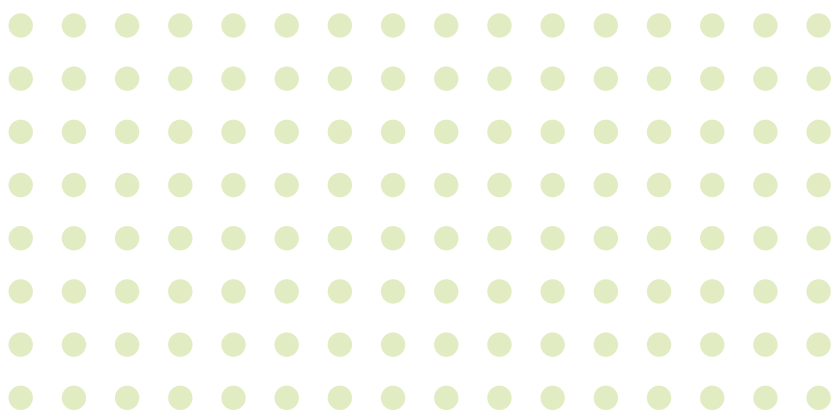


Strokovna revija

trajnost

Letnik II, 2026

IZZIVI IN PRILOŽNOSTI



VISOKA ŠOLA
ZA TRAJNOSTNI RAZVOJ



ZNANSTVENA MONOGRAFIJA

Trajnostni razvoj prostora na alpskem območju:

- trajnostna mobilnost
- trajnostni turizem
- upravljanje prostora
- prevozna revščina
- prihodnost alpskih regij

Raziščite
znanstveno
e-monografijo:



UVODNIK



Trajnostni razvoj med lepimi besedami in realnimi omejitvami

Trajnostni razvoj je postal ena osrednjih besed sodobnega časa. O njem govorijo politike, podjetja, občine, investitorji in razvojne institucije. Včasih se zdi, da je dovolj, da projektu dodamo pridevnik »zelen«, pa že deluje razvojno napreden in družbeno odgovoren. Toda ob vsej prisotnosti trajnostnih razprav se odpira vprašanje, koliko trajnosti dejansko izvajamo in koliko jo predvsem opisujemo.

Danes prevladuje precej optimistična predstava, da bomo največje okoljske probleme rešili s tehnologijo - elektrifikacija prometa, obnovljivi viri energije in digitalizacija naj bi omogočili relativno gladek prehod v nizkoogljično družbo. Deloma to drži. Toda ali zeleni prehod preveč poenostavljeno razumemo kot tehnološki projekt, premalo pa kot vprašanje virov, prostora, industrijskih zmogljivosti in družbenih kompromisov?

V ozadju elektrificirane družbe namreč stoji izrazita materialna intenzivnost. Povpraševanje po bakru, litiju, niklju, kobaltu in redkih zemeljskih elementih hitro narašča. Zelene tehnologije niso nematerialne. Nasprotno — temeljijo na inten-

zivnem rudarstvu, velikih energetskih omrežjih in globalnih dobavnih verigah. Energetski prehod zato ni več samo okoljsko vprašanje, ampak vprašanje surovin, industrije in novih oblik odvisnosti.

Evropa danes govori o strateški avtonomiji, hkrati pa pri številnih ključnih surovinah ostaja močno odvisna od uvoza. Govorimo o trajnosti, obenem pa ustvarjamo nove razvojne odvisnosti. Ali smo pripravljeni dovolj resno razpravljati tudi o teh manj udobnih vidikih zelenega prehoda?

Podobno vprašanje se odpira pri dejanski izvedbi trajnostnih politik. Strategij, akcijskih načrtov in podnebnih zavez imamo ogromno. Veliko težje pa je graditi energetsko infrastrukturo, širiti elektroenergetska omrežja, umeščati objekte v prostor, zagotavljati kadre in industrijske zmogljivosti, ki bodo ta prehod sploh omogočili. Trajnostni razvoj tako ni več vprašanje ciljev, ampak vprašanje izvedljivosti.

Tudi pri prometu pogosto ostajamo med idejo in realnostjo. Veliko govorimo o trajnostni mobilnosti, precej manj pa o dejanskih vzorcih poselitve, dnevnih migracijah in logističnih potrebah gospodarstva. Če alternative niso dostopne, zanesljive in časovno konkurenčne, se vedenjski vzorci prebivalstva ne bodo bistveno spremenili.

Največji problem trajnostnega razvoja danes ni pomanjkanje ambicij, ampak pomanjkanje intelektualne poštenosti pri razumevanju njegove kompleksnosti. Prehod v nizkoogljično družbo bo zahteval bistveno več kot všečne slogane in administrativne cilje. Zahteval bo sposobnost povezovanja okoljskih ciljev z gospodarsko realnostjo, tehnološkimi omejitvami in dolgoročno družbeno stabilnostjo.

