature-based solutions for mitigating urban heat: insights from a decade-long systematic review. *Climate Risk Management*, 49, 100731. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2025.100731>
- Stewart, I. D. in Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Stone, B., Vargo, J., Liu, P., Habeeb, D., DeLucia, A., Trail, M., Hu, Y. in Russell, A. (2014). Avoided heat-related mortality through climate adaptation strategies in three US cities. *PLoS ONE*, 9(6), e100852. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100852>
- Thompson, R., Kovats, S., Hajat, S., Macintyre, H. in O'Connell, E. (2024). Identification of individual-level clinical factors associated with increased risk of death during heatwaves: a time-stratified case-crossover study using national primary care records in England. *BMJ public health*, 2(1), e000927. <https://doi.org/10.1136/bmjph-2024-000927>

- Thorsson, S., Lindberg, F., Eliasson, I. in Holmer, B. (2007). Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *International Journal of Climatology*, 27, 1983–1993. <https://doi.org/10.1002/joc.1537>
- Vargo, J., Habeeb, D., Liu, P., Russell, A. in Stone, B. (2016). The social and spatial distribution of temperature-related health impacts from urban heat island reduction planning strategies. *Environmental Science & Policy*, 66, 375–382. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.08.012>
- Wei, D., Lian, Z. in Liu, B. A (2022). Field Study of Outdoor Human Thermal Perception in Three Seasons in Shanghai, China. *Buildings*, 12, 1453. <https://doi.org/10.3390/buildings12091453>
- WHO (2015). *Heat and health: Guidance on warning-system development*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/m/item/heatwaves-and-health--guidance-on-warning-system-development>
- Wilson, C., Shonk, J. K. P., Bohnenstengel, S. I., Paschalis, A. in van Reeuwijk, M. (2025). Microscale to neighbourhood scale: Impact of shading on urban climate. *Building and Environment*, 275, 112721. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112721>
- Zhuang, L., Huang, J., Li, F. in Zhong, K. (2022). Psychological adaptation to thermal environments and its effects on thermal sensation. *Physiology & Behavior*, 247, 113724. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2022.113724>

Vloga pristopa Eno zdravje pri povezavi okolja in zdravja

Damjana Drobne, Sara Novak

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo in Središče za eno zdravje – okolje

Izveček

Podnebne spremembe, onesnaževanje in degradacija naravnih virov spadajo med največje izzive sodobnih mest, saj neposredno vplivajo na zdravje in kakovost življenja njihovih prebivalcev. Trajnostne strategije to problematiko sicer obravnavajo in predlagajo celostni način delovanja, vendar njihova izvedba zahteva nove metodološke rešitve, ki presegajo antropocentrični pogled. Poglavlje obravnava pristop Eno zdravje kot interdisciplinarni okvir za vrednotenje povezav med kakovostjo okolja in zdravjem prebivalcev. V prvem delu predstavljamo mednarodne smernice, v drugem Eno zdravje in njegova operativna načela, v tretjem delu pa primer združevanja kazalnikov fiziološkega stresa pri ljudeh, živalih, rastlinah in ekosistemih. Predlagamo modularni sistem kazalnikov ter njihovo povezovanje v enotni kazalnik urbanega stresa, podprt z meritvami IoT (Internet of Things) in podatkovnimi modeli. Taka metoda omogoča zanesljivejšo oceno tveganj, ciljno načrtovanje ukrepov, kot so ozelenitev, blaženje toplotnih otokov in zmanjšanje emisij, ter bolj informirano odločanje za izboljšanje kakovosti življenja v mestih.

Ključne besede:

pregrevanje urbanega okolja, kazalniki stresa, Eno zdravje, enotni kazalnik tveganj, sprejemanje odločitev

Abstract

Climate change, pollution, and the degradation of natural resources are among the most pressing challenges facing contemporary cities, directly affecting public health and quality of life. Although sustainability strategies incorporate integrated approaches, their effective implementation requires innovative methodological solutions that move beyond an anthropocentric perspective. This paper presents the One Health approach as an interdisciplinary framework for assessing the links between environmental quality and population health. The first section reviews international guidelines on health–environment interactions; the second outlines the One Health concept and its operational principles; and the third illustrates how physiological stress indicators in humans, animals, plants, and ecosystems can be combined into a unified metric. We propose a modular indicator system with normalization, weighting, and aggregation into an integrated urban stress index, supported by IoT-based measurements and data-driven models. This approach enables more accurate risk assessment, targeted interventions such as greening and heat-island mitigation, and more informed decision-making to strengthen urban resilience and improve quality of life.

Keywords:

urban overheating, stress indicators, One Health, integrated risk indicator, decision making

1 Uvod

Med največjimi izzivi sodobnih urbanih okolij so podnebne spremembe, onesnaževanje in degradacija naravnih virov. Spremembe v kakovosti zraka, v hrupu, temperaturi in pri zelenih površinah vplivajo na zdravje in kakovost življenja v mestih. Celostni način delovanja je sicer že vključen v trajnostne strategije za izboljšanje kakovosti življenja, vendar je njegovo udejanjanje težko izvedljivo, saj zahteva popolnoma nove metode. Namen poglavja je pokazati vlogo pristopa Eno zdravje kot metodološkega okvira pri vrednotenju povezav med kakovostjo okolja in zdravjem prebivalcev. V prvem delu je pregled mednarodnih smernic, ki obravnavajo povezave med zdravjem in okoljem, v drugem pa je predstavljen koncept Eno zdravje. Tretji del prikazuje primer, kako je mogoče preseči antropocentrični model z združevanjem kazalnikov fiziološkega stresa pri ljudeh, živalih, rastlinah in ekosistemih kot del metrike tveganj ter tako podpreti sprejemanje odločitev za izboljšanje kakovosti življenja v mestih.

1.1 Mednarodne smernice, priporočila in mejniki, ki obravnavajo zdravje in okolje

Različne mednarodne organizacije že več desetletij opozarjajo na povezavo med kakovostjo okolja in zdravjem. Nekateri ključni dokumenti na tem področju so zbrani v preglednici 1.

V poročilu »*Preventing Disease Through Healthy Environments*« je Svetovna zdravstvena organizacija (SZO; World Health Organization, WHO) poudarila ključno vlogo okoljskih dejavnikov pri globalnem zdravju (WHO, 2006). V tem dokumentu sistematično analizira vpliv okolja na zdravje in možnosti za zmanjšanje tveganj. Glavno sporočilo je jasno, tj. da bi z izboljšanjem okoljskih razmer lahko preprečili več milijonov smrti letno, saj okoljski dejavniki sestavljajo velik delež zdravstvene obremenitve na svetovni ravni.

1.2 Cilji trajnostnega razvoja (Sustainable Development Goals, SDGs) – Agenda 2030 (2015)

Agenda 2030, ki so jo leta 2015 sprejele države članice Združenih narodov kot svetovni okvir za trajnostni razvoj, podpirajo številne ključne pobude različnih organizacij. Te pobude jo že vključujejo v svoje strateške dokumente in delovanje (glej preglednico 1). Agenda 2030 opredeljuje 17 medsebojno povezanih ciljev, ki obravnavajo družbene, gospodarske in okoljske vidike razvoja, ter poudarja, da je zdravje neločljivo povezano

Preglednica 1: Osnovne informacije o vsebini dokumentov, ki obravnavajo povezavo med kakovostjo okolja in zdravjem

Naslov dokumenta	Povzetek vsebine dokumenta	Vir
1972 – Stockholmska deklaracija o človekovem okolju	Prva Konferenca Združenih narodov o človekovem okolju je poudarila, da je zdravje ljudi neposredno povezano z zdravim okoljem. Postavila je temelje za mednarodno okoljsko politiko in začela dialog na svetovni ravni o vplivu okolja na kakovost življenja.	UN, 1972
1992 – Deklaracija o okolju in razvoju (deklaracija iz Ria) in Agenda 21	Na Konferenci Združenih narodov o okolju in razvoju (UNCED) je bila sprejeta Agenda 21, ki vključuje poglavja o zdravju, trajnostnem razvoju in zmanjševanju okoljskih tveganj za zdravje. To je bil pomemben korak k vključevanju zdravja v okoljske politike.	UN, 1992
2000 – Razvojni cilji tisočletja (Millennium Development Goals (MDGs))	Čeprav se MDG-ji osredotočajo na zdravje in razvoj, vključujejo tudi okoljske vidike, kot so dostop do čiste vode, sanitarij in zmanjšanje onesnaževanja, kar posredno vpliva na zdravje.	UN, 2000
2006 – poročilo Preventing disease through healthy environments	To je prvo celovito poročilo Svetovne zdravstvene organizacije (SZO; World Health Organization, WHO) s sistematično analizo, kako okoljski dejavniki vplivajo na zdravje in kako jih je mogoče zmanjšati. Poročilo navaja, da bi z izboljšanjem okolja lahko preprečili več milijonov smrti letno.	WHO, 2006
2015 – Cilji trajnostnega razvoja (SDGs)	Agenda 2030 Združenih narodov vključuje cilje, ki povezujejo zdravje (SDG 3) in okolje (SDG 13 – podnebni ukrepi, SDG 6 – čista voda in sanitarije), kar krepi potrebo po celostnem delovanju.	UN, 2015
2019 – Healthy environments for healthier populations	Gre za enega prvih sodobnih dokumentov, v katerem SZO celovito obravnava povezavo med zdravjem in okoljem ter poziva k ukrepom za zmanjšanje okoljskih tveganj. Poudarja, da okoljski dejavniki, ki bi se jim bilo mogoče izogniti, vsako leto prispevajo k najmanj 12,6 milijona smrti, pri čemer zaradi onesnaženosti zraka umre približno sedem milijonov ljudi letno.	WHO, 2019

z varstvom okolja, trajnostno rabo naravnih virov in blažitvijo posledic podnebnih sprememb. Cilji, kot so zdravo življenje in dobro počutje (SDG 3), dostop do čiste vode in sanitarij (SDG 6) ter ukrepanje proti podnebnim spremembam (SDG 13), potrjujejo nujnost večdisciplinarnega in celostnega delovanja.

1.3 Strategija razvoja Slovenije 2030

Tudi Strategija razvoja Slovenije 2030 je zasnovana na ključnih elementih Agende 2030 in predstavlja nacionalni odgovor na globalne izzive. Opredeljuje dolgoročno vizijo trajnostnega razvoja do leta 2030 in spodbuja usklajenost slovenskih politik z mednarodnimi cilji. Strategija vključuje razvojne cilje, ki zajemajo zdravje, znanje, kakovost življenja, kulturo, gospodarsko stabilnost, konkurenčnost, vključujoči trg dela, nizkoogljično krožno gospodarstvo, trajnostno rabo naravnih virov, pravno varnost, varnost ter kakovostne javne storitve (UMAR, 2017).

2 Eno zdravje: prispevek k reševanju okoljskih izzivov in iskanju trajnostnih rešitev

Zdravje je med ključnimi prednostnimi razvojnimi cilji Slovenije. Za doseganje tega cilja so potrebne nove in inovativne metode, med katerimi je posebej obetaven koncept Eno zdravje. Ta povezuje zdravje ljudi, živali, rastlin in ekosistemov v enotni okvir ter podpira izvajanje Agende 2030, ki spodbuja celovito in medsektorsko delovanje za trajnostni razvoj.

Degradacija okolja, podnebne spremembe in izguba biotske raznovrstnosti neposredno vplivajo na pojav bolezni, varnost hrane in kakovost življenja, zato je nujno interdisciplinarno delovanje, ki združuje naravoslovje, tehniko in družboslovje.

Ključni strateški dokument na področju, ki ga obravnava koncept Eno zdravje, je »*One Health Joint Plan of Action (2022–2026)*«; pripravile so ga štiri mednarodne organizacije: Organizacija Združenih narodov za prehrano in kmetijstvo (Food and Agriculture Organization (FAO)), Program Združenih narodov za okolje (United Nations Environment Programme (UNEP)), SZO in Svetovna organizacija za zdravje živali (World Organisation for Animal Health (WOAH)) (FAO, UNEP, WHO in WOAH, 2022). Njegova pomembnost izhaja iz dejstva, da prvič na mednarodni ravni združuje štiri organizacije v skupno vizijo in akcijski načrt, kar omogoča usklajeno delovanje na področju zdravja ljudi, živali, rastlin in ekosistemov.

2.1 Pregrevanje urbanega okolja kot ključna okoljska težava

Urbanizacija in podnebne spremembe so prispevale k pojavu pregrevanja urbanih območij, znanega kot fenomen urbanega toplotnega otoka, ki je resen javnozdravstveni izziv (Ebi idr., 2021). Ramly in sodelavci povzemajo obsežno literaturo, ki kaže, da so povišane temperature v mestnih območjih povezane s povečano obolevnostjo in umrljivostjo (Ramly idr., 2024). Tudi Tong in sodelavci opozarjajo, da toplota v urbanih območjih zmanjšuje produktivnost, obremenjuje zdravstvene sisteme in poslabšuje kronične zdravstvene težave, zlasti pri ranljivih skupinah, kot so starejši prebivalci (Tong idr., 2024).

Ena največjih ovir pri obravnavi toplotne obremenitve v urbanih okoljih je zahtevno vrednotenje njenega vpliva. Večina raziskav se osredotoča na merjenje površinske temperature (*land surface temperature*), medtem ko dejansko občutenje toplotne obremenitve, ki vpliva na zdravje in ugodje prebivalcev, pogosto ostaja neizmerjeno. Ključni parametri, kot so fiziološki odzivi na toplotno obremenitev (fiziološki stres), praviloma niso vključeni v merilne protokole (Shi idr., 2021).

Najnovejša analiza, opravila sta jo Sinha in Banerjee (2025), je pokazala, da obstoječe metodologije ne zadoštujejo za natančno oceno toplotne obremenitve, zlasti znotraj mikrookolij, kjer lokalne temperaturne razlike lahko bistveno vplivajo na zdravje ranljivih skupin. Zaradi teh omejitev je učinek toplotne obremenitve pogosto slabo zajet v uradnih podatkih, kar zmanjšuje učinkovitost prilagoditvenih strategij in politik javnega zdravja (Sinha idr., 2025).

2.2 Eno zdravje kot nova metoda za ocenjevanje vpliva toplotnih obremenitev

Interdisciplinarna metoda, kot jo ponuja Eno zdravje, odpira inovativne možnosti za oceno učinkov okoljskih obremenitev. Prednost te metode je v tem, da presega antropocentrični pogled in obravnava zdravje kot mrežo medsebojnih povezav, kjer je blaginja ljudi neločljivo povezana z blaginjo živali, rastlin in ekosistemov.

Interdisciplinarni pogled na vpliv toplotnega stresa omogoča razvoj kazalnikov, ki jih klasične metode ne morejo ponuditi, saj pogosto ne upoštevajo sistemskih povratnih zank in vplivov ekosistema na človeka. Eno zdravje odpira prostor za kazalnike, ki vključujejo ekološke in biotske parametre, ter s tem omogoča trajnostne in dolgoročne strategije za obvladovanje toplotnega stresa (Destoumieux-Garzón idr., 2018).

Stres v urbanem okolju je kompleksen pojav, ki vključuje fiziološke, vedenjske in okoljske spremembe ter vpliva na ljudi, živali in rastline. Za njegovo razumevanje je nujno oblikovati večdimenzionalni sistem kazalnikov.

Merjenje stresa pri ljudeh v urbanem okolju

Stres pri ljudeh v urbanem okolju je mogoče meriti z več metodami, ki se med seboj dopolnjujejo. Pametne, nosljive naprave običajno merijo srčni utrip, variabilnost srčnega utripa (*Heart Rate Variability*, HRV) ter prevodnost kože. Raziskave najpogosteje potekajo tako, da prostovoljci v urbanem okolju nosijo pametne ure, podatki pa se anonimno zbirajo v aplikaciji. Prednost takšne metode je velika natančnost meritev in možnost spremljanja sprememb v realnem času, njena slabost pa zahtevna izvedba, saj sta potrebni ustrezna oprema in usposobljenost udeležencev. Za dopolnitev objektivnih meritev se lahko uporabi tudi vprašalnik, ki zajema subjektivni občutek stresa. Kombinacija podatkov iz pametne ure in vprašalnika tako poveča zanesljivost rezultatov. Stres pri ljudeh se lahko meri tudi z analizo vedenjskih vzorcev, kot sta hitrost hoje in obrazna napetost, kar se izvaja z videoanalizo in umetno inteligenco, pri čemer je treba zagotoviti anonimnost udeležencev (Giannakakis idr., 2022).

Merjenje stresa pri rastlinah v urbanem okolju

Merjenje stresa pri rastlinah v urbanem okolju lahko zanesljivo pokaže stanje okolja, kot so onesnaženost, pomanjkanje vode, temperaturna nihanja in drugi dejavniki. Merjenje se lahko izvede na različne načine. Najpogosteje se stres pri rastlinah ocenjuje z opazovanjem fizioloških in biokemijskih kazalnikov. Ena od osnovnih metod je merjenje vsebnosti klorofila in fotosintezne aktivnosti z uporabo klorofilnih fluorometrov, ki pokažejo, kako učinkovito rastlina izvaja fotosintezo (Park idr., 2024). Poleg tega se uporablja termalna kamera za zaznavanje sprememb temperature listov, saj rastline pod stresom pogosto zaprejo listne reže (stome), kar vpliva na hlajenje. Druga metoda je merjenje indeksa NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) z brezpilotnimi letalniki ali sateliti, kar omogoča spremljanje zelenosti in vitalnosti rastlin. Za naprednejše analize se lahko uporabijo senzorji vlage v tleh, ki spremljajo dostopnost vode, ter analiza vsebnosti pigmentov, kot so antocianini in karotenoidi, ki se spreminjajo ob stresu.

Merjenje stresa pri živalih v urbanem okolju

Stres pri živalih se najpogosteje ocenjuje z opazovanjem fizioloških, vedenjskih in hormonskih kazalnikov (Gaidica in Dantzer, 2020). Ena od osnovnih metod je merjenje srčnega utripa in spremenljivosti srčnega utripa (HRV) z uporabo nosljivih senzorjev ali GPS ovratnic, ki omogočajo spremljanje gibanja in fizioloških odzivov. Poleg tega se uporablja analiza ravni stresnih hormonov, kot je kortizol, ki se lahko meri iz vzorcev dlake, sline ali iztrebkov. Vedenjski kazalniki vključujejo spremembe v prehranjevanju, pogostost gibanja, skrivanje ali agresivnost, kar se spremlja z videoanalizo in senzorji gibanja. Naprednejše metode vključujejo akustične senzorje za spremljanje vokalizacij, ki se spreminjajo pod stresom, in termalne kamere za zaznavanje sprememb telesne temperature.

Merjenje kakovosti urbanega okolja

V urbanem okolju se uporabljajo IoT (*Internet of Things*) naprave, ki zbirajo podatke o hrupu, onesnaženosti zraka (na primer koncentracija trdnih delcev, dušikovih oksidov NO₂ in ogljikovega dioksida CO₂), tempera-

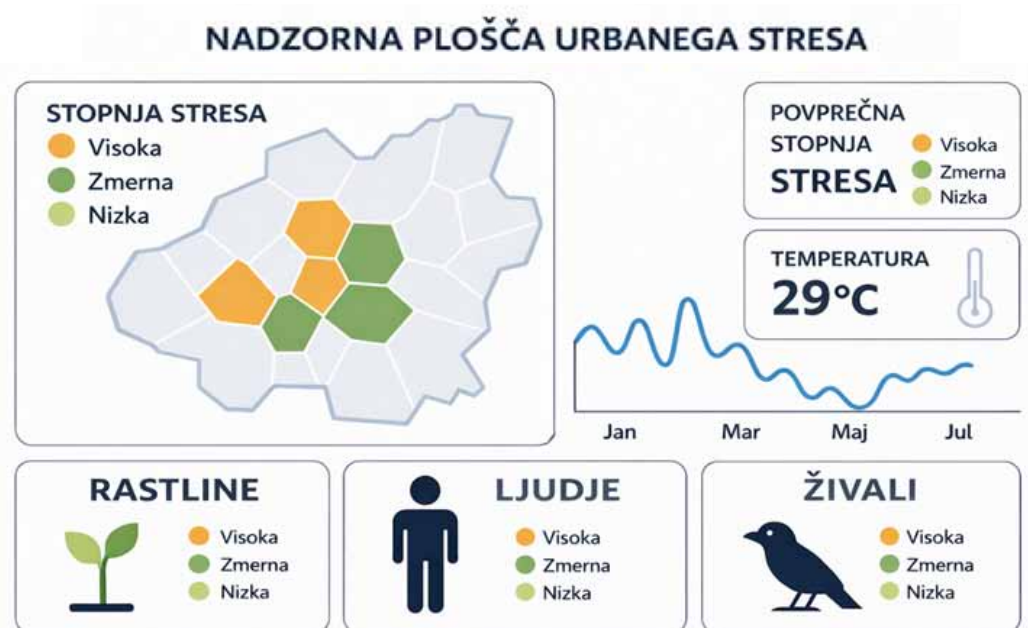
turi, vlažnosti, svetlobnih razmerah ter mikroklimatskih spremembah. Ti podatki omogočajo celovito oceno stanja urbanega okolja. Spremljanje hrupa razkriva stopnjo zvočnega onesnaženja, merjenje kakovosti zraka pokaže prisotnost škodljivih plinov in delcev, medtem ko podatki o temperaturi in vlažnosti omogočajo analizo pojava toplotnih otokov in sušnih razmer. Svetlobni senzori zaznavajo intenzivnost naravne in umetne osvetlitve, kar vpliva na rast rastlin in vedenje živali. Z združevanjem teh parametrov v realnem času je mogoče oblikovati natančne modele za napovedovanje okoljskih obremenitev ter sprejemati učinkovite ukrepe za izboljšanje kakovosti življenja v mestih.

Enotni kazalnik stresa

Namen uporabe posameznih kazalnikov stresa je prepoznati ranljive skupine ter vzpostaviti enotni ocenjevalni sistem, ki omogoča oblikovanje celovitega skupnega kazalnika stresa in s tem celostno vrednotenje vplivov urbanih obremenitev. Takšni okoljski kazalniki so lahko uporabni za pošiljanje zapletenih informacij v obliki ene same vrednosti ter lahko omogočajo ustvarjanje politične in medijske pozornosti glede okoljskih vprašanj.

Idejna zasnova oblikovanja enotnega kazalnika stresa temelji na več zaporednih korakih. Prvi korak je pretvorba posameznih kazalnikov na skupno lestvico, s čimer se izenačijo različne merske enote (Stevens idr., 2023). Temu sledi določitev uteži, ki temeljijo na pregledu literature, strokovnih presojah ali podatkovnih metodologijah, ki omogočajo oceno vpliva posameznih kazalnikov na zdravje ljudi, vitalnost rastlin ali blaginjo živali. Nato se kazalniki združijo po tematskih sklopih (kazalniki pri ljudeh, rastlinah, živalih in kazalniki stanja okolja), ti sklopi pa se povežejo v enotni kazalnik urbanega stresa. Tak kazalnik omogoča prikaz prostorske razporeditve stresa po mestnih četrtih, primerjavo med območji in napovedovanje gibanj, kar je pomembno za odločevalce pri načrtovanju ukrepov, kot je zmanjšanje hrupa, povečanje zelenih površin ali izboljšanje kakovosti zraka (Stevens idr., 2023).

Obstoječe metode se že usmerjajo v združevanje čim širšega nabora podatkov in kazalnikov, vendar še niso zasnovane tako, da bi hkrati vključevale kazalnike stresa pri ljudeh, živalih, rastlinah in v celotnem ekosistemu. Kazalnik *Urban Health Index* (UHI) SZO, na primer, združuje zdravstvene in okoljske kazalnike za oceno neenakosti v mestih, kazalnik *US EPA Environmental Quality Index* (EQI) oblikuje sestavljeni indeks petih domen (zrak, voda, zemlja, grajeno okolje, socialna demografija), medtem ko kazalnik *City Resilience Index* (Arup/100RC) vključuje okoljske in zdravstvene kazalnike v strateško odločanje. Za ekološki vidik je primeren tudi kazalnik *IUCN Urban Nature Index* (UNI), ki ocenjuje stanje habitatov in vrst v mestih. Ti primeri



Slika 1: Idejni primer nadzorne plošče urbanega stresa, ki vključuje podatke o stopnji stresa živali, ljudi in rastlin v celostni prikaz urbanega stresa. Slika je bila ustvarjena z uporabo generativnega orodja (ChatGPT) ter naknadno ročno spremenjena in dopolnjena.

potrjujejo, da je metodologija za združevanje kazalnikov v sestavljene kazalnike uveljavljena in že objavljena, kar omogoča prilagoditev za enotni kazalnik stresa tudi v urbanem okolju.

Za sprotno vključevanje novih spoznanj v kazalnik urbanega stresa je ključno, da sistem temelji na modularni in dinamični arhitekturi (Nguyen in Gigliarano, 2025). To pomeni, da se kazalniki in uteži ne obravnavajo kot statični, temveč kot prilagodljivi elementi, ki jih je mogoče posodobiti na podlagi novih raziskav, lokalnih podatkov in tehnoloških inovacij.

Slika 1 prikazuje zasnovo nadzorne plošče urbanega stresa, ki prikazuje celostni pregled stresa v urbanem okolju. Taka nadzorna plošča vključuje podatke o stopnji stresa ljudi, živali in rastlin ter okoljske kazalnike, kot je temperatura, in omogoča spremljanje vpliva urbanega okolja na zdravje ekosistemov in prebivalcev ter podpira odločevalce pri oblikovanju ukrepov za zmanjšanje stresa in izboljšanje kakovosti življenja. Takšna metodologija je skladna z načeli preventivne medicine in ekološke epidemiologije ter krepi interdisciplinarnost, ki je temelj koncepta Eno zdravje (FAO, OIE, WHO, 2019).

3 Sklep

1. Pristop Eno zdravje omogoča celosten, neantropocentričen vpogled v povezave med kakovostjo okolja in zdravjem ljudi, živali, rastlin ter ekosistemov.
Združevanje fizioloških, okoljskih in vedenjskih kazalnikov pri ljudeh, živalih in rastlinah v enotni kazalnik urbanega stresa omogoča primerjavo med območji, spremljanje sprememb v času ter nudi pomembno podporo pri načrtovanju odločitev skladno s pristopom Eno zdravje.
2. Spremljanje kazalnikov stresa podpira ciljno usmerjene ukrepe (npr. senčenje in ozelenitev, obvladovanje toplotnih otokov, zmanjšanje hrupa in emisij).
3. Vključitev kazalnika stresa v nacionalne in lokalne strategije je skladna z Agendo 2030 in Strategijo razvoja Slovenije 2030 ter krepi preventivno delovanje v javnem zdravju.

Zahvala

Raziskava je nastala s podporo Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) v okviru projektov P1-0184, P1-0207 in J4-70172, za kar se avtorici iskreno zahvaljujeva.

Viri in literatura

- Destoumieux-Garzón, D., Mavingui, P., Boetsch, G., Boissier, J., Darriet, F., Duboz, P., Fritsch, C., Giraudoux, P., Le Roux, F., Morand, S., Paillard, C., Pontier, D., Sueur, C. in Voituren, Y. (2018). The One Health concept: 10 years old and a long road ahead. *Frontiers in Veterinary Science*, 5, 14. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00014>
- Ebi, K. L., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., de Dear, R., Havenith, G., Honda, Y., Kovats, R. S., Ma, W., Malik, A., Morris, N. B., Nybo, L., Seneviratne, S. I., Vanos, J. in Jay, O. (2021). Hot weather and heat extremes: Health risks. *The Lancet*, 398(10301), 698–708.
- FAO, UNEP, WHO in WOA. (2022). *One Health Joint Plan of Action (2022–2026): Working together for the health of humans, animals, plants and the environment*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc2289en>
- FAO, OIE in WHO. (2019). *One Health: A tripartite guide to addressing zoonotic diseases in countries*. World Health Organization.
- Gaidica, M. in Dantzer, B. (2020). Quantifying the autonomic response to stressors—One way to expand the definition of “stress” in animals. *Integrative and Comparative Biology*, 60(1), 113–125. <https://doi.org/10.1093/icb/icaa009>
- Giannakakis, G., Koujan, M. R., Roussos, A. in Marias, K. (2022). Automatic stress analysis from facial videos based on deep facial action units recognition. *Pattern Analysis and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s10044-021-01012-9>
- Nguyen, V. D. in Gigliarano, C. (2025). Sensitivity-based weighting method for composite indicators. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-025-06558-z>
- Park, B., Wi, S., Chung, H. in Lee, H. (2024). Chlorophyll fluorescence imaging for environmental stress diagnosis in crops. *Sensors*, 24(5), 1442. <https://doi.org/10.3390/s24051442>
- Ramly, N., Hod, R., Hassan, M. R., Arsad, F. S., Radi, M. F. M. in Ismail, R. (2024). Impact of urban heat island on human health: A systematic review. *Malaysian Journal of Public Health Medicine*, 24(1).
- Shi, H., Xian, G., Auch, R., Gallo, K. in Zhou, Q. (2021). Urban heat island and its regional impacts using remotely sensed thermal data—A review of recent developments and methodology. *Land*, 10, 867.
- Sinha, S. in Banerjee, A. (2025). A systematic review of land use and land cover changes and their influence on urban heat island dynamics. *Discover Geoscience*, 3, 253.

- Stevens, S. M., Joy, M. K., Abrahamse, W., Milfont, T. L. in Petherick, L. M. (2023). *Composite environmental indices—A case of rickety rankings*. *PeerJ*, 11, e16325. <https://doi.org/10.7717/peerj.16325>
- Tong, S., Prior, J., McGregor, G., Shi, X. in Kinney, P. (2021). *Urban heat: An increasing threat to global health*. *BMJ*, 375, n2467. <https://doi.org/10.1136/bmj.n2467>
- UN, United Nations. (1972). *Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment (Stockholm Declaration)*. <https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972>
- UN, United Nations. (1992). *Rio Declaration on Environment and Development and Agenda 21*. <https://www.un.org/en/conferences/environment/rio1992>
- UN, United Nations. (2000). *United Nations Millennium Declaration (A/RES/55/2)*. <https://www.un.org/millenniumgoals/>
- UN, United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development (A/RES/70/1)*. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- UMAR, Urad za makroekonomske analize in razvoj. (2017). *Strategija razvoja Slovenije 2030*. <https://www.umar.gov.si/strategija-razvoja-slovenije-2030/>
- WHO, World Health Organization. (2006). *Preventing disease through healthy environments: Towards an estimate of the environmental burden of disease*. WHO. <https://www.who.int/publications/i/item/9241593822>
- WHO, World Health Organization. (2019). *Healthy environments for healthier populations: Why do they matter, and what can we do?* WHO. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-CED-PHE-DO-19.01>

Merjenje temperature in relativne vlage ter kakovost bivanja

Gregor Geršak, Valentina Stanić,
Andraž Janežič, Janko Drnovšek

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

Izveček

Temperatura in relativna vlažnost zraka sta pomembna dejavnika notranje klime, saj na podlagi izmenjave toplote med telesom in okoljem neposredno vplivata na občuteno toplotno ugodje, zdravje ter kognitivno učinkovitost človeka. Zanesljivo merjenje obeh veličin je temelj za razumevanje, raziskovanje, razlago toplotnih razmer in nadzor nad njimi. Poglavje predstavlja metode točnega merjenja temperature in vlažnosti, vrste senzorjev ter njihovo točnost. Opisani so tudi nekateri fiziološki odzivi človeka na toplotne razmere, kot so spremembe temperature kože, srčnega utripa ter elektrodermalne aktivnosti, ki kažejo na toplotno in čustveno obremenitev. Prikazane so sodobne naprave, ki omogočajo neintruzivno spremljanje fiziologije v povezavi z razmerami v okolju (npr. nosljivi senzori, brezkontaktni merilniki). Povezovanje okoljskih in fizioloških meritev omogoča oblikovanje zdravih in udobnih bivalnih ter delovnih okolij.

Ključne besede:

merjenje temperature, okoljske razmere, toplotno ugodje, počutje v prostoru, psihofiziologija

Abstract

Temperature and relative humidity are important factors in the indoor climate, as they directly affect the perceived thermal comfort, health and cognitive performance of a person through heat exchange between the body and the environment. Reliable measurement of both quantities is the foundation for understanding, studying, explaining and controlling thermal conditions. The paper presents methods of accurate measurement of temperature and humidity, types of sensors and their accuracy. Some physiological responses of humans to thermal conditions are also described, such as changes in skin temperature, heart rate and electrodermal activity, which indicate thermal and emotional load. Modern devices that enable non-intrusive monitoring of physiology in relation to environmental conditions (e.g. wearables, non-contact instruments) are shown. The integration of environmental and physiological measurements enables the design of healthy and comfortable living and working environments.

Keywords:

temperature measurement, environmental conditions, thermal comfort, indoor well-being, psychophysiology

1 Uvod

Temperatura zraka (T) in relativna vlažnost (RH) sta osrednja fizikalna gradnika notranje klime: skupaj določata konvektivno, sevalno in konduktivno izmenjavo toplote med človekom in okoljem, zato neposredno vplivata na njegovo toplotno ugodje, zdravje ter kognitivno in delovno učinkovitost. V splošnem osnovo za oblikovanje in vrednotenje udobnih razmer podajata standarda ASHRAE 55 in ISO 7730, ki obravnavata temperaturo in relativno vlažnost, sevalno temperaturo, hitrost zraka, oblačila in metabolni tok (ASHRAE, 2023; ISO, 2025). V hladnih sezonah zdravstvena priporočila WHO dodatno poudarjajo minimalno telesno temperaturo zaradi kardiovaskularnih in respiratornih tveganj (WHO, 2018).

Temperatura v kombinaciji z relativno vlažnostjo prostora neposredno vpliva na človekovo počutje, zaznano ugodje in duševne sposobnosti, kot so osredotočenost na delovne naloge, zbranost, motivacija in drugo. Zato je točno merjenje toplotnih razmer v okolju pomembno, saj nam omogoča raziskovanje, razumevanje različnih mentalnih, kognitivnih, vedenjskih in duševnih pojavov ter nadzor nad njimi.

Poglavje opisuje merjenje okoljskih razmer in aktivnosti avtonomnega živčnega sistema, s katerimi preučujemo mehanizme človekovega počutja ter zaznanega toplotnega ugodja kot temelja za načrtovanje udobnih bivalnih in delovnih okolij.

2 Toplotno ugodje in človekovo delovanje

Toplotno ugodje je stanje, v katerem oseba izraža zadovoljstvo s toplotnim okoljem. Kvantificiramo ga z modelom PMV/PPD, temelječim na toplotnobilančni metodi, opisani v ISO 7730 (Fanger, 1970; ISO, 2025). V naravno prezračevanih stavbah uporabimo adaptivni model, ki poveže notranje temperature z zunanjimi razmerami in vedenjskimi prilagoditvami (de Dear in Brager, 1998; ASHRAE, 2023). Za hitro oceno tveganja zaradi vročine se uporabljajo modeli, kot sta WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) za delovna okolja (ISO, 2017) in PHS (Predicted Heat Strain) za analitično napoved toplotne obremenitve (ISO, 2018). V javnozdravstvenih opozorilih se uporabljata tudi Heat Index in Humidex, ki ju pri močnem sončnem sevanju dopolnimo z WBGT ali naprednejšimi kazalniki (Steadman, 1979; Ključevšek, 2017). Za zunanjo biometeorologijo in urbanizem se uporablja UTCI (Universal Thermal Climate Index), ki z ekvivalentno temperaturo poveže vpliv toplote, vlage, vetra in sevanja (Jendritzky idr., 2012; Bröde idr., 2012; Bröde idr., 2013).

Neudobne toplotne razmere poslabšajo kognicijo. Raziskave so pokazale negativni učinek toplote na človeško delovanje, posebej pri daljših izpostavitvah in dodatnih motoričnih nalogah (Hancock, Ross in Szalma, 2007). Pri delu v pisarni prihaja do upada produktivnosti, če so temperature okolja nad približno 25 °C (Seppänen, Fisk in Lei, 2006), v novejših raziskavah pa ugotavljajo, da je produktivnost pri temperaturah od 18 do 30°C odvisna od naloge, metodologije in konteksta (Porrás-Salazar idr., 2021). Pri otrocih so učinki toplote na učni uspeh izrazitejši kot pri odraslih v pisarnah, optimalno območje pa nižje (Wargocki, Porrás-Salazar in Contreras-Espinoza, 2019). Vlažnost dodatno modulira zaznavo in fiziologijo: pri zelo nizki vlažnosti narašča draženje sluznic, pri visoki vlažnosti se poslabša evaporativno hlajenje in naraste občutek soparnosti (težka vlažna vročina). Epidemiološko in eksperimentalno je za splošno ugodno določena približno 40–60-odstotna vlažnost zraka v prostoru (Arundel idr., 1986; Jones idr., 2022).

Za ocenjevanje toplotnega ugodja, torej subjektivnega počutja ljudi v prostorih, je treba dobro poznati fizikalne, kemične in biološke razmere v okolju. Poleg tega je treba ocenjevati zaznavanje počutja ljudi in opazovati njihovo vedenje v različnih toplotnih razmerah. Dodatno merimo tudi fiziologijo ljudi v prostoru, saj ta prek delovanja avtonomnega živčnega sistema, ki ga ne moremo zavestno nadzorovati, nosi informacije, na podlagi katerih lahko sklepamo na počutje ljudi.

3 Merjenje okolja

Zanesljivo in točno merjenje temperature in vlažnosti zraka zahteva točne senzorje, njihovo optimalno postavitev ter vzdrževanje skozi različna časovna obdobja. Za temperaturno merjenje v prostorih danes prevladujejo

električni senzori: platinasti uporovni termometri (npr. Pt100, Pt1000) z znano karakteristiko in stabilnostjo, termistorji z visoko občutljivostjo v ožjih razponih ter termočleni za robustne meritve v širokem, tudi visokotemperaturnem območju. Za brezkontaktno merjenje površin uporabljamo infrardeče sevalne termometre in termovizijske kamere, pri katerih sta emisivnost in spektralno okno ključna za točnost (Pušnik, 2016; Metrologija, 2012; ISO, 1998). Merjenje vlage lahko poteka s psihrometrijo, v praksi pa prevladujejo kapacitivni/impedančni merilniki. Kot referenčni merilniki se uporabljajo etalonski higrometri z ohlajenim zrcalom, ki omogočajo sledljive meritve z majhno negotovostjo (ISO, 1998; d'Ambrosio Alfano, Palella in Riccio, 2011).

Kakovost temperaturnih meritev v prostorih je močno odvisna tudi od pravilne vgradnje senzorjev. Sevanje (sonce, tople/hladne površine), konvekcija in toplotna prevodnost skozi podlago lahko ustvarijo znatne sistematične napake. Zato senzorje nameščamo na notranje stene, stran od oken, radiatorjev in neposrednih vpihov, po potrebi uporabimo sevalne ščite ali blago aspiracijo, T in RH pa merimo sočasno in na čim bolj istem mestu, saj je vlažnost močno odvisna od temperature (ISO, 1998; Pušnik, 2016). Za referenčno meritev razmer zunaj stavbe senzor zasenčimo, odmaknemo od sten/tal in ga namestimo na severno/severozahodno stran; pri notranjih validacijah je smiselno preveriti vertikalno stratifikacijo na več višinah (ISO, 1998; Pušnik, 2016).

Poleg T in RH po potrebi vključimo spremljevalne parametre: srednjo sevalno temperaturo (npr. globus), hitrost zraka (npr. v prepisnih prostorih ali pri ventilatorjih) ter redkeje tlak, osvetljenost in hrup, kadar analitično prispevajo k razlagi opazovanih odzivov (ISO, 1998).

3.1 Termometri in vlagomeri

Klasični tekočinski termometer meri temperaturo na podlagi spremembe prostornine tekočine v kapilari. Živo srebro so nadomestile alkoholne ali druge tekočine, vendar danes prevladujejo električni senzori, kjer temperatura vpliva na električne lastnosti materiala. Najpogostejši so platinasti uporovni termometri (Pt100, Pt1000), cenjeni zaradi stabilnosti in ponovljivosti. Na spremembi upornosti temeljijo tudi termistorji s polprevodniškim materialom, medtem ko termočleni izkoriščajo termoelektrični pojav na stiku dveh kovin. Za brezkontaktno meritev se uporabljajo infrardeči merilniki in termovizijske kamere, ki zaznavajo sevanje površin.

Ker toplotno ugodje ni odvisno le od temperature, temveč tudi od vlage, moramo hkrati s temperaturo obravnavati tudi merjenje vlage. Vlagomeri merijo relativno vlažnost, temperaturo rosišča ali delni tlak vodne pare. Psihrometri temeljijo na razliki temperatur dveh termometrov, danes pa prevladujejo impedančni senzori, ki zaznavajo spremembo kapacitivnosti ali upornosti zaradi vodne pare. Merilno območje običajno zajema 5–95-odstotno relativno vlažnost, natančnost pa je odvisna od kakovosti senzorja in okoljskih razmer. Za referenčne meritve se uporabljajo higrometri z ohlajenim zrcalom, kjer nadzorovano hlajenje omogoča nepsredno določitev temperature rosišča.

Za točne meritve je ključno sočasno merjenje temperature in vlage, in sicer fizično kar se da blizu skupaj ob čim bolj istem času. Večja je homogenost temperature zraka v prostoru, večja je tudi homogenost porazdelitve zračne vlažnosti. Ker pa je toplotno ugodje rezultat subjektivnega zaznavanja, ki je tudi večparametrsko odvisno od trenutnega stanja vsakega posameznega subjekta, je tudi celovita ocena individualnega ugodja večdimenzionalna matrika.

3.2 Kalibracija in sledljivost

Pred merjenjem temperature moramo vedeti, čemu bo odčitek namenjen – grobi oceni, alarmu, uravnavanju ali znanstveni primerjavi. Od tega so odvisni merilno območje, ločljivost, negotovost, odzivni čas ter stroški vzdrževanja. Pri zahtevnejših nalogah je priporočljiva redna kalibracija, pri kateri merilnik primerjamo z referenčnim etalonom znane točnosti v več točkah. Rezultat ni popravek prikaza, temveč določitev odstopanja od prave vrednosti in merilne negotovosti. Kalibracijski certifikat dokumentira sledljivost uporabljenih etalonov, postopkov in napak. V kalibracijskem certifikatu sta navedeni merilna napaka (pogrešek) in merilna negotovost kalibriranega merila, pri čemer merilna napaka predstavlja odstopanje od prave vrednosti, merilna negotovost pa kvantitativni podatek, ki pove, kakšen je raztros okoli prave vrednosti s primernim intervalom zaupanja. Kalibracije se izvajajo z opremo, sledljivo nacionalnim ali mednarodnim etalonom (Pušnik, 2016; Drnovšek idr., 2025).

Sledljivost pomeni, da je merilni rezultat prek neprekinjene verige primerjav z znanimi negotovostmi povezan z nacionalnimi ali mednarodnimi etaloni. Primarni etaloni določajo referenco, kalibracijski laboratoriji jo prenašajo na delovne etalone ter naprej na industrijske merilnike, pri čemer se negotovost na vsakem koraku dokumentirano preračuna (Pušnik, 2016; Drnovšek idr., 2016; Drnovšek idr., 2025). Na vrhu temperaturne verige je realizacija po lestvici ITS-90, ki temelji na fiksnih točkah, kot so trojna točka vode, tališče galija ter strdišča cinka, aluminija in bakra.

Enaka logika sledljivosti velja za vlagomere. Primarna metoda je z gravimetričnim higrometrom, ki določi mešalno razmerje z neposrednim tehtanjem ločenih komponent plina in kondenzirane vode. Metoda je najtočnejša, a zahtevna in počasna. V praksi se zato kot primarna veličina uveljavlja temperatura rosišča (Pušnik, 2016).

3.3 Merjenje temperature v prostoru

V notranjih prostorih najpogosteje merimo temperaturo z dostopnimi sobnimi merilniki ali stenskiimi senzori, ki so hkrati del uravnavanja ogrevanja in hlajenja. V praksi te naprave pogosto niso umerjene, še pogosteje pa so nameščene na mestih, kjer na odčitek močno vplivajo okoliški dejavniki. Najizrazitejši je vpliv sevanja: neposredni sončni žarki ali bližina toplega ali hladnega telesa (radiator, klimatska naprava) spremenita toplotno ravnovesje sensorja ter povzročita občuten odmik od prave temperature zraka. V praksi se temu izognemo z namestitvijo merilnikov na notranje stene, proč od oken, radiatorjev in naprav, merilnike po potrebi tudi zaščitimo s sevalnim ščitom ali blago aspiracijo. Poleg sevanja na odčitek odločilno vplivata še prevajanje toplote skozi podlago in konvekcija okoli sensorja. Skupek teh treh mehanizmov določa, kako hitro in kako točno bo sensor sledil spremembam temperature zraka. Znano je tudi, da na odstopanja vplivajo telesa v bližini, lastno segrevanje uporabnih sensorjev in časovne konstante, zato sta konstrukcija in lega merilnika enako pomembni kot sama specifikacija sensorja.

Uporaben preizkus za validacijo postavitve je sočasno merjenje na več višinah v območju zadrževanja. Zaradi naravne konvekcije je temperatura pri stropu navadno nekoliko višja kot pri tleh, relativna vlažnost pa ravno obratna. Če količina vodne pare ostane enaka, dvig temperature relativno vlažnost zniža, padec temperature pa jo poveča. Zato moramo temperaturo in relativno vlago meriti sočasno in kar se da na istem mestu, sicer meritev vlage podeduje vsako napako temperaturne meritve (Pušnik, 2016).

Pri praktični namestitvi merilnika sta ključni dve lastnosti. Prva je časovni odziv: senzor in ohišje sta dinamičen sistem ter se na spremembe odzivata z zamikom. Hitrost odziva je določena z maso in toplotnimi lastnostmi sensorja ter s pretokom zraka okoli njega. Ob šibkem pretoku zraka senzor počasneje sledi spremembam, zato meritev zaostaja in zgladi kratkotrajne dogodke, na primer odpiranje okna, sončni preboj ali občasne vpihavalne pulze prezračevalne naprave. Pri senzorjih z večjo maso je učinek še izrazitejši, zato se za hitro dogajanje bolje obnesejo senzori z majhno toplotno maso in zračnimi ohišji, če je mogoče, z blagim preprihovanjem. Druga lastnost je lastno segrevanje: električno merjenje temperature zahteva tok in napetost, kar sprošča dodatno toplotno energijo. Če je električni tok previsok, element meri rahlo previsoko vrednost, zlasti v mirujočem zraku. Rešitvi sta nizka merilna moč in pulzno merjenje. Skrbna ločitev sensorja od morebitnih virov toplote v ohišju (elektronika, baterija) dodatno zmanjša pristranost (Pušnik, 2016).



Slika 1: Merjenje okoljskih razmer v predavalnici. Za merjenje prostorskih gradientov so bili na 10 točkah po prostoru razporejeni merilni sistemi, ki so merili temperaturo, relativno vlažnost, zračni tlak, koncentracijo ogljikovega dioksida in drugih plinov, koncentracijo PM delcev, osvetljenost in zvočni hrup. Na stropu so vidni štiri sistemi, ki visijo v prostoru (bele škatle na nitkah) (Begeš idr., 2025)

Na kakovost bivanja in zaznavanje ugodja vpliva tudi prezračevanje. Hitrejše gibanje zraka pomeni večje odvajanje toplote s kože in nižjo doživeto temperaturo, kar ljudje opišemo kot pihanje ali prepih. Temperaturo zraka zaznavamo skupaj z gibanjem zraka in toplotnim sevanjem. V prostorih z velikim dotokom svežega zraka ali lokalnimi vpihji je nujno, da merilnik temperature ni nameščen neposredno v njihovi okolici, temveč na reprezentativnem mestu v območju zadrževanja. V prostorih, kjer veljajo strožji temperaturni pogoji, je smiselna uporaba več merilnih mest hkrati (slika 1).

Iz vsega naštetega izhaja, da je vpliv točnosti in negotovosti ključnih merilnih instrumentov bistveno manjši kot skupek vseh drugih vplivnih veličin. To je treba upoštevati pri ekonomski analizi tovrstnih merilnih postavitev.

4 Merjenje človeka

Celostno razumevanje vpliva temperature in relativne vlažnosti na človeka zahteva poleg okoljskih meritev tudi meritve človekovih odzivov. Telesna temperatura (angl. core body temperature) je neposredni kazalnik toplotne obremenitve; v terenskih razmerah jo lahko spremljamo z ingestibilnimi kapsulami ali zunanji senzori, pri čemer imajo zadnji velike merilne napake ob hitrih prehodih in močnem potenju (Bongers, Hopman in Eijsvogels, 2018). Srčni utrip je razmeroma robusten kazalnik kombinirane toplotne in kardiovaskularne obremenitve (Gribok idr., 2010). Standard ISO 9886 opisuje validirane postopke merjenja temperature telesa in kože, srčnega utripa in potenja ter merila za varno toplotno izpostavitvev (ISO, 2004).

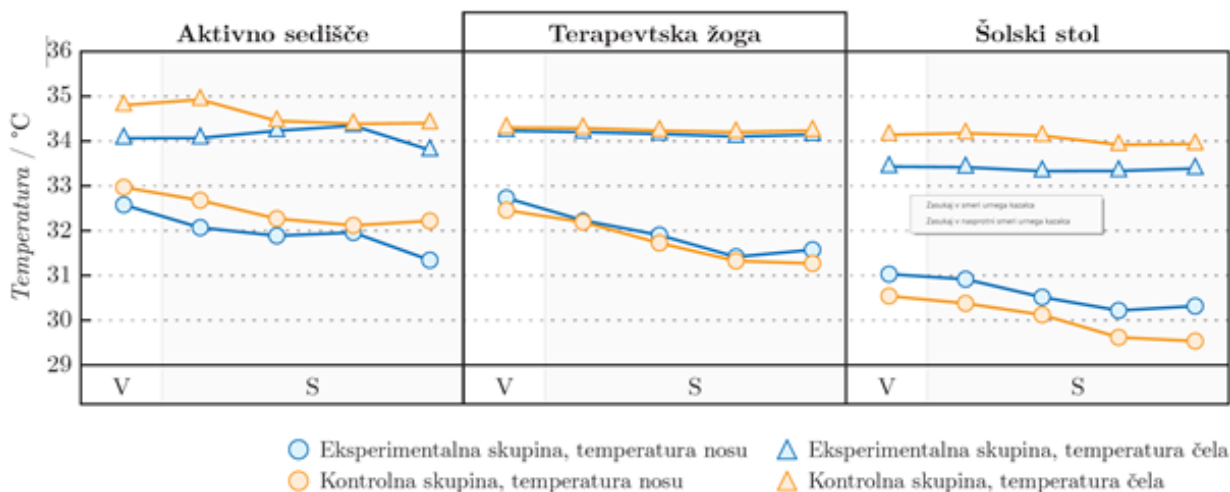
Objektivne meritve so običajno dopolnjene s subjektivnimi ocenami; na primer lestvica ASHRAE s sedmimi stopnjami toplotnega ugodja in standardizirana vprašanja o ugodju, zbranosti in utrujenosti omogočajo uokvirjanje izmerjenih fizioloških sprememb v izkušnjo udeleženca (ASHRAE, 2023; ISO, 2025).

Dejansko gre za zelo kompleksen matematični model, kjer posredno merimo, ocenjujemo odziv človeka na zunanje parametre in njegovo notranje stanje.

4.1 Merilni sistemi v psihofiziologiji

Psihofiziološka merjenja so merjenja fizioloških parametrov posameznika, ki se spreminjajo zaradi njegovega počutja oziroma v splošnem zaradi njegovega duševnega stanja. Fiziološka merjenja sicer preučujejo različne mehanske, fizikalne in biokemične pojave v organizmih s pomočjo ugotavljanja, kako različni zunanji vplivni parametri vplivajo na organizem. Običajno je namen opazovanja fiziologije diagnoza, zdravljenje ali terapija bolnikov. Vendar fiziologija leži na stičišču psihofizičnih, duševnih in vedenjskih funkcij organizma, pri čemer je vse bolj jasno, da obstoji tudi pomembno prepletanje vseh treh.

Psihofiziološka instrumentacija je biomedicinska merilna instrumentacija, ki jo uporabljamo na ozko specializiranem področju merjenja fizioloških odzivov zaradi sprememb duševnega stanja udeleženca (slika 2).



Slika 2: Temperatura kože na obrazu osnovnošolca med poukom, pri čemer je bila preučevana kognitivna obremenitev v odvisnosti od različnih sedišč, ki jih je uporabljal (Stanić idr., 2022)

Tipične fiziološke meritve, ki jih izvajamo pri preučevanju počutja in vedenja človeka v različnih okoljih, so: merjenje frekvence srčnega utripa, krvnega tlaka, električne prevodnosti kože, temperature površinskih tkiv (obraz, prsti), amplitude in frekvence dihanja, merjenje smeri pogleda in širine zenice, električne aktivnosti obraznih mišic (EMG), z razvojem tehnologije pa tudi poenostavljene variante električne aktivnosti možganov (EEG, fNIRS).

4.2 Merjenje temperature kože

Temperatura kože je psihofiziološki kazalnik, ki se spreminja glede na duševno stanje osebe. V stresu pride do vazokonstrikcije, zmanjšane pretoka krvi in posledično ohlajanja tkiva. S hitrim termometrom ali termovizijsko kamero lahko izmerimo padec temperature (npr. na prstu ali ušesu) in iz njega sklepamo na stopnjo vznemirjenosti posameznika (Stanić in Geršak, 2025).

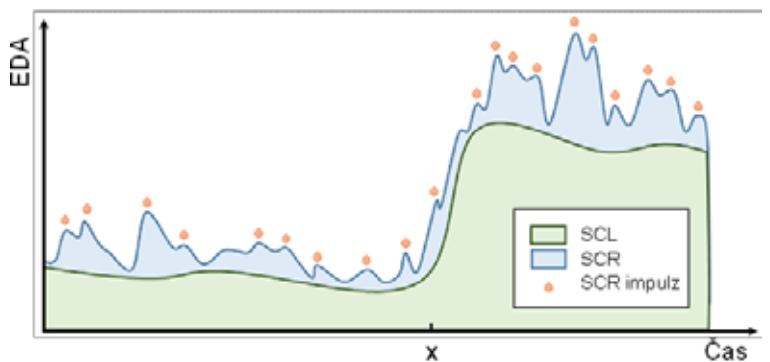
Temperatura kože (in telesa) je odvisna od cirkadialnega in menstrualnega cikla (Yosipovitch idr., 1998; Baker, Sibozza in Fuller, 2020) ter okoljskih razmer, hkrati pa tudi od bioloških stanj (prilagajanje glede na temperaturo okolja, premagovanje virusa) in od duševnih odzivov (socialne interakcije, počutje, odziv boj ali beg) (Ioannou, Gallese in Merla, 2014).



Slika 3: Primer termograma, posnetega s hitro visokoločljivo termovizijsko kamero, s katero je bilo mogoče zaznati duševno stanje posnete osebe. V stresni situaciji se je osebi nos ohladil (Centa, 2019)

4.3 Meritev elektrodermalne aktivnosti

Električna prevodnost kože je splošno uporabljeni poenostavljeni izraz za elektrodermalno aktivnost (EDA), ki jo lahko opazujemo z merjenjem sprememb električnih lastnosti kože zaradi aktivnosti žlez znojnic (slika 4) (Boucsein, 2012). Stopnjo duševne vzburjenosti lahko določimo z opazovanjem ravni prevodnosti kože (angl. skin conductance level – SCL) in odziva prevodnosti kože (angl. skin conductance response – SCR) (slika 4). SCL določa raven duševne vzburjenosti (Boucsein, 2012). Trenutne vrednosti prevodnosti kože opisuje število SCR impulzov, katerih gostota pojavljanja nakazuje na stopnjo duševne vzburjenosti (Boucsein, 2012). SCR impulzi predstavljajo vrednosti, ki znotraj izbranega časovnega okvira presežejo določeni prag (Boucsein, 2012).



Slika 4: Elektrodermalni signal (EDA) je navadno podan v mikrosimensih (μS) ter sestavljen iz ravni (SCL) in odziva (SCR). Na sliki je prikazan dvig ravni duševne vzburjenosti po stimulusu ob času x , z oranžnimi kapljicami pa so označeni detektirani SCR impulzi, ki kažejo na duševno vzburjenost opazovane osebe (Geršak, 2020)

4.4 Meritev srčnega utripa

Srčni utrip (HR) je frekvenca ritmičnega utripanja srčne mišice (Zhang in Zhang, 2009) in je tipično izražena kot število utripov na minuto (BPM). HR lahko obravnavamo kot kazalnik zdravja kardiovaskularnega sistema, pri čemer višji HR v mirovanju nakazuje na slabše delovanje srčno-žilnega sistema (Achten in Jeukendrup, 2003). Tako kot druge kardiovaskularne veličine tudi frekvenca srčnega utripa sledi cirkadialnemu ritmu (Massin idr., 2000). Poleg tega nanjo vplivajo drugi duševni in fiziološki dejavniki, kot so čustva, miselni procesi, menstrualni cikel, srčno-žilna obolenja, stres, anksioznost in duševne motnje (Kreibig, 2010; Wu, Gu, Yang in Luo, 2019; Darnell in Krieg, 2019; Moran, Leathard in Coley, 2000; Fox idr., 2007; Dishman idr., 2000; Chen idr., 2017; Kikuchi idr., 2009).

Najosnovnejša meritev HR je s štetjem utripov srčne mišice s pomočjo elektrokardiografa (EKG) ali fotopletizmografa (PPG), ki merita električno aktivnost srca in dinamiko krvi v žilah (Achten in Jeukendrup, 2003).

4.5 Nosljive naprave za merjenje fizioloških parametrov

Nosljive naprave so primerne za merjenje fiziologije, saj omogočajo neinvazivno, predvsem pa neintruzivno merjenje. Neintruzivnost pomeni, da zaradi zavedanja opazovane osebe, da je merjena, le malo vplivajo na spremembo fiziologije (slika 5).



Slika 5: Raziskava počutja študentov visokošolske tehnike med predavanji. Med diskusijo študenti na rokah nosijo merilne prstane. Prstani so neintruzivna nosljiva merilna naprava za merjenje fiziologije avtonomnega živčnega sistema študenta (Geršak idr. 2025)

Odlikuje jih zadostna točnost, če so kalibrirane. Imajo tudi pomanjkljivosti, na primer optični merilniki srčnega utripa na zapestju, ki delujejo po načelu fotopletizmografske metode, lahko pri intenzivnem fizičnem premikanju merijo z velikim napakami, zato je za oceno toplotne obremenitve včasih priporočljiva kombinacija z drugimi merilniki (Sartor idr., 2018). Obenem je nedvoumna časovna sinhronizacija s toplotnimi razmerami v okolju ključna za interpretacijo vzročnih povezav. Pri rabi nosljivih naprav je nujna etična in varnostna skladnost: potrebni so predhodno informirano soglasje, anonimizacija osebnih podatkov in pregleden načrt hrambe podatkov.

5 Aplikacije

V učilnicah so nižje, stabilne temperature in zmerna vlažnost povezane z boljšimi dosežki; terenski poskusi in metaanalize potrjujejo, da toplota lahko poslabša rezultate, pri čemer so otroci občutljivejši od odraslih (Wargocki, Porras-Salazar in Contreras-Espinoza, 2019). V pisarnah se z rastjo temperature povečajo pritožbe in, kot ugotovljeno v posameznih raziskavah, upada produktivnost, pri čemer je pomembna kombinacija ugodja, kakovosti zraka (npr. kemične sestave) in ergonomskih ukrepov (Seppänen, Fisk in Lei, 2006; Porras-Salazar idr., 2021). V delovnih okoljih z večjim toplotnim tveganjem WBGT pomaga pri načrtovanju razmerja delo : počitek, PHS pa pri določanju nastopa dehidracije; individualno spremljanje (HR, telesna temperatura) poveča varnost na terenu (ISO, 2017; ISO, 2018; ACGIH, 2017; NIOSH, 2016). Pri oblikovanju oblačil in opreme kombinacija okoljskih in fizioloških meritev omogoča optimizacijo izolacije, paroprepustnosti in lokalnega hlajenja.

6 Sklep

Zanesljivo merjenje temperature in relativne vlažnosti v prostorih s pomočjo ustreznih senzorjev, ki so pravilno postavljeni, kalibrirani in sledljivi, je temelj razumevanja toplotnega ugodja in tveganj obremenitve ter preučevanja zakonitosti počutja človeka v različnih temperaturnih in vlažnostnih razmerah. Šele ko temperaturne meritve povežemo s fiziološkimi in subjektivnimi odzivi opazovanih oseb ter jih analiziramo v modelih, ki upoštevajo tudi interakcijo temperature in relativne vlažnosti, dobimo ustrezne ugotovitve. Standardi ASHRAE 55, ISO 7730, ISO 7726, ISO 7243 in ISO 7933 skupaj z validiranimi merilnimi metodami tvorijo robusten okvir, ki ga lahko dopolnjujejo tudi sodobne nosljive multiparametrskne naprave. V praksi to pomeni kakovostno meriti, ustrezno interpretirati in posledično prilagajati človekovo okolje tako, da se zavedamo meja človeške fiziologije in izkušenj, pri čemer mora biti cilj zdravo, udobno in varno bivalno ter delovno okolje.

Velja pa poudariti, da je tematika mnogo preveč kompleksna, vključujoč subjektivno zaznavanje in človekovo duševno stanje, da bi lahko z gotovostjo kvantitativno ocenili kakovost bivanja. Nedvomno pa so za vsako tovrstno analizo potrebni dovolj točni in zanesljivi vhodni podatki, kar je bil tudi glavni namen predstavljene vsebine.

Viri in literatura

- ACGIH. (2017). *TLVs and BEIs – Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices: Heat Stress and Strain*. Cincinnati, OH: ACGIH Signature Publications.
- Achten, J. in Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring. *Sports medicine*, 33(7), 517–538. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333070-00004>
- Arundel, A. V., Sterling, E. M., Biggin, J. H. in Sterling, T. D. (1986). Indirect health effects of relative humidity in indoor environments. *Environmental Health Perspectives*, 65, 351–361. <https://doi.org/10.1289/ehp.8665351>
- ASHRAE. (2023). ANSI/ASHRAE Standard 55-2023: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- Baker, F. C., Siboza, F. in Fuller, A. (2020). Temperature regulation in women: effects of the menstrual cycle. *Temperature*, 7(3), 226–262. <https://doi.org/10.1080/23328940.2020.1735927>
- Begeš, G., Miklavc, J., Murovec, J., Novak Bratina, A. N., Peklaj, C., Podlesek, A., Prezelj, J., Seme, B., Stojan Dolar, M., Stritih, U., Strle, T., Šarac, B., Legan, M., Kuhar, R., Kržišnik, D., Babnik, K., Bažec, M., Brezec, Žan, Depolli Steiner, K., Dimc, F., Geršak, G., Hacin Beyazoglu, K., Humar, M., Janežič, A., Komidar, L., Kordeš, U. in Tavčar, R. (2025). *Nasveti za ureditev učnih okolij Univerze v Ljubljani*. Založba Univerze v Ljubljani. <https://doi.org/10.51938/9789612976729>
- Bongers, C. C. W. G., Hopman, M. T. E. in Eijssvogels, T. M. H. (2018). Validity and reliability of the myTemp ingestible temperature capsule. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(4), 322–326. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.06.006>
- Boucsein, W. (2012). *Electrodermal activity*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1126-0>
- Bröde, P., Błażejczyk, K., Fiala, D., Havenith, G., Holmér, I., Jendritzky, G., Kuklane, K. in Kampmann, B. (2013). The Universal Thermal Climate Index UTCI compared to ergonomics standards for assessing the thermal environment. *Industrial health*, 51(1), 16–24. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2012-0098>
- Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B. in Havenith, G. (2012). Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 481–494. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>
- Centa, A. (2019). *Zavajanje in termografska kamera* [Magistrsko delo]. Repozitorij Univerze v Ljubljani. <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpis/Gradiva.php?lang=slv&id=111424>
- Chen, X., Yang, R., Kuang, D., Zhang, L., Lv, R., Huang, X., Wu, F., Lao, G. in Ou, S. (2017). Heart rate variability in patients with major depression disorder during a clinical autonomic test. *Psychiatry Research*, 256, 207–211. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.06.041>
- d'Ambrosio Alfano, F. R., Palella, B. I. in Riccio, G. (2011). The role of measurement accuracy on PMV assessment. *Building and Environment*, 46(7), 1361–1369. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.01.001>
- Darnell, D. K. in Krieg, P. A. (2019). Student engagement, assessed using heart rate, shows no reset following active learning sessions in lectures. *PLoS one*, 14(12), e0225709. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225709>
- de Dear, R. J. in Brager, G. S. (1998). Developing an adaptive model of thermal comfort. *ASHRAE Transactions*, 104(1), 145–167.
- Dishman, R. K., Nakamura, Y., Garcia, M. E., Thompson, R. W., Dunn, A. L. in Blair, S. N. (2000). Heart rate variability, trait anxiety, and perceived stress among physically fit men and women. *International Journal of Psychophysiology*, 37(2), 121–133. [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(00\)00085-4](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(00)00085-4)
- Drnovšek, J., Bojkovski, J., Geršak, G., Pušnik, I. in Hudoklin, D. (2016). *Metrologija*. Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani.
- Drnovšek, J., Pušnik, I. in Bojkovski, J. (2025). *Meritve, merilne metode in instrumentacija*. Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani.
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Danish Technical Press.
- Fox, K., Borer, J. S., Camm, A. J., Danchin, N., Ferrari, R., Lopez Sendon, J. L., Steg, P. G., Tardif, J. C., Tavazzi, L. in Tendera, M. (2007). Resting heart rate in cardiovascular disease. *Journal of the American College of Cardiology*, 50(9), 823–830. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2007.04.079>
- Geršak, G. (2020). Electrodermal activity - a beginner's guide. *Elektrotehniški vestnik*, 87(4), 175–182.
- Geršak, G., Predan, B. in Geršak, V. (ur.). (2025). *Spodbujanje inovativnih učnih okolij pri učenju in poučevanju študentov tehniških fakultet*. Založba Univerze v Ljubljani. <https://doi.org/10.51935/9789612976354>
- Gribok, A. V., Buller, M. J., Hoyt, R. W. in Reifman, J. (2010). A real-time algorithm for predicting core temperature in humans. *IEEE transactions on information technology in biomedicine: a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 14(4), 1039–1045. <https://doi.org/10.1109/TITB.2010.2043956>
- Hancock, P. A., Ross, J. M. in Szalma, J. L. (2007). A meta-analysis of performance under thermal stressors. *Human Factors*, 49(5), 851–877. <https://doi.org/10.1518/001872007x230226>
- Ioannou, S., Gallese, V. in Merla, A. (2014). Thermal infrared imaging in psychophysiology: potentialities and limits. *Psychophysiology*, 51(10), 951–963. <https://doi.org/10.1111/psyp.12243>
- ISO. (1998). ISO 7726: Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities.
- ISO. (2004). ISO 9886: Ergonomics — Evaluation of thermal strain by physiological measurements.
- ISO. (2017). ISO 7243: Ergonomics of the thermal environment — Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index.
- ISO. (2018). ISO 7933: Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain.
- ISO. (2025). ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.

- Jendritzky, G., de Dear, R. in Havenith, G. (2012). UTCI—Why another thermal index? *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 421–428. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0513-7>
- Jones, E. R., Cedeño Laurent, J. G., Young, A. S., Coull, B. A., Spengler, J. D. in Allen, J. G. (2022). Indoor humidity levels and associations with reported symptoms in office buildings. *Indoor air*, 32(1), e12961. <https://doi.org/10.1111/ina.12961>
- Kikuchi, M., Hanaoka, A., Kidani, T., Remijn, G. B., Minabe, Y., Munesue, T. in Koshino, Y. (2009). Heart rate variability in drug-naïve patients with panic disorder and major depressive disorder. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 33(8), 1474–1478. <https://doi.org/10.1016/j.pnpb.2009.08.002>
- Ključevšek, N. (2017). *Pregled kazalcev za spremljanje vročine v Sloveniji*. Vetrnica, Znanstveni posvet o vročinskih valovih, 14–28.
- Kreibig, S. D. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion: A review. *Biological psychology*, 84(3), 394–421. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.03.010>
- Massin, M. M., Maeyns, K., Withofs, N., Ravet, F. in Gérard, P. (2000). Circadian rhythm of heart rate and heart rate variability. *Archives of disease in childhood*, 83(2), 179–182. <https://doi.org/10.1136/adc.83.2.179>
- Moran, V. H., Leathard, H. L. in Coley, J. (2000). Cardiovascular functioning during the menstrual cycle. *Clinical physiology*, 20(6), 496–504. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2281.2000.00285.x>
- NIOSH (Jacklitsch, B. L. idr.). Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Heat and Hot Environments. OH: DHHS (NIOSH) Publication No. 2016-106.
- Porras-Salazar, J. A., Schiavon, S., Wargocki, P., Cheung, T. in Tham, K. W. (2021). Meta-analysis of 35 studies examining the effect of indoor temperature on office work performance. *Building and Environment*, 203, 108037. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108037>
- Pušnik, I. (2016). *Preskušanje in energetska učinkovitost (1. del)*. Laboratorij za metrologijo in kakovost, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani.
- Sartor, F., Gellissen, J., van Dinther, R., Roovers, D., Papini, G. B. in Coppola, G. (2018). Wrist-worn optical and chest strap heart rate comparison in a heterogeneous sample of healthy individuals and in coronary artery disease patients. *BMC sports science, medicine & rehabilitation*, 10, 10. <https://doi.org/10.1186/s13102-018-0098-0>
- Seppänen, O., Fisk, W. J. in Lei, Q. H. (2006). *Effect of temperature on task performance in office environment*. Proc. 5th International Conference on Cold Climate Heating, Ventilating and Air Conditioning.
- Stanič, V. in Geršak, G. (2025). Facial thermal imaging: A systematic review with guidelines and measurement uncertainty estimation. *Measurement*, 242, 115879. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.115879>
- Stanič, V., Žnidarič, T., Repovš, G. in Geršak, G. (2022). Dynamic Seat Assessment for Enabled Restlessness of Children with Learning Difficulties. *Sensors*, 22(9), 3170. <https://doi.org/10.3390/s22093170>
- Steadman, R. G. (1979). The assessment of sultriness. Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 18(7), 861–873. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1979\)018%3C0861:TAOSPI%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1979)018%3C0861:TAOSPI%3E2.0.CO;2)
- Wargocki, P., Porras-Salazar, J. A. in Contreras-Espinoza, S. (2019). The relationship between classroom temperature and children's performance. *Building and Environment*, 157, 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.046>
- WHO. (2018). *WHO Housing and Health Guidelines*. World Health Organisation.
- Wu, Y., Gu, R., Yang, Q. in Luo, Y.-J. (2019). How do amusement, anger and fear influence heart rate and heart rate variability? *Frontiers in neuroscience*, 13, 1131. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01131>
- Yosipovitch, G., Xiong, G. L., Haus, E., Sackett-Lundeen, L., Ashkenazi, I. in Maibach, H. I. (1998). Time-dependent variations of the skin barrier function in humans: Transepidermal water loss, stratum corneum hydration, skin surface pH, and skin temperature. *Journal of Investigative Dermatology*, 110(1), 20–23. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1747.1998.00069.x>

Globalno segrevanje in zdravje človeka

Marko Vudrag

Prolog

Ni več dvoma, da se je po širnem svetu, sploh v zadnjih 30 letih, razvila praksa, ki je stkana iz treh besed: ekstrakcija (iz slehernega človeka), ekspanzija (na račun celotnega sveta) in eksploatacija (skupnega dobra). To je sicer osnovni moto in »filozofija« neoliberalnega kapitalizma, kar je adekvatno »filozofiji« raka-stih celic (rast zaradi rasti same). A na ta način se ogroža tudi prihodnost človeške vrste, saj je vrsti spod-letel talent lastne umestitve in ustvarjanja ravnovesja z okoljem. Dejstva torej govorijo drugače. Človek nima lastne in ustrezne niše v globalnem okolju. V naravi in v znanosti o okolju sicer velja pravilo, da bo napaka, ki je v svoje okolje prinesla neravnovesje, kljub temu (ali prav zato) da je nastala znotraj evolucij-skih premikov, brez razlike hitro izginila. Zato k temu eseju sodijo misli, ki jih je izrekel Søren Kierkegaard: »Vsepovsod v življenju so razpotja. Sleherni človek stoji enkrat na začetku, na razpotju – to je njegova popolnost, brez njegove zasluge. In kje stoji na koncu? Na koncu je nemogoče stati na razpotju – tam je njegova izbira in njegova odgovornost.«

Ključne besede:

globalno pregrevanje, javno zdravje, zdravje ljudi, astma, srčne bolezni, ranljive skupine

Prologue

There is no longer any doubt that, across the wide world—especially over the past 30 years—a practice has developed that is woven from three words: extraction (from every individual), expansion (at the expense of the entire world), and exploitation (of the common good). This is, in fact, the basic motto and “philosophy” of neoliberal capitalism, which is analogous to the “philosophy” of cancer cells (growth for the sake of growth itself). Yet in this way, the future of the human species is also being endangered, as the species has failed in the task of situating itself properly and creating balance with its environment. The facts, therefore, tell a different story. Humanity does not possess its own appropriate niche within the global environment. In nature and in environmental science, there is a general rule that an error which introduces imbalance into its environment—even (or precisely) if it arises from evolutionary shifts—will, without exception, quickly disappear. For this reason, this essay is accompanied by the thoughts expressed by Søren Kierkegaard: “Everywhere in life there are crossroads. Every person stands once at the beginning, at a crossroads—that is their perfection, without any merit of their own. And where do they stand at the end? At the end, it is impossible to stand at a crossroads—there lies their choice and their responsibility.”