Pravo vprašanje prihodnosti zato ni več, ali potrebujemo trajnostni razvoj. Pravo vprašanje je, ali smo pripravljeni sprejeti njegovo dejansko zahtevnost.

Kaja Kramar

Odgovorna urednica revije Trajnost

Strokovna revija Visoke šole
za trajnostni razvoj
TRAJNOST
Izzivi in priložnosti
Letnik II, 2026

Izdajatelj in založnik: Visoka šola za trajnostni razvoj,
samostojni visokošolski zavod, Ljubljanska cesta 30,
4000 Kranj, Davčna številka: 38889234

Dekan: mag. Branko Lotrič

Glavna in odgovorna urednica: Kaja Kramar

Uredniški odbor: Kaja Kramar, mag. Branko Lotrič,
mag. Alenka Bradač, Urška Dimnik, Boštjan Paušer,
Neža Jurčević

Strokovni sodelavci in recenzenti: doc. dr. Uroš
Breskvar, izr. prof. dr. Nikola Holeček, dr. Nina Kos, dr.

Metka Kralj, doc. dr. Mojca Hrovat

Avtorji: Sandro Abramovič, dr. Valerija Babij, dr. Martin
Batič, Antonija Božič Cerar, izr. prof. dr. Nikola Holeček,
mag. Muharem Husić, David Kene, mag. Vesna Kolar
Planinšič, doc. dr. Lado Kutnar, doc. dr. Drago Papler,
Kiril Pavlovski, dr. Marijan Pogačnik, dr. Darko Siuka.

Naslov uredništva: Ljubljanska cesta 30, 4000 Kranj,
tel.: 04 280 83 04, e-pošta: revija@vstr.si, spletna
stran: <https://www.revija-trajnost.si/>

Lektorica: Jasmina Spahalič, mag. sloven.

Oblikovanje in grafična priprava: Camera d.o.o.

Marketing in oglasno trženje: Katja Hudobivnik, tel.:
031 694 727, e-pošta: katja.hudobivnik@bb.si

Tisk: Camera d.o.o.

Izhaja 1-krat letno.
Naklada: 50 izvodov

Letnica prvega izida: 2025

Distribucija: Visoka šola za trajnostni razvoj,
samostojni visokošolski zavod, Ljubljanska cesta 30,
4000 Kranj
Revija je brezplačna.

Copyright © Visoka šola za trajnostni razvoj,
samostojni visokošolski zavod/ Revija Trajnost
Kakršnakoli reprodukcija in posredovanje edicije ali
njenih posameznih delov sta dovoljena le s pisnim
soglasjem izdajatelja.
ISSN: 3024-0395

V reviji so podana mnenja avtorjev, uredništvo za
pravičnost njihovih mnenj ne odgovarja. Slike brez
navedenega vira so iz arhiva VSTR ali last članov
uredniškega odbora.

Slika na naslovnici: Shutterstock



VISOKA ŠOLA ZA TRAJNOSTNI RAZVOJ

TRAJNOSTNO UPRAVLJANJE OKOLJA

Visokošolski študijski program

Postani
diplomirani
okoljevarstvenik

poskeniraj
me



Klikni na bb.si



VSEBINA

TRAJNOSTNO UPRAVLJANJE OKOLJA

Vključevanje podnebnih sprememb v občinsko prostorsko načrtovanje in cpvo v sloveniji	6
Trajnost slovenskih gozdov je ogrožena	14
Vpliv onesnaženosti zraka na zdravje prebivalcev in možnosti za telesno dejavnost v urbanih okoljih	20
Analiza okoljskih vplivov v pridelavi mleka	26
Indikativni monitoring kakovosti zraka kot podpora lokalnemu upravljanju izpostavljenosti pm2,5	34

ENERGETIKA IN ENERGETSKA PRIHODNOST

Svetovna tekma za kritičnimi surovinami	42
Energetska in ekonomska ocena izrabe odvečne toplote elektro obločne peči	46

KROŽNO GOSPODARSTVO IN ZELENİ PREHOD

Vloga napredne biotehnologije v krožnem gospodarstvu in zelenem prehodu	52
---	----

PAMETNE IN TRAJNOSTNE REŠITVE ZA PRIHODNOST DRUŽBE

Promet kot vir onesnaženja in priložnost: aktivna mobilnost za boljše zdravje	62
Hrup vrtnih orodij kot izziv trajnostnega prehoda: meritve, ocena tveganj in možnosti zmanjšanja okoljskih vplivov	70
Metro ljubljana	80

POVZETEK OKROGLE MIZE

Smo pripravljeni na zeleni prehod?	90
------------------------------------	----



VKLJUČEVANJE PODNEBNIH SPREMEMB V OBČINSKO PROSTORSKO NAČRTOVANJE IN CPVO V SLOVENIJI¹

Avtorica: mag. Vesna Kolar Planinšič, Visoka šola za trajnostni razvoj, Kranj

Povzetek

Dolgoročna podnebna strategija Slovenije do leta 2050 poudarja pomembno vlogo občinskih prostorskih načrtov (OPN) pri doseganju podnebne nevtralnosti. Raziskava obravnava vključevanje podnebnih sprememb v pet reprezentativnih OPN (Ljubljana, Novo mesto, Bohinj, Rogaška Slatina in Ankaran) ter v postopke celovite presoje vplivov na okolje (CPVO). Analiza temelji na pregledu prostorskih aktov in okoljskih poročil ter na anketah in intervjujih z načrtovalci in okoljskimi ocenjevalci.

Rezultati kažejo, da so podnebne spremembe v OPN sicer obravnavane, vendar z različno stopnjo natančnosti. Pogosto manjkajo merljivi cilji, kazalniki, monitoring in sistematično vključevanje pristojnih institucij za podnebne spremembe. Ugotovljene

so tudi vrzeli v znanju načrtovalcev in okoljskih strokovnjakov, zlasti glede podnebnega preverjanja, obnovljivih virov energije in ukrepov za blaženje podnebnih sprememb. Raziskava opozarja na razkorak med nacionalnimi podnebnimi cilji in lokalno prakso ter izpostavlja potrebo po krepitvi strokovnih zmogljivosti, metodoloških usmeritvah in bolj sistematičnem vključevanju podnebnih vidikov v prostorsko načrtovanje in CPVO.

Ključne besede: prostorsko načrtovanje, strateške okoljske presoje, podnebne spremembe, učinkovitost.

¹ Raziskava predstavlja del doktorske naloge v okviru interdisciplinarnega študija Varstva okolja na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, Univerze v Ljubljani.

INTEGRATING CLIMATE CHANGE CONSIDERATIONS INTO MUNICIPAL SPATIAL PLANNING AND STRATEGIC ENVIRONMENTAL ASSESSMENT IN SLOVENIA

Abstract

Slovenija's Long-Term Climate Strategy 2050 highlights the important role of Municipal Spatial Plans (OPNs) in achieving climate neutrality. This study examines the integration of climate change considerations into five representative OPNs (Ljubljana, Novo mesto, Bohinj, Rogaška Slatina, and Ankaran) and related Strategic Environmental Assessment (SEA) procedures. The research is based on an analysis of spatial planning documents and environmental reports, complemented by surveys and interviews with planners and environmental assessors.

The results show that climate change is addressed in OPNs, but with varying levels of detail. Measurable objectives, indicators, monitoring

mechanisms, and systematic involvement of relevant institutions are often lacking. The study also identifies knowledge gaps among planners and environmental professionals, particularly regarding climate-proofing, renewable energy integration, and climate change mitigation measures. The findings reveal a gap between national climate ambitions and local planning practice and highlight the need for strengthened professional capacities, methodological guidance, and a more systematic integration of climate considerations into spatial planning and SEA processes.

Keywords: Climate change, Municipality spatial planning, Strategic environmental assessment.

1 UVOD

1.1 Podnebne spremembe in prostorsko načrtovanje

Podnebne spremembe predstavljajo enega izmed najkompleksnejših in najboljšežnejših okoljskih, družbenih ter prostorskih izzivov sodobnega časa. Dokazana je povezava temperatur v odvisnosti od CO₂ (Judd, Tierney in sod., 2024), posledično pa Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) navaja povečano pojavnost kratkotrajnih, a intenzivnih padavinskih dogodkov, vročinskih valov, ekstremnih vremenskih pojavov ter pogostejših poplav, plazov in dviga morske gladine tudi v Sloveniji (ARSO, 2024, str. 110–150). Čeprav gre pri teh pojavih deloma za naravne procese, ki so se skozi zgodovino dogajali z lastno dinamiko, podnebne spremembe povzročajo njihovo pospeševanje in medsebojno krepitev. Poročilo o stanju podnebnih sprememb v Evropi (Evropska okoljska agencija, 2025, str. 79–87) poudarja povečana podnebna tveganja in nujnost za blaženje in omilitev podnebnih sprememb.

Prostorsko načrtovanje ima v tem kontekstu ključno vlogo, saj lahko s premišljenimi odločitvami o rabi prostora pomembno prispeva k zmanjševanju ogljičnih odtisov posameznikov in skupnosti ter k povečanju odpornosti naselij. Pametna, večnamenska organizacija dejavnosti v prostoru, optimalno razmerje med pozidanimi in zelenimi površinami, ohranjanje mokrišč, renaturacije vodotokov, zagotavljanje večnamenskih območij biotske raznovrstnosti ter uvajanje ogljično nevtrálnih urbanističnih in arhitekturnih rešitev so ključni prostorski instrumenti za preprečevanje in blaženje posledic podnebnih sprememb.