Keywords:

global warming, public health, human health, asthma, heart diseases, vulnerable populations

1 Uvod

Vse kaže, da vodilne politične in poslovne/finančne elite že več kot sto let vodijo svet v skladu z nekakšnim *ekstravagantnim nadrealističnim optimizmom*. V tem stanju duha svet pogosto vodijo iracionalno in brez premisleka o splošnem dobru ter s svojimi dejanji povzročajo tudi veliko zla, ki ga upravičujejo s teodicejo, češ *iz tega zla bo le nastalo dobro*. Tako so do današnjega časa tudi naravno okolje pripeljale v stanje s pojavi, ki jih marsikdo že doživlja in imenuje *apokalipsa*. Je že res, da elita stanje *apokalipse* zna komodificirati, tako da ji je lagodno in je brez skrbi. Zato tudi nikomur ne pušča možnosti refleksije o stanju stvari, čeprav sama ne skriva dejstva, da je skupno dobro pravzaprav tarča praks, ki jih imenujemo ekstrakcija in eksploatacija, celo ekspanzija, če gre za primer programiranih/kontroliranih vojn. Pri eliti sta hiperprodukcija dobrin in dobiček mantra, ki ima za rezultat velikanske kupe predmetov in stvari, veliko večino katerih bi vsi mi lahko pogrešali. In svet tako marsikdo dojema kot sarkastično burlesko in se sprašuje: »Čemu tako in zakaj?« Kot da ta postmoderna resničnost po stotih letih postaja novi nadrealizem. Ampak te prakse smo vpeljali mi, vrsta *homo sapiens (modri človek)*, in na ta način svet pripeljali v neugodne in eksistencialno nevzdržne okoliščine. Svet je že blizu sesutja. Zato bo to poglavje nekakšna esejistična interpretacija te neugodne poti, po kateri hodi naša civilizacija najmanj od začetka 20. stoletja do danes. V tem obdobju lahko opazujemo tudi hitri vzpon kapitalizma, ki je s *koncem zgodovine* (Fukuyama, 1989) zašel v svojo negacijo. To je bilo sicer pričakovano, kajti sistem, ki sloni na rasti zaradi rasti same (kar je filozofija rakastih celic), na izkoriščanju vsega in vsakogar ter na dobičkarstvu, preprosto ni vzdržen. Nastanek *kapitalizma* je zaznamoval družbo tako, da je v svoji agendi razvijal mentaliteto in metode pridobitništva ter širitve, kot da je najvišji – totalni politični – cilj »za vsako ceno«. Na komunikacijskih kanalih in platformah lahko veliko beremo o *blaginji* s prikazi blišča, ki pa ga uživa samo elita. Kljub temu lahko splošno stanje po svetu označimo za *brezupno*, saj je ljudem kot na pladnju ponujeno še kaj drugega kot samo blišč. Tako lahko dnevno opazujemo vojne in smrt, izživljanje nad nemočnimi in nedolžnimi, tudi otroki, medtem ko so lakota, huda revščina, neenakost, okoljske katastrofe, ki jih povzroča segrevanje ozračja, postale nekaj povsem običajnega. Pri teh opaznih okoljskih spremembah, ob katerih se na več ravneh krešejo mnenja in upoštevajo vsi možni razlogi za njihov nastanek, od eksogenih/naravnih do artificialnih (umetnih), se nam po malem poraja sklep, da smo verjetno prav mi tisti, ki ustvarjamo razmere, ki ustvarjajo te nevzdržne spremembe. A resničnost znamo spretno skrivati z brezbržnostjo in *komodifikacijo*. Ker uporaba besednih zvez, kot je »stanje sesutja«, ki asociirajo na usodne premike, terja vsaj približne mejnike, jih lahko poiščemo v eseju ameriškega politologa in misleca F. Fukuyame (*Konec zgodovine?*), izdanem leta 1989 ob padcu berlinskega zidu. Razmišljanja iz citiranega eseja je avtor leta 1992 razširil v novi knjigi, v kateri futuristično opisuje zahodni sistem liberalne demokracije in kapitalizma kot skupno končno stopnjo razvoja sveta v širšem družbenem smislu. Novo obdobje naj bi se začelo s koncem hladne vojne oziroma z dokončnim razpadom Sovjetske zveze leta 1991. Ta oblika družbe naj bi se nadaljevala do konca obstoja človeštva. Dokaz, da je liberalna demokracija s kapitalizmom morda le končni sistem, najdemo predvsem v tem, da se je kot edina izmed treh velikih ideologij 20. stoletja obdržala, medtem ko sta s *koncem zgodovine* (padec berlinskega zidu) fašizem in komunizem po večini propadla. Trenutno je ta futurizem samo dobra teorija, ki pa bi celo utegnila biti podstat za enega najboljših družbenih sistemov. Seveda, če ne bi *eliti, enemu odstotku*, uspelo na koncu hladne vojne svet dokončno spreobrniti v neoliberalizem s spremljajočo maligno financializacijo. Tako so svet tako rekoč pripeljati do ugonobitve. V dobrih dveh desetletjih totalne deregulativnosti in nagle rasti je neoliberalizmu uspelo spodkopati lastni uspeh. Kajti v sozvočju s financializacijo se je namreč pokazal za katastrofo, zlasti potem ko so neoliberalci (sploh ameriški FED, Svetovna banka in Mednarodni denarni sklad) dovolili, da se v devetdesetih letih deregulira in razmahne tudi finančni sektor. Pričakovali so, da se bo po 50 letih uspešnega svetovnega urejanja financ tudi finančni sistem uredil kar sam. Hitro se je pokazalo, da so investicijske banke – drugače kot resnične gospodarske korporacije – z deregulativnostjo postale sistemsko nevarne oziroma prave tvegane pošasti. To se je ne nazadnje tudi uresničilo, saj so leta 2008 opustošile realno gospodarstvo. Takrat so bile tudi velikanske vsote javnega denarja hudourniško odplaknjene drugam, v naročje tistih, ki so to godljo zakuhali, in ne v šolstvo, zdravstvo, kulturo ali socialo. Trik je bil tako uspešen, da je s tem *elita, en odstotek*, še dodatno neverjetno obogatela, preostalih *99 odstotkov prebivalstva* pa je še vedno »na čakanju«.

Ker ta esej nima političnih namenov, bo kot del uvoda prikazana samorefleksija kot virtualni dialog med a), namišljenim avtorjem (to sem lahko jaz, M. Vudrag), in b), namišljenim ekspertom za informacijske tehnologije (IT). Znotraj samorefleksije bi avtor zastavil vprašanja, medtem ko bi IT ekspert pripravil odgovore z

nekakšnimi blažilnimi notami. Dialogu lahko damo delovni naslov *Samorefleksija skozi šest vprašanj s kratkimi odgovori*, in gre nekako tako:

1. Kaj ljudi najbolj intrigira v današnjem resničnem ŽIVLJENJU?
2. SOLUCIONIZEM, ali katero življenje je resnično in katero virtualno?
3. V katerem življenju lahko uresničimo svoje AFIRMACIJSKE ZMOGLJIVOSTI?
4. ZNANOST (znanje) je bogastvo! Kakšen STATUS pa ima znanost danes?
5. Kaj pomeni globalizacija oziroma kam bo ljudi odpeljal GLOBALNI ROJ?
6. Kako se o SVOBODI in JAZU pogovarjata a) *avtor* in b) *organizator tega posveta*? (mišljen je interdisciplinarni posvet Problematika pregrevanja urbanega prostora in vpliv na zdravje uporabnikov, ki je bil na Fakulteti za arhitekturo UL 30. maja 2025, na katerem je aktivno sodeloval tudi avtor, op. ur.)

K 1) Ljudje čutijo, da svet, v katerem živimo, ni vzdržen in trajnosten, saj postaja čedalje bolj nenaraven. Opazimo lahko tudi, da tri glavne družbene prvine – svoboda, človekove pravice in demokracija – izginjajo ali pa sublimirajo v nekakšne nesprejemljive oblike (iliberalizem, vsesplošno distopijo ...).

K 2) Z dotikom ekrana, s pritiskom na tipkovnico ali s klikom miške se vam v hipu odstrejo neskončne možnosti realizacije (podvprašanje – *česa že?*). Zaradi številnih možnosti izbire (solucionizem) niti ne opazite, da vam virtualni nekdo izza ekrana izmakne pozornost in zabriše vašo mejo med resničnim ter virtualnim svetom in življenjem.

K 3) Na to resno vprašanje je odgovor še posebej nedefiniran. Danes (v resničnem življenju) je osebna afirmacija še toliko težja, saj resnost in odgovornost vodilnih elit, ki naj bi v slogu enakopravnosti zagotovile afirmacijske razmere za vse, po malem izginevata. Zato ljudje nimamo komu naslavljati vprašanj. Afirmacija v virtualnem življenju pa je že sama po sebi nerealna in zlagana, za človeka ni uresničljiva. Če odpremo vprašanja umetne inteligence o poklicih, pa bodo ljudje postali odvečni. Edini poklic, ki se bo ohranil, bo sočutni negovalec.

K 4) Znanost je pridobila status nekoristnosti, to že, a je hkrati edina »dobrina«, ki jo lahko do onemoglosti delite z drugimi, ne da bi obubožali.

K 5) Ali res ne vidite, da *človek* z globalizacijo drsi v lastni suspenz? V precep vzemimo samo svetovni splet, ki deluje kot roj in ki se je kot globalni um zavihtel na vrh sveta. Namesto konsenzualnega in demokratičnega odločanja so se ljudje z rojem znašli v položaju, kjer svobodo odločanja upravljajo deterministične verige logičnih algoritmov in tehnološke implikacije. Ta roj je skupni okvir, v katerem so zapovedi jasne, algoritmi pa ne povsem. Biti moraš zraven, znotraj skupnega, ki to v resnici ni. Ravno nasprotno je. Tam si sam in individualiziran. Poleg tega človekova zavest in volja štejeta malo oziroma nič. Zato čedalje bolj šteje volja nevidnega in neotipljivega roja, ki vodi h koncu ireduktibilnega sebstva človeka.

K 6) a) Sem enovito bitje, imam svoj *jaz* in svoj notranji glas!

b) *Vaše bitje je samo skupek algoritmov, v katerih ples občasno vodi intuicija s provizoričnimi ocenami »čez palec«, sicer pa je stalno upravljano po načelih biokemije, katalize, sinteze ter s hormoni in kodiranim genskim ustrojem.*

a) Moj *jaz* je svoboden!

b) *Algoritmi niso svobodni, oblikujejo jih geni in pogoji iz okolja.*

a) Sebe dobro poznam, zato imam voljo in suvereno odločam, drugi ne odločajo zame in o meni!

b) *Vaš jaz lahko zamenja tudi umetni algoritem, ki vas pozna bolje, kot se sami, o vas ve vse, ima vedno prav, vas nadzira in vas lahko nadomesti kot kupca in kot volivca.*

2 Zaplet, prvič

Svetovno prebivalstvo je na razpotju: zato težava globalnega pregrevanja in vplivi na zdravje ljudi, pravzaprav na prihodnost celotnega prebivalstva sveta potrebujejo zelo kritično razmišljanje, predvsem pa akcijo, zaradi življenja na Zemlji kot celote.

Globalno pregrevanje, ki povzroča vedno hujše pojave, je povzročeno zaradi najmanj dveh razlogov. Prvič, to so emisije toplogrednih plinov ter prah in nanodelci, ki so naravnega izvora. Te emisije niso tako majhne. In drugič, dodatne emisije, ki jih z veliko verjetnostjo lahko povežemo z aktivnostmi človeka, te pa se zlasti stopnjujejo z emisijami toplogrednih plinov pri zgorevanju fosilnih goriv ter, dodatno, z resnimi emisijami prašnih delcev, nanodelcev in črnega ogljika iz drugih industrijskih virov ali aktivnosti. Pojav ekstremne svetovne produkcije dobrin v različnih oblikah proizvodnje in predelave ter brstenje biznisa, s sočasnimi specifičnimi izpusti različno škodljivih polutantov, se multiplificira. Ali sploh še obstaja kdo, ki se ne bi strinjal z resničnostjo vsesplošne kemizacije in plastifikacije sveta, ki jih povzroča ideologija pridobitništva in hiperprodukcija? Zaradi stalne rasti povprečne temperature ozračja se porajajo težave, ki so vse težje rešljive, saj nastajajo kot po tekočem traku in dnevno, s čimer ustvarjajo zelo resne težave za ekosisteme z vidika varnosti voda, varne pridelave hrane in zdravja ljudi. IPCC (Medvladni odbor za podnebne spremembe ZN) opozarja, da bo nadaljnje pregrevanje povzročilo nepopravljive posledice, zato poudarja: nujno je skupno ukrepanje za blažitev teh učinkov.[1][2] Kajti globalno pregrevanje lahko povežemo z ekstremnimi pojavi v urbanih območjih in z nezanesljivo pridelavo hrane. Urbana območja in megapolisi, kjer je danes več kot polovica prebivalstva sveta, trpijo zaradi »učinka urbanega toplotnega otoka«, kajti nedomišljena urbanizacija poslabšuje učinke globalnega pregrevanja. Zgradbe in infrastruktura absorbirajo ter zadržujejo toploto. Ob vročih dneh se mestne površine lahko segrejejo tudi do 15 °C več v primerjavi s podeželskimi območji.[3] Daljši in intenzivnejši vročinski valovi ne vodijo samo v zdravstvene težave (srčni infarkti, dehidracija in težave z dihanjem), temveč prispevajo k resnim motnjam v prometni infrastrukturi (upogibanje cest, jeklenih konstrukcij, železniških tirov ...).[2][4]

Posledice globalnega pregrevanja na zdravje so obsežne in globoke. Porast temperatur in spremembe v vzorcih padavin z veliko frekvenco ekstremnih vremenskih pojavov ogrožajo bistvene elemente človeškega življenja: hrano, vodo in zrak, ki ga dihamo.[10] Nobenega dvoma, da je ozračje precej obremenjeno z različnimi polutanti, ni več. Gre za resno onesnaženje, tako s črnim ogljikom, drugimi nanodelci (ki glede našega zdravja niso indiferentni), prašnimi delci (PM10 ali PM2,5), s pritlehnim ozonom, vse to pa še dodatno prispeva k absorpciji energije, ki jo kopiči atmosfera. Tudi število smrtnih primerov, povezanih z vremenom, se povečuje, stanje kroničnih bolnikov se slabša, ranljive in marginalne skupine, sploh tiste z nizkimi prejemki, so v velikih težavah zaradi slabšega dostopa do virov in zdravstva.[4][5] Narašča število bolezni, ki se prenašajo z vodo in živili ter z vektorji nalezljivih bolezni. Korelacija med visokimi temperaturami in poslabšanjem kakovosti zraka je očitna, saj ozon in trdni delci (tudi zaradi požarov v naravi in puščavskega prahu) vodijo do zdravstvenih zapletov, vključno z astmo in srčnimi boleznimi.[5] Pri tem zlasti trpijo nekatere demografske skupine, ki so posebej ogrožene. To so denimo tisti, ki so na robu revščine (nimajo ustreznega zavarovanja ali dostopa do zdravstvenih storitev), in še posebej samski starejši, ki so bolj občutljivi na vročinske valove (njihovo tveganje se sicer zmanjša, če imajo dostop do klimatskih naprav, pa vendar).[10][11][12] V to skupino spadajo tudi osebe z duševnimi motnjami (duševne motnje – svetovna težava št. 1), pri katerih neugodni vremenski pojavi delujejo izrazito stresno, tako da poslabšajo njihovo stanje, kajti pri njih že medijski diskurz o tem zelo negativno vpliva na duševno zdravje.[11][13][14]

Skratka, potrebno in nujno je skupnostno delovanje za javnozdravstveni odziv,[6][7] kar zahteva celovite strategije za blaženje globalnega pregrevanja, s pobudami za javno zdravje in sodelovanjem skupnosti. Ozaveščanje javnosti o zdravstvenih tveganjih, povezanih s pregrevanjem podnebja, je ključnega pomena za mobilizacijo in ukrepanje.[16][17] Te strategije naj bi vključile tudi blažitev urbanega toplotnega otoka, denimo z izvajanjem ukrepov, kot je urbano gozdarstvo in hladne strehe. Navedimo še vpliv na kmetijstvo in razvijajočo se prehransko negotovost. Po ocenah že sami toplotni valovi in suša povzročajo od 20 do 50 odstotkov izgube svetovnega pridelka. Občutni vročinski val leta 2018 je prepolovil kmetijske pridelke v večjem delu Evrope. Posledice okoljskih katastrof, ki so se zgodile v letu 2025, pa bomo šele preučevali in prešteli. Medtem ko temperature presegajo optimalne rastne razmere, težava ni samo padec pridelkov, povečujejo se tudi okužbe s patogeni. Plevel in zaraščanje pa še bolj ogrožata donos.[3] Poleg tega bo moralo kmetijstvo zaradi naraščanja

števila prebivalstva do sredine stoletja proizvesti za najmanj 50 odstotkov več hrane. Prilagoditev prehranske politike oziroma trajnostni prehranski sistemi lahko vodijo do znatnih pridobitev pri blažitvi težave, ker vključujejo zmanjšanje odvisnosti od fosilnih goriv pri proizvodnji in distribuciji hrane, ter tako pomagajo blažiti okoljske in zdravstvene obremenitve, povezane z globalnim pregrevanjem.[16]

Da bi preprečil najhujše posledice, se je svet zavezal omejiti pregrevanje na 1,5 stopinje Celzija nad predindustrijsko ravniho. A ta meja bo težko uresničljiva. Svet je trenutno na poti, ki vodi do 2,9 stopinje Celzija nad predindustrijsko ravniho do leta 2100. Nova dognanja kažejo, da se bodo svetovne ledene plošče pospešeno topile (že na letni ravni so to nepredstavljlive milijarde ton vode), kar bo povzročilo dvig morske gladine za več metrov in »katastrofalne« migracije, kajti grenlandska in antarktična ledena plošča skupaj zadržujeta dovolj sladke vode, da bi lahko dvignili svetovno gladino morja za več deset metrov. Od devetdesetih let prejšnjega stoletja se je količina izgubljenega ledu početverila. Po milejših napovedih znanstvenikov se gladina morja začena dvigovati za 1 centimeter na leto, kar bi pomenilo 100 centimetrov do konca stoletja.

Znanstvene raziskave in spremljanje ključnih sestavin podnebnege zdravja z ozaveščanjem in posledičnim razvojem ustreznih politik bi lahko prispevali, prvič, k zmanjšanju negativnih posledic globalnega pregrevanja, in, drugič, k trajnostni in zdravi prihodnosti za vse.[8][9] Opolnomočenje skupnosti je ključnega pomena za zaščito ljudi, zdravja in okolja. Tudi politiki in gospodarstvo naj bi se osredotočili na izboljšanje dostopa do zdravstvenih storitev, povezanih s težavami zaradi podnebja, ki naj bi jih učinkovito razreševali, in ne samo lovili dobiček.[19][20]

3 Zaplet, drugič

Med druge čudeže narave spada tudi ta, da je narava izključno ljudem »dodelila« talent ustvarjanja intersubjektivnih resnic, tako da lahko govorimo, mislimo in celo pošiljamo podatke o stvareh, ki sploh ne obstajajo. V intersubjektivne resnice marsikdo tudi verjame. Dejstvo je, da ljudje tovrstne »resnice« lahko ustvarjajo izključno zaradi pridobljenih visokih kognitivnih sposobnosti, te pa se med drugim zrcalijo zlasti skozi sistema razuma in intuicije. A kaj, ko sta ta dva sistema praviloma v konfliktu! Še več, tukaj ne gre samo za dva dela istega sistema – možganov –, pač pa za dva paralelna sistema.

In kaj sploh je živo bitje (stvaritev; angl. *creature*) oziroma človek? V skladu s preproščino evolucije je to »čudež« narave, ki ga določata dva postulata, prvič, sposobnost reprodukcije, in, drugič, sposobnost organiziranja notranje urejenosti.

Če se vrnemo k naši temi, lahko ugotovimo, da šesto globalno izumrtje na Zemlji že poteka. O tem govorijo številni na dokazih temelječi znanstveni prispevki, elaborati in doktorati po vsem svetu. A kaj narediti s tem, potem ko je kultu koristnosti, ki vlada temu svetu, uspelo znanosti prilepiti sloves nekoristnosti. Zato ima trditev o hoji po robu tretje svetovne vojne vse močnejšo zaslombo, seveda, v dinamiki delovanja nekaterih svetovnih vodij. Ta dinamika pa ustvarja vtis iracionalnosti. V nasprotju s formalno vladavino prava z demokracijo in multilateralno strpno diplomacijo v glavnih državah sveta (to še posebej velja za Evropo, Rusijo in Ameriko) dajejo vtis, da nad njimi ni več formalnega svetovnega razsodnika, ki bi uveljavljal red in mir skozi mednarodno pravo ter enakopravno varoval interese vseh ljudi. Medtem pa je Kitajska (največje gospodarstvo sveta) tiha kot prelec, ki v svojem zapredku prede svojo svilnato prejo in se ne vznemirja, ker Zahod njeno početje razglaša za hinavsko. Tako v kočljivih in zapletenih položajih večina »glavnih«, sploh tistih, ki so iz zahodnega dela sveta, ne govori o miru. Tukaj imam v mislih mir v Ukrajini, ki so jo vrgli pod avtobus, in mir v Gazi, v katero so pripeljali vse buldožerje Bližnjega vzhoda. Nič čudnega, da »veliki« mižijo ob velikih poslih militarizacije, zaradi česar svet drsi v svet vojn. Zlasti v ZDA in EU imajo politični model, v katerem se glasno govori o demokraciji, človekovih pravicah in vsemogočih svoboščinah, ki pa v resnici obstajajo zgolj formalno, in poraja se vtis, da smo v stalni imperialno-kolonialni militarizaciji sveta, kjer življenje ne šteje nič. Nič čudnega, vodijo jih tehnokrati in bankirji s poglobitvno nalogo, utirati pot finančnemu kapitalizmu. Žalosten primer tega bizarnega iracionalizma lahko jasno opazujemo tudi v zibelki zahodne kulture in modrosti, v Evropi. Evropska komisija, neizvoljeni in kljub temu izjemno pomembni epicenter moči, je pripeljala nič hudega slutečo večino prebivalcev Evrope (če ne morda tudi vsega sveta) pred nespodobno izbiro: nepredstavljlivo količino milijard evrov bo zagnala v orodja za smrt, ne pa za blagor ljudstva ali za kulturo, zdravstvo, šolstvo, socialo ...

Objektivno odmaknjeni opazovalec lahko to novo razodetje vodilnih elit opazuje skozi dinamiko treh korakov, prvič, kljub arteficialni finančni krizi 2008, ki je širni svet uničujoče obubožala, se je *elita* po dobičkih izstrelila v veselje, drugič, kljub eskalaciji segrevanja ozračja, ki ga *elita* namerava omiliti z *zelenim prehodom*, pri tem pa segrevanje pesniško imenuje z besedno zvezo *podnebne spremembe* (kaj to sploh pomeni?), in, tretjič, svet je imel »apokalipso«, imenovano covid-19, in ponovitev katastrofe, povzročene s financami, podobne letu 2008. V resnici so običajni ljudje že začeli dojemati, da bo obstoječi kapitalistični red sveta neizogibno dokončno povzročil občo škodo, ki bo krepko večja od splošne koristi.

Pri tem razvoju sveta, ki se zadnjih 30 let dogaja z uporabo svetovnega spleta, se je *čas* vrnil v svoje bistvo, v linearnost. Nič več ne živimo v trajnostni ciklični formi, pač pa v nekakšni obliki, ki ji zaradi nevzdržnosti ne moremo več slediti. Ima namreč samo eno dimenzijo – linearno –, za katero so značilne tri stvari: stalno spreminjanje, čim večja hitrost in smer – samo naravnost. Tovrstna oblika časa ljudem ne pušča prostora za ciklično refleksijo o sebstvu, družbi, okolju in razvojnih smereh, ki se dogajajo ter se zelo hitro, tudi na silo, spreminjajo. Ali je to čudno? Ne. To je pač prevladujoča manira neoliberalne ideologije: konstanta je, da se stvari ves čas spreminjajo! A v naravnem in v družbenem svetu ni tako. Družba se je skozi zgodovino vedno ukvarjala z obnavljanjem, in ne s spreminjanjem, kar je v spiralnem razvoju vselej vodilo k napredku. Kajti ta, linearna praksa, ki jo imamo zdaj, družbo razbija, tako da ta nima odnosa do sebe in se ne more odločiti, bolje rečeno, nima priložnosti in ne možnosti za vzpostavitev trajnostnega življenja in skupnih javnih interesov. S tem se na široko pušča prostor za prevlado zasebnih interesov, ki so v nasprotju z logiko skupnosti. A prostor in podnebje so skupni. Kajti agenda zasebnih motivov je: postaviti pridobitniški model. Prav ciklični procesi refleksij so torej tiste prakse, ki bi skozi naravni fizikalni paradoks časa dopuščale možnost rednega obnavljanja, revitalizacije in popravljanja stanja stvari, ki nas obdajajo, medtem ko le-te pridejo v neskladje s trajnostnostjo. Nobenega dvoma ni več, da je tudi celotna biosfera edinega sveta, ki ga imamo, resno ogrožena, saj so že izumrle številne živalske vrste, na koncu pa bo tudi človeška.

4 Epilog

Genialnost *homo sapiensa* veliko večino ljudi zna zavajati s prepričanjem, da smo sposobni videti vse povezave bolje kot kdor koli drug na svetu in iz tega prepoznati vse »trdne« dokaze za svoje teorije, četudi so neumne, ali pa braniti »neovrgljive« sklepe svojega raziskovalnega projekta, četudi recenzenti takoj opazijo avtorjevo pristranskost. Ljudem praviloma manjka samokritičnosti v smislu »negativnega razmišljanja« o svojih stališčih in dosežkih. Trik ni samo v sposobnosti videti, pač pa v pravočasnem zavračanju neustreznih povezav, ki jih ne manjka. Zato je tudi skrajni čas, da bi v celoti redefinirali socialno-okoljske odnose, ki bi družbo popeljali v smer, da bo zmožna ustvariti strpen odnos med posamezniki ter vzdržen in etičen odnos do okolja ter vseh oblik življenja. Tudi tako, da se vrnemo k vprašanju, zakaj se nam zdi povsem nenaravno prepričanje, da v življenju ne moremo samo uživati. Težko je namreč razumeti, da ljudje kljub svoji inteligenci še nismo ponotranjili dejstva, kako malo stvari za nas je res pomembnih, kaj šele usodnih, ter da za srečno življenje rabimo bore malo stvari in predvsem ljudi. Skratka, vprašanje je, komu se DANAŠNJE stanje zdi res normalno. Sploh komu? Kot že rečeno: vodilne elite (mnogokrat tudi neizvoljene) splošno dobro sveta podirajo, tudi tako, da sistem, ki sloni na rasti zaradi rasti same (rakaste celice), na dobičkarstvu ter izkoriščanju vsega in vsakogar, ni vzdržen. Kajti človek je na trgu sam. Velja toliko, kolikor je pripravljen plačati, da dobi tisto, kar lahko plača. O sebi odloča sam. Ali res? Pacient pa je stranka, ki potrebuje storitve, ki jih njihovi ponudniki oblikujejo kot produkte za posamezne uporabnikove težave. Medicina bo lahko nadomestila vsak del telesa, a ne bo sposobna razmišljati o človeku kot celoti, zato bomo medicino izvajali v nekakšnih različicah mehaničnih delavnic. Čedalje manj bomo zdravili bolne in čedalje bolj bomo popravljali zdrave. Kot je o tem povedal Jean-Luc Marion (član francoske akademije in filozof religije), smo prepričani, da smo predmet, in se tako tudi vedemo, kar je dokončna oblika nihilizma.

Politika danes nima več strateške vloge in je zato zgolj mešanica korupcije, nasilja, pridobitništva in arogance nad državljani ter družbo kot takšno. Pravzaprav je še huje; ponekod lahko vidimo hude zločine, ki se izvajajo skozi sofisticirano upravljanje, za zdaj sicer omejene, a vendarle trajne vojne (za vire in narodovo bogastvo), ki povzročajo lakoto in smrt milijonov ljudi, humanitarne krize ter reke beguncev. Kakšne bodo te reke šele takrat, ko se bo gladina morja dvignila za nekaj metrov?

Danes, v dobi kapitalističnega zmagoslavja, nas na vsakem koraku, podnevi in ponoči, seznanjajo z našo svobodo, ki nam jo omogočajo z neomejeno potrošnjo izdelkov iz svojih hiperprodukcij. Seznanjajo nas z užitki, ki nam jih daje lastnina, v resnici pa nas s tem grdo zavajajo in sistematično izkoriščajo, ne da bi vedeli, da ob takšni vsebini in dinamiki življenja ustvarjajo razmere za psihični zlom vseh ljudi, ki bo neznanskih razsežnosti.

Viri in literatura

Priporočena znanstvena področja za iskanje kredibilnih virov (oziroma referenc):

- [1]: Globalni podnebni sporazumi: uspehi in neuspehi
- [2]: Globalno pregrevanje: Kako naj se države prilagodijo podnebnju ...
- [3]: Toplota in zdravje
- [4]: Toplota in zdravje – Svetovna zdravstvena organizacija (WHO)
- [5]: Vplivi podnebnih sprememb na zdravje (US EPA)
- [6]: Vplivi podnebnih sprememb na zdravje ljudi in širjenje nalezljivih bolezni ...
- [7]: Vplivi podnebnih sprememb na zdravje na območjih z nizkimi prihodki
- [8]: Ranljivo prebivalstvo meni, da je njihovo zdravje ogroženo zaradi ...
- [9]: Pregled vse večjega globalnega vpliva podnebnih sprememb na ...
- [10]: Vplivi podnebnja na zdravje ljudi
- [11]: Učinki podnebnih sprememb na zdravje – CDC
- [12]: Poročilo 2023 Lancet Countdown o zdravju in podnebnju ...
- [13]: Podnebne spremembe in zdravje ljudi: kdo je najbolj ogrožen? (US EPA)
- [14]: Vročinski valovi in podnebne spremembe
- [15]: Strategije prilagajanja javnega zdravja podnebnim spremembam (US EPA)
- [16]: Upravljanje zdravstvenih tveganj zaradi podnebnih sprememb
- [17]: Ocenjevanje učinkovitosti mednarodnih podnebnih sporazumov
- [18]: Nacionalne politike – Climate-ADAPT – Evropska unija
- [19]: Nastajajoči zakoni in politike za izboljšano odpornost proti podnebnim spremembam
- [20]: Koristi za zdravje presegajo stroške glede škode zaradi podnebnih sprememb

**Okoljski
vidiki
urbanega
okolja**

Vloga zelenih površin pri blaženju pregrevanja in vplivu na zdravje

Barbara Goličnik Marušić, Živa Ravnikar

Urbanistični inštitut Republike Slovenije

Izvleček

Učinek urbanega toplotnega otoka (UTO) je pomemben okoljski in javnozdravstveni izziv sodobnih mest, saj vodi do povišanih temperatur zraka in površja ter povečuje toplotni stres prebivalcev, zlasti med vročinskimi valovi. Prispevek obravnava vlogo zelenih površin kot ključnega na naravi temelječega ukrepa za blaženje urbanega pregrevanja in zmanjševanje z vročino povezanih zdravstvenih tveganj. Na podlagi pregleda znanstvene literature so analizirani glavni mehanizmi delovanja zelenih površin, vključno s senčenjem, evapotranspiracijo in razprševanjem toplote, ter njihov vpliv na urbano mikroklimo. Posebna pozornost je namenjena primerjavi različnih tipov zelene infrastrukture, kot so parki, drevoredi, mestni gozdovi, zelene strehe in vertikalne ozelenitve, ter dejavnikom, ki vplivajo na njihovo učinkovitost, vključno z velikostjo, gostoto vegetacije, prostorsko razporeditvijo in povezanostjo. Prispevek poudarja, da celostna in pravična integracija zelenih površin v urbano tkivo bistveno prispeva k izboljšanju toplotnega ugodja, kakovosti zraka, duševnega zdravja ter odpornosti mest proti podnebnim spremembam.

Ključne besede:

urbani toplotni otok (UTO), urbane zelene površine, zdravje prebivalcev, mikroklimatski učinki, urbanistično načrtovanje

Abstract

The urban heat island (UHI) effect represents a significant environmental and public health challenge in contemporary cities, as it leads to elevated air and surface temperatures and increases heat stress among residents, particularly during heat waves. This paper addresses the role of green spaces as a key nature-based measure to mitigate urban overheating and reduce heat-related health risks. Based on a review of scientific literature, the main mechanisms through which green spaces function, including shading, evapotranspiration, and heat dispersion, are analysed, along with their impact on the urban microclimate. Special attention is given to comparing different types of green infrastructure, such as parks, tree-lined streets, urban forests, green roofs, and vertical greening, as well as the factors affecting their effectiveness, including size, vegetation density, spatial distribution, and connectivity. The paper emphasizes that a comprehensive and equitable integration of green spaces into the urban fabric significantly contributes to improved thermal comfort, air quality, mental health, and urban resilience to climate change.

Keywords:

urban heat island (UHI), urban green spaces, public health, microclimatic effects, urban planning

1 Uvod

Urbana območja po vsem svetu zaznavajo višje temperature kot njihova okoliška območja, to je pojav, znan kot učinek urbanega toplotnega otoka (UTO). Gre za lokalizirano segrevanje, ki nastane zaradi kombinacije fizikalnih lastnosti urbanega prostora in intenzivnih človekovih dejavnosti. UTO pomembno vpliva na kakovost bivanja v mestih ter je resen javnozdravstveni izziv, saj povečuje telesne in duševne obremenitve prebivalcev, zlasti v času vročinskih valov.

Pojav UTO je posledica prepletanja fizikalnih, morfoloških in antropogenih dejavnikov, ki spreminjajo energijsko ravnovesje urbanega okolja. Ključno vlogo ima sestava urbanih površin, kjer prevladujejo neprepustni gradbeni materiali z nizkim albedom in visoko toplotno kapaciteto. Ti materiali absorbirajo velike količine sončnega sevanja in ga nato počasi oddajajo, predvsem v večernih in nočnih urah, kar vodi do trajno povišanih temperatur površja in zraka. V primerjavi z zelenimi površinami, ki se zaradi evapotranspiracije in večje reflektivnosti hitreje ohlajajo, ti materiali pomembno prispevajo k vzdrževanju toplotnega presežka v mestih. Pomemben dejavnik UTO je tudi pomanjkanje vegetacije. Naravni ekosistemi, kot so gozdovi, travniki in vodna telesa, uravnavajo temperaturo z evapotranspiracijo, pri kateri se toplota porablja za izhlapevanje vode. V urbanih okoljih z omejenimi zelenimi površinami je ta hladilni mehanizem močno oslabiljen, kar povzroča večje zadrževanje toplote v tleh in zraku. Študije evropskih mest dosledno potrjujejo negativno povezavo med gostoto vegetacije (izraženo z indeksom NDVI) in temperaturo površja, pri čemer zelene in gozdne površine izkazujejo bistveno nižje temperature kot urbana območja s popločenimi ali kako drugače neprepustnimi tlemi (npr. Bečić in Gašparović, 2025).

K intenzivnosti UTO prispeva tudi antropogeno oddajanje toplote, ki izvira iz prometa, industrije ter ogrevalnih in hladilnih sistemov v stavbah. V evropskem zmernem in celinskem podnebnju ima ta dejavnik izrazito sezonsko dinamiko: pozimi prevladuje vpliv ogrevanja, poleti pa narašča uporaba klimatskih naprav. Med vročinskimi valovi antropogena toplota še posebej okrepi nočni UTO, saj dodatno zavira ohlajanje urbanega okolja. Pomembno vlogo ima tudi urbana morfologija oziroma prostorska razporeditev stavb in ulic. Gosta pozidava in visoki objekti omejujejo kroženje zraka, zmanjšujejo radiacijsko ohlajanje ponoči in zadržujejo dolgovalovno sevanje, ki ga oddajajo segrete površine. Skupni učinek neprepustnih površin, pomanjkanja vegetacije, antropogene toplote in goste urbane strukture ustvarja značilno urbano mikroklimo, ki je pogosto bistveno toplejša od okoliških območij. Temperaturne razlike so najizrazitejše v stabilnih poletnih vremenskih razmerah, ob šibkem vetru in jasnem vremenu ter povečujejo obremenitev energijskih sistemov, zmanjšujejo toplotno ugodje in negativno vplivajo na zdravje mestnega prebivalstva.

S tega vidika imajo zelene površine, kot so parki, drevoredi, zelene strehe in tudi zasebni vrtovi, ključno vlogo pri blaženju negativnih posledic pregrevanja mest. Z zniževanjem lokalnih temperatur, izboljševanjem kakovosti zraka in zagotavljanjem senčnih območij so pomemben element trajnostnega urbanističnega načrtovanja. Poleg fizioloških učinkov prinašajo zelene površine tudi pomembne psihološke in družbene koristi, saj spodbujajo rekreacijo, družbeno interakcijo ter občutek povezanosti z naravo.



Slika 1: Urbana javna ploščad z drevesi in drugo trajno zasaditvijo

2 Vplivi na zdravje prebivalcev in vloga zelenih površin

Povišane temperature v urbanih območjih, povezane z učinkom UTO, imajo izrazite neposredne in posredne vplive na zdravje prebivalcev. Dolgotrajna izpostavljenost toplotnemu stresu povečuje obremenitev termoregulacijskih mehanizmov ter prispeva k večji obolevnosti in umrljivosti, zlasti med vročinskimi valovi. Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) in Medvladni odbor za podnebne spremembe (IPCC) opozarjata, da so urbana okolja zaradi goste pozidave, povišanih temperatur in omejenih možnosti naravnega hlajenja še posebej ranljiva za zdravstvene posledice ekstremne vročine (WHO, 2025; IPCC, 2022).

Med najpogostejšimi fiziološkimi posledicami povišanih temperatur so toplotni udar, toplotna izčrpanost in dehidracija. Vročina dodatno poslabšuje srčno-žilne in dihalne bolezni, saj povečuje srčni utrip, krvni tlak in dihalno obremenitev. Epidemiološke študije v evropskih mestih kažejo, da so starejši, otroci, kronični bolniki ter osebe z omejenim dostopom do ustreznega hlajenja najbolj izpostavljeni negativnim učinkom vročine, pri čemer ima pomembno vlogo tudi socialnoekonomska neenakost (EEA, 2012; Gasparini idr., 2015). Poleg telesnih učinkov imajo povišane temperature tudi pomembne psihološke in kognitivne posledice. Dolgotrajna izpostavljenost vročini je povezana s povečanim stresom, utrujenostjo, razdražljivostjo ter zmanjšano koncentracijo. Posebej problematične so povišane nočne temperature, značilne za območja z izrazitim UTO, saj poslabšujejo kakovost spanja in regeneracijo organizma. Slab spanec je dolgoročno povezan z večjim tveganjem nastanka anksiozne in depresivne motnje ter z manjšo delovno storilnostjo (Obradovich idr., 2017; Berry idr., 2010).

Pomemben posredni vpliv urbanega segrevanja na zdravje ima tudi kakovost zraka. Povišane temperature pospešujejo fotokemične reakcije v ozračju, kar vodi do nastajanja prizemnega ozona in drugih sekundarnih onesnaževal, ki dodatno obremenjujejo človekov dihalni sistem. Evropska agencija za okolje (EEA) poudarja, da sočasna izpostavljenost toplotnemu stresu in onesnaženemu zraku deluje sinergijsko ter povečuje tveganje nastanka respiratornih bolezni, zlasti v gosto pozidanih mestnih središčih (EEA, 2023a). Zaradi teh vplivov je učinek UTO pomemben javnozdravstveni izziv, ki zahteva celostne preventivne ukrepe. V tem okviru imajo ključno vlogo zelene površine oziroma zelena infrastruktura, ki z zniževanjem temperatur, izboljšanjem kakovosti zraka ter pozitivnimi učinki na duševno zdravje pomembno prispevajo k zmanjševanju zdravstvenih tveganj, povezanih z urbanim pregrevanjem.

Zelene površine so med najučinkovitejšimi naravnimi ukrepi za blaženje negativnih vplivov UTO. Z zagotavljanjem senčenja in evapotranspiracije izboljšujejo mikroklimatske razmere ter zmanjšujejo temperaturne eks-



Slika 2: Mestni park z drevesno senco in travnatimi površinami zmanjšuje lokalni toplotni stres in izboljšuje toplotno ugodje v urbanem okolju

treme v mestih. Mednarodne institucije, kot sta WHO in EEA, zelene površine v mestih vse pogosteje prepoznavajo kot ključni element prilagajanja mest na podnebne spremembe in hkrati kot pomembno javnozdravstveno intervencijo (WHO, 2016; EEA, 2023b). Raziskave kažejo, da lahko parki, drevoredi in mestni gozdovi lokalno znižajo temperaturo zraka za 1–3 °C ali več (Aram idr., 2019; Schwaab idr., 2021; Wu idr., 2025), kar ima merljive učinke na zmanjšanje z vročino povezanih zdravstvenih zapletov (Bowler idr., 2010; Gunawardena idr., 2017). Poleg tega vegetacija izboljšuje kakovost zraka z vezavo delcev PM in absorpcijo nekaterih onesnaževal ter posredno zmanjšuje nastajanje prizemnega ozona. Ti učinki so posebej pomembni za ranljive skupine prebivalstva (npr. Nowak idr., 2014). Zelene površine pozitivno vplivajo tudi na duševno zdravje in socialno blaginjo. Dostop do zelenih površin je povezan z nižjimi ravni stresa, boljšim razpoloženjem in večjo telesno aktivnostjo, hkrati pa omogoča prijetnejšo in varnejšo rabo javnega prostora v času vročine. S tem prispevajo k večji socialni koheziji in višji kakovosti bivanja v mestih (Twhig-Bennett, 2018; Maas idr., 2006).

Zaradi večplastnih koristi so zelene površine vse bolj prepoznane kot ključni element celostnega urbanističnega in javnozdravstvenega načrtovanja. Njihovo premišljeno vključevanje v urbano tkivo z vzpostavitvijo in vzdrževanjem parkov, drevoredov, zelenih streh in vertikalnih ozelenitev omogoča hkratno zmanjševanje toplotne obremenitve, izboljšanje kakovosti in uporabnosti urbanih prostorov, izboljšanje zdravja prebivalcev ter povečanje odpornosti mest proti podnebnim spremembam. Posebno pozornost je treba nameniti pravični prostorski razporeditvi zelenih površin, da njihove koristi dosežejo vse prebivalce urbanih območij.

3 Prispevek zelenih površin k zmanjšanju UTO

Zelene površine se v urbanih okoljih pojavljajo v različnih oblikah, ki se razlikujejo glede na prostorski obseg, vegetacijsko strukturo in vlogo, ki jo imajo za različne uporabniške skupine. Med najpomembnejše spadajo javni parki, ki so obsežnejša, strnjena zelena območja, običajno z visoko stopnjo vegetacijske pokritosti. Številne študije potrjujejo, da parki delujejo kot lokalni hladilni otoki, saj s kombinacijo senčenja in evapotranspiracije učinkovito znižujejo temperaturo zraka in površin v neposredni ter širši okolici (Bowler idr., 2010; Gunawardena idr., 2017). Poleg mikroklimatskih učinkov pomembno prispevajo tudi k telesni dejavnosti, socialni interakciji in duševnemu zdravju prebivalcev (WHO, 2016).

Pomemben element urbane zelene infrastrukture so tudi drevoredi in ulične zasaditve, ki so sicer ključni linijski elementi omrežij zelenega sistema, a so v prostoru lahko tudi v obliki fragmentiranih delov takega omrežja, so prostorsko razpršeni, vendar ključni za uravnavanje mikroklimе v prometno obremenjenih območjih. Drevesa ob cestah učinkovito senčijo asfaltne in betonske površine, kar zmanjšuje segrevanje tal in temperaturo zraka v višini človeka (Shashua-Bar idr., 2011). Hkrati prispevajo k izboljšanju kakovosti zraka z zajemanjem delcev PM in absorpcijo plinastih onesnaževal, kar ima dodatne pozitivne učinke na zdravje prebivalcev (Nowak idr., 2014). V gosto pozidanih urbanih območjih, kjer primanjkuje prostih površin na tleh, se vse pogosteje uveljavljajo zelene strehe in vertikalne ozelenitve. Te oblike ozelenitve zmanjšujejo toplotne obremenitve stavb, znižujejo temperature strešnih in fasadnih površin ter zmanjšujejo potrebo po mehanskem hlajenju notranjih prostorov (Santamouris, 2014; Perini in Rosasco, 2013). Čeprav je njihov neposredni vpliv na temperaturo zraka omejen predvsem na lokalno raven, lahko ob širši uporabi pomembno prispevajo k izboljšanju mestne mikroklimе. Manjši, a družbeno pomembni elementi so tudi žepni parki in skupnostni odprti prostori, ki poleg omejenega hladilnega učinka krepijo socialno kohezijo, okoljsko zavedanje in prilagoditveno sposobnost mestnih skupnosti na podnebne spremembe (Artmann idr., 2017). Goličnik Marušić idr. (2023) poudarjajo pomen prilagajanja rešitev pregrevanja posameznim urbanih vzorcem ter opozarjajo na nabor na naravi temelječih rešitev, kot so zasaditve na raščnem terenu, zelene strehe in vertikalne ozelenitve.



Slika 3: Ozelenjena sprehajalna pot na mestnem pobočju, kjer vegetacija prispeva k zmanjševanju toplotnega stresa ter izboljšuje mikroklimatske razmere



Slika 4: Mestni park prispeva k izboljšanju mikroklimе in toplotnega ugodja v mestnem okolju ter služi kot prostor za druženje in socialne interakcije

3.1 Funkcije zelenih površin pri blaženju urbanega pregrevanja

Zelene površine vplivajo na urbano mikroklimo prek več medsebojno povezanih bioloških geofizikalnih mehanizmov, ki skupaj zmanjšujejo intenzivnost UTO. Ključni mehanizem je senčenje, saj krošnje dreves zmanjšujejo količino sončnega sevanja, ki doseže urbane površine, in s tem omejujejo segrevanje materialov z nizkim albedom, kot sta asfalt in beton (Oke, 1987; Armson idr., 2012). Drugi pomembni mehanizem je evapotranspiracija, pri kateri se toplota porablja za izhlapevanje vode iz rastlin in tal, kar neposredno hladi zrak v okolici vegetacije. Ta proces je posebej učinkovit na območjih z gosto in zdravo vegetacijo, pri čemer so drevesa zaradi večje listne površine in globljega koreninskega sistema praviloma učinkovitejša od nizke vegetacije ali zatravljenih površin (Bowler idr., 2010; Livesley idr., 2016). Zelene površine prispevajo tudi k razprševanju toplote znotraj urbanega tkiva. Mreža razpršenih zelenih elementov lahko razbije velike neprekinjene vroče površine, izboljša lokalno kroženje zraka in zmanjša nočne temperature, ki imajo največji vpliv na zdravje prebivalcev (Gill idr., 2007). Poleg termičnih učinkov vegetacija izboljšuje tudi kakovost zraka, kar je posebej pomembno v kombinaciji z vročino, saj visoke temperature pospešujejo nastajanje prizemnega ozona. Zmanjšanje sočasne izpostavljenosti vročini in onesnaženju ima neposredne pozitivne učinke na zdravje prebivalcev (Harlan in Ruddell, 2011).

Učinkovitost zelenih površin pri zniževanju temperatur je odvisna od več dejavnikov, med katerimi so ključni velikost, gostota in tip vegetacije ter njihova prostorska razporeditev in povezljivost. Večje strnjene zelene površine z visoko drevesno pokritostjo ustvarjajo izrazitejši hladilni učinek, vendar lahko tudi manjši zeleni elementi pomembno prispevajo k znižanju temperatur, če so ustrezno strateško umeščeni v toplotno obremenjena območja, zlasti v mestna središča in ob prometnih koridorjih (Norton idr., 2015; Ziter idr., 2019). Pomembna je tudi vrstna sestava vegetacije: listavci so poleti praviloma učinkovitejši pri senčenju in evapotranspiraciji, medtem ko raznolika zasaditev povečuje odpornost zelenih površin proti suši in vročinskim ekstremom (Rahman idr., 2020). Empirične raziskave dodatno potrjujejo pomen posameznih tipov zelenih površin. Raščeni teren s travno rušo lahko bistveno znižuje temperature v naseljih; primerjalne meritve so pokazale, da je bila zatravljen površina v popoldanskem času hladnejša za do 6,1 °C v primerjavi z asfaltom, na višini zaznavanja uporabnika pa za približno 3,4 °C (Madjidi idr., 2013). Grmovna zarast izkazuje še izrazitejši učinek, saj so bile temperature listov grmovnic tudi do 19 °C nižje od temperatur asfaltnih površin (Zou idr., 2019). Večje zelene površine (nad 10 ha) lahko znižajo temperaturo zraka za 1–2 °C in zagotavljajo hladilni učinek do približno 350 m od roba parka, pri čemer na intenzivnost vplivajo tudi lokalne podnebne in prostorske značilnosti (Aram idr., 2019).

Preglednica 1: Sintezni prikaz součinkov med tipi zelenih površin, ključnimi mikroklimatskimi mehanizmi in vplivi na zdravje prebivalcev v urbanih okoljih

Tip zelene površine	Ključni mehanizmi delovanja	Mikroklimatski učinki	Glavni vplivi na zdravje prebivalcev
Mestni parki	Senčenje z drevesnimi krošnjami; intenzivna evapotranspiracija; razprševanje toplote	Znižanje temperature zraka in površin (1–3 °C ali več); blaženje nočnih temperatur	Zmanjšan toplotni stres; manjši z vročino povezani obolevnost in umrljivost; izboljšano duševno zdravje; večja telesna aktivnost
Mestni gozdovi in večje zelene površine	Visoka evapotranspiracija; obsežno senčenje; uravnavanje zračnih tokov	Močan hladilni učinek; zmanjšanje intenzivnosti UTO na širšem območju	Zmanjšano zdravstveno breme zaradi vročine; dolgoročna zaščita ranljivih skupin; izboljšana kakovost zraka
Drevoredi in ulične zasaditve	Senčenje prometnih in peš površin; evapotranspiracija; filtracija onesnaževal	Znižanje temperature cest in pločnikov; izboljšanje lokalne kakovosti zraka	Zmanjšana izpostavljenost vročini in onesnaženju; manj respiratornih in srčno-žilnih tveganj; večje ugodje v javnem prostoru
Zelene strehe	Omejena evapotranspiracija; toplotna izolacija; zmanjšanje absorpcije toplote	Znižanje temperature strešnih površin; zmanjšan prenos toplote v stavbe	Manjša izpostavljenost notranji vročini; nižji stres; zmanjšana poraba energije za hlajenje
Vertikalne ozelenitve	Senčenje fasad; omejena evapotranspiracija; zmanjšanje sevalnih obremenitev	Znižanje temperature zunanjih in notranjih površin stavb	Izboljšano bivalno ugodje; zmanjšano tveganje toplotne izčrpanosti v notranjih prostorih
Žepni parki in skupnostni prostori	Lokalno senčenje; omejena evapotranspiracija; socialna raba prostora	Manjši lokalni hladilni učinki; izboljšana mikroklimatska heterogenost	Posredno zmanjšanje stresa; boljše duševno zdravje; večja socialna kohezija; spodbujanje zdravega življenjskega sloga
Zatravljene površine in nizka vegetacija	Omejena evapotranspiracija; manjša akumulacija toplote kot pri betonu	Zmerno znižanje temperature tal; manjši vpliv na zrak	Dopolnilni učinek k večji vegetaciji; izboljšano vizualno in psihološko ugodje

Posamezna drevesa imajo sicer omejen vpliv na znižanje temperature zraka, vendar bistveno izboljšujejo toplotno ugodje zaradi senčenja. Študije kažejo, da lahko pokritost s strnjanimi krošnjami zniža temperature površin za 8 – 12 °C v primerjavi z nezelenjeno pozidavo (Schwaab idr. 2021); drevoredi pa občutno znižujejo fiziološko ekvivalentno temperaturo (PET) ter s tem zmanjšujejo toplotni stres prebivalcev (Wu idr., 2025). Čeprav se učinki razlikujejo glede na vrsto dreves, gostoto krošenj in orientacijo oziroma ekspozicijo, so drevesa med najučinkovitejšimi ukrepi za izboljšanje zunanjega toplotnega ugodja. Zelene strehe in vertikalne ozelenitve imajo predvsem posredni vpliv na mestno klimo. Zelene strehe prispevajo k zmanjšanju segrevanja stavb, njihov vpliv na temperaturo zraka v višini pešca pa je omejen (Feng idr., 2022). Vertikalne ozelenitve so učinkovite predvsem pri zniževanju temperatur fasad in zmanjševanju potrebe po hlajenju objektov, pri čemer lahko temperaturo površine fasade znižajo tudi za več kot 10 °C (Peng idr., 2020). Učinki na temperaturo zraka ob fasadah so manjši, vendar pomembni v kombinaciji z drugimi zelenimi elementi.

4 Dejavniki, ki vplivajo na učinkovitost zelenih površin

Učinki zelenih površin na mikroklimo in zdravje prebivalcev so odvisni od prostorskega obsega, vegetacijske strukture, umeščenosti v urbano tkivo ter od dostopnosti prebivalcem. Največji neposredni zdravstveni učinki so zaznani pri zelenih površinah z veliko pokritostjo z drevesi in dobro integracijo v vsakodnevno rabo urbanega prostora.

Ključna dejavnika sta velikost in gostota vegetacije. Večje, strnjene zelene površine z gosto krošnjo ustvarjajo izrazitejša lokalna hladilna učinka kot manjši ali fragmentirani elementi (Livesley idr., 2016). Pomembni sta tudi lokacija in orientacija, saj zelene površine v ustrezno orientiranih in dimenzioniranih ulicah ali na močno osončenih območjih praviloma izkazujejo večji učinek hlajenja, medtem ko ozki ali nepovezani prostori ta učinek omejujejo (Armson idr., 2012; Rahman idr., 2020). Na učinkovitost pomembno vpliva tudi vrsta vegetacije. Listavci z večjo listno površino imajo praviloma večjo hladilno sposobnost zaradi intenzivnejše evapotranspiracije, medtem ko zatravljene površine in grmovna zarast prispevajo bistveno manj, a še vedno pomembno k razprševanju toplote in izboljšanju mikroklimo (Bowler idr., 2010; Norton idr., 2015). Povezanost zelenih površin dodatno povečuje njihov učinek: kontinuirano omrežje zelenih površin (zeleni sistem) omogoča boljšo disperzijo hladnega zraka, zmanjšuje lokalne temperaturne ekstreme in ustvarja bolj homogeno temperaturno strukturo v mestnem prostoru (Gill idr. 2007; Ziter idr., 2019).

Za učinkovito delovanje zelenih površin v zelenem sistemu je ključno, da se zanje pravočasno zagotovi ustrezen prostor, kar zahteva celostno razmišljanje že v zgodnjih fazah prostorskega načrtovanja, tako z vidika nadzemnih kot podzemnih pogojev. Na ravni mesta to pomeni pravočasno »rezervacijo« prostora za sistem medsebojno povezanih elementov zelenega sistema, na ravni ulice pa poleg nadzemnega tudi podzemni prostor, ki omogoča razvoj koreninskih sistemov in s tem rast dovolj obsežne vegetacije, sposobne učinkovitega senčenja in hlajenja okolice. Pri sajenju dreves v urbanem prostoru je treba upoštevati razmerje med rastjo korenin in obstoječo podzemno infrastrukturo. Rast korenin običajno poteka do globine približno 1,5 m, vendar so potrebni ustrezni odmiki glede na vrsto infrastrukturnih vodov. Kanalizacijski vodi so praviloma položeni globlje in zato manj problematični, kljub temu pa se priporoča najmanj 2 m odmika za drevesa in 1 m za grmovnice. Vodovodni in plinovodni sistemi, ki so običajno nameščeni na globini 0,7–1,0 m, zahtevajo odmik približno 2 m, pri plinovodih pa je sajenje globokokoreninskih vrst v pasu 2,5 m od cevi omejeno. Električni in komunikacijski vodi ter javna razsvetljava so pogosto položeni plitvo (okoli 0,5 m), zato sajenje visoke vegetacije v njihovi neposredni bližini ni priporočljivo. Priporočen odmik znaša 2 m za drevesa in 1 m za grmovnice. Tudi toplovodni sistemi zahtevajo večje varnostne odmike, praviloma okoli 2,5 m (Šiftar idr., 2017).

Pri določanju možnih površin za raščeni teren z visoko vegetacijo je treba upoštevati tako minimalne prostorske zahteve za rast rastlin kot njihovo sposobnost zagotavljanja hladilnega učinka. Čeprav posamezno drevo samo po sebi ne povzroča izrazitega znižanja temperature zraka, ima pomembno vlogo pri senčenju in lokalnem zmanjševanju toplotne obremenitve. Slovenski priročnik za sajenje dreves (Šiftar idr., 2017) navaja, da se dimenzije sadilne jame določajo glede na velikost drevesne vrste, pri čemer naj se za optimalno razrast korenin uporablja pravilo, ki izhaja iz raziskav Bakkerja in Kopinga (Zimmermann, 2020; op. ur.), po katerem drevesa za razvoj koreninskega sistema potrebujejo sadilno jamo z volumnom, ki ustreza projekciji drevesne krošnje na tla (m^2) \times 0,75 (m^3). Tako opredeljena, teoretično optimalna velikost sadilne jame je v strnjanih urbanih delih

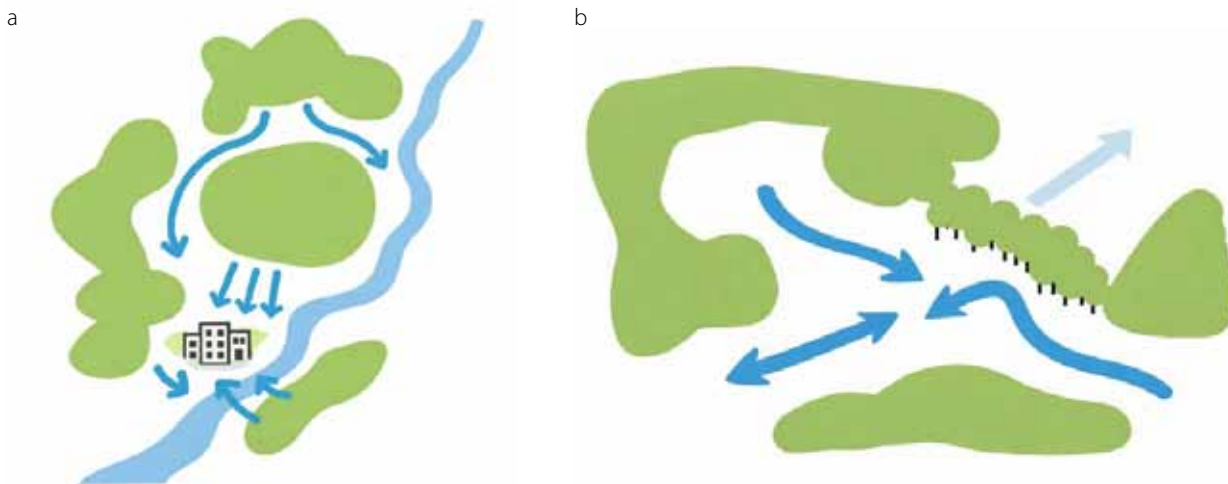
le redko izvedljiva zlasti pri sajenju večjih dreves. Kot minimalni standard se tako navaja tudi velikost 16 m² tlorisa in 0,8 m globine (DIN, 2002), kar ustreza predvsem drevesom s krošnjo premera do približno 10 m. Pri skupinskem sajenju lahko drevesa delijo del podzemnega prostora, če je zagotovljena ustrezna medsebojna razdalja, ki naj praviloma znaša vsaj polovico predvidenega premera zrele krošnje.

Hkrati je treba že v začetnih fazah načrtovanja upoštevati rešitve za zadrževanje in ponikanje padavinske vode skladno z izbrano tipologijo na naravi temelječih rešitev, kot so ponikovalni jarki, suhi zadrževalniki, deževni vrtovi in prepustne zelene površine (npr. Radinja idr., 2021). Takšne rešitve posnemajo naravne hidrološke procese z zadrževanjem padavin na mestu nastanka ter z omogočanjem nadzorovanega odtoka, infiltracije in evapotranspiracije, s čimer zmanjšujejo obremenitve kanalizacijskih sistemov in spodbujajo obnovo vodnega kroga v urbanih območjih. Ti ukrepi ne le zmanjšujejo verjetnost poplav in obremenitve vodnih sistemov, temveč hkrati prinašajo dodatne koristi, kot so povečanje urbanega hlajenja, izboljšanje kakovosti zraka in ustvarjanje prijetnejšega bivalnega okolja, kar so ključne značilnosti načrtovanja podnebno odpornih urbanih krajin, tudi z vidika blaženja UTO.

5 Integracija zelenih površin v urbano tkivo

Za učinkovito blaženje urbanega pregrevanja in izboljšanje zdravja prebivalcev je bistveno, da zelene površine razumemo kot ključni sestavni del urbanističnega načrtovanja. Prostorsko načrtovanje mora zagotoviti, da parki, drevoredi in zeleni pasovi ter zelene strehe in vertikalne ozelenitve tvorijo povezana omrežja, ki omogočajo prost pretok zraka, zmanjšujejo intenzivnost UTO in zagotavljajo trajnostne hladilne učinke (Gill idr., 2007; Norton idr., 2015). Razporeditev zelenih površin mora upoštevati izpostavljenost soncu, pri čemer so senčne ureditve ulic, trgov, šolskih igrišč in drugih javnih prostorov ključne za izboljšanje toplotnega ugodja in spodbujanje aktivne rabe prostora.

Posebno pomembni so nočni hladilni učinki vegetacije. Ponoči se nad zelenimi površinami tvori hladnejši zrak, ki se zaradi gravitacije spušča proti nižjim legam. Zeleni koridorji, umeščeni vzdolž naravnih topografskih smeri, tako delujejo kot naravne poti gibanja hladnega zraka ter omogočajo ohranjanje povezave med zaledjem in mestnim tkivom (Oke, 1987; Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, 2012). Poleg tega imajo zeleni koridorji pomembno vlogo pri prezračevanju mest s pomočjo vetrov, zato morajo biti orientirani v smeri prevladujočih vetrov, višji objekti v teh pasovih pa ne smejo ovirati zračnih tokov. Gostota visoke vegetacije mora biti v mestno tkivo uravnoteženo vpeta tako, da omogoča prehajanje zraka in ohranja hladilni učinek ter izboljšuje toplotno ugodje prebivalcev (Gill idr., 2007). Učinkovitost zelenih površin dodatno povečuje njihova multifunkcionalnost. Zeleni prostori, ki hkrati omogočajo rekreacijo, socialno interakcijo in opravljajo ekološke funkcije, kot so uravnavanje mikroklimе, filtracija zraka in podpora biotski raznovrstnosti, dosegajo večjo intenzivnost uporabe in izrazitejše pozitivne učinke na zdravje prebivalcev (Armson idr., 2012; Bowler idr., 2010).



Slika 5: Zelene površine ustvarjajo hladen zrak in hladijo mesto (a); gostota vegetacije pa vpliva na prevetrenost (b). (Prirejeno po Ministerstvo za promet in infrastrukturo Baden-Württemberg, 2012.)

Izbira vegetacije je pri tem ključna. Drevesa z gosto krošnjo so najučinkovitejša za senčenje in lokalno zniževanje temperatur, listnata vegetacija pa zaradi intenzivnejše evapotranspiracije praviloma zagotavlja večji hladilni učinek kot iglavci (Livesley idr., 2016). V območjih z omejenim prostorom imajo pomembno vlogo zelene strehe in vertikalne ozelenitve, ki zmanjšujejo toplotno obremenitev stavb in prispevajo k znižanju lokalne temperature zraka (Santamouris, 2014). Zatravljene površine in grmovna zarast sicer prispevajo manjši hladilni učinek, vendar pomembno dopolnjujejo zeleni sistem ter povečujejo biotsko raznovrstnost in ekološko stabilnost urbanih območij (Gunawardena idr., 2017).

Dostopnost zelenih površin je ključna za doseganje zdravstvenih koristi in socialne pravičnosti. Zelene površine morajo biti enakomerno dostopne vsem prebivalcem, ne glede na starost, mobilnost ali socialnoekonomski status. Ureditve, kot so dostopne poti, klopi, senčni prostori in vodni elementi, povečujejo ugodje ter spodbujajo pogostejšo in daljšo uporabo (Armson idr., 2012; Ziter idr., 2019). Vključevanje skupnosti v načrtovanje in vzdrževanje zelenih površin dodatno krepi občutek pripadnosti in socialno kohezijo, kar ima tudi dolgoročne pozitivne učinke na zdravje in blaginjo prebivalcev (Jennings idr., 2024).

Prihodnji urbani razvoj bi moral zelene površine obravnavati kot temeljni gradnik trajnostnega urbanizma, ki povezuje spoznanja s področij mikroklimе, javnega zdravja in prostorskega načrtovanja. Še posebej na interdisciplinarnih dokazih temelječe načrtovanje omogoča učinkovitejšo blaženje UTO in dolgoročno izboljšanje kakovosti bivanja v urbanih območjih.

Razumevanje teh mehanizmov je ključno za urbaniste in načrtovalce, saj omogoča strateško postavitve zelenih površin, ki ne le vizualno, strukturno in socialno obogatijo mesto, ampak tudi aktivno prispevajo k zmanjšanju urbanega pregrevanja ter s tem izboljšujejo zdravje in blaginjo prebivalcev.

Preglednica 2: Sintezni prikaz strateških vidikov urbanističnega razvoja mesta z vidika vpliva zelenih površin na mikroklimo in zdravje

Strategija; načrtovalska metoda	Tip vegetacije; zelene površine	Ključni mehanizmi	Mikroklimatski učinek	Vpliv na zdravje prebivalcev
Zeleni sistem mesta – omrežje elementov zelenega sistema	Prednostno listavci; mestni gozdovi, parki, drevoredi, zeleni pasovi, navezava v zaledje	Senčenje, evapotranspiracija, hlajenje s pomočjo prevetrenosti	Znižanje temperature površine za 1–12 °C, zmanjšanje UTO	Zmanjšanje tveganja toplotnega stresa, izboljšanje termičnega udobja, večja telesna aktivnost
Senčne površine na izpostavljenih območjih centralnih dejavnosti	Drevesa z gosto krošnjo, drevoredi, gruče dreves – prednostno listavci; žepni parki, ulice, trgi, šolska igrišča	Senčenje, visoka evapotranspiracija	Zmanjšanje segrevanja tal in fasad, lokalno zniževanje temperature	Zmanjšanje srčno-žilnih in dihalnih obremenitev, zmanjšan stres
Multifunkcionalne zelene površine	Parki, sprehajalne poti, igrišča in druge v preostalih razdelkih navedene površine, ki omogočajo multifunkcionalno rabo	Senčenje, evapotranspiracija, absorpcija sončnega sevanja	Blaženje mikroklimе, izboljšanje zračnega toka, homogena temperatura	Telesna aktivnost, zmanjšan stres, izboljšana koncentracija, boljši spanec
Zelene strehe in vertikalne ozelenitve predvsem v gosto pozidanih območjih	Strehe in fasade z avtohtonim rastjem	Evapotranspiracija, toplotna izolacija, senčenje	Znižanje temperature stavb, zmanjšanje emisij toplote v okolico	Zmanjšanje toplotnega stresa v notranjih prostorih, manjša poraba energije, nižji ogljični odtis, boljše počutje
Razpršene zelene površine	Zatravljene površine, grmovna zarast, posamična drevesa ali manjše gruče dreves; žepni parki in manjše ulične ureditve, vključno s parkirišči, zasebni vrtovi	Delno senčenje, evapotranspiracija	Mikrolokalno znižanje temperature, zmanjšanje segrevanja tal	Dopolnilni učinek na lokalno termično ugodje, psihološki in socialni učinki (socialna kohezija, stik z naravo)
Dostopne in participativno načrtovane zelene površine	Vsi tipi	Senčenje, evapotranspiracija, socialna interakcija	Posredno zmanjšanje toplotnega stresa, povečanje trajnosti in uporabe zelenih površin	Socialna kohezija, občutek lastništva prostora, izboljšanje duševnega zdravja, večja telesna aktivnost

6 Sklep

Pregled raziskav in mehanizmov delovanja zelenih površin jasno kaže, da so zelene površine ključni gradnik trajnostnega urbanega okolja. S senčenjem, evapotranspiracijo in razprševanjem toplote prispevajo k znižanju temperatur v mestih, zmanjšujejo intenzivnost UTO ter izboljšujejo mikroklimatske razmere, kar neposredno vpliva na zmanjšanje tveganja toplotnega stresa pri prebivalcih. Poleg termičnih učinkov vegetacija izboljšuje kakovost zraka, zmanjšuje nastajanje prizemnega ozona in drugih sekundarnih onesnaževal ter s tem dodatno ščiti dihalni sistem, zlasti pri ranljivih skupinah prebivalcev.

Hkrati zelene površine prispevajo k duševnemu zdravju in socialni koheziji: omogočajo rekreacijo, družbeno interakcijo in občutek povezanosti z naravo, kar povečuje kakovost in uporabnost urbanih prostorov. Njihova učinkovitost je odvisna od velikosti, gostote, vrste vegetacije, prostorske razporeditve in povezljivosti med posameznimi elementi zelenih površin. Optimalna integracija zelene infrastrukture v urbano tkivo, ob upoštevanju nadzemnega in podzemnega prostora, ki je potreben za doseganje mikroklimatskih učinkov, ter zagotavljanje pravične dostopnosti prebivalcem omogočata največje sinergijske učinke na mikroklimo in zdravje.

Za trajnostno prilagajanje mest podnebnim spremembam in blaženje pregrevanja je nujno, da urbanisti in načrtovalci zelene površine obravnavajo kot strateški element urbanega razvoja, ki povezuje mikroklimatske, javnozdravstvene in socialne koristi. Skupno, zelene površine niso zgolj estetski ali rekreativni dodatek mestnemu tkivu, temveč so aktivni in neprecenljivi instrument za izboljšanje zdravja prebivalcev, blaženje urbanega pregrevanja in podporo trajnostnemu urbanemu razvoju.

Viri in literatura

- Aram, F., Higuera García, E., Solgi, E. in Mansournia, S. (2019). Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon*, 5(4), e01339. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01339>
- Armsom, D., Stringer, P. in Ennos, A. R. (2012). The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(3), 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.05.002>
- Artmann, M., Chen, X., Iojă, C., Hof, A., Onose, D., Poniży, L., Zavodnik Lamovšek, A. in Breuste, J. (2017). The role of urban green spaces in care facilities for elderly people across European cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 27, 203–213. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.08.007>
- Berry, H. L., Bowen, K. in Kjellstrom, T. (2010). Climate change and mental health: A causal pathways framework. *International Journal of Public Health*, 55, 123–132. <https://doi.org/10.1007/s00038-009-0112-0>
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M. in Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- European Environment Agency (EEA). (2012). *Urban adaptation to climate change in Europe: Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/urban-adaptation-to-climate-change>
- European Environment Agency (EEA). (2023a). *Air quality in Europe: Combined effects of air pollution and heat exposure in Europe: Time for action*. <https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/editorial/combined-effects-of-air-pollution-and-heat-exposure>
- European Environment Agency (EEA). (2023b). *Nature-based solutions in urban areas: Nature-based solutions play crucial role in building Europe's climate resilience*. <https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/news/nature-based-solutions-play-crucial-role>
- Feng, Y., Wang, J., Zhou, W., Li, X. in Yu, X. (2022). Evaluating the cooling performance of green roofs under extreme heat conditions. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.874614>
- Gasparrini, A., Guo, Y., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., Tobias, A., Tong, S., Rocklöv, J., Forsberg, B., Leone, M., De Sario, M., Bell, M. L., Guo, Y.-L. L., Wu, C.-F., Kan, H., Yi, S.-M., Coelho, M. de S. Z. S., Saldiva, H. N., Honda, Y., Kim, H. in Armstrong, B. (2015). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature. *The Lancet*, 386(9991), 369–375. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0)
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R. in Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115–133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
- Goličnik Marušić, B., Dremel, M. in Ravnikar, Ž. (2023). A frame of understanding to better link nature-based solutions and urban planning. *Environmental Science and Policy*, 146, 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.05.005>
- Gunawardena, K. R., Wells, M. J. in Kershaw, T. (2017). Utilising green and blue space to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, 584–585, 1040–1055. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158>
- Harlan, S. L. in Ruddell, D. M. (2011). Climate change and health in cities: Impacts of heat and air pollution and potential co-benefits from mitigation and adaptation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(3), 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.01.001>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. V: H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (ur.), Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Jennings, V., Rigolon, A., Thompson, J., Murray, A., Henderson, A. in Gragg, R. (2024). The dynamic relationship between social cohesion and urban green space in diverse communities: Opportunities and challenges to public health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(6), 800. <https://doi.org/10.3390/ijerph21060800>
- Livesley, S. J., McPherson, E. G. in Calafietra, C. (2016). The urban forest and ecosystem services: Impacts on urban water, heat, and pollution cycles

- at the city scale. *Journal of Environmental Quality*, 45(1), 119–124. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.09.0463>
- Maas, J., Verheij, R. A., Groenewegen, P. P., de Vries, S. in Spreuuenberg, P. (2006). Green space, urbanity, and health: How strong is the relation? *Journal of Epidemiology and Community Health*, 60(7), 587–592. <https://doi.org/10.1136/jech.2005.043125>
- Madjidi, F., Bidokhti, A. A., Ghader, S. in Mansori, N. (2013). Cooling and warming effects of a grass covered area and adjacent asphalt area in a hot day. *International Journal of Occupational Hygiene*, 5(2), 56–63. <https://doi.org/10.29279/ijoh.v5i2.56>
- Ministrstvo za promet in infrastrukturo Baden-Württemberg. (2012). *Städtebauliche Klimafibel: Hinweise für die Bauleitplanung [Urbanistični podnebni priročnik: smernice za prostorsko načrtovanje]*. Stuttgart: Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg.
- Norton, B. A., Coutts, A. M., Livesley, S. J., Harris, R. J., Hunter, A. M. in Williams, N. S. G. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 134, 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.018>
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A. in Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028>
- Obradovich, N., Migliorini, R., Mednick, S. C. in Fowler, J. H. (2017). Nighttime temperature and human sleep loss in a changing climate. *Science Advances*, 3(5), e1601555. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601555>
- Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates* (2nd ed.). Routledge.
- Peng, L. L. H., Jiang, Z., Yang, X., He, Y., Xu, T. in Chen, S. S. (2020). Cooling effects of block-scale facade greening and their relationship with urban form. *Building and Environment*, 169, 106552. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106552>
- Perini, K. in Rosasco, P. (2013). Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment*, 70, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.012>
- Radinja, M., Atanasova, N. in Zavodnik Lamovšek, A. (2021). Vodarski pogled na uvajanje modro-zelene infrastrukture v mestih. *Urbani izziv*, 32(1), 28–39. <https://doi.org/10.5379/urbani-izziv-2021-32-01-003>
- Rahman, M. A., Stratopoulos, L. M. F., Moser Reischl, A., Zölch, T., Häberle, K. H., Rötzer, T., Pretzsch, H. in Pauleit, S. (2020). Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta analysis. *Building and Environment*, 170, 106606. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106606>
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies. *Solar Energy*, 103, 682–703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.08.029>
- Schwaab, J., Meier, R., Mussetti, G., Seneviratne, S., Bürgi, C. in Davin, E. L. (2021). The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities. *Nature Communications*, 12, 6763. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26768-w>
- Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D. in Erell, E. (2011). The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. *International Journal of Climatology*, 31(10), 1498–1506. <https://doi.org/10.1002/joc.2177>
- Šiftar, A., Bavcon, B., Maljevac, T. in Simoneti, M. (2017). *Mestno drevje*. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Botanični vrt.
- Twohig-Bennett, C. in Jones, A. (2018). The health benefits of the great outdoors: A systematic review and meta-analysis of greenspace exposure and health outcomes. *Environmental Research*, 166, 628–637. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.06.030>
- World Health Organization (WHO). (2016). *Urban green spaces and health: A review of evidence*. <https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2016-3352-43111-60341>
- World Health Organization (WHO). (2025). *Heat and health*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health>
- Wu, Y., Mashhoodi, B. in Patuano, A. (2025). Effective street tree and grass designs to cool European neighbourhoods. *Urban Climate*, 61, 102376. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102376>
- Zimmermann, A. (2020). *Elements in Landscape: Areas, Distances*. Birkhäuser.
- Ziter, C. D., Pedersen, E. J., Kucharik, C. J. in Turner, M. G. (2019). Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(15), 7575–7580. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817561116>
- Zou, Z., Yang, Y. in Qiu, Q. Y. (2019). Quantifying the evapotranspiration rate and its cooling effects of urban hedges based on three-temperature model and infrared remote sensing. *Remote Sensing*, 11(2), 202. <https://doi.org/10.3390/rs11020202>

Načrtovanje zelene infrastrukture za varovanje narave

Jože Bavcon, Blanka Ravnjak

Botanični vrt Univerze v Ljubljani, Biotehniška fakulteta

Izvleček

Zelena infrastruktura je danes zelo pogosto uporabljen izraz, čeprav je dokaj nov. S pregrevanjem ozračja in podnebnimi spremembami ter staranjem prebivalstva je prav zelena infrastruktura tista, ki lahko pripomore k znosnejšemu bivanju v mestih. Pomembna pa je tudi zato, ker gre za vključitev narave v mesto in za tako imenovani zeleni internet, ki dele narave prek uporabnih površin povezuje v druge dele narave. V mestih so največji gradniki zelene infrastrukture drevesa, ki s svojo veličino lahko parirajo zgradbam, hkrati pa so element, ki najbolj vpliva na znižanje temperature. Sledijo jim parkovne površine, ki s svojo zelenino znižujejo visoke temperature, tvorijo del narave v mestu ter so zatočišča za mnoge rastlinske in živalske vrste. V mestu so izredno pomembni vsi zeleni pasovi, tudi medcestni pasovi, če le znamo pravilno gospodariti z njimi. Tako imajo divji opraševalci, kot so čebele, stalno prehrano. S cvetočimi travnimi površinami pa tudi zagotovimo najcenejšo estetsko podobo mesta. Zelena infrastruktura mora v mestu imeti svojo funkcionalno, vsestransko in tudi estetsko vlogo.

Ključne besede:

zelena infrastruktura, biodiverziteteta, načrtovanje, drevesa

Abstract

Green infrastructure is a very commonly used concept today, although it is relatively new. With global warming, climate change and an aging population, green infrastructure can help make living in cities more bearable. It is also important because it involves the integration of nature into the city and the so-called green internet, which connects parts of nature through usable areas to other parts of nature. In cities, the largest building blocks of green infrastructure are trees, which can rival buildings with their size, and are also the element that has the greatest impact on lowering temperatures. They are followed by park areas, which reduce high temperatures with their greenery, represent a part of nature in the city and are refuges for many plant and animal species. All green belts, including roadsides, are extremely important in the city, if we know how to manage them properly. In this way, both wild pollinators and bees have a constant source of food. With flowering grassy areas, we also ensure the most affordable aesthetic image of the city. Green infrastructure must play its functional, versatile and also aesthetic role in the city.

Keywords:

green infrastructure, biodiversity, planning, trees

1 Uvod

Izraz zelena infrastruktura se je začel uporabljati v zadnjih dvajsetih letih in se nanaša predvsem na mesta, urbano okolje, v katerem je človek naravo popolnoma spremenil. Z vidika pregrevanja, podnebnih sprememb in izrazitega staranja prebivalstva v Evropi se vse bolj kaže potreba po vključevanju zelenih elementov v urbano okolje. S tem bi bilo mogoče vpliv visokih poletnih temperatur in dolgotrajnih suš na prebivalce mest zmanjšati. Prav zato je načrtovanje zelenih površin postalo še kako pomembno. V botaničnih vrtovih imajo znanje o rastlinah, hortikulturi, varstvu narave in restavraciji habitatov, zato so lahko med pomembnimi ustanovami, ki znajo svoje znanje prenesti tudi na urbano okolje. Botanični vrt Univerze v Ljubljani že veliko let sodeluje z Mestno občino Ljubljana (MOL), občasno pa tudi z drugimi občinami po Sloveniji, in to prav pri načrtovanju, spreminjanju in obnovi mestnih površin (Bavcon in Ravnjak, 2014a, 2014b, 2015, 2016a, 2016b, 2016c, 2017). Ljubljana ima v svoji strategiji načrtovanja mestnih površin zapisano, da se v vsako obnovljeno ulico, če je le dovolj prostora, zasadijo tudi drevesa. Nekoč je za drevorede v mestih veljalo, da so bili bolj ali manj zasajeni z eno drevesno vrsto ali največ tremi različnimi vrstami. Danes pa se v luči različnih stresnih dejavnikov, ki se pojavljajo v mestu, in ob težnji po večji vrstni pestrosti zasaja večje število različnih drevesnih vrst.



Slika 1: Primer zelene ulice v Ljubljani

Zelena infrastruktura je strateško načrtovano in upravljano omrežje narave, parkov, zelenih poti, naravovarstvenih območij in obdelovalnih zemljišč z naravovarstveno vrednostjo, ki podpira avtohtone vrste in kjer se ohranjajo naravni ekološki procesi ter ki prispeva k zdravju in kakovosti življenja (Benedict in McMahon, 2006). Razumejo jo tudi kot pametno ohranjanje narave za 21. stoletje (Benedict in McMahon, 2002). Hellmund in Smith (2006) v svoji knjigi Oblikovanje zelenih poti pišeta o zelenih koridorjih. Kljub temu je v letu 2007 pri izrazu zelena infrastruktura prišlo tudi do zamenjave pojmov ali zastranitve, ko se je izraz v Združenih državah Amerike (EPA) začel uporabljati za grajene inženirske objekte za upravljanje meteorne vode. V zadnjem desetletju zelena infrastruktura dobiva vse večji pomen ne le z naravovarstvenega, ampak tudi z gospodarskega vidika (Benedict in McMahon, 2006). Rileyjeva (2002) v svojem delu obravnava obnovo obrežij kot ključno povezavo za ustvarjanje povezanih habitatov. Ponekod so oblikovali prave centre za zeleno infrastrukturo. Zelena infrastrukturo vse bolj povezujejo tudi z javnim zdravjem in dostopnostjo za najširšo javnost, predvsem za socialno ogrožene.

V zadnjih desetih letih se je ponovno pojavilo zanimanje za načrtovanje v krajinskem merilu in za povezovanje ekoloških storitev s potrebami skupnosti. Lokalne skupnosti se vse bolj zavedajo, da ustvarjanje bivalnih in zdravih skupnosti zahteva ohranjanje ter obnovo zdravih gozdov, dostopnega odprtega prostora in povezanih krajin, da bi zagotovili čist zrak, čisto vodo, javno zdravje, raznolikost prostoživečih živali ter estetske koristi, kot so slikoviti razgledi in naravne lepote. Vse bolj je prepoznan tudi gospodarski vidik zelene infrastrukture. Ne nazadnje imajo nepremičnine, ki so obdane z zeleno infrastrukturo, višjo tržno vrednost, ob tem so tudi nekatere dejavnosti, kot je urbano čebelarstvo, izrazito odvisne od zelene infrastrukture. Za doseganje največjih učinkov zelene infrastrukture v mestu pa je seveda izredno pomembno njeno pravilno načrtovanje in nato njeno pravilno vzdrževanje. V nadaljevanju bomo predstavili nekaj ključnih gradnikov zelene infrastrukture, ki ob pravilnem načrtovanju in vzdrževanju lahko prispevajo tudi k ohranjanju narave.

2 Glavni elementi zelene infrastrukture v mestu

2.1 Drevesa v mestu

Drevesa kot največji naravni objekti v urbanem okolju so v naseljih prisotna že od takrat, ko so ljudje začeli ustvarjati mesta. Glede na to, da gre za velike objekte, so tudi najvidnejši del zelene infrastrukture. Hkrati so

to ob vseh rekonstrukcijah in gradnjah v naseljih tudi najranljivejši in najbolj izpostavljeni objekti. So predmet razprav, saj nekaterim delajo preveč sence, nekatere moti jesensko listje, drugi se bojijo, da bodo ob viharjih padla, nekatere ovirajo pri dostavi, pri razgledu in še marsikaj.

Predstavljajo del narave, zelenja ali tisto prazavest narave v mestih, ki se je niti ne zavedamo. S segrevanjem ozračja in še posebej urbanih središč drevesa vedno bolj postajajo blažilci ekstremnih temperatur (Vaz Monteiro idr., 2019 a, b, c; Yaşlı idr., 2023; Ettinger idr., 2024), poleg tega absorbirajo 30 odstotkov vode in jo potem znova spuščajo v ozračje (Alonzo idr., 2025). Drevesa so fiksatorji ogljikovega dioksida in oddajajo kisik, kar izboljšuje razmere v mestnih središčih (Rehman idr., 2025). Pravilno izbrane drevesne vrste preprečujejo segrevanje stavb poleti in blažijo posledice nizkih temperatur pozimi (Šiftar idr., 2011, 2017). V mestih pomenijo manjšo izgubo vode, večjo zračno vlago, kar dodatno blaži učinke visokih temperatur. Vplivajo na zadrževanje padavinske vode, kar je v mestnem okolju zelo pomembno (Gobatti idr., 2025). So pravi drenažni sistem mesta (Denman idr., 2012). Drevesa ob ustreznih zasaditvah lahko blažijo hrup, zmanjšujejo emisije prašnih delcev s filtriranjem in absorbirajo iz zraka tudi nekatere onesnaževalce: ozon, ogljikov monoksid, žveplov dioksid (Azarello idr., 2012; Badamasi idr., 2022; Burden, 2006), zmanjšujejo UVB sevanje (Heisler idr., 2002) in hkrati zelo prispevajo k lepšemu



Slika 2: Na novo vzpostavljene drevored malega jesena na Slovenski cesti v središču Ljubljane

okolju. V mestih imajo strukturno funkcijo (Mullaney idr., 2015; Šiftar idr., 2011, 2017). S staranjem prebivalstva Evrope in tudi drugih razvitih delov sveta pa je še posebej pomembna njihova okoljska funkcija blaženja ekstremnih temperatur in senčenja prostora. Nič manj pomembni niso drevoredi ob cestah, tako v mestih kot ob lokalnih cestah. Drevesa so pomembna tudi na parkiriščih, kjer, če je izbrana ustrežna vrsta in so drevesne krošnje strnjene nad tam parkiranimi avtomobili, lahko znatno znižajo temperature v le-teh. S tem se zmanjša tudi poraba goriva za začetno hlajenje avtomobila. To se še posebej čuti tudi ob cestah, ki so z vseh strani obdane z gozdovi ali obcestnimi drevoredi.

Drevesa v mestih imajo tudi družbenogospodarske in sociološke funkcije. Vplivajo na dobro počutje prebivalcev, omogočajo zadrževanje na odprtih površinah ves dan, kar je poleti še pomembnejše. Drevesa v mestih vplivajo tudi na zdravje ljudi (Devkota idr., 2023; Wolf idr., 2020) sociološka funkcija velikokrat pomembnejša, čeprav je morda manj merljiva kot njihova ekološka funkcija (Kane, 2009). Drevesa imajo simbolni pomen, so prostor druženja, dajejo občutek strehe nad glavo in še kaj. Drevesa so v mestih gradniki prostora.

Drevesom v mestu pripisujejo mnoge lastnosti, s katerimi pomagajo in prispevajo k boljšemu življenju v mestih (Burden, 2006; Devkota idr., 2023; Wolf idr., 2020). A drevesa kljub vsem pozitivnim učinkom, ki jih prinašajo, povzročajo tudi konflikte. Prostor v mestih je dragocen in drag, zato je načrtovanje prostora za drevesa zelo pomembno za načrtovanje prostora v mestih na splošno. Prostor, namenjen za posamezno drevo, je treba zelo dobro poznati, saj neko drevo v mestnem okolju zavzame drugačen prostor, kot ga ima ista vrsta v naravi (oziroma gozdu) (Anderson in West, 2006; Peper idr., 2014; Šiftar idr., 2011, 2017). Dobra prezračenost tal omogoča respiracijo korenin in uspevanje talnih organizmov. V mestih je ta bistveno manjša, kar povzroča pomanjkanje vode in hranil. Prav zaradi tega je rast dreves v mestih slabša. Drevesa so v mestih lahko tudi nevarna, če niso redno pregledovana in ustrezno vzdrževana (Šiftar idr., 2011, 2017; Bavcon in Ravnjak, 2020). Poleg neštete so v mestih drevesa tudi mikro naravni habitati, kjer se zadržujejo ptice in druge živali, ki biodiverzitetu mestnega okolja samo povečujejo. V današnjem času je zaželeno ohranjanje točk zelenih prehodov skozi mesto, ki služijo kot koridorji nazaj k prosti naravi.

Z vidika zasajanja dreves v parke in mesta je zelo pomembno, da so zasajena drevesa primerno velika, in sicer najustreznejša velikost znaša od 16 do 18 cm v prsnem obsegu ali le izjemoma do 20 cm in več (Šiftar idr., 2011, 2017). Težava pri starejših drevesih s prsnim obsegom več kot 25 cm je stabilnost drevesa med vrašča-

njem. Z vidika stabilnosti dreves zaradi vse pogostejših viharjev je prav primerna velikost zelo pomembna. To je bilo dobro vidno med viharji leta 2023. Koprski park je bil zasajen leta 2018 z drevesi s prsnim obsegom več kot 25 cm. Leta 2023 je velik del teh dreves ob močnem vetru kljub oporam padel, kar dodatno dokazuje, da tako velika drevesa ne poženejo dovolj hitro statičnih korenin. Težava sajenja velikih dreves je prav tvorba statičnih korenin, ki jih starejša drevesa ne razvijejo več dovolj. Poleg tega takšno drevo potrebuje več let intenzivnejše oskrbe. Pri drevesih s prsnim obsegom do 20 cm se po dveh ali treh letih oskrbe že lahko bolj ali manj opusti zalivanje. Pri drevesih s prsnim obsegom več kot 25 cm pa je v sušnih letih še po petih letih potrebna oskrba z vodo.

2.2 Parkovne površine

Parki so sestavni del mest. Velike parkovne površine omogočajo večjo povezavo z naravo, saj gre za večji biodiverzitetni prostor, ne glede na to, ali so intenzivno ali ekstenzivno obdelane (Myalkovsky idr., 2023; Stokmane in Dubate, 2023). Kljub zasaditvam mnogih hortikulturnih vrst pa je v naših parkih še vedno veliko prvotne narave, če le znamo površine pravilno upravljati. Travniki in drevesa, predvsem če gre za avtohtone vrste, v vsakem primeru predstavljajo del ujete narave v mestu. Drevesa so zatočišča za mnoge živali, tj. ptiče, žuželke in tudi male živali. Ostarela drevesa z dupli so zelo pomemben del parkov. Zato je pomembno, da znamo z naravo v parkih pravilno gospodariti, kar pa seveda ne pomeni ohranjanja nevarnih dreves in puščanja večjih površin s padlimi drevesi. Glede na to, da je, na primer, v Ljubljani še dovolj gozdnih ostankov, ni potrebe po tem in so parkovne površine lahko lepo estetsko urejene. Da zadostimo biodiverziteti in javni funkciji parkov (sprehod po tratah, igranje na trati), biodiverzitetno najlepše travnike pustimo, da tamkajšnje cvetje odcveti in rastline semenijo, nato pa te travnike pokosimo in najpozneje po dveh dneh tudi pograbimo. Biodiverzitetno revnejše dele lahko pokosimo prej in jih namenimo javni uporabi. Tako bodo travne površine zaplatasto urejene, prepletale se bodo namreč cvetoče in košene zaplate.

Pri načrtovanju novih površin je izredno pomembno, da površine najprej pregledamo ter ocenimo, kaj je mogoče narediti in s koliko finančnimi sredstvi. Če nimamo dovolj sredstev za celotno bogato zasaditev novih parkov, je to mogoče izvesti tudi z manj sredstvi na bolj ekstenziven način. V Ljubljani je bilo kar nekaj površin prvotno urejenih z zelo malo finančnimi sredstvi. Tvrsten primer je Šmartinski park, kje je MOL urejal veliko vrtičkarsko površino, ki je do leta 2006 dejansko kazila videz Plečnikovih Žal. Težava na tem mestu je bila večplastna. Mestno zemljišče so že pred osamosvojitvijo zasedli okoliški prebivalci in si tam postavili različne vrtnete, tudi iz odpadnih nevarnih materialov. MOL se je odločil vzpostaviti red in po poslanih pozivih vsem uporabnikom, naj sami odstranijo te nelegalne ute, se je površina začela urejati. Dilema je bila preprosta: površina je bila velika in zasaditi tolikšno površino z drevesi ter urediti park je finančno zelo zahteven projekt. Zato so se ohranila vsa strukturna in estetsko lepa drevesa, ki so jih meščani že imeli na svojih vrtičkih. Med pregledom se je pokazalo, da je takih dreves veliko, zato je bila površina urejena enostavno in hitro. Vsa drevesa, ki naj bi se ohranila, so bila označena, nato pa je bila površina obdelana in zravnana s strojem za mletje in ravnanje. V nekaj dneh je bila površina očiščena, in že pri prvem pregledu je imela popolnoma drugačno podobo. Prvo leto je bila zasejana samo travna mešanica in s tem je že nastala preprosta parkovna površina. Glede na to, da je na slovenskih tleh navadno v zemlji še dovolj semenske banke, je že po prvem letu zacvetel tudi cvetoči travnik skupaj s čebulnicami, ki so jih ljudje imeli na odstranjenih vrtičkih. Pozneje se je glede na razpoložljiva sredstva uredila še infrastruktura, kot so poti, igrala, klopi in drugo. Tako je torej nastala velika, popolnoma nova parkovna površina (Simoneti, 2010).



Prav tako pomembni so tudi majhni, žepni parki, kot je Tomanov park v Ljubljani, ki je

Slika 3: Šmartinski park v Ljubljani po ureditvi

bil pred ureditvijo dejansko kup nesnage z mnogimi drevesi in invazivnimi rastlinskimi vrstami na robu železniške postaje. Tudi tukaj se je pokazalo, da je najhitrejša rešitev odstraniti invazivne vrste in poškodovana drevesa, ki ne dajejo primerne infrastrukture, vse drugo pa pustiti ter prilagoditi ustreznim razmeram za tako imenovani žepni park. Površina je danes lepo urejena in služi namenu, hkrati je bil vložek manjši. Pri takem načinu načrtovanja je pomembno, da površine najprej ne uničimo in nato začnemo zasajati nove drevesne vrste. Z vidika biodiverzitete je pomembno ohraniti drevesa, saj na novo zasajena drevesa za doseganje takšne velikosti potrebujejo od 20 do celo 30 let. Obstojča drevesa so namreč dobro vraščenjena v zemljišče in so stabilna ter jih ni treba zalivati in oskrbovati. Ptiči, male živali in žuželke tukaj že imajo svoj življenjski prostor in so potem tudi vektorji, ki prinašajo nove avtohtone rastlinske vrste. Pomembno je le, da skrbimo za redno odstranjevanje invazivnih rastlinskih vrst, s čimer je upravljanje zelenih površin lažje. Z uporabo že obstoječih grmov in dreves ne gre le za finančni vidik, ampak predvsem za ekološkega, saj gre za sonaravno gospodarjenje. Prav načelo sonaravnega gospodarjenja je v mestu zelo pomembno.

2.3 Vmesni zeleni pasovi

Del načrtovanja cestne infrastrukture so velikokrat tudi ozelenjeni pasovi, ki potekajo bodisi med posameznimi cestnimi pasovi, med cestami in pločniki, pločniki in kolesarskimi potmi, med parkirnimi prostori bodisi kot samostojni ozelenjeni deli krožišč. Že pri načrtovanju ozelenjenih pasov in nato pri končni izvedbi je treba biti pozoren na možno širino zelenih pasov. Če naj bi bili ožji od enega metra, bo že vnaprej otežena zadovoljiva izvedba za ozelenitev. Pri ureditvi ozkih zelenih pasov se mnogokrat zgodi, da so robniki, ki jih omejujejo, zabetonirani tako, da v vmesnem prostoru ni dovolj globine za zadovoljivo nasutje prsti. Zaradi tega travna ruša in drugo rastlinje v ozkih pasovih še posebej v poletnih mesecih ne moreta uspevati. Rastline namreč nimajo dovolj prsti, sami pasovi pa zaradi plitkosti nimajo dovolj zmožnosti za absorpcijo padavinske vode. Bližina cest in robnikov še dodatno segreva rastlinski del pasov. Tako smo predvsem v poletnih mesecih pogosto priča popolnoma suhi travni ruši v cestnih pasovih, ki naj bi bili zeleni. Ključno je torej, da načrtujemo dovolj široke zelene cestne pasove. Zaradi robnega učinka naj bodo robniki na predvidenem delu zabetonirani navpično v globino in ne poševno. Dovolj široki pasovi pa so že lahko območja s pestro rastlinsko biodiverzitetjo. Lahko omogočajo nabor rastlinskih vrst, katerih semena raznesejo veter in živali iz okoliških naravnih travnatih površin.



Slika 4: Dosaditev avtohtonih rastlinskih vrst je povečala biodiverzitetjo v zelenem medcestnem pasu na trzinski obvoznici

Pri tvorbi novih zelenih pasov je seveda priporočljivo, da se le-ti ozelenijo s senenim drobirjem ali z mešanico semen avtohtonih rastlinskih vrst, s čimer se zagotovi rastlinska pestrost. Rastlinska pestrost se nato vzdržuje s poznejšo košnjo, ki omogoča cvetenje rastlin, njihovo semenenje in nato obnavljanje semenske banke v tleh. Tako lahko vmesni zeleni prostori postanejo mesta bogate vrstne pestrosti, ki zaradi cvetenja rastlin omogoča tudi pašo divjih oprasovalcev in njihovo ohranjanje. V raziskavi na Norveškem so ugotovili, da imajo zeleni cestni pasovi veliko pestrost seminaravnih travniških rastlinskih vrst in rastlinskih vrst, ki se oprasujejo z žuželkami. Prav zaradi tega lahko tvorijo učinkovite alternativne habitate za rastlinske združbe (Johansen idr., 2022). Glede na to

zeleni pasovi potekajo vzdolž cestne infrastrukture, se skupaj z njo razširjajo v različne dele urbanih površin in so zaradi tega lahko učinkoviti zeleni koridorji za rastline in živali. Če so pasovi širši, lahko vanje zasadimo tudi grmovnice, ki morajo nato biti ustrezno vzdrževane. Tako kot pri izbiri drevesnih vrst je tudi pri izbiri grmovnih vrst priporočljivo izbrati sušno vzdržne vrste, ki zdržijo zimsko soljenje, in vrste, ki ne rastejo tako hitro v širino in višino (npr. *Cotinus coggygria*, *Coronilla emeroides*, *Genista radiata* idr.). S tem se namreč tudi zmanjša število obrezovanj. S čim bolj naravnim videzom grmovnic ustvarjamo mejice, ki lahko nudijo hrano in domovanje pticam ter drugim živalim. Grmovnic ne sadimo v zelene pasove na parkiriščih, saj jih tam nato velikokrat poškodujejo s sprednjimi deli avtomobilov. To vodi v njihovo slabše uspevanje in posledično slabši estetski videz, hkrati so vozniki nezadovoljni zaradi poškodb na vozilih.

2.4 Sonaravno urejene večje površine

Večje zelene površine v urbanem okolju lahko s sonaravno ureditvijo postanejo celo nadomestni habitatni tipi rastlinam in živalim, zlasti če so ekstenzivno vzdrževane. Seveda pa ne morejo v celoti nadomestiti naravnih habitatov. V nekaterih primerih je biodiverzitet urbanih zelenih površin lahko celo večja kot biodiverzitet ruralnih, saj jo tam velikokrat zmanjšuje intenzivno kmetijstvo (Kawarik, 2011). V ta namen se lahko izkoristijo tiste mestne zelene površine, ki niso v zasebni lasti in hkrati niso namenjene za intenzivno vzdrževanje zelenih površin. Urejajo se lahko, med drugim, obrežja rek, parcele brez namembnosti med poslopji, gozdni ostanki, brežine v naseljih in druge površine. Za sonaravno odstranitev naštetih površin je nujno pomembna odstranitev invazivnih tujerodnih vrst, ki zmanjšujejo biodiverzitetu in imajo velik negativni vpliv na ohranjanje narave. Brežine ob rekah se na sonaravni način lahko uredijo tako, da se ohranijo posamezna velika, zdrava in vitalna drevesa avtohtonih vrst, ki s koreninskim sistemom preprečujejo erozijo brežin in hkrati dajejo življenjski prostor številnim živalim. Ohrani se tudi grmičevje, ki je prav tako zatočišče za živali in tem hkrati nudi hrano. Na preostalem delu se vzdržujejo travne površine, ki naj se prvič pokosijo šele, potem ko rastline odcvetijo in semenijo. S tem se bo ohranjala in povečevala vrstna pestrost travnikov. Na enak način se travne površine lahko vzpostavijo in vzdržujejo tudi na drugih mestih med pozidanimi površinami. Ključno je, da je intenziteta vzdrževanja najmanjša, a še vedno estetska. Z minimalnim poseganjem v prostor namreč v habitatnem tipu omogočimo razvoj naravnih procesov (Angold idr., 2005; Bavcon in Ravnjak 2022).



Slika 5: Obrežja Save v Črnučah pred sonaravno ureditvijo



Slika 6: Obrežja Save v Črnučah po sonaravni ureditvi

2.5 Zelene strehe

Prepoznavni element sodobne gradnje večjih poslovnih objektov, šol in drugih stavb so ravne strehe. Vendar te z neposredno izpostavitvijo soncu lahko tvorijo še dodatne toplotne otoke v urbanem okolju. Zaradi tega je strehe, ki imajo dovolj veliko nosilnost in so primerno vodno izolirane, smiselno zasaditi z rastlinami. Tako imenovane zelene strehe imajo v urbanem okolju veliko prednosti. Omogočajo ponor padavinske vode, ki bi v nasprotnem primeru stekla neposredno v kanalizacijo in morda povzročila poplave (Berndtsson, 2010). Delujejo kot toplotni izolator. Pozimi preprečujejo oddajanje toplote iz notranjosti stavb, poleti pa segrevanje notranjosti stavb (Tam idr., 2016; Krajčovičová in Šprochová, 2007). Ob tem so lahko življenjsko okolje rastlin in živali ter strešni vrtovi za ljudi. Za vzpostavitev zelene strehe je vsekakor potrebna predpriprava, ki mora zagotoviti dovolj veliko nosilnost strehe in zanesljivo izolacijo, ki bo preprečila zatekanje vode v objekt. Poleg tega je treba ustrezno pripraviti izolacijsko in drenažno plast pod sadilnim substratom. Ta mora omogočati zastajanje vode, hkrati pa drenažo, ki bo preprečevala preveliko zastajanje vode in s tem gnitje rastlinskih korenin. Če je nosilnost strehe dovolj velika in možna globina sadilnega substrata zadostna, je razpoložljivost sadilnega materiala lahko precej pestra. V primerih, ko znaša globina substrata od 30 do 100 cm ali celo več,

lahko na zelene strehe sadimo celo nekatera drevesa in grmovnice, vzpostavijo se lahko tudi hortikulturne zasaditve in večje travniške površine. Gre za tako imenovane intenzivne zelene strehe, kjer je predvidena tudi določena stopnja vzdrževanja (Banting idr., 2005). Intenzivne zelene strehe so tako lahko urejene celo v manjše parkovne površine ali vrtove na strehi. Zelo preproste za izvedbo, cenejše in dostopne skoraj vsakomur pa so tako imenovane ekstenzivne zelene strehe (Krajčovičová in Šprochová, 2007). Gre za strešne površine z manjšo globino, do 20 cm, ki so samovzdržne. To pomeni, da po zasaditvi ni potrebno dodatno vzdrževanje. Rast rastlin je odvisna samo od padavinske vode in ni potrebe po dodatnem zalivanju. Seveda je v tem primeru



Slika 7: Zelena streha na avtobusni nadstrešnici pri Zmajevskem mostu. Na njej je zasajen tudi slovenski endemit *Alyssum pluscanescens* (žički grobeljnik)

izbira rastlinskih vrst omejena in ključna za dobro uspevanje zelene strehe. Vrste, rastoče na ekstenzivni zeleni strehi, morajo biti prilagojene na plitko prst, intenzivno UVB sevanje, pomanjkanje vode in intenzivna nihanja v temperaturi. V splošnem gre za vrste iz skupine sukulenti, v tropskih in subtropskih predelih, kjer je dovolj začne vlage, pa lahko na ekstenzivnih strehah dobro uspevajo tudi različni tropski epifiti. V podnebnih razmerah v Sloveniji so za zasaditev ekstenzivnih zelenih streh najprimernejše rastlinske vrste, rastoče na Krasu. Te so že v svojem naravnem okolju prilagojene na enake okoljske dejavnike, kot jih imajo na strehi.

Glede na to, da danes marsikatero podjetje za ozelenitev streh priporoča mešanico sukulentnih rastlinskih vrst z neznanim genetskim poreklom in vrstami, ki niso avtohtone za določeno območje, so tovrstne zasaditve lahko tudi vir invazivnih rastlinskih vrst (Li in Yeung, 2014). Prav zaradi tega se za zasaditev zelenih streh priporoča uporabo avtohtonih rastlinskih vrst. Te so namreč najbolj optimalno prilagojene na okoljske dejavnike in tudi na sobivanje z drugimi organizmi (opraševalci). Uspešen primer zasaditve ekstenzivnih zelenih streh z avtohtonimi rastlinskimi vrstami je tudi zasaditev avtobusnih postajališč mestnega prometa v Ljubljani. Botanični vrt Univerze v Ljubljani, Mestna občina Ljubljana in Europlakat so v letu 2020 začeli zasajevati avtobusne nadstrešnice. Izbira nadstrešnic je temeljila na tem, da so za zasaditev najprej izbrali tiste nadstrešnice, ki so postavljene v najmanj ozelenjenih delih mesta. S tem so želeli vzpostaviti zeleno mrežo med posameznimi bolj zelenimi deli mesta. Kot že navedeno, so nadstrešnice zasadili predvsem s kraškimi rastlinskimi vrstami ter vrstami, ki dobro prenašajo sušo in pomanjkanje prsti. Izbora rastlinskih vrst je temeljil tudi na tem, da so za zasaditev izbrali medovite rastlinske vrste, ki vse leta zagotavljajo pašo opraševalcem (Ravnjak idr., 2020, 2026). Za zelo uspešno rastoče so se pokazale vrste *Sedum album*, *S. acre*, *Satureja montana*, *Campanula thyrsoides*, *Petrorhagia saxifraga*, *Allium senescens*, *A. ericetorum* in druge. Na nadstrešnice smo zasadili tudi nekatere zavarovane in ogrožene rastlinske vrste, kot sta *Gladiolus illyricus* in endemit *Alyssum pluscanescens*. Populacija druge navedene je zdaj celo večja na nadstrešnicah kot na njenem naravnem rastišču. S tem so nadstrešnice postale tudi nadomestni habitati za varstvo nekaterih rastlinskih vrst. Tudi sicer so lahko zelene strehe zelo primerne kot nadomestni habitati za varstvo vrst, saj so nekatere ali popolnoma nedostopne ali dostopne samo določeni skupini ljudi (Bavcon in Ravnjak, 2020, 2022). S tem se namreč prepreči morebitni odvzem rastlin in zagotovi vzpostavitev stabilnih populacij.

3 Sklep

Zelena infrastruktura postaja vse pomembnejši element tako urbanih površin kot tudi površin za varstvo rastlinskih in živalskih vrst. S širjenjem urbanih površin vedno bolj posegamo v naravo, kar vodi v izginjanje rastlinskih in živalskih vrst. S pravilnim načrtovanjem zelene infrastrukture pa ta lahko postane celo zatočišče za ogrožene in zavarovane rastlinske ter živalske vrste. Vsekakor tovrstna funkcija zelene infrastrukture pri njenem načrtovanju zahteva sodelovanje različnih strokovnjakov in deležnikov. Z vidika stroke se kaže potreba po sodelovanju arhitektov, ki s svojim znanjem oblikujejo urbani prostor za različne potrebe, in naravoslovcev,

ki dobro poznajo tako rastline kot živali, njihove potrebe ter procese v naravi. Velikokrat se namreč zgodi, da je med obema strokama premalo komunikacije, in nato izvedeni projekti zelene infrastrukture niso tako učinkoviti, kot bi lahko bili. Ob tem velja poudariti, da ustvarjanje in vzdrževanje posameznih elementov zelene infrastrukture ni enako za vse elemente. Prav zaradi tega je ključno sodelovanje obeh strok. Ob tem ne smemo pozabiti tudi na vključenost odločevalcev o zeleni infrastrukturi, upravljalcev zelene infrastrukture in širše javnosti. Organi odločanja so namreč tisti, ki lahko na podlagi strokovnih utemeljitev pripravijo priporočila ali celo odloke, ki urejajo zeleno infrastrukturo (npr. pozna košnja javnih travnih površin, sajenje avtohtonih rastlinskih vrst). Ob tem so ključnega pomena tudi vzdrževalci zelene infrastrukture. Kajti četudi je zelena infrastruktura skrbno načrtovana z vsemi potrebnimi standardi, velikokrat nato zmanjka financ za njeno vzdrževanje ali pa kader ni dovolj strokovno usposobljen oziroma se prepogosto menja koncesionar za vzdrževanje. Prav zaradi tega bi bilo dobro, da bi imela vsaj vsa večja mesta stalno podjetje za vzdrževanje zelenih površin in bi bilo njihovo strokovno osebje vključeno tudi v načrtovanje. Glede na to, da je navsezadnje javnost tista, ki je uporabnik zelene infrastrukture, je priporočljivo, da se novonastajajoči projekti predstavijo javnosti, ob tem pa tudi načini vzdrževanja zelene infrastrukture. To ne pomeni, da mora biti javnost organ odločanja, saj se je v praksi že mnogokrat pokazalo, da je javnost zaradi pomanjkanja strokovnega znanja pri načrtovanju ali vzdrževanju zelene infrastrukture zastopala napačna stališča.

Viri in literatura

- Alonzo, M., Ibsen P. C. in Locke D.H. (2025). Urban Trees and Cooling: A Review of the Recent Literature (2018 to 2024). *Arboriculture & Urban Forestry*, 51(5), 1-24. <https://doi.org/10.48044/jauf.2025.023>
- Anderson, S. T. in West, S. E. (2006). Open space, residential property values, and spatial context. *Regional Science and Urban Economics*, 35(6), 773-789. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2006.03.007>
- Angold, P. G., Sadler, J. P., Hill, M. O., Pullin, A., Rushton, S., Austin, K., Small, E., Wood, B., Wadsworth, R., Sanderson, R. in Thompson, K. (2006). Biodiversity in urban habitat patches. *Science of Total Environment* 360, 196-204. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.08.035>
- Azzarello, E., Pandolfi, C., Pollastri, S., Masi, E., Mugnai, S. in Mancuso, S. (2011). The use of trees in phytoremediation. *Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 6(037), 1-15. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR2011603>
- Badamasi, H. (2022). Urban roadside trees as eco-sustainable filters of atmospheric pollution: A review of recent evidence from atmospheric trace elements deposition. *New Paradigms in Environmental Biomonitoring Using Plants*, 73-94. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824351-0.00004-3>
- Banting, D., Doshi, H. H., Li, J. in Missions, P. (2005). *Report on the Environmental Benefits and Costs of Green roof technology for the city of Toronto*. City of Toronto and Ontario Centres for Excellence—Earth and Environmental Technologies.
- Bavcon, J. in Ravnjak, B. (2014a). Projekt ozelenitve objekta Gimnazije Ledina. Ljubljana: Botanični vrt Univerze v Ljubljani, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta.
- Bavcon, J. in Ravnjak, B. (2014b). Zasaditev dreves na Slovenski cesti : recenzija projekta. Ljubljana: Botanični vrt Univerze v Ljubljani, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta.
- Bavcon, J. in Ravnjak, B. (2015). Urejanje mestnih zelenih površin : končno poročilo posveta. Ljubljana.
- Bavcon, J. in Ravnjak, B. (2016a). Arboristično mnenje o stanju Kettejevega drevoreda v Novem mestu : končno poročilo. Ljubljana: Botanični vrt Univerze v Ljubljani, Oddelek za biologijo.
- Bavcon, J. in Ravnjak, B. (2016b). Drevored Koprivovca na Straški cesti v Novem mestu : arboristično mnenje : končno poročilo. Botanični vrt Univerze v Ljubljani, Oddelek za biologijo.
- Bavcon, J. in Ravnjak, B. (2016c). Posegi v obstoječo obrežno vegetacijo Ljubljanice : v okviru projekta ureditve parka Muste. Ljubljana: Botanični vrt Univerze v Ljubljani.
- Bavcon, J. in Ravnjak, B. (2017). Botanic gardens integration into city green policy. V S. Sharrock (ur.), *Autochthonous plants in the urban environment: Slovenian second meeting of European Botanic Gardens Consortium with symposium* (str. 15-28). Botanični vrt, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, Ljubljana:
- Bavcon, J. in Ravnjak, B. (). *Ozelenitev nadstrešnic LPP Ljubljana*. Botanični vrt Univerze v Ljubljani, Oddelek za biologijo.
- Bavcon, J. in Ravnjak, B. (2022). *Zakladi zelene strehe: Streha Kemijskega inštituta kot rastišče in varuhinja slovenskih avtohtonih rastlinskih vrst*. Kemijski inštitut.
- Benedict, M. A. in McMahon, E. T. (2002). Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century. *Renewable Resource Journal*, 20(3).
- Benedict, M. A. in McMahon, E. T. (2006). Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. *Landscape Ecology*, 22.
- Berndtsson, J. C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 36(4), 351-360. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>
- Burden, D. (2006). *Urban Street Trees – 22 Benefits Specific Applications*. https://sustainablect.org/fileadmin/media/Content/For_resources/LNR/1_Urban_Street_Trees.pdf
- Hellmund, P. C. in Smith, D. S. (2006). *Designing greenways: Sustainable landscapes for nature and people*. Island Press.
- Denman, E., May, P. in Moore, G. (2012). The use of trees in urban stormwater management. V M., Johnston in G. Percival, (ur). *Trees, people and the built environment* (Forestry commission research report). Forestry Commission.
- Devkota, D., Konijnendijk, C., Mansouarian S. in Wildbourer C. (2023). Forest and Trees for Humans Health. Pathways, Impacts, Challenges and Response options (str. 1-22).
- Ettinger, A. K., Bratman, G. N., Carey, M., Hebert, R., Hill, O., Kett, H., Levin, P., Maia Murphy-Williams, M. in Wyse, L. (2024). Street trees provide an opportunity to mitigate urban heat and reduce risk of high heat exposure. *Scientific Reports*, 14(1), 3266. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51921-y>

- Gobatti, L., Bach, P.M., Maurer, M. in Leitão, J. P. (2025). Impact of soil moisture content on urban tree evaporative cooling and human thermal comfort. *npj Urban Sustainability*, 5(1), 26. <https://doi.org/10.1038/s42949-025-00220-0>
- Heisler, G. M., Grant, R. H. in Gao, W. (2002). Urban tree influences on ultraviolet irradiance. V J. R. Slusser, J. R. Herman in W. Gao (ur.), *Proceedings of SPIE: Ultraviolet ground- and space-based measurements, models, and effects*, 4482, 277–290.
- Hellmund, P. C. in Smith, D. (2006). *Designing Greenways: Sustainable Landscapes for Nature and People*. Island Press.
- Johansen, L., Henriksen, M. V. in Wehn, S. (2022). The contribution of alternative habitats for conservation of plant species associated with threatened semi-natural grasslands. *Ecological Solutions and Evidence*, 3(3), 1 – 12. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12183>
- Kane, B. in Jeffrey L. K. (2009). *Value, Benefits, and Costs of Urban Trees*. Virginia Cooperative Extension. <http://hdl.handle.net/10919/48050>
- Kawarik, I. (2011). Novel Urban ecosystems, biodiversity, and conservation. *Environmental Pollution*, 159(8-9), 1974–1983. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.02.022>
- Krajčovičová, D. in Šprochová, K. (2007). Extensive roof garden as a thermal insulator. *Folia Oecologica*, 34, 1336–5266.
- Li, W. C. in Yeung, K. K. A. (2014). A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1), 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2014.05.001>
- Mullaney, J., Lucke, T. in Trueman, S. J. (2015). A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. *Landscape and Urban Planning*, 134, 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.013>
- Myalkovsky, R., Plahtij, D., Bezvikonnyi, P., Horodyska, O. in Nebaba, K. (2023). Urban parks as an important component of environmental infrastructure: Biodiversity conservation and recreational opportunities. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 14(4), 57–72. <http://doi:10.31548/forest/4.2023.57>
- Peper, P. J., Alzate, C. P., McNeil, J. W. in Hashemi J. (2014). Allometric equations for urban ash trees (*Fraxinus* spp.) in Oakville, Southern Ontario, Canada. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(1), 175–183. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.07.002>
- Ravnjak, B., Bavcon, J. in Božič, J. (2020). *Avtohtone medovite rastline*. Botanični vrt Univerze v Ljubljani, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta.
- Rehman, Z., Zubair, M., Dar, B. A., Habib, M. M., Abd-ElGawad, A. H., Yasin, G., Gilani, M. M., Malik, J. A., Rafique, M. T. in Jahanzaib, J. (2025). Urban Parks and Native Trees: A Profitable Strategy for Carbon Sequestration and Climate Resilience. *Land*, 14(4), 903. <https://doi.org/10.3390/land14040903>
- Riley, A. L. (2016). *Restoring neighborhood streams: Planning, design, and construction*. Islands Press.
- Stokmane, I. in Dupate, M. (2023). Green Infrastructure Development within Urban Environment provided by Privately Owned Public Spaces. *Landscape architecture and art*, 22(22), 81–88. <https://doi:10.22616/j.landarchart.2023.22.08>
- Šiftar, A., Maljevac, T., Simoneti, M. in Bavcon, J. (2011). *Mestno drevje*. Botanični vrt, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta.
- Šiftar, A., Maljevac, T., Simoneti, M. in Bavcon, J. (2017). *Mestno drevje* (2. izdaja s popravki). Botanični vrt, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta.
- Tam, V. W. Y., Wang, J. in Le, K. N. (2016). Thermal insulation and cost effectiveness of green-roof systems: An empirical study in Hong Kong. *Building and Environment*, 110, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.032>
- Vaz Monteiro, M., Handley, P., Morison, J. in Doick, K. (2019). *The role of urban trees and greenspaces in reducing urban air temperatures*. Forest Research
- Wolf, K., Lam, S. T., McKeen, J. K., Richardson, G. R. A., Bosh, M. in Bardekijna, A. (2020). Urban Trees and Human Health: A Scoping Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(12), 4371. <https://doi:10.3390/ijerph17124371>
- Yaşlı, R., Yücedağ, C., Ayan, S. in Simovski, B. (2023). The role of urban trees in reducing land surface temperature. *SilvaWorld*, 2(1), 36–49. <https://doi:10.29329/silva.2023.518.05>

Potencial vertikalne ozelenitve pri blaženju toplotnih obremenitev

Jana Kozamernik

Urbanistični inštitut Republike Slovenije

Izvleček

Zavedanje o pomenu naravnih prvin v mestih se zaradi prepoznanih okoljskih težav in podnebnih sprememb, ki vplivajo tudi na bivalno kakovost, povečuje v strokovni in splošni javnosti. Sistemi vertikalnih ozelenitev (VO) imajo pomembno vlogo kot arhitekturni element, hkrati pa so tip zelene infrastrukture z možnimi pozitivnimi učinki na urbano okolje, predvsem v gosto pozidanih urbanih območjih. Poglavje se osredotoča na vpliv vertikalnih ozelenitev z vidika mikroklimatskih razmer v urbanem odprtem prostoru, pri čemer proučujemo možnosti zmanjšanja toplotne obremenitve na uporabnike zunanjega prostora v poletnem času, v pasu zmerno toplega podnebja. Raziskava je izvedena na primeru dveh urbanih območij Ljubljane, z uporabo računalniškega modeliranja toplotnega odziva gradnikov urbanega prostora na podlagi primerjav variant z vertikalnimi ozelenitvami ozelenjenih in neozelenjenih javnih prostorov. Ugotovitve temeljijo na izračunih fiziološko nadomestne temperature (PET), ki je podlaga za razvrstitev v razrede toplotne obremenitve. Kljub zmanjšanju PET na posameznih lokacijah v obravnavanih območjih rezultati raziskave kažejo zanemarljiv vpliv VO na spremembo toplotnega ugodja v tipičnem vročem poletnem dnevu. Raziskava predstavlja del doktorskega dela avtorice z naslovom Vpliv ozelenjevanja fasad na doživljanje urbanih ambientov in urbano mikroklimo – primer Ljubljane.

Ključne besede:

vertikalno ozelenjevanje, zelene stene, toplotno ugodje, toplotni stres, modeliranje urbane mikroklimo

Abstract

The awareness of the importance of natural elements in cities is growing among both experts and the public due to recognized environmental problems and climate change, which also affect the quality of life. Vertical greening (VG) systems play an important role as an architectural element and a type of green infrastructure with potential positive effects on the urban environment, especially in densely built-up urban areas. This paper focuses on the impact of vertical greening from the perspective of microclimatic conditions in urban open spaces, examining the potential for reducing heat stress on outdoor space users in summer in a temperate climate zone. The research was conducted on two urban areas in Ljubljana, using computer modelling of the thermal response of urban space components based on comparisons of variants with vertical greening and non-vertical green public spaces. The findings are based on calculations of physiologically equivalent temperature (PET), which is the basis for classification into heat stress categories. Despite reductions in PET at individual locations, the results of the study show a negligible impact of VO on changes in thermal comfort on a typical hot summer day. The study is part of the author's doctoral thesis entitled How Green Facades Impact Perceptions of Urban Space and Microclimate: The Case of Ljubljana.

Keywords:

vertical green systems, green walls, thermal comfort, heat stress, urban microclimate modeling

1 Uvod

Med pomembnimi sodobnimi izzivi načrtovanja mest so usmerjenost v trajnostni razvoj, prilagajanje na podnebne spremembe, zmanjševanje okoljskega odtisa ter zagotovitev kakovostnega bivalnega okolja in s tem zdravja prebivalcev. Različne raziskave in urbane strategije že dalj časa obravnavajo pomembnost zelenih prvin v urbanem okolju z vidika prilagajanja na podnebne izzive, pregrevanje v poletnem času, pa tudi na splošno javno zdravje (Russo in Cirella, 2018). Eden izmed tipov tako imenovanih na naravi temelječih rešitev (angl. *nature-based solutions*) so sistemi vertikalnih ozelenitev, prepoznani kot možni ukrep za zagotavljanje izboljšanja okoljskih razmer v gosto pozidanih urbanih območjih (Bustami, Belusko, Ward in Beecham, 2018; de Jesus, Lourenço, Arce in Macias, 2017; Jim, 2015; Ottel , 2011). Ti sistemi se na svetovni ravni promovirajo kot tisti gradniki, ki lahko pripomorejo k izboljšanju mikroklimе v zunanem prostoru, čeprav dosedanje raziskave kažejo, da je opredeljevanje njihovih vplivov na zunanje okolje težavno, saj, kot navajata Perini in Rosaco (2013), »ni mogoče količinsko opredeliti vrednosti vplivov zaradi nemogoče ocene učinka«. Namen raziskave, izdelane v okviru doktorskega dela vstaviti naslov doktorskega dela Vpliv ozelenjevanja fasad na doživljanje urbanih ambientov in urbano mikroklimo – primer Ljubljane, je preveritev oziroma ovrednotenje vplivov ozelenjevanja fasad na kakovost urbanih mikroambientov v smislu njihovega morebitnega hladilnega učinka oziroma ugodnejšega stanja zunanjega okolja z vidika doživljanja toplotnega stresa na vroč poletni dan.

Poletni toplotni stres je v urbanem okolju povezan z lokalnimi mikroklimatskimi razmerami. Ker imajo mesta v primerjavi z okoliškim prostorom drugačno energijsko ravnovesje med površjem in ozračjem, se mestno podnebje razlikuje od primestnega in podeželskega. Glavni procesi, ki vplivajo na nastanek toplotnih otokov v mestih, so povezani s strukturo mestnega tkiva. Vpliv mesta na lastno podnebje je odvisen od več dejavnikov, predvsem segrevanja in ohlajanja površja, kar pomeni, da s spreminjanjem strukture površja lahko vplivamo tudi na fizikalne procese. Oke (2017) med najpomembnejšimi procesi pojava pregrevanja mest navaja poleg večje absorpcije sončnega sevanja zaradi večkratnega odboja od stavb in večjega območja, ki sprejema sevanje, tudi nižji faktor vidljivosti neba, ki preprečuje učinkovito nočno hlajenje mestnega površja, predvsem zapoznelo oddajanje toplote zaradi stavb in tlakovanih površin, saj se večji delež absorbirane toplote pretvori v zaznavno toploto, manjši pa v latentno toploto (kot posledica manjšega števila vodnih oz. vlažnih, npr. zelenih površin in večje suhosti urbanih površin). Poleg tega k pregrevanju pomembno prispeva tudi sproščanje toplote zaradi različnih virov oziroma dejavnosti ljudi (npr. industrija, promet itd.). Izpodrivanje naravnih površin z grajenimi povzroča, da se v mestnem okolju oblikujejo specifične mikroklimatske razmere. Ukrepi za zmanjšanje toplotnih otokov so predmet številnih študij in se nanašajo na obliko, usmerjenost in postavitev stavb, izkoriščanje naravnih vzorcev vetra pri načrtovanju razporeditve stavb, na strategije zagotavljanja večje prisotnosti vode v obliki mestnih vodnih teles, uporabo materiala visokega albeda za tlakovanje ter na povečevanje zelenih površin in ozelenjevanje na splošno (Fikfak idr., 2017; Vidrih in Medved, 2011). Ozeleneli gradniki mestnega okolja imajo zaradi rastlinskih delov in vsebnosti vode pomembno vlogo pri uravnavanju mikroklimatskih razmer v okolju. Zaradi visoke absorptivnosti sončnega sevanja in visoke emisivnosti toplotnega sevanja delujejo kot mikro senčila, ki se naravno hladijo s procesom evapotranspiracije. Posledica evapotranspiracije je hlapilno hlajenje zraka v mikroprostoru rastline. Pri sistemih vertikalnih ozelenitev je vegetacija vezana na fasado stavbe oziroma steno objekta in raste ob/na njej na način, da se ustvarja vertikalna vegetacijska ploskev. Vegetacija tako pokriva večjo ali manjšo površino vertikalne stene, odvisno od zasnove fasade in razporejenosti fasadnih odprtin. Definicija ozelenjenih fasad, ki jo uporabljamo v tej raziskavi, je bila oblikovana na podlagi pregleda terminologije več raziskav (Bustami idr., 2018; Jim, 2015; Pfoser, 2016). Opredeljujemo jih kot vertikalne fasadne sisteme z rastlinami, neposredno ali s podpornim sistemom integrirane v zunanjo steno (ovo)j stavbe. Tipologija vertikalnih ozelenitev je raznovrstna, določajo jo konstrukcijski elementi, način vgradnje rastlin in izbor le-teh. Osnovna tipa VO sta: zelene fasade (angl. *green facades*) in žive stene (angl. *living walls*). Za zelene fasade sta značilna stik s tlemi oziroma izraščanje rastlin iz tal in uporaba rastlin, ki se vzpenjajo po steni, neposredno ob njej ali ob opori. Žive stene so sistemi, ki nimajo stika s tlemi, so stenski element, iz katerega rastline rastejo (paneli, moduli, ploskve z žepi ipd.). Glede na konstrukcijske značilnosti je pogost tudi kombinirani tip oziroma sistem VO, ki vključuje uporabo sadilnih korit (angl. *pot-based green facades*), ki so lahko sestavni del balkonskih konstrukcij, sistem posod na zunanji nosilni konstrukciji ob fasadi ali neposredno na fasado pritrjena korita (Hoffmann idr, 2023).

2 Opredelitev toplotne obremenitve oziroma toplotnega stresa v urbanem odprtem prostoru

Običajno se rezultati izračunov, merjenj in modeliranja urbane mikroklimе izražajo v temperaturi zraka. Na področju človeške biometeorologije, ki se ukvarja z vplivi toplotnega okolja na človeka oziroma z oceno toplotne komponente različnih podnebnih razmer, so se na področju uporabne klimatologije začeli že v preteklosti uporabljati različni toplotni indeksi, ki temeljijo na meteoroloških parametrih (Matzarakis idr., 1999; Shevchenko idr., 2022). Danes je vedno več poudarka na izračunih toplotnih indeksov s fiziološkim pomenom, ki izhajajo iz energijske bilance človeka oziroma počutja človeka, ob hkratnem upoštevanju meteoroloških parametrov. Eden od njih je fiziološka ekvivalentna (nadomestna) temperatura (PET – *Physiological Equivalent Temperature*), ki se v primerjavi z drugimi toplotnimi indeksi izraža v stopinjah Celzija (°C), zaradi česar so rezultati širše razumljivi tako različnim strokam kot javnosti. Fiziološka ekvivalentna temperatura je zaznavna temperatura oziroma temperatura, kot bi jo zaznala (občutila) oseba v nekem prostoru. Za izračun PET je treba določiti vse meteorološke parametre, ki so pomembni za energijsko bilanco človeka, na višini človeka (povprečna višina težišča stoječe osebe). Pri izračunu stopnje toplotnega zaznavanja se upošteva tudi notranja proizvodnja toplote človeka in toplotna upornost oblakov. Matzarakis idr. (1999) razvrščajo višino PET v različne stopnje zaznavanja toplotne obremenitve pri ljudeh in tako opredeljujejo devet razredov toplotnega stresa. Primerno toplotno ugodje (prijetno okolje, brez toplotnega stresa) v zunanjem okolju je doseženo, ko je vrednost fiziološke nadomestne temperature PET od 18,1 do 23 °C. Mali toplotni stres je PET od 23,1 do 29 °C, zmerni toplotni stres PET od 29,1 do 35 °C, močni toplotni stres PET od 35,1 do 41 °C ter ekstremna toplotna obremenitev PET nad 41,1 °C (Matzarakis idr., 1999). V tej raziskavi privzemamo razrede toplotnega stresa po raziskavi Matzarakisa idr. (1999).

3 Metoda modeliranja urbane mikroklimе

Preveritve toplotnih obremenitev na vroč poletni dan smo izvedli z modeliranjem urbane mikroklimе izbranih urbanih območij v Ljubljani. Za ta namen sta se pripravila dva modela obstoječih območij, simuliranih v različnih variantah z vertikalnimi ozelenitvami in brez njih. Modeliranje je bilo izvedeno z ENVI-met programsko opremo za 3D modeliranje urbane mikroklimе visoke ločljivosti. Uporabljeni model v raziskavi je validiran glede na eksperimentalne podatke (Envi-met, 2024).

3.1 Izbira območij

Izbrani sta bili dve manjši območji v Ljubljani z različnimi značilnostmi tako glede urbane strukture kot funkcij oziroma rabe. Izbor območij je sledil izhodiščem raziskave, in sicer z namenom preveritve različnih tipov odprtih prostorov glede na njihovo funkcijo, zgradbo ter različno umestitev stavbnih volumnov ter preveritve možnosti za umeščanje vertikalnih ozelenitev na njih. Izbrani območji sta bili vključeni tudi v raziskavo zaznavanja vertikalnih ozelenitev (Kozamernik, 2020; Kozamernik idr., 2020), ki je prav tako del doktorske disertacije avtorice. Prvo izbrano območje (Šiška), območje 1 – Šiška, je območje ob vpadnici v središče mesta, ki vključuje raznolike stavbe stanovanjskih blokov, stavbo osnovne šole Riharda Jakopiča ter stavb mešane rabe (stanovanjske, storitvene, centralne dejavnosti), stavbe so glede na starost različnega nastanka. Odprti prostori med njimi so pretežno javnega značaja, ulice, trgi in ploščadi, športno in otroško igrišče ob šoli ter zelene površine. Fasade so raznolike, med njimi so tudi slepe fasade. Možnosti ozelenitve fasad na območju so bile ugotovljene za fasade osnovne šole, slepe fasade na stanovanjskih blokih in stavbi bližnjega hotela. Drugo izbrano območje je območje poslovno-trgovinskega centra BTC v vzhodnem delu mesta, območje 2 – BTC, ki se navezuje na razsežno gospodarsko-obrtno območje. Večina stavb v območju so predelana industrijska skladišča, nastala v povojnem obdobju. Trgovski center promovira trajnostno preobrazbo, a je zaradi svoje urbane zgradbe eden od največjih toplotnih otokov v Ljubljani. V uličnih koridorjih na obravnavanem območju se na fasadah stavb nizajo servisni in glavni vhodi v poslovne, trgovinske in druge prostore. Tako se na dolgih straneh pretežno nizkih volumnov pojavljajo raznolike odprtine in deli slepih fasad. Možnosti ozelenitve fasad na območju so bile v modelu ugotovljene za vse slepe fasade.

3.2 Oblikovanje modelov in simuliranje

Obravnani območji v Ljubljani sta obsegali 25 ha (območje 1 – Šiška) in 63 ha (območje 2 – BTC). Obe območji sta bili za obdelavo pripravljene v programu QGIS 3.34. S pomočjo vtičnika »Geodata to ENVI-met« so se v Envi-met prenesli osnovni prostorski podatki obravnavanih območij, kjer so se nato izvedli 3D modeliranje, dopolnitev in prilagoditev stavbnih volumnov, izdelali ločeni scenariji ter določile značilnosti materialov glede na variante ozelenitev, poleg tega so se pripravile datoteke z meteorološkimi spremenljivkami in izvedle simulacije. V simulaciji je bilo območje opredeljeno na mreži s horizontalno in vertikalno ločljivostjo 2 m. Celica nad tlemi je bila dodatno razdeljena na pet podcelic za namene boljše višinske ločljivosti v višini pešcev oziroma uporabnikov prostora. Po izvedenih simulacijah so bili rezultati pregledani in v obliki kart analizirani v programu QGIS 3.34. Za ustrezno pripravo obravnavanih območij so se izdelale ločene datoteke geolociranih slojev območij s podatki o obstoječih stavbah, površinah in vegetaciji. Za pripravo območij so bile uporabljene te podatkovne zbirke: kataster stavb (stavbe) (GURS, 2021), kataster GJI (ceste) (GURS, 2021), dejanska raba stavbnih zemljišč (površine) (GURS, 2023), DOF (Google LLC, 2024). Uporabljeni so bili tudi podatki občine (evidenca dreves na javnih površinah) (MOL, 2018), ki so bili dopolnjeni ročno glede na potrebe raziskave (terenski pregled vseh dreves v območju obdelave). V slojih podatkov so bili dodani atributi, prevedeni skladno z načinom zapisa lastnosti posameznih elementov za uporabo v programu ENVI-met (material, sestave, vrste ipd.). Pripisanim vrednostim atributom modela obstoječega stanja (brez zelenih fasad) so bile določene vrednosti za stavbe in površine (npr. beton, asfalt, peščene površine ipd.). Lastnosti atributov vegetacije so bile privzete vrednosti zbirke podatkov ENVI-met, ki vključuje večino dreves, ki se v praksi sadijo v urbanem okolju v mestih primerljivega podnebja. V primeru vrste drevesa na lokaciji, ki je v programski zbirki podatkov še ni, se je uporabil atribut podobne vrste (podobnost drevesa glede na listno sestavo in obliko krošnje). Za zelene stene na posameznih objektih so bile izdelane nove sestave oziroma sloji materialov, in sicer dve sestavi za zelene fasade (zelena fasada z vzpenjalkami, debelina zelenega sloja 20 in 30 cm) in štiri sestave za žive stene (žive stene s substratno mešanico s peščenimi in glinenimi delci in štirje tipi vegetacije – praproti, kosteničevje, trave in hoste).

Ker se raziskava osredotoča na toplotne obremenitve v poletnem času, so bili za namen simuliranja izbrani meteorološki podatki za tipičen vroč poletni dan, 15. avgust 2021, iz meteorološke postaje Ljubljana – Bežigrad ARSO (107). Izbrana meteorološka postaja je območjem najbližja in je ena od državnih postaj, ki zagotavlja urne podatke z opazovanimi vrednostmi (temperatura, vlažnost, smer in hitrost vetra). Meteorološki podatki so bili pridobljeni z arhivske strani ARSO (Agencija Republike Slovenije za okolje, 2021). V vseh simulacijah so bili uporabljeni enaki vhodni meteorološki podatki z namenom medsebojne primerjave scenarijev. Simulacija je obsegala obdobje enega dneva oziroma 24 ur. Izvedenih je bilo šest simulacij, za vsako območje obdelave po tri simulacije (simulacija mikroklimatskih razmer obstoječega stanja, simulacija z uvedenimi vertikalnimi ozelenitvami tipa zelene fasade in simulacija z vertikalnimi ozelenitvami tipa žive stene oz. kombiniranimi sistemi).



Slika 1: Izdelani 3D model območja 2 (BTC) za simulacijo v programu ENVI-met

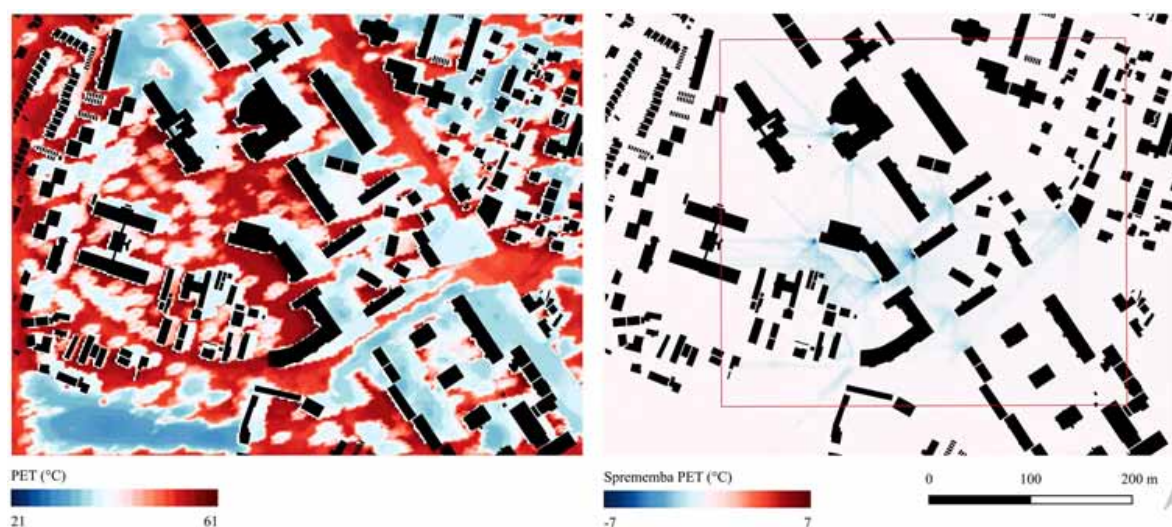
4 Simulacije učinka vertikalne ozelenitve na spremembo ravni toplotnega stresa

S simulacijami dveh urbanih območij v Ljubljani (Šiška in BTC) smo izdelali izračune fiziološke ekvivalentne temperature v teh območjih na posamezno modelirano celico, povprečne vrednosti PET v posameznem območju ter primerjave v zastavljenih scenarijih. Z namenom preveritve učinka vertikalne ozelenitve z vidika morebitne spremembe ravni toplotnega stresa smo v obeh simuliranih območjih za podrobnejšo analizo analizirali tudi dva mikroambienta, igrišče ob šoli Riharda Jakopiča v Šiški in vstopni trg ob vhodu v halo A v trgovskem središču BTC.

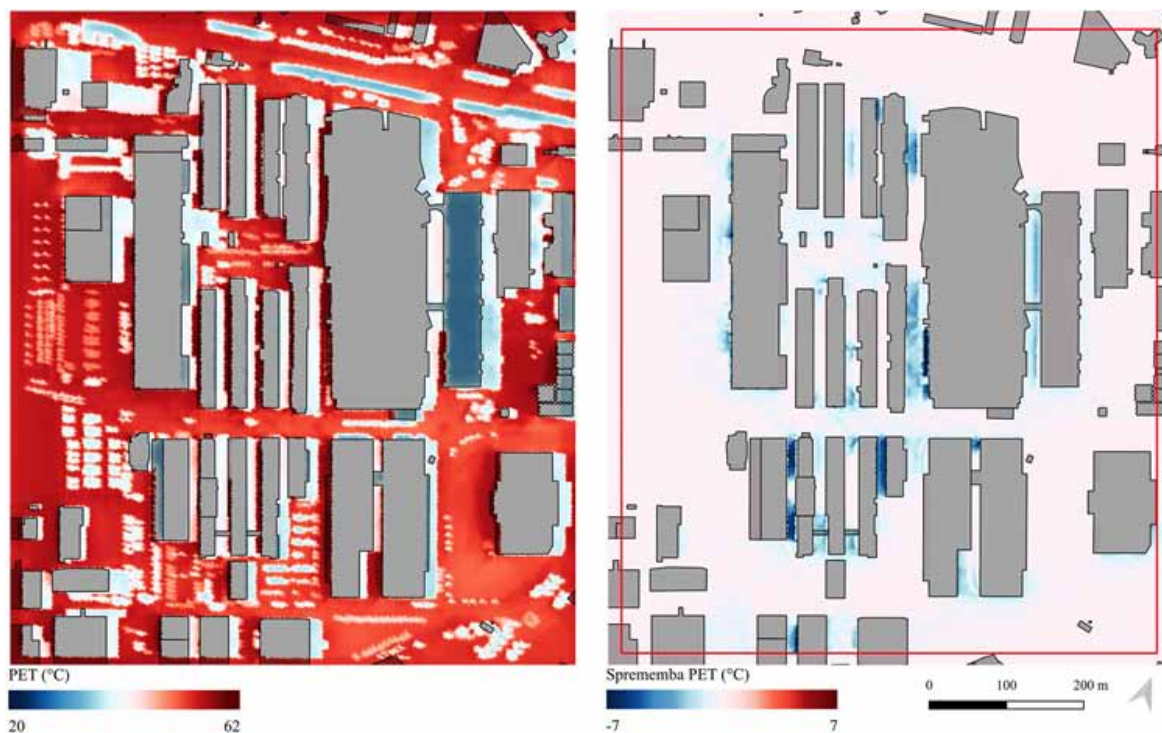
4.1 Toplotna obremenitev v izbranih urbanih območjih in učinki ob vključevanju vertikalnih ozelenitev

Obraavnani območji sta urbanistično zelo različni, tako glede na morfološko zgradbo kot prostorski kontekst, s čimer so pogojene tudi podnebne značilnosti. Rezultat povprečja modelirane PET v simulacijah obstoječega stanja brez vertikalnih ozelenitev kaže na razlike med obravnavanima območjema tako v višini PET kot trajanju toplotne obremenitve čez dan. V modeliranem poletnem dnevu je toplotna obremenitev nad mejo ekstremne toplotne obremenitve (41,1 °C PET) v območju Šiška med 11. in 16. uro (pet ur), medtem ko je v območju BTC med 10. in 18. uro (osem ur). Na ta dan je v obeh območjih PET padla na raven toplotnega ugodja (med 18,1 in 23 °C PET) le ponoči, od polnoči do 6. ure zjutraj, kar nakazuje, da je v Ljubljani v vročih poletnih dneh toplotna obremenitev prisotna večino dneva.

V variantah z vertikalnimi ozelenitvami v obeh obravnavanih območjih se PET, izračunana na celotni območji, ne spremeni oziroma je zanemarljiva (zmanjšanje za 0,1 °C), je pa učinek – zmanjšanje PET – viden v grafični ponazoritvi rezultatov, in sicer v neposredni bližini ozelenjenih fasad. V območju 1 – Šiška so največje razlike vidne v poznopopoldanskih urah (16.00–19.00), in sicer tako glede znižanja PET kot glede širjenja hladilnega učinka v okoliški prostor. Z bližino fasadi se povečuje učinek VO ter zmanjšuje PET, prav tako časovno trajanje učinka. Pregled posameznih odprtih prostorov med stavbami v obravnavanih območjih je pokazal zanemarljiv vpliv VO na večje odprte površine, na primer v območju 2 – BTC je učinek na območju Ameriške ulice ob ozelenjeni fasadi le 0,3 °C PET, sledi območje Argentinske ulice, najmanjši oziroma skoraj neznamenat pa je učinek na območju Trga mladih, ki je osrednja peš promenada v trgovskem središču (za 0,1 °C PET). Učinek pa se kaže v nekaterih uličnih koridorjih, kjer je učinek VO pogojen tudi z morfologijo gradnje oziroma širino in orientacijo koridorjev. Toplotna obremenitev se zaradi ozelenjenih fasad najbolj zniža v ožjih koridorjih, ki so glede na pokritost fasad ozelenjeni v večini (vsaj ena fasada 100 % ali dve nasprotni fasadi po najmanj 50 % ozelenjene vertikalne ploskve), zmanjšanje je za največ 4 °C PET, učinek je tudi v primerih



Slika 2: Grafično prikazani rezultati simulacije na območju 1 (Šiška), levo: vrednosti fiziološke ekvivalentne temperature (PET) ob 16.00 v primeru obstoječega stanja brez VO; desno: sprememba PET v simulaciji z zelenimi fasadami na višini 1,4 m



Slika 3: Grafično prikazani rezultati simulacije na območju 2 (BTC), levo: vrednosti fiziološke ekvivalentne temperature (PET) ob 16.00 v primeru obstoječega stanja brez VO; desno: sprememba PET v modelu oziroma simulaciji z zelenimi na višini 1,4 m

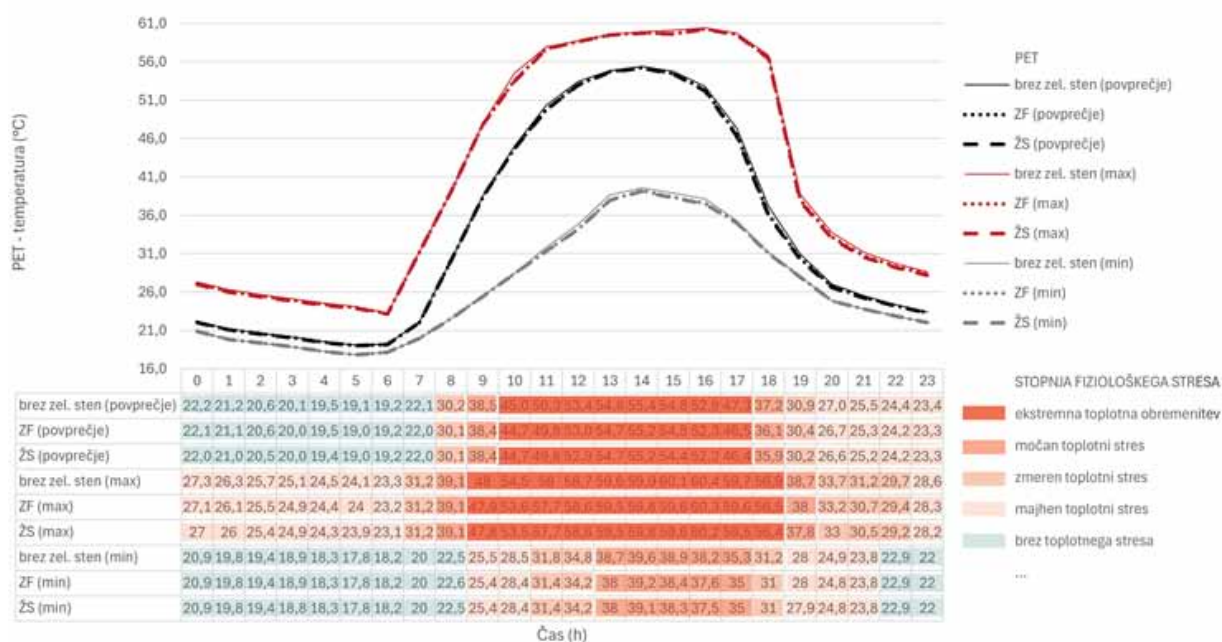
koridorjev z dvema tretjinama ozelenjenih fasad, pri katerih je vpliv ozelenitve na zmanjšanje PET za okvirno 2 °C PET. Rezultati so pokazali, da imajo žive stene minimalno večji učinek na analizirani višini pešca. Če so umeščene na višini, večji od pešca, (npr. od prvega nadstropja višje), v primerjavi z učinkom tipa zelenih fasad nimajo večjega učinka.

Na slikah 2 in 3 so grafični prikazi rezultatov modeliranja zaznavne temperature (PET) na višini 1,4 m od tal, na sliki 2 za območje 1 in na sliki 3 za območje 2. Slike na levi strani predstavljajo izračune PET ob 16. uri za obstoječe stanje (model brez vertikalnih ozelenitev), na desni strani pa izračun razlike med modelom obstoječega stanja (brez vertikalnih ozelenitev) in modelom z VO, umeščenimi na fasade. Na desnih slikah se kažejo stanje oziroma lokacije, kjer je z izračunom simulacije opredeljen hladilni učinek VO.

4.2 Toplotna obremenitev na izbranih mikroobmočjih igrišča in trga

Natančneje sta bili v raziskavi z vidika toplotne obremenitve analizirani dve manjši območji, igrišče ob šoli Riharda Jakopiča (izsek območja Šiška) in trg pred trgovsko stavbo hale A (izsek območja BTC). Analiza rezultatov simulacij PET glede na opredeljene razrede toplotnega stresa po Matzarakis idr. (1999) je pokazala zelo majhne spremembe ob uvedbi VO. V primeru območja OŠ Riharda Jakopiča se PET ob uvedbi vertikalne ozelenitve na stavbi šole sicer zmanjša, vendar nima vpliva na raven toplotnega stresa v območju šolskega igrišča. Na celotnem območju se PET zmanjša za > 0,5 °C med 11. in 12. uro in med 16. in 19. uro, za približno 1 °C pa med 17. in 18. uro. V dopoldanskem času ta razlika ne pomeni zmanjšanja pod mejo ekstremne toplotne obremenitve. Lokalno, na posamezno modelirno celico natančno, v delu analiziranega območja tik ob jugozahodni fasadi stavbe, se v popoldanskem času zniža raven toplotne obremenitve za eno uro, med 17. in 18. uro. Znižanje za največ 7,5 °C PET (pri simulaciji z živimi stenami) oziroma 6,5 °C PET (pri simulaciji z zelenimi fasadami) ob 17. uri pomeni znižanje ravni ekstremne obremenitve na raven velike obremenitve za čas ene ure.

V primeru območja vstopnega trga pred halo A v BTC vertikalne ozelenitve nimajo vpliva na raven toplotnega stresa. Povprečje PET v območju se sicer zmanjša za > 0,5 °C med 9. in 11. uro in med 16. in 17. uro, a ne doseže zmanjšanja za 1 °C. Glede na posamezne lokalne celice je največje zmanjšanje PET za 3,6 °C ob 9. uri, ki pa ne pomeni zmanjšanja pod mejo ekstremne toplotne obremenitve. Na sliki 4 je prikaz primera mi-



Slika 4: Grafični prikaz izračunov PET po posameznih urah za okolje ob šoli Riharda Jakopiča – povprečne PET na območju in PET v posameznih celicah (2 x 2 m) z maksimalnimi in minimalnimi vrednostmi ter razvrstitev vrednosti v skupine glede na stopnje fiziološkega stresa po Matzarakis. V primeru simulacij z VO (ZF, ŽS) znižanje vrednosti PET ni zadostno za znižanje razreda toplotne obremenitve (Matzarakis idr., 1999)

kroobmočja igrišča ob OŠ Riharda Jakopiča glede na modelirane povprečne PET na območju ter razvrstitev v razrede glede na stopnje fiziološkega stresa po Matzarakis (Matzarakis idr., 1999). Izračuni, predstavljeni na grafikonih, kažejo na omejenost učinkovanja vertikalnih ozelenitev. Kljub nekolikšnemu znižanju PET na ravni pešca ob uvedbi ozelenitev ti vplivi ne pomenijo dovolj velike spremembe za doseganje znižanja ravni toplotne obremenitve na nižji obremenitveni razred.

5 Sklep

Učinek ozelenjenih fasad je močno povezan z morfologijo urbanega prostora in umeščenostjo ozelenitev na fasade ter z velikostjo ozelenjene površine. Predvsem je pomembno merilo širina odprtega prostora pred oziroma med ozelenjenimi fasadami – večja je širina, manjši je učinek vertikalne ozelenitve. Ključno merilo je tudi sklenjenost ozelenjene površine na fasadi in velikost te površine glede na površino celotne fasade. Na PET imata vpliv razmerje površine ozelenjene in neozelenjene fasade ter bližina ozelenjene površine na ravni pešca. Rezultati simulacij so sicer dokazali vpliv zelenih fasad na znižanje PET v grajenem okolju, vendar je ta učinek zanemarljiva vrednost oziroma premajhna za znižanje povprečne PET in razreda toplotne obremenitve. Vendar pa zaradi vpliva vertikalnih ozelenitev lahko na posameznih mikrolokacijah pride do znižanja PET v taki višini, da lahko te lokacije opredelimo kot hladne točke, saj se z njimi doseže, da se PET zniža pod raven ekstremne toplotne obremenitve v določenem časovnem intervalu. Te točke sicer lahko opredelimo glede na resolucijo simulacije (velikosti mreže 2 x 2 m) kot možne prostore za zadrževanje, na primer za umeščanje urbane opreme.