Posledično se prostorsko načrtovanje ne naslanja le na dediščino zgodovinskih vzorcev, temveč mora razvijati nove metodološke pris-

tope, ki temeljijo na znanstvenih dognanjih, empiričnih izkušnjah ter interdisciplinarni presoji. Ti pristopi morajo omogočati reorganizacijo naselij, krepitev institucionalnih odzivnih mehanizmov (Adom, Simatele in sod., 2023) ter vzpostavitev družbe, ki je odporna in prilagojena na podnebne pritiske, skladno s cilji Agende za trajnostni razvoj do leta 2030 (Združeni narodi, 2015).

Kljub naraščajoči prepoznavnosti problematike številni prostorski plani in projekti v Sloveniji ostajajo slabo odporni ali celo neodporni na podnebne spremembe, kar vodi v neustrezne prostorske ureditve in posledično v znatno družbeno in ekonomsko škodo.

1.2 Podnebne spremembe in celovita presoja vplivov na okolje

CPVO, kot jo v EU opredeljuje Direktiva 2001/42/ES o presoji planov in programov na okolje (v nadaljevanju SEA Direktiva, 2001) in Protokol o strateški presoji (UNECE, 2001), predstavlja temeljni zakonodajni okvir za presojo okoljskih učinkov prostorskih in sektorskih aktov. Kot bistven sestavni del okoljske presoje vključuje presojo za področje podnebnih sprememb. Raziskave EU (Evropska komisija, 2026) ugotavljajo, da te določbe v preteklih obdobjih še niso bile v popolnosti uporabljene v praksi. Tudi analiza dvanajstih CPVO v občinskih prostorskih načrtih (OPN) v nemški zvezni deželi Saška ter v regiji Vzhodna Anglija kažejo na podcenjevanje podnebnih vplivov, saj niso bili čezmejni podnebni vplivi obravnavani v celoti, niti cilji zmanjšanja emisij CO₂ (Wende in sod., 2012). Na podlagi teh ugotovitev je Evropska komisija priporočila razvoj posebnih smernic za vključevanje podnebnih vprašanj v postopke CPVO, ki poudarjajo, da je treba vprašanja blaženja in prilagajanja podnebnim spremembam dosledno vključevati tako v nacionalne kot lokalne planske dokumente

(EK, 2023, str. 6). Čeprav CPVO v teoriji predstavlja trden okvir, se v praksi prostorskega načrtovanja pogosto ni vedno v celoti uporabila (Bidstrup & Hansen, 2014). Novejše študije kažejo napredek pri vključevanju CPVO v proces prostorskega načrtovanja ter izpostavljajo njeno vse večjo vlogo pri strateškem prostorskem načrtovanju (Therivel & Gonzales, 2021; Gonzales, 2021).

EU si je zastavila ambiciozen cilj postati prva ogljično nevtrálna celina do leta 2050 (Evropska unija, 2024), kar zahteva celovito preobrazbo mest, infrastrukture, gospodarstva in družbenih sistemov. Ključno vprašanje, ki se pri tem pojavlja, je, ali so prostorsko načrtovalski procesi dovolj učinkoviti, odzivni in hitri, da zagotovijo zdravo, varno in podnebno odporno okolje za bivanje, delo, mobilnost, izobraževanje in raziskovanje. Tudi mednarodna priporočila (UNECE, 2017) opozarjajo na strateško vlogo CPVO v obdobju pospešenih podnebnih sprememb. Partidario (2012, 2017) poudarja, da je zato treba razmišljati bolj strateško in da bodo ambiciozni cilji razogljichenja zahtevali radikalne preнове vseh infrastruktur ter bistveno razširitev sistemov obnovljivih virov energije, kar bo vplivalo na vse ravni prostorskega načrtovanja.

V Sloveniji se je spodbujala sistematična uporaba analize ranljivosti na podnebne spremembe, kar je predstavljalo pomemben korak k dolgoročnim, strokovno podprtim in sistematičnim vključevanjem podnebnih sprememb za zagotovitev podnebne odpornosti, izhajajoč iz lokalnih značilnosti podnebnih sprememb (Kolar-Planinšič, 2017, str. 1–50), ter nadgradnjo, saj vključenost še ni popolna (Cepuš et al., 2019; Zagovorniki okolja, 2020, str. 53–64).