Rezultati raziskave tako kažejo, da učinka VO na toplotno ugodje v zunanem prostoru v času vročih poletnih dni ne moremo opredeliti kot pomembnega za nižanje toplotne obremenitve uporabnika zunanjega prostora oziroma za izboljšanje toplotnega ugodja v tem prostoru, saj je učinek VO majhen in izjemno lokalnega značaja. VO lahko opredelimo kot ustrezen ukrep za doseganje koristi le v posameznih specifičnih okoljih oziroma na lokacijah, ob zavedanju časovno omejenih učinkov. Pri sledenju cilja znižanja toplotnega stresa v urbanem okolju je smiselno več pozornosti nameniti drugim, bolj učinkovitim ukrepom s področja zelene infrastrukture v proučevanem zmerno toplem podnebnem pasu. Pri tem moramo opozoriti, da so omejitve te raziskave z vidika uporabe programa modeliranja urbane mikroklimе majhne, saj je program ENVI-met

validiran z meritvami (Kong idr., 2016) in eden izmed vodilnih v raziskovanju in praksi. Omejitve raziskave so povezane predvsem z natančnostjo izdelanega modela (priprava za urbanistično raven). Večja podrobnost modelov stavb, pomožnih elementov in posnetek drugih gradiv (urbane opreme, vegetacije itd.) bi omogočila natančnejše rezultate, a hkrati znatno podaljšala čas simuliranja za vse variantne primere. Raziskava se ob tem ni podrobneje posvečala tematiki vzpostavitve sistemov vertikalnih ozelenitev, v modelu smo privzeli predpostavko o idealnih razmerah oziroma zagotovljenih vseh virih za učinkovito in nemoteno popolno delovanje sistemov VO (zagotovljena količina vode za namakanje, ustrezeni prostor za koreninski sistem ipd.). Zaradi urbanistične ravni proučevanja je v modelih tudi zanemarljiv parameter statične lastnosti stavb, ki mora sicer biti ustrezno upoštevan ob uvedbi VO. Izdelani modeli v raziskavi omogočajo dopolnitev raziskave z dodatnimi analizami glede na različne višinske plasti (npr. učinek nad strehami stavb), kombiniranje z drugimi vidiki opredeljevanja učinkov vertikalnih ozelenitev na ljudi (npr. zaznavanje) ter nadgradnjo modelov za preveritev drugih ukrepov s področja zelene infrastrukture ali kombiniranja različnih ukrepov v primeru iskanja učinkovitejših rešitev za doseganje ciljev večjega učinka zmanjšanja toplotnega stresa v posameznih odprtih prostorih.

Viri in literatura

- Agencija Republike Slovenije za okolje. (2021). Arhiv opazovanih in merjenih meteoroloških podatkov po Sloveniji. <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/>
- Bustami, R. A., Belusko, M., Ward, J. in Beecham, S. (2018). Vertical greenery systems: A systematic review of research trends. *Building and Environment*, 146, 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.045>
- de Jesus, M. P., Lourenço, J. M., Arce, R. M. in Macias, M. (2017). Green façades and in situ measurements of outdoor building thermal behaviour. *Building and Environment*, 119, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.041>
- Envi-met. (2024). Envi-met GmbH. <https://www.envi-met.com/>
- Fikfak, A., Kosanovič, S., Konjar, M., Grom, J. P. in Zbašnik-Senegačnik, M. (2017). The impact of morphological features on summer temperature variations on the example of two residential neighborhoods in Ljubljana, Slovenia. *Sustainability*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/su9010122>
- Hoffmann, K. A., Schröder, S., Nehls, T., Pitha, U., Pucher, B., Zluwa, I., Gantar, D., Šuklje Erjavec, I. in Kozamernik, J. (ur.) (2023). *Vertical Green 2.0 – The Good, the Bad and the Science*. Universitätsverlag der TU Berlin. <https://doi.org/10.14279/depositononce-16619>
- Jim, C. Y. (2015). Greenwall classification and critical design-management assessments. *Ecological Engineering*, 77, 348–362. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.01.021>
- Kong, F., Sun, C., Liu, F., Yin, H., Jiang, F., Pu, Y., Cavan, G., Skelhorn, C., Middel, A. in Dronova, I. (2016). Energy saving potential of fragmented green spaces due to their temperature regulating ecosystem services in the summer. *Applied Energy*, 183, 1428–1440. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.070>
- Kozamernik, J. (2020). Green Walls: Shaping Urban Communication. V F. Berlingieri in F. Zanotto (ur.), *Comparison: Conference for Artistic and Architectural Research*. (str. 155–163). Politecnico Milano. <https://www.letteraventidue.com/it/prodotto/453/comparison>
- Kozamernik, J., Rakuša, M. in Nikšič, M. (2020). How green façades affect the perception of urban ambiances: Comparing Slovenia and the Netherlands. *Urbani izziv*, 31(2), 88–100. <https://doi.org/10.5379/urbani-izziv-en-2020-31-02-003>
- Matzarakis, A., Mayer, H. in Iziomon, M. G. (1999). Applications of a universal thermal index: Physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 76–84. <https://doi.org/10.1007/s004840050119>
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A. in Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- Ottelé, M. (2011). *The Green Building Envelope - Vertical Greening*. Doktorska disertacija. TU Delft. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A1e38e393-ca5c-45af-a4fe-31496195b88d>
- Perini, K. in Rosasco, P. (2013). Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment*, 70(12), 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.012>
- Pfoser, N. (2016). *Fassade und Pflanze, Potenziale einer neuen Fassadengestaltung*. Doktorska disertacija. Technische Universität Darmstadt. <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/5587/>
- Russo, A. in Cirella, G. T. (2018). Modern compact cities: How much greenery do we need? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph15102180>
- Shevchenko, O., Snizhko, S., Zapototskyi, S. in Matzarakis, A. (2022). Biometeorological Conditions during the August 2015 Mega-HeatWave and the Summer 2010 Mega-Heat Wave in Ukraine. *Atmosphere*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/atmos13010099>
- Vidrih, B. in Medved, S. (2011). *Vpliv globalnih podnebnih sprememb in urbanizacije na lokalne klimatske razmere v mestih*. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2010.04.001>

Večkriterijsko vrednotenje modro-zelene infrastrukture

Matej Radinja, Nataša Atanasova

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Izvleček

Upravljanje padavinske vode v naseljih vse pogosteje vključuje modro-zelena infrastrukturo (MZI), to so naravni in sonaravni decentralizirani sistemi namenjeni upravljanju površinskega odtoka, ki hkrati zagotavljajo ekosistemske storitve. Ta študija predstavlja uporabo večkriterijske odločitvene analize za vrednotenje optimiziranih zasnov ukrepov MZI. Šest vrst ukrepov MZI: bioretenzijske enote, deževni vrtovi, zelene strehe, infiltracijski jarki, suhi zadrževalniki in zbiralniki, je bilo najprej optimiziranih za zmanjšanje površinskega odtoka iz prispevnih površin, nato pa analiziranih z dodatnimi kriteriji, kot so investicijski stroški, obratovalni stroški, zahtevana površina, shranjena in zadržana voda ter prostor za rastline. Optimizirani scenariji so bili z metodo kompromisnega programiranja razvrščeni glede na oddaljenost od idealne rešitve. Analiza je pokazala, da v krajino vključeni ukrepi, zlasti suhi zadrževalniki, dosežejo najbolj uravnotežen odnos med stroški in dodatnimi koristmi. V objekte vključeni ukrepi, kot so zelene strehe in zbiralniki deževnice, se uvrščajo v sredino razvrstitve, medtem ko podzemni zbiralniki zaradi visokih stroškov in pomanjkanja dodatnih koristi dosežejo najslabše rezultate. Predlagani okvir omogoča pregledno, na kriterijih temelječo primerjavo ukrepov MZI ter podpira utemeljeno odločanje pri načrtovanju urbane odvodnje.

Ključne besede:

urbana odvodnja, podnebne spremembe, površinski odtok, modro-zelena infrastruktura, dodatne koristi

Abstract

Urban stormwater management increasingly incorporates blue-green infrastructure (BGI), natural and nature-based decentralized systems that manage runoff while providing ecosystem services. This study introduces a multi-criteria decision analysis framework that evaluates optimized BGI designs. Six BGI types—bio-retention cells, rain gardens, green roofs, infiltration trenches, detention ponds, and storage tanks—were optimized for catchment outflow reduction and assessed using criteria such as capital expenditure, operating expenses, land take, retained and detained water, and plant space. Using compromise programming, optimized scenarios were ranked by their distance to an ideal solution. Landscape-integrated BGI, especially detention ponds, achieved the most favourable balance of costs and co-benefits. Building-integrated BGI, including green roofs and rainwater-harvesting storage tanks, showed moderate performance. Underground storage tanks ranked lowest due to limited co-benefits and high costs. The framework allows for a transparent, criteria-based comparison of BGI options, which in turn facilitates informed decision-making in urban stormwater planning.

Keywords:

urban drainage, climate change, surface runoff, blue-green infrastructure, co-benefits

1 Uvod

Tradicionalne rešitve urbane odvodnje (tj. siva infrastruktura) so praviloma zasnovane z enim samim ciljem (npr. poplavna zaščita, zmanjšanje onesnaženja) in ne zagotavljajo dodatnih koristi. Naravi bližja je modro-zelena infrastruktura (MZI), ki krepi naravne hidrološke procese ter zagotavlja dodatne koristi. Zato je treba ukrepe MZI izbirati in načrtovati tako, da nudijo čim več dodatnih koristi.

Večkriterijska odločitvena analiza (angl. *multi-criteria decision analysis*), znana tudi kot večkriterijska analiza (angl. *multiple criteria analysis*), odločanje na podlagi več kriterijev (angl. *multi-criteria decision making*) in odločitvena podpora z več cilji (angl. *multiple objective decision support*), se pogosto uporablja za sprejemanje odločitev, pri katerih se uporabi več kriterijev ali možnosti, na področju upravljanja vodnih virov (Hajkowicz in Collins, 2007; Marttunen idr., 2017). Te pristope lahko opišemo kot odločitvene modele, ki vsebujejo: a) nabor odločitvenih možnosti, ki jih je treba razvrstiti (npr. MZI); b) nabor kriterijev (npr. dodatne koristi) in c) nabor kazalnikov uspešnosti. Hajkowicz in Collins (2007) ter Marttunen idr. (2017) ugotavljajo, da se na področju upravljanja vodnih virov najpogosteje uporabljajo naslednje metode večkriterijske odločitvene analize: analiza mehkih množic, kompromisno programiranje, analitični hierarhični proces (AHP), ELECTRE in PROMETHEE.

Uporabiti je mogoče različne ravni optimizacije MZI in večkriterijskega vrednotenja. Običajno se uporabi en izmed naslednjih pristopov: i) večkriterijsko vrednotenje in izbor MZI brez njene optimizacije; ii) optimizacija MZI z enim ciljem v kombinaciji z večkriterijskim vrednotenjem in izborom MZI ali iii) večciljna optimizacija zasnove MZI.

Prvi pristop temelji na vključenju MZI v hidrološko-hidravlični model, kot je SWMM (Rossman, 2015), in na opazovanju njihovega vpliva na delovanje prispevnega območja (npr. zmanjšanje površinskega odtoka, izboljšanje kakovosti vode ipd.). V tem primeru je vključitev MZI običajno vezana na tipe rabe prostora in prepoznavanje možnih površin za izvedbo (npr. 10 % obstoječih parkov). V naslednjem koraku se pridobljena MZI ovrednoti z eno izmed metod večkriterijske odločitvene analize (npr. Radinja idr., 2019).

Yang in Zhang (2021) sta v hidrološki model MIKE URBAN vključila devet strategij (zelene in sive infrastrukture) ter opazovala njihovo uspešnost. Strategije sta ovrednotila z osmimi količinsko določljivimi kazalniki, med drugim z zmogljivostjo blaženja poplav, zmogljivostjo za obvladovanje onesnaženja, s stroški življenjskega cikla, škodo zaradi poplav, rekreacijsko funkcijo, indeksom biotopov in prostorsko skladnostjo. Predstavnike vlade, raziskovalnih inštitutov, inženirskih podjetij in civilnih skupin sta intervjuvala, da bi preučila preference za kazalnike. Za tehtanje kazalnikov sta uporabila AHP.

Podobne raziskave so izvedli tudi Kourtis idr. (2020) in Li idr. (2017), ki so preučevali delovanje MZI s pomočjo SWMM ter za njihovo celotno oceno uporabili metodo AHP. Zhu idr. (2021) so nato uporabili mehki analitični hierarhični proces (FAHP) za oceno delovanja petih različnih scenarijev prepustnih tlakovanih površin glede na hidrološke, hidravlične, kakovostne in ekonomske kriterije.

Wang idr. (2017) so v SWMM vključili tri sheme MZI, ki zajemajo prepustne tlake, zelene strehe in bioretencijske enote, ter opazovali njihovo delovanje. Sheme so ocenili z dvanajstimi kazalniki za te dejavnike: odpornost, hidravlično delovanje, nadzor nad onesnaženjem, raba deževnice, energijske analize, emisije toplogrednih plinov in stroški. Za večkriterijsko odločitveno analizo sta bila uporabljena entropijsko uteženje in metoda TOPSIS.

Drugi pristop temelji na optimizaciji MZI s specifičnim (enim) ciljem. Cilj je običajno povezan s hidrološkim odzivom prispevnega območja (npr. konica ali skupni odtok, poplavljanje). Ko je določena optimalna zasnova MZI, se ukrepi ovrednotijo z več kriteriji.

Chui idr. (2016) so uporabili SWMM, ki ga je samodejno krmilil MATLAB, za izračun pretoka konice pri različnih zasnovah treh ukrepov MZI (zelene strehe, bioretencija in porozno tlakovanje) pri različnih projektnih nalivih. Nato so določili optimalno zasnovo, opredeljeno kot zasnova z najnižjimi stroški (gradnja, obratovanje in vzdrževanje) in vsaj 20-odstotnim zmanjšanjem pretoka konice.

Tretji pristop se pogosto uporablja z združevanjem SWMM, ki vključuje MZI, z orodjem/algoritmom za večciljno optimizacijo pri iskanju Paretovega optimuma. Posledično uporaba dodatne metode za večkriterijsko vrednotenje ni potrebna, saj sama večciljna optimizacija opredeli najučinkovitejše ukrepe.

Eckart idr. (2018) so razvili celoviti optimizacijsko-simulacijski model, ki poveže SWMM in večciljni evlucijski algoritem Borg (Borg MOEA). Model omogoča večciljno optimizacijo z namenom minimizacije konice pretoka v kanalizaciji, zmanjšanja skupnega odtoka in minimizacije stroškov, pri čemer se SWMM simulacije uporabijo kot orodje za vrednotenje možnih rešitev.

Podobno so McClymont idr. (2020) povezali InfoSWMM z MATLAB in uporabili standardno evlucijsko strategijo (Beyer in Schwefel, 2002) z mutacijskim in križnim operatorjem, podobno genetskemu algoritmu NSGA-II, za optimizacijo MZI (tj. zbiralnik deževnice, zelene strehe, bioretenzijske enote, travnate jarke in prepustne tlake). Model obravnava kakovost in količino vode kot cilje optimizacije, prostorsko razporeditev MZI pa kot odločitvene spremenljivke.

Alves idr. (2020) so povezali SWMM z genetskim algoritmom NSGA-II za vrednotenje in optimizacijo velikosti zeleno-modro-sivih ukrepov (tj. zbiralnik deževnice, prepustni tlak, suhi zadrževalniki, cevovodi). Preučili so dva cilja optimizacije: a) minimizacija skupnih stroškov in maksimizacija zmanjšanja škode zaradi poplav ter b) minimizacija skupnih stroškov in maksimizacija skupnih koristi.

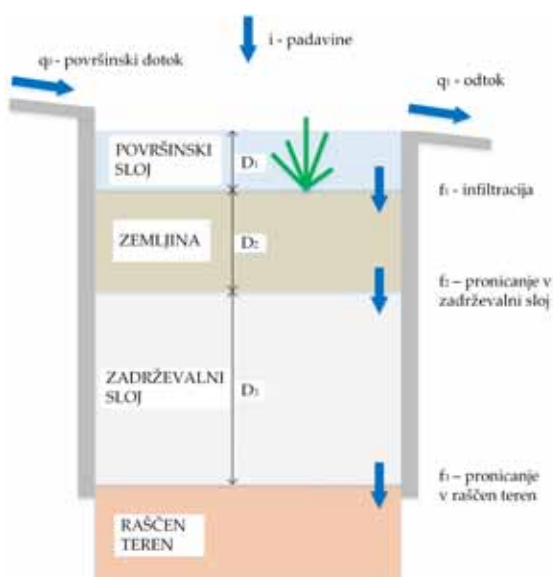
Pregled literature je pokazal, da lahko okviri, ki omogočajo vrednotenje MZI z več kriteriji na podlagi optimiziranih parametrov, olajšajo vključevanje MZI že v fazi načrtovanja. Vendar pa se tovrstni okviri, ki presegajo ovire, značilne za interdisciplinarnе projekte, redko uporabljajo.

Glavni cilj te raziskave je razviti sistem za vrednotenje dodatnih koristi MZI na podlagi njihovih projektnih parametrov ob primerljivem zmanjšanju odtoka s prispevnega območja. Za vrednotenje MZI z dodatnimi kriteriji (tj. investicijski stroški, obratovalni stroški, potrebna površina, shranjena voda, zadržana voda, prostor za rastline) smo uporabili večkriterijsko odločitveno analizo.

2 Modro-zelena infrastruktura: zasnova in optimizacija

2.1 Vrste in koncepti MZI

V tej študiji je MZI zasnovana na načelih in enačbah, ki jih SWMM uporablja za modeliranje ukrepov LID (Rossman, 2015), tj. bioretenzijske enote (slika 1), deževni vrtovi, zelene strehe in infiltracijski jarki. Bioreten-



Slika 1: Konceptualni model bioretenzijske enote (povzeto po Rossman, 2015)

Preglednica 1: Sloji, značilni za posamezne ukrepe MZI (X – zahtevani sloj; O – opcijski sloj) (povzeto po Rossman, 2015)

Ukrep MZI	Površinski sloj	Zemljina	Zadrževalni sloj	Drenaža, drenažna folija, dušilka
Zbiralniki deževnice			X	X
Suhi zadrževalniki	X			
Infiltracijski jarki	X		X	O
Deževni vrtovi	X	X		
Bioretenzijske enote	X	X	O	O
Zelene strehe	X	X		X

zijske enote so depresije z vegetacijo, ki raste v zemljini (rastni substrat) nad gramoznim zadrževalnim slojem. Zagotavljajo shranjevanje, infiltracijo in izhlapevanje neposrednih padavin ter odtoka, zajetega s sosednjih

Preglednica 2: Spremenljivke, uporabljene za opis MZI

Spremenljivke			
Ime v EPA-SWMM	Ime v ProBMoT	Opis	Enota
d_1	d1	Višina vode, shranjene na površini	m
d_3	d3	Globina vode v zadrževalnem sloju	m
θ_2	mc2	Vsebnost vlage v zemljinem sloju (volumen vode/skupni volumen zemljine)	delež
i	i	Intenziteta padavin	m/s
q_0	q0	Dotok v površinski sloj	m/s
q_1	q1	Odtok iz površinskega sloja	m/s
f_1	f1	Hitrost infiltracije površinske vode v zemljinski sloj	m/s
f_2	f2	Hitrost pronicanja vode skozi zemljinski sloj v zadrževalni sloj	m/s
f_3	f3	Hitrost pronicanja vode iz zadrževalnega sloja v raščeni teren	m/s

Preglednica 3: Konstante, uporabljene za opis MZI

Konstante			
Ime v EPA-SWMM	Ime v ProBMoT	Opis	Enota
A	A	Velikost površine	m ²
W	W	Širina površine	m
S	S	Naklon površine	m/m
n_1	n1	Koeficient hrapavosti površine	s/m ^{1/3}
n_3	n3	Koeficient hrapavosti drenažne podlage	s/m ^{1/3}
D_1	D1	Višina do prelivnega roba na površini	m
D_2	D2	Debelina zemljinkega sloja	m
D_3	D3	Debelina zadrževalnega sloja	m
ϕ_1	VF1	Delež por v površinskem volumnu (tj. delež prostega površinskega volumna, ki ni zapolnjen z rastlinami)	delež
ϕ_2	VF2	Poroznost zemljinkega sloja	delež
ϕ_3	VF3	Delež por v zadrževalnem sloju	delež
K_2S	K2S	Nasičena hidravlična prepustnost zemljine	m/s
K_3S	K3S	Nasičena hidravlična prepustnost matične zemljine	m/s
ψ_2	SH2	Sesalna višina na čelu omočitve, nastalem v zemljini	m
HCO	HCO	Konstanta za zmanjšanje hitrosti pronicanja vode	/
θ_{20}	IMC2	Začetna vsebnost vlage v zemljini oz. točka venenja	delež
θ_{FC}	FC	Vsebnost vlage pri poljski kapaciteti	delež

površin. Bioretenzijsko enoto je mogoče uporabiti kot generični model MZI, ki ga nato prilagodimo za opis vedenja drugih vrst MZI (preglednica 1). Na podlagi načel in tipičnih enačb za te ukrepe sta bili definirani še dve vrsti MZI: suhi zadrževalniki in zbiralniki deževnice.

Procese, ki zaznamujejo posamezno MZI, opisujejo enačbe, predstavljene v Radinja idr. (2021a). Uporabljene spremenljivke in konstante so podane v preglednici 2 in 3, saj se nanje pozneje sklicujemo.

2.2 Modeliranje in optimizacija MZI

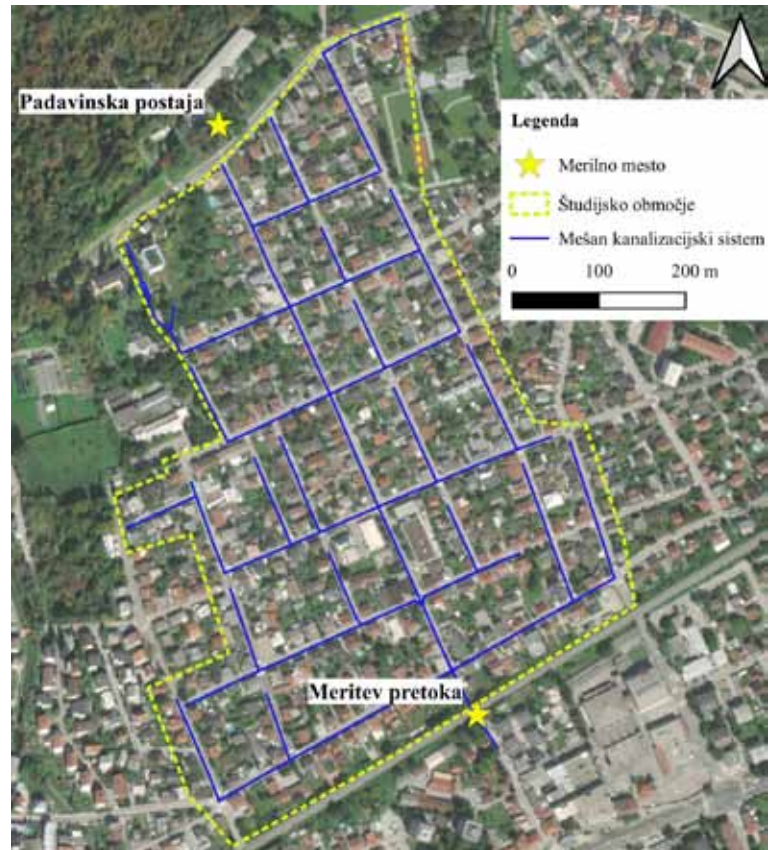
Raziskava temelji na predhodnih raziskavah (Radinja idr., 2021a, 2021b), ki so se osredotočile na uporabo avtomatiziranega modeliranja z orodjem Process-Based Modelling Tool (ProBMoT) (Džeroski idr., 2020).

ProBMoT omogoča vključitev domenskega znanja, formaliziranega kot predloge komponent za gradnjo procesnih modelov, v postopek odkrivanja enačb iz meritev. Samodejno opredeli strukturo in vrednosti parametrov ustreznega procesnega modela, kadar so zagotovljeni a) knjižnica znanja (matematična formulacija izbranega področja) v obliki komponent modela (predloge entitet in procesov); b) konceptualni model opazovanega sistema in c) meritve. V predhodnih raziskavah je bil ProBMoT uporabljen a) za iskanje najustrežnejšega hidrološkega modela z združevanjem več alternativ za opis hidroloških procesov, b) za umerjanje parametrov hidrološkega modela na podlagi meritev (Radinja idr., 2021b) in c) za načrtovanje MZI na podlagi ciljnega odtoka s prispevnega območja (Radinja idr., 2021a).

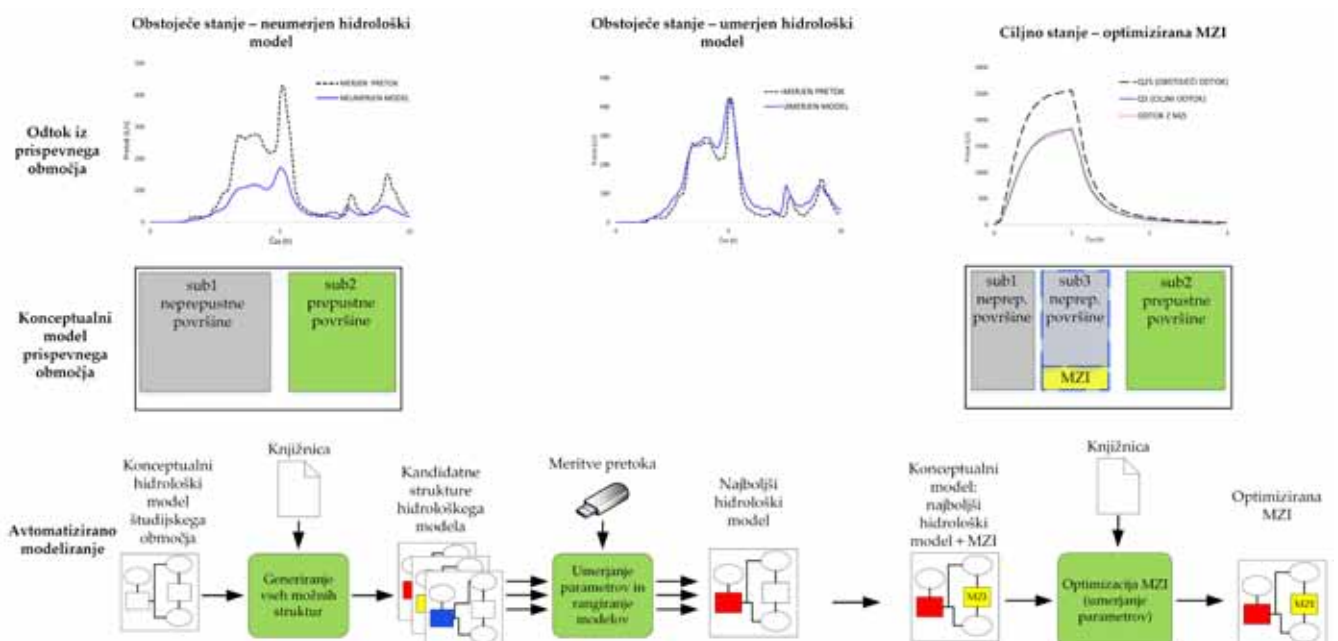
Predstavljene metode so bile uporabljene na študijskem območju – delu Rožne doline v Ljubljani (slika 2) – z razvojem specifičnih konceptualnih modelov in pridobivanjem potrebnih podatkov, vključno z infiltracijo, padavinami, meritvami pretoka in rabo prostora.

Konceptualni model študijskega območja (slika 3) je bil zasnovan kot en razdelek (prispevno območje), razdeljen na dva podrazdelka (sub1 in sub2), kjer sub1 predstavlja neprepustni del prispevnega območja, sub2 pa prepustni del.

Da bi upoštevali MZI, je bil uveden nov podrazdelek (sub3), ki vključuje površino MZI in pripadajočo prispevno območje. MZI lahko umestimo bodisi v del obstoječih prepustnih površin bodisi na neprepustne površine. V primeru zelenih streh ukrep deluje tudi kot prispevno območje, saj prejema neposredne padavine. Zaradi preglednosti je bil za vsako vrsto MZI opredeljen ločeni konceptualni model.



Slika 2: Študijsko območje v Rožni dolini, Ljubljana



Slika 3: Shema odkrivanja hidroloških modelov in načrtovanja MZI z orodjem za avtomatizirano modeliranje ProBMoT. Prikazan je razvoj strukture konceptualnega modela od izhodiščnega konceptualnega modela z dvema podrazdelkoma do konceptualnega modela, ki vključuje MZI in sestoji iz treh podrazdelkov, ter njihov vpliv na odtok iz prispevnega območja.

Začetni rezultati optimizacije MZI so pokazali, da en ukrep MZI z enoličnimi karakteristikami ne more dosledno slediti dinamiki padavinskih dogodkov in doseči zelenega odtoka s prispevnega območja. Na primer, suhi zadrževalniki in zbiralniki zagotavljajo začasno zadrževanje, po katerem se odtok nadaljuje (Radinja idr., 2021a). Da bi to omejitev odpravili, je bil prvotni podrazdelek MZI (sub3) razdeljen na tri podenote (sub3, sub4 in sub5). Tak način je omogočil zasnovo ukrepov MZI iste vrste z različnimi lastnostmi (npr. dimenzijami). Optimizirana konfiguracija teh podenot tvori ločene scenarije MZI.

2.3 Večkriterijska odločitvena analiza za MZI

Iskanje optimalne zasnove MZI je bilo izvedeno za projektni dogodek DE_Q5_P25. Ta dogodek predstavlja kombinacijo odtoka, značilnega za 5-letne padavine (Q5), in padavin s 25-letno povratno dobo (P25). Zadrževana je bila enaka ali boljše hidrološka učinkovitost kot ciljni odtok s prispevnega območja. Natančneje, razmerje skupnega volumna (angl. *total volume ratio* – TVR) in razmerje konice pretoka (angl. *peak flow ratio* – PFR) mora biti $\leq 1,0$. Zato hidrološka učinkovitost MZI ni del večkriterijske odločitvene analize. Poleg tega so bile odstranjene nekatere prej uporabljene omejitve zasnove (npr. površina), da je mogoče MZI primerjati z dodatnimi kriteriji ob podobni hidrološki učinkovitosti.

Razvit je bil sistem vrednotenja, ki omogoča oceno MZI z dodatnimi kriteriji (npr. investicijski stroški (CAPEX), obratovalni stroški (OPEX), prostor za rastline ipd.), ki temelji na parametrih zasnove MZI. Optimizirane vrednosti parametrov MZI so uporabljene za količinsko opredelitev njihove uspešnosti glede na dodatne kriterije (preglednica 4).

Preglednica 4: Značilnosti kriterijev, uporabljenih v večkriterijski odločitveni analizi

Skupina kriterijev	Kriterij	Merska enota	Uporabljeni MZI parametri in spremenljivke	Izračun kriterija
Finance in zemljišče	Stroški investicije (CAPEX)	EUR	A, D1, D2, D3, VF1-3, K2S	Preglednica 6 Izračun invest. stroškov
	Obratovalni stroški (OPEX)	EUR	A, D1, D2, D3	Preglednica 5 Izračun obratovalnih stroškov
	Površina ukrepa	m ²	A	A
Dodatne koristi	Shranjena voda – ponovna uporaba vode	m ³	A, D1	A×D1
	Zadržana voda – vračanje v vodni krog	m ³	i, q0, q1	$i+q_0-q_1$
	Prostor za rastline	[%]	VF1	$(1 - VF1) \times 100$

Kriterije, in sicer potrebno površino, shranjeno vodo, zadržano vodo in prostor za rastline, je mogoče preprosto izračunati z že določenimi spremenljivkami in parametri MZI. Za določitev CAPEX in OPEX so bile zagotovljene dodatne informacije (preglednici 5 in 6).

V kontekstu večkriterijske odločitvene analize je bil ukrep zbiralniki deževnice dodatno razdeljen na dva podtipa: podzemni zadrževalni bazeni in zbiralniki deževnice. Podzemne zadrževalne bazene obravnavamo kot tipične predstavnike centralizirane sive infrastrukture, kjer ima posamezni element volumen nekaj sto m³, vključene kot del kanalizacijskega sistema. Zbiralnike deževnice pa obravnavamo kot ukrep neposrednega zajema deževnice s strehe, kjer ima posamezni element volumen le nekaj m³. Razlike med podtipoma se pojavijo pri kriterijih CAPEX, potrebna površina in shranjena voda (ponovna raba).

Vrednosti CAPEX (preglednica 4) in OPEX (preglednica 5) za MZI so bile izračunane na podlagi vrednosti, ki jih predlaga orodje Low Impact Development Life Cycle Costing Tool (Uda idr., 2013), posodobljeno leta 2018. Dodatno je bila uporabljena analiza ocenjevanja stroškov ukrepov LID (U.S. Environmental Protection Agency, 2015) za določitev najrelevantnejših stroškovnih postavk pri izračunu CAPEX. Stroški zemljišč in infrastrukture za odvajanje vode s prispevnih območij do MZI (npr. cevi, jarki) niso bili upoštevani.

Pri revalorizaciji cen so bile sprejete naslednje finančne predpostavke: a) letna inflacija 3 % in b) menjalni tečaj 1 EUR = 1,52 CAD. Gre za parametre, ki jih je mogoče prilagoditi aktualnim finančnim razmeram.

Kljub temu razmerja med cenami MZI ostajajo enaka, zato ti dve predpostavki nimata neposrednega vpliva na končne rezultate večkriterijske odločitvene analize.

Po kvantifikaciji delovanja MZI z dodatnimi kriteriji smo rezultate primerjali z večkriterijsko odločitveno analizo, natančneje s kompromisnim programiranjem (Yu, 1973; Zelany, 1974). Namen kompromisnega programiranja je izbrati rešitev, ki je najbližje idealni rešitvi, pri čemer poudarja pomen razdalje in merjenja razdalje pri odločanju. Ob predpostavki, da so vsi cilji maksimizacijski (tj. več je bolje), lahko model kompromisnega programiranja opišemo z družino L_p -metrik (En. 1) (Ringuest, 1992):

$$\min L_p = \left[\sum_{i=1}^q \left(w_i \frac{(f_i^* - f_i(x))}{(f_i^* - f_{i*}(x))} \right)^p \right]^{1/p} = \left[\sum_{i=1}^q (w_i d_i)^p \right]^{1/p}, x \in X \quad (1)$$

Pri tem je x vektor odločitvenih spremenljivk; X predstavlja množico dopustnih rešitev; $f_i(x)$ je matematični izraz za i -ti kriterij ($i \in \{1, \dots, q\}$); $f^* = f_1^*(x), \dots, f_i^*(x), \dots, f_q^*(x)$ predstavlja vektor sidnih vrednosti oziroma idealno točko; $f_* = f_{1*}(x), \dots, f_{i*}(x), \dots, f_{q*}(x)$ predstavlja vektor nadirnih oziroma antiidealnih vrednosti; $d_i = \frac{(f_i^* - f_i(x))}{(f_i^* - f_{i*}(x))}$ pomeni stopnjo odstopanja za i -ti kriterij (tj. normirano razliko med idealno vrednostjo in dejansko doseženo vrednostjo i -tega kriterija); w_i je utež oziroma relativna pomembnost i -tega kriterija; p je parameter, ki določa, katera izmed družine L_p metrik se uporabi ($1 \leq L_p \leq \infty$) (André and Romero, 2008). Vpliv p je v tem, da bolj ali manj poudari relativni prispevek posameznih odstopanj: večja je izbrana vrednost p , večji poudarek ima največje odstopanje v skupni razdalji; pri $p = \infty$ največje odstopanje popolnoma prevlada; vrednost $p = 1$ pa implicira najdaljšo geometrijsko razdaljo med dvema točkama, kar pomeni, da se odstopanja seštevajo prek vseh dimenzij (Ringuest, 1992).

V tej raziskavi so bili kriteriji v kategoriji finance in zemljišče uteženi z $w = 1,0$, medtem ko so bili kriteriji dodatnih koristi uteženi z $w = 0,7$, kar odraža njihovo tradicionalno obravnavo med deležniki (pogosto manj pomembni ali spregledani) (Alves idr., 2018; El Hattab idr., 2020). Parameter p v metrikah L_p je bil nastavljen na 1,0.

3 Primerjava in rangiranje optimiziranih scenarijev MZI

Optimizirane konfiguracije scenarijev MZI za projektni dogodek DE_Q5_P25 so predstavljene v preglednici 7. Kot že navedeno, je bila zahtevana enaka ali boljša hidrološka učinkovitost glede na ciljni odtok s prispevnega območja (TVR in $PFR \leq 1,0$). Preglednica 7 prikazuje tudi hidrološko učinkovitost scenarijev MZI z Nash-Sutcliffe koeficientom (NSE), TVR in PFR . Vsi scenariji so izpolnili zahtevane kriterije, zato hidrološka učinkovitost v večkriterijski odločitveni analizi ni upoštevana.

Preglednica 5: Letni obratovalni stroški in predpostavljene dimenzije MZI

MZI	OPEX ¹	Predpostavljene dimenzije MZI	
		Površina ukrepa [m ²]	Širina ukrepa [m]
Podzemni zadrževalni bazeni	27,01 EUR/m ³		
Zbiralniki deževnice	27,01 EUR/m ³		
Suhi zadrževalniki	9,75 EUR/m ²	50	
Infiltracijski jarki (odtok s streh)	0,61 EUR/m ²	25	2
Deževni vrtovi	6,07 EUR/m ²	25	5
Bioretenzijske enote	6,07 EUR/m ²	25	5
Zelene strehe (ekstenzivne)	0,72 EUR/m ²	100	

¹ Povzeto po Low Impact Development Life Cycle Costing tool (Uda idr., 2013).

Na podlagi optimiziranih zasnov MZI in predstavljenega načina vrednotenja (preglednice 3–5) je bila uspešnost scenarijev MZI ocenjena z dodatnimi kriteriji (preglednica 8). Podzemni zbiralniki in zelene strehe ne zahtevajo dodatne površine za izvedbo. Samo zbiralniki deževnice shranjujejo vodo tako, da jo je mogoče ponovno uporabiti. Suhi zadrževalniki, infiltracijski jarki, deževni vrtovi in bioretenzijske enote vodo zadržujejo ter vračajo v naravni vodni krog. Podzemni zadrževalni bazeni, zbiralniki deževnice in infiltracijski jarki ne zagotavljajo prostora za rastline, saj je celotni volumen zadrževalnega sloja namenjen vodi (delež por je 1,00). V suhih zadrževalnikih je 10 % zadrževalnega sloja namenjenega rastlinam (delež por 0,90). Deževni vrtovi, bioretenzijske enote in zelene strehe zagotavljajo 20 % volumna zadrževalnega sloja za rastline (delež por 0,80).

Preglednica 6: Uporabljene stroškovne postavke za izračun investicijskih stroškov posameznih elementov MZI

Stroškovna postavka	CAPEX ¹				MZI						
	Enota	EUR/enoto	Podzemni zadrževalni bazeni	Zbiralniki deževnice	Suhi zadrževalniki	Infiltracijski jarki	Deževni vrtovi	Bioretenzijske enote	Zelene strehe		
Čiščenje terena in odstranitev vegetacije	m ²	1,30	A	A	A	A	A	A			
Zemeljski izkop	m ³	11,48	MZIV ²		MZIV	MZIV	MZIV	MZIV			
Odvoz in odlaganje izkopnega materiala	m ³	11,27	MZIV		MZIV	MZIV	MZIV	MZIV			
Polaganje zgornje (humusne) plasti prsti in načrtovanje	m ³	6,29					D2*A	D2*A			
Rastni/sadilni substrat	m ³	30,25					D2*A	D2*A			
Mešanica substrata za zeleno streho	m ²	31,76							D2*A		
Glineni tesnilni sloj	m ²	15,74			MZI A						
Drobni prod (≈ frakcija 4–8 mm)	m ³	35,20							D3*A		
Tamponski (nosilni) sloj iz gramoza/drobljenca	m ³	31,03				D3*A	D3*A	D3*A			
Zasaditev – standardna	m ²	58,79					A	A			
Zasaditev – zahtevna/raznolika	m ²	88,41							A		
PVC drenažna cev	m	45,44				Dolžina MZI					
Hidroizolacijska membrana	m ²	20,69			A				A		
Koreninska bariera	m ²	3,96							A		
Geotekstilni filtrirni sloj	m ²	7,99				A	A	A	A		
Prelivni objekt	kos	4030,53			1						
Nadzemni zadrževalnik	m ³	241,61		MZIV							
Podzemni zadrževalnik	m ³	617,46	MZIV								
Projekantske storitve	%		10 %	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %		
Nepredvidena dela	%		15 %	15 %	15 %	15 %	15 %	15 %	15 %		

¹ Povzeto po Low Impact Development Life Cycle Costing Tool (Uda idr., 2013) in Low Impact Development Stormwater Control Cost Estimation Analysis (U.S. Environmental Protection Agency, 2015).

² MZIV – Volumen MZI.

Preglednica 7: Optimalne vrednosti parametrov MZI za projektni naliv DE_Q5_P25, uporabljenih v večkriterijski odločitveni analizi

MZI	Sub	A	W	S	n1	n3	D1	D2	D3	VF1	VF2	VF3	K2S	K3S	SH2	HCO	IMC2	FC	NSE	TVR	PFR
Podzemni zadrževalni bazeni	Sub3	400					4,00			1,00									0,978	0,923	0,943
	Sub4	300					1,00			1,00											
	Sub5	400					3,87			1,00											
Zbiralniki deževnice	Sub3	600					2,50			1,00									0,978	0,923	0,942
	Sub4	600					2,50			1,00											
	Sub5	300					1,00			1,00											
Suhi zadrževalniki	Sub3	300					1,00			0,90									0,983	0,931	0,945
	Sub4	696					2,50			0,90											
	Sub5	690					2,50			0,90											
Infiltracijski jarki – odtok s streh	Sub3	966					0,19		3,50	1,00		0,35		2,60E-05							
	Sub4	981					0,16		3,45	1,00		0,35		2,60E-05					0,991	0,939	0,940
	Sub5	400					0,00		0,90	1,00		0,35		2,60E-05							
Deževni vrtovi	Sub3	806					0,10	0,60		0,80	0,50		3,32E-05	2,60E-05	0,05	39,3	0,08	0,15		0,966	0,935
	Sub4	2000					0,30	0,85		0,80	0,50		3,32E-05	2,60E-05	0,05	39,3	0,08	0,15	0,971		
	Sub5	2000					0,30	0,70		0,80	0,50		3,32E-05	2,60E-05	0,05	39,3	0,08	0,15			
Bioretenzijske enote	Sub3	500					0,10	0,60	0,90	0,80	0,50	0,35	3,32E-05	2,60E-05	0,05	39,3	0,08	0,15		0,954	0,931
	Sub4	3000					0,30	0,71	0,90	0,80	0,50	0,35	3,32E-05	2,60E-05	0,05	39,3	0,08	0,15	0,989		
	Sub5	3000					0,30	0,99	0,16	0,80	0,50	0,35	3,32E-05	2,60E-05	0,05	39,3	0,08	0,15			
Zelene strehe (ekstenzivne)	Sub3	18000	1800	0,02	0,40	0,02	0,08	0,13	0,03	0,80	0,50	0,30	3,88E-05		0,08	39,3	0,08	0,4			
	Sub4	18000	1800	0,02	0,40	0,02	0,07	0,13	0,05	0,80	0,50	0,30	3,88E-05		0,08	39,3	0,08	0,4	0,998	1,025	0,991
	Sub5	18000	1800	0,02	0,40	0,02	0,01	0,13	0,05	0,80	0,50	0,30	3,82E-05		0,08	39,3	0,08	0,4			

Preglednica 8: Uspešnost scenarijev MZI, ocenjenih z dodatnimi kriteriji

MZI	Kriterij					
	Finance in zemljišče			Dodatne koristi		
	CAPEX [EUR]	OPEX [EUR]	Površina ukrepa [m ²]	Shranjena voda – ponovna uporaba vode [m ³]	Zadržana voda – vračanje v vodni krog [m ³]	Prostor za rastline [%]
Podzemni zadrževalni bazeni	3.465.287,91 EUR	114.527,50 EUR	0	0	0	0,0
Zbiralniki deževnice	1.178.101,23 EUR	96.617,57 EUR	1500	3300	0	0,0
Suhi zadrževalniki	330.012,29 EUR	16.448,93 EUR	1687	0	3765	10,0
Infiltracijski jarki	703.671,26 EUR	1.421,59 EUR	2347	0	3314	0,0
Deževni vrtovi	775.704,87 EUR	29.169,53 EUR	4806	0	3271	20,0
Bioretenzijske enote	1.368.431,32 EUR	39.448,29 EUR	6500	0	3382	20,0
Zelene strehe	8.448.316,37 EUR	38.636,78 EUR	0	0	0	20,0

Pridobljeni rezultati so bili uporabljeni za določitev idealnih in antiidealnih vrednosti kriterijev v okviru kompromisnega programiranja (preglednica 9). Nato so bile za vsak kriterij izračunane normalizirane razlike med scenariji, kar je omogočilo izračun vrednosti L_p . Na podlagi rezultatov kompromisnega programiranja lahko oblikujemo tri skupine MZI: 1) v krajino vključeni ukrepi, 2) v objekte vključeni ukrepi in 3) siva infrastruktura.

Najboljše ocene so dosegli v krajino vključeni ukrepi, to so suhi zadrževalniki, deževni vrtovi, infiltracijski jarki in bioretenzijske enote. Suhi zadrževalniki so dosegli najboljšo skupno oceno ($L_p = 1,44$), saj zahtevajo najnižji CAPEX ter nizke vrednosti za OPEX in zahtevano površino, hkrati pa zadržijo največ vode, ki se lahko vrne v naravni vodni krog. Deževni vrtovi in infiltracijski jarki so dosegli podobni oceni ($L_p = 1,83$ in $1,89$). Čeprav infiltracijski jarki zahtevajo najnižji OPEX in majhne površine, ne zagotavljajo prostora za rastline. Deževni vrtovi to pomanjkljivost nadomestijo z največjim deležem prostora za rastline, ob nekoliko višjem OPEX in zahtevani površini. Bioretenzijske enote ($L_p = 2,24$) so primerljive z deževnimi vrtovi, a so se pri večini kriterijev odrezale slabše in zahtevajo največjo površino med vsemi ukrepi.

Drugo najboljšo oceno so dosegli v objekte vključeni ukrepi, to so zbiralniki deževnice in zelene strehe ($L_p = 2,57$ in $2,73$). Najslabšo oceno je dosegel predstavnik sive infrastrukture, to je podzemni zadrževalni bazen ($L_p = 3,48$). Čeprav zbiralniki deževnice in podzemni zadrževalni bazeni temeljijo na istih procesih, imajo zbiralniki deževnice nižja CAPEX in OPEX ter zagotavljajo dodatne koristi s shranjevanjem vode na prispevnem območju. Po drugi strani pa je za njihovo izvedbo treba zagotoviti prostor. Podzemni zadrževalni bazeni zahtevajo najvišji OPEX in ne zagotavljajo dodatnih koristi. Zelene strehe imajo najvišji CAPEX in ne shranjujejo ali zadržujejo vode, vendar ne zahtevajo dodatnih površin ter zagotavljajo največ prostora za rastline.

4 Analiza uspešnosti in možnosti izboljšav modro-zelene infrastrukture

Ob upoštevanju značilnosti obravnavanega prispevnega območja so rezultati večkriterijske odločitvene analize pokazali, da so v krajino vključeni ukrepi MZI (suhi zadrževalniki, infiltracijski jarki, deževni vrtovi in bioretenzijske enote) ugodnejši od v objekte vključenih ukrepov MZI (zelene strehe in zbiralniki deževnice). Le-ti imajo visoka CAPEX in OPEX ter zagotavljajo le eno dodatno korist. Podzemni zadrževalni bazeni so se pokazali za najmanj ugoden ukrep, saj ne zagotavljajo dodatnih koristi, zahtevajo najvišji OPEX in drugi najvišji CAPEX. Alves idr. (2019) so pokazali, da je kombinacija zeleno-modro-sive infrastrukture najboljša strategija prilagajanja, saj se alternative medsebojno dopolnjujejo z različnimi vrstami koristi. Zato je treba v prihodnjih raziskavah preučiti scenarije MZI, ki združujejo različne ukrepe.

Izbor kriterijev za večkriterijsko odločitveno analizo neposredno vpliva na rezultate vrednotenja, zato je pomembno izbrati nabor, ki pokriva različne vidike MZI in s tem zmanjša morebitno pristranskost.

Preglednica 9: Vrednotenje scenarijev MZI z uporabo kompromisnega programiranja

Parameter kompromisnega programiranja	Kriterij						
	Finance in zemljišče			Dodatne koristi			
	CAPEX [EUR]	OPEX [EUR]	Površina ukrepa [m ²]	Shranjena voda – ponovna uporaba vode [m ³]	Zadržana voda – vračanje v vodni krog [m ³]	Prostor za rastline [%]	
Idealna vrednost	330.012,29 EUR	1.421,59 EUR	0	3300	3765	20,00	
Antiidealna vrednost	8.448.316,37 EUR	114.527,50 EUR	6500	0	0	0,00	
Utež (wi)	1,00	1,00	1,00	0,70	0,70	0,70	
MZI	d_i – normirana razlika (stopnja odstopanja)						
Podzemni zadrževalni bazeni	0,38	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	
Zbiralniki deževnice	0,09	0,84	0,23	0,00	1,00	1,00	
Suhi zadrževalniki	0,00	0,13	0,26	1,00	0,00	0,50	
Infiltracijski jarki	0,05	0,00	0,36	1,00	0,12	1,00	
Deževni vrtovi	0,05	0,25	0,74	1,00	0,13	0,00	
Bioretenzijske enote	0,13	0,34	1,00	1,00	0,10	0,00	
Zelene strehe	1,00	0,33	0,00	1,00	1,00	0,00	
MZI	$(w^i d_i)^p$ – uteženo odstopanje i-tega kriterija, povišano na potenco p						L_p
Podzemni zadrževalni bazeni	0,38	1,00	0,00	0,70	0,70	0,70	3,48
Zbiralniki deževnice	0,09	0,84	0,23	0,00	0,70	0,70	2,57
Suhi zadrževalniki	0,00	0,13	0,26	0,70	0,00	0,35	1,44
Infiltracijski jarki	0,05	0,00	0,36	0,70	0,08	0,70	1,89
Deževni vrtovi	0,05	0,25	0,74	0,70	0,09	0,00	1,83
Bioretenzijske enote	0,13	0,34	1,00	0,70	0,07	0,00	2,24
Zelene strehe	1,00	0,33	0,00	0,70	0,70	0,00	2,73

V tej raziskavi smo uporabili dve skupini kriterijev (finance in potrebna površina ter dodatne koristi), vsaka pa je vsebovala tri kriterije.

Predlagani okvir vrednotenja je mogoče razširiti z dodatnimi kriteriji. Na primer, vezavo ogljika z rastlinami bi lahko ocenili z vidika površine MZI in prostora za rastline (parameter VF1), vendar bi bilo treba natančneje opredeliti vrste rastlin. Podobno bi lahko pri zelenih strehah ocenili prihranke pri hlajenju/ogrevanju stavb ali blaženju urbanega toplotnega otoka na podlagi površine MZI (Alves idr., 2019).

Za vrednotenje prihodnjih scenarijev, ki jih je mogoče izraziti z vhodnimi podatki ali obstoječimi parametri, prilagoditve okvira niso potrebne. Vplive spremenjenih podnebnih vzorcev (npr. večje intenzitete padavin) ali urbanizacije (npr. povečana nepropustnost) je mogoče upoštevati z uvedbo novih vhodnih podatkov ali spremembo obstoječih parametrov. Tako nam predlagani okvir omogoča opredelitev bolj robustnih in odpornih scenarijev MZI.

Za dodatno izboljšanje rezultatov večkriterijske odločitvene analize bi bilo smiselno izvesti intervjuje z deležniki in strokovnjaki, ki bi dali dodatne informacije o pomembnosti kriterijev (Guzmán-Sánchez idr., 2018; Zhu idr., 2021). Tako bi bile kriterijem dodeljene nove uteži, kar bi lahko spremenilo ocene scenarijev MZI in vrstni red njihove uspešnosti.

5 Sklep

Raziskava temelji na optimizaciji šestih alternativnih scenarijev MZI s ciljem znižanja odtoka s prispevnega območja. Optimizirani parametri MZI so bili nato uporabljeni v večkriterijski odločitveni analizi, ki vključuje dodatne kriterije uspešnosti, kot so CAPEX, OPEX, zahtevana površina, shranjena voda, zadržana voda in prostor za rastline.

Razviti sistem vrednotenja, ki temelji na večkriterijski odločitveni analizi, ponuja pregleden okvir, v katerem se optimizirane vrednosti parametrov MZI uporabijo za količinsko opredelitev in vrednotenje ukrepov glede na dodatne kriterije.

Ob danih lokalnih razmerah analiziranega urbanega prispevnega območja in ob upoštevanju izbranih kriterijev so bili kot ugodneje ovrednoteni v krajino vključeni ukrepi MZI, ki hkrati zagotavljajo podobno hidrološko učinkovitost (zmanjšanje površinskega odtoka). Najnižjo oceno je dosegel podzemni zadrževalni bazen, ki je siva infrastruktura oziroma centralizirani ukrep.

Viri in literatura

- Alves, A., Gersonius, B., Sanchez, A., Vojinovic, Z. in Kapelan, Z. (2018). Multi-criteria Approach for Selection of Green and Grey Infrastructure to Reduce Flood Risk and Increase CO-benefits. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1943-3>
- Alves, A., Vojinovic, Z., Kapelan, Z., Sanchez, A. in Gersonius, B. (2020). Exploring trade-offs among the multiple benefits of green-blue-grey infrastructure for urban flood mitigation. *Science of The Total Environment* 703, 134980. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134980>
- André, F. J. in Romero, C. (2008). Computing compromise solutions: On the connections between compromise programming and composite programming. *Applied Mathematics and Computation*, 195, 1–10.
- Beyer, H.-G. in Schwefel, H.-P. (2002). Evolution strategies – A comprehensive introduction. *Nature Computational Science*, 1(1), 3–52. <https://doi.org/10.1023/A:1015059928466>
- Chow, J. F., Savić, D., Fortune, D., Kapelan, Z. in Mebrate, N. (2014). Using a systematic, multi-criteria decision support framework to evaluate sustainable drainage designs. *Procedia engineering*, 70, 343–352. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.039>
- Chui, T. F. M., Liu, X. in Zhan, W. (2016). Assessing cost-effectiveness of specific LID practice designs in response to large storm events. *Journal of hydrology*, 533, 353–364. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.12.011>
- Džeroski, S., Todorovski, L., Čerepnalkoski, D., Tanevski in J., Simidjievski, N. (2020). Process-based modelling tool (ProBMoT) [WWW Document]. URL <http://probmot.ijs.si/>.
- Eckart, K., McPhee, Z. in Bolisetti, T. (2018). Multiobjective optimization of low impact development stormwater controls. *Journal of hydrology*, 562, 564–576. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.068>
- El Hattab, M. H., Theodoropoulos, G., Rong, X. in Mijic, A. (2020). Applying the Systems Approach to Decompose the SuDS Decision-Making Process for Appropriate Hydrologic Model Selection. *Water*, 12(3), 632. <https://doi.org/10.3390/w12030632>
- Hajkovicz, S. in Collins, K. (2007). A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management. *Water Resources Management*, 21(9), 1553–1566. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9111-5>
- Kourtis, I. M., Tsihrintzis, V. A. in Baltas, E. (2020). A robust approach for comparing conventional and sustainable flood mitigation measures in urban basins. *Journal of Environmental Management*, 269, 110822. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110822>
- Li, J., Deng, C., Li, Y., Li, Y. in Song, J. (2017). Comprehensive Benefit Evaluation System for Low-Impact Development of Urban Stormwater Management Measures. *Water Resources Management*, 31(15), 4745–4758. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1776-5>
- Marttunen, M., Lienert, J., Belton, V. (2017). Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations. *European journal of operational research*, 263(1), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.041>
- McClymont, K., Fernandes Cunha, D. G., Maidment, C., Ashagre, B., Vasconcelos, A. F., Batalini de Macedo, M., Nóbrega dos Santos, M. F., Gomes Júnior, M. N., Mendiondo, E. M., Barbassa, A. P., Rajendran, L. in Imani, M. (2020). Towards urban resilience through Sustainable Drainage Systems: A multi-objective optimisation problem. *Journal of Environmental Management*, 275, 111173. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111173>
- Morales-Torres, A., Escuder-Bueno, I., Andrés-Doménech, I. in Perales-Momparler, S. (2016). Decision Support Tool for energy-efficient, sustainable and integrated urban stormwater management. *Environmental Modelling & Software*, 84, 518–528. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.07.019>
- Radinja, M., Comas, J., Corominas, L. in Atanasova, N. (2019). Assessing stormwater control measures using modelling and a multi-criteria approach. *Journal of Environmental Management*, 243, 257–268. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.102>
- Radinja, M., Škerjanec, M., Džeroski, S., Todorovski, L. in Atanasova, N. (2021a). Design and Simulation of Stormwater Control Measures Using Automated Modeling. *Water (Basel)*. <https://doi.org/10.3390/w13162268>
- Radinja, M., Škerjanec, M., Šraj, M., Džeroski, S., Todorovski, L. in Atanasova, N. (2021b). Automated modelling of urban runoff based on domain knowledge and equation discovery. *Journal of Hydrology (Amst)* 603 (Part C), 127077. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127077>
- Ringuest, J. L. (1992). Compromise Programming. V J. L. Ringuest (ur.), *Multiobjective Optimization: Behavioral and Computational Considerations* (str. 51–59). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3612-3_4
- Rossman, L. A. (2015). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1*. United States Environment Protection Agency. EPA United States Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-02/documents/epaswmm5_1_manual_master_8-2-15.pdf
- Uda, M., Kennedy, C., Van Seters, T., Graham, C. in Rocha, L. (2013). Assessment of Life Cycle Costs for Low Impact Development Stormwater Management Practices. *Toronto and Region Conservation Authority*.
- U.S. Environmental Protection Agency. <https://sustainabletechnologies.ca/app/uploads/2013/06/LID-LCC-final-2013.pdf>
- Wang, M., Sweetapple, C., Fu, G., Farmani, R. in Butler, D. (2017). A framework to support decision making in the selection of sustainable drainage system design alternatives. *Journal of Environmental Management*, 201, 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.034>
- Yang, W. in Zhang, J. (2021). Assessing the performance of gray and green strategies for sustainable urban drainage system development: A multi-criteria decision-making analysis. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126191. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126191>
- Yu, P. L. (1973). A Class of Solutions for Group Decision Problems. *Management Science*, 19(8), 936–946. <https://doi.org/10.1287/mnsc.19.8.936>
- Zelany, M. (1974). A concept of compromise solutions and the method of the displaced ideal. *Computers & Operations Research*, 1(3), 479–496. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(74\)90064-1](https://doi.org/10.1016/0305-0548(74)90064-1)
- Zhu, Y., Li, H., Yang, B., Zhang, X., Mahmud, S., Zhang, X., Yu, B. in Zhu, Y. (2021). Permeable pavement design framework for urban stormwater management considering multiple criteria and uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126114. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126114>

**Praktični
vidiki
prilagajanja
urbanega
okolja**

Učinkoviti prostorski odzivi pri pregrevanju urbanega prostora

Aleš Švigelj, Marko Lazić

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo

Izvleček

Pregrevanje urbanega prostora je med ključnimi prostorskimi izzivi sodobnega urbanega razvoja, ki je tesno povezan z zgoščevanjem pozidave, izgubo zelenih površin in uporabo materialov z visoko toplotno kapaciteto. Poglavje obravnava prostorske odzive na pregrevanje urbanega prostora skozi primerjalno analizo izbranih primerov dobre prakse v mestih Barcelona, Rotterdam in Dunaj. V ospredju je analitična matrika, zasnovana kot kvalitativno orodje za sistematično vrednotenje urbanih in morfoloških parametrov, značilnosti materialov v javnem prostoru ter rabe javnega prostora v razmerah povišanih temperatur. Analiza pokaže, da toplotna obremenitev urbanega prostora ni posledica posameznega dejavnika, temveč je rezultat medsebojnega delovanja urbane morfologije, uporabljenih materialov ter prostorske dostopnosti zelenih, senčenih in obvodnih območij. Primeri dobre prakse potrjujejo, da so učinkoviti odzivi na pregrevanje kontekstualno pogojeni in temeljijo na kombinaciji sistemskih in lokalnih prostorskih ukrepov. Prispevek poudarja pomen celostnega, človeku prilagojenega načrtovanja ter opozarja na prenosljive prostorske strategije, ki lahko prispevajo k izboljšanju toplotnega ugodja in kakovosti bivanja v urbanih okoljih.

Ključne besede:

pregrevanje urbanega prostora, urbani toplotni otok (UTO), urbana morfologija, javni prostor, primeri dobre prakse

Abstract

Urban overheating represents one of the key spatial challenges of contemporary urban development and is closely associated with increased building density, the loss of green areas, and the use of materials with high heat storage capacity. This contribution examines spatial responses to urban overheating through a comparative analysis of selected best practice cases from the cities of Barcelona, Rotterdam, and Vienna. The study is based on an analytical matrix designed as a qualitative tool for the systematic evaluation of urban and morphological parameters, material characteristics of public space, and patterns of public space use under conditions of increased temperatures. The analysis demonstrates that urban heat stress is not the result of a single factor, but rather emerges from the interaction between urban morphology, material properties, and the spatial accessibility of green, shaded, and water areas. The examined best practice cases confirm that effective responses to urban overheating are context dependent and rely on a combination of systemic and locally adapted spatial measures. The contribution highlights the importance of an integrated, human centred approach and identifies transferable spatial strategies that can contribute to improved thermal comfort and quality of life in urban environments.

Keywords:

urban overheating, urban heat island (UHI), urban morphology, public space, best practice cases

1 Uvod

V zadnjih desetletjih se mesta spoprijemajo z izrazitimi prostorskimi in okoljskimi spremembami, ki so tesno povezane s procesi urbanizacije, zgoščevanja pozidave in preoblikovanja rabe prostora. Rast gostote pozidave in intenzivnejša raba urbanih površin pogosto potekata na račun odprtih in zelenih površin, kar pomembno vpliva na lokalne mikroklimatske razmere ter kakovost bivanja v mestih (Valena Pinto idr., 2023). Ti procesi niso omejeni zgolj na svetovne prestolnice, temveč zaznamujejo tudi srednje velika in manjša urbana okolja, kjer se prostorski pritiski pogosto prepletajo z omejenimi možnostmi za celostno prostorsko prilagajanje.

Med najbolj izrazitimi prostorskimi posledicami sodobnega urbanega razvoja je pojav pregrevanja urbanega prostora, ki se v strokovni literaturi najpogosteje obravnava v okviru koncepta urbanega toplotnega otoka (angl. *urban heat island*; v nadaljevanju: urbani toplotni otok – UTO). Gre za pojav, pri katerem so temperature v urbanih območjih višje kot v njihovi neposredni okolici, predvsem zaradi kombinacije goste pozidave, uporabe materialov z visoko toplotno akumulacijo, manj vegetacije in omejenega prezračevanja (Hu, White in Ding, 2016). Raziskave potrjujejo, da ima urbana morfologija, vključno z gostoto pozidave, višinskimi gabariti stavb ter razmerjem med višino stavb in širino ulic, ključno vlogo pri nastanku in intenzivnosti tega pojava (Hu idr., 2016; Zhang idr., 2019).

Pregrevanje urbanega prostora ni zgolj tehnična ali podnebna težava, temveč je izrazito prostorski pojav, ki se neposredno odraža v načinu rabe javnega prostora, zaznanem toplotnem ugodju in kakovosti bivanja. Raziskave poudarjajo, da vplivi visokih temperatur v mestih niso enakomerno porazdeljeni, temveč so močno odvisni od lokalnih prostorskih razmer, materialnih značilnosti površin ter dostopnosti zelenih in modrih elementov (Zhang idr., 2019; Valena Pinto idr., 2023). V tem kontekstu postaja vse pomembnejše razumevanje zaznane toplotne obremenitve, ki presega zgolj merjenje temperature in vključuje subjektivno doživljanje prostora pri njegovih uporabnikih.

Na izzive pregrevanja urbanega prostora se mesta odzivajo z različnimi prostorskimi in načrtovalskimi načini načrtovanja, ki vključujejo strateške in lokalne ukrepe. Med najpogosteje navedenimi so vključitev zelene in modre infrastrukture, uporaba prepustnih materialov in materialov z nizko toplotno kapaciteto, prilagajanje uličnih profilov ter zmanjševanje prometnih obremenitev (Greater London Authority, 2019; UN-Habitat, 2020). Študije in poročila hkrati opozarjajo, da posamezni ali zgolj tehnično usmerjeni ukrepi brez upoštevanja širšega prostorskega konteksta pogosto ne dosegajo zelenih učinkov, zlasti v gosto pozidanih urbanih okoljih (European Commission, 2021).

V tem okviru postajajo primeri dobre prakse pomembno orodje za razumevanje, kako je mogoče s celostnim prostorskim načrtovanjem učinkovito blažiti učinke pregrevanja urbanega prostora. Primerjalne analize, ki izhajajo iz različnih prostorskih, podnebnih in načrtovalskih kontekstov, omogočajo opredelitev prenosljivih strategij ter hkrati razkrivajo omejitve posameznih metod (European Commission, 2021; Reckien idr., 2022). Posebej dragoceni so primeri, ki združujejo dolgoročne strateške usmeritve z lokalnimi, človeku prilagojenimi prostorskimi posegi, saj omogočajo neposredni prenos znanja v načrtovalsko prakso.

Namen tega poglavja je utemeljiti pomen analize primerov dobre prakse kot orodja za razumevanje, kako je mogoče z urbanističnimi in arhitekturnimi ukrepi zmanjševati učinke urbanega toplotnega otoka ter izboljševati toplotno ugodje in kakovost bivanja v mestih. Prispevek se osredotoča na primerjavo izbranih mestnih primerov in uporablja analitično matriko kot metodološki okvir za sistematično vrednotenje prostorskih odzivov na pregrevanje urbanega prostora. Takšen način omogoča povezovanje teoretičnih spoznanj z načrtovalsko prakso ter prispeva k razvoju bolj celostnih in prenosljivih prostorskih strategij prilagajanja mest na naraščajoče toplotne obremenitve.

2 Metodološka zasnova analitične matrike

Analitična matrika, predstavljena v nadaljevanju poglavja, je zasnovana kot orodje za strukturirano in primerjalno obravnavo prostorskih odzivov na pregrevanje urbanega prostora. Njena vloga ni v kvantitativnem merjenju toplotnih razmer ali neposredni primerjavi meteoroloških podatkov, temveč v omogočanju sistema-

tične sinteze obstoječih strokovnih in znanstvenih spoznanj o tem, kako različni urbani prostorski modeli, materialne ureditve in načini rabe prostora vplivajo na zaznano toplotno ugodje znotraj mest.

Izhodišče zasnove matrike temelji na razumevanju pregrevanja urbanega prostora kot kompleksnega pojava, ki je rezultat medsebojnega delovanja urbanističnih, morfoloških, materialnih in družbenih dejavnikov. Namesto ločene obravnave posameznih ukrepov matrika omogoča celostni pogled na urbano okolje, v katerem se prostorske značilnosti mesta povezujejo z vsakdanjo rabo javnega prostora in izkušnjo prebivalcev v razmerah povišanih temperatur.

Matrika je strukturirana v tri tematske sklope. Prvi sklop zajema urbane in morfološke parametre, kot so gostota pozidave, višinski gabariti stavb, razmerje med višino stavb in širino uličnega profila, odprtost urbane strukture, razmerje med grajenimi in zelenimi površinami ter prostorska kontinuiteta zelenja. Ti parametri so osnovni prostorski okvir, znotraj katerega se oblikujejo mikroklimatske razmere in možnosti za prezračevanje, senčenje ter razprševanje toplote.

Drugi sklop se osredotoča na materiale in površine javnega prostora kot pomembne dejavnike toplotne obremenitve. Obravnava vrste talnih površin, lastnosti fasad in streh, stopnjo akumulacije toplote ter vlogo senčenja. Ta sklop dopolnjuje morfološko analizo z vidika materialnosti prostora in omogoča razumevanje, kako izbira in razporeditev materialov vplivata na pregrevanje površin in zaznano toplotno ugodje.

Tretji sklop matrike obravnava rabo javnega prostora in zaznano toplotno ugodje. Ta del se osredotoča na to, kako se prostorske značilnosti in materialni ukrepi odražajo v dejanski uporabi prostora, zlasti v vročinskih razmerah, ter kako so kakovostni javni prostori dostopni različnim skupinam uporabnikov. Raba javnega prostora je v matriki razumljena kot pomemben kazalnik uspešnosti prostorskih odzivov na pregrevanje urbanega prostora.

Analitična matrika je v nadaljevanju uporabljena za primerjalno obravnavo treh izbranih primerov dobre prakse: Barcelone, Rotterdama in Dunaja. Kot analitična območja so opredeljeni mestni predel Eixample v Barceloni, raziskovalno urbano območje Rotterdam, kot je določeno v študiji Rotterdam, ter mestni predel Favoriten na Dunaju. Izbor teh območij temelji na primerljivih morfoloških značilnostih, zlasti na gosti blokovni pozidavi, visoki stopnji neprepustnosti tal in izraziti izpostavljenosti toplotnim obremenitvam, kar omogoča smiselno primerjalno analizo kljub razlikam v merilu in lokalnem okolju.

Empirični podatki, uporabljeni v analitičnih matrikah, niso rezultat lastnih terenskih ali instrumentalnih meritev, temveč so povzeti iz obstoječih znanstvenih člankov, strokovnih publikacij in uradnih mestnih poročil. Analitična matrika tako deluje kot sintezno orodje, ki omogoča povezovanje in interpretacijo razpršenih empiričnih podatkov ter njihovo primerjavo v enotnem analitičnem okviru. Na ta način je matrika osrednje metodološko izhodišče za nadaljnjo analizo prostorskih odzivov na pregrevanje urbanega prostora in za izpeljavo primerjalnih ugotovitev v nadaljevanju poglavja.

3 Analitične matrike prostorskih odzivov na pregrevanje urbanega prostora

V nadaljevanju so predstavljene analitične matrike, ki na podlagi opisanega metodološkega okvira omogočajo primerjalno obravnavo prostorskih odzivov na pregrevanje urbanega prostora v izbranih primerih mest: Barceloni, Rotterdamu in Dunaju. Matrike so zasnovane kot orodje za strukturirano predstavitev in primerjavo ključnih prostorskih značilnosti, pri čemer se osredotočajo na različne, med seboj povezane vidike urbanega prostora.

Prva matrika obravnava urbane in morfološke parametre, ki oblikujejo osnovni prostorski in mikroklimatski okvir mesta, kot so gostota pozidave, višinski gabariti, odprtost urbane strukture ter razmerje med grajenimi in zelenimi površinami. Druga matrika se osredotoča na materiale in površine javnega prostora ter njihovo vlogo pri akumulaciji toplote in zaznani toplotni obremenitvi, vključno z značilnostmi talnih površin, fasad, streh in senčenja. Tretja matrika obravnava rabo javnega prostora in zaznano toplotno ugodje, pri čemer se

osredotoča na dejansko uporabo prostora v vročinskih razmerah, dostopnost kakovostnih javnih prostorov in izpostavljenost ranljivih skupin.

Skupaj matrike omogočajo celovit in primerljiv vpogled v prostorske mehanizme pregrevanja urbanega prostora ter tvorijo analitično jedro obravnave v tem poglavju.

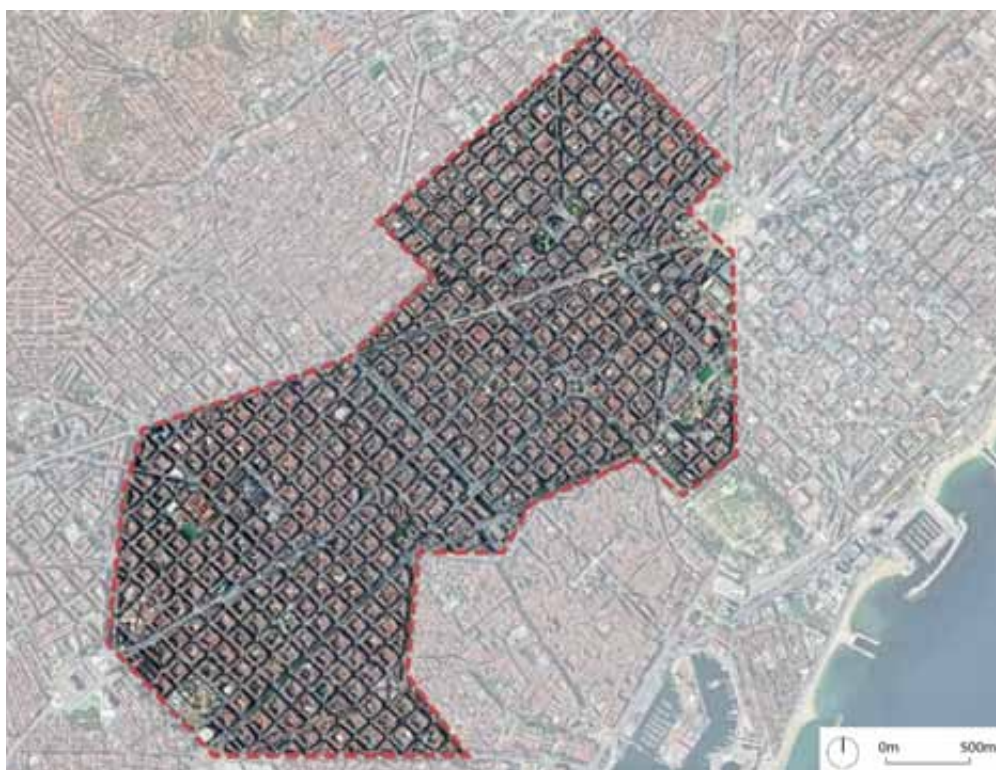
3.1 Izbor in utemeljitev obravnavanih območij

Za namen primerjalne analize so bila izbrana tri urbana območja, ki se kljub različnim geografskim, podnebnim in institucionalnim vidikom spoprijemajo s primerljivimi prostorskimi izzivi, povezanimi s pregrevanjem urbanega prostora. Skupna značilnost vseh treh območij je gosta blokovna pozidava, visoka stopnja neprepustnosti tal ter izrazita izpostavljenost toplotnim obremenitvam v poletnih mesecih. Izbor območij tako temelji na tipološki in morfološki primerljivosti, ne pa na upravni ali simbolni reprezentativnosti mest kot celote.

Empirični podatki, uporabljeni v analitičnih matrikah, izhajajo iz znanstvenih člankov, strokovnih publikacij in uradnih mestnih poročil, ki obravnavajo izbrana območja bodisi na ravni celotnega predela bodisi skozi poglobljene pilotne primere. Analiza temelji na sintezni interpretaciji obstoječih empiričnih podatkov, kar omogoča primerjavo prostorskih odzivov kljub razlikam v merilu in metodah posameznih študij.

3.2 Barcelona – Eixample

V primeru Barcelone je kot analitično območje izbran mestni predel Eixample, ki je ena najbolj prepoznavnih in hkrati najgosteje pozidanih urbanih struktur v mestu. Za Eixample so značilni pravilna karejska zasnova, enotna višina objektov, široke ulice in visoka stopnja neprepustnosti tal, kar ustvarja specifične mikroklimatske razmere in izrazito izpostavljenost toplotnim obremenitvam. Znotraj te strukture so v zadnjem desetletju umeščeni pilotni projekti tako imenovanih superblokov, ki so ciljno usmerjene prostorske intervencije z namenom zmanjševanja prometa, povečevanja zelenih površin in izboljšanja kakovosti javnega prostora.



Slika 1: Obravnavano analitično območje Eixample v Barceloni (vir: Google Maps, 2026a)

Eixample je obravnavan kot reprezentativni primer ponovljive urbane strukture, znotraj katere je mogoče preučevati učinke lokalnih prostorskih ukrepov v širšem morfološkem okviru. Empirični podatki, uporabljeni v matrikah, izhajajo iz znanstvenih študij in mestnih analiz, ki obravnavajo vplive superblokov na mikroklimo, rabo prostora in zaznano toplotno ugodje.



Slika 2: Obravnavano analitično območje Hotterdama v Rotterdamu (vir: Google Maps, 2026b)

in urbane morfologije ter učinkih prostorskih in podnebnih prilagoditvenih ukrepov. Analiza temelji na kombinaciji mestnih študij in znanstvenih člankov, ki omogočajo primerjavo prostorskih mehanizmov pregrevanja na ravni celotnega urbanega območja.

3.4 Dunaj – Favoriten



Slika 3: Obravnavano analitično območje Favoriten na Dunaju (vir: Google Maps, 2026c)

3.3 Rotterdam – raziskovalno območje Hotterdam

Za Rotterdam je kot analitično območje uporabljeno raziskovalno urbano območje, opredeljeno v okviru študije Hotterdam. Gre za osrednji del mesta, ki zajema gosto pozidano urbano tkivo in izključuje obsežna pristaniška območja, značilna za Rotterdam. Takšna prostorska opredelitev omogoča osredotočeno analizo urbanih toplotnih razmer v delu mesta, kjer se prepletajo stanovanjske, poslovne in javne funkcije ter so toplotne obremenitve za prebivalce najizrazitejše.

Raziskovalno območje Hotterdam je bilo izbrano zaradi razpoložljivosti celovitih empiričnih podatkov o prostorski razporeditvi temperatur, vplivu materialov

in urbane morfologije ter učinkih prostorskih in podnebnih prilagoditvenih ukrepov. Analiza temelji na kombinaciji mestnih študij in znanstvenih člankov, ki omogočajo primerjavo prostorskih mehanizmov pregrevanja na ravni celotnega urbanega območja.

V primeru Dunaja je kot analitično območje izbran mestni predel Favoriten, ki je tipičen primer gosto pozidanega notranjega mestnega tkiva z visoko stopnjo neprepustnosti in omejenimi zelenimi površinami. Favoriten je v strateških mestnih dokumentih prepoznan kot eno izmed območij z največjo izpostavljenostjo toplotnim obremenitvam, kar ga uvršča med prednostna območja za izvajanje prilagoditvenih ukrepov.

Znotraj predela Favoriten je poseben poudarek namenjen pilotnemu projektu Supergrätzl, umeščenemu v okolico Herzgasse, ki je modelni primer prostorskih intervencij na ravni soseške. Supergrätzl je obravnavan kot prostor lokalnega izvajanja širših strateških usmeritev, njegov po-

men pa presega posamezno lokacijo, saj predstavlja ponovljiv vzorec za podobna urbana območja. Empirični podatki za Dunaj izhajajo iz znanstvenih študij, ki obravnavajo učinke zelenih in drugih prilagoditvenih ukrepov v gostem mestnem tkivu, ter iz mestnih strateških dokumentov.

Urbani in morfološki parametri			
Analični vidik	Barcelona	Rotterdam	Dunaj
Gostota pozidave (kako gostota vpliva na akumulacijo toplote in prezračevanje)	Zelo visoka gostota blokovne pozidave z omejenimi odprtimi prostori na ravni ulice; stopnja neprepustnosti tal v Eixamplu dosega približno 70–80 %, kar prispeva k akumulaciji toplote in omejenemu nočnemu ohlajanju (Mueller idr., 2020; Nieuwenhuijsen idr., 2024).	Srednja do visoka gostota pozidave z izrazitimi razlikami med kompaktnimi urbani območji in bolj odprtimi, infrastrukturno zaznamovanimi deli mesta; prostorska heterogenost vpliva na neenakomerno razporeditev toplotnih obremenitev (van der Hoeven in Wandl, 2015; van Hove idr., 2015).	Srednja do visoka gostota blokovne pozidave v notranjem mestnem tkivu Favoritna; v pilotnih scenarijih je predvideno zmanjšanje neprepustnih površin do približno 15 % v korist zelenih in prepustnih površin, kar prispeva k zmanjšanju toplotne obremenitve (Reinwald idr., 2021; Žuvela-Aloise idr., 2025).
Višina stavb (razmerje med višino stavb in širino odprtega prostora)	Prevladuje enotna srednje visoka pozidava (5–7 etaž), ki ustvarja homogen ulični profil in stabilne, a toplotno obremenjene mikroklimatske razmere (Mueller idr., 2020).	Izrazito raznolika višinska struktura, od nizke in srednje pozidave do višjih stavb v novejših razvojnih območjih; višinska raznolikost prispeva k večji prostorski odprtosti in lokalnemu prezračevanju (van der Hoeven in Wandl, 2015).	Prevladuje srednje visoka in razmeroma enotna pozidava, značilna za blokovno strukturo notranjih mestnih predelov, kar ustvarja stabilne mikroklimatske razmere, a tudi večjo občutljivost na vročinske obremenitve (Žuvela-Aloise idr., 2025).
Razmerje višina/širina (ulični koridorji, senčenje, zračni tokovi)	Razmerje med višino stavb in širino ulic je pogosto neugodno; ulični koridorji omejujejo prezračevanje in povečujejo zadrževanje toplote (Nieuwenhuijsen idr., 2024).	Razmerje med višino stavb in širino ulic je praviloma ugodnejše kot v zgodovinsko kompaktnih mestih, kar omogoča boljše prezračevanje in zmanjšuje zadrževanje toplote v uličnih koridorjih (van Hove idr., 2015).	Razmerje med višino stavb in širino ulic je praviloma ugodnejše kot v zelo kompaktnih zgodovinskih mestih; ulični profili omogočajo boljše osenčenje in prezračevanje, zlasti v kombinaciji z lokalnimi prostorskimi prilagoditvami (Reinwald idr., 2021).
Odprtost urbane strukture (stopnja prepustnosti prostora za veter)	Kompaktna in tradicionalno zaprta urbana struktura omejuje prezračevanje; lokalni posegi (superbloki, umirjanje prometa) postopoma izboljšujejo zračne tokove (Mueller idr., 2020).	Relativno odprta urbana struktura z večjimi ulicami, odprtimi prostori in prehodi, pogosto povezanimi z vodnimi površinami, kar izboljšuje kroženje zraka in blaži lokalne toplotne obremenitve (van der Hoeven in Wandl, 2015).	Delno odprta urbana struktura z jasno hierarhijo ulic, notranjimi zelenimi dvorišči in večjimi odprtimi prostori omogoča učinkovitejše kroženje zraka in blaženje lokalnih toplotnih obremenitev (Žuvela-Aloise idr., 2025).
Razmerje med zelenim in grajenim (vloga zelenja pri hlajenju in mikroklimi)	Malo zelenja v uličnem prostoru; povečanje zelenih in senčnih površin v okviru superblokov izboljšuje mikroklimatske razmere (Mueller idr., 2020).	Uravnoteženo razmerje med grajenimi in odprtimi površinami; poleg zelenja imajo pomembno hladilno vlogo tudi vodne površine, ki dokazano prispevajo k znižanju zaznanih temperatur v urbanem prostoru (van der Hoeven in Wandl, 2015; van Hove idr., 2015).	Razmeroma ugodno razmerje med grajenimi in zelenimi površinami; povečanje števila dreves (npr. s 84 na 231 v pilotnem območju) in širjenje zelenih površin pomembno prispevata k znižanju lokalnih temperatur (Reinwald idr., 2021).
Prostorska kontinuiteta zelenja (točkovno : povezano zelenje)	Zelenje je pretežno točkovno, z novejšimi posegi pa se postopoma povezuje v bolj kontinuirane zelene ose (Ajuntament de Barcelona, 2022).	Zelenje je prostorsko bolj povezano kot v zelo kompaktnih mestih, pogosto v navezavi na vodne koridorje, parke in linearne zelene pasove, kar povečuje mikroklimatsko učinkovitost zelenih struktur (van der Hoeven in Wandl, 2015).	Zelenje je prostorsko dobro povezano v sistem parkov, drevoredov in zelenih koridorjev, ki delujejo na ravni soseske in mesta ter povečujejo mikroklimatsko učinkovitost zelenih struktur (Reinwald idr., 2021).
Merilo človeka (občutek merila, dostopnost, bivanjskost)	V okviru superblokov se javni prostor preoblikuje v bivanjsko merilo, z večjo dostopnostjo in možnostjo zadrževanja v vročinskih razmerah (Mueller idr., 2020; Nieuwenhuijsen idr., 2024).	V starejših in prenovljenih urbanih območjih je merilo človeka izrazitejše, medtem ko so nekatera sodobna razvojna območja zasnovana bolj infrastrukturno in manj intimno, kar vpliva na rabo prostora v vročinskih razmerah (van Hove idr., 2015).	V stanovanjskih soseskah in javnih prostorih je poudarjeno merilo človeka; pilotni projekti Supergrätzl izboljšujejo dostopnost, zadrževanje in kakovost bivanja v vročinskih razmerah (City of Vienna, 2015; Magistrat der Stadt Wien – Stadtplanung, n. d.).

Preglednica 1: Primerjalni pregled urbanih in morfoloških parametrov pregrevanja urbanega prostora v izbranih mestih

Preglednica 2: Primerjalni pregled materialnih značilnosti javnega prostora pri povišanih temperaturah

Materiali in površine kot dejavnik pregrevanja			
Analični vidik	Barcelona	Rotterdam	Dunaj
Prevladujoči materiali tal (asfaltne/betonske : prepustne/naravne površine)	V javnem prostoru prevladujejo asfaltne in betonske površine; prepustne in naravne površine so omejene na parke, drevorede in novejšje ureditve v okviru superblokov (Mueller idr., 2020; Ajuntament de Barcelona, 2022).	V javnem prostoru prevladujejo asfaltne in betonske površine, pogosto v kombinaciji z vodnimi površinami in lokalnimi zelenimi elementi, kar ustvarja izrazite prostorske razlike v segrevanju površin (van der Hoeven in Wandl, 2015; van Hove idr., 2015).	V javnem prostoru se prepletajo asfaltne in betonske površine z obsežnimi zelenimi in delno prepustnimi površinami, kar prispeva k bolj uravnoteženemu segrevanju talnih površin (Reinwald idr., 2021).
Albedo površin (opisno) (temni : svetli materiali)	Prevladujejo temni tlaki in asfalt z nizkim albedom, kar povečuje absorpcijo sončnega sevanja in prispeva k segrevanju površin (Nieuwenhuijsen idr., 2024).	Albedo je srednje nizek, z lokalnimi razlikami glede na vrsto tlakov in sodobnost ureditev; svetlejši materiali v novejših projektih prispevajo k manjšemu segrevanju površin (van der Hoeven in Wandl, 2015).	Albedo je srednje nizek do srednji, z lokalnimi izboljšavami v novejših ureditvah in prenovah javnega prostora, kjer se uporabljajo svetlejši in manj akumulativni materiali (Žuvela-Aloise idr., 2025).
Akumulacija toplote (opisno) (hitrost segrevanja in ohlajanja)	Kombinacija masivnih materialov, goste pozidave in omejenega senčenja povzročata visoko akumulacijo toplote in počasno nočno ohlajanje (Mueller idr., 2020).	Zmerna do visoka akumulacija toplote je značilna za obsežne utrjene površine in prometno infrastrukturo, medtem ko vodne površine lokalno zmanjšujejo toplotne obremenitve (van Hove idr., 2015).	Akumulacija toplote je zmerna in delno ublažena z razpršenostjo zelenih površin ter večjo prostorsko odprtostjo v primerjavi z zelo kompaktnimi mesti (Žuvela-Aloise idr., 2025).
Strehe (hladne strehe, zelene strehe, klasične strehe)	Večina objektov ima klasične strehe; zelene in hladne strehe se pojavljajo posamično, predvsem v novejših projektih in pilotnih posegih, kjer prispevajo k lokalnemu znižanju temperatur (Nieuwenhuijsen idr., 2024).	Relativno razširjena uporaba zelenih streh in drugih trajnostnih rešitev, zlasti v novejših soseskah in pilotnih projektih, prispeva k blaženju toplotnih obremenitev na ravni stavb in okolice (van der Hoeven in Wandl, 2015).	Relativno razširjena uporaba zelenih streh, zlasti na javnih in stanovanjskih stavbah v novejših soseskah, prispeva k zmanjšanju toplotne obremenitve in izboljšanju mikroklimatike (Reinwald idr., 2021).
Fasade (materialnost, orientacija, senčenje)	Prevladujejo masivne, tradicionalne fasade z visoko toplotno maso in omejenimi pasivnimi hladilnimi lastnostmi, kar prispeva k zadrževanju toplote v uličnem prostoru (Mueller idr., 2020).	Prisotne so raznolike fasadne rešitve, od masivnih tradicionalnih materialov do sodobnih lahkih in delno reflektivnih fasad, kar ustvarja heterogene mikroklimatske učinke (van der Hoeven in Wandl, 2015).	Prevladujejo masivne fasade iz mineralnih materialov, pogosto dopolnjene z arhitekturnimi senčilnimi elementi, ki zmanjšujejo neposredno osončenje fasadnih površin (Žuvela-Aloise idr., 2025).
Senčenje (pasivni ukrepi hlajenja)	Senčenje zagotavljajo predvsem ulično drevje in morfološko senčenje znotraj uličnih profilov; umetni senčilni elementi so prisotni v omejenem obsegu (Ajuntament de Barcelona, 2022).	Senčenje je kombinacija vegetacije, odprtosti prostora in vpliva sosednjih stavb; umetni senčilni elementi se pogosteje pojavljajo v novejših urbanih ureditvah (van Hove idr., 2015).	Senčenje zagotavljajo predvsem drevoredi, zelene površine in arhitekturni elementi na stavbah, kar pomembno prispeva k zmanjšanju zaznane vročine v javnem prostoru (Reinwald idr., 2021).
Vpliv materialov na zaznano vročino (razlika med merjeno in doživeto temperaturo)	Materialna sestava javnega prostora pomembno vpliva na zaznano toplotno obremenitev; območja brez vegetacije in senčenja izkazujejo bistveno višjo doživeto vročino kljub podobnim izmerjenim temperaturam (Mueller idr., 2020; Nieuwenhuijsen idr., 2024).	Zaznana toplotna obremenitev je močno odvisna od obsega utrjenih površin in izpostavljenosti soncu, pri čemer vodne površine dokazano izboljšujejo lokalne mikroklimatske razmere in zaznajo ugodje (van der Hoeven in Wandl, 2015; van Hove idr., 2015).	Kombinacija materialne sestave in več zelenja zmanjšuje zaznano toplotno obremenitev v primerjavi z bolj kompaktnimi urbanih strukturami (Žuvela-Aloise idr., 2025).

Preglednica 3: Primerjalni pregled rabe javnega prostora in zaznane toplotne obremenitve v izbranih mestih

Pregrevanje prostora in raba javnega prostora			
Analitični vidik	Barcelona	Rotterdam	Dunaj
Splošna toplotna obremenitev urbanega prostora (subjektivno doživljanje prostora)	Izrazita toplotna obremenitev v gostih in slabo prezračenih delih Eixampla, zlasti v poletnih mesecih, kar vpliva na zaznano ugodje in zadrževanje v javnem prostoru (Mueller idr., 2020; Nieuwenhuijsen idr., 2024).	Toplotna obremenitev je prostorsko zelo raznolika; izrazitejša je v gostejših in bolj utrjenih delih mesta, medtem ko odprta in obvodna območja izkazujejo nižje zaznane obremenitve (van der Hoeven in Wandl, 2015; van Hove idr., 2015).	Toplotna obremenitev je zmerna in prostorsko raznolika; višje obremenitve se pojavljajo v gostejših delih mesta, vendar jih blažijo zeleni in odprti prostori (Žuvela-Aloise idr., 2025).
Vloga senčenja (naravno : umetno senčenje)	Senčenje je ključni dejavnik zmanjševanja zaznane vročine; ulično drevje in morfološko senčenje znotraj uličnih profilov bistveno vplivata na rabo prostora v vročinskih razmerah (Mueller idr., 2020).	Senčenje pomembno vpliva na rabo prostora, zlasti v kombinaciji z odprtimi uličnimi profili, vegetacijo in obvodnimi območji, kjer se zaznana vročina občutno zmanjša (van der Hoeven in Wandl, 2015).	Senčenje ima pomembno vlogo pri ohranjanju rabe javnega prostora tudi ob višjih temperaturah; drevoredi in arhitekturni senčilni elementi dokazano zmanjšujejo zaznano vročino (Reinwald idr., 2021).
Vloga vode/evaporacije (voda in vegetacija)	Voda ima v vsakdanjem javnem prostoru omejeno vlogo; večji hladilni učinki so vezani predvsem na parke in obalne predele, manj pa na ulični prostor (Nieuwenhuijsen idr., 2024).	Vodne površine imajo ključno vlogo pri blaženju toplotne obremenitve; ob kanalih in rekah je zaznan izrazit lokalni hladilni učinek, ki izboljšuje mikroklimo in ugodje (van Hove idr., 2015).	Voda ima dopolnilno hladilno vlogo, zlasti v parkih in ob večjih zelenih površinah, kjer se evaporativni učinki kombinirajo z vegetacijo (Žuvela-Aloise idr., 2025).
Vloga vetra in prezračevanja (obstoj vetrnih poti)	Prezračevanje je zaradi goste urbane strukture omejeno; lokalni posegi, kot so superbloki in umirjanje prometa, lahko delno izboljšajo zračne tokove na ravni ulice (Mueller idr., 2020).	Prezračevanje je praviloma boljše kot v kompaktnih mestih zaradi odprte urbane strukture in vetrnih koridorjev ob vodnih površinah (van der Hoeven in Wandl, 2015).	Prezračevanje je praviloma ugodno zaradi bolj odprte urbane strukture in zelenih pasov, kar prispeva k učinkovitejšemu odvajanju toplote v primerjavi z bolj kompaktnimi mesti (Reinwald idr., 2021).
Raba javnega prostora ob vročini (ali se prostor uporablja ali opušča)	Raba javnega prostora se ob visokih temperaturah preusmerja v senčene in zelene površine, medtem ko se odprti in nezasenčeni trgi ter ulice pogosto opuščajo (Mueller idr., 2020; Nieuwenhuijsen idr., 2024).	Javni prostor ob vodnih površinah in v odprtih, prezračenih območjih ostaja uporabljen tudi ob visokih temperaturah, medtem ko se bolj utrjeni prostori pogosteje opuščajo (van Hove idr., 2015).	Javni prostor ostaja relativno dobro uporabljen, zlasti v zelenih in senčenih območjih ter v prenovljenih ulicah v okviru projektov Supergrätzl (Magistrat der Stadt Wien – Stadtplanung, n. d.).
Ranljive skupine (opisno) (otroci, starejši, bolniki)	Otroci, starejši in socialno ranljive skupine so izraziteje izpostavljeni neugodnim mikroklimatskim razmeram, zlasti v območjih z omejenim senčenjem in zelenjem (Nieuwenhuijsen idr., 2024).	Ranljive skupine so manj izpostavljene v območjih z dobrim dostopom do zelenih in obvodnih prostorov, bolj pa v gostih in infrastrukturno zaznamovanih delih mesta (van Hove idr., 2015).	Ranljive skupine imajo praviloma boljši dostop do kakovostnih, zelenih in senčenih javnih prostorov kot v zelo kompaktnih mestih, kar zmanjšuje izpostavljenost vročinski obremenitvam (Žuvela-Aloise idr., 2025).
Dostopnost kakovostnih prostorov (kdo prostor dejansko uporablja)	Dostop do kakovostnih, senčenih in zelenih javnih prostorov je neenakomeren in prostorsko pogojen, kar vpliva na socialno pravičnost rabe prostora v vročinskih razmerah (Mueller idr., 2020).	Dostop do kakovostnih javnih prostorov je razmeroma dober, vendar prostorsko neenakomeren glede na mestne četrti in razporeditev zelenih ter obvodnih območij (van der Hoeven in Wandl, 2015).	Dostop do kakovostnih javnih prostorov je razmeroma enakomeren, kar odraža sistemski in dolgoročen način prostorskega načrtovanja in prilagajanja na podnebne spremembe (Reinwald idr., 2021).

3.1 Urbani in morfološki parametri ter njihova vloga pri pregrevanju urbanega prostora

Urbani in morfološki parametri odločilno vplivajo na oblikovanje mikroklimatskih razmer in zaznano toplotno obremenitev urbanega prostora. Gostota pozidave, višinski gabariti stavb, razmerje med višino stavb in širino uličnega profila ter stopnja odprtosti urbane strukture neposredno določajo pogoje za prezračevanje, osončenost in akumulacijo toplote, s tem pa tudi rabo in kakovost javnega prostora v poletnih razmerah. Primerjalna obravnava teh parametrov v treh izbranih mestih pokaže, da se učinki pregrevanja oblikujejo kot rezultat njihove medsebojne kombinacije in ne kot posledica posameznega prostorskega dejavnika.

V Barceloni je v območju Eixampla izrazito kompaktna blokovna struktura povezana z zelo visoko stopnjo neprepustnosti tal, ki dosega približno 70 – 80 %, ter z razmeroma enotnimi višinskimi gabariti stavb (5 – 7 etaž). Takšna prostorska konfiguracija ustvarja ulične koridorje z omejenim prezračevanjem in izrazito akumulacijo toplote, kar prispeva k povečani toplotni obremenitvi v poletnih mesecih (Mueller idr., 2020; Nieuwenhuijsen idr., 2024). Lokalni prostorski posegi v okviru superblokov, ki vključujejo zmanjševanje prometnih površin, širitev peš con in uvajanje uličnega zelenja, dokazano izboljšujejo mikroklimatske razmere. V teh območjih je bilo zaznано lokalno znižanje temperature zraka za približno 1,5 – 2,0 °C, kar se neposredno odraža v večji rabi javnega prostora tudi v obdobjih visokih temperatur (Mueller idr., 2020; Nieuwenhuijsen idr., 2024).

Rotterdam je kontrasten primer bolj odprtega urbanega modela, za katerega so značilni širši ulični profili, večja višinska raznolikost ter veliko odprtih in obvodnih prostorov. Toplotna obremenitev je v mestu prostorsko zelo raznolika in se izraziteje pojavlja predvsem na obsežnih utrjenih in infrastrukturno zaznamovanih površinah. Nasprotno pa odprta urbana struktura v kombinaciji z vodnimi koridorji omogoča učinkovitejše prezračevanje in lokalno znižanje zaznane ter izmerjene temperature. Raziskave kažejo, da se ob vodnih površinah in v prezračevanih območjih temperatura lokalno zniža za približno 1 – 2 °C v primerjavi z bolj zaprtimi in utrjenimi deli mesta, kar potrjuje pomembno vlogo vode in prostorske odprtosti pri blaženju pregrevanja (van der Hoeven in Wandl, 2015; van Hove idr., 2015).

V primeru Dunaja ima ključno vlogo sistemsko načrtovano razmerje med grajenimi in zelenimi površinami ter njihova prostorska kontinuiteta. V notranjem mestnem območju Favoriten so v pilotnih scenarijih predvideni ukrepi, ki vključujejo zmanjšanje neprepustnih površin do približno 15 % ter znatno povečanje števila dreves (s 84 na 231). Modelni izračuni kažejo, da kombinacija teh ukrepov lahko prispeva k znižanju temperature zraka v razponu približno 1 – 3 °C, odvisno od obsega in medsebojne povezanosti posegov (Reinwald idr., 2021; Žuvela-Aloise idr., 2025). Takšno urejanje omogoča nastanek hladnejših mikroklimatskih območij in bolj enakomerno porazdelitev toplotnega ugodja na ravni soseske.

Na ravni merila človeka se vpliv urbanih in morfoloških parametrov kaže predvsem s prilagoditvijo javnega prostora, ki zmanjšuje prometno obremenitev, povečuje površine za pešce ter uvaja mikročlenjene prostorske ureditve. Čeprav so ti posegi pogosto lokalnega značaja, dokazano pomembno vplivajo na zaznано toplotno ugodje in omogočajo večjo rabo javnega prostora v vročinskih razmerah v vseh treh obravnavanih mestih (Mueller idr., 2020; van Hove idr., 2015; Reinwald idr., 2021).

3.2 Materiali, površine in toplotna obremenitev urbanega prostora

Materiali in površine, ki oblikujejo javni prostor, pomembno vplivajo na toplotno obremenitev urbanega okolja in zaznано toplotno ugodje, pri čemer njihovi učinki niso neodvisni, temveč se prepletajo z morfološkimi značilnostmi, senčenjem in prezračevanjem. Vrsta talnih površin, materialnost fasad in streh ter obstoj naravnega ali umetnega senčenja neposredno vplivajo na absorpcijo sončnega sevanja, akumulacijo toplote in hitrost ohlajanja, kar se jasno odraža v rabi javnega prostora v poletnih razmerah. Obravnava primerov dobre prakse v treh izbranih mestih potrjuje, da materiali sami po sebi niso samostojne rešitve, temveč delujejo kot sestavni del širšega prostorskega sistema.

V Barceloni, zlasti v kompaktni strukturi Eixampla, v javnem prostoru prevladujejo asfaltne, betonske in kamnite površine z nizkim albedom in visoko stopnjo akumulacije toplote. Takšna materialna sestava prispeva k izrazitemu segrevanju površin in počasnemu nočnemu ohlajanju, kar povečuje zaznано toplotno obremenitev v odprtih in nesenčenih prostorih. V okviru superblokov so bili uvedeni lokalni materialni posegi, ki vključujejo postopno zamenjavo delov utrjenih površin z bolj prepustnimi materiali, uporabo svetlejših tlakov ter njihovo kombiniranje z dodatnim senčenjem. Študije kažejo, da takšni kombinirani posegi prispevajo k lokalnemu znižanju temperature zraka za približno 1,5 – 2,0 °C, kar se neposredno odraža v večji rabi in daljšem zadrževanju v javnem prostoru v vročinskih obdobjih (Mueller idr., 2020; Nieuwenhuijsen idr., 2024).

V Rotterdamu se vpliv materialov na toplotno obremenitev izrazito prepleta z odprtostjo urbane strukture in prisotnostjo vode. Obsežne utrjene površine in prometna infrastruktura ostajajo pomemben vir segrevanja, vendar se njihov učinek lokalno zmanjšuje v območjih ob vodnih telesih, odprtih javnih prostorih in prezra-

čevanih uličnih profilih. Raziskave kažejo, da se v obvodnih in odprtih območjih temperatura zraka lokalno zniža za približno 1 – 2 °C v primerjavi z bolj zaprtimi in utrjenimi deli mesta, kar potrjuje, da materialni ukrepi v Rotterdamu delujejo predvsem v sinergiji z vodo in prostorsko odprtostjo (van der Hoeven in Wandl, 2015; van Hove idr., 2015). Uporaba bolj reflektivnih materialov in trajnostnih rešitev v novejših ureditvah dodatno prispeva k blaženju lokalnih toplotnih obremenitev, vendar brez kombinacije z drugimi prostorskimi dejavniki ne dosega primerljivih učinkov.

Pomembno vlogo pri zmanjševanju toplotne obremenitve imajo tudi strehe in fasade, zlasti v gosto pozidanih območjih. Klasične strehe in masivne fasade z visoko toplotno maso prispevajo k akumulaciji toplote, medtem ko se zelene in hladne strehe uveljavljajo kot učinkovit dopolnilni ukrep. V tem pogledu Dunaj izstopa kot primer sistematičnega in dolgoročnega načrtovanja, v katerem so zelene strehe in materialne prilagoditve del širšega načrtovalskega okvira. Modelni scenariji za notranja mestna območja, vključno s Favoritnom, kažejo, da kombinacija materialnih sprememb, povečanja prepustnih površin in zelenja lahko prispeva k znižanju temperature zraka v razponu približno 1 – 3 °C, odvisno od obsega in medsebojne povezanosti posegov (Reinwald idr., 2021; Žuvela-Aloise idr., 2025).

V vseh treh primerih se senčenje izkazuje kot eden najučinkovitejših ukrepov za zmanjševanje zaznane vročine. Naravno senčenje z vegetacijo, arhitekturni senčilni elementi na fasadah ter morfološko senčenje znotraj uličnih profilov bistveno vplivajo na rabo javnega prostora v poletnih mesecih. Empirični viri potrjujejo, da materialni ukrepi brez ustreznega senčenja pogosto ne zadoščajo za bistveno izboljšanje toplotnega ugodja, medtem ko njihova kombinacija s senčenjem omogoča trajnejše in zaznavno učinkovite rezultate (Mueller idr., 2020; Nieuwenhuijsen idr., 2024; Reinwald idr., 2021).

3.3 Raba javnega prostora in zaznano toplotno ugodje

Raba javnega prostora ob povišanih temperaturah razkriva, kako se učinki pregrevanja urbanega prostora neposredno odražajo v vsakdanjih prostorskih praksah in zaznani kakovosti bivanja. Načini uporabe prostora so tesno povezani z urbano morfologijo, materialnimi značilnostmi javnega prostora ter razpoložljivostjo senčenja, zelenja in vode. Vidiki, sistematično obravnavani v analitični matriki (preglednica 3), omogočajo razumevanje, kako prostorski ukrepi vplivajo ne le na mikroklimatske razmere, temveč tudi na dejansko rabo prostora v vročinskih obdobjih.

V okoljih z izrazito toplotno obremenitvijo se raba javnega prostora ob vročini praviloma preusmeri v senčene, zelene ali drugače zaščitene mikroprostore, medtem ko se odprte, nesenčene površine pogosto opuščajo. Takšni vzorci so posebej značilni za kompaktno urbane strukture, kjer so možnosti za umik pred vročino prostorsko omejene. V Barceloni se to jasno kaže v območjih Eixampla, kjer so bile v okviru superblokov uvedene lokalne prostorske prilagoditve, kot so zmanjšanje prometa, uvajanje drevoredov in preoblikovanje ulic v večnamenske javne prostore. Raziskave kažejo, da so se v teh območjih po uvedbi ukrepov lokalne temperature zraka znižale za približno 1,5 – 2,0 °C, hkrati pa sta se povečala intenzivnost in čas rabe javnega prostora tudi v poletnih mesecih (Mueller idr., 2020; Nieuwenhuijsen idr., 2024). Nasprotno pa so odprti in nesenčeni trgi ter prometno obremenjene ulice ob visokih temperaturah pogosto manj uporabljeni ali celo opuščeni.

V bolj odprtih in prezračevanih urbanih strukturah je raba javnega prostora v vročinskih razmerah praviloma bolj raznolika in manj omejena. V Rotterdamu ima pri tem ključno vlogo prisotnost vodnih površin, ki pomembno vplivajo na zaznano toplotno ugodje in privlačnost javnega prostora. Empirične študije kažejo, da se ob vodnih koridorjih in odprtih obvodnih prostorih temperatura zraka lokalno zniža za približno 1 – 2 °C v primerjavi z bolj zaprtimi in utrjenimi deli mesta, kar omogoča, da ti prostori ostajajo aktivni tudi ob povišanih temperaturah (van der Hoeven in Wandl, 2015; van Hove idr., 2015). Obvodni trgi, sprehajalne poti in odprti javni prostori tako delujejo kot pomembna žarišča poletne rabe in družabnega življenja.

Zaznano toplotno ugodje javnega prostora je tesno povezano tudi z enakomerno prostorsko dostopnostjo kakovostnih, senčnih in zelenih območij. V tem pogledu se Dunaj izkazuje kot primer sistematičnega načrtovanja, s katerim mreža parkov, zelenih pasov in javnih prostorov omogoča bolj uravnoteženo rabo prostora tudi v vročinskih razmerah. V notranjem mestnem območju Favoriten so kombinirani ukrepi, ki vključujejo zmanjšanje neprepustnih površin, povečanje količine zelenja in izboljšanje dostopnosti javnih prostorov, po

modelnih scenarijih povezani z znižanjem temperature zraka v razponu približno 1 – 3 °C (Reinwald idr., 2021; Žuvela-Aloise idr., 2025). Takšne prostorske prilagoditve zmanjšujejo razlike v izpostavljenosti vročini in izboljšujejo razmere za rabo javnega prostora tudi za ranljive skupine prebivalstva, kot so starejši, otroci in osebe z omejeno mobilnostjo.

Pomemben vidik zaznanega toplotnega ugodja je tudi prilagodljivost javnega prostora. Začasni in postopni posegi, kot so sezonsko senčenje,časne ureditve ulic,časne ozelenitve ali prilagoditve prometnega režima v poletnih mesecih, omogočajo hitro odzivanje na vročinske razmere brez trajnih prostorskih sprememb. Takšno načrtovanje je razvidno v vseh treh obravnavanih mestih in se izkazuje kot učinkovit način dopolnjevanja dolgoročnih prostorskih strategij, saj omogoča testiranje rešitev in postopno prilagajanje prostora dejanskim potrebam uporabnikov.

Raba javnega prostora se tako izkazuje kot ključni kazalnik uspešnosti prostorskih odzivov na pregrevanje urbanega prostora in pomembno merilo kakovosti urbanega okolja.

4 Sklep

Primerjalna obravnava prostorskih odzivov na pregrevanje urbanega prostora, izvedena z analitičnimi matrikami, potrjuje, da toplotna obremenitev mest ni posledica enega samega prostorskega dejavnika, temveč rezultat prepletanja urbane morfologije, materialnih značilnosti javnega prostora in načinov njegove rabe. Analiza primerov Barcelone, Rotterdama in Dunaja jasno pokaže, da se uspešni odzivi na pregrevanje ne oblikujejo s splošnimi ali enoznačnimi rešitvami, temveč s kontekstualno prilagojenimi kombinacijami prostorskih ukrepov, ki upoštevajo lokalno strukturo mesta, podnebne značilnosti in razvojne omejitve posameznega urbanega okolja. V povprečju, gledano z vidika obravnavanih primerov prakse, lahko kombinirane metode prispevajo k znižanju lokalne temperature zraka do približno 3 °C, tudi znotraj gosto pozidanega urbanega okolja.

Pomemben metodološki nauk obravnave je med drugim tudi omejenost izključno kvantitativnih metod analize pregrevanja urbanega prostora. Satelitski posnetki, toplotne karte in meteorološke meritve omogočajo prepoznavanje splošnih prostorskih vzorcev in prednostnih območij, vendar pogosto ne zajamejo kompleksnosti mikrolokacijskih razmer in dejanskega doživljanja prostora. Analizirani primeri potrjujejo, da so kvalitativne in kombinirane metode, kot so terenska opazovanja, analiza rabe javnega prostora in upoštevanje zaznav uporabnikov, ključne za razumevanje, kako se toplotna obremenitev dejansko odraža v vsakodnevni uporabi prostora. Učinkovite strategije blaženja pregrevanja zato temeljijo na povezovanju obeh ravni. Pri tem kvantitativni podatki omogočajo strateško usmerjanje in prostorsko prednostno razvrstitev ukrepov, kvalitativni vpogledi pa preverjanje njihove dejanske učinkovitosti v prostoru.

Na podlagi primerjalne analize je mogoče izluščiti več prenosljivih prostorskih strategij, ki presegajo obravnavane primere. Med ključnimi so vključitev zelene in modre infrastrukture tudi v gosto urbano tkivo, prilagajanje uličnih profilov in zmanjševanje prometne obremenitve, uporaba materialov z nizko toplotno kapaciteto ter načrtovanje javnega prostora z vidika zaznane, ne le izmerjene toplotne obremenitve. Primeri dobre prakse potrjujejo, da je tudi v prostorsko omejenih in gosto pozidanih mestih mogoče doseči občutno izboljšavo toplotnega ugodja, kadar so ukrepi medsebojno usklajeni, večnivojski in usmerjeni k uporabniku.

Poleg izboljšanja toplotnega ugodja ima takšno prostorsko načrtovanje tudi širše okoljske in družbene učinke. Študije, izvedene v Barceloni, kažejo, da bi celovitejše izvajanje prostorskih ukrepov, kot so superbloki, lahko prispevalo ne le k zmanjšanju lokalne toplotne obremenitve, temveč tudi k izboljšanju kakovosti zraka in zmanjšanju zdravstvenih tveganj, povezanih z vročino, vključno z zmanjšanjem prezgodnje smrtnosti. Čeprav ti učinki v tem prispevku niso predmet neposredne primerjalne analize, dodatno potrjujejo pomen celostnih prostorskih rešitev, ki povezujejo podnebno prilagajanje z izboljševanjem kakovosti bivanja in javnega zdravja.

Kljub omejitvam izbrane metodologije, ki temelji na kvalitativni sintezi obstoječe literature in ne vključuje lastnih meritev, analiza omogoča opredelitev ključnih prostorskih mehanizmov pregrevanja in ponuja uporaben okvir za razumevanje ter nadaljnji razvoj prostorskih odzivov na naraščajoče toplotne obremenitve v urbanem prostoru. V tem kontekstu se toplotna obremenitev urbanega prostora uvršča med ključne prostor-

ske in družbene izzive sodobnega urbanega razvoja, s katerimi se bodo mesta po vsem svetu spoprijemala tudi v prihodnje, kar dodatno poudarja pomen celostne, prostorsko utemeljene in človeku prilagojene obravnave teh izzivov.

Zahvala

Prispevek je nastal v okviru ciljnega raziskovalnega projekta »Vpliv pregrevanja prostora na spreminjanje morfologije grajenega prostora slovenskih naselij ter zdravje uporabnikov« (V5-24033), ki ga sofinancirata Agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) in Ministrstvo za naravne vire in prostor Republike Slovenije (MNVP).

Viri in literatura

- Ajuntament de Barcelona. (2022). *Estudi d'impacte de la mobilitat 2023. Superilla Barcelona. Tom I*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona.
- City of Vienna. (b. d.). *Supergrätzl Favoriten*. <https://www.wien.gv.at/stadtplanung/supergraetzl-favoriten>
- European Commission. (2021, February 24). *Building a Climate-Resilient Future - A new EU strategy on adaptation to climate change*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_663
- Google Maps. (2026a). Eixample, Barcelona, Španija. https://www.google.com/maps/place/Eixample,+Barcelona,+%C5%A0panija/@41.3900331,2.1693421,5728m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x12a4a28d7b963ea1:0x9ee6d50544f5205d!8m2!3d41.3933018!4d2.1663842!16zL20vMDZoZGpyZDA?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI2MDUxMC4wKXMDSoASAFAw%3D%3D
- Google Maps. (2026b). Rotterdam, Rotterdam, Nizozemska. https://www.google.com/maps/place/Rotterdam,+Nizozemska/@51.9222367,4.497981,15386m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x47c5b7605f54c47d:0x5229bbac955e4b85!8m2!3d51.9244201!4d4.4777326!16zL20vMDZoZGs?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI2MDUxMC4wKXMDSoASAFAw%3D%3D
- Google Maps. (2026c). Favoriten, Dunaj, Avstrija. https://www.google.com/maps/place/Favoriten,+1100+Dunaj,+Avstrija/@48.167725,16.3707836,5553m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x476d0788e1d9e9d5:0xbf8a2e86da0ed9e7!8m2!3d48.1612995!4d16.381888!16zL20vMDZoZGpyZDA?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI2MDUxMC4wKXMDSoASAFAw%3D%3D
- Greater London Authority. (2019). *London's urban heat island: A summary for decision-makers*. Greater London Authority
- Hu, Y., White, M. in Ding, W. (2016). An Urban Form Experiment on Urban Heat Island Effect in High Density Area. *Procedia Engineering*, 169, 166–174. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.020>
- Mueller, N., Rojas-Rueda, D., Khreis, H., Cirach, M., Andrés, D., Ballester, J., Bartoll, X., Daher, C., Deluca, A., Echave, C., Milà, C., Márquez, S., Palou, J., Pérez, K., Tonne, C., Stevenson, M., Rueda, S. in Nieuwenhuijsen, M. (2020). Changing the urban design of cities for health: The superblock model. *Environment International*, 134, 105132. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105132>
- Nieuwenhuijsen, M., De Nazelle, A., Pradas, M. C., Daher, C., Dzhambov, A. M., Echave, C., Gössling, S., lungman, T., Khreis, H., Kirby, N., Khomenko, S., Leth, U., Lorenz, F., Matkovic, V., Müller, J., Palència, L., Pereira Barboza, E., Pérez, K., Taha, L., ... in Mueller, N. (2024). The Superblock model: A review of an innovative urban model for sustainability, liveability, health and well-being. *Environmental Research*, 251, 118550. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118550>
- Reinwald, F., Brandenburg, C., Gabor, A., Hinterkörner, P., Kainz, A., Kraus, F., Ring, Z., Scharf, B., Tötzer, T. in Damyanovic, D. (2021). Multi-level toolset for steering urban green infrastructure to support the development of climate-proofed cities. *Sustainability*, 13(21), 12111. <https://doi.org/10.3390/su132112111>
- Reckien, D., Buzasi, A., Olazabal, M., Spyridaki, N.-A., Eckersley, P., Simoes, S. G., Salvia, M., Pietrapertosa, F., Fokaides, P., Goonesekera, S. M., Tardieu, L., Balzan, M. V., De Boer, C. L., De Gregorio Hurtado, S., Feliu, E., Flamos, A., Foley, A., Geneletti, D., Grafakos, S., ... in Wejs, A. (2023). Quality of urban climate adaptation plans over time. *Npj Urban Sustainability*, 3(1), 13. <https://doi.org/10.1038/s42949-023-00085-1>
- United Nations. (2020). *The New Urban Agenda*. United Nations.
- Valença Pinto, L., Inácio, M. in Pereira, P. (2023). Green and blue infrastructure (GBI) and urban nature-based solutions (NbS) contribution to human and ecological wellbeing and health. *Oxford Open Infrastructure and Health*, 1, ouad004. <https://doi.org/10.1093/ooih/ouad004>
- van der Hoeven, F. in Wandl, A. (2015). *Hotterdam: How space is making Rotterdam warmer, how this affects the health of its inhabitants, and what can be done about it*. Delft, The Netherlands: TU Delft. ISBN 978-94-6186-512-0
- van Hove, L. W. A., Jacobs, C. M. J., Heusinkveld, B. G., Elbers, J. A., van Driel, B. L. in Holtslag, A. A. M. (2015). Temporal and spatial variability of urban heat island and thermal comfort within the Rotterdam agglomeration. *Building and Environment*, 83, 91–103. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.08.029>
- Žuvela-Aloise, M., Bügelmayer-Blaschek, M., Hahn, C. in Schneider, M. (2025). Modelling the efficiency of Nature-based Solutions to decrease extreme heat in dense urban areas in Vienna at micro- to city-scale. *Urban Climate*, 63, 102580. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102580>

Odziv lokalnih skupnosti na pregrevanje urbanega prostora v Singapurju

Blaž Križnik¹, Yoonhee Jung²

1 Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za azijske študije; 2 National University of Singapore, Faculty of Arts and Social Sciences, Department of History

Izvleček

V poglavju obravnavamo odziv lokalnih skupnosti na pregrevanje urbanega prostora v Singapurju. Urbani toplotni otoki so med ključnimi podnebnimi izzivi mesta in v veliki meri posledica njegovega strnjenege urbanega razvoja. Na podlagi študije primera pilotnega projekta Centre for Living Cities v soseski Pek Kio skušamo razumeti, kako prebivalci, prostovoljske organizacije in javne agencije sodelujejo pri krepitvi odpornosti lokalne skupnosti proti pregrevanju urbanega prostora. Ozelenitev ulice Cambridge Road v soseski Pek Kio kaže, da je učinkovito podnebno ukrepanje skupnosti med drugim odvisno od dostopa prebivalcev do ustreznih materialnih, finančnih, človeških in informacijskih virov ter od prenosa znanja in socialnega učenja med deležniki. Izkušnje Singapurja z odzivom lokalnih skupnosti na pregrevanje urbanega prostora poudarjajo tudi pomen vključevanja javnosti in trajne institucionalne podpore podnebnim ukrepom skupnosti, saj ti hkrati krepijo zaupanje med deležniki, prispevajo k močnejši družbeni povezanosti in prepoznavnejši identiteti lokalne skupnosti ter s tem povečujejo prilagojenost celotnega mesta na življenje z vročino.

Ključne besede:

lokalne skupnosti, ozelenjevanje, pregrevanje urbanega prostora, podnebne spremembe, podnebni ukrepi skupnosti

Abstract

This chapter examines how local communities in Singapore respond to and adapt to urban overheating. Urban heat islands are one of the key climate challenges faced by cities and are largely the result of dense urban development. Drawing on a case study of the Centre for Living Cities pilot project in the Pek Kio neighbourhood, we explore how residents, grassroots organisations and public agencies can collaborate to strengthen the resilience of the local community to urban overheating. The greening of Cambridge Road in the Pek Kio neighborhood shows that effective community climate action depends on residents having access to material, financial, human and informational resources, as well as knowledge transfer and social learning among stakeholders. Singapore's experience of local community responses to urban overheating also highlights the importance of public participation and sustained institutional support for community climate action. This strengthens trust among stakeholders, builds stronger social cohesion and local identity, and increases resilience of the city in adapting to life with the heat.

Keywords:

local community, urban greening, urban overheating, climate change, community climate action

1 Uvod

Singapur ponazarja, kako se velemesta spopadajo s posledicami podnebnih sprememb. Hkrati poudarja vlogo lokalnih skupnosti pri odzivanju na podnebne spremembe, zlasti na pregrevanje urbanega prostora, ki je med ključnimi podnebnimi izzivi mesta. Singapur, ki leži v vlažnem in vročem tropskem pasu, se namreč spoprijema z naraščajočimi povprečnimi dnevnimi in nočnimi temperaturami. Čeprav je vročina stalnica življenja v tropih, nedavne raziskave kažejo, da je Singapur zaradi pojava *urbanih toplotnih otokov* (UTO) predvsem ponoči precej izraziteje izpostavljen pregrevanju urbanega prostora kot okoliške regije (Chow in Roth, 2006; Jung, 2024).

Singapur je torej pomemben primer iz dveh razlogov. Prvič, ponazarja dolgoročne posledice strnjene urbanega razvoja, ki daje prednost konkurenčnosti mesta na svetovni ravni in učinkoviti rabi prostora, na pojav UTO. Izjemno gosta stanovanjska gradnja, veliki infrastrukturni projekti in številna poslovna središča so prispevali k uspešnemu razvoju mesta, vendar hkrati zadržujejo toploto in tako neposredno prispevajo k pregrevanju urbanega prostora. Po podatkih raziskave *Cooling Singapore 2.0* (Singapore-ETH Centre, 2021) je mesto ujet v začarani krog pregrevanja in naraščajoče porabe energije za ublažitev posledic UTO.

Drugič, Singapur se je na svetovni ravni uveljavil kot vodilno mesto na področju zelenega urbanizma. S pobudama *Garden City* in *City in Nature* so zelene površine postale sestavni del načrtovanja stanovanjskih sosesk, uličnega prostora in infrastrukture. Zelene površine danes obsegajo skoraj polovico celotne površine mesta (Gaw idr., 2019). Ohranjanje obstoječih in ustvarjanje novih zelenih površin sta pomembno izboljšala mikroklimatske razmere ter kakovost bivalnega okolja v mestu. Kljub temu ostaja izravnalni vpliv zelenih površin na blaženje posledic podnebnih sprememb izrazito neenakomeren (Tan idr., 2013).

Poleg tehničnih rešitev se je za pomemben, čeprav manj izpostavljeni vidik blaženja in prilagajanja na podnebne spremembe pokazalo vključevanje javnosti v ozelenjevanje mesta (Ludher, Hsu in Sim, 2021). Pobude, kot so urbani vrtovi *Community in Bloom* ter ozelenjevanje stanovanjskih sosesk v okviru *Neighbourhood Renewal Programme*, kažejo, da lahko prebivalci dejavno sodelujejo pri izvajanju podnebnih ukrepov v mestu. Takšne pobude so dobrodošle ne le zaradi zmanjševanja pregrevanja urbanega prostora, ampak tudi zaradi vpliva na večjo družbeno povezanost ter odpornost lokalnih skupnosti in celotnega mesta (Tan in Neo, 2009; Cho in Križnik, 2017).

Pomen Singapurja sega tudi onkraj tropov. Evropska mesta, ki so bila v preteklosti prilagojena predvsem na hladnejše podnebje, se danes pogosteje spoprijemajo z vročinskimi valovi. Podobno kot Singapur mnoga med njimi zgoščujejo grajeno okolje v iskanju trajnostnih rešitev za stanovanjske in prometne izzive, kar pogosto zmanjšuje ekološko prepustnost urbanega prostora. V tem pogledu so izkušnje Singapurja lahko dragocene tudi za evropska mesta, saj opozarjajo na omejitve strnjene urbanega razvoja in ozelenjevanja kot odziva na pregrevanje urbanega prostora.

V poglavju obravnavamo primer odziva lokalne skupnosti na pregrevanje urbanega prostora v Singapurju. Najprej predstavimo vpliv strnjene urbanega razvoja na pojav UTO, nato pregledamo še pilotni projekt krepitev odpornosti lokalne skupnosti v soseski Pek Kio. Ozelenitev ulice Cambridge Road v soseski obravnavamo kot primer dobre prakse odziva lokalnih skupnosti na pregrevanje urbanega prostora. Poglavje sklenemo z glavnimi spoznanji o odzivanju lokalnih skupnosti na izzive življenja z vročino.

2 Singapur: strnjeni urbani razvoj in mestni toplotni otoki

Urbani razvoj Singapurja je neločljivo povezan z njegovimi geografskimi omejitvami ter gospodarskimi in političnimi cilji. Gre za majhen otok z omejeno površino in naravnimi viri, veliko gostoto prebivalstva in željo ostati vodilno velemesto. Od osamosvojitve leta 1965 urbani razvoj načrtuje in usmerja država, predvsem po javnih agencijah, kot sta *Housing and Development Board* (HDB) in *Urban Redevelopment Authority* (URA). Podreditev urbanega razvoja geografskim omejitvam ter gospodarskim in političnim prednostnim nalogam države je oblikovala bivalno okolje z gosto stanovanjsko pozidavo, obsežnimi zelenimi površinami in učinkovitim omrežjem javnega prometa. V javnih stanovanjih danes živi več kot 80 odstotkov singapurskega prebivalstva (slika 1) (Yuen, 1996).

Za strnjeni urbani razvoj sta značilni učinkovita raba prostora in razmeroma visoka kakovost bivalnega okolja. Vendar pa velike stanovanjske soseske hkrati pomembno prispevajo k pregrevanju urbanega prostora. Obsežne betonske, asfaltne in steklene površine čez dan absorbirajo sončno sevanje ter ga ponoči počasi oddajajo, kar povzroča pojav UTO in občuten dvig temperatur v primerjavi z okoliškimi območji. Posledice UTO v Singapurju so dobro dokumentirane. Študije kažejo, da so nočne temperature v stanovanjskih soseskah lahko za 4–7 °C višje od temperatur v gozdnih ali obalnih območjih (Roth in Chow, 2012; Jung, 2024). Razlogi za pojav UTO so večplastni (Singapore-ETH Centre, 2021):

- gostota in morfologija grajenega okolja: visoke stavbe in ozke ulice omejujejo pretok zraka ter zlasti ponoči zadržujejo toploto;
- neprepustne površine: ceste, parkirišča in strnjena pozidava zmanjšujejo prepustnost tal ter evapotranspiracijo, kar zadržuje toploto na površini;
- poraba energije: uporaba klimatskih naprav povečuje porabo energije in hkrati oddaja odpadno toploto v okolje.



Slika 1: Gosta stanovanjska pozidava in obsežne zelene površine v soseski Pek Kio v Singapurju

Posledice pojava UTO so razmeroma neenakomerno porazdeljene. Prebivalci starejših stanovanjskih sosesk z omejenim prezračevanjem in zastarelo zasnovo pogosteje čutijo toplotno nelagodje kot prebivalci novejših sosesk s toplotno odbojnimi fasadami, strešnimi ozelenitvami in integriranimi sistemi hlajenja. Bogatejše stanovanjske soseske in poslovne četrti poleg tega uporabljajo napredne sisteme hlajenja in zelene tehnologije, medtem ko gospodinjstva z nižjimi dohodki pogosto varčujejo pri uporabi klimatskih naprav, kar povečuje njihovo ranljivost na toplotne obremenitve. UTO v Singapurju tako ni le okoljski, ampak tudi družbeno pogojeni pojav, pri katerem se podnebne spremembe prepletajo z družbeno neenakostjo in stanovanjsko tipologijo (Wong in Chen, 2009).

Država se na pregrevanje urbanega okolja odziva z mešanico tehnoloških in ekološko usmerjenih ukrepov. Pobudi *Garden City* in *City in Nature* od šestdesetih let dalje pomembno prispevata k ozelenjevanju mesta. Drevoredi ob cestah, vertikalno zelenje, povezovalne poti med javnimi parki in strešni vrtovi prispevajo k hlajenju urbanega prostora, saj ustvarjajo senco ter povečujejo evapotranspiracijo (Tan idr., 2013). Ozelenjevanje dopolnjujejo obsežne naložbe v raziskave, kot je *Cooling Singapore 2.0*, katerega cilj je razvoj novih rešitev za blaženje pregrevanja urbanega prostora. Kljub tem prizadevanjem IPCC (2021) ugotavlja, da pojav UTO v Singapurju ostaja resen izziv, zlasti zaradi vse pogostejših vročinskih valov.

Glavna omejitev ozelenjevanja je povezana z njegovimi strateškimi cilji, ki pogosto prevzamejo estetsko in simbolno funkcijo. Krepijo podobo Singapurja kot vodilnega mesta na področju zelenega urbanizma, medtem ko ostajajo ključni vzroki za pregrevanje urbanega prostora v veliki meri nerazrešeni. Ta paradoks poudarja potrebo po celovitejšem načrtovanju urbanega razvoja in podnebnih ukrepov, ki bi presegle okvir tehnoloških in ekoloških ukrepov ter vključevalo participativne in skupnostno opredeljene rešitve (Ludher, Hsu in Sim, 2021).

Vključevanje javnosti se je v zadnjem desetletju postopoma uveljavilo kot dopolnitev državnega načrtovanja urbanega razvoja Singapurja (Cho in Križnik, 2017). Pobuda *Community in Bloom* iz leta 2005 je bil ena prvih, ki je spodbudila neposredno vključevanje javnosti in lokalnih skupnosti v ozelenjevanje mesta (CLC, 2022). S tem se je v omejenem obsegu zmanjšal učinek UTO, medtem ko se je okrepila družbena povezanost na lokalni ravni (Tan in Neo, 2009). Podobne možnosti se kažejo tudi pri javnih in zasebnih strešnih vrtovih

na parkirnih hišah ali nakupovalnih centrih, ki niso le vir lokalno pridelane hrane in del zelene infrastrukture, ampak hkrati prispevajo k uravnavanju mikroklimе (Low in Chang, 2020).

Odnos med urbanim razvojem in pregrevanjem urbanega prostora ponazarja dvojno naravo urbanističnega načrtovanja v Singapurju. Strnjeni urbani razvoj, ki je prispeval h gospodarskemu uspehu mesta, hkrati povečuje njegovo ranljivost na podnebne spremembe. Čeprav pri načrtovanju urbanega razvoja in podnebnih ukrepov še vedno prevladujejo tehnološki ukrepi, porast participativnega ozelenjevanja in urbanega kmetijstva odraža svetovni trend večjega vključevanja prebivalcev ter lokalnih skupnosti kot partnerjev pri blaženju posledic podnebnih sprememb in prilagajanju nanje (Schreuder in Horlings, 2022). V tem pogledu je soseska Pek Kio uspešen primer odziva lokalnih skupnosti na pregrevanje urbanega prostora v Singapurju.

3 Soseska Pek Kio: krepitev odpornosti lokalne skupnosti

Uspešni odziv lokalnih skupnosti na podnebne spremembe med drugim zahteva aktivacijo virov, krepitev znanja in spretnosti, socialno učenje in spodbujanje partnerstev med lokalnimi skupnostmi, civilnodružbenimi organizacijami ter zasebnim in javnim sektorjem (Hölscher in Frantzeskaki, 2020). To lokalnim skupnostim omogoča razvoj zmogljivosti za prepoznavanje ranljivosti na podnebne spremembe. Krepitev zmogljivosti skupnosti povečuje individualno in kolektivno učinkovitost ter opolnomoča lokalne skupnosti za oblikovanje in izvajanje podnebnih ukrepov skupnosti (Bamberg idr., 2015). Omogoča jim, da se odzovejo na podnebne spremembe, se jim prilagajajo in si od njihovih posledic čim prej opomorejo, zato je krepitev zmogljivosti skupnosti ključnega pomena za oblikovanje odpornih lokalnih skupnosti (Berkes in Ross, 2013).



Slika 2: Cambridge Road je glavna pešpot v soseski Pek Kio

Vendar lokalne skupnosti pogosto potrebujejo trajno institucionalno podporo, da bi razvile in dolgoročno ohranile zmogljivost za prepoznavanje podnebnih izzivov ter odzivanje nanje v svojem življenjskem okolju (Schreuder in Horlings, 2022). V Singapurju je *Center for Liveable Cities* (CLC), mislišče pod okriljem *ministrstva za nacionalni razvoj* (MND), tako prepoznal potrebo po večji institucionalni podpori za krepitev zmogljivosti skupnosti z namenom oblikovanja odpornejših lokalnih skupnosti in mesta (Ludher, Hsu in Sim, 2021).

Leta 2019 je CLC začel pilotni projekt *Building Community Resilience at Cambridge Road*, da bi raziskal pomen odziva lokalnih skupnosti na podnebne izzive za krepitev odpornosti mesta. Projekt je predvideval zgodnje vključevanje javnosti v načrtovanje in izvajanje ukrepov za blaženje posledic podnebnih sprememb ter prilagajanje nanje. Čeprav se je sprva osredotočal na podnebne ukrepe skupnosti, je CLC načrtoval, da bo ugotovitve uporabil tudi pri obravnavi drugih stresnih dejavnikov v Singapurju in odzivanju nanje (CLC, 2022).

Za pilotni projekt je bila izbrana soseska Pek Kio v okrožju Moulmein-Cairnhill na obrobju mestnega središča, predvsem zaradi pogostih poplav, ki jih je v preteklosti povzročala bližina kanala Kampong Java. CLC je predvideval, da bodo za lokalno skupnost poplave glavni podnebni izziv, zato je načrtoval sodelovanje s prebivalci pri reševanju poplavne ogroženosti soseske. Poleg tega je soseska Pek Kio, v kateri živi približno 7.000 ljudi, znana po družbeni raznolikosti, dejavni lokalni skupnosti in prostovoljskih organizacijah ter po razpoložljivosti prostora za morebitne intervencije, kar je dodatno vplivalo na njeno izbiro za pilotni projekt.

4 Cambridge Greenway: odziv lokalne skupnosti na podnebne izzive

Približno 500 prebivalcev in prostovoljcev je skupaj s predstavniki prostovoljskih organizacij in javnih agencij sodelovalo v anketah, na skupnostnih in strokovnih delavnicah ter na urbanih sprehodih. V nasprotju s pričakovani CLC večina udeležencev ni bila zaskrbljena zaradi poplavne ogroženosti. Namesto tega so bili bolj zaskrbljeni zaradi vpliva ekstremnih vremenskih pojavov in naraščajočih temperatur na vsakdanje življenje v soseski (CLC, 2022). Pri tem so ugotovili, da je pregrevanju urbanega prostora še posebej izpostavljena ulica Cambridge Road, glavna pešpot v soseski (slika 2).



Slika 3: Cambridge Greenway kot dobra praksa odziva lokalne skupnosti na pregrevanje urbanega prostora v Singapurju (foto: Centre for Liveable Cities, Singapur)

Ugotovitve so CLC spodbudile, da je projekt namesto na zagotavljanje poplavne varnosti preusmeril na blažnje pregrevanja urbanega prostora in prilagajanje nanj. V soseski so postaviličasne stojnice, da bi javnost dejavno vključili v oblikovanje podnebnih ukrepov skupnosti. Udeleženci so kot glavni ukrep predlagali ozelenitev ulice Cambridge Road. CLC je nato organiziral strokovne delavnice s strokovnjaki NParks za pomoč udeležencem pri načrtovanju in izvedbi ter nato pri vzdrževanju predlagane ozelenitve. V nekaj mesecih je pri sajenju dreves, okrasnih grmovnic in drugih rastlin vzdolž ulice Cambridge Road sodelovalo približno 70 prostovoljcev, ki so ustvarili novo zeleno pot ter tako zmanjšali toplotno neugodje v soseski (CLC, 2022).

Zelena pot *Cambridge Greenway* je bila dokončana leta 2021 (slika 3). Drevesne krošnje so kmalu zagotovile senco za pešce. Prve meritve so pokazale zmerno znižanje temperature vzdolž ulice Cambridge Road, ki je hkrati postala nov skupni prostor v soseski (CLC, 2022). Poleg tega so se prostovoljci vsako prvo soboto v mesecu zbirali zaradi vzdrževanja ozelenitve, kar je okrepilo družbeno povezanost in identiteto soseske Pek Kio. To kaže, da lahko odziv lokalnih skupnosti na podnebne izzive poleg sprememb v fizičnem okolju prinaša tudi manj vidne, a pomembne družbene učinke.

Z vidika družbenih učinkov je bila pomembna tudi ustanovitev skupine *Our Green Pek Kio* leta 2020. Skupina je združila približno 30 prostovoljcev, ki so dejavno sodelovali v začetni fazi pilotnega projekta, in imela pozneje pomembno vlogo pri mobilizaciji drugih prebivalcev ter vključevanju javnosti v podnebne ukrepe skupnosti (CLC, 2022). Skupina je zatem razširila svoje delovanje onkraj soseske Pek Kio in se preimenovala v *Our Green Moulmein-Cairnhill* (Our Green MoCa).

Our Green MoCa je sodelovala s prebivalci, lokalno skupnostjo, prostovoljskimi organizacijami, zasebnimi podjetji in različnimi javnimi agencijami, kar je okrepilo njen socialni kapital ter prispevalo k izmenjavi znanja in socialnemu učenju med različnimi deležniki (Jensen in Ong, 2022). Vzpostavitev partnerstva med prebivalci, prostovoljskimi organizacijami in javnimi agencijami je dodatno izboljšala dostop lokalne skupnosti do materialnih, finančnih, človeških in informacijskih virov, potrebnih za delovanje skupine Our Green MoCa.

Takšno delovanje je poleg vzdrževanja zelene poti zajemalo tudi preoblikovanje stranskih ulic v nove skupne prostore ter organizacijo skupnostnih delavnic, spletnih seminarjev in hekatonov, povezanih z varovanjem okolja, urbanim kmetijstvom, varno hrano, recikliranjem in podnebnimi spremembami. Ti dogodki so letno pritegnili več sto udeležencev. V sodelovanju z zasebnimi podjetji in prostovoljskimi organizacijami je Our Green MoCa odprla tudi center za recikliranje odpadkov *Our Green Hub* ter dejavno sodelovala pri posvetovanjih in načrtovanju novega javnega parka *Our Pek Kio Park* v letu 2025 (slika 4).

CLC je pilotni projekt *Building Community Resilience at Cambridge Road* prepoznal kot uspešen primer odzivanja lokalnih skupnosti na podnebne izzive. Agencija je zato poskušala projekt razširiti tudi v druge soseske v mestu, pri čemer pa ostaja nejasno, v kolikšni meri je to lahko združljivo s prevladujočimi tehnološkimi ukrepi v mestu. Medtem se tudi Our Green MoCa spoprijema z izzivi. Prostovoljstva namreč ni preprosto vzdrževati, poleg tega razmeroma skromna finančna podpora omejuje dolgoročno vzdržnost podnebnih ukrepov skupnosti v soseski Pek Kio.



Slika 4: Center za recikliranje odpadkov Our Green Hub je hkrati pomemben skupni prostor v soseski

5 Sklep

Izkušnje Singapurja kažejo, da odpornosti lokalne skupnosti ni mogoče doseči zgolj s tehničnimi ukrepi. Ključna je tudi krepitev zmogljivosti skupnosti, da se učinkovito odziva na podnebne spremembe, se jim prilagaja in si od njihovih posledic čim hitreje opomore. Primer soseske Pek Kio dokazuje, da se lokalna skupnost ob trajni institucionalni podpori lahko uspešno odzove na pregrevanje urbanega prostora. Zlasti CLC je s finančno in organizacijsko podporo neposredno prispeval h krepitvi zmogljivosti skupnosti in izvajanju podnebnih ukrepov skupnosti. Brez te podpore prebivalci ne bi imeli dostopa do potrebnih virov, tehničnega znanja in pristojnosti, da bi zaskrbljenost zaradi naraščajočih temperatur v soseski pretvorili v dejanske ukrepe.

Pilotni projekt v soseski Pek Kio poudarja, da so partnerstva med lokalno skupnostjo, prostovoljskimi organizacijami ter zasebnim in javnim sektorjem ključna za krepitev odpornosti lokalnih skupnosti. Enako pomembno je spoznanje, da morajo ukrepi za blaženje posledic podnebnih sprememb in prilagajanje nanje odražati poglede ter potrebe lokalne skupnosti. Načrtovalci so sprva domnevali, da je največje tveganje v soseski poplavna ogroženost. Vendar je zgodnje vključevanje javnosti razkrilo, da so prebivalce bolj skrbele naraščajoče temperature. Tako je lahko CLC pilotni projekt ustrezno prilagodil dejanskim potrebam lokalne skupnosti.

Hkrati je CLC deloval kot posrednik med lokalno skupnostjo in drugimi deležniki, kar je okrepilo medsebojno zaupanje, omogočilo izmenjavo znanja in izkušenj ter spodbudilo socialno učenje. Lokalna skupnost je bila tudi dejavno vključena v oblikovanje in izvajanje podnebnih ukrepov skupnosti, kar je prispevalo k njihovi večji sprejemljivosti in učinkovitosti. Ustanovitev skupine Our Green MoCa je dodatno opozorila na pomen vključevanja javnosti pri širjenju podnebnih ukrepov skupnosti, ki so v soseski Pek Kio poleg ozelenjevanja vključevali tudi varstvo okolja, urbano kmetijstvo ter recikliranje.

Nazadnje primer soseske Pek Kio poudarja tudi pomen izmenjave dobrih praks. Uspešni primeri podnebnih ukrepov skupnosti, kot je Cambridge Greenway, namreč prispevajo k večji družbeni povezanosti ter prepoznavnejši identiteti posameznih lokalnih skupnosti in mesta kot celote (Leong in Malone-Lee, 2020). Pri tem se odpira vprašanje vloge javnih institucij pri izmenjavi dobrih praks. CLC je pilotni projekt v soseski Pek Kio sicer prepoznal kot uspešen primer odziva lokalnih skupnosti na podnebne izzive, medtem ko predstavniki Our Green MoCa redno sodelujejo pri usposabljanjih prostovoljcev v Singapurju. Kljub temu bi dejavnejša vloga CLC pri širjenju dobrih praks lahko dodatno okrepila prilagojenost celotnega mesta na življenje z vročino.

V tem pogledu so izkušnje Singapurja lahko dragocene tudi za evropska mesta, saj ne le opozarjajo na omejitve strnjenegega urbanega razvoja in ozelenjevanja kot odziva na pregrevanje urbanega prostora, ampak hkrati poudarjajo pomen vključevanja javnosti ter trajne institucionalne podpore pri oblikovanju in izvajanju podnebnih ukrepov skupnosti.

Zahvala

Poglavje delno temelji na rezultatih raziskave Neighbourhood Collective Action and Social Innovation for Resilient Cities in East Asia and Europe (CASIE), ki jo financira Evropska unija – NextGenerationEU. Večji del raziskovalnega dela je bil opravljen na Asia Research Institute, National University of Singapore. Avtorja se zahvaljujeta vsem, ki so prispevali k izvedbi raziskave in zagotovili strokovno in administrativno pomoč.

Viri in literatura

- Bamberg, S., Rees, J. in Seebauer, S. (2015). Collective climate action: Determinants of participation intention in community-based pro-environmental initiatives. *Journal of Environmental Psychology*, 43, 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2015.06.006>
- Berkes, F. in Ross, H. (2013). Community resilience: Toward an integrated approach. *Society & Natural Resources*, 26(1), 5–20. <https://doi.org/10.1080/08941920.2012.736605>
- Centre for Liveable Cities, CLC. (2022). *Building community resilience*. Centre for Liveable Cities. <https://knowledgehub.clc.gov.sg/publications-library/building-community-resilience>
- Cho, I. S. in Križnik, B. (2017). Community-based urban development: Evolving urban paradigms in Singapore and Seoul. *Springer Singapore*. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-1987-6>
- Chow, W. T. L. in Roth, M. (2006). Temporal dynamics of the urban heat island of Singapore. *International Journal of Climatology*, 26(15), 2243–2260. <https://doi.org/10.1002/joc.1364>
- Gaw, L. Y.-F., Yee, A. T. K. in Richards, D. R. (2019). A high-resolution map of Singapore's terrestrial ecosystems. *Data*, 4(3), 116. <https://doi.org/10.3390/data4030116>
- Hölscher, K. in Frantzeskaki, N. (ur.). (2020). *Transformative climate governance: A capacities perspective to systematise, evaluate and guide climate action*. Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-49040-9>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate change 2021: The physical science basis. *Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, ... B. Zhou, ur.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Jensen, O. in Ong, C. (2020). Collaborative action for community resilience to climate risks: Opportunities and barriers. *Sustainability*, 12(8), 3413. <https://doi.org/10.3390/su12083413>
- Jung, Y. (2024). Urban heat islands and the transformation of Singapore. *Urban Studies*, 61(15), 2908–2927. <https://doi.org/10.1177/00420980231217391>
- Leong, C.-H., & Malone-Lee, L.-C. (Eds.). (2020). *Building resilient neighbourhoods in Singapore: The convergence of policies, research and practice*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-7048-9>
- Low B. in Chang, A. (2020). Citizen participation in urban agriculture, An exploration of various community approaches in Singapore. *Journal of Environmental Studies*, 66, 124–151.
- Ludher, E., Hsu, K. F. in Sim, N. (with Centre for Liveable Cities). (2021). *Preparing for a climate resilient Singapore*. Centre for Liveable Cities.
- Roth, M. in Chow, W. T. L. (2012). A historical review and assessment of urban heat island research in Singapore. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 33(3), 381–397. <https://doi.org/10.1111/sjtg.12003>
- Schreuder, W. in Horlings, L. G. (2022). Transforming places together: Transformative community strategies responding to climate change and sustainability challenges. *Climate Action*, 1(1), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s44168-022-00024-3>
- Singapore-ETH Centre. (2021). *Cooling Singapore 2.0: A multi-level urban climate model for mitigation and adaptation strategies*. Singapore: Cooling Singapore Project. <https://sec.ethz.ch/research/cs.html>
- Tan, C. L., Wong, N. H. in Jusuf, S. K. (2013). Effects of vertical greenery on mean radiant temperature in the tropical urban environment. *Building and Environment*, 70, 362–373. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.04.005>
- Tan, P. Y., in Neo, H. (2009). "Community in Bloom": Local participation of community gardens in urban Singapore. *Local Environment*, 14(6), 529–539. <https://doi.org/10.1080/13549830902904060>
- Wong, N. H. in Chen, Y. (2009). *Tropical urban heat islands: Climate, buildings and greenery*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203931295>
- Yuen, B. (1996). Creating the garden city: The Singapore experience. *Urban Studies*, 33(6), 955–970. <https://doi.org/10.1080/00420989650011681>

Temperatura tal kot pokazatelj vpliva urbanizacije

Marina Lovrić, Katarina Kuk,
Alen Mangafić

Geodetski inštitut Slovenije

Izvleček

Študija analizira vpliv urbanizacije in na naravi temelječih rešitev na temperaturo tal za del naselja Vrhovci v Ljubljani v obdobju 2000–2025. Analiza temelji na časovni vrsti satelitskih posnetkov Landsat 7, 8 in 9, s poudarkom na razvoju sosesk Zeleni gaj in Novo Brdo ter na fazah gradnje in urejanja prostora. Rezultati kažejo, da gradnja in širitev pozidanih površin poleti povečata lokalno toplotno obremenitev, po ureditvi večjih zelenih površin in zasaditvi vegetacije pa se intenzivnost segrevanja zmanjša. Prostorska analiza v kombinaciji z numeričnimi kazalniki omogoča prepoznavanje prostorskih vzorcev segrevanja in potrjuje blažilni učinek na naravi temelječih rešitev. Lokalno izmerjene spremembe smo preverili s primerjavo z meteorološkimi podatki, kar omogoča razlikovanje med vplivi širših podnebnih razmer in mikrolokalnimi prostorskimi procesi. Uporabljena metodologija se pokaže za primerno za spremljanje učinkov prostorskih posegov na toplotno obremenitev ter za podporo prostorskemu načrtovanju pri načrtovanju podobnih ureditev.

Ključne besede:

temperatura tal, urbanizacija, toplotne obremenitve, na naravi temelječe rešitve, Landsat, urbani toplotni otok

Abstract

The study analyses the impact of urbanization and nature-based solutions on land surface temperature in a part of the Vrhovci neighbourhood in Ljubljana over the period 2000–2025. The analysis is based on a time series of Landsat 7, 8, and 9 satellite imagery, with a focus on the development of the Zeleni gaj and Novo Brdo residential areas and on the phases of construction and spatial arrangement. The results show that construction and the expansion of built-up areas increase local summer heat stress, while the intensity of warming decreases after the establishment of larger green areas and the planting of vegetation. Spatial analysis combined with numerical indicators enables the identification of spatial heating patterns and confirms the mitigating effect of nature-based solutions. The locally observed changes were validated through comparison with meteorological data, allowing a distinction between the influence of broader climatic conditions and microlocal spatial processes. The applied methodology proves suitable for monitoring the effects of spatial interventions on heat stress and for supporting spatial planning when designing similar developments.

Keywords:

land surface temperature, urbanization, heat stress, nature-based solutions, Landsat, urban heat island

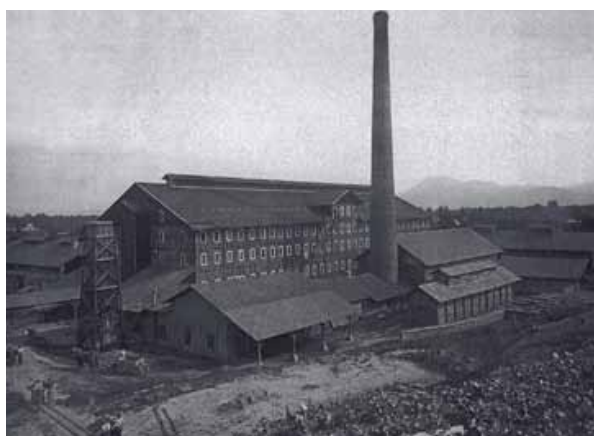
1 Uvod

Urbanizacija kot proces preoblikuje prostor s povečevanjem deleža pozidanih in neprepustnih površin, zmanjševanjem zelenih površin in povečevanjem gostote prebivalstva v mestih (Buyadi idr., 2013; Wei idr., 2016). Združeni narodi navajajo, da danes v mestih živi več kot 55 % svetovnega prebivalstva, do leta 2050 pa naj bi delež presegel 68 %, kar pomeni dodatne pritiske na okolje in prostorski razvoj (Združeni narodi, 2022). Takšne spremembe spreminjajo mikroklimatske razmere v mestih, saj pozidane površine akumulirajo več toplote, možnosti naravnega hlajenja pa se zmanjšujejo, kar prispeva k nastanku in krepitvi urbanega toplotnega otoka (angl. *urban heat island*; v nadaljevanju: UTO) (Oke, 1982; Buyadi idr., 2013; Oke idr., 2017; Van der Hoeven in Wandl, 2018). Pojav UTO se v zadnjih desetletjih krepi tudi zaradi podnebnih sprememb, saj globalno segrevanje zvišuje povprečne temperature in povečuje pogostnost vročinskih valov, kar dodatno obremenjuje urbana območja (Evropska agencija za okolje, 2024).

Kombinacija globalnega segrevanja, dolgotrajnih urbanizacijskih procesov in demografskih trendov je pomemben izziv za razvoj in načrtovanje mest, ki bodo odpornejša proti podnebnim spremembam ter učinkovitejša pri blaženju pojavov UTO. V tem kontekstu se kot učinkovite pri blaženju toplotnih obremenitev in izboljšanju mikroklimatskih razmer vse pogosteje uveljavljajo na naravi temelječe rešitve (angl. *nature-based solutions*). Na naravi temelječe rešitve so načini načrtovanja, upravljanja in oblikovanja prostora, ki so zasnovani ob razumevanju ter upoštevanju naravnih procesov in ekosistemov in vključujejo rešitve, kot so modro-zeleni koridorji, drevoredi, travnate površine, zelene strehe ter vodni in zadrževalni elementi za padavinsko vodo in podobno. Gre za stroškovno učinkovite metode, ki prinašajo okoljske, družbene in gospodarske koristi ter prispevajo k večji odpornosti mest proti podnebnim spremembam in drugim izzivom (Dremel in Goličnik Marušić, 2021; Direkcija Republike Slovenije za vode, 2024). Drugače kot tradicionalni tehnični ukrepi na naravi temelječe rešitve združujejo večnamenskost, družbeno koristnost in dolgoročne prostorske učinke ter omogočajo reševanje več izzivov hkrati (Dremel in Goličnik Marušić, 2021).