V slovenski pravni red sta SEA Direktiva (2001) in Protokol o strateški presoji vplivov na okolje prenesena v sistem celovite presoje vplivov na



okolje (CPVO), iz 77. člena Zakona o varstvu okolja (ZVO-2). Prostorski del postopka priprave občinskih prostorskih načrtov pa ureja Zakon o urejanju prostora (ZUreP-3, 2023), ki določa metodološki, strokovni in procesni okvir za usklajeno načrtovanje rabe prostora na lokalni ravni. Ta pravni okvir tako oblikuje temelj za analizo učinkovitosti vključevanja podnebnih sprememb.

2 ANALIZA PRIMEROV

2.1 Raziskovalni izziv

Ključno raziskovalno vprašanje je, v kolikšni meri že vključujemo podnebnih sprememb v prostorsko načrtovanje na lokalni ravni ter kako učinkovite so obstoječe metodologije prostorskih aktov in celovite presoje vplivov na okolje pri spodbujanju integracije podnebnih ukrepov v plane. Rezultati takšne raziskave so bistveni za nadaljnji razvoj konceptov podnebno odpornega urejanja prostora.

Raziskava v luči ugotovljenih izzivov odgovarja na naslednje ključno vprašanje:

- Kako učinkovite so bile CPVO v OPN glede upoštevanja podnebnih sprememb?
- Kako učinkovito so bile podnebne spremembe obravnavane v primerjavi z drugimi okoljskimi vsebinami?

2.2 Metode raziskave

Raziskava izhaja iz pregleda strokovne literature, evropskih in mednarodnih študij o integraciji podnebnih sprememb v strateško presojo vplivov na okolje (npr. COWI, 2009; Wende et al., 2012; Partidário, 2012; UNECE, 2017), na podlagi katerih je bil razvit sistem meril za vrednotenje učinkovitosti vključitve podnebnih sprememb v OPN in CPVO.

2.2.1. Izbor primerov dobre prakse

Primeri so bili izbrani med sprejetimi osnovnimi OPN in CPVO v

obdobju 2004–2024 na podlagi člankov, študij primerov in razgovorov s strokovnjaki, ker so izpolnjevali naslednja merila:

- Podnebne spremembe so bile vključene v OPN.
- Sodelovanje javnosti je bilo proaktivno; javnost je bila vključena v zelo zgodnji fazi.
- Posvetovanje z ministrstvi in organizacijami je bilo izvedeno.
- Pritožb ali sodnih postopkov ni bilo.
- Primeri se nanašajo na različne bio-klimatske regije.

Izbranih je bilo pet primerov CPVO za OPN v Sloveniji (SI) za mesta Ljubljana (C1), Novo mesto (C2), Bohinj (C3), Ankarana (C4) in Rogaška Slatina (C5).

Raziskovalni primeri so bili izbrani iz različnih podnebnih regij: submediteransko podnebje na primeru Ankarana, vlažno podnebje hribovitega območja in alpsko podnebje na primeru Bohinja, zmerno podnebje hribovitega območja na primeru Rogaške Slatine, subcelinsko podnebje na primeru Ljubljane in Novega mesta.

2.2.2. Merila učinkovitosti vključnosti podnebnih sprememb

Oblikovali smo nabor meril, ki omogočajo strukturirano in primerljivo vrednotenje vključenosti podnebnih sprememb v naslednjih fazah CPVO: (I) določanje obsega presoje, (II) priprava okoljskega poročila, (III) posvetovanje z ministrstvi in javnimi organizacijami, (IV) sodelovanje javnosti, (V) odločanje in (VI) spremljanje učinkov izvedbe.

Na podlagi pregleda literature, analize mednarodnih priporočil in študije primerov, so bila oblikovana merila za presojo učinkovitega vključevanja podnebnih sprememb v OPN in CPVO, ki omogočajo poglobljeno analizo ter primerjavo med obravnavanimi prostorskimi dokumenti. Poudarjena so vsebinska merila učinkovitosti, ki ocenjujejo, kako celovito vsebinsko so

obravnavane podnebne spremembe, vključno z blaženjem, prilagajanjem, podnebnim potrjevanjem (»climate proofing«) in upoštevanjem načela neškodljivosti (»no harm effect«).

Razvita so bila merila, ki so prikazana v tabeli 1, in so:

I. Sistemski in procesni merila ter II. Vsebinska in omilitveni oz. blažilni ukrepi

Pri proučevanju gradiva smo upoštevali tudi blažilne ukrepe za omilititev vplivov podnebnih sprememb in prilagajanje, ki zagotavljajo odpornost lokalnih skupnosti na podnebne spremembe, kot so: razširitev zelenih površin, ohranitev večjih zelenih sistemov in njihova nadgradnja, povečanje zasaditev manjših zelenih površin, izboljšanje sistemov za odvajanje deževnice, razširitev poplavljenih območij, območij rek, poglobitve, nova mokrišča, oblikovanje suhih zadrževalnikov ali drugih območij za upravljanje z vodami, ohranjanje erozijskih površin v travni ali gozdni rabi, ohranitev gozdov in preprečevanje erozijskih žarišč, na novo vzpostavljeni travniki ali mokrišča. Za obmorska območja smo dodali uporabo morskih območij in odmik poselitve od morja.

2.3 Vrednotenje učinkovitosti

Vrednotenje učinkovitosti je potekalo s kombinacijo treh dopolnjujočih se metod, kar omogoča triangulacijo podatkov in krepi zanesljivost rezultatov, in to: analiza primerov OPN in okoljskih poročil, anketna raziskava in poglobljeni intervjuji.

Izvedene so bile spletne ankete med načrtovalci, izdelovalci okoljskih poročil in strokovnjaki, ki sodelujejo v postopkih CPVO. Namen anket je bil pridobiti vpogled v stopnjo njihovega poznavanja podnebnih vsebin, razumevanja podnebnega potrjevanja in načela neškodljivosti ter v zaznane pomanjkljivosti obstoječega sistema.

Merila vključenosti podnebnih sprememb	Vzorci občinskih prostorskih načrtov in celovitih presoj vplivov na okolje				
	C1	C2	C3	C4	C5
I. Sistemsko procesna merila					
Skladnost z zakonodajo	3	3	3	3	3
Obseg presoje	3	3	3	3	3
Okoljsko poročilo	3	3	3	3	3
Posvetovanje	3	2	2	3	1
Javnost	2	3	2	2	1
Odločitev	1	1	1	1	1
Spremljanje odpornosti	1	1	1	1	1
Celovitost	3	3	3	3	3
Podnebna ambicioznost	1	1	1	1	1
II. Ukrepi za odpornost					
Obnovljivi viri	0	0	0	1	0
Ohranitev večjih zelenih sistemov in njihova nadgradnja,	2	2	3	3	3
Povečanje zasaditev manjših zelenih površin	0	0	0	3	3
Izboljšanje sistemov za odvajanje deževnice,	0	0	0	3	1
Razširitev poplavljenih območij, območij rek, poglobitve, nova mokrišča	0	0	0	3	3
Oblikovanje suhih zadrževalnikov ali drugih območij za upravljanje z vodami	3	1	0	1	1
Ohranjanje erozijskih površin v travni ali gozdni rabi	3	3	3	3	3
Preprečevanje erozijskih žarišč	1	3	3	3	3
Ohranitev gozdov	3	3	3	3	3
Novi travniki ali mokrišča	0	0	0	3	3
Odmik poselitve od morja	-	-	-	3	-

Tabela 1. Razlike učinkovitosti vključenosti podnebnih sprememb v CPVO za OPN v Sloveniji (SI) za mesta Ljubljana (C1), Novo mesto (C2), Bohinj (C3), Ankaran (C4) in Rogaška Slatina (C5). Učinkovitost smo merili z lestvico od 3 - zelo učinkovita, velika vključenost, 2 - učinkovita, srednja vključenost, 1 - manj učinkovita, majhna vključenost, 0 - neučinkovita, ni vključenosti.

Za poglobljeno razumevanje procesnih in institucionalnih izzivov so bili opravljeni strukturirani ciljni intervjuji s predstavniki ministrstev, občin in strokovnih organizacij. Intervjuji omogočajo ovrednotenje kvalitativnih vidikov CPVO, zlasti tistih, ki jih formalni dokumenti ne zajamejo, kot so kakovost medresorskega sodelovanja, strokovna usposobljenost ter operativni izzivi pri vključevanju podnebnih sprememb.

3 REZULTATI

Učinkovitost vključitve ukrepov za prilagajanje in blaženje podnebnim spremembam je 50 % in je manjša kot učinkovitost integracije biotske

raznovrstnosti in omilitvenih ukrepov za zmanjševanje drugih okoljskih vplivov.

Načela podnebnega potrjevanja, zviševanja deleža obnovljivih virov energije in brezogljične družbe pa je v vseh primerih slabo poznana in le v manjši meri vključena. Največ opredeljenih vprašanih je izkazalo veliko, a delno poznavanje cilja zviševanja deleža obnovljivih virov energije in cilja brezogljične družbe, vendar principov pri pripravi OPN še ni uporabila.

Vsako območje ima svoje podnebne značilnosti, npr. poplave, vodne režime, temperature, zato so bili za opredelitev blažilnih ukrepov oz. omilitvenih ukrepov podnebne

odpornosti potrebni „prilagojeni“ pristopi. Prilagoditveni ukrepi so bili predlagani v vseh okoljskih poročilih, tako v Sloveniji kot v EU, in vključeni v načrte ob upoštevanju najboljšega razpoložljivega znanja, strokovnih mnenj in napovednih modelov.