Raziskave kažejo, da na naravi temelječe rešitve, ki vključujejo tako vegetacijske kot vodne elemente, kot so drevoredi, raščeni teren, zelene strehe, zadrževalniki meteorne vode z vegetacijo ter uporaba prepustnega tlakovanja in manj toplotno akumulativnih materialov, lahko delujejo kot povezan sistem za izboljšanje mikroklimatskih razmer (Environmental Protection Agency, 2014; Koc idr., 2016; Kala idr., 2019; Chen idr., 2020). Vegetacija izboljšuje senčenje in evapotranspiracijo, naravni materiali pa zmanjšujejo akumulacijo toplote v primerjavi z neprepustnimi površinami (Environmental Protection Agency, 2014). Vodni elementi, kot so zadrževalniki padavinskih voda, obrežni pasovi ali zasajeni suhi kanali, poleg izboljševanja kakovosti zraka pripomorejo k zmanjševanju obremenitev sistema odpadnih voda, povečujejo biotsko raznovrstnost ter ustvarjajo prijetno okolje za počitek in rekreacijo, s čimer izboljšujejo tudi kakovost bivanja (O'Donnell, 2020; Aubrechtová idr., 2024; Sánchez idr., 2025).

Učinke tovrstnih ureditev je mogoče objektivno spremljati z uporabo daljinskega zaznavanja, ki omogoča pridobivanje prostorsko in časovno primerljivih podatkov o spremembah v okolju. Satelitski posnetki omogočajo sistematično spremljanje temperature tal (angl. *land surface temperature*; v nadaljevanju: LST), kar omogoča ponovljivo analizo temperaturnih sprememb ter spremljanje vplivov prostorskih ureditev na mikroklimatske razmere (Chen idr., 2005; Buyadi idr., 2013).



Slika 1: Opekarna Vrhovci (vir: Facebook; Stare fotografije in razglednice Ljubljane)

Poglavje obravnava študijski primer območja Vrhovci v Ljubljani, kjer sta v zadnjih dveh desetletjih nastali stanovanjski soseski Zelena gaj (izvedba 2010–2017) in Novo Brdo (izvedba 2018–2021). Na podlagi časovne vrste satelitskih posnetkov Landsat 7, 8 in 9 v obdobju 2000–2025 je opravljena analiza, kako je izgradnja teh sosesk vplivala na spremembe v temperaturi tal in kako na naravi temelječe rešitve prispevajo k blaženju učinkov pregrevanja. Namen prispevka je obravnava interpretacije rezultatov analize LST v povezavi s spremembami v prostoru ter z vidika širših mikroklimatskih gibanj in učinkovitosti na naravi temelječih rešitev pri blaženju učinkov pregrevanja.

2 Preobrazba območja Vrhovci: od opuščene glinokopa do sodobnih sosesk

Raziskava obravnava del naselja Vrhovci v zahodnem delu Ljubljane, ki je v zadnjih dveh desetletjih doživel izrazito prostorsko preobrazbo. Območje je zanimivo zaradi prehoda iz nekdanje industrijske rabe zemljišča v sodobno stanovanjsko sosesko in zaradi uporabe na naravi temelječih rešitev. Na podlagi jasno opredeljenih časovnih faz razvoja lahko z uporabo satelitskih podatkov spremljamo dolgoročne trende in pridobimo vpogled v to, kako urbanizacija in uporaba na naravi temelječih rešitev vplivata na prostorske in mikroklimatske spremembe.

2.1 Razvoj soseske: kronološki pregled razvoja

Na območju je v začetku 20. stoletja delovala Opekarna Vrhovci z glinokopom. Opekarna, prikazana na sliki 1, je obratovala do leta 1976, po prenehanju proizvodnje pa so bili njeni objekti uporabljeni predvsem kot skladišča (Mihelič idr., 2002). Z opustitvijo dejavnosti je območje postopoma izgubilo svojo funkcijo in se spremenilo v razvrednoteno območje, ki je bilo opredeljeno kot primerno za prihodnjo revitalizacijo.

Analiza ortofoto posnetkov prikazuje jasno zaporedje prostorskih sprememb v zadnjih treh desetletjih. Na posnetkih iz let 1995 (slika 2) in 1999 (slika 3) je območje vidno degradirano, z opuščnim glinokopom in skladiščnimi objekti na južnem robu. Ortofoto iz leta 2005 (slika 4) že prikazuje porušene objekte nekdanje opekarne, pri čemer območje ostaja neurejeno in brez nove rabe.



Slika 2: Ortofoto posnetek leta 1995 (vir: GURS)



Slika 3: Ortofoto posnetek leta 1999 (vir: GURS)



Slika 4: Ortofoto posnetek leta 2006 (vir: GURS)



Slika 5: Ortofoto posnetek leta 2011 (vir: GURS)



Slika 6: Ortofoto posnetek leta 2016 (vir: GURS)



Slika 7: Ortofoto posnetek leta 2018 (vir: GURS)

Proces revitalizacije nekdanjega industrijskega območja se je začel z arhitekturno-urbanističnim natečajem za soseško Zeleni gaj, izvedenim leta 2005. Izgradnja, ki je potekala med letoma 2010 in 2017, je preoblikovala nekdanje industrijske površine v sodobno stanovanjsko soseško s poudarkom na povezovanju grajenega okolja z zeleno infrastrukturo. Na posnetku iz leta 2011 (slika 5) so vidni prvi posegi za ureditev nove soseške; začetki gradbenih del na območju Zelenega gaja in pripravljala zemeljska dela. Ortofoto iz leta 2016 (slika 6) že prikazuje izgrajeno novo cestno povezavo med Cesto na Brdo in Cesto na Vrhovce. Posnetek iz leta 2018 (slika 7) prikazuje v celoti izgrajene vse sklope soseške Zeleni gaj.

Druga faza razvoja se je začela z arhitekturno-urbanističnim natečajem za soseško Novo Brdo leta 2016, gradnja pa je potekala med letoma 2018 in 2021. Podobno kot v primeru Zelenega gaja tudi zasnova Novega Brda temelji na urbanističnih rešitvah, ki skušajo uravnotežiti stanovanjsko pozidavo z zelenimi površinami, pešpotmi in skupnostnimi prostori. V sklopu ureditve je bil vzpostavljen tudi bajer – vodni element, ki skupaj z zeleno infrastrukturo prispeva k izboljšanju prostorskih razmer in bivalne kakovosti. Ortofoto iz leta 2021 (slika 8) prikazuje skoraj v celoti izgrajeno soseško na severovzhodnem delu območja, posnetek iz leta 2024 (slika 9) pa že prikazuje dokončano in popolnoma urejeno soseško Novo Brdo.

2.2 Urbanistične in prostorske značilnosti soseške Zeleni gaj

Urbanistična zasnova soseške Zeleni gaj, prikazana na sliki 12, združuje šest funkcionalnih sklopov (F2, F3, F4, F5, F6 in F10) ter temelji na kombinaciji dveh osnovnih tipov stanovanjskih objektov: blok in vrstna hiša. Stanovanjski bloki so razporejeni v daljše in krajše nize, pri čemer njihova orientacija in zamiki sledijo gričevnatemu terenu ter poteku Poti Rdečega križa. V sklopu F2 so bloki umeščeni v značilni pahljačasti razmestitvi, medtem ko bloki v sklopih F3 in deloma F4 sledijo liniji ceste in so orientirani v smeri severovzhod–jugozahod.



Slika 8: Ortofoto posnetek leta 2021 (vir: GURS)



Slika 9: Ortofoto posnetek leta 2024 (vir: GURS)



Slika 10: Krajinske ureditve v soseski Zeleni gaj (foto: Miran Kambič)



Slika 11: Bajer v soseski Zeleni gaj (foto: Miran Kambič)

hod. Proti jugozahodnemu robu se zazidava preusmeri pravokotno na Cesto na Vrhovce, na najvišjem delu območja pa zazidavo zaključujejo nizi vrstnih hiš, ki tvorijo prehod med gosto pozidavo ter zelenim zaledjem.

Prometna zasnova sledi načelu ločevanja motornega prometa in pešpoti. Glavni dostop s ceste poteka po vzhodnem robu (Pot Rdečega križa) in dveh prečnih ulicah, medtem ko je notranjost soseske zasnovana kot območje umirjenega prometa. Parkiranje je večinoma urejeno v podzemnih garažah na južnem in severnem delu.

Posebna pozornost je bila namenjena oblikovanju kakovostnih skupnih odprtih površin in navezavam na obstoječe naravne danosti. Na jugozahodnem robu soseske je urejen večji zeleni prostor, poimenovan sklop F10, z rekreativnimi površinami, prostori za druženje in bajerjem, ki deluje kot mikroklimatski regulator, za-



Slika 12: : Razporeditev prostorskih enot oziroma sklopov v soseskah Zeleni gaj in Novo Brdo (vir: GURS, Geodetski inštitut Slovenije)

drževalnik meteorne vode in javni odprti prostor za rekreacijo. Ob pešpoteh, tlakovanih s svetlimi betonskimi ploščami, ki povezujejo posamezne stanovanjske bloke, so urejene travnate površine in zasajena sadna drevesa, ob njih pa se nizajo tudi otroška igrišča.

2.3 Urbanistične in prostorske značilnosti soseke Novo Brdo

Urbanistična zasnova soseke Novo Brdo obsega tri medsebojno povezane sklope: E1, E2 in E3, katerih razdelitev je prikazana na sliki 12. Sklopi združujejo tri različne stanovanjske tipe: kompaktne prostostoječe bloke, podolgovate bloke z balkonskimi dostopi in lamelne bloke. Tipološka raznolikost ustvarja razgibano, a prostorsko usklajeno zazidavo, ki sledi pasovni organizaciji območja ter omogoča jasen preplet grajenih in odprtih površin.

V severnem delu območja (E1) so stanovanjski objekti organizirani v obliki lamel dveh dolžin, razporejenih v vzporedne pasove v smeri sever–jug. Med lamelami so oblikovani pasovi zunanjih površin, namenjeni peš dostopu in vsakdanji rabi stanovalcev. Lamelna zasnova se navezuje na relief in omogoča dobro osončenost stanovanjskih enot.

V južnem delu območja (E2 in E3) so podolgovati bloki umeščeni vzdolž Poti Rdečega križa in delujejo kot zvočna bariera proti prometni cesti, medtem ko so kompaktni prostostoječi bloki točkovno razporejeni v ozadju, proti vzhodnemu robu območja, ter se z merilom in orientacijo navezujejo na soseko Zeleni gaj in individualne hiše v okolici.

Prometna ureditev v celotni soseki temelji na ločevanju motornega prometa od pešpoti. Motorni promet je omejen na zahodni rob ob Poti Rdečega križa, kjer so parkirna mesta, sicer pa je notranjost območja namenjena pešcem in kolesarjem. Parkiranje je v večji meri urejeno v podzemnih garažah posameznih funkcionalnih sklopov.

Kljub razlikam med sklopi E1, E2 in E3 soseka Novo Brdo sledi enotnemu prostorskemu načelu izmenjevanja pasov stanovanjskih blokov in pasov odprtih površin, kar omogoča varno prehodnost ter vzpostavlja dobro povezano mrežo pešpoti. Pešpoti znotraj soseke so tlakovane s svetlimi betonskimi ploščami in tlakovci, ob robu območja pa poteka peščena sprehajalna pot. Ob teh poteh so urejene travnate površine z nižjim grmovjem ter žepi višjih dreves na mestih, kjer ni podzemne garaže. Vzdolž pešpoti so razporejena tudi otroška igrišča, ki dopolnjujejo odprti prostor soseke.

Na vzhodnem delu območja, ob zelenem robu ob ježi, je urejen manjši zadrževalnik padavinske vode, ki deluje kot del modro-zelene infrastrukture. Zadrževalnik zmanjšuje obremenitev kanalizacijskega sistema, omogoča upočasnjeno odvajanje padavinske vode ter prispeva k blaženju lokalnih mikroklimatskih vplivov, hkrati pa je območje za druženje stanovalcev.



Slika 13: Ureditev zadrževalnika padavinskih voda v soseki Novo Brdo (vir: <https://www.cbe.si/stanovanjska-soseska-novo-brdo/>)



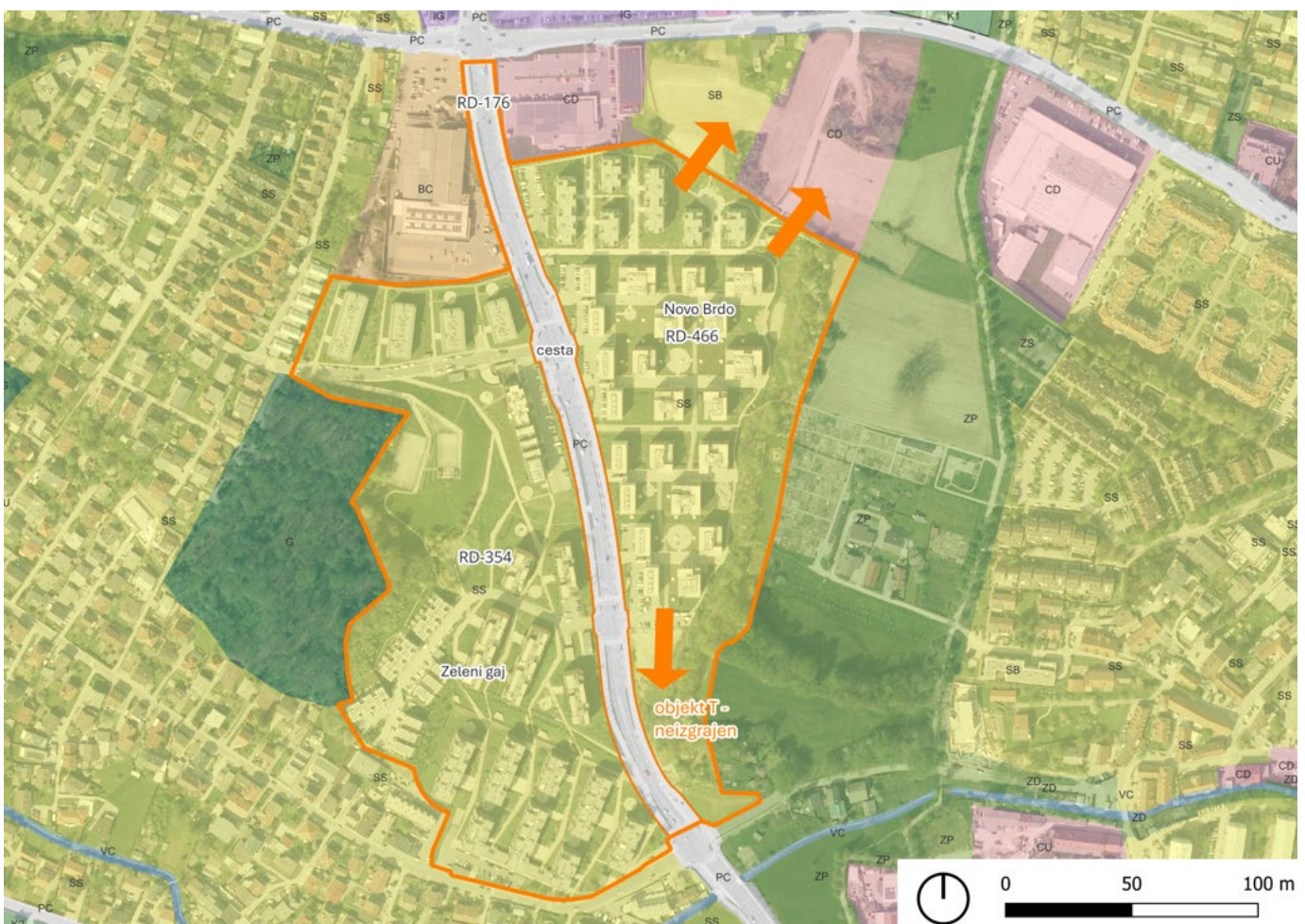
Slika 14: Zasaitve dreves in urejene poti v soseki Novo Brdo (foto: Iva Krajnc)

2.4 Razlogi za izbor študijskega območja

Del soseske Vrhovci je bil v zadnjih dveh desetletjih preurejen z večjim posegom v prostor, v okviru katerega sta nastali stanovanjski soseski Zeleni gaj in Novo Brdo. Postopni razvoj od nekdanje opekarne do sodobnega stanovanjskega območja omogoča podrobno spremljanje dolgoročnih prostorskih sprememb in njihovega vpliva na mikroklimo. Kombinacija dveh sosesk z različnimi tipi pozidave, uvedba na naravi temelječih rešitev ter razpoložljivost časovne vrste satelitskih posnetkov ponujajo primeren okvir za analizo vpliva pozidave, vegetacije in vodnih ureditev na spremljanje mikroklimatskih razmer.

Obe soseski odlikuje vključevanje na naravi temelječih rešitev – premišljena urbanistična in krajinska ureditev ter raba materialov. Mednje spadajo premišljena izbira materialov, urejenost zunanjih površin in izbira tipa zazidave. Poti so tlakovane s svetlejšimi, poroznimi materiali, ki zmanjšujejo absorpcijo toplote in omogočajo ponikanje padavinske vode. Velike travnate površine in zasaditve ob Poti Rdečega križa in v soseskah prispevajo k blaženju toplotnih obremenitev. Bajer v Zelenem gaju in zadrževalnik padavinske vode v Novem Brdu kot lokalna regulatorja mikroklimatskih razmer in naravna zadrževalnika padavinskih voda prispevata tudi k izboljšanju kakovosti bivalnega okolja, saj ustvarjata prostor za sprostitev in rekreacijo. Kljub temu na mikroklimo vplivajo tudi podzemne garaže, značilne za obe soseski, saj akumulirana toplota iz spodnjih etaž lahko prispeva k povišanim temperaturam tal.

Dodatni razlog za izbrano prav to študijsko območje je bilo dejstvo, da se bo razvoj soseske v prihodnosti nadaljeval. Slika 15 prikazuje, da je na južnem robu soseske Novo Brdo predvidena gradnja večnamenskega objekta T, medtem ko sta na severnem robu po občinskem prostorskem načrtu načrtovani še dve dodatni območji pozidave: stanovanjske površine za posebne namene ter območje centralnih dejavnosti za vzgojo in primarno izobraževanje.



Slika 15: Prikaz širitve soseske glede na občinski prostorski načrt

Obravnavano območje je primer postopnega urbanega razvoja, pri katerem je s pomočjo časovne vrste satelitskih posnetkov temperature tal mogoče slediti vplivom posameznih prostorskih ureditev v daljšem obdobju. Iz analiz pridobljene ugotovitve so tako uporabno izhodišče za predvidevanje prihodnjih temperaturnih vzorcev in uporabna podlaga za načrtovanje prihodnjih ureditev, usmerjenih v zmanjševanje toplotnih obremenitev v nadaljnjih fazah razvoja območja.

3 Metodologija in obdelava podatkov

V raziskavi smo analizirali časovne vrste LST v poletjih 2000–2025, pri čemer smo upoštevali mesece junij, julij in avgust. Uporabili smo produkte Landsat Collection 2 Level 2, ki poleg atmosfersko korigiranih optičnih podatkov vključujejo tudi podatke o temperaturi površja, pomožne radiacijske sloje ter maske kakovosti. Temperaturo površja smo v nadaljnji analizi uporabili kot približek temperature tal. Podatke smo pridobili iz zbirke Landsat Collection 2 Level 2 prek STAC-ovega kataloga Microsoft Planetary Computer, kjer STAC-ov vmesnik omogoča poizvedbe po prostoru in času ter prenos posameznih slojev za vsak posnetek (McFarland idr., 2022; U.S. Geological Survey, 2022a, b, c).

Posnetki so zajeti v dopoldanskem času pri padajoči orbiti. V našem naboru podatkov so bili posnetki Landsat 8 in 9 zajeti približno med 11.45 in 11.55 po lokalnem času, posnetki Landsat 7 pa približno med 9.20 in 9.45. Zato LST predstavlja primerljivo dopoldansko stanje tal. Ker gre za enkratni dnevni zajem, ni mogoče opisati poteka temperature čez dan. Hkrati vrednosti LST ne prikažejo dnevnih maksimumov, ki se praviloma pojavijo v poznejših popoldanskih urah.

Za vsak posnetek smo prenesli termalne, optične, atmosferske pomožne sloje ter maske kakovosti iz zbirke Landsat Collection 2 Level 2. Pri Landsat 7 smo upoštevali vpliv odpovedi skenirnega korektorja po 31. maju 2003 (U.S. Geological Survey, 2022b), vendar takih posnetkov nismo samodejno izločili. Vrzeli smo obravnavali kot manjkajoče piksele, statistike pa računali le iz veljavnih vrednosti. Vrzeli nismo interpolirali, da ne bi z umetnim zapolnjevanjem vplivali na porazdelitev temperatur, zlasti na 95. percentil (v nadaljevanju: P95) in ekstremne vrednosti.

V nadaljnji obdelavi smo LST izračunali z radiativno enačbo ob uporabi emisivnosti, ocenjene iz sočasnih optičnih meritev. Standardni Landsat produkt LST uporablja emisivnost iz ASTER Global Emissivity Dataset (Hulley idr., 2015; U.S. Geological Survey, 2021), ki predstavlja časovno povprečni sloj in ni vezan na datum posameznega posnetka. To je lahko vir sistematičnih odstopanj v dolgih časovnih nizih in v urbanem prostoru.

Najprej smo iz optičnih podatkov izračunali normaliziran vegetacijski indeks (angl. *normalized difference vegetation index*; v nadaljevanju: NDVI):

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)},$$

kjer NIR predstavlja odbojnost, merjeno v bližnjem infrardečem delu spektra, ter Red odbojno vrednost rdečega spektra.

Nato smo iz NDVI izračunali delež vegetacije P_v po pragovni metodi (Orhan idr., 2014):

$$P_v = \left(\frac{NDVI - 0,15}{0,4 - 0,15} \right)^2$$

$$0 \leq P_v \leq 1$$

Emisivnost ε smo določili po razredih, prilagojenih urbanemu okolju, na podlagi NDVI in rdeče odbojnosti (Red). Uporabili smo v nadaljevanju navedena pravila, podobno kot Sobrino idr. (2008), z dodatno prilagoditvijo za gola in urbana tla na podlagi rdečega pasu ter z omejitvijo zaloge vrednosti, ki preprečuje nerealne vrednosti emisivnosti:

$$\varepsilon(NDVI, Red, P_v) = \begin{cases} 0,94, & NDVI < 0,1 \wedge Red > 0,25 \\ 0,92, & NDVI < 0,1 \wedge Red \leq 0,25 \\ 0,986 + 0,04 \times P_v, & 0,1 \leq NDVI < 0,3 \\ 0,99, & NDVI \geq 0,3 \\ 0,85 \leq \varepsilon \leq 0,99 \end{cases}$$

Temperaturo tal smo izračunali z radiativno enačbo z uporabo atmosferskih pomožnih slojev iz Landsat Collection 2 Level 2 (U.S. Geological Survey, 2022a, 2022b, 2022c). Najprej smo izračunali površinsko radianco

$$L_s = \frac{TRAD - URAD - DRAD}{\varepsilon \times ATRAN}$$

kjer je TRAD sevalna temperatura, izračunana iz izmerjene termalne radiance pri senzorju, URAD navzgor usmerjena atmosferska radianca (emisija atmosfere proti senzorju), DRAD navzdol usmerjena atmosferska radianca (emisija atmosfere proti površju, ki se lahko delno odbije) ter ATRAN atmosferska prepustnost v obravnavanem termalnem pasu.

Nato smo temperaturo izračunali po inverzni Planckovi funkciji (Weng idr., 2004):

$$T_K = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_s + 1}\right)}$$

$$T \text{ } ^\circ\text{C} = T_K - 273,15$$

K_1 in K_2 sta Planckovi sevalni konstanti, zapisani v metapodatkih posnetka ter vezani na posamezni senzor.

Za statistično obdelavo smo oblikovali časovne nize za štiri prostorske enote: celotno obravnavano območje, območje EUP RD-354 Zeleni gaj, območje EUP RD-466 Novo Brdo ter cesto EUP RD-176 Pot Rdečega križa med obema območjema. Za Novo Brdo, Zeleni gaj in cesto smo za vsak posnetek izračunali P95 LST in ga uporabili kot kazalnik intenzivnega segrevanja. Maksimalnih vrednosti nismo uporabili, ker predstavljajo ekstreme in lahko vključujejo tudi numerične napake. Na podlagi P95 smo nato oblikovali časovne vrste poletnih ekstremov. Za vsako posamezno poletje smo izbrali največjo vrednost P95 (poletni vrh segrevanja) ter jo primerjali z meritvami temperature zraka na postaji Agencije Republike Slovenije za okolje (v nadaljevanju: ARSO) Ljubljana Bežigrad (ARSO, 2025). Meritve ARSO smo z linearno interpolacijo preračunali na uro preleta satelita (iz izvirnih vrednosti ob 7.00 in 14.00), da je bila primerjava časovno usklajena z opazovanji Landsat. S tem smo preverjali, ali opažene spremembe LST sledijo širšemu regionalnemu trendu ali odražajo mikrolokalne prostorske procese.

Zaradi interpretacije sprememb v povezavi z razvojnimi fazami prostora smo časovne vrste dodatno agregirali v obdobja med razpoložljivimi ortofoto posnetki, kar omogoča ovrednotenje vmesnih pojavov in njihovo povezavo s spremembami rabe tal, gradnje in zelenih ureditev. V zaključnem delu analize smo se osredotočili na časovne intervale, ko so temperature Novega Brda in Zelenega gaja najbolj odstopale, ter interpretirali razlike glede na prostorske spremembe in dinamiko gradnje.

4 Ugotovitve prostorske analize

4.1 Analiza statističnih kazalnikov (mediana, P95, maksimum) LST in primerjava med obravnavanimi območji

Za analizirana obdobja 2000–2006, 2007–2011, 2012–2016, 2017–2018, 2019–2021, 2022–2024 in 2025 smo za štiri prostorske enote (celotno obravnavano območje, Zeleni gaj, Novo Brdo in cestni odsek Poti Rdečega križa) uporabili 248 satelitskih posnetkov ter izračunali mediano, P95 in maksimalne vrednosti LST. Rezultati so skupaj s številom pikslov za posamezno enoto prikazani v preglednici 2.

Preglednica 1: Število posnetkov Landsat po obdobjih

Obdobje	Število let	Skupaj posnetkov	Junij	Julij	Avgust	Posnetkov na leto
2000–2006	7	34	12	9	13	4,9
2007–2011	5	22	9	5	8	4,4
2012–2016	5	60	15	23	22	12
2017–2018	2	31	5	13	13	15,5
2019–2021	3	40	14	14	12	13,3
2022–2024	3	48	12	22	14	16
2025	1	13	8	2	3	13
SKUPAJ	26	248	75	91	82	9,5

Posamezna analizirana obdobja vključujejo različno število satelitskih posnetkov, kar je posledica izločanja pikslov z neustrezno kakovostjo podatkov, povezanih s prisotnostjo oblakov, njihovih senc, snega ter območij brez veljavnih meritev. Preglednica 1 prikazuje razlike v številu razpoložljivih poletnih satelitskih posnetkov med analiziranimi obdobji. V obdobjih 2000–2011 je povprečno število posnetkov na leto nižje kot v poznejših obdobjih, po letu 2012 pa se poveča. Po mesecih je število posnetkov razmeroma enakomerno razporejeno, z nekoliko večjim številom posnetkov v juliju in avgustu. Število uporabljenih posnetkov omogoča zanesljivo analizo LST.

Za pravilno interpretacijo statističnih kazalnikov v preglednici 2 je pomembno upoštevati tudi število pikslov, ki je prikazano za vsako prostorsko enoto. Število pikslov pomeni število Landsat rastrskih celic (pikslov) z veljavno oceno temperature tal znotraj obravnavanega območja. Lokaciji Zeleni gaj (91 pikslov) in Novo Brdo (79 pikslov) sta po številu zajetih pikslov približno primerljivi, zato je primerjava njunih statističnih kazalnikov neposredna. Območje ceste je zajeto z manjšim številom pikslov (19), vendar še vedno omogoča izračun osnovnih opisnih statistik; pri takem vzorcu so predvsem maksimumi bolj občutljivi na posamezne piksele. V prikazanih rezultatih se cesta v večini obdobjih kaže z višjo mediano in P95 temperature tal kot obe soseski, medtem ko maksimumi med lokacijami nihajo in niso sistematično najvišji na cesti.

Iz preglednice 2 je razvidno, da se mediana LST za celotno obravnavano območje v prvih petih obdobjih (od 2000–2006 do 2019–2021) giblje med 19,6 °C in 21,8 °C. Najvišja mediana v tem delu niza je evidentirana v obdobju 2012–2016 (21,8 °C), najnižja pa v obdobju 2007–2011 (19,6 °C). V obdobju 2022–2024 se mediana ponovno zniža na 19,7 °C, leto 2025 pa izstopa z izrazito višjo vrednostjo, 26,5 °C.

Preglednica 2: Statistični kazalniki LST po prostorskih enotah in obdobjih

Prostorska enota	Časovni niz	Število pikslov	Mediana	95. percentil	Maksimum
Celotno območje	2000–2006	384	19,8	23,9	37,2
Celotno območje	2007–2011	384	19,6	22,8	32,5
Celotno območje	2012–2016	384	21,8	28,2	35,1
Celotno območje	2017–2018	384	21,5	26,3	37,3
Celotno območje	2019–2021	384	20,3	25,1	33,5
Celotno območje	2022–2024	384	19,7	29,1	37,2
Celotno območje	2025	384	26,5	28,8	35,6
Zeleni gaj	2000–2006	91	19,3	23,6	33,9
Zeleni gaj	2007–2011	91	18,8	22,2	28,4
Zeleni gaj	2012–2016	91	22,8	28,7	35,1
Zeleni gaj	2017–2018	91	22,6	27,4	37,3
Zeleni gaj	2019–2021	91	20,9	25,6	28,2
Zeleni gaj	2022–2024	91	19,9	29,2	32,8
Zeleni gaj	2025	91	26,5	29,0	32,2
Novo Brdo	2000–2006	79	19,6	23,5	36,2
Novo Brdo	2007–2011	79	18,7	21,8	27,4
Novo Brdo	2012–2016	79	20,0	27,0	31,5
Novo Brdo	2017–2018	79	19,8	24,9	31,8
Novo Brdo	2019–2021	79	19,3	24,4	30,5
Novo Brdo	2022–2024	79	19,6	29,2	32,9
Novo Brdo	2025	79	26,5	29,0	32,7
Cesta	2000–2006	19	22,0	26,2	33,8
Cesta	2007–2011	19	21,3	25,1	31,9
Cesta	2012–2016	19	23,9	29,6	33,4
Cesta	2017–2018	19	24,0	28,4	34,3
Cesta	2019–2021	19	22,7	27,1	29,9
Cesta	2022–2024	19	21,3	30,9	33,7
Cesta	2025	19	28,3	30,6	33,4

V soseski Zeleni gaj so mediane višje v obdobjih po začetku gradnje. V obdobju 2000–2006 znaša 19,3 °C, v obdobju 2007–2011 18,8 °C, nato pa se v obdobjih 2012–2016 in 2017–2018 zviša na 22,8 °C oziroma 22,6 °C. V obdobju 2019–2021 se mediana zniža na 20,9 °C, v obdobju 2022–2024 na 19,9 °C, v letu 2025 pa ponovno doseže 26,5 °C.

V soseski Novo Brdo se mediana LST v obdobjih pred izgradnjo in med izgradnjo (2000–2021) giblje med 18,7 °C in 20,0 °C, pri čemer je najnižja v obdobju 2007–2011 (18,7 °C), najvišja pa v obdobju 2012–2016 (20,0 °C). Mediana v obdobju 2022–2024 ostaja primerljiva (19,6 °C), v letu 2025 pa se, podobno kot na celotnem območju, poveča na 26,5 °C.

Na cestnem odseku Poti Rdečega križa so mediane LST v vseh obdobjih višje kot v obeh soseskah. Vrednosti se gibljejo med 21,3 °C (2007–2011) in 24,0 °C (2017–2018), v obdobju 2012–2016 znaša 23,9 °C, v obdobju 2022–2024 21,3 °C, leto 2025 pa izstopa z najvišjo mediano, 28,3 °C.

Iz preglednice 2 lahko razberemo, da se za celotno obravnavano območje v prvih dveh obdobjih (2000–2006 in 2007–2011) P95 giblje okoli 23–24 °C (23,9 °C in 22,8 °C). V obdobju 2012–2016 se P95 zviša na 28,2 °C, v obdobju 2017–2018 znaša 26,3 °C, v obdobju 2019–2021 25,1 °C, v obdobju 2022–2024 pa 29,1 °C. V letu 2025 je P95 nekoliko nižji (28,8 °C), vendar ostaja v območju najvišjih vrednosti v celotnem nizu.

V Zelenem gaju je P95 v obdobjih 2000–2006 in 2007–2011 primerljiv z Novim Brdom (23,6 °C oziroma 22,2 °C), v obdobju 2012–2016 pa je višji (28,7 °C). V obdobju 2017–2018 P95 znaša 27,4 °C, v obdobju 2019–2021 25,6 °C, v obdobju 2022–2024 29,2 °C, v letu 2025 pa 29,0 °C.

V Novem Brdu se P95 v zgodnejših obdobjih giblje med 21,8 °C in 23,5 °C (2000–2011), v obdobju 2012–2016 se poveča na 27,0 °C, v obdobju 2017–2018 znaša 24,9 °C, v obdobju 2019–2021 24,4 °C, v obdobju 2022–2024 pa 29,2 °C. V letu 2025 P95 ostaja na podobni ravni (29,0 °C).

Na cestnem odseku so P95 vrednosti v vseh obdobjih najvišje med vsemi enotami. V zgodnjih obdobjih znašajo 26,2 °C (2000–2006) in 25,1 °C (2007–2011), v obdobju 2012–2016 29,6 °C, v obdobju 2017–2018 28,4 °C, v obdobju 2019–2021 27,1 °C, v obdobju 2022–2024 30,9 °C, v letu 2025 pa 30,6 °C.

Primerjava median LST med soseskama pokaže, da so razlike v zgodnejših obdobjih majhne. V obdobjih 2000–2006 in 2007–2011 se mediana razlikuje za največ ±0,3 °C. Največje razlike se pojavijo v obdobjih 2012–2016 in 2017–2018, ko je mediana v Zelenem gaju za približno 2,8 °C višja kot v Novem Brdu (22,8 °C proti 20,0 °C ter 22,6 °C proti 19,8 °C). V obdobju 2019–2021 se razlika zmanjša na približno 1,6 °C (20,9 °C proti 19,3 °C), v obdobju 2022–2024 pa sta mediani skoraj izenačeni (19,9 °C in 19,6 °C). V letu 2025 imata obe soseski enako mediano (26,5 °C).

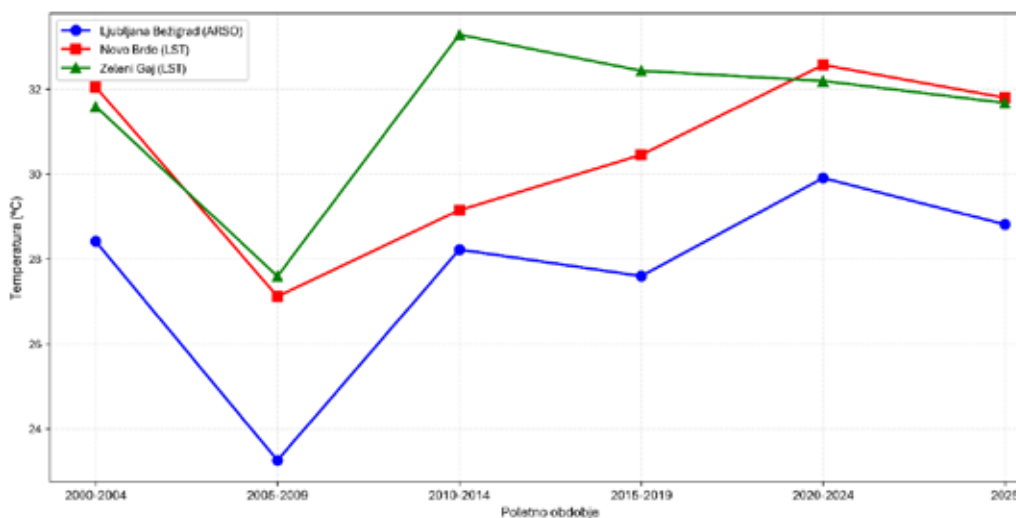
Podoben vzorec je opazen tudi pri P95. V obdobjih 2000–2011 so razlike majhne (do 0,4 °C), v obdobju 2012–2016 pa P95 v Zelenem gaju preseže Novo Brdo za približno 1,7 °C (28,7 °C proti 27,0 °C). Največja razlika je evidentirana v obdobju 2017–2018, ko je P95 v Zelenem gaju za 2,5 °C višji kot v Novem Brdu (27,4 °C proti 24,9 °C). V obdobju 2019–2021 razlika znaša okoli 1,2 °C (25,6 °C proti 24,4 °C), v obdobju 2022–2024 in v letu 2025 pa sta P95 v obeh soseskah izenačena (29,2 °C oziroma 29,0 °C).

4.2 Primerjava poletnih ekstremov LST z merjenimi temperaturami zraka v obdobju 2000–2025

Na grafikonu 1 je prikazana primerjava poletnih vrhov P95 LST za soseski Novo Brdo in Zeleni gaj z interpoliranimi poletnimi maksimumi temperature zraka na postaji ARSO Ljubljana Bežigrad, agregiranimi v petletna obdobja (2000–2004, 2005–2009, 2010–2014, 2015–2019, 2020–2024) ter za leto 2025 (ARSO, 2025). V vseh obravnavanih obdobjih sta poletna vrhova LST v obeh soseskah višja od hkrati izmerjene temperature zraka, pri čemer razlika praviloma znaša nekaj stopinj Celzija. To potrjuje, da satelitsko izmerjena LST odraža intenzivnejše lokalno segrevanje v primerjavi z merjeno temperaturo zraka na meteorološki postaji.

Časovni potek krivulj kaže podobno dinamiko v vseh treh nizih. Po razmeroma visokih vrednostih v obdobju 2000–2004 sledi znižanje v obdobju 2005–2009, nato pa izrazitejši porast poletnih ekstremov v obdobju

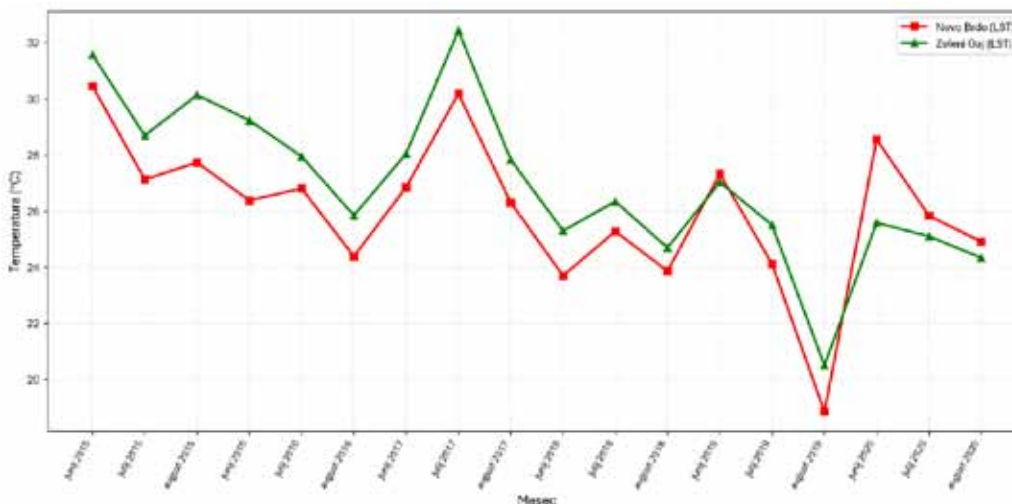
2010–2014. V naslednjih obdobjih (2015–2019 in 2020–2024) se poletni vrhovi praviloma naprej povečujejo ali ostajajo na povišani ravni, leto 2025 pa kaže rahlo znižanje glede na obdobje 2020–2024, vendar še vedno višje vrednosti kot v začetnih obdobjih. V večini intervalov so poletni vrhovi P95 LST v Zelenem gaju



Grafikon 1: Primerjava poletnih vrhov P95 LST v soseskah Zeleni gaj in Novo Brdo z maksimalnimi poletnimi temperaturami zraka na postaji ARSO Ljubljana Bežigrad v obdobju 2000–2025



Grafikon 2: Primerjava LST poletnih obdobj med območjema Zeleni gaj in Novo Brdo v obdobju 2010–2014



Grafikon 3: Primerjava LST poletnih obdobj med območjema Zeleni gaj in Novo Brdo v obdobju 2015–2020



Grafikon 4: Primerjava LST poletnih obdobij med območjema Zeleni gaj in Novo Brdo v obdobju 2021–2025

nekoliko višji kot v Novem Brdu, največja razlika je opazna v obdobju 2010–2014, proti zadnjim obdobjem pa se vrednosti v obeh soseskah približujejo, kar kaže na postopno izenačevanje lokalnih temperaturnih razmer ob hkratnem splošnem naraščanju poletnih ekstremov.

4.3 Primerjava poletnih ekstremov P95 LST med soseskama Zeleni gaj in Novo Brdo

Na grafikonih 2–4 je prikazana časovna vrsta P95 LST v poletnih mesecih (junij, julij, avgust) za območji Zeleni gaj in Novo Brdo v obdobju 2010–2025. Izbrano obdobje zajema čas od začetka gradnje soseske Zeleni gaj (2010) do konca gradnje soseske Novo Brdo (2021) ter nadaljnja leta do 2025, ko je mogoče opazovati temperaturne razmere po končani pozidavi obeh sosesk.

V obdobju med 2010–2014 sta soseski še v različnih fazah razvoja, kar se odraža tudi v temperaturah. Krivulji P95 LST kažeta, da je Zeleni gaj v večini poletnih mesecev nekoliko toplejši od Novega Brda (razlike do približno 2 °C), pri čemer sta obe soseski izpostavljeni podobnim letnim nihanjem – izrazita ohladitev v avgustu 2010, nato postopno segrevanje z višjimi vrhovi v letih 2013 in 2014.

V obdobju 2015–2020 se gradnja Zelenega gaja nadaljuje, leta 2018 pa se začne gradnja Novega Brda. V prvih letih tega intervala (2015–2017) ostaja Zeleni gaj praviloma toplejši, kar odraža večji delež pozidanih površin. Po letu 2018 se krivulji približata: v nekaterih poletnih mesecih je še vedno nekoliko toplejši Zeleni gaj, v drugih – zlasti v letu 2020 – pa višje vrednosti dosega Novo Brdo. To kaže, da napredovanje gradnje in sprememba rabe tal v Novem Brdu postopno zmanjšujeta razlike med soseskama.

V obdobju med 2021–2025, ko sta obe soseski v večji meri dokončani, se časovni vrsti P95 LST skoraj povsem prekrivata. Poletni vrhovi v Zelenem gaju in Novem Brdu so si po velikosti zelo podobni, razlike med soseskama so majhne in se v posameznih mesecih izmenično pojavljajo na strani prve ali druge. Izraziti vrhovi (npr. leta 2022 in 2025) ter ohladitev v letu 2023 so prisotni v obeh nizih, kar kaže, da po stabilizaciji pozidave prevladuje vpliv širših podnebnih razmer, medtem ko so lokalne razlike med obema soseskama v primerjavi z obdobjem gradnje manj izrazite.

4.4 Kartografska analiza časovnih vrst LST v soseskah Zeleni gaj in Novo Brdo

Na slikah 16–22 je prikazana vrsta kartografskih prikazov poletnih (junij–avgust) časovnih vrst P95 LST, agregiranih po časovnih intervalih 2000–2006, 2007–2011, 2012–2016, 2017–2018, 2019–2021, 2022–2024 in 2025. Vsak prikaz poleg vrednosti P95 LST vključuje tudi ortofoto posnetek, zajet v enem izmed let znotraj istega časovnega intervala, glede na razpoložljivost cikličnega aerofotografiranja.

Sočasni prikaz P95 LST in ortofota omogoča neposredno vizualno primerjavo prostorskih vzorcev segrevanja z velikimi spremembami v prostoru, kot so faze gradnje sosesk, sprememba rabe tal, širitev utrjenih površin ter urejanje zelenih površin. Na ta način je interpretacija razlik med časovnimi vrstami jasnejša, hkrati pa prikazi



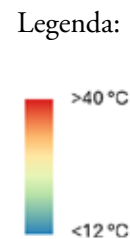
Slika 16: P95 LST za obdobje 2000–2006 (Vir: dopolnjeno po USGS (2021, 2022 a, b, c))



Slika 17: P95 LST za obdobje 2007–2011 (Vir: dopolnjeno po USGS (2021, 2022 a, b, c))



Slika 18: P95 LST za obdobje 2012–2016 (Vir: dopolnjeno po USGS (2021, 2022 a, b, c))



omogočajo tudi kvalitativno oceno korelacije med stopnjo urbanizacije, prisotnostjo vegetacije in intenzivnostjo segrevanja tal. Poleg tega omogočajo prepoznavanje območij, kjer je prisotno izrazito segrevanje, ter območij, kjer se kaže blažilni učinek na naravi temelječih rešitev.

V celotni časovni vrsti je mogoče opaziti, da so hladnejše vrednosti LST skoncentrirane na gozdnem pobočju zahodno od območja ter ob raščenih travnatih površinah, višje pa na pozidanih in utrjenih površinah zlasti ob Poti Rdečega križa in na območju poslovnih stavb na severnem robu območja.

Kartografski prikaz za obdobje 2000–2006 (slika 16) odraža izhodiščno stanje pred večjimi posegi, ki so na območju prevladovali degradirane površine na območju Zelenega gaja in površine opuščene glinokopa na območju Novega Brda. Večji del območja je bil prekrit s spontano zaraslo, neurejeno vegetacijo, zato so LST v tem obdobju izraziteje pogojene predvsem z rabo tal in vegetacijskim pokrovom.

V naslednjih letih, med letoma 2007 in 2011 (slika 17), se pojavijo jasnejše prostorske spremembe, ki sovpadajo z večjimi infrastrukturnimi posegi v okolici, kot je izgradnja trgovskega objekta s parkiriščem na severnem robu obravnavanega območja. Na južnem delu območja Zeleni gaj so vidni prvi gradbeni posegi, medtem ko območje Novega Brda deloma služi kot deponija gradbenega materiala. Na navedenih območjih je mogoče opaziti povišane LST.

Med letoma 2012 in 2016 (slika 18), ko poteka intenzivna gradnja soseke Zeleni gaj, je na kartografskem prikazu opazen izrazit porast temperature tal na območju gradbišča. Območja višjih vrednosti LST se prostorsko širijo od koridorja Poti Rdečega križa proti jugozahodu, pri čemer utrjene površine, nasipi ter novozgrajeni objekti in prometne ureditve dosegajo višje temperature kot okoliška, še nepozidana območja.

V obdobju 2017–2018 (slika 19), ko je gradnja večine objektov v soseski Zeleni gaj končana in so urejene prve večje zelene površine, se pokaže znižanje poletnih vrednosti LST. Nižje temperature so razvidne predvsem na travnatih in z drevesi zasajenih površinah na jugozahodnem in vzhodnem delu območja, medtem ko se višje vrednosti ohranjajo na utrjenih površinah med stanovanjskimi objekti, vzdolž cestnega koridorja Poti Rdečega križa ter na bolj pozidanem severnem robu območja.

Kartografski prikaz med letoma 2019 in 2021 (slika 20) še vedno potrjuje nižje poletne vrednosti LST na vzhodnem in jugozahodnem delu soseke Zeleni gaj, kjer so urejene travnate in športno-rekreacijske površine z bajerjem. V primerjavi s prejšnjimi obdobji so nekoliko nižje temperature razvidne tudi znotraj same soseke Zeleni gaj, kar je skladno z učinkom zasajene vegetacije in urejenih zelenih površin. Na območju Novega Brda, kjer je v tem času večina pozidave že končana, kartografski prikazi še ne kažejo izrazitejšega povišanja LST v primerjavi z okolico. Na severozahodnem robu se pojavi novo območje višjih vrednosti LST, povezano z izgradnjo trgovskega centra in pripadajočih utrjenih parkirnih površin.

V obdobju 2022–2024 (slika 21), ko sta obe soseski že v celoti izgrajeni, je mogoče opaziti višje poletne vrednosti P95 LST, kar je odraz vpliva izrazitejših poletnih vročinskih razmer. Najvišje LST so še naprej skoncentrirane vzdolž cestnega koridorja Poti Rdečega križa ter na severnem delu območja, predvsem na strehi trgovskega centra, kjer je vpliv verjetno povezan s postavitvijo fotonapetostnih panelov. Povišane temperature se kažejo tudi na južnem robu območja točkovne pozidave enodružinskih hiš in na vzhodnem robu, kjer se prehod iz raščeni travnatih površin v obdelovalne površine odraža v porastu LST. Kljub splošno višjim poletnim temperaturam ostaja jugozahodni del soseske Zeleni gaj relativno hladnejši, podobno tudi vzhodno-jugovzhodni rob Novega Brda ob ježi z raščeno vegetacijo.

V letu 2025 (slika 22) se prostorski vzorec segrevanja bistveno ne spreminja. Najvišje vrednosti P95 LST ostajajo skoncentrirane vzdolž Poti Rdečega križa in na severnem robu, bolj pozidanem delu območja, medtem ko nižje temperature ostajajo vezane na zelene površine jugozahodnega Zelenega gaja in na vzhodno-jugovzhodni rob Novega Brda.

Iz kartografskih prikazov lahko sklepamo, da so na območju sosesk Zeleni gaj in Novo Brdo nižje vrednosti LST praviloma vezane na zelene površine in površine z raščeno vegetacijo, višje pa na cestni koridor Poti Rdečega križa ter na pozidane in druge utrjene površine znotraj sosesk ter na severnem in južnem robu obravnavanega območja.



Slika 19: P95 LST za obdobje 2017–2018 (Vir: dopolnjeno po USGS (2021, 2022 a, b, c))



Slika 20: P95 LST za obdobje 2019–2021 (Vir: dopolnjeno po USGS (2021, 2022 a, b, c))

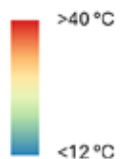


Slika 21: P95 LST za obdobje 2022–2024 (Vir: dopolnjeno po USGS (2021, 2022 a, b, c))



Slika 22: P95 LST za obdobje junij–avgust 2025 (Vir: dopolnjeno po USGS (2021, 2022 a, b, c))

Legenda:



5 Interpretacija rezultatov in pomen za prostorsko načrtovanje

5.1 Vpliv posegov v prostor na spremembe LST

Analiza statističnih kazalnikov in analiza časovne vrste satelitskih posnetkov P95 LST (2000–2025) pokažeta, da se poletne toplotne obremenitve na obravnavanem območju spreminjajo skladno z dvema ključnima dejavnikoma: dolgoročnim trendom naraščanja poletnih temperatur in lokalnimi posegi v prostor. V tem kontekstu je primerjava z interpoliranimi poletnimi maksimumi temperature zraka na postaji ARSO Ljubljana Bežigrad (grafikon 1) (ARSO, 2025) pomembna predvsem za razločevanje vpliva splošnih poletnih vremenskih razmer in dolgoročnega segrevanja od sprememb, ki so posledica lokalnih prostorskih ureditev.

Kartografski prikazi P95 LST (slike 16–22) s sočasnim prikazom ortofota dopolnjujejo statistične rezultate (preglednica 1 in grafikoni 1–4), saj omogočajo opredelitev območij stalno povišanih in nižjih LST ter vpogled v to, kako se prostorski vzorec segrevanja spreminja v povezavi s posegi v prostor.

Spremembe ob značilnih časovnih prelomnicah se najjasneje pokažejo v treh fazah, in sicer v obdobju 2010–2017, ko gradnja Zelenega gaja povzroči lokalno povišanje P95 LST na območjih gradbišč in novih utrjenih površin (razlike do približno 2 °C med območji sosesk); v obdobju 2018–2021, ko se z začetkom in potekom gradnje Novega Brda razlika med soseskama zmanjšuje zaradi približevanja deleža utrjenih površin (grafikon 3), ter po letu 2021, ko se po koncu gradbenih del in ureditvi zelenih površin poletni vrhovi P95 LST v obeh soseskah praviloma približajo (grafikon 4). Posledično so lokalne razlike med soseskama manj izrazite, na spremembe LST pa vse bolj vplivajo poletne vremenske razmere in splošni trend segrevanja, kar je skladno tudi s podobnim potekom temperaturne krivulje pri primerjavi z interpoliranimi temperaturami zraka na postaji ARSO Ljubljana Bežigrad (grafikon 1) (ARSO, 2025).

Ugotovitve analize potrjujejo, da na naravi temelječe rešitve prispevajo k blaženju poletnega pregrevanja. Nižje vrednosti LST se dosledno pojavljajo v delih sosesk, kjer prevladujejo vegetacijski elementi (drevesa, grmičevje, travnate površine) in vodni elementi (npr. bajer v Zelenem gaju). To potrjujejo tudi ugotovitve iz drugih raziskav (EPA, 2014; Koc idr., 2016; Kala idr., 2019), ki opozarjajo, da sta senčenje in evapotranspiracija ključna mehanizma uravnavanja mikroklimе in blaženja učinkov UTO.

Kljub temu rezultati opozarjajo, da prisotnost zelenih ureditev še ne pomeni nujno enoznačnega znižanja LST. Znotraj goste pozidave ostajajo lokalno povišane LST na utrjenih površinah med objekti in ob cestah. To kaže, da sta za blaženje poletnih ekstremov ključna tako delež kot tudi prostorska razporeditev zelenih površin (kontinuiteta, strnjenost, senčenje), ne zgolj njihova fragmentirana prisotnost.

Območja s stalno višjo LST, kot je cestni koridor Poti Rdečega križa, kažejo na vpliv neprepustnih in toplotnoakumulativnih materialov. Vrednosti mediane in P95 LST na teh območjih so dosledno višje v vseh analiziranih obdobjih. Ugotovitev je skladna s študijami Buyadi idr. (2013) in EPA (2014), ki poudarjajo, da asfaltne in sorodne površine povečujejo absorpcijo sončne energije ter akumulacijo toplote, kar se odraža v višjih temperaturah tal. Za oceno možnega blažilnega učinka zasajenega drevoreda je priporočljivo dolgoročno spremljanje. Ker se senčenje in evapotranspiracijski učinek povečujeta z rastjo dreves, bi ponovitev analize čez nekaj let omogočila kvantifikacijo tega vpliva.

5.2 Omejitve študije in nadaljnje delo

Pri interpretaciji rezultatov je treba upoštevati metodološke omejitve. Sateliti Landsat zajemajo podatke v dopoldanskem času preleta, zato podatki ne zajamejo maksimalnih dnevnih temperatur, ki se praviloma pojavijo pozneje popoldne, kar lahko vpliva na interpretacijo toplotnih ekstremov. Poleg tega LST predstavlja temperaturo tal in ne temperature zraka, zato lahko obstajajo odstopanja glede na razmere, ki jih uporabniki zaznavajo v prostoru. K toplotni obremenitvi prispevajo tudi mikroklimatski dejavniki (senčenje, veter, vlaga) ter lastnosti materialov, ki jih analiza LST ne zajame neposredno. Primerjalne študije LST s temperaturo zraka in kazalniki toplotnega ugodja kažejo, da je povezava med temi spremenljivkami odvisna od lokalnih mikroklimatskih razmer in urbane morfologije (Naserikia idr., 2023; Fahy idr., 2025; Briegel idr., 2025).

Ločljivost Landsatovih posnetkov pomeni še dodatno omejitev. Landsatovi posnetki ponujajo vpogled v temperaturne razlike z ločljivostjo 100 m × 100 m (interpolirano na 30 m × 30 m), kar pomeni, da ne omogočajo zaznavanja manjših mikrolokacijskih sprememb, kot so vplivi posameznih dreves, grmovja ali manjših zadrževalnikov.

S to metodologijo je mogoče zanesljivo slediti vplivom večjih prostorskih sprememb, denimo izgradnje celotnih sosesk ali večjih zelenih ureditev, ni pa mogoče predložiti zanesljivih ugotovitev o mikroprostorskih učinkih posameznih ukrepov.

Kartografske prikaze v tej raziskavi dopolnjuje ortofoto sloj, ki jasno pokaže glavne faze prostorskega razvoja in omogoča povezavo med spremembami rabe tal ter opaženimi razlikami v LST. Vendar je v posa-

meznem časovnem intervalu na voljo le en ortofoto posnetek, zato je tak način primeren za prepoznavanje večjih sprememb v prostoru, kot je gradnja soseške, opustitev rabe, sprememba rabe tal in podobno, ne pa za podrobno spremljanje sprememb iz leta v leto. Za namen te raziskave, ko so nas zanimale predvsem večje spremembe v prostoru in njihova povezava s trendi segrevanja, je tak prikaz ustrezen. Če pa bi želeli kvantitativno oceniti vpliv posameznih na naravi temelječih rešitev na ravni mikrolokacij, bi bilo treba ta način nadgraditi s pogostejšimi ortofoto posnetki in visokoločljivostnimi termalnimi posnetki ter ga dopolniti z in situ meritvami.

5.3 Pomen za prostorsko načrtovanje

Pridobljeni rezultati imajo neposredno uporabno vrednost za prostorsko načrtovanje, saj pokažejo, kako se poletne toplotne obremenitve v novih stanovanjskih soseskah spreminjajo v fazah gradnje in po vzpostavitvi končne prostorske ureditve. Analiza potrjuje, da strateška uporaba na naravi temelječih rešitev v urbanem okolju lahko dolgoročno prispeva k zmanjševanju toplotnih obremenitev, hkrati pa opozori na prostorske elemente, ki se v vseh obdobjih sistematično kažejo kot območja povišanih LST.

V obeh soseskah se območja z največjo prisotnostjo vegetacije (drevesa, grmičevje, travniki) in večji, strnjeni zeleni sklopi dosledno kažejo z nižjimi vrednostmi LST. To pomeni, da je treba pri načrtovanju novih sosesk dati prednost večjim, strnjenim in med seboj povezanim zelenim površinam namesto razpršenim ali posamičnim zasaditvam. Na naravi temelječe rešitve, kot so modro-zeleni koridorji, drevoredi, travnate površine, zelene strehe ter vodni in zadrževalni elementi za padavinsko vodo, je treba vključevati načrtno in sistematično že v zgodnjih fazah prostorskega načrtovanja. Le tako lahko te rešitve delujejo kot učinkovit hladilni sistem, ki dokazano prispeva k zmanjšanju toplotnih obremenitev in izboljšanju mikroklimе v urbanih območjih.

Hkrati analiza potrjuje, da so neprepustne in neozelenjene površine, kot so asfalt, beton in neozelenjene strehe, stalne vroče točke z dosledno višjimi vrednostmi LST v vseh analiziranih obdobjih. Zato naj se pri zasnovi sosesk, kjer je le mogoče, zmanjšuje delež neprepustnih površin, posebej na prometnih in parkirnih ureditvah, ter te površine nadomeščajo s prepustnimi materiali, svetlejšimi površinami, senčenjem in zelenimi strehami. Posebno pozornost je smiselno nameniti cestnim koridorjem, ki se v analizi izkazujejo kot trajno najbolj obremenjeni: poleg zasaditve drevoredov je ključno tudi, da imajo drevesa dovolj prostora za razvoj krošenj, saj se hladilni učinek sčasoma povečuje.

6 Sklep

Rezultati študije potrjujejo, da se je izbrana metoda analize LST v kombinaciji z drugimi podatki daljinskega zaznavanja ter meritvami na vremenskih postajah pokazala za učinkovito in uporabno orodje za ugotavljanje in spremljanje vpliva prostorskih posegov na temperaturne spremembe v urbanem okolju.

Analiza obravnavanega območja je pokazala, da je poseg v prostor, kot je gradnja sosesk Zeleni gaj in Novo Brdo, lokalno povečal toplotno obremenitev na območju naselja Vrhovci. Vendar se s preišljeno uporabo na naravi temelječih rešitev prispeva k blaženju poletnega pregrevanja: na jugozahodnem delu Zelenega gaja ter v hladnejših pasovih med objekti, kjer so urejene zelenice in zasajena vegetacija, se sistematično pojavljajo nižje vrednosti LST, v nasprotju z območji trgovskih centrov in pripadajočih parkirnih površin, ki se skozi celotni časovni niz dosledno kažejo kot območja višjih LST.

Na podlagi teh ugotovitev sklepamo, da je uporabljena metoda ustrežna za spremljanje sprememb LST in prepoznavanje prostorskih vzorcev segrevanja na makroravni. Smiselno je nadaljnje spremljanje, zlasti po razrasti drevoreda ob cestnem koridorju Poti Rdečega križa. Tako bo mogoče oceniti, ali povečano senčenje in evapotranspiracija zmanjšata toplotno obremenitev tega območja, ki se je v analizi pokazalo za eno med bolj pregretimi.

Zahvala

Prispevek je nastal v okviru ciljnega raziskovalnega projekta »Vpliv pregrevanja prostora na spreminjanje morfologije grajenega prostora slovenskih naselij ter zdravje uporabnikov« (V5-24033), ki ga sofinancirata Agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) in Ministrstvo za naravne vire in prostor Republike Slovenije (MNVP).

Viri in literatura

- Agencija Republike Slovenije za okolje. (2025). Arhivski meteorološki podatki – Ljubljana Bežigrad: temperatura zraka (2000–2025). <https://meteo.arso.gov.si/met/si/app/webmet/#webmet==8Sdwx2bHR2cv0WZ0V2bvEGcw9ydlJWbIR3LwVnaz9SYtVmYh9icFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZXZ8tHZv1WYp5mOnMHbvZXZuLWYnwCchJXYtVgdJnOn0UQQdSf>
- Aubrechtová, E., Bydžovská, T. in Horák, J. (2024). Blue-green infrastructure and biodiversity: Urbanization and forestation have an important influence on bird diversity in water habitats. *Urban Forestry & Urban Greening*, 91, 128151. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128151>
- Bartesaghi-Koc, C., Osmond, P. in Peters, A. (2016). A green infrastructure typology matrix to support urban microclimate studies. *Procedia Engineering*, 169, 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.022>
- Briegel, F., Pinto, J. in Christen, A. (2025). Is satellite land surface temperature an appropriate proxy for intra-urban variability of daytime heat stress?. *Remote Sensing of Environment*. 331. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.115045>
- Buyadi, S. N. A., Naim, W. in Misni, A. (2013). Green spaces growth impact on the urban microclimate. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 105, 547–557. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.058>
- Chen, J., Jin, S. in Du, P. (2020). Roles of horizontal and vertical tree canopy structure in mitigating daytime and nighttime urban heat island effects. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 89, 102060. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102060>
- Chen, X. L., Zhao, H. M., Li, P. X. in Yin, Z. Y. (2005). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104(2), 133–146. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016>
- Direkcija Republike Slovenije za vode. (2024). Usmeritve za vključevanje na naravi temelječih rešitev v projekte za zmanjševanje poplavne ogroženosti. https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavu/DRSV/Dokumenti/Dogodki/Usmeritve-za-vkljucevanje-NBS-v-projekte-za-zmanjsjevanje-poplavne-ogrozenosti_nov-2024.pdf
- Dremel, M. in Goličnik Marušič, B. (2021). Kaj so nature-based solutions (NBS) in kako jih prevajamo. Urbani izziv, 32 (posebna izdaja), 102–108. <https://urbaniizziv.uirs.si/Portals/urbaniizziv/Clanki/2021/uizziv-31-20211-S-11.pdf>
- Environmental Protection Agency. (2014). Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-06/documents/treesandvegcompendium.pdf>
- Evropska agencija za okolje. (2022). Climate change as a threat to health and well-being in Europe: Focus on heat and infectious diseases (EEA Report No. 7/2022). Evropska agencija za okolje.
- Evropska agencija za okolje. (2024). Urban adaptation in Europe: What works? (EEA Report No. 14/2023). Evropska agencija za okolje.
- Fahy, J. C., Bachofen, C., Camponovo, R., Gallinelli, P. in Schlaepfer, M. A. (2025). Beyond land surface temperature: Identifying areas of daytime thermal discomfort in cities by combining remote sensing and field measurements. *Urban Climate*, 61, 102460. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102460>
- Geodetska uprava Republike Slovenije, GURS, <https://www.e-prostor.gov.si/>
- Hulley, G. C., Hook, S. J., Abbott, E., Malakar, N., Islam, T. in Abrams, M. (2015). The ASTER global emissivity dataset (ASTER GED): Mapping Earth's emissivity at 100 meter spatial scale. *Geophysical Research Letters*, 42(19), 7966–7976. <https://doi.org/10.1002/2015GL065564>
- Kala, J., Ng, A. in Muthukumaran, S. (2019). Effectiveness of vegetated patches as green infrastructure in mitigating urban heat island effects during a heatwave event in the city of Melbourne. *Weather and Climate Extremes*, 25, 100217. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2019.100217>
- McFarland, M., Emanuele, R., Morris, D. in Augspurger, T. (2022). Microsoft Planetary Computer [Dataset]. *Zenodo*. <https://zenodo.org/records/7261897>
- Mihelič, B., Košir, F., Ifko, S. in Adamič, T. (2002). Zgodnja industrijska arhitektura na Slovenskem: Vodnik po arhitekturi (D. Prešeren, ur.). Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije.
- Naserikia, M., Hart, M. A., Nazarian, N., Bechtel, B., Lipson, M. in Nice, K. A. (2023). Land surface and air temperature dynamics: The role of urban form and seasonality. *Science of The Total Environment*, 905, 167306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167306>
- O'Donnell, E. C., Thorne, C. R., Yeakley, J. A. in Chan, F. K. S. (2020). Sustainable flood risk and stormwater management in blue-green cities: An interdisciplinary case study in Portland, Oregon. *Journal of the American Water Resources Association*, 56(5), 757–775. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12854>
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A. in Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- Orhan, O., Ekerin, S. in Dadaser-Celik, F. (2014). Use of Landsat land surface temperature and vegetation indices for monitoring drought in the Salt Lake Basin Area, Turkey. *The Scientific World Journal*, 142939. <https://doi.org/10.1155/2014/142939>
- Sánchez, J., Corada, K., Furlong, J., Nash, C., Connop, S. in San José Carreras, E. (2025). Blue-green infrastructure and socio-spatial changes: A study

- of urban wetlands restoration, housing development and gentrification in London. *Cities*, 169, 106500. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2025.106500>
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., Soria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moreno, J., Plaza, A. in Martínez, P. (2008). Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(2), 316–327. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.904834>
- Stanovanjska sošeska Novo Brdo, <https://www.cbe.si/stanovanjska-soseska-novo-brdo/>
- U.S. Geological Survey. (2021, June 28). USGS EROS archive – Landsat – Atmospheric auxiliary data – ASTER GED C2. <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-atmospheric-auxiliary-data-aster-ged-c2>
- U.S. Geological Survey. (2022a, November 9). Landsat 4–5 TM collection 2 level-2 science products. <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-4-5-tm-collection-2-level-2-science>
- U.S. Geological Survey. (2022b, November 9). Landsat 7 ETM+ collection 2 level-2 science products. <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-7-etm-plus-collection-2-level-2>
- U.S. Geological Survey. (2022c, November 9). Landsat 8–9 OLI/TIRS collection 2 level-2 science products. <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-8-9-olitirs-collection-2-level-2>
- Van der Hoeven, F. in Wandl, A. (2018). Hotterdam: Mapping the social, morphological, and land-use dimensions of the Rotterdam urban heat island. *Urbani izziv*, 29(1), 5–19. <https://doi.org/10.5379/urbani-izziv-en-2018-29-01-001>
- Wei, R., Song, D., Wong, N. H. in Martin, M. (2016). Impact of urban morphology parameters on microclimate. *Procedia Engineering*, 169, 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.017>
- Weng, Q., Lu, D. in Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>
- Združeni narodi. (2022). *World cities report 2022: Envisaging the future of cities*. Združeni narodi.

Kulturna dediščina in podnebne spremembe

Aleksandra Ažman¹, Barbara Mušič²

1 Mestna občina Kranj; 2 Urbanistični inštitut Republike Slovenije

Izvleček

Poglavje obravnava izzive ohranjanja kulturne dediščine in njenega prilagajanja na podnebne spremembe, s posebnim poudarkom na pregrevanju zgodovinskih mestnih jeder in pojavu urbanih toplotnih otokov. Podnebne spremembe pospešujejo degradacijo gradbenih materialov, vplivajo na kakovost bivanja ter povečujejo tveganje za zdravje prebivalcev, pri čemer so zgodovinska mestna jedra zaradi strnjene zazidave in omejenih možnosti posegov med najranljivejšimi območji. Prispevek analizira normativni in strokovni okvir prilagajanja kulturne dediščine na mednarodni in nacionalni ravni ter predstavi dopustne načine blaženja toplotnega stresa, ki so skladni z varstvenimi načeli. Posebna pozornost je namenjena projektu Be Ready in študiji primera Mestne občine Kranj, kjer je bil v starem mestnem jedru izveden začasni in reverzibilni pilotni ukrep za izboljšanje mikroklima. Analiza potrjuje, da sočasni, minimalno invazivni ukrepi učinkovito orodje za zmanjševanje toplotnega stresa, hkrati pa omogočajo testiranje rešitev, ozaveščanje javnosti in iskanje ravnotežja med varstvom dediščine ter prilagajanjem na podnebne spremembe.

Ključne besede:

podnebne spremembe, urbani toplotni otok, kulturna dediščina, zgodovinska mestna jedra, Be Ready, Kranj

Abstract

The paper addresses the challenges of safeguarding and adapting cultural heritage to climate change, with a particular focus on overheating in historic urban centres and the urban heat island effect. Climate change accelerates the degradation of building materials, affects living conditions, and increases health risks for residents, while historic city centres are among the most vulnerable areas due to dense urban fabric and limited intervention options. The study analyses international and national regulatory and professional frameworks related to climate adaptation of cultural heritage and examines acceptable mitigation measures that comply with conservation principles. Special attention is given to the Be Ready project and the case study of the City of Kranj, where a temporary and reversible pilot intervention was implemented in the historic city centre to improve the local microclimate. The findings confirm that temporary, minimally invasive measures can effectively reduce heat stress, while also serving as testing tools, raising public awareness, and supporting the balance between heritage conservation and climate change adaptation.

Keywords:

climate change, urban heat islands, cultural heritage, historic urban centres, Be Ready, Kranj

1 Uvod

Podnebne spremembe so med največjimi družbenimi izzivi za ohranjanje kulturne dediščine, saj vplivajo na kakovost življenja in se odražajo skozi spremenjene vremenske vzorce, kot so intenzivne padavine, poplave, močni vetrovi, dvig morske gladine in naraščanje temperatur. Evropa se od leta 1980 segreva dvakrat hitreje od svetovnega povprečja (C3S, 2025), kar dodatno povečuje ranljivost zgodovinskih mest in njihove kulturne dediščine.

Kulturna dediščina je javna dobrina posebnega družbenega pomena (ZVKD-1, 2008), ki vključuje spomenike, skupine stavb ali znamenite kraje (UNESCO, 1972). Tesno je povezana s prostorom, skupaj z lokalnimi skupnostmi pa krepi identiteto, družbeno povezanost, privlačnost in ima pomembno vlogo pri prilagajanju podnebnim spremembam.

Namen poglavja je analizirati vpliv podnebnih sprememb, predvsem z vidika pregrevanja ozračja, na zgodovinska mestna jedra ter preučiti možnosti njihovega ohranjanja in prilagajanja, ne da bi ogrozili njihovo vrednost. Posebna pozornost je namenjena dopustnim ukrepom za zmanjšanje negativnih učinkov pregrevanja v starih mestnih jedrih in preučitvi primerov prakse v slovenskem in mednarodnem prostoru.

2 Kulturna dediščina in podnebne spremembe

Podnebne spremembe neposredno vplivajo na kulturno dediščino, saj spreminjajo strukturo in vizualno podobo gradbenih materialov, kar pospešuje njihovo degradacijo. Povečana vlaga, temperaturna nihanja in onesnaževanje povzročajo kemične procese, ki pospešujejo preperevanje, nalaganje saj, mikroorganizmov, alg, težkih kovin in drugih zmesi ter spremembo barve (Bertolin, 2019). Sušna obdobja spreminjajo podobo kulturnih krajin in zmanjšujejo biotsko raznovrstnost, erozija in posedanje tal ter dvig morske gladine pa neposredno ogrožajo nepremično dediščino.

Pregrevanje starih mestnih jeder je med večjimi izzivi glede posledic podnebnih sprememb, saj strnjena zazidava, ozke ulice, pomanjkanje zelenih površin, promet in emisije vplivajo na pojav urbanih toplotnih otokov. Urbani toplotni otok (UTO) nastane, ko se pozidana območja segrejejo bistveno bolj kot njihova okolica (Oke, 2011). Gosta zazidava in tlakovane površine podnevi absorbirajo toploto, z njenim oddajanjem pa se zvišuje temperatura urbanih območij. Urbanizacija dodatno povečuje pojav in intenziteto UTO v zgodovinskih območjih (Hedayatnia idr., 2021). Urbano pregrevanje negativno vpliva tudi na zdravje prebivalcev, zlasti ranljivih skupin.

3 Načini prilagajanja kulturne dediščine podnebnim spremembam

Razvoj ukrepov in strategij za blaženje UTO temelji na oceni tveganja in opredelitvi ranljivih območij. V projektu Be Ready (Interreg Danube Transnational Programme), finančno podprtem s programom Interreg Podonavje, so razvili metodologijo za oceno ranljivosti za UTO, ki je uporabna tudi za območja kulturne dediščine in podlaga za pripravo akcijskih načrtov.

Med ukrepi blaženja prevladujejo pasivne rešitve, kot sta uporaba reflektivnih in poroznih materialov ter vzpostavitev naravnega prezračevanja v stavbah (Chiatti idr., 2024; Figliola idr., 2024; Zhu idr., 2022). Pomembno vlogo imajo tudi senčila in zelene strehe v zgodovinskih stavbah (Mathew idr., 2024; Perlaza idr., 2025).

Za uspešno prilagajanje je ključnega pomena tudi ozaveščanje odločevalcev in javnosti ter medsektorsko sodelovanje, v katerem se poudarjajo gospodarske, družbene in okoljske koristi kulturne dediščine (UNESCO, 2023; Fatorić in Daly, 2023).

4 Normativni in strokovni okvir izvajanja ukrepov na območjih kulturne dediščine

4.1 Mednarodna raven

V Konvenciji o varstvu svetovne kulturne in naravne dediščine (UNESCO, 1972) ob sprejetju podnebne spremembe niso obravnavane, besedilo se osredotoča na zaščito svetovne kulturne in naravne dediščine pred različnimi tveganji. Pozneje podnebne spremembe prepoznava kot eno večjih tveganj. Politični dokument o podnebnih ukrepih za svetovno dediščino (UNESCO World Heritage Centre, 2023) in Pariški sporazum (UNFCCC, 2015) poudarjata potrebo po prilagajanju in zaščiti kulturnih vrednot. Mednarodno združenje ICOMOS (2019) v podporo podnebnim ciljem poudarja potrebo po vključevanju kulturne dediščine v strategije blaženja in prilagajanja podnebnim spremembam z uporabo tradicionalnih znanja in praks, razvojem metodologij za oceno ranljivosti, z izobraževalnimi programi ter izmenjavo znanja med strokovnjaki in lokalnimi skupnostmi. Evropski zeleni dogovor (EK, 2019) in pobude, kot so Novi evropski Bauhaus (EU, 2020), Europa Nostra (Europa Nostra, n. d.) in Climate Heritage Network (Climate Heritage Network, n. d.), dodatno spodbujajo vključevanje kulturne dediščine v podnebne politike.