Sistemska učinkovitost CPVO je bila učinkovita v vseh primerih, postopkovna vključenost tematike pa dobra. Opazne so bile razlike med strateškimi alternativami, metodami napovedovanja in ocenjevanja ter ukrepi za preprečevanje, zmanjševanje ali odpravljanje učinkov podnebnih sprememb.

Razlike so opazne tudi pri posvetovanju o podnebnih spremembah,



ki je večinoma notranje posvetovanje znotraj pristojnih ministrstev in organizacij. V slovenskih primerih mnenje pristojnih organov o podnebnih spremembah ni bilo pripravljeno, saj še ni bilo vzpostavljene sistema nosilca podnebnih sprememb, prilagoditveni ukrepi pa so bili le delno vključeni. Rezultati vprašalnika potrjujejo informacijo, da strokovnjaki in organi nimajo idej, kako bi načrtovali lokalno prilagajanje podnebnim spremembam. Tudi obnovljivi viri energije v OPN posledično še niso bili upoštevani. Strokovnjaki, s katerimi so bili opravljeni razgovori, so pričakovali bolj napredno in inovativno ozelenitev načrtov. Preglednost postopka je bila visoka, vsi dokumenti so bili v vseh primerih javno dostopni, postopki pa so bili dobro dokumentirani. Kljub temu so bile ugotovljene razlike v kazalnikih za sodelovanje javnosti. Pripombe so se v večini nanašale na razvojne elemente in so bile povezane s podnebnimi spremembami le v C1 ter v manjši meri v C2–C5.

Omilitveni ukrepi za večanje odpornosti so bili vključeni v OPN v vseh primerih, čeprav na različne načine in z različno stopnjo natančnosti. Blažilni ukrepi so bili tudi izvedljivi ter utemeljeni, a zelo pavšalni, ter zanje ni bilo prostorsko določenega območja. Prav tako v OPN ni bil zarisan prostor za obnovljive vire. Slabost se je pojavila tudi pri spremljanju, saj v nobenem primeru ne obstaja monitoring poročilo o izvedbi plana, ki bi bilo javno in bi ga lahko spremljali.

Rezultati izvedene analize kažejo, da obravnavani občinski prostorski načrt (OPN) vključuje vsebine, povezane s podnebnimi spremembami, vendar je stopnja njihove celovite integracije še vedno omejena. Študija ugotavlja, da je stopnja upoštevanja podnebnih sprememb v OPN ocenjena na približno 50 %, kar pomeni, da so ključni koncepti in vsebine prepoznani, ne pa tudi sistematično operativno uresničeni.

4 ZAKLJUČEK

Izvedena analiza potrjuje, da je bila sistemska učinkovitost postopkov CPVO v obravnavanih primerih visoka, tematika podnebnih sprememb pa postopkovno delno ustrezno vključena. V vseh primerih je bilo pripravljeno samostojno poglavje o podnebnih spremembah, kar predstavlja pomemben napredek v primerjavi s preteklimi generacijami prostorskih aktov. Postopki so bili transparentni, dokumentacija javno dostopna in ustrezno evidentirana.

Rezultati pa razkrivajo razkorak med formalno vključenostjo podnebnih vsebin in njihovo operativno ter prostorsko konkretizacijo. Stopnja integracije podnebnih sprememb v OPN je ocenjena na približno 50 %, kar pomeni, da so ključni koncepti prepoznani, niso pa sistematično operacionalizirani z merljivimi kazalniki, prostorsko določenimi območji in jasnimi izvedbenimi mehanizmi.

Ugotovljene so bile razlike med strateškimi alternativami, metodami napovedovanja in ocenjevanja ter med ukrepi za preprečevanje ali zmanjševanje učinkov podnebnih sprememb. Posebej izstopa pomanjkljiva institucionalna podpora prilagajanju podnebnim spremembam v času priprave dokumentov, saj ni bil vzpostavljen sistemski nosilec podnebnih politik, ki bi imel znanje s področja prostorskega načrtovanja in bi podal smernice in mnenje. Posledično mnenja pristojnih organov niso bila pripravljena, prilagoditveni ukrepi pa so bili vključeni le delno. Rezultati vprašalnika in razgovorov potrjujejo tudi pomanjkanje metodoloških usmeritev za lokalno prilagajanje ter odsotnost sistematične prostorske opredelitve obnovljivih virov energije.

OPN se vsebinsko sklicujejo na mednarodne in nacionalne cilje, zlasti oglijično nevtralnost do leta

2050, ter vključujejo ukrepe za blaženje podnebnih sprememb (OVE, energetska učinkovitost, trajnostna mobilnost, zelene površine, izboljšanje mikroklima). Vendar so ti ukrepi pogosto splošni, brez prostorske določitve, ocene kumulativnih vplivov in vzpostavljenega monitoringa. V nobenem primeru ni bilo zaznano javno dostopno poročilo o spremljanju izvajanja OPN, kar predstavlja pomembno sistemsko vrzel.

Pri obravnavi poplavnih območij so ustrezno upoštevane kartografske podlage, vendar ukrepi za zmanjševanje izpostavljenosti niso vedno konkretizirani, zlasti v urbaniziranih območjih. Podobno na področju zelenih površin primanjkuje kvantificiranih standardov, ki bi omogočili merljivo preverjanje učinkov.

Raziskava potrjuje, da je CPVO učinkovit procesni okvir za vključevanje podnebnih vsebin, vendar procesna ustreznost sama ne zagotavlja izvedbene robustnosti. Ključni izziv prihodnjega razvoja OPN je sistematična, merljiva in prostorsko konkretizirana integracija podnebnih politik. To zahteva razvoj jasnih metodoloških smernic, vzpostavitve institucionalne podpore, uvedbo merljivih kazalnikov in javnega monitoringa ter nadgradnjo vsebinskega sodelovanja javnosti.

Obravnavani OPN tako predstavljajo prehodno fazo med deklarativno in operativno integracijo podnebnih politik v prostorsko načrtovanje, pri čemer bo nadaljnji razvoj zahteval večjo znanstveno podprtost, medsektorsko usklajenost in normativno jasnost.

Celovito gledano ugotovitve kažejo na pozitiven premik v smeri vključevanja podnebnih sprememb, vendar je potrebna sistematična nadgradnja normativnih rešitev, metodoloških pristopov in izvedbenih ukrepov. Le tako bo mogoče zagotoviti prostorski razvoj, ki bo odporen, prilagodljiv ter usklajen z



nacionalnimi in mednarodnimi cilji razogljčenja in prilagajanja podnebnim spremembam.

5 SKLEP

CPVO in OPN prepoznava podnebne spremembe kot pomemben prostorski izziv, vendar jih v praksi operativno vključuje le deloma. Približno polovica ključnih podnebnih sestavin je ustrezno integrirana, kar pomeni, da so obstoječi dokumenti dober temelj, ki pa ga je treba nadgraditi z bolj konkretiziranimi cilji, merljivimi kazalniki in lokacijsko določenimi ukrepi. Povečanje stopnje operacionalizacije bi omogočilo primerljivost, merljivost in učinkovitejše spremljanje realizacije ciljev trajnostnega razvoja.

6 USMERITVE

Na podlagi raziskave predlagamo sistemsko nadgradnjo prostorskega načrtovanja na lokalni ravni z vidika podnebne odpornosti na področju:

- strateške integracije podnebnih ciljev,
- standardiziranega sistema kazalnikov,
- krepitve prilagoditvenih in blažitvenih ukrepov,
- nadgradnje zelenega sistema in spremljanje izvajanja,
- metodološke podpore in
- usposabljanja in razvoja kapacitet.

ZAHVALA

Dr. Almi Zavodnik Lamovšek, FGG, Univerza Ljubljana, se zahvaljuje za metodološke napotke in usmeritve pri raziskavi.

Mag. Vesna Kolar Planinšič je višja predavateljica na Visoki šoli za trajnostni razvoj in na Univerzi v Novem mestu. Je diplomirana krajinska arhitektka in magistrica prostorskega in urbanističnega načrtovanja, ki strokovno deluje na področju okolja in biotske raznovrstnosti več kot 30 let. Je odgovorna oseba Republike Slovenije pri OZN za Konvencijo o čezmejnih vplivih na okolje (Espoo) in Protokol o strateški presoji vplivov na okolje, pri čemer je vodila Odbor za mednarodne spore, Delovno skupino za okoljske presoje ter Biro Protokola o strateških presojah vplivov na okolje, vse pri UNECE v Ženevi.

Je članica biroja Espoo konvencije ter strokovne skupine za okoljske presoje pri Evropski komisiji ter strokovnjakinja TAIEX in TAIEF. S strokovnimi predavanji je sodelovala v misijah in strokovnih konferencah v EU-27 in 17 državah UN. 20 let je vodila tudi Sektor za strateške/okoljske presoje na Ministrstvu za okolje in prostor. Njeno raziskovalno področje je učinkovitost integracije okoljskih vidikov v načrtovanje na nacionalni in lokalni ravni, s poudarkom na strateški presoji in vsebinah biotske raznovrstnosti in podnebnih spremembah. Je članica društva prostorskih planerjev Slovenije in društva krajinskih arhitektov Slovenije.

Objavljeni rezultati so del doktorske naloge, ki jo pripravlja na interdisciplinarnem doktorskem študiju varstva okolja, Univerze v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo pod mentorstvom dr. Alme Zavodnik Lamovšek.

LITERATURA IN VIRI