4.2 Nacionalna raven

V Sloveniji varstvo kulturne dediščine ureja Zakon o varstvu kulturne dediščine (ZVKD-1, 2008), ki prilagajanja podnebnim spremembam ne obravnava sistematično, temveč posredno skozi strokovno presojo posegov in ohranjanje varovanih vrednot. Podzakonski akti dopolnjujejo zakonske določbe na izvedbeni ravni v povezavi z materiali in spremembami rabe prostora. Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije (ZVKDS) ima pri tem ključno vlogo pri presoji skladnosti posegov v zgodovinska jedra, saj deluje kot posrednik med varstvenimi zahtevami, razvojnimi interesi in potrebami prilagajanja na podnebne spremembe.

Ker slovenski pravni okvir omogoča prilagajanje kulturne dediščine predvsem posredno in na ravni posameznih primerov, so sistematične usmeritve pomemben izziv zlasti z vidika urbanega pregrevanja.

4.3 Merila za izvajanje ukrepov

V Sloveniji zmanjševanje vplivov urbanega pregrevanja na območjih kulturne dediščine poteka v okviru sistema varstva dediščine, ki temelji na načelih previdnosti, reverzibilnosti in ohranjanja varovanih vrednot. Ukrepi za prilagajanje na naraščajoče temperature so dopustni takrat, ko prispevajo k izboljšanju bivalnih in okoljskih razmer, hkrati pa ne ogrožajo kulturnih, zgodovinskih, arhitekturnih in krajinskih vrednot dediščine. Njihova presoja poteka individualno, v okviru strokovnih podlag in kulturnovarstvenih soglasij, ki jih izdaja ZVKDS.

Pri obravnavi ukrepov za prilagajanje na negativne učinke pregrevanja na zaščitih območjih je ključno razlikovati med dopustnimi posegi, ki so skladni z varstvenimi načeli, in nedopustnimi posegi, ki pomenijo trajno ali nesorazmerno degradacijo dediščinskih vrednot.

Dopustni so tisti ukrepi, ki so strokovno utemeljeni, sorazmerni z namenom ter izvedeni na način, ki ohranja avtentičnost, integriteto in berljivost kulturne dediščine. Dovoljeni so posegi, ki so vključeni v celostno konservatorsko presojo, usklajeni s prostorskim kontekstom in potrjeni s strani ZVKDS. Nedopustni posegi, ki trajno spremenijo ali razvrednotijo kulturne, zgodovinske in arhitekturne lastnosti dediščine oziroma povzročijo izgubo njene avtentičnosti in so največkrat nasprotni zgoraj naštetim posegom, so v skladu z varstvenimi načeli praviloma zavrženi.

Presoja dopustnosti ukrepov za zmanjševanje vplivov pregrevanja na območjih kulturne dediščine temelji na kombinaciji zakonodajnih določil, strokovnih smernic in posamičnih konservatorskih presoj. ZVKDS pri tem sledi ciljem ohranjanja avtentičnosti, celovitosti in dolgoročne vzdržnosti dediščine ob hkratnem iskanju ravnotežja med njenim varstvom in potrebami prilagajanja na podnebne spremembe. Metoda, ki temelji na individualni obravnavi, omogoča prilagajanje ukrepov posebnostim posameznih območij, hkrati pa odpira vprašanje potrebe po bolj sistematičnih in enotnih smernicah za obravnavo urbanega pregrevanja v zgodovinskih mestnih jedrih. To je pomembno izhodišče za nadaljnji razvoj slovenskega kulturnovarstvenega sistema z vidika podnebnih sprememb.

5 Primeri blaženja toplotnega stresa zgodovinskih mest

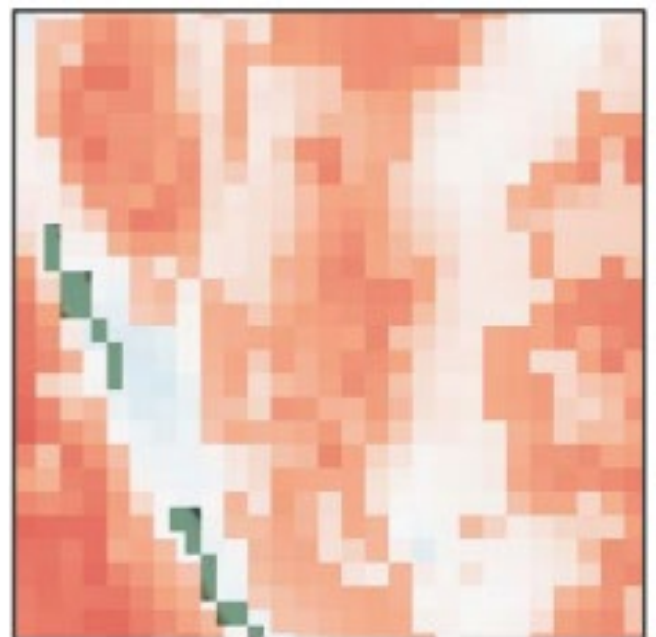
Zgodovinska mestna jedra so zaradi omejenih možnosti trajnih posegov posebej ranljiva za toplotni stres, povezan z UTO. V Evropi se uveljavljajočasni, reverzibilni in minimalno invazivni ukrepi, ki hkrati ohranjajo kulturne vrednote in izboljšujejo urbano mikroklimo. Med najpogostejšimi so sezonska senčila nad ulicami in trgi, značilna za južnoevropska mesta, kot je Sevilla, kjer nadgrajujejo tradicionalna bioklimatska načela senčnih ulic (El País, 2023). Pomembno jih dopolnjujejo elementi modre infrastrukture, kot so fontane in začasni pršilni sistemi, ki lokalno znižujejo temperaturo zraka brez trajnih posegov v zaščiteno urbano tkivo (Life Watercool, 2022; European Commission – Covenant of Mayors, 2024). V mestih, kot so Toulouse, Lyon in Antwerpen, se takšni ukrepi umeščajo kot hladilne točke (*cool spots*), namenjene prebivalcem v času vročinskih valov (ArchDaily, 2023).

Mesta razvijajo tudi bolj celostne prostorske metode. Guimarães (Portugalska) v okviru strategije zelenih radikalnih povezav povezuje zelene in modre infrastrukturne pasove, urbane gozdove, skupnostne zelene površine ter mokrišča in zadrževalnike, s čimer hkrati obvladuje toplotni stres, poplavno ogroženost in ohranja elemente kulturne dediščine (EU Covenant of Mayors, n. d.), Ljubljana pa je že leta 2016 izvedla prvo kartiranje UTO ter rezultate nato vključila v pripravo prostorskih aktov za načrtovanje zelenih površin in ohranjanje prezračevalnih koridorjev, tudi v zgodovinskem jedru mesta (Komac idr., 2016). V Ljubljani, Mariboru in Piranu se pojavljajo predvsem pilotni in časovno omejeni ukrepi, ki prispevajo k izboljšanju lokalne mikroklimo in hkrati razkrivajo možnosti sistemsko načrtovanega prilagajanja zgodovinskih mest na toplotne obremenitve (European Commission – Covenant of Mayors; 2025, Climate-ADAPT, 2025).

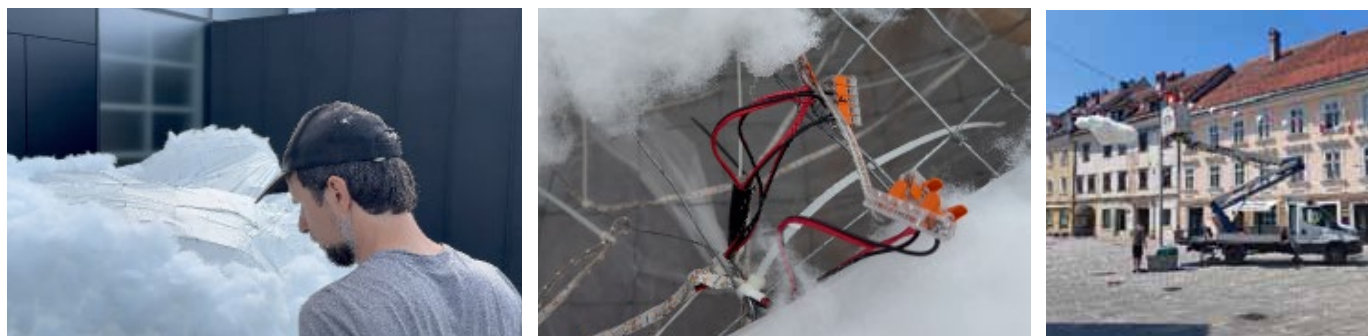
6 Študija primera: Mestna občina Kranj in projekt Be Ready

Projekt Be Ready, »Building Regional Resilience to Climate Change«, je usmerjen v krepitev odpornosti mest s poudarkom na obvladovanju UTO (Interreg Danube Transnational Programme). V Mestni občini Kranj kot pilotnemu mestu je bilo zgodovinsko mestno jedro zaradi svoje prostorske morfologije, strnjene pozidave in omejenih možnosti uvajanja zelenih površin prepoznano kot eno najranljivejših območij za vročinske obremenitve (Harmel idr., 2016).

Kot pilotni ukrep blaženja je bila v središče starega mestnega jedra v sodelovanju s splošno in strokovno javnostjo umeščena začasna umetniška vodna instalacija, poimenovana Območje dežja. Gre za inovativno zasnovano prostorsko instalacijo v obliki »vodnega oblaka« iz vodoodporne volne, opremljeno s sistemom za razprševanje fine vodne meglice, ki se samodejno aktivira glede na temperaturne razmere in zaznavo gibanja v



Slika 1: Rezultat strokovne podlage »Urbani toplotni otoki v Mestni občini Kranj«



Slika 2: Območje dežja

prostoru. Instalacija deluje kot modri ukrep za lokalno zniževanje temperature ter izboljšanje mikroklimatskih razmer v javnem prostoru. Zaradi svoje začasne narave, reverzibilnosti in lahke konstrukcije je rešitev skladna z varstvenimi načeli ohranjanja kulturne dediščine, saj omogoča minimalne posege v prostor in ne povzroča trajnih sprememb na varovanem območju.

Posebna vrednost pilotnega ukrepa je v povezovanju prilagajanja na podnebne spremembe in ohranjanja kulturne dediščine. Končni videz Območja dežja in izbira lokacije sta rezultat sodelovanja med splošno javnostjo ter ZVKDS OE Kranj. Instalacija ni bila zamišljena kot končna rešitev, temveč kot začasni pilotni ukrep, ki omogoča testiranje učinkov v resničnem in občutljivem prostoru, zbiranje podatkov o učinkih, delovanju in rabi ter preverjanje družbene sprejemljivosti, vse brez trajnih posegov v historično substanco ali prostorsko integriteto zaščitene območja. Takšna metoda zmanjšuje tveganje nepovratnih posegov in odpira prostor za postopno učenje ter prilagajanje rešitev.

Instalacija Območje dežja je bila zelo dobro sprejeta med uporabniki in je postala prepoznavna poživitev doživanja v starem mestnem jedru, zlasti med mlajšimi prebivalci, hkrati pa je nudila osvežitev prebivalcem, obiskovalcem in njihovim hišnim ljubljencem. Poleg neposrednega hladilnega učinka je imela tudi pomembno komunikacijsko in ozaveščevalno vlogo, saj je vidno opozorila na težavo urbanega pregrevanja ter omogočila neposredno izkušnjo prilagajanja mestnega prostora na podnebne spremembe.

7 Iskanje ravnovesja med dediščino in blaženjem UTO

Rezultati raziskave potrjujejo, da je usklajevanje varstvenih režimov in blaženja UTO kompleksen izziv, ki zahteva sočasno usklajevanje ciljev ohranjanja dediščine in prilagajanja podnebnim spremembam. Zgodovinska mesta so zaradi morfološke strukture, goste zazidave in omejenih prostorskih možnosti za posege med območji, najbolj izpostavljenimi toplotnemu stresu, in zato tudi med najranljivejšimi. Varstveni režimi, ki so usmerjeni v ohranjanje identitete prostora, pogosto omejujejo uporabo tehničnih rešitev, kot so trajni elementi za senčenje, ozelenjevanje ali uporaba reflektivnih materialov.



Slika 3: Proces sodelovanja javnosti



Slika 4: Pilotni ukrep v starem mestnem jedru Kranja

Študija primera mesta Kranj potrjuje, da lahko začasni ukrepi prispevajo k zmanjševanju toplotnega stresa, hkrati pa delujejo kot orodje za preizkušanje rešitev v nekem prostoru, za preverjanje družbene sprejemljivosti ter ozaveščanje javnosti in odločevalcev.

Razprava razkriva tudi omejitve prilagajanja zgodovinskih mest v Sloveniji, ki izhajajo iz pretežno individualne obravnave načrtovanih posegov in pomanjkanja izvajanja celostnega blaženja UTO. Takšna metoda sicer omogoča prilagodljivost posameznih primerov, vendar pa je uspešnost in celovitost blaženja UTO odvisna od ravni znanja, izkušenj ter ozaveščenosti strokovnjakov s področja kulturne dediščine. Pomanjkanje jasnih smernic otežuje tudi sistematično vrednotenje posegov in njihovo prenosljivost med različnimi mesti v Sloveniji.

Kljub navedenim omejitvam raziskava potrjuje, da je prilagoditvene ukrepe mogoče izvajati znotraj območja kulturne dediščine (Fatorić in Daly, 2023), torej so predstavljene možnosti za njihov razvoj v Sloveniji. Pri načrtovanju in oblikovanju ukrepov prilagajanja ima ključno vlogo interdisciplinarna metoda, ki v začetnih fazah vključuje varstveno stroko, lokalne odločevalce, prostorske in urbanistične načrtovalce in arhitekte. Le tako je mogoče soustvarjati učinkovite, inovativne in izvedljive rešitve, ki so hkrati strokovno utemeljene ter skladne z varstvenimi režimi.

8 Sklep

Za zgodovinska mestna jedra je največji izziv prilagajanje podnebnim vplivom, med katerimi je najbolj pereče pregrevanje. Spremembe podnebja vplivajo na stanje kulturne dediščine, kakovost bivanja in zdravje ljudi, zato je prilagajanje kulturne dediščine na spreminjajoče se podnebne razmere ključnega pomena. Rezultati analize primerov praks in projekta v mestu Kranj so pokazali, da so začasni ukrepi ustrezni zaradi minimalnih posegov in prenosljivosti, saj sočasno izboljšujejo mikroklimatske razmere v zgodovinskih mestnih jedrih, ozaveščenost različnih deležnikov in družbeno sprejemljivost, hkrati pa delujejo kot testna orodja za preveritev ustreznosti posegov ter razvoj trajnih rešitev v prostoru. Izkazujejo se tudi kot ustrezna podlaga za postopno preoblikovanje sistemskih rešitev, še posebno na področju varstva kulturne dediščine, ki bodo prispevale k razvoju prilagoditvenih strategij in ukrepov.

Blaženje podnebnih vplivov in toplotnega stresa je kompleksen in dinamičen proces, saj je kulturna dediščina bila in bo tudi v prihodnje izpostavljena podnebnim vplivom, zato se bo vedno spreminjala (Sesana idr., 2021). Pri tem je ključna izbira ustrezne metode, saj je le tako mogoče dolgoročno ohranjati temeljne vrednote dediščine in povečati odpornost predvsem zgodovinskih mestnih jeter proti prihajajočim podnebnim vplivom.

Viri in literatura

Viri in literatura

- ArchDaily. (2023). *Cooling the city: How European cities are adapting to extreme heat*. <https://www.archdaily.com/1031776/cooling-the-city-how-european-cities-are-adapting-to-extreme-heat>
- Bertolin, C. (2019). Preservation of Cultural Heritage and Resources Threatened by Climate Change. *Geosciences*, 9(6), 250. <https://doi.org/10.3390/geosciences9060250>
- Chiatti, C., Fabiani, C., Bou-Zeid, E. in Pisello, A. (2024). Evaluating the potential of persistent luminescence in counteracting urban overheating. *Journal of Physics: Conference Series*, 2685(1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2685/1/012029>
- Climate Heritage Network. (n. d.). *About the Climate Heritage Network*. <https://www.climateheritage.org/about>
- Climate-ADAPT. (2025). *Promoting coastal climate adaptation in the old historic town centre of Piran, Slovenia*. EU Mission on Adaptation to Climate Change Portal. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/mission/solutions/mission-stories/promoting-coastal-climate-adaptation-in-the-old-historic-town-centre-of-piran-slovenia-story85>; climate-adapt.eea.europa.eu
- Copernicus Climate Change Service (C3S). (2025). *European State of the Climate 2024*. Copernicus Climate Change Service (C3S). <https://doi.org/10.24381/14J9-S541>
- El Pais. (2023). *Extreme heat: How eight cities are innovating to fight rising temperatures*. <https://english.elpais.com/science-tech/2023-07-12/extreme-heat-how-eight-cities-are-innovating-to-fight-rising-temperatures.html>
- EU Covenant of Mayors. (n. d.). *Guimarães: Adapting a historic city to heatwaves*. <https://eu-mayors.ec.europa.eu/en/Guimar%C3%A3es-Adapting-a-Historic-City-to-Heat-Waves>
- Europa Nostra. (n. d.). *Europa Nostra – The European Voice of Cultural Heritage*. <https://www.europanostra.org/>
- European Commission – Covenant of Mayors. (2024). *Action for outdoor environment adaptation in Seville (Cartuja Qanat)*. <https://eu-mayors.ec.europa.eu/en/Action-for-Outdoor-Environment-Adaptation-in-Seville>
- European Commission – Covenant of Mayors. (2025). *Preparing Maribor for hotter days ahead through heat action planning*. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/mission/solutions/mission-stories/preparing-maribor-for-hotter-days-story100>; climate-adapt.eea.europa.eu
- European Union (EU). (2020). *New European Bauhaus*. https://new-european-bauhaus.europa.eu/about/about-initiative_en
- Evropska komisija (EK). (2019). *Evropski zeleni dogovor*.
- Fatorić, S. in Daly, C. (2023). Towards a climate-smart cultural heritage management. *WIREs Climate Change*, 14(6), e855. <https://doi.org/10.1002/wcc.855>
- Figliola, A., Canducci, A., Calcagni, L. in Battisti, A. (2024). Passive strategies for climate change mitigation in architectural heritage: The case study of Santa Maria in Trastevere Basilica, Rome. *Building Research & Information*, 52(7), 725–747. <https://doi.org/10.1080/09613218.2024.2349172>
- Harmel, M., idr. (2016). *Urbani toplotni otoki v Mestni občini Kranj*. <https://www.kranj.si/files/janis/publikacije/urbani-toplotni-otoki.pdf>
- Hedayatnia, H., Steeman, M. in Van Den Bossche, N. (2021). Conservation of heritage buildings in Mashhad: On the impact of climate change and the urban heat island effect. *V Conservation of heritage buildings in Mashhad: on the impact of climate change and the urban heat island effect*. 1st International Conference on Moisture in Buildings 2021. <https://doi.org/10.14293/ICMB210029>
- ICOMOS. (2019). *The Future of Our Pasts: Engaging Cultural Heritage in Climate Action*. International Council on Monuments and Sites. <https://civvih.icomos.org/wp-content/uploads/Future-of-Our-Pasts-Report-min.pdf>
- Interreg Danube Transnational Programme. (n. d.). *BeReady – Building Regional Resilience to Climate Change*. <https://interreg-danube.eu/projects/be-ready>
- Life Watercool. (2022). *Seville adapts to climate change with water as protagonist*. <https://lifewatercool.com/en/seville-adapts-to-climate-change-with-water-as-protagonist/>
- Mathew, D., Richard, O. in Oliver, K. (2024). Historic windows with passive heat loss reduction strategies and their effect on indoor thermal comfort. *Comfort at The Extremes 2023: The Book of Proceedings*. Comfort at The Extremes 2023. <https://doi.org/10.62744/CATE.45273.1146-514-522>
- Mestna občina Ljubljana. (2025). *Ko pritisne vročina – ukrepi in projekti za hladnejše javne prostore v prestolnici*. <https://www.ljubljana.si/sl/aktualno/novice/ko-pritisne-vrocina>
- Oke, T. R. (2011). Urban Heat Islands. V I. Douglas, D. Goode, M. Houck in R. Wang (ur.). *The Routledge Handbook of Urban Ecology*. Routledge Handbooks.
- Perlaza, J., Porcari, V. D. in Fattore, C. (2025). Evaluating Urban Heat Island Mitigation Policies in Heritage Settings: An Integrated Analysis of Matera. *Sustainability*, 17(10), 4374. <https://doi.org/10.3390/su17104374>
- ResearchGate. (2016). *Urban heat island in the Ljubljana City* (Komac et al., piloting interventions). https://www.researchgate.net/publication/307523282_Urban_Heat_Island_in_the_Ljubljana_City
- Sesana, E., Gagnon, A. S., Ciantelli, C., Cassar, J. in Hughes, J. J. (2021). Climate change impacts on cultural heritage: A literature review. *WIREs Climate Change*, 12(4), e710. <https://doi.org/10.1002/wcc.710>
- UNESCO World Heritage Centre. (2007). *Policy document on the impact of climate change on World Heritage properties* (WHC-07/16.GA/10). Generalna skupščina držav pogodbenic Konvencije o varstvu svetovne kulturne in naravne dediščine, Pariz. Pridobljeno s <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000215416>
- UNESCO World Heritage Centre. (27. 11. 2023). *Policy Document on Climate Action for World Heritage* (Resolution 24 GA 8) (Policy Document). UNESCO. <https://whc.unesco.org/en/documents/20442>
- UNESCO. (1972). *Convention concerning the protection of the world cultural and natural heritage*. <https://whc.unesco.org/en/conventiontext/>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2015). *Paris agreement*. United Nations Framework Convention on Climate Change. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/parisagreement_publication.pdf
- Zakon o varstvu kulturne dediščine (ZVKD-1)*. Uradni list Republike Slovenije, št. 16/08. <https://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO414>
- Zhu, W., Zhang, L., Mei, S.-J. in Yuan, C. (2022). Developing Urban Heat Mitigation Strategies for a Historic Area Using a High-Fidelity Parametric Numerical Simulation: A Case Study in Singapore. *Buildings*, 12(9), 1311. <https://doi.org/10.3390/buildings12091311>

Obvladovanje pregrevanja kot podnebne tveganja

Barbara Mušič

Urbanistični inštitut Republike Slovenije

Izvleček

Podnebne spremembe povzročajo pregrevanje urbanega prostora, pri čemer urbani toplotni otoki (UTO) pomenijo pomembno tveganje za zdravje, kakovost bivanja in rabo energije. Najbolj izraziti so v mestih z gosto zazidavo, veliko neprepustnih površin in pomanjkanjem vegetacije. Namen poglavja je oblikovati konceptualni okvir obvladovanja podnebnih tveganj s poudarkom na pregrevanju, UTO ter njihovih vplivih na prostor in družbo. Poudarjena je vloga prilagoditvene in odzivne zmogljivosti družbenih sistemov ter predstavljen pomen usklajenega delovanja med ravnmi in sektorji. Predstavljene so metode in orodja za oceno tveganj ter primeri dobre prakse iz projekta Be Ready (Program Interreg Podonavje 2021–2027). Posebna pozornost je namenjena urbanistično-oblikovalskim ukrepom z zelenimi, modrimi in belimi rešitvami ter prostorskim in upravljavskim ukrepom. Analiza kaže, da splošnega modela blaženja UTO ni, saj so rešitve odvisne od lokalnih razmer. Ključni so sodelovanje, izmenjava znanja in vključevanje prebivalcev, kar povečuje učinkovitost in trajnost ukrepov.

Ključne besede:

podnebne spremembe, urbani toplotni otoki, podnebna tveganja, urbanistično-oblikovalski ukrepi, Be Ready

Abstract

Climate change is causing the overheating of urban areas, with urban heat islands (UHI) representing a significant risk to human health, quality of life, and energy use. They are most evident in cities with dense development, extensive impervious surfaces, and a lack of vegetation. The aim of the paper is to develop a conceptual framework for climate risk management with a focus on overheating, UHI, and their impacts on space and society. The role of adaptive and response capacities of social systems is emphasized, as well as the importance of coordinated action across different governance levels and sectors. Methods and tools for risk assessment are presented, together with examples of good practice from the Be Ready project (Interreg Danube Programme 2021 - 2027). Special attention is given to urban planning and design measures that include green, blue, and white solutions, as well as spatial and governance measures. The analysis shows that there is no universal model for UHI mitigation, as solutions depend on local conditions. Cooperation, knowledge exchange, and the involvement of residents are key to increasing the effectiveness and sustainability of measures.

Keywords:

climate change, urban heat islands, climate risks, urban design measures, Be Ready

1 Uvod

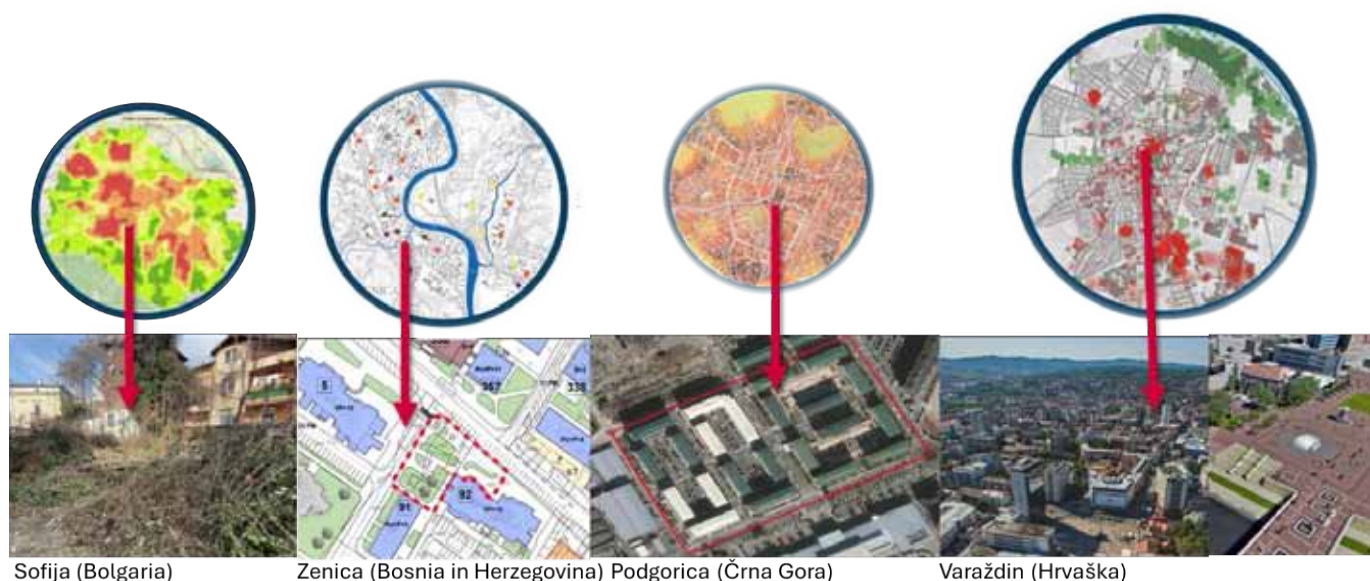
Podnebne spremembe so eden največjih izzivov sodobne družbe, pri čemer je pregrevanje prostora posebej pereče. Dvig temperatur vpliva na pojav urbanih toplotnih otokov (UTO), ki so izraziti predvsem v mestih in naseljih, kjer gosta zazidava, pomanjkanje vegetacije in uporaba gradbenih materialov z visoko toplotno akumulacijo ustvarjajo neugodne mikroklimatske razmere. Intenziteta UTO vpliva tudi na slabšo kakovost zraka, toplotno neugodje, povečano rabo energije za hlajenje, večjo ranljivost revnih skupin ter zdravstvene težave (Leal Filho idr., 2021).

Namen poglavja je celovito obravnavati problematiko podnebnih sprememb in podnebnih tveganj s poudarkom na pregrevanju ozračja, pojavu UTO ter dejavnikih in posledicah, ki vplivajo na prostor in družbo. Posebna pozornost bo namenjena metodam, orodjem in ukrepom, povezanim z UTO, ter priložnostim, ki jih ti ponujajo za blaženje negativnih učinkov. Prispevek bo poudaril pomen celovitega delovanja, ki vključuje prostorsko načrtovanje, sistemske in tehnične rešitve, ozaveščanje javnosti ter krepitev prilagoditvenih sposobnosti mest in družbe.

2 Obvladovanje podnebnega tveganja

Pri obvladovanju podnebnih tveganj sta ključna prilagoditvena zmogljivost in zmogljivost odziva družbenih sistemov in okolja. Prilagoditvena zmogljivost (angl. *adaptive capacity*) pomeni sposobnost dolgoročne prilagoditve podnebnim spremembam z učenjem in spremembami delovanja, s čimer se zmanjšuje ranljivost. Zmogljivost odziva (angl. *response capacity*) pa označuje sposobnost kratkoročnega spopadanja s podnebnimi vplivi na podlagi obstoječih zmogljivosti in strategij, da se ti učinki zmanjšajo takoj, brez večjih sprememb osnovnega delovanja sistemov in družbe (Smit in Wandel, 2006). Učinkovitost prilagajanja in odziva je odvisna od tehničnih in kadrovske zmogljivosti.

Cilj obvladovanja podnebnih tveganj je zmanjševanje tveganj in posledic, kar zahteva usklajeno sodelovanje in izmenjavo znanja. V ta namen so razviti različni mehanizmi: institucionalni vključujejo strategije, akcijske načrte, pravne in regulativne instrumente ter mednarodne mreže; tehnični vključujejo sisteme za zgodnje opozarjanje na podnebne vplive in podatkovne platforme; družbeni poudarjajo vključevanje lokalnih deležnikov v proces, finančni pa zagotavljajo sredstva za obvladovanje podnebnih tveganj. Ključna za uspeh sta skupno sodelovanje in izmenjava znanja med vsemi deležniki.



Slika 1: Rezultati analize ranljivosti za UTO v okviru projekta Be Ready (vir: Interreg Danube Region, b. d.)

3 Metode in orodja za oceno tveganj pregrevanja

Ocena tveganj je osnova za oblikovanje ukrepov za obvladovanje pregrevanja ozračja. Za analizo prostora in ranljivosti na UTO se uporabljajo različna digitalna orodja, ki temeljijo na GIS, podnebnih modelih in modelih vročinskih valov s scenariji prihodnjih temperatur (IPCC, 2023). Obstajajo tudi modeli za izračun intenzitete UTO in izpostavljenosti družbe in okolja. Nacionalno oceno ranljivosti in tveganja za zdravje zaradi podnebnih sprememb vključno s pregrevanjem ozračja je leta 2025 izvedel NIJZ (2025).

Na lokalni ravni je bila v okviru projekta Be Ready (Interreg Danube Region, b. d.), ki ga finančno podpira program Interreg Podonavje (2021–2027), razvita metodologija za oceno ranljivosti mest, ki omogoča analizo tveganj za pojav UTO in izbiro pilotnega območja za ukrepanje. Za samoocenjevanje ranljivosti je bila razvita tudi platforma (Be UHI READY, b. d.), ki omogoča rezultate, dostop do primerov dobre prakse in pridobitev strokovne podpore.

Za pripravo ocene tveganj so ključni prostorski, statistični in satelitski podatki, ki so v dostopni na portalih E-prostor, Atlas okolja, SiStat ter iz satelitskih podatkov Landsat in Sentinel.

4 Urbanistično-oblikovalske metode blaženja UTO

4.1 Vpliv urbanizacije na nastanek in intenziteto UTO

Urbanizacijski procesi zmanjšujejo prepustnost tal in z uporabo gradbenih materialov povečujejo segrevanje zlasti gosto zazidanih urbanih območij. Zmanjševanje prepustnosti tal zaradi pozidave in širjenja neprepustnih površin, kot so asfalt in beton, vodi do večjega zadrževanja toplote v urbanih območjih. Uporaba gradbenih materialov z visoko toplotno akumulacijo dodatno prispeva k segrevanju, zlasti v gosto zazidanih mestnih središčih.

Na intenziteto UTO vplivajo tudi sprememba rabe zemljišč, urbana morfologija, izbira materialov, pomanjkanje vegetacije in vodnih površin ter povečana raba energije za hlajenje stavb. Raziskave (Xu in Rui, 2024; Kim idr., 2025) poudarjajo, da je umeščanje zelenih površin, zlasti v gosto pozidanih strukturah, ključno za zmanjšanje učinkov UTO. Pomembna sta gostota vegetacije in bližina vodnih teles, saj oba dejavnika prispevata k izboljšanju mikroklimatskih razmer in zmanjšanju potrebe po rabi energije za hlajenje (Abdi idr., 2023; Marquez-Torres idr., 2025). Poleg tega imajo hladne in zelene strehe pomembno vlogo pri zmanjšanju učinkov UTO in rabi energije za hlajenje v stavbah (Lalosevic idr., 2018). Naraščajoče temperature neposredno vplivajo na manjšo produktivnost, povečano tveganje požarov, spremembe v vodnih virih ter na izzive v kmetijstvu in oskrbi z energijo.

4.2 Tipologija ukrepov

V podporo blaženju vročinskih valov so mesta oblikovala različne urbanistično-oblikovalske metode. V projektu Be Ready je bila uporabljena kombinacija zelenih, modrih in belih akupunkturnih rešitev, pri čemer zelene rešitve vključujejo vegetacijo, modre rešitve nove načine rabe vode, bele rešitve se osredotočajo na uporabo inovativnih materialov. Zelene rešitve vključujejo ukrepe, kot so sajenje dreves, ureditev parkov in ozelenjevanje streh, ki prispevajo k znižanju temperatur in izboljšanju mikroklimatike. Modre rešitve vključujejo zbiranje in ponovno uporabo deževnice, vzpostavitev vodnih površin ali pršilnikov, ki omogočajo dodatno hlajenje urbanega prostora. Bele rešitve pa pomenijo uporabo svetlih, odbojnih materialov za strehe in tlake, ki zmanjšujejo absorpcijo toplote in s tem povezano segrevanje površin.

4.3 Primeri dobre prakse

V različnih evropskih mestih so bile izvedene inovativne rešitve za blaženje učinkov UTO, ki združujejo zelene, modre in bele ukrepe ter prispevajo k izboljšanju mikroklimatskih razmer, kakovosti bivanja in energijski učinkovitosti. V Ratibořju na Češkem so na avtobusno postajališče namestili nadstrešnico z zeleno streho, ki



Slika 2: Be Ready pilotne aktivnosti v Ratibořju, Zenici in Kranju (foto: Filip Hurta, Barbara Mušič)

zmanjšuje lokalno pregrevanje in povečuje ugodje uporabnikov. V Zenici v Bosni in Hercegovini so v stanovanjski soseski dodatno uredili zelene površine, ki zmanjšujejo temperaturo in izboljšujejo kakovost zraka ter prispevajo k večji kakovosti bivanja. V Kranju so v središču starega mestnega jedra namestili oblak s pršilnikom vode, ki omogoča aktivno hlajenje urbanega prostora in povečuje ugodje obiskovalcev (slika 2).

V Ostravi na Češkem so v soseskah del tlakovanih površin nadomestili z raščnim terenom (fajnOVA, b. d.), s čimer so povečali prepustnost tal in spodbudili naravne procese hlajenja, v Ljubljani pa so asfaltirane peš površine nadomestili s prepustnim betonom, ki izboljšuje odvajanje vode ter zmanjšuje segrevanje (Rabuz, 2019). V Brnu na Češkem so v okviru prenove Moravskega trga umestili vodno površino, ki poleg hladilnega učinka omogoča igro na prostem v poletnih dneh (Vaculíková, 2023), na prenovljeni industrijski stavbi pa so namestili zeleno streho z vrtom, ki se vzdržuje z uporabo sive vode (DADA Distrikt, b. d.).

5 Ukrepi za zmanjševanje tveganja zaradi pregrevanja urbanega prostora

Trajnostni razvoj in podnebno odporno načrtovanje mest sta ključna za blaženje UTO. To zahteva upravljalvske, finančne, informacijske, prostorske in hibridne ukrepe na različnih ravneh (mednarodna, nacionalna, regionalna, lokalna raven) in različnih področjih (prostor, okolje, infrastruktura, zdravstvo idr.).

Prostorski ukrepi imajo pomembno vlogo pri blaženju UTO, saj z načrtnim umeščanjem zelenih površin, modro-zelene infrastrukture ter ustreznim oblikovanjem stavbne strukture in odprtega prostora lahko bistveno ublažimo učinke vročinskih valov (Xu in Rui, 2024; Gao idr., 2025; Kim idr., 2025). Izvajanje prostorskih ukrepov omogočajo zakoni, pravilniki, direktive in uredbe, kot sta Zakon o urejanju prostora (ZUreP-3, Ur. l. RS, št. 75/25) in Uredba o prostorskem redu Slovenije (DPR, Ur. l. RS, št. 122/04).

Na področju UTO ne obstaja posebna direktiva za blaženje negativnih učinkov UTO, vendar področje posredno urejajo direktiva o energetski učinkovitosti (EU 2023/1791) in direktiva o spodbujanju rabe energije in obnovljivih virov (EU 2023/2413) ter direktiva o obvladovanju poplav (2007/60/ES). Uredba o kakovosti zunanjega zraka (Ur. l. RS, št. 9/11) določa standarde kakovosti zraka. Zakon o varstvu okolja (ZVO-2, Ur. l. RS, št. 44/02) vključuje podnebni vidik v celovito presojo vplivov na prostor. Podnebni zakon (PoZ, Ur. l. RS, št. 56/25) obravnava pregrevanje v okviru blaženja posledic podnebnih sprememb, ZUreP-3 pa ureja prostor na način, ki omogoča zmanjševanje vplivov. Ker je blaženje učinkov UTO povezano z rabo energije za hlajenje v stavbah, je bil v Sloveniji sprejet Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah in tehnične smernice (Ministrstvo za okolje in prostor, 2022).

Upravljalvske ukrepi vključujejo različne deležnike in se razlikujejo glede na pravne odnose med njimi (npr. državni organi – državljeni, državni organi – gospodarstvo). Primeri so delovne skupine, ki načrtujejo in spremljajo izvedbo intervencij, kot so zasaditve, pršilniki, ter vzdrževanje.

Za izvajanje ukrepov so ključni finančni mehanizmi, kot so LIFE, Obzorje Evropa in kohezijski sklad (programi INTERREG in URBACT). Za učinkovito črpanje sredstev EU je Vlada Republike Slovenije leta 2023

ustanovila Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo. Program Obzorje Evropa podpira 150 regij in mest za večjo odpornost proti podnebnim spremembam do leta 2030, v katero so v okviru misije Podnebno nevtralna in pametna mesta v mrežo 100 podnebno nevtralnih mest vključena Ljubljana, Kranj in Velenje (EC, 2023). Na ravni EU zasebni sektor finančno podpira InvestEU (European Union, b. d.), v Sloveniji pa pravnim osebam in občinam finančne spodbude in kredite za ukrepe učinkovite rabe in obnovljive vire energije omogoča tudi Eko sklad (b. d.), ki ga podpira Evropska investicijska banka (European Investment Bank, b. d.).

EU s finančnimi spodbudami krepi sodelovanje in mreženje deležnikov. Med projekti v Sloveniji izstopa LIFE4ADAPT (MOPE, b. d.), ki ga financira program LIFE in je usmerjen v sistemsko obravnavo podnebne odpornosti z vključevanjem partnerjev z različnih ravni in področij. Poleg tega EU spodbuja sodelovanje tudi s programi HORIZONT, LIFE, INTERREG, URBACT in drugimi.

Informacijski ukrepi vključujejo spletne strani, publikacije, kampanje za ozaveščanje, izobraževanje, konference in okrogle mize. V Sloveniji za informiranje prebivalstva o vročinskih stresih skrbi ARSO (b. d.), GIS karte ranljivosti na UTO (Interreg Danube Region, b. d.) pa podpirajo odločevalce pri oblikovanju ukrepov. Izmenjava znanja med občinami in strokovnjaki v Sloveniji spodbuja Skupnost občin Slovenije (b. d.), ki od leta 2024 deluje kot podnebna pisarna.

Hibridni ukrepi združujejo več metod v enoviti mehanizem, pogosto v obliki platform, ki nudijo tehnično podporo predvsem regijam in mestom pri pripravi razvojnih strategij, akcijskih načrtov in projektov. Platforma, osredotočena izključno na pregrevanje, ne obstaja, vendar tematiko obravnava Climate-ADAPT (EEA, b. d.), mednarodno pa Mreža hladnih mest v okviru C40 (C40 Cities Climate Leadership Group, Inc., b. d.) Na regionalni ravni vročinske valove v Sloveniji obravnava strategija prilagajanja podnebnim spremembam za gorenjsko in goriško regijo (BSC, 2025; GOLEA, 2025), na lokalni ravni pa bo v okviru projekta Be Ready razvit akcijski načrt za UTO za Mestno občino Kranj. Na državni ravni tematiko obravnava projekt »Prilagajanje naselij podnebnim spremembam« (UIRS, b. d.), ki ga financira Ministrstvo za naravne vire in prostor.

Za podnebno varne projekte veljajo tudi standardi, kot so SIST ISO 37123: Trajnostna mesta in skupnosti (Slovenski inštitut za standardizacijo, b. d.), ISO 14090 (IOS, 2019) ter ISO 14091 (IOS, 2021), ki omogočajo oblikovanje okvirov za razvoj ukrepov za blaženje UTO.

6 Celovito obvladovanje podnebnih tveganj

Učinkovito blaženje urbanih toplotnih otokov (UTO) zahteva kombinacijo prostorskih, tehničnih, upravljalških in finančnih ukrepov. Raziskave (Abdi idr., 2023) potrjujejo, da splošni model blaženja ne obstaja, saj na rešitve vplivajo številni dejavniki, kot so mikroklimatske razmere, gostota zazidave, tipologija stavb, prisotnost zelenih in vodnih površin ter uporaba materialov (Leal Filho idr., 2021; Xu in Rui, 2024; Kim, Yeom idr., 2025; Marquez-Torres idr., 2025).

Omejitve veljavnih politik izhajajo iz pomanjkanja povezovanja med sektorji in ravnmi upravljanja ter nezadostno izvajanje prostorskih ukrepov v praksi. Zato je ključno večnivojsko delovanje, ki naj povezuje mednarodno, nacionalno, regionalno in lokalno raven ter omogoča horizontalno sodelovanje predvsem prostorskim, okoljskim, infrastrukturnim in zdravstvenim sektorjem.

Učinkovitost ukrepov je odvisna tudi od prilagoditvene zmogljivosti družbe, tehničnih in kadrovske zmogljivosti ter dostopa do finančnih virov. Pomembno je tudi vključevanje uporabnikov prostora v sooblikovanje rešitev, kar povečuje njihovo sprejetost in trajnost.

Temelj za zmanjšanje tveganj je torej celovito delovanje, ki združuje prostorsko načrtovanje, ozaveščanje javnosti, uporabo inovativnih materialov ter razvoj modro-zelene infrastrukture. Ker so podnebne spremembe sistemsko tveganje, je nujno usklajeno delovanje in izmenjava znanja na vseh ravneh, saj izzivi presegajo nacionalne meje in zahtevajo skupne cilje na mednarodni ravni.

7 Sklep

Pregrevanje urbanega prostora in pojav urbanih toplotnih otokov (UTO) sta med ključnimi podnebnimi tveganji, ki vplivajo na zdravje, kakovost bivanja in rabo energije. Analiza je pokazala, da blaženje UTO zahteva celovito delovanje, ki združuje prostorske, tehnične, upravljaljske in finančne ukrepe ter krepi prilagoditvene zmogljivosti družbe. Splošni model ne obstaja, saj so rešitve odvisne od lokalnih mikroklimatskih razmer, gostote zazidave, tipologije stavb ter razpoložljivosti zelenih in modrih površin.

Ključno je večnivojsko in večsektorsko sodelovanje, od mednarodne do lokalne ravni ter med prostorskim, okoljskim, infrastrukturnim in zdravstvenim sektorjem. Učinkovitost ukrepov je odvisna od dostopa do podatkov, tehničnih in kadrovske zmogljivosti ter finančnih virov. Pomembno vlogo ima vključevanje prebivalcev v sooblikovanje rešitev, kar povečuje njihovo sprejetost in trajnost.

Za prihodnost je nujno povezovanje prostorskega načrtovanja z inovativnimi materiali, modro-zeleno infrastrukturo, ozaveščanjem javnosti ter uporabo digitalnih orodij za oceno tveganj. Ker so podnebne spremembe sistemsko tveganje, je potrebna usklajena akcija na vseh ravneh in krepitev mednarodnega sodelovanja za dosego skupnih ciljev odpornosti mest.

Viri in literatura

- Abdi, Z., Alizadeh, H., Mohammadi, S. in Sabouri, S. (2023). Analysis of urban form typology using urban heat island indicators: Case study of Ferdous neighborhood of Tabriz. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, 1065538. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.1065538>
- Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). (b. d.). *Vročinski valovi 2024* (arhiv vročinskih kazalnikov). https://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/current/archive_heatwaves/2024/
- Be UHI READY. (b. d.). *Be Ready Project: Urban heat islands resilience, preparedness and mitigation strategy*. <https://be-uhi-ready.net/>
- BSC – Regionalna razvojna agencija Gorenjske. (2025). *Gorenjska regija je prva regija v Sloveniji s potrjeno strategijo za prilagajanje na podnebne spremembe*. <https://www.bsc-kranj.si/gorenjska-regija-je-prva-regija-v-sloveniji-s-potrjeno-strategijo-za-prilagajanje-na-podnebne-spremembe/>
- C40 Cities Climate Leadership Group, Inc. (b. d.). *Cool Cities Network*. <https://www.c40.org/networks/cool-cities-network/>
- DADA Distrikt. (b. d.). *DADA Distrikt – Residential and cultural district at the Riverside of Svitava*. <https://www.dadadistrikt.cz/>
- Eko sklad, Slovenski okoljski javni sklad. (n. d.). *Eko sklad – subvencije in ugodni krediti za okolju prijazne naložbe*. <https://www.ekosklad.si/>
- European Commission (EC). (b. d.). *Cohesion Fund*. https://ec.europa.eu/regional_policy/funding/cohesion-fund_en
- European Commission. (2023). *100 Climate-Neutral and Smart Cities by 2030*. https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en
- European Commission. (b. d.). *Interreg*. <https://interreg.eu/>
- European Environment Agency (EEA). (b. d.). *Climate-ADAPT*. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en>
- European Investment Bank. (b. d.). *European Investment Bank – The EU's climate and investment bank*. <https://www.eib.org/en/index>
- European Union. (2023). Directive (EU) 2023/1791 on energy efficiency. *Official Journal of the EU*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj>
- European Union. (2023). Directive (EU) 2023/2413 on renewable energy. *Official Journal of the EU*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj>
- European Union. (2023). *Horizon Europe*. <https://www.gov.si/zbirke/projekti-in-programi/obzorje-evropa/>
- European Union. (n. d.). *InvestEU Programme*. <https://investeu.europa.eu/>
- Evropska komisija. (2024). *Program LIFE*. https://cinea.ec.europa.eu/programmes/life_en
- Evropski parlament in Svet. (2007). Direktiva 2007/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2007 o oceni in upravljanju tveganja poplav. *Uradni list Evropske unije*, L 288, 27–34. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2007/60/oj/slv>
- fajnOVA. (b. d.). *REPLACE – Zeleň místo betonu*. Pridobljeno s <https://fajnova.cz/projekt/replace-zelen-misto-betonu/>
- Gao, W., Liu, J., Li, S., Xu, K., Wang, M. in Xia, Z. (2025). Effect of urban morphology on local-scale urban heat island intensity under varying urbanisation: A case study of Wuhan. *Sustainable Cities and Society*, 125, 106328. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106328>
- GOLEA. (2025). *Strategija prilagajanja Severno Primorske (Goriške) razvojne regije na podnebne spremembe*. https://rra-rod.si/wp-content/uploads/2025/06/Strategija-prilagajanja-Severno-Primorske-Goriske-RR-na-podnebne-spremembe_koncna.pdf
- International Organization for Standardization (IOS). (2019). *ISO 14090:2019*. <https://www.iso.org/standard/68507.html>
- International Organization for Standardization (IOS). (2021). *ISO 14091:2021*. <https://www.iso.org/standard/68508.html>
- Interreg Danube Region. (b. d.). *Be Ready Project*. Pridobljeno s <https://interreg-danube.eu/projects/be-ready>
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Kim, J., Lee, G., Park, S. in Kang, J. (2025). Mitigating urban heat island effects through leadership in energy and environmental design evaluation and blue-green infrastructure: Applying the hazard capacity factor design model for urban thermal resilience. *Sustainable Cities and Society*, 124, 106306. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106306>
- Kim, J., Yeom, S. in Hong, T. (2025). Analyzing the cooling effect, thermal comfort, and energy consumption of integrated arrangement of high-rise buildings and green spaces on urban heat island. *Sustainable Cities and Society*, 119, 106105. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.106105>
- Lalosevic, M., Komatina, M., Milos, M. in Rudonja, N. (2018). Green roofs and cool materials as retrofitting strategies for urban heat island mitigation:

- Case study in Belgrade, Serbia. *Thermal Science*, 22(6 Part A), 2309–2324. <https://doi.org/10.2298/TSCI171120086L>
- Leal Filho, W., Wolf, F., Castro-Díaz, R., Li, C., Ojeh, V. N., Gutiérrez, N., Nagy, G. J., Savić, S., Natenzon, C. E., Quasem Al-Amin, A., Maruna, M. in Bönecke, J. (2021). Addressing the Urban Heat Islands Effect: A Cross-Country Assessment of the Role of Green Infrastructure. *Sustainability*, 13(2), 753. <https://doi.org/10.3390/su13020753>
- Marquez-Torres, A., Kumar, S., Aznarez, C. in Jenerette, G. D. (2025). Assessing the cooling potential of green and blue infrastructure from twelve US cities with contrasting climate conditions. *Urban Forestry & Urban Greening*, 104, 128660. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128660>
- Ministrstvo za okolje in prostor (MOP). (2022). *TSG-1-004: 2022 – Tehnična smernica za graditev: Energetska učinkovitost stavb*. https://www.gov.si/assets/ministrstva/MNVP/Dokumenti/Graditev/TSG-1-004_2022_ure.pdf
- Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo (MOPE). (b. d.). *LIFE4ADAPT – Prilagodimo se podnebnim spremembam*. <https://www.gov.si/zbirke/projekti-in-programi/life4adapt/>
- Nacionalni inštitut za javno zdravje (NIJZ). (2025). *Podnebne ranljivosti*. https://nijz.si/wp-content/uploads/2025/03/PODNEBNE-RANLJIVOST_popravek_10062025_poslano.pdf
- PoZ. (2025). *Podnebni zakon*. Uradni list RS, št. 56/25. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO8899>
- Rabuza, M. (14. 12. 2019). *Sprememba v središču mesta* [novica]. Siol.net. <https://siol.net/novice/slovenija/sprememba-v-srediscu-mesta-video-foto-514213>
- Skupnost občin Slovenije. (b. d.). *Podnebna pisarna* (arhiv kategorije). <https://skupnostobcin.si/tag/podnebna-pisarna/>
- Slovenski inštitut za standardizacijo. (b. d.). *SIST ISO 37123:2023*. <https://www.sist.si/trajnostna-mesta-in-skupnosti-kazalniki-za-odporna-mesta-sist-iso-371232023-prevod-v-slovenscino.html>
- Smit, B. in Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 282–292. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008>
- URBACT. (n. d.). *About URBACT*. <https://urbact.eu>
- Urbanistični inštitut Republike Slovenije (UIRS). (b. d.). *Prilagajanje naselij na podnebne spremembe*. <https://www1.uirs.si/sl-si/Raziskovanje/Projekt/id/1311>
- Uredba o kakovosti zraka. (2018). Uradni list RS, št. 9/11, 8/15, 66/18, 44/22. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=URED5493>
- Vaculíková, A. (30. 10. 2023). *Nejlepší park je na náměstí v Brně. Má fontánu, ve které se dá koupat a taky spousta stromů a keřů*. EARCH.cz. <https://www.earch.cz/architektura/clanek/nejlepsi-park-je-na-namesti-v-brne-ma-fontanu-ve-ktere-se-da-koupat-a-taky-spousta-stromu-a-keru>
- Xu, Z. in Rui, J. (2024). The mitigating effect of green Space's spatial and temporal patterns on the urban heat island in the context of urban densification: A case study of Xi'an. *Sustainable Cities and Society*, 117, 105974. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105974>
- ZUreP-3. (2025). *Zakon o urejanju prostora*. Uradni list RS, št. 75/25. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO8249>
- ZVO-2. (2022). *Zakon o varstvu okolja*. Uradni list RS, št. 44/22. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO8286>

Materiali kot sooblikovalci urbane mikrokline

Janez Peter Grom, Tadej Glažar

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo

Izveček

Pregrevanje urbanega prostora se pogosto obravnava s podnebnega in morfološkega vidika, vendar se ključni procesi urbane mikrokline udeležajo na ravni materialov in površin. Prispevek obravnava materiale kot energijski vmesnik med sončnim sevanjem, prostorom in uporabnikom ter analizira vpliv njihovih optičnih in termičnih lastnosti na površinske temperature, sevalno okolje in toplotno ugodje. Razvit je analitični okvir štirih mehanizmov blaženja vročine: povečanje odsevnosti, zmanjšanje akumulacije toplote, senčenje ter evaporacija oziroma evapotranspiracija. Na podlagi primerov dobre prakse je prikazano, da učinki materialnih intervencij niso splošni, temveč odvisni od prostorskega konteksta, merila posega in vzdrževanja. Poseben poudarek je na razlikovanju med znižanjem površinskih temperatur in dejanskim zmanjšanjem toplotne obremenitve človeka, pri čemer imajo osrednjo vlogo srednja sevalna temperatura in kazalniki zunanega toplotnega ugodja.

Ključne besede:

albedo, urbani toplotni otok, hladni materiali, prepustni tlaki, hladne strehe

Abstract

Urban overheating is often discussed through climatic trends and urban morphology, yet the key processes shaping urban microclimate unfold at the scale of materials and surfaces. This chapter conceptualizes materials as an energy interface between solar radiation, space, and the user, and examines how their optical and thermal properties influence surface temperatures, the radiative environment, and outdoor thermal comfort. An analytical framework is proposed around four heat-mitigation mechanisms: increasing reflectance, reducing heat storage, providing shading, and enabling evaporation or evapotranspiration. Drawing on selected good-practice examples, the chapter demonstrates that the effects of material interventions are not universal, but depend on spatial context, the scale of implementation, and maintenance regimes. Particular attention is given to the distinction between lowering surface temperatures and actually reducing human heat stress, emphasizing the central role of mean radiant temperature and outdoor thermal comfort indices in evaluating real benefits for pedestrians and public-space use.

Keywords:

albedo, urban heat island, cool materials, permeable pavements, cool roofs

1 Uvod

Pregrevanje urbanega prostora se pogosto obravnava z vidika podnebnih sprememb in širših morfoloških značilnosti mesta, vendar se ključni procesi, ki oblikujejo urbano mikroklimo, v praksi neposredno udeležujejo v materialnosti in raznolikosti površin. Umetne, za vodo neprepustne in temne površine – zlasti asfaltirane ceste, parkirišča, obsežni tlaki in strešne ploskve – zaradi nizke odbojnosti ter sposobnosti akumulacije toplote povečujejo temperaturo zraka v mestu in občuteno (sevalno) temperaturo tudi v večernem in nočnem času. Takšna dinamika je skladna z energijskim razumevanjem urbanega toplotnega otoka, kjer spremembe sevalne bilance, shranjevanja toplote in zmanjšane evaporacije tvorijo jedro pojava (Oke, 1982). Poleg tega pregrevanje v mestu ni homogeno, temveč se poletne temperaturne razlike izrazito spreminjajo glede na morfološke značilnosti urbanih območij, kar je bilo potrjeno tudi na primeru dveh stanovanjskih sosesk v Ljubljani (Fikfak idr., 2017).

Materiali zato niso zgolj zaključni »estetski« sloj urbanega prostora, temveč delujejo kot energijski vmesnik med sončnim sevanjem in mestom: odločajo, kolikšen del kratkovalovnega sevanja se odbije, kolikšen se absorbira in pretvori v toploto, kako hitro se toplota prenese v konstrukcijo ter kako dolgo se oddaja nazaj v okolje. S tega vidika je materialno osredotočeno delovanje med bolj izvedljivimi načini prilagajanja na vročino, saj omogoča uvedbo ukrepov, ki so pogosto hitreje izvedljivi od celostnih morfoloških preobrazb (npr. zamenjava tlakov, uporaba odsevnih premazov, uvedba hladnih streh, dopolnitev s senčenjem). Hkrati ukrep izbire ustreznih materialov sam po sebi ni splošna rešitev: enako odsevna površina (površina z enakim albedom) bo delovala drugače na odprtem trgu kot v ozkem uličnem koridorju, drugače ob prisotnosti sence in vegetacije ter spet drugače v odvisnosti od vetrovnih razmer in režima vzdrževanja. Iz tega izhaja osrednja usmeritev poglavja: materiale obravnavati kot del zaporedja material → površina → mikroklima → uporabnik, kjer tehnična lastnost postane prostorski učinek in se nato prevede v zaznано toplotno ugodje ter rabo prostora. Namen prispevka je zato pokazati, kako optične in termične lastnosti materialov (albedo/sončna odsevnost, emisivnost, toplotna kapaciteta, prepustnost in tekstura) vplivajo na površinske temperature in sevalno okolje ter kako je mogoče te učinke smiselno povezati z izvedljivimi strategijami v javnem prostoru, na stavbah in v urbanih sistemih.

2 Albedo in toplotna bilanca

V mestih je običajno večja absorpcija kratkovalovnega sevanja, več toplote se shrani v masivnih materialih, manj je evaporacije, izmenjava toplote je drugačna. Zaradi teh procesov so temperature v mestu pogosto višje in se ohranijo dlje časa kot v okoliškem, manj pozidanem prostoru (Oke, 1982). Zato so materiali del problema in hkrati del rešitve – delujejo kot neposredni energijski vmesnik med sončnim sevanjem in uporabnikom prostora. Ker se učinki ne pojavijo enakomerno, temveč so odvisni od geometrije ulic, osončenja in rabe, je treba uporabo novih materialov vedno povezovati z morfološkim kontekstom; to potrjujejo tudi raziskave v Ljubljani, kjer se je pokazalo, da so poletne temperaturne razlike med soseskami močno povezane z morfološkimi značilnostmi (Fikfak idr., 2017).

Ključni optični parameter je odbojnost – albedo, ki določa delež odbitega kratkovalovnega sevanja: višji albedo praviloma pomeni nižjo absorpcijo in nižje površinske temperature. V urbanih okoljih so zato pomembni svetli mineralni tlaki, odsevni premazi ter hladne strehe, ki zmanjšujejo segrevanje površin in lahko prispevajo k blaženju pojava urbanega toplotnega otoka (Synnefa idr., 2008; Santamouris, 2014). Pri strehah je odločilna kombinacija visoke odsevnosti in visoke emisivnosti, saj se zmanjšani absorpciji pridruži učinkovitejša oddajanje toplote v dolgovalovnem spektru (U.S. Environmental Protection Agency, 2025). Hkrati velja, da albedo sam po sebi ne zadošča: časovna stabilnost lastnosti (umazanija, obraba, staranje), možnost bleščanja ter termični sevalni učinki v ulici lahko zmanjšajo koristi ali ustvarijo nove obremenitve. Pomembni so tudi termofizikalni parametri – masa materiala, njegova kapaciteta in toplotna prevodnost –, saj določajo akumulacijo toplote in njen učinek ponoči, kar je posebej značilno za asfaltne in betonske površine (Oke, 1982; Mohajerani idr., 2017). Dodatna skupina ukrepov so prepustne oziroma vodozadrževalne rešitve, ki omogočajo evaporativno hlajenje, vendar je njihov učinek vezan na vodni režim in upravljanje sistema odvodnjavanja.

Za projektantsko in upravljavsko vrednotenje je bistveno razumeti, da znižanje površinske temperature samo po sebi ne pomeni nujno sorazmernega zmanjšanja toplotne obremenitve za človeka. V zunanjih prostorih ima pogosto prevladujočo vlogo sevalna komponenta, zato je pri presoji nujno upoštevati toplotno sevalno okolje, senčenje ter kazalnike toplotnega ugodja v skladu s standardom ISO 7726. Na tej podlagi poglavje uporablja primerjalno-analitično metodo, ki temelji na teh štirih ključnih mehanizmih:

- povečanje odsevnosti,
- zmanjševanje akumulacije toplote,
- zagotavljanje senčenja in
- spodbujanje evaporacije oziroma evapotranspiracije.

Pri vsakem primeru se hkrati presojajo raven delovanja (stavba – ulica – javni prostor), poročani učinki (na površino, zrak in toplotno ugodje) ter pogoji prenosljivosti. Pregledi hladnih tlakov in hladnih materialov namreč dosledno kažejo, da so učinki močno odvisni od obsega posega, prostorske zasnove in načina vzdrževanja (Santamouris idr., 2012; Santamouris, 2014). V nadaljevanju je nekaj primerov dobre prakse, analiziranih na podlagi enotnih vprašanj, ki povezujejo uporabo novih materialov z mikroklimatskim odzivom prostora in njegovo dejansko rabo.

3 Mikroklimatski učinki materialov v urbanem prostoru

Primeri dobre prakse so uporabljeni kot preverjanje zaporedja material → površina → mikroklima → uporabnik. Ključna ugotovitev na podlagi pregledov blaženja pojava urbanega toplotnega otoka je, da učinkovitost ni odvisna le od materialnega parametra, temveč od merila intervencije, prostorskega konteksta in rabe prostora (Synnefa idr., 2008; Santamouris, 2014).

Talne površine (trgi, pločniki, ceste) imajo največji neposredni vpliv na uporabnika, saj vplivajo na segrevanje tal in na sevalno obremenitev v območju hoje. Visoko absorptivni tlaki (npr. asfalt) močno akumulirajo sončno sevanje, zato so svetlejši ali bolj odsevni sistemi učinkoviti predvsem tam, kjer so dopolnjeni s senčenjem in z zmanjšanjem bleščanja (Mohajerani idr., 2017; Synnefa idr., 2008). Santamouris idr. (2012) so raziskovali mikroklimatske učinke uporabe materialov z visokim albedom pri projektu Flivos, prenovi obalnega parka in promenade v Palaio Faliro v širši atenski regiji. V raziskavi so analizirali ločeno mikroklimatsko intervencijo (uporabo odbojnih tlakovcev na površini ~ 4500 m²), ki je znižala površinsko temperaturo in izboljšala ugodje v parku zaradi zmanjšanja intenzitete urbanih toplotnih otokov (UTO). Ugotovili so, da je učinek največji

pri temperaturi površine tal, medtem ko so učinki na temperaturo zraka manjši in bolj odvisni od obsega ukrepa. V praksi to pomeni, da hladni tlaki niso edina rešitev, temveč del uravnoteženega paketa (U.S. Environmental Protection Agency, 2025). Praktično ilustracijo velike, nezasenčene utrjene površine s svetlejšim tlakom predstavlja primer iz Tokia (slika 1).

Pri talnih površinah je treba upoštevati tudi omejitve: v nekaterih razmerah lahko povečana odbojnost poveča toplotno izpostavljenost pešca zaradi večjega kratkovalovnega odboja v višini telesa, na kar opozarja tudi Evropska komisija (European Commission, 2020). Prenosljivo pravilo je, da je odsevnost v javnem prostoru najučinkovitejša v kombinaciji s senčenjem (drevesa, pergole) in z zmanjšanjem stalno osončenih ploskev.

Parkirišča in odprte utrjene površine so tipična urbana podnebna vroča točka, saj združujejo veliko osončeno površino, nizko prepustnost in materiale z viso-



Slika 1: Svetli tlaki in »hladni« materialni na vstopnem trgu pred olimpijskim stadionom, Tokio

ko toplotno kapaciteto. Lokalni primer iz Ljubljane kaže, da se največji učinek doseže s kombinacijo ukrepov: zmanjšanjem deležev asfaltnih površin, uvedbo prepustnejših ali hladnejših materialov, senčenjem in z jasno organizacijo peš poti (Fikfak idr., 2020). Pri odločanju je koristno vključiti tudi merila življenjskega ciklusa in vzdrževanja, kot jih uporabljajo evalvacijski programi (Sustainable Technologies Evaluation Program, 2019). Slika 2 prikazuje slovenski primer prestrukturiranja parkirišča, kjer se zmanjšuje delež asfalta ter uvajajo prepustnejši in hladnejši tlaki.

Strehe so največja osončena ploskev na parceli in so zato ključne za energijsko bilanco stavbe ter za mestno akumulacijo toplote (slika 3). Raziskave kažejo, da je uvedba hladnih streh in zelenih streh med najuspešnejšimi ukrepi blaženja UTO, pri čemer hladne strehe delujejo na podlagi visoke odsevnosti in emisivnosti, zelene pa na podlagi senčenja in evapotranspiracije (Santamouris, 2014). Prednost takšnih strešnih tipov je, da je lastnosti mogoče relativno jasno standardizirati in vključiti v smernice (na primer U.S. Environmental Protection Agency, 2025).

Fasade in senčene površine so območja, kjer se učinki materialov najbolj prepletajo z geometrijo uličnega profila. Ogrete fasade prispevajo k nočnemu delu UTO z oddajanjem shranjene toplote v ulico (Oke, 1982), medtem ko senčenje preprečuje ogrevanje površin in s tem neposredno zmanjšuje toplotnosevalno obremenitev človeka. Zato je v praksi pogosto zanesljivejši ukrep, ko se prenova in zamenjava materialov povežeta s senčenjem (drevesa, pergole, arkade), kot ukrep, ko se opira zgolj na povečanje odbojnosti površin. Osaka je primer, kjer drevesa obenem delujejo kot senčilo in vir evapotranspiracijskega hlajenja (slika 4).

Na merilu soseške so učinki strategij izbora materialov izrazitejši, če so ukrepi prostorsko dosledni in dovolj obsežni. Primer Pacoima (stanovanjska soseška v dolini San Fernando, Los Angeles), kjer sta bila izvedena pilotni projekt nanosa odbojnih premazov na cestnih in drugih javnih površinah ter spremljanje z neposrednimi terenskimi meritvami, kaže, da so se v poletnih dneh temperature površine tal znižale za približno 6 °C, temperature zraka na ravni človeške višine (približno 1,8 m nad tlemi) pa za približno 1–2 °C. Mikrometeorološke koristi odbojnih premazov se torej povečujejo z obsegom izvedbe in z razpršitvijo posledic toplotnega sevanja v prostoru, zato mora biti odločanje vedno kontekstualno, ne le materialno (Taha, 2024).



Slika 2: Prestrukturiranje parkirišča z zmanjšanjem asfaltnih površin in uporabo prepustnejših, hladnejših tlakov, Murska Sobota



Slika 3: Hladna streha z visoko odbojnostjo in emisivnostjo na glavni železniški postaji, Rotterdam



Slika 4: Drevesa kot senčilo in vir evapotranspiracijskega hlajenja v gostem urbaniem prostoru, Osaka

Sinteza priporočil in usmeritev:

- odbojnost zmanjšuje absorpcijo, a zahteva senčenje in nadzorovanje bleščanja;
- materiali z visoko toplotno kapaciteto vplivajo na časovno dinamiko segrevanja čez dan in nočnega oddajanja toplote v okolico;
- senčenje je najučinkovitejši ukrep za zmanjšanje toplotne obremenitve uporabnika;
- voda in evaporacija sta učinkoviti le ob zagotovljeni oskrbi in vzdrževanju.

4 Učinki materialov na toplotno ugodje in prenos v prakso

Pri prilagajanju na vročino »hlajenje« ni enoznačno: ni dovolj, da znižamo temperaturo površine tal ali zraka, če se to ne prevede v manjšo obremenitev uporabnikov in vzdržnejšo rabo prostora. Zaznano toplotno ugodje v zunanjem prostoru je rezultat sočasnega delovanja temperature zraka, relativne vlažnosti, vetra in predvsem toplotnega sevanja v prostoru. Zato je v vrednotenju ukrepov, ki predvidevajo zamenjavo in prenovo materialov, ključen koncept srednje sevalne temperature (angl. *Mean Radiant Temperature* – MRT). Standard ISO 7726 MRT opredeli kot uniformno temperaturo namišljenega okolja, v katerem bi bil prenos toplote s sevanjem med človeškim telesom in okolico enak dejanskemu prenosu toplote s sevanjem v neenakomernem realnem okolju. Guo idr. (2020) dodatno poudarijo, da je MRT osrednja za razumevanje izmenjave termičnega sevanja, vendar je v urbanih razmerah prostorsko nehomogena in hitro spremenljiva (senca, geometrija, oblačnost, lastnosti površin).

Za pretvorbo mikroklimatskih razmer v uporabniško razumljive kazalnike se uporabljajo indeksi zunanjega toplotnega ugodja. Med njimi sta v praksi najpogosteje uporabljena PET in UTCI. PET (angl. *Physiological Equivalent Temperature*) omogoča intuitivno interpretacijo toplotnega ugodja, saj zunanje mikroklimatske razmere pretvori v ekvivalentno notranjo temperaturo. Po definiciji Höppeja (1999) predstavlja temperaturo zraka v referenčnem notranjem okolju brez vetra in sončnega sevanja, pri kateri je toplotna bilanca človeškega telesa enaka kot v obravnavanih zunanjih razmerah. UTCI (angl. *Universal Thermal Climate Index*) s podobno metodo določa ekvivalentno temperaturo zraka v referenčnih razmerah, ki povzroči enak modelni fiziološki odziv človeka (Błażejczyk idr., 2013). Honjo (2009) opozarja, da je uporaba indeksov v zunanjem okolju zahtevnejša kot v notranjem, predvsem zaradi vpliva sevanja in vetra. Pregledne študije hkrati poudarjajo, da izbira indeksa ni nevtralna in da je rezultate treba interpretirati v skladu z njihovimi osnovnimi predpostavkami (npr. Binarti idr., 2020).

Ko ta okvir uporabimo na strategijah izbora materialov, se pokaže razlika med »učinkom na površino« in »učinkom na človeka«. Odsevni tlaki praviloma znižajo površinske temperature in lahko zmanjšajo ogrevanje zraka v neposredni okolici; v prenovah tipa Flisvos je bila pri visoko odsevnih tlakih izmerjena izrazita sprememba površinskih temperatur in merljiv mikroklimatski učinek (Santamouris idr., 2012). Vendar pa se lahko pri takih rešitvah, zlasti brez senčenja površin, poveča kratkovalovno sevanje, ki ga prejme človek. Evropska komisija opozarja, da lahko hladni tlaki in materiali v nekaterih razmerah okrepijo toplotno izpostavljenost pešcev zaradi povečanega vpliva toplotnega sevanja (European Commission, 2020). Zato je odsevnost v javnem prostoru najučinkovitejša z dodatnim senčenjem (drevesa, pergole, arkade) ali v geometrijah, kjer odboji ne vračajo toplotnega sevanja v območje gibanja.

Senčenje je praviloma najmočnejši neposredni ukrep za zmanjšanje MRT, saj občutno zmanjša neposredno sončno obsevanje telesa in površin. Pri izboru materialov je treba upoštevati, da hladnejši tlaki v senci zmanjšajo sekundarno dolgovalovno sevanje s tal, hladnejše fasade zmanjšajo sevalno obremenitev v uličnih koridorjih, hladne strehe pa zmanjšajo ogrevanje stavb in posredno tudi potrebo po hlajenju. Raziskave potrjujejo učinkovitost hladnih streh in hladnih materialov na večjem obsegu (Santamouris, 2014; Synnefa idr., 2008), ameriški urad za varstvo okolja pa poudarja odbojnost in emisivnost materialov kot ključni lastnosti za zmanjševanje poletnega segrevanja (U.S. Environmental Protection Agency, 2025).

Kljub navedenim možnostim imajo posegi, ki predvidevajo prenovo ali zamenjavo materialov, štiri tipične omejitve:

- Omejena obravnava toplotnega sevanja: znižanje površinske temperature ne pomeni nujno manjšega sevalnega toka do človeka, zato je treba učinke takih ukrepov vrednotiti skozi MRT oziroma indekse, ki MRT vključujejo (ISO 7726; Höppe, 1999; Guo idr., 2020).
- Degradacija lastnosti v času: premazi se obrabijo in umažejo, svetle površine potemnjijo, prepustni tlaki se zaradi mašenja por zapirajo. Zato je treba pri ocenjevanju učinkovitosti upoštevati dejansko obnašanje materialov v rabi in ne le njihove laboratorijske lastnosti (Synnefa idr., 2008; Kappou idr., 2022). Pri prepustnih sistemih so redni pregledi in čiščenje ključni, saj se v nasprotnem primeru zmanjšata poroznost in infiltracija, s tem pa tudi hladilni učinek vode (Sustainable Technologies Evaluation Program, 2019).
- Sezonski učinki: hladne strehe lahko v hladnejši sezoni povečajo potrebo po ogrevanju, zato je ukrepe treba presojati celostno in skozi celotni letni cikel (Santamouris, 2014; U.S. Environmental Protection Agency, 2025).
- Sprejemljivost v prostoru: barvnost, bleščanje in vpliv na prostorsko identiteto pomembno sooblikujejo zaznavo posegov. Novejši pristopi, kot so barvno prilagojeni premazi in pasivno sevalno hlajenje, so obetavni, vendar zahtevajo previdno preverjanje v realnih prostorskih in družbenih razmerah (Zhai idr., 2022).

Za učinkovit prenos v prakso je smiselno razlikovati tipe glede na možnost njihove standardizacije. Pri strehah je mogoče razmeroma preprosto opredeliti jasna in merljiva merila, kot sta minimalna odbojnost in visoka emisivnost (Akbari in Levinson, 2008). Pri tlakih v javnem prostoru pa je normiranje bistveno bolj občutljivo. Priporočljivo je, da se lastnosti materialov predpisujejo v povezavi s prostorskimi razmerami, na primer z zahtevo po določeni odbojnosti v kombinaciji z obveznim senčenjem na kritičnih poteh. Učinek namreč ni odvisen le od materiala, temveč tudi od smeri toplotnega sevanja in vedenjskih vzorcev uporabnikov. Na ravni mesta je strategije izbire materialov najbolje izvajati kot prostorsko ciljno usmerjene programe, osredotočene na vročinske točke in kritične poti, ter jih kombinirati z drugimi ukrepi, kar poudarja tudi World Bank (2020). Tak način je skladen z energijskim razumevanjem urbanega toplotnega otoka kot prepleta toplotnega sevanja, shranjevanja toplote in izmenjave toplotnih tokov (Oke, 1982). Hkrati omogoča, da se omejitve, povezane z vzdrževanjem, rabo vode in sezonskimi učinki, upoštevajo že v fazi načrtovanja.

5 Sklep

Priprava prispevka je izhajala iz teze, da se pri obravnavi procesov urbanega pregrevanja v praksi osredotočamo na odločitve o izboru materialov in tlakovanj ter da je zato materiale smiselno obravnavati kot analitično izhodišče v zaporedju material → površina → mikroklima → uporabnik. Teoretski okvir je pokazal, da albedo sicer ostaja temeljni parameter, vendar je v urbanem prostoru odločilna kombinacija optičnih in termičnih lastnosti, med katerimi izstopajo tudi emisivnost, toplotna kapaciteta, prepustnost in tekstura, saj skupaj oblikujejo tako površinske temperature kot okolje toplotnega sevanja. To razločevanje je ključno, za uporabnike pomembni učinki se namreč ne odražajo nujno v temperaturi zraka, temveč v sevalni obremenitvi, ki jo je mogoče razumeti prek MRT in indeksov, kot sta PET in UTCI (ISO 7726; Höppe, 1999; Błażejczyk idr., 2013; Guo idr., 2020).

Analiza primerov dobre prakse je potrdila, da lahko hladni tlaki, materiali in premazi pomembno znižajo površinske temperature ter v nekaterih primerih prispevajo tudi k merljivemu mikroklimatskemu učinku, kadar so uporabljeni na dovolj obsežnih površinah, kar ilustrira Flisvos (Santamouris idr., 2012). Obenem opozarja na pomembno dejstvo, da se pri odsevnih tlakih lahko pojavijo neželeni učinki na pešce, če ni zagotovljeno zadostno senčenje, kar je skladno z opozorili Evropske komisije o izpostavljenosti zaradi toplotnega sevanja. Prepustni tlaki in vodozadrževalni sistemi odpirajo možnost hlajenja z uparjalno toploto vode, vendar njihova učinkovitost ni lastnost materiala, temveč lastnost upravljanega sistema, ki zahteva redno vzdrževanje (Sustainable Technologies Evaluation Program, 2019). Strehe so se pokazale kot element, kjer je mogoče merljive lastnosti (odsevnost in emisivnost) relativno neposredno prevesti v standarde in programe, kar podpirajo tako strokovni pregledi kot uradne smernice (Santamouris, 2014; U.S. Environmental Protection Agency, 2025; Akbari in Levinson, 2008).

V sintezi so na tej podlagi izpeljana tri ključna prenosljiva načela. Prvič, ukrepi ustrezne izbire materialov so najučinkovitejši in najvarnejši, kadar so kombinirani s senčenjem in umeščeni v morfološki kontekst, ki ne

vrača toplotnega sevanja v območje pešcev. Drugič, strategije, ki predvidevajo zamenjavo ali prenovo materialov, je treba razumeti kot infrastrukturo, ki ima svoj življenjski cikel: brez monitoringa, čiščenja, obnove ali upravljanja vode se učinkovitost zmanjšuje. Tretjič, največjo dodano vrednost prinese prostorsko ciljno reševanje vročih točk in kritičnih poti uporabnikov, saj se tam mikroklimatske izboljšave najhitreje prevedejo v zmanjšanje tveganja in v bolj vključujočo rabo javnega prostora (World Bank, 2020).

V poglavju je predstavljena tudi znanstveno utemeljena razlaga, zakaj materiali delujejo kot pomembni uravnalci mikroklimne, in prenosljiva logika za izbiro, kombiniranje ter upravljanje strategij izbora materialov, da se zmanjšajo tipične pasti, kot so bleščanje, povečana toplotna sevalna obremenitev, degradacija učinkovitosti in vzdrževalni kolaps. Nadaljnje raziskave bi morale sistematično primerjati spremembe MRT in indeksov toplotnega ugodja pri različnih tipih odsevnih tlakov v različnih urbanih geometrijah ter kvantificirati, kako hitro se odsevnost in prepustnost degradirata v realnih režimih vzdrževanja, saj je prav ta časovni vidik odločilen za dolgoročno uspešnost na izbiro materialov osredotočenih načinov hlajenja mest.

Zahvala

Prispevek je nastal v okviru ciljnega raziskovalnega projekta »Vpliv pregrevanja prostora na spreminjanje morfologije grajenega prostora slovenskih naselij ter zdravje uporabnikov« (V5-24033), ki ga sofinancirata Agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) in Ministrstvo za naravne vire in prostor Republike Slovenije (MNVP).

Viri in literatura

- Akbari, H. in Levinson, R. (2008). Evolution of cool-roof standards in the United States. *Advances in Building Energy Research*, 2(1), 1–32. <https://doi.org/10.3763/aber.2008.0201>
- Blažejczyk, K., Jendritzky, G., Bröde, P., Fiala, D., Havenith, G., Epstein, Y., Psikuta, A. in Kampmann, B. (2013). An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Geographia Polonica*, 86(1), 5–10. <https://doi.org/10.7163/GPol.2013.1>
- Binarti, F., Koerniawan, M. D., Triyadi, S., Utami, S. S. in Matzarakis, A. (2020). A review of outdoor thermal comfort indices and neutral ranges for hot-humid regions. *Urban Climate*, 31, 100531. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100531>
- European Commission. (2020). Cool pavements can intensify pedestrian heat exposure. https://ec.europa.eu/environment/news/cool-pavements-can-intensify-pedestrian-heat-exposure-2020-05-11_en
- Fikfak, A., Kosanović, S., Konjar, M., Grom, J. P. in Zbašnik-Senegačnik, M. (2017). The impact of morphological features on summer temperature variations on the example of two residential neighborhoods in Ljubljana, Slovenia. *Sustainability*, 9(1), 122. <https://doi.org/10.3390/su9010122>
- Fikfak, A., Lavtižar, K., Grom, J. P., Kosanović, S. in Zbašnik-Senegačnik, M. (2020). Study of urban greenery models to prevent overheating of parked vehicles in P+R facilities in Ljubljana, Slovenia. *Sustainability*, 12(12), 5160. <https://doi.org/10.3390/su12125160>
- Guo, R., Aviv, D., Loyola, M., Teitelbaum, E., Houchois, N. in Meggers, F. (2020). On the understanding of the mean radiant temperature within both indoor and outdoor environment, a critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 109207. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.014>
- Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 71–75. <https://doi.org/10.1007/s004840050118>
- Honjo, T. (2009). Thermal comfort in outdoor environment. *Global Environmental Research*, 13(1), 43–47. https://www.airies.or.jp/attach.php/6a6f75726e616c5f31332d31656e67/save/0/0/13_1-07.pdf
- ISO 7726:1998 Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities.
- Kappou, S., Souliotis, M., Papaefthimiou, S., Panaras, G., Paravantis, J. A., Michalena, E., Hills, J. M., Vouros, A. P., Ntymenou, A. in Mihalakakou, G. (2022). Cool pavements: State of the art and new technologies. *Sustainability*, 14(9), 5159. <https://doi.org/10.3390/su14095159>
- Mohajerani, A., Bakaric, J. in Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522–538. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682–703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- Santamouris, M., Gaitani, N., Spanou, A., Saliari, M., Giannopoulou, K., Vasilakopoulou, K. in Kardomateas, T. (2012). Using cool paving materials to improve microclimate of urban areas – Design realisation and results of the Flisvos project. *Building and Environment*, 53, 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.01.022>
- Sustainable Technologies Evaluation Program. (2019). *Permeable pavements maintenance (Low Impact Development technical brief)*. Toronto and Region Conservation Authority. https://sustainabletechnologies.ca/app/uploads/2019/10/PDF-PP-maintenance-tech-brief_Oct2019.pdf
- Synnefa, A., Dandou, A., Santamouris, M., Tombrou, M. in Soulakellis, N. (2008). On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(11), 2846–2856. <https://doi.org/10.1175/2008JAMC1830.1>
- Taha, H. (2024). Micrometeorological effects and thermal-environmental benefits of cool pavements: Findings from a detailed observational field study in Pacoima, California. *Environmental Research Communications*, 6(3), 035016. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad2a8e>

- U.S. Environmental Protection Agency. (2025). Using cool pavements to reduce heat islands. <https://www.epa.gov/heatislands/using-cool-pavements-reduce-heat-islands>
- World Bank. (2020). Primer for cool cities: Reducing excessive urban heat with a focus on passive measures. World Bank. <https://doi.org/10.1596/34218>
- Zhai, H., Fan, D. in Li, Q. (2022). Scalable and paint-format colored coatings for passive radiative cooling. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 245, 111853. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2022.111853>

Grajeno okolje in pregrevanje

Jernej Červek

Ministrstvo za naravne vire in prostor Republike Slovenije

Izveček

Podnebne spremembe in učinek urbanega toplotnega otoka povečujejo energijsko porabo, zdravstvena tveganja in socialno neenakost v mestih. Zgodovinski pregled urbanističnega načrtovanja ponuja pasivne strategije blaženja vročine, kot so senčenje, prezračevanje, uporaba vode in vegetacije. Na teh temeljih se razvija reciklažni urbanizem – sodobna metoda, ki namesto širitve mest spodbuja ponovno uporabo obstoječih struktur. Ciklični proces urbane reciklaže zmanjšuje okoljski odtis, ohranja identiteto prostora ter krepi odpornost mest proti podnebnim spremembam. Integracija zelenih površin, senčnih struktur in vodnih elementov v prenovljena območja izboljšuje mikroklimo, zmanjšuje emisije CO₂ ter podpira cilje trajnostne rasti in podnebne nevtralnosti.

Ključne besede:

urbani toplotni otok, blaženje vročine, mesto, urbana reciklaža

Abstract

Climate change and the urban heat island effect increase energy consumption, health risks, and social inequalities in cities. A historical review of urban planning offers passive heat mitigation strategies such as shading, ventilation, and the use of water and vegetation. Building on these foundations, urban recycling is emerging as a modern approach that promotes the reuse of existing structures instead of city expansion. The cyclic process of urban recycling reduces environmental impact, preserves spatial identity, and strengthens cities' resilience to climate change. Integrating green areas, shading structures, and water features into redeveloped zones improves the microclimate, reduces CO₂ emissions, and supports the goals of sustainable growth and climate neutrality.

Keywords:

urban heat island, heat mitigation, towns, urban recycling

1 Uvod

Podnebne spremembe in naraščajoči učinek urbanega toplotnega otoka (UTO) sta med največjimi izzivi sodobnega urbanizma. Urbana območja so zaradi goste pozidave, prekritih površin, pomanjkanja vegetacije ter antropogenih virov toplote sistematično toplejša od ruralne okolice, kar povečuje energijsko porabo, zdravstvena tveganja in socialno neenakost. Vroče točke se pojavljajo predvsem v industrijskih conah, ob prometnih koridorjih in na območjih z minimalnim deležem zelenih površin. Posledice segrevanja so večja smrtnost med vročinskimi valovi, slabša kakovost zraka ter višji stroški hlajenja, kar zahteva celovite urbanistične rešitve.

Zgodovina urbanizma ponuja dragoceni vir znanja za blaženje toplotnih obremenitev. Od Mezopotamije do modernizma so mesta razvijala pasivne strategije, ki so zagotavljale toplotno ugodje brez mehanskih sistemov. Skupni elementi teh metod so senčenje, prezračevanje, uporaba vode, vegetacije, masivnih zidov ter orientacija stavb glede na sonce in vetrove. Sumerci so oblikovali ozke ulice in dvoriščne hiše, Egipčani zračne stolpe in mrežaste predelave, Grki kolonade in vodne sisteme, Rimljani porticuse in akvadukte, renesansa loggie in idealna mesta, neoklasicizem drevoredne avenije, modernizem pa *brise-soleil* (brisolet), strešne vrtove in prezračevalne osi. Ti ukrepi dokazujejo, da sta urbanistično znanje in načrtovanje ključna za blaženje vročine.

Na tem zgodovinskem temelju se razvija koncept reciklažnega urbanizma – sodobna metoda, ki namesto širitve mest na nova zemljišča spodbuja ponovno uporabo obstoječih struktur in virov. Ciklični proces urbane reciklaže omogoča vključevanje pasivnih ukrepov v adaptacijo razvrstjenih območij, kar zmanjšuje okoljski odtis, ohranja identiteto prostora in krepi odpornost mest proti podnebnim spremembam. Reciklažni urbanizem tako združuje prostorsko tradicijo in inovacije v trajnostni okvir za prihodnost mest.

2 Zgodovinski pregled načrtovanja mest z vidika preprečevanja pregrevanja prostora

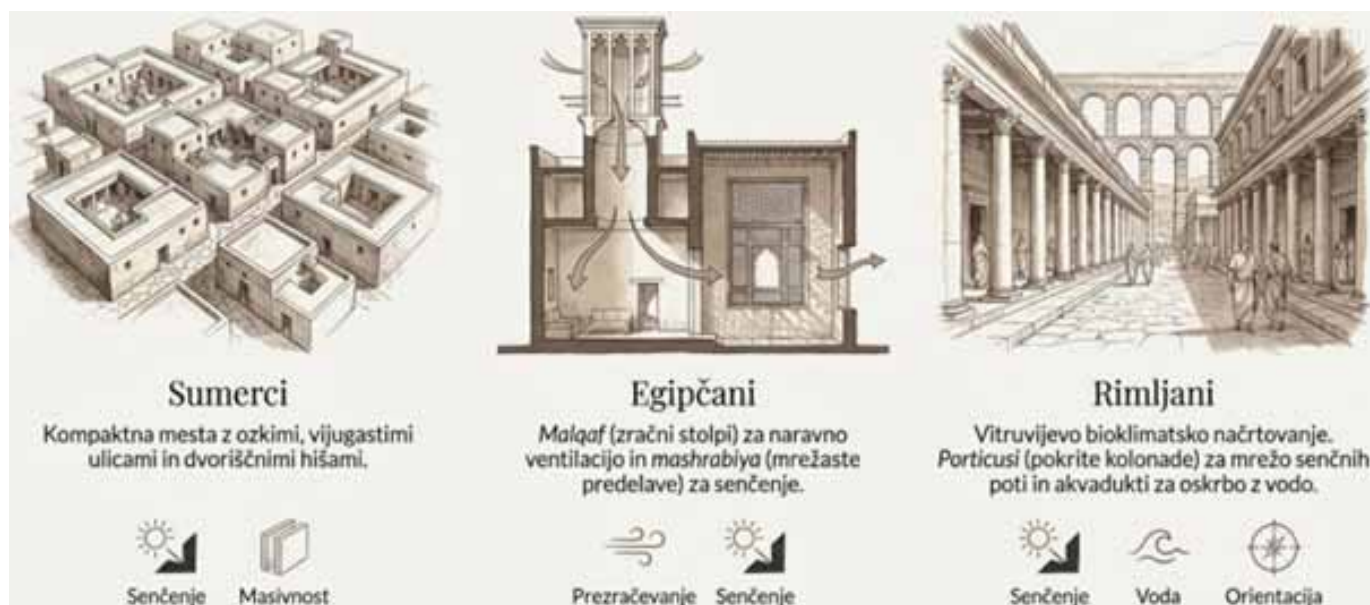
UTO so med največjimi izzivi sodobnega urbanizma. Vendar zgodovina ponuja bogat nabor pasivnih strategij, ki so brez mehanskih sistemov zagotavljale toplotno ugodje. Od Sumercev in Egipčanov, prvih zapisanih Vitruvijevih načel v antiki do modernističnih konceptov Le Corbusiera strokovnjaki danes ponovno odkrivajo te metode in jih integrirajo v sodobne urbanistične metode. V nadaljevanju je predstavljen pregled uporabe zgodovinskih metod za blaženje UTO.

Sumerci so že v 3. tisočletju pr. n. št. razvili prostorske rešitve za blaženje vročine, ki ustrezajo današnjemu konceptu zmanjševanja UTO (slika 2). Kompaktna zasnova mest z ozkimi, vijugastimi ulicami in visokimi zidovi je ustvarjala obsežne cone sence ter zmanjšala solarne dobitke (Zuniga-Teran, 2024; Shepperson, 2009). Dvoriščne hiše so omogočale prezračevanje in nočno hlajenje, medtem ko so zunanje fasade brez odprtih ščitil pred vročino in prahom (Iqbal, 2017). Gradbeni material – nežgana opeka – je s svojo toplotno maso blažil temperaturna nihanja. Poleg senčenja so upoštevali prevladujoče vetrove pri orientaciji ulic ter vključili vodo in vegetacijo (kanali, vrtovi), kar je dodatno izboljšalo mikroklimo (Neumann in Parpola, 1983). Ti ukrepi so ustvarjali bivalno okolje z nižjim toplotnim stresom – koncept, ki ga danes razumemo kot blaženje UTO.

Egipčani so že pred več kot 4.000 leti razvili pasivne rešitve za blaženje vročine, ki jih danes prepoznamo kot ukrepe proti UTO (slika 2). Ključni element je bil *malqaf* – zračni stolp, usmerjen v prevladujoči veter, ki je zagotavljal naravno prezračevanje in odvajanje vročega zraka (Nessim idr., 2023). Debeli ilovnati zidovi so omogočali visoko toplotno maso, ki je uravnavala temperaturna nihanja (Zaki, 2022). Strešne terase so služile kot nočni bivalni prostori, kar je zmanjšalo izpostavljenost dnevni vročini. *Mashrabiya* – lesen ali kamnit zidan izbočen okenski element z mrežo – je uravnaval svetlobo, prezračevanje in senčenje (Emery, 2011). Poleg tega so uporabljali vodne elemente, kot so fontane in *salsabil* – okrasni vodni element – za evaporativno hlajenje, kar je izboljšalo mikroklimo. Ti ukrepi so tvorili integrirani sistem trajnostnih rešitev za zmanjšanje toplotnega stresa v urbanem okolju.

Grki so nadgradili obstoječe znanje urbanizma in razvili tipologije od organskih tkiv (Atene) do ortogonalnih mrež, znanih kot Hipodamov načrt. Pri zasnovi mest so upoštevali osončenje, vetrove, odvodnjavanje in dostop do vode (primeri Pirej, Priena) (Castagnoli, 2021). Na ravni hiše je prevladoval dvoriščni tip (*oikos*), kjer je no-

tranje dvorišče omogočalo osvetlitev, prezračevanje, senčenje in nočno hlajenje, medtem ko so masivni zidovi iz ilovice ali kamna uravnavali temperaturna nihanja (Bilge, 2019). V javnem prostoru so *stoi* (pokrite kolonade) ustvarjale pasove sence in vetra, kar je omogočalo dnevno rabo agore v vročini ter združevalo trgovske in družabne funkcije. Voda – akvadukti, vodnjaki, fontane (*nymphaea*) – je služila za oskrbo, higieno in mikroklimatsko hlajenje, kar je vplivalo na morfologijo polisa (Encyclopaedia Britannica, 2017). Simbolno in praktično zanimanje za veter in sonce se kaže v Stolpu vetrov, ki je združeval sončne ure, vodno uro in vremensko vetrnico ter omogočal orientacijo po vetrovih in času. Te rešitve predstavljajo zgodnjo empirično mitigacijo pregrevanja v grških mestih – predhodnico sodobnih na naravi temelječih rešitev (NBS) in načinov blaženja UTO.



Slika 1: Urbanistične in arhitekturne metode blaženja vročine v mestih pri Sumerjih, Egipčanih in Rimljanih

V rimskem svetu sta arhitektura in urbanizem tvorila celostni sistem pasivnih ukrepov za ugodje in zdravje v vročem podnebnju Sredozemlja (slika 2). Vitruvij v *De architectura* poudarja prilagoditev načrtov soncu, vetrovom ter kakovosti zraka in vode, kar je zgodnja oblika bioklimatskega načrtovanja (Vitruvius, 1914). Hiša tipa *domus* z atrijem (*compluvium* in *impluvium*) ter peristilnim vrtom je omogočala osvetlitev, prezračevanje, zbiranje vode in izhlapevalno hlajenje, medtem ko so masivni zidovi blažili temperaturne ekstreme (Nova, 2006). Akvadukti in monumentalne fontane (*nymphaea*) so zagotavljali tekočo vodo, dvigovali higieno ter ustvarjali mikroklimatsko hlajenje in reprezentativni prostor (Gleason, 1990). Ti ukrepi dokazujejo, da je bil rimski urbani aparat hkrati podnebno prilagodljiv in trajnostno zasnovan.

Urbanizem evropskih srednjeveških mest, ki so nastajala med 11. in 14. stoletjem, sloni na radiokoncentričnem ali organskem tkivu z ozkimi, zavrtimi ulicami, utrjenim obzidjem in tržnim jedrom – zasnova, ki je hkrati obrambno racionalna in mikroklimatsko koristna (več sence, vetrovne prekinitve). Pomemben evropski inovacijski vrhunec so portiki/arkade (npr. Bologna) kot senčena infrastruktura javnega prostora, ki varuje pešce pred soncem in dežjem ter je nastala že v srednjem veku (Lilley, 2000, UNESCO 2021). Posebno vlogo imajo samostanski *klavstri* (kvadrangli z vrtom in vodo), saj kot prehodni, zasenčeni in prezračeni prostori dokazano izboljšujejo razmere in odpornost zgodovinskih središč proti pregrevanju (Gherri idr., 2025). K oskrbi z vodo prispevajo vodnjaki, gravitacijski vodi, cisterne in monastični vodni sistemi, ki poleg higiene ustvarjajo evaporativno hlajenje ter napajajo kopališča, lavabe (nizki kamniti ali marmorni umivalniki) in mline, in so termalni blažilci v urbanem okolju (Magnusson, 2001).

V renesansi sta se arhitektura in urbanizem oblikovala kot sistem pasivnih ukrepov za ugodje, zdravje in estetsko harmonijo v mestih Sredozemlja (slika 3). Humanistični ideali proporcev so se povezali z razumevanjem podnebnja: Alberti in drugi teoretiki so zahtevali prilagoditev zasnove soncu, vetrovom, zraku in vodi – zgodnja formulacija bioklimatskega načrtovanja (Simbürger, 2024; Pereira idr., 2019). Vile in palače so vključevale atrije, peristilne vrtove, loggie in vodne elemente za osvetlitev, prezračevanje ter izhlapevalno hlajenje, medtem ko so masivne stene blažili temperaturne ekstreme (Xue idr., 2015). V urbanem prostoru so kolonade, arkade in loggie

ustvarjale pasove sence, ki so omogočali pešcem prehod »brez zapustitve ugodja teh prehodov« (Beyond Decoration, 2024). Idealna mesta, kot je Pienza, so imela odprte trge, geometrijske osi in vodne kanale za kroženje zraka.

V obdobju neoklasicizma so urbanisti in arhitekti razvili rešitve za blaženje poletne vročine, ki ustrezajo današnjemu konceptu zmanjševanja urbanega toplotnega otoka. Ključni ukrepi so vključevali široke, drevoredne avenije in bulvarje, ki so zagotavljali obsežne cone sence, zračne koridorje ter zmanjšali sevalne dobitke (Lawrence, 1988; Turcot, 2015) (slika 3). Promenade, kot je Paseo del Prado v Madridu, so združevale drevoredne aleje, vodne elemente in botanične vrtove, kar je ustvarjalo mikroklimatsko ugodje z evapotranspiracijo (UNESCO, 2021). V severnih mestih, kot je Sankt Peterburg, so kanali in nabrežja ob Nevi delovali kot pasivni hladilni sistemi (Dills, 2011). V Londonu je Nashev Regent's Park združil parkovne površine, jezera in drevoredne v integrirani sistem hlajenja (Longstaffe-Gowan, 2018), medtem ko je L'Enfantov načrt Washingtona z diagonalnimi avenijami in zelenimi pasovi ustvaril ventilacijski skelet mesta (National Park Service, 2020). Ti ukrepi kažejo, da je bila neoklasicistična urbana zasnova kulturno in tehnično napredna, saj je oblikovala javne prostore z nižjim toplotnim stresom.

Modernistični urbanizem in arhitektura prve polovice 20. stoletja sta razvila pasivne rešitve za blaženje vročine, ki ustrezajo današnjemu konceptu zmanjševanja UTO (slika 3). Bauhaus je uvajal *brise-soleil*, strešne konzole in trakasta okna za zmanjšanje solarnih dobitkov in prezračevanje (Houses-Apart.com, 2023). Le Corbusier je v projektih, kot sta *Cité Frugès* in *Ville Radieuse*, uporabil orientacijo stavb, ravne strehe, senčne elemente ter integracijo zelenih površin in strešnih vrtov (González-Avilés idr., 2022; Architecture Lab, 2024). V tropskih projektih, kot je *Tower of Shadows* v Chandigarhu, je eksperimentiral z manipulacijo svetlobe in sence za toplotno ugodje (Wikipedia, n. d.). Atenska listina (1933) je uveljavila načela orientacije stavb, prostega kroženja zraka in zelenih pasov med conami, kar je omogočilo prezračevanje in izhlapevalno hlajenje (Gold, 2017; Oxford Reference, n. d.). Funkcionalistične metode so na urbanistični ravni vključevale široke profile, prezračevalne osi, pergole in vegetacijo (Scudo, 2021; Rheologic, 2023). Ti ukrepi so postavili temelje sodobnim strategijam za blaženje toplotnega stresa.

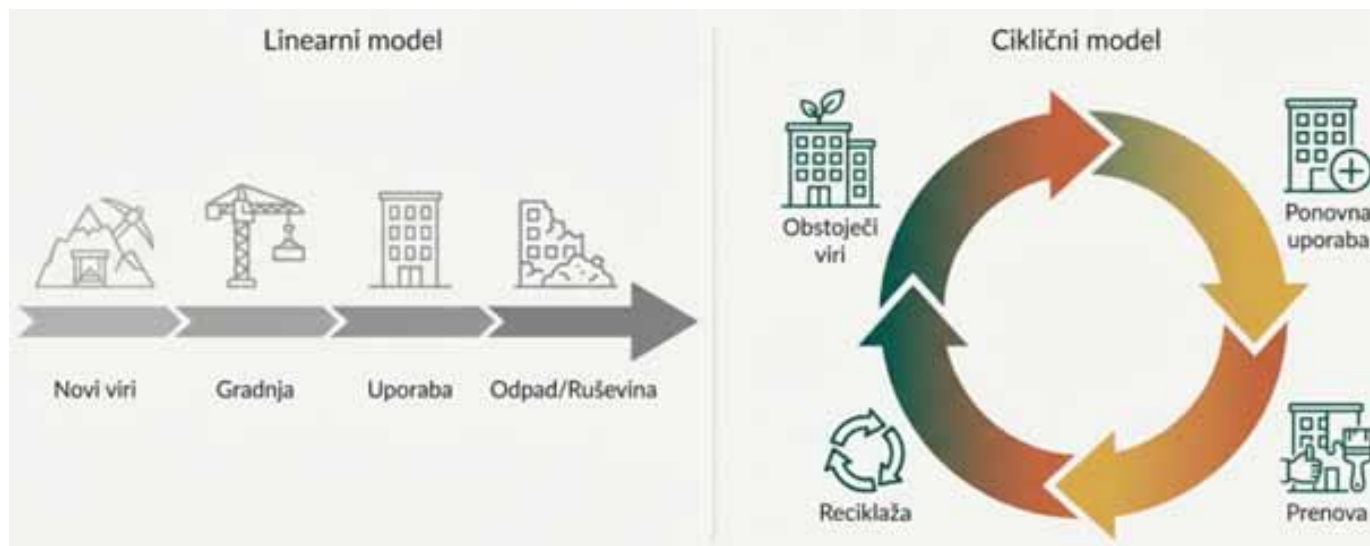


Slika 2: Urbanistične in arhitekturne metode blaženja vročine v mestih v obdobju renesanse, neoklasicizma in modernizma

3 Reciklažni urbanizem

Reciklažni urbanizem je sodobna urbanistična metoda, ki prilagodi obstoječe fizične in funkcionalne strukture mesta sodobnim zahtevam tako, da se s kar najmanjšim vložkom energije in surovin v gradbenem postopku ponudijo novi prostori in vsebine ali enake vsebine v novih preoblikah (Červek, 2023). Gre za odgovor na izzive suburbanizacije, razvrednotenje prostora in podnebnih sprememb, saj spodbuja trajnostno preobrazbo mest z zmanjševanjem porabe materialov, energije in emisij CO₂. Ključna ideja je preoblikovanje razvrednotenih, praznih ali premalo izkoriščenih območij v kakovostne urbane prostore, kar omogoča učinkovitejšo rabo obstoječih virov. Model vključuje prostorsko, funkcionalno, okoljsko in družbeno dimenzijo ter temelji

na analizi možnosti oziroma danosti in strateškem urbanističnem načrtovanju. Osrednji element te metode je ciklični proces, ki vključuje opredelitev neizkoriščenih virov, skozi reciklažo pa se potem vključujejo v urbani sistem. Ta krožna logika nadomešča linearni model rasti, ki temelji na porabi novih zemljišč, virov in energije (slika 4). Namesto rušenja in novogradnje se spodbuja reciklaža obstoječih objektov, kar zmanjšuje okoljske vplive in ohranja identiteto mestnega prostora. Poleg tega ta metoda vključuje ukrepe za izboljšanje mobilnosti, ustvarjanje novih javnih prostorov ter spodbujanje mešanih dejavnosti, kar krepi odpornost mest proti podnebnim spremembam.



Slika 3: Urbana reciklaža predlaga ciklični model, ki vključuje opredelitev neizkoriščenih virov, ki se nato skozi reciklažo vključujejo v urbani sistem; ta krožna logika nadomešča linearni model rasti

Podoben koncept je urbana reciklaža, ki jo Gligorijević (1997) opredeljuje kot strategijo ohranjanja identitete mest. Hitro širjenje urbanizacije pogosto vodi v izgubo zgodovinskega značaja mest, saj stare stavbe nadomeščajo standardizirani objekti brez lokalne identitete. Urbana reciklaža ponuja alternativo: adaptacijo in prenovo obstoječih stavb ter vključevanje zgodovinskih elementov v sodobne funkcije. Cilj je ohranitev avtentičnosti mestnega prostora ob hkratnem zadovoljevanju novih potreb prebivalcev, kar zahteva sodelovanje urbanistov, arhitektov in lokalnih skupnosti.

Praktični primer tega koncepta predstavlja publikacija Madrid, ciudad reciclada (Cervera Sardá, 2011), ki urbano reciklažo obravnava kot orodje trajnostne rasti brez dodatne porabe zemljišč. Proces združuje fizično prenovo, funkcionalno prilagoditev in družbeno revitalizacijo razvrednotenih območij, pri čemer ohranja zgodovinsko kontinuiteto ter vključuje nove funkcije za sodobne potrebe. Madrid je prikazan kot primer mesta, ki je z reciklažnimi metodami revitaliziralo industrijske cone, prazne stavbe in obrobna območja ter jih preoblikovalo v javne prostore, stanovanjske in kulturne programe. Poseben poudarek je na postopni, prilagodljivi reciklaži, ki omogoča dolgoročno trajnostnost. Cervera (2018) v delu *Recycling the City* dodaja pedagoško dimenzijo koncepta. Urbana reciklaža ni zgolj tehnični postopek, temveč način razmišljanja o mestu kot dinamičnem sistemu, ki se stalno prilagaja družbenim, gospodarskim in okoljskim spremembam. Poleg zmanjšanja okoljskih vplivov in ohranjanja identitete prostora spodbuja interdisciplinarno sodelovanje med arhitekti, urbanisti, oblikovalci politik in lokalnimi skupnostmi. Ta metoda krepi trajnostnost, zmanjšuje porabo virov ter ustvarja odporna in vključujoča urbana okolja.

Fabian, Giannotti in Viganò (2012) v publikaciji *Recycling City: Lifecycles, Embodied Energy, Inclusion* poudarjajo pomen razumevanja življenjskih ciklov urbanih struktur – od nastanka, uporabe, razvrednotenja do ponovne integracije v urbani sistem. Namesto linearnega modela rasti se uvaja ciklični proces, ki omogoča stalno prilagajanje mest spreminjajočim se razmeram. Poseben poudarek je na zmanjšanju porabe energije in materialov ter na konceptu »embodied energy«, ki opozarja na energijo, vloženo v obstoječe stavbe in infrastrukturo. Ohranjanje teh virov bistveno zmanjšuje okoljski odtis prenov. Avtorji poudarjajo tudi družbeno dimenzijo, saj urbana reciklaža spodbuja sodelovanje skupnosti in ustvarjanje dostopnih, vključujočih prostorov.

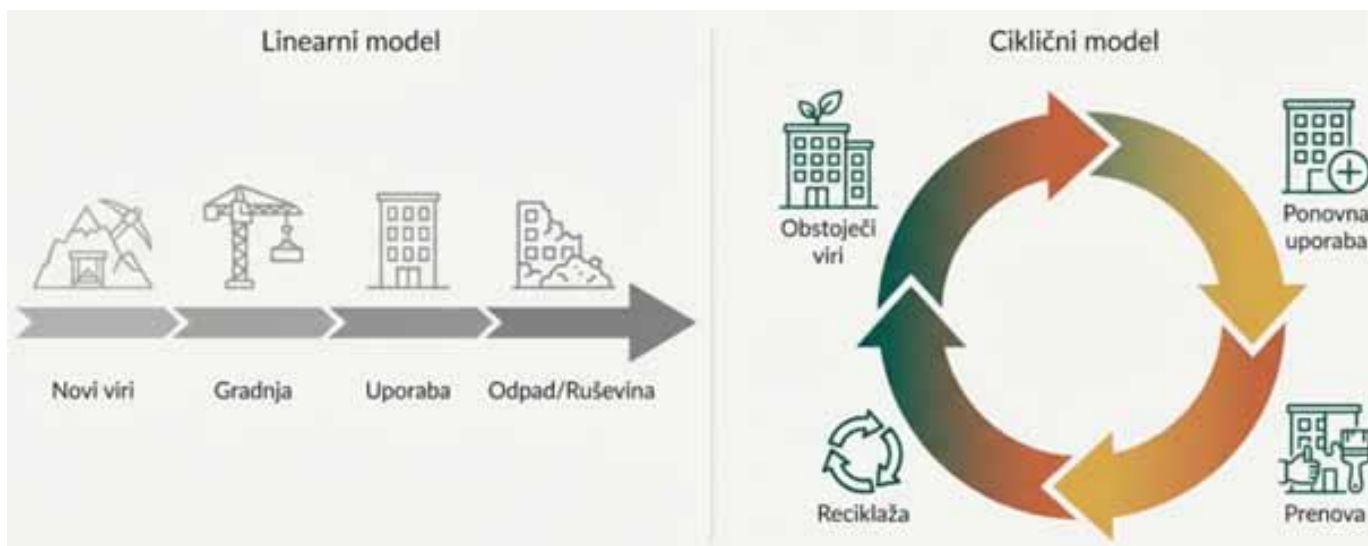


Slika 4: Med ključnimi elementi reciklažnega urbanizma je večdimenzionalnost (prostorska, okoljska, družbena, gospodarska in kulturna)

Micelli in Mangialardo (2017) v delu *Recycling the City: Nova perspektiva nepremičninskega trga in gradbene industrije* obravnavata gospodarski vidik urbane reciklaže. Tradicionalni model širitve in novogradnje ni več vzdržen, zato se uveljavlja koncept reciklaže obstoječih stavb, infrastrukture in degradiranih območij. Urbana reciklaža zahteva nove poslovne modele, ki upoštevajo vrednost obstoječih virov ter zmanjšujejo stroške rušenja in gradnje. Poleg gospodarskih koristi prinaša okoljske in družbene prednosti: zmanjšuje porabo materialov, emisije CO₂ ter spodbuja vključevanje lokalnih skupnosti. Avtorja poudarjata, da reciklaža mesta ni zgolj tehnični postopek, temveč sistemska metoda, ki povezuje urbanizem, gospodarstvo in trajnostne cilje.

Skupne značilnosti vseh obravnavanih konceptov kažejo prehod od linearnega, ekspanzivnega modela rasti k ciklični, trajnostni metodi. Ključni elementi so reciklaža obstoječih virov, ciklični proces prenove, večdimenzionalnost (prostorska, okoljska, družbena, gospodarska in kulturna), ohranjanje identitete mestnega prostora, zmanjšanje okoljskega odtisa ter vključevanje skupnosti. Reciklažne metode omogočajo trajnostno preobrazbo mest, izboljšujejo kakovost bivanja, krepijo odpornost proti podnebnim spremembam ter ustvarjajo vključujoča, kulturno bogata urbana okolja (slika 5).

Metoda reciklažnega urbanizma ne obravnava neposredno podnebnih sprememb kot osrednje teme, a je koncept reciklažnega urbanizma tesno povezan z blaženjem njihovih vplivov. Temelji na ciklični metodi, ki spodbuja reciklažo obstoječih struktur in materialov, s čimer se zmanjšuje potreba po rušenju in novi gradnji. Taka metoda ohranja vgrajeno energijo in zmanjšuje porabo novih materialov, kar neposredno vodi do



Slika 5: Načini reciklažnega urbanizma, s katerimi zgodovinske urbanistične in arhitekturne metode integrira v sodobni urbanizem

manjših emisij CO₂. Poleg tega revitalizacija obstoječih območij preprečuje širjenje mest (*urban sprawl*), kar zmanjšuje prometne emisije in ohranja zelene površine, ki so ključne za blaženje učinka UTO (Červek, 2023). Červek poudarja vključevanje zelenih elementov v prenovljene strukture – od ozelenjenih streh do parkov in drevoredov –, kar izboljšuje mikroklimo in zmanjšuje temperaturne ekstreme v mestih. Koncept reciklažnega urbanizma spodbuja tudi energijsko učinkovitost in uporabo trajnostnih tehnologij, kar krepi odpornost mest proti podnebnim spremembam. V tem smislu je v popolnem sozvočju s cilji evropskega zelenega dogovora in strategijami za doseg podnebne nevtralnosti, saj zmanjšuje ogljični odtis in spodbuja krožno gospodarstvo.

Podobne ideje se pojavljajo tudi v mednarodni literaturi. Gligorijević (1997) je že zgodaj opozorila, da urbano recikliranje ohranja značaj mest in zmanjšuje okoljske pritiske, čeprav takrat še ni bilo neposredno povezano s podnebnimi cilji. Novejši avtorji, kot sta Cervera (2018) in Fabian s sodelavci (2012), poudarjajo pomen gradnje »navznoter«, energijske preнове ter vključevanja obnovljivih virov, kar prispeva k blaženju UTO in zmanjšanju emisij. Micelli in Mangialardo (2017) dodajata, da je za uspešno uveljavitev reciklažnih konceptov nujno razviti standardizirane postopke reciklaže ter inovativne finančne modele, ki omogočajo hitrejšo in cenejšo posego.

Skupni imenovalac vseh metod je krepitev odpornosti mest proti podnebnim spremembam in zmanjšanje pritiska na naravne vire. Reciklažni urbanizem tako tvori teoretični in praktični okvir za reciklažo mest, ki je nujna za trajnostno prihodnost.

4 Sklep

Reciklažni urbanizem je sodoben urbanistični koncept, ki temelji na reciklaži obstoječih mestnih struktur in virov namesto na stalni širitvi mest na nova zemljišča. Ta koncept je odgovor na izzive suburbanizacije, razvrednotenja prostora in podnebnih sprememb, saj spodbuja trajnostno preobrazbo mest z zmanjševanjem porabe materialov, energije in emisij CO₂. Ključna ideja je preoblikovanje razvrednotenih, praznih ali premalo izkoriščenih območij v kakovostne urbane prostore, kar omogoča učinkovitejšo rabo obstoječih virov. Model vključuje urbanistično, funkcionalno, okoljsko in družbeno dimenzijo ter temelji na analizi možnosti oziroma danosti in strateškem urbanističnem načrtovanju. Osrednji element je ciklični proces, ki vključuje opredelitev neizkoriščenih virov, ki jih skozi reciklažo vključuje v urbani sistem. Ta krožna logika nadomešča linearni model rasti, ki temelji na porabi novih zemljišč, virov in energije.

Zgodovinski pregled blaženja vročine v mestih jasno kaže, da so urbanistični in arhitekturni ukrepi vedno imeli ključno vlogo pri ustvarjanju bivalnega ugodja. Od ozkih, vijugastih ulic in dvoriščnih hiš v Mezopotamiji, zračnih stolpov in mrežastih predelav v Egiptu, kolonad in vodnih sistemov v grških polisih, porticusov in akvaduktov v Rimu do renesančnih loggi, neoklasicističnih drevoredov in modernističnih brisolejev (*brise-soleil*) – vsi ti ukrepi so temeljili na pasivnih strategijah senčenja, prezračevanja, uporabe vode in vegetacije ter orientacije stavb glede na sonce in vetrove. Ta načela so danes prepoznana kot na naravi temelječe rešitve (Nature-Based Solutions) in ukrepi za blaženje UTO.

Reciklažni urbanizem lahko te zgodovinske urbanistične in arhitekturne metode integrira v sodobni urbanizem (slika 6). Vsaka faza cikličnega procesa je priložnost za vgradnjo senčnih struktur, zelenih površin, vodnih elementov in prezračevalnih koridorjev. Prenova razvrednotenih območij lahko ustvari hladilno infrastrukturo mesta: drevorede, pergole, strešne vrtove in odprte trge, ki izboljšujejo kroženje zraka ter zmanjšujejo toplotni stres. Reciklaža obstoječih stavb omogoča vključitev pasivnih ukrepov, kot so senčila, loggie in dvorišča, ki zmanjšujejo temperaturne ekstreme. S tem reciklažni urbanizem ne le zmanjšuje porabo virov, temveč tudi izboljšuje mikroklimo in kakovost bivanja.

Poleg urbanističnih koristi ima ta metoda tudi družbeno in gospodarsko dimenzijo. Reciklaža namesto rušenja ohranja identiteto mestnega prostora in krepi kulturno kontinuiteto. Vključevanje skupnosti v oblikovanje zelenih pasov, senčnih omrežij in javnih prostorov povečuje sprejemljivost in trajnostnost projektov. Ekonomika reciklažnega urbanizma temelji na vrednotenju obstoječih virov, zmanjšanju stroškov gradnje ter ustvarjanju novih poslovnih modelov, ki podpirajo trajnostne cilje.

Skupni imenovalac vseh metod je prehod od linearne, ekspanzivne rasti k ciklični, prilagodljivi logiki. Namesto širitve navzven reciklažni urbanizem gradi navznoter: zgostitev v kakovosti, mikroklimatska izboljšava,

mešanje dejavnosti in boljša mobilnost z javnimi prostori, ki so hladni, senčni in zračni. To neposredno zmanjšuje toplotni stres, emisije in porabo virov, obenem pa krepi identiteto in socialno kohezijo. Reciklažni urbanizem, podprt z zgodovinskimi uvidi, ponuja robusten urbanistični okvir za trajnostno prihodnost mest – tak, ki združuje znanje preteklosti z inovacijami sedanjosti.

Viri in literatura

- Beyond decoration: *How fountains enhance microclimates in urban areas*. <https://fountains.com/beyond-decoration-how-fountains-enhance-microclimates-in-urban-areas/>
- Bilge, E. (2019). *The "Courtyard House": A Spatial Reading of Domestic Architecture in Ancient Anatolia and Greece* (Master's thesis). Middle East Technical University.
- Castagnoli, F. (2021). *Chapter 2: The Greek City*. In *Orthogonal Town Planning in Antiquity*. MIT Press.
- Cervera Sardá, R. M. (ur.). (2011). *Madrid, ciudad reciclada*. Servicio de Publicaciones, Universidad de Alcalá.
- Cervera, R. (2018). Recycling the city: A new pedagogical approach to the 21st-century city. V Q. M. Zaman in I. Troiani (ur.), *Transdisciplinary urbanism and culture* (str. 53–72). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55855-4_6
- Červek, J. (2023). *Model reciklažnega urbanizma na primeru mesta Murska Sobota* [Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo]. <https://repositorij.uni-lj.si/lzpis/Gradiva.php?id=152292&lang=slv>
- Dills, R. (2011). *The river Neva and the imperial façade: Culture and environment in nineteenth-century St. Petersburg, Russia* (Doctoral dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign). <https://hdl.handle.net/2142/18391>
- Emery, V. L. (2011). Mud-brick architecture. V W. Wendrich (ur.), *UCLA Encyclopedia of Egyptology*. University of California.
- Encyclopaedia Britannica. (2017). *Tower of the Winds*. <https://www.britannica.com/topic/Tower-of-the-Winds-building-Athens-Greece>
- Fabian, L., Giannotti, E. in Viganò, P. (ur.) (2012). Recycling city: lifecycles, embodied energy, inclusion. Giavedoni.
- Gherri, B., Matoti, S. in Rovetta, L. (2025). Assessing the resilience potential of cloisters in historical urban areas in response to climate change. In *Proceedings of SASBE 2024* (LNCE 591, str. 338–348). Springer.
- Gleason, K. L. (1990). The Garden Portico of Pompey the Great. *Expedition*, 32(2), 4–13. Portico of Pompey. (n. d.). Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Portico_of_Pompey
- Gligorijević, Ž. (1997). Urban recycling: A way to save the character of the cities. *WIT Transactions on The Built Environment*, 29, 633–642. <https://doi.org/10.2495/STR970611>
- Gold, J. R. (2017). Athens Charter (C.I.A.M.), 1933. V *Wiley Blackwell Encyclopedia of Urban and Regional Studies*. Wiley-Blackwell.
- González-Avilés, Á. B., Pérez-Carramiñana, C., Galiano-Garrigós, A., Ibarra-Coves, F. in Lozano-Romero, C. (2022). Analysis of the energy efficiency of Le Corbusier's dwellings: The Cité Frugès. *Sustainability*, 14(8), 4537. <https://doi.org/10.3390/su14084537>
- Iqbal, S. (2017). Impact of environment on architecture of Mesopotamia with respect to the use of materials, tools and mode of construction. ARChive Online (CITAA). <https://doi.org/10.21625/archiv.v1i1.111>
- Lawrence, H. W. (1988). Origins of the tree-lined boulevard. *Geographical Review*, 78(4), 355–374. <https://www.jstor.org/stable/215088>
- Lilley, K. D. (2000). Mapping the medieval city: plan analysis and urban history. *Urban History*, 27(1), 5–30.
- Longstaffe-Gowan, T. (2018). Reinstating John Nash's picturesque vision at Regent's Park, London. *Garden History*, 46(2), 169–189. <https://www.jstor.org/stable/26589595>
- Magnusson, R. J. (2001). *Water Technology in the Middle Ages: Cities, Monasteries, and Waterworks after the Roman Empire*. Johns Hopkins University Press.
- Micelli, E. in Mangialardo, A. (2017). Recycling the city: new perspective on the real-estate market and construction industry. V A., Bisello D., Vettorato R., Stephens in P., Elisei, (ur.) *Smart and sustainable planning for cities and regions*. SPCR 2015. *Green Energy and Technology* (str. 115–125). Springer.
- National Park Service. (2020). *The L'Enfant plan*. <https://www.nps.gov/articles/dc-monumental-core-the-lenfant-plan.htm>
- Nessim, M. A., Elshabshiri, A., Bassily, V., Soliman, N., Tarabieh, K. in Goubbran, S. (2023). The rise and evolution of wind tower designs in Egypt and the Middle East. *Sustainability*, 15(14), 10881. <https://doi.org/10.3390/su151410881>
- Neumann, J. in Parpola, S. (1983). Wind vanes in ancient Mesopotamia, about 2000–1500 B.C. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 64(10), 1141–1144. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1983\)064<1141:WVIAMA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1983)064<1141:WVIAMA>2.0.CO;2)
- Nova, A. (2006). The role of the winds in architectural theory from Vitruvius to Scamozzi. V B. Kenda (ur.), *Aeolian Winds and the Spirit in Renaissance Architecture* (str. 70–86). Routledge. https://archiv.ub.uni-heidelberg.de/artdok/5088/1/Nova_The_role_of_the_winds_in_architectural_theories_2006.pdf
- Oxford Reference. (n. d.). *Athens Charter*. V *A Dictionary of Architecture and Landscape Architecture*. Oxford University Press. <https://www.oxfordreference.com/display/10.1093/oi/authority.20110803095431434>
- Pereira, C., Heitor, T. in Heylighen, A. (2019). Exploring multisensory qualities of loggia spaces for urban resilience to climate change. *Modular*, 2(2), 1–20. <https://rdx.architectuur.kuleuven.be/research/morphological-innovation-of-the-loggia-for-urban-resilience-to-climate-change/>
- Rheologic. (2023). *Berlin UZNH – Microclimate Assessment*. <https://rheologic.net/articles/berlin-microclimate-uznh/>
- Scudo, G. (2021). Shading architectures—Bioclimatic approach to “well-tempered” civic spaces. V *Bioclimatic Approaches in Urban and Building Design* (str. 415–423). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59328-5_22
- Shepperson, M. (2009). Planning for the sun: Urban forms as a Mesopotamian response to the sun. *World Archaeology*, 41(3), 363–378. <https://doi.org/10.1080/00438240903112229>
- Simbürger, W. (2024). *Climatic Landscapes and Interior Weathers: Climates and Atmospheres of Three Italian Renaissance Villas*. University College London. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10198433/>

- Stone, B. (2024). Ancient Rome's Urban Cooling Strategies: Lessons for Modern Cities Battling Heat Islands. Down to Earth. <https://www.downtoearth.org.in/environment/ancient-rome-had-ways-to-counter-the-urban-heat-island-effect-how-historys-lessons-apply-to-cities-today>
- Suhadolnik, L. (2023). Značilnosti mestnega toplotnega otoka pozimi v Mestni občini Ljubljana (Magistrsko delo). Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=14512>
- Turcot, L. (2015). The rise of the promeneur: Walking the city in eighteenth-century Paris. *Historical Research*, 88(239), 67–99. <https://doi.org/10.1111/1468-2281.12070>
- UNESCO World Heritage Centre. (2021). *The Porticoes of Bologna*. <https://whc.unesco.org/en/list/1650>
- UNESCO. (2021). *Paseo del Prado and Buen Retiro, a landscape of Arts and Sciences*. <https://whc.unesco.org/en/list/1618>
- Vitruvius. (1914). *The Ten Books on Architecture* (M. H. Morgan, Trans.). Harvard University Press.
- Wikipedia. (n. d.). Athens Charter. https://en.wikipedia.org/wiki/Athens_Charter
- Wikipedia. (n. d.). Chandigarh Capitol Complex. https://en.wikipedia.org/wiki/Chandigarh_Capitol_Complex
- Xue, F., Li, X., Ma, J. in Zhang, Z. (2015). Modeling the influence of fountain on urban microclimate. *Building Simulation*, 8, 285–295. <https://doi.org/10.1007/s12273-014-0210-7>
- Zaki, A. S. (2022). Evaluation of the wind catcher in the traditional Cairene courtyard houses' integrated passive system for natural ventilation and cooling. *Journal of Mediterranean Cities*, 2(1), 43–57. https://doi.org/10.38027/mediterranean-cities_v2n1_4
- Zuniga-Teran, A. (2024). *5 lessons from ancient architecture for keeping homes cool in hot, dry climates*. <https://www.pbs.org/newshour/world/5-lessons-from-ancient-architecture-for-keeping-homes-cool-in-hot-dry-climates>

Recenzija

Recenzija

Peter Šenk

Podnebne spremembe so med ključnimi izzivi sodobnih mest. Večplastni vplivi gospodarskih in družbenih pritiskov se prepletajo z okoljskimi pritiski, kot so onesnaževanje, hrup ter degradacija naravnih virov. Procesi urbanizacije, ki vključujejo zmanjševanje zelenih in odprtih površin ter zgoščevanje človekovih dejavnosti, dodatno povečujejo toplotno obremenitev mestnega prostora. Posebej izrazit vidik teh sprememb so vse pogostejši in intenzivnejši vročinski valovi, ki v urbanih območjih zaradi specifičnih prostorskih značilnosti dosežejo še večjo intenzivnost. Pregrevanje urbanega okolja tako ni zgolj posledica globalnih podnebnih sprememb, temveč kompleksna družbena in prostorska problematika, ki izhaja iz prepleta širših družbenih sprememb, urbanističnih odločitev in morfoloških značilnosti mest. Velika gostota pozidave, prevlada neprepustnih površin in pomanjkanje naravnih elementov namreč povzročajo, da se mesta segrevajo hitreje in močneje kot njihova okolica, kar vodi v pojav urbanih toplotnih otokov (UTO). Spremembe v kakovosti zraka, temperaturi in razpoložljivosti zelenih površin pa pomembno vplivajo na zdravje in kakovost bivanja prebivalcev.

Opisana problematika je v monografiji z naslovom *Odpornost urbanega okolja proti vročini* predstavljena z različnih vidikov z željo čim bolj celostne interdisciplinarne obravnave. Prispevki so rezultat pregledov in študij sodobne literature z različnih strokovnih področij, kvalitativnih, kvantitativnih in terenskih raziskav in pristopov avtorjev ter njihovih neposrednih izkušenj v praksi.

Publikacija obsega enaindvajset prispevkov, ki so smiselno razvrščeni v problemske sklope. V prvem sklopu z naslovom *Podnebni izzivi urbanega okolja* so osvetljeni prostorski, okoljski in družbeni vidiki urbanega pregrevanja z izpostavljenimi morfološkimi kazalniki ter smernicami za blaženje toplotnih obremenitev v mestih, ki vključujejo pomen in vlogo modro-zelene infrastrukture, naravnih, arhitekturnih in urbanističnih rešitev, krožnega gospodarstva ter trajnostne mobilnosti.

V drugem sklopu z naslovom *Zdravstveni vidiki urbanega okolja* so obravnavani vplivi toplotnih obremenitev na delovanje človeškega telesa, življenjski slog, počutje, vedenjske in duševne stiske, toplotno ugodje, kakovost bivanja in zdravje na splošno. Pregledi so podprti s kvalitativnimi in kvantitativnimi raziskavami, ki zajemajo anketiranje, mikroklimatske meritve, merjenje okolja, merjenje na človeku ter celostno institucionalno obravnavo ocenjevanja toplotnih obremenitev v vključujočem posthumanističnem okviru.

Tretji sklop ima naslov *Okoljski vidiki urbanega okolja*. Zajema pregled glavnih mehanizmov delovanja modro-zelene infrastrukture, ki vključujejo senčenje, evapotranspiracijo in razprševanje toplote, ter njihov vpliv na urbano mikroklimo s prikazom povezanih učinkov med tipi zelenih površin, ključnimi mikroklimatskimi mehanizmi in vplivi na zdravje prebivalcev v urbanih okoljih. V tem sklopu je obravnavano tudi načrtovanje zelene infrastrukture za varstvo narave in ohranjanje biotske raznovrstnosti, predstavljene so možnosti, ki jih ponujajo vertikalne ozelenitve pri blaženju toplotnih obremenitev, ter pojasnjeno večkriterijsko vrednotenje modro-zelene infrastrukture.

V sklepnem problemskem sklopu z naslovom *Praktični vidiki prilagajanja urbanega okolja* so predstavljeni primeri dobre prakse iz različnih mest, ki vključujejo strateške in lokalne ukrepe. Ti se navezujejo na v literaturi najpogosteje navedene ukrepe, kot so vključevanje zelene in modre infrastrukture, uporaba prepustnih

materialov in materialov z nizko toplotno kapaciteto, smiselna kombinacija njihovih optičnih in termičnih lastnosti, prilagajanje uličnih profilov ter zmanjševanje prometnih obremenitev. Primerjalna analiza ukrepov v mestih Barcelona, Rotterdam in Dunaj predstavi uporabo teh ukrepov s pojasnilom, da učinkovitost strategij blaženja pregrevanja temelji na povezovanju kvantitativnih podatkov, ki omogočajo strateško usmerjanje in prostorsko prednostno razvrstitev ukrepov, ter kvalitativnih vpogledov za preverjanje njihove dejanske učinkovitosti v prostoru. Primerom iz evropskega prostora sledi študija odziva lokalnih skupnosti na pregrevanje urbanega prostora v Singapurju, v kateri je prikazano, kako se lahko lokalna skupnost ob trajni institucionalni podpori uspešno odzove na pregrevanje urbanega prostora. Z meritvami podprte analize nekaterih novih ljubljanskih sosesk potrjujejo, da na naravi temelječe rešitve prispevajo k blaženju poletnega pregrevanja. Primeri lokalnih intervencij v območjih kulturne dediščine pa predstavijo dopustne načine blaženja toplotnega stresa, ki so skladni z varstvenimi načeli. V tem sklopu je prikazano tudi, da oblikovanje in izvajanje ukrepov zahteva odgovorno in celovito delovanje. Tako delovanje med drugimi ponuja ovir reciklažnega urbanizma. Prostorski, tehnični, upravljavski in finančni ukrepi s krepitvijo prilagoditvenih zmogljivosti družbe morajo zato biti podprti z večnivojskim in večsektorskim sodelovanjem tako na mednarodni kot lokalni ravni ter med prostorskim, okoljskim, infrastrukturnim in zdravstvenim sektorjem.

Monografija prinaša pregledne, informativne in z raziskavami podprte prispevke, ki presegajo zgolj analizo stanja ter zavzemajo izrazito proaktivno vlogo. Posamezna poglavja ponujajo jasne predloge in smernice za izboljšanje razumevanja in načrtovanja urbanega okolja v zaostrenih razmerah podnebnih sprememb. Taka obravnava odpira možnosti za bolj demokratično in trajnostno urejanje odprtih mestnih prostorov z namenom zagotavljanja višje kakovosti bivanja, boljšega počutja ter zdravja prebivalcev. Avtorji v poglavjih jasno potrjujejo pomen interdisciplinarnega sodelovanja, saj le povezovanje različnih strok omogoča celovitejše razumevanje izzivov in razvoj učinkovitih rešitev. Prav zaradi te širine in povezovalnega značaja si publikacija zasluži posebno pozornost ter je lahko dragoceno branje za strokovnjake z vseh področij, ki soustvarjajo kakovostne, trajnostne in socialno pravične urbane prostore.

Recenzija

Aleksander S. Ostan

Poleg vseh polikriz, ki pestijo sodobni svet (vojne, pandemije, ekološka kriza, energetska kriza, finančne krize, migracije in drugo), je grožnja globalnega segrevanja gotovo tisti skupni imenovalec, ki presega vse meje, podnebne pasove, ideologije in drugo ter ves planet povezuje v skrbi in sistemskih ukrepih, ki bi jih bilo treba udejanjiti na svetovni in lokalni ravni, da se krhko ravnovesje razmer za življenje človeštva in tudi drugih živih bitij na Zemlji ne bi tako drastično spremenilo, da bi bilo bivanje na njej komaj še mogoče.

Urednici znanstvene monografije na temo odpornosti urbanega okolja proti vročini to kompleksno problematiko zagotovo dobro poznata, zavedata pa se tudi, da jo je mogoče reševati le v tesnem, interdisciplinarnem polilogu med številnimi strokami in različnimi deležniki. Zato sta k projektu povabili veliko usposobljenih avtoric in avtorjev, ki v svojih prispevkih vsak s svojega zornega kota osvetlijo to perečo problematiko. Na podlagi jasne vizije urednic in skupnih prizadevanj vseh avtorjev je nastala zelo pomembna publikacija, ki bralce (od odločevalcev do stroke, od institucij do laikov) pouči o večplastnosti teme ter jih hkrati napoti k uporabi metod in rešitev, ki so v tem zgodovinskem trenutku predvsem v urbanih okoljih še kako vitalno potrebne, če želi naša urbana civilizacija sploh preživeti (najprej so, seveda, izpostavljena najbolj ranljiva območja in kraji).

Prispevki v monografiji o urbanih toplotnih otokih in podnebni odpornosti mest so pripravljene skozi prizmo posameznih strok in njihovih pogledov oziroma zornih kotov. Okvir širšega pogleda najprej nagovarja tematizacijo razmerij med prostorsko zasnovo in mikroklimatskimi razmerami v specifičnem urbanem okolju. Alenka Fikfak in Martina Zbašnik-Senegačnik, avtorici in urednici, pri tem demonstrirata, kako pomembno vlogo pri tem odigrata urbanistično in arhitekturno načrtovanje, saj lahko s celovitim in kakovostnim oblikovanjem prostora neposredno vplivata na blaženje toplotnih obremenitev ter na ustvarjanje boljšega bivalnega okolja za prebivalce. Zavedata se tudi, da tega ni mogoče doseči le z enim samim ukrepom, temveč je to mogoče le z interdisciplinarnim delovanjem, ki povezuje urbanizem, klimatološke vede, javno zdravje in druge stroke. Le tako lahko mesta prihodnosti postanejo bolj zdrava, prijetna in odporna proti podnebnim ekstremom. Prikazeta tudi, kako se največji učinki pri zniževanju lokalnih temperatur dosežejo z združevanjem ustreznih materialov in premišljeno izbranih ozelenitev. Avtorici povzameta, da vključevanje zelenja, vode in podnebno prilagojenih arhitekturnih in materialnih rešitev ni več zgolj estetska ali dopolnilna izbira, temveč nujni pogoj za trajnosten razvoj mest, ki kot tak spodbuja okoljsko odpornost in socialno kohezijo urbanih skupnosti.

V nadaljevanju monografije Lučka Kajfež Bogataj ugotavlja, da so urbana območja »epicentri podnebnih sprememb«, ki proizvedejo več kot 70 odstotkov vseh emisij. Podnebna odpornost zato ni le tehnični izziv (zelena in modra infrastruktura), temveč se dotika tudi ranljivosti javnozdravstvenih struktur ter postane tudi družbeni in etični izziv, ki se pomaga reševati, med drugim, s krožnim gospodarstvom in trajnostno mobilnostjo.

Sledita študiji Roka Finka in skupine avtoric Vesne Viher Hrženjak, Ane Hojs, Simone Perčič, Katarine Bitenc, Majde Pohar in Anje Jutraž, v katerih raziskujejo, kako mikroklima pomembno vpliva na delovanje človeškega telesa in njegovo sposobnost ohranjanja stabilne notranje temperature ter kako so visoke temperature pomemben okoljski dejavnik tveganja za zdravje. Zato je spremljanje mikroklimatskih razmer ključno za preprečevanje toplotnega stresa, zlasti pri ranljivih skupinah (starostniki, otroci, bolniki, delavci in športniki). Celostno razumevanje povezave med mikroklimo, fiziološkim odzivom telesa in družbenimi dejavniki pa je temelj učinkovitega prilagajanja na spreminjajoče se okolje.

Raziskave Matije Svetine s področja okoljske psihologije pokažejo, da so povišane temperature povezane z vrsto kognitivnih in vedenjskih izidov, na primer s spremembami v pozornosti, spominu, z izvršilnimi funkcijami, prosocialnim vedenjem in stopnjo agresivnosti, ter da je pri psiholoških raziskavah treba združevati objektivne in subjektivne ugotovitve.

Poglavje Sama Drobnetna obravnava vpliv urbanega toplotnega otoka na toplotno ugodje na prostem v Ljubljani. Raziskava temelji na integriranem terenskem delu, rezultati pa prikažejo izrazite razlike v toplotni obremenitvi med posameznimi lokacijami, povezanimi z gostoto pozidave, deležem rastlinstva, senčenjem in izpostavljenostjo sončnemu sevanju.

Sledi prispevek Damjane Drobne in Sare Novak o vlogi pristopa »Eno zdravje« pri povezovanju okolja in zdravja. Ta omogoča celosten, neantropocentričen vpogled v povezave med kakovostjo okolja in zdravjem ljudi, živali, rastlin ter ekosistemov.

Gregor Geršak, Valentina Stanić, Andraž Janežič in Janko Drnovšek v svojem poglavju pišejo o temperaturi in relativni vlažnosti zraka kot pomembnih dejavnikih notranje klime, ki neposredno vplivata na občuteno toplotno udobje, zdravje ter kognitivno učinkovitost človeka.

Širše kritično razmišljanje o povezavi med globalnim segrevanjem in zdravjem človeka nam ponudi poglavje Marka Vudraga, v katerem avtor pravi, da »ni več dvoma, da se je po širnem svetu razvila praksa, ki je stkana iz treh besed: ekstrakcija (iz slehernega človeka), ekspanzija (na račun celotnega sveta) in eksploatacija (skupnega dobra)«.

O vlogi zelenih površin pri blaženju pregrevanja in vplivu na zdravje pišeta Barbara Goličnik Marušič in Živa Ravnikar, ki posebno pozornost namenita primerjavi različnih tipov zelene infrastrukture (parki, drevoredi, mestni gozdovi, zelene strehe in vertikalne ozelenitve) ter dejavnikom, ki vplivajo na njihovo učinkovitost (velikost, gostota vegetacije, prostorska razporeditev in povezanost).

V prispevku o načrtovanju zelene infrastrukture za varstvo narave le-to Jože Bavcon in Blanka Ravnjak opredelita kot naravne in sonaravne decentralizirane sisteme za upravljanje padavinskih voda, ki se uporabljajo tudi za širok nabor ekosistemskih storitev.

Jana Kozamernik v poglavju o možnostih, ki jih pri blaženju toplotnih obremenitev ponuja vertikalna ozelenitev, predstavi vpliv različnih prostorskih kontekstov na raven učinkovitosti fasadnih ozelenitev. Na podlagi opravljene raziskave pa ugotavlja tudi, da je njihov učinek na toplotno ugodje v zunanjem prostoru v času vročih poletnih dni relativno majhen in omejen predvsem na mikro lokalno raven.

V prispevku o večkriterijskem vrednotenju modro-zelene infrastrukture Matej Radinja in Nataša Atanasova poudarjata, da celostna in pravična integracija zelenih površin v urbano tkivo bistveno prispeva k izboljšanju toplotnega ugodja, kakovosti zraka, duševnega zdravja ter k odpornosti mest proti podnebnim spremembam.

Aleš Švigelj in Marko Lazić v prispevku o učinkovitih prostorskih odzivih pri pregrevanju predstavljata mednarodne primere dobre prakse, ki potrjujejo, da so učinkoviti odzivi na pregrevanje odvisni od lokalnega konteksta ter temeljijo na kombinaciji sistemskih in lokalnih prostorskih ukrepov. Prispevek poudarja pomen celostnega, človeku prilagojenega načrtovanja ter opozarja na prenosljive prostorske strategije, ki lahko prispevajo k izboljšanju toplotnega ugodja in kakovosti bivanja v urbanih okoljih.

Na primeru Singapurja avtorja Blaž Križnik in Yoonhee Jung prikažeta odziv lokalnih skupnosti na pregrevanje urbanega prostora. Te izkušnje so lahko dragocene tudi za evropska mesta, saj opozarjajo na omejitve strnjene urbanega razvoja in ozelenjevanja kot odziva na pregrevanje urbanega prostora ter hkrati poudarjajo pomen vključevanja javnosti in trajne institucionalne podpore pri oblikovanju in izvajanju podnebnih ukrepov skupnosti.

Marina Lovrić, Katarina Kuk in Alen Mangafić v prispevku o temperaturi tal kot kazalniku vpliva urbanizacije predstavijo rezultate kombinacije izbranih analitičnih metod, ki so se pokazale za učinkovito in uporabno orodje za ugotavljanje in spremljanje vpliva prostorskih posegov na temperaturne spremembe v urbanem okolju.

V prispevku o kulturni dediščini in podnebnih spremembah Aleksandra Ažman in Barbara Mušič pišeta o začasnih, minimalno invazivnih ukrepih kot učinkovitem orodju za zmanjševanje toplotnega stresa, ki pa hkrati omogočajo testiranje rešitev, ozaveščanje javnosti in iskanje ravnotežja med varstvom dediščine ter prilagajanjem na podnebne spremembe.

Barbara Mušič v poglavju o obvladovanju pregrevanja kot podnebnega tveganja ugotavlja, da blaženje urbanih toplotnih otokov zahteva celovito delovanje, ki združuje prostorske, tehnične, upravljavske in finančne ukrepe, pri čemer je ključno večnivojsko in večsektorsko sodelovanje.

O materialih kot sooblikovalcih urbane mikroklimе pišeta Janez Peter Grom in Tadej Glažar. Pokažeta, da se pregrevanje urbanega prostora pogosto obravnava s podnebnega in morfološkega vidika, a pomembni procesi urbane mikroklimе se udejanjajo na ravni materialov in površin. Materiale in njihove optične in termične lastnosti obravnavata kot energijske vmesnike med sončnim sevanjem, prostorom in uporabnikom.

Za konec v poglavju o grajenem okolju in pregrevanju Jernej Červek opozori na sodobni koncept reciklažnega urbanizma, ki namesto na stalni širitvi mest na nova zemljišča temelji na »reciklaži«
obstoječih mestnih struktur in virov. S tem se zmanjšuje okoljski odtis, ohranja identiteta prostora ter krepi odpornost mest proti podnebnim spremembam.

Pri monografiji *Odpornost urbanega okolja proti vročini* gre torej za celovito zastavljeno ter strokovno in znanstveno pripravljeno čtivo, na kakršnega v našem prostoru, v katerem še vedno prevladujejo ločeni sektorski pogledi in analize posameznih, ločenih fenomenov, le redko naletimo. Knjiga je zato lahko zelo dobrodošla v vseh vrstah prostorskih disciplin in politik, ki se ukvarjajo z načrtovanjem in upravljanjem mest, koristna pa bo tudi za študente in pedagoge, saj ponuja širši pregled in večplastni nabor usmeritev za reševanje akutne problematike toplotnih otokov oziroma urbanega pregrevanja.

Seznam avtorjev

A

izr. prof. dr. Atanasova Nataša
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Ažman Aleksandra
Mestna občina Kranj

B

dr. Bavcon Jože
Botanični vrt Univerze v Ljubljani, Biotehniška fakulteta

dr. Bitenc Katarina
Nacionalni inštitut za javno zdravje

Č

asist. dr. Červek Jernej
Ministrstvo za naravne vire in prostor Republike Slovenije

D

prof. dr. Drnovšek Janko
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

prof. dr. Drobne Damjana
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
Oddelek za biologijo in Središče za eno zdravje – okolje

izr. prof. dr. Drobne Samo
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

F

prof. dr. Fikfak Alenka
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo

izr. prof. dr. Fink Rok
Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta

G

prof. dr. Geršak Gregor
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

prof. mag. Glažar Tadej
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo

dr. Goličnik Barbara Marušić
Urbanistični inštitut Republike Slovenije

doc. dr. Grom Janez Peter
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo

H

Hojs Ana
Nacionalni inštitut za javno zdravje

J

asist. razisk. Janežič Andraž
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

dr. Jung Yoonhee
National University of Singapore, Faculty of Arts and
Social Sciences, Department of History

asist. dr. Jutraž Anja
Nacionalni inštitut za javno zdravje

K

prof. dr. Kajfež Bogataj Lučka
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta

Kozamernik Jana
Urbanistični inštitut Republike Slovenije

izr. prof. dr. Križnik Blaž
Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta
Oddelek za azijske študije

Kuk Katarina
Geodetski inštitut Slovenije

L

Lazić Marko

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo

Lovrić Marina

Geodetski inštitut Slovenije

M

Mangafić Alen

Geodetski inštitut Slovenije

Mušič Barbara

Urbanistični inštitut Republike Slovenije

N

doc. dr. Novak Sara

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
Oddelek za biologijo in Središče za eno zdravje – okolje

P

asist. dr. Perčič Simona

Nacionalni inštitut za javno zdravje

Pohar Majda

Nacionalni inštitut za javno zdravje

R

asist. dr. Radinja Matej

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Ravnikar Živa

Urbanistični inštitut Republike Slovenije

dr. Ravnjak Blanka

Botanični vrt Univerze v Ljubljani, Biotehniška fakulteta

S

asist. Stanić Valentina

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

prof. dr. Svetina Matija

Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta
Oddelek za psihologijo

Š

Švigelj Aleš

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo

V

asist. dr. Viher Hrženjak Vesna

Nacionalni inštitut za javno zdravje

pridr. prof. dr. Vudrag dr. Marko

Z

prof. dr. Zbašnik-Senegačnik Martina

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo

Recenzenta

prof. dr. Peter Šenk

Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, Univerza v Mariboru; Fakulteta za arhitekturo, Univerza v Ljubljani

izr. prof. Aleksander S. Ostan

Fakulteta za arhitekturo, Univerza v Ljubljani

**Stvarno
kazalo**

A

aklimatizacija

42, 44, 47

albedo

24, 31-32, 64, 190-191, 195

astma

47, 51, 89

B

biodiverziteteta

108, 113

blaženje vročine

69, 198-199, 201

D

drevesa

14, 26, 28, 33, 53, 101-105, 108-114, 120, 162, 172-173, 192-194

E

enotni kazalnik tveganj

73

eno zdravje

5, 73-76, 78, 212-213

F

fiziološki odziv

44-46, 57, 63, 194

G

globalno pregrevanje

89, 92, 95

hladne strehe

92, 147, 190-191, 193-195

hladni materiali

190

I

infrastruktura

16, 24-26, 35, 39-40, 53, 64, 92, 100, 108-109, 111, 114-115, 125-127, 134, 136, 146, 186, 200

J

javni prostor

138, 146, 192

javno zdravje

21, 40, 50, 52, 54, 89, 92, 109, 118, 189, 212-213

javnozdravstveni ukrepi

50

K

kazalniki

12-13, 15, 18, 20, 42, 48, 60, 64-65, 67-68, 70, 73, 76-78, 81, 126, 157, 166, 172, 190

kazalniki stresa

73

kognicija

56-57

Kranj

12, 18, 21, 176, 179-182, 187, 212

kulturna dediščina

6, 176-177, 181

L

Landsat

17, 157-158, 164-166, 172, 174-175, 185

Ljubljana

4, 22, 40, 53, 55, 63, 67, 71, 107, 109, 114-115, 117, 120, 124, 157, 165, 167-168, 171-172, 174, 179, 182, 187, 196, 206

lokalne skupnosti

109, 150-151, 153-155

M

merjenje temperature

5, 80-83, 85-86, 139

mestne poplave

35, 37

mesto

14-15, 18, 21, 36, 52, 104-105, 108, 110, 151, 198

mikroklima

5, 12, 14-15, 42-43, 48, 191-192, 195

mikroklima mesta

12

mikroklimatska pravičnost

12

mikroklimatski učinki

98, 192

modeliranje urbane mikroklimе

117, 119

modra infrastruktura

24-25, 40

modro-zelena infrastruktura

16, 64, 125-127

N

načrtovanje

5, 14, 16, 21, 24-25, 33, 36, 40, 48, 50, 54, 61, 64-66, 69-70, 73, 81, 98, 104-105, 107-110, 115, 129, 148, 153, 158, 164, 171, 173, 179, 184, 186-187, 199

na naravi temelječe rešitve

157-158, 172-173, 204

O

obolevnost

13, 50, 52, 54

okoljske razmere

48, 57, 80

ozelenitev

26, 34, 73, 78, 101, 112, 114-115, 117-124, 150-151, 154

ozelenjevanje

26, 117-118, 150-152, 180, 185

P

počutje v prostoru

80

podnebna tveganja

183

podnebne projekcije

35-36

podnebne spremembe

15, 24-25, 36, 39-40, 43, 54-55, 71, 73-75, 92, 94-95, 100-101, 118, 125, 150-153, 155, 176-178, 180, 182-184, 187-189, 198-199

podnebne spremembe

6, 176

podnebni ukrepi skupnosti

150

površinski odtok

29, 125

pregrevanje odprtega javnega

prostora

24

pregrevanje urbanega okolje

73

prepustni tlaki

32, 190, 195

prepustnost tal

24, 32, 152, 185-186

primeri dobre prakse

138-139, 148, 183, 185, 192

psihofiziologija

80

psihološki odziv

63

R

ranljive skupine

14, 21, 28, 36, 39, 42-43, 46, 48, 52-54, 77, 89, 100, 148

razpoloženje

53, 56, 58

S

socialno vedenje
58

sprejemanje odločitev
73-74, 126

srčne bolezni
89

T

temperatura tal
6, 29, 157

termoregulacija
42, 44

toplotne obremenitve
15, 25, 27-28, 30, 38, 42-43, 45, 47-48, 51, 57, 59-60, 65,
68, 75, 81, 84, 86, 101, 103, 117, 119-123, 139-140, 142,
145, 147-148, 152, 157, 171, 173, 179, 190, 192, 194

toplotni stres
14-15, 33, 38-39, 42, 46, 48, 52, 56-57, 60, 64-65, 69, 98,
100, 103, 117-119, 179, 204-205

toplotno ugodje
5, 13, 28-30, 33, 43, 46, 48, 57-60, 63-64, 66-68, 70, 80-
82, 99-100, 103-104, 117, 119, 123, 139-141, 146-147,
190-192, 194, 199, 201

toplotno ugodje na prostem
63-64, 66, 68, 70

U

umrljivost
14, 50-52, 54-55, 64, 70

urbana morfologija
12, 15, 99, 138-139, 185

urbana odvodnja
125

Urbana reciklaža
198, 202-203

urbane zelene površine
98

urbani prostor
114

urbanistično načrtovanje
21, 50, 65, 98

urbanistično-oblikovalski ukrepi
183

urbani toplotni otok
12-13, 15, 24, 53, 57, 63-64, 68-69, 98, 138-139, 157,
176-177, 190

urbanizacija
51, 75, 92, 157-159, 177

urbano pregrevanje
12, 177

V

vertikalno ozelenjevanje
26, 117

vročinski valovi
13, 24, 35, 38-40, 50-52, 54, 64, 92, 95, 188

Z

zaznavanje toplotnega udobja
56

zdravje
4-5, 14, 16, 21, 25, 33, 35-36, 39-40, 42-43, 47, 50-55,
64, 66, 70, 73-78, 80-81, 89, 91-92, 95, 98-106, 109-110,
118, 149, 174, 176-177, 181, 183, 185, 188-189, 196,
200, 212-213

zelena infrastruktura
24-26, 53, 100, 108-109, 114-115

zelene fasade
24, 26-27, 118, 120

zelene stene
117, 120

zelenje
24-26, 28, 31, 33, 58, 152

zgodovinska mestna jedra
18, 176-177, 179, 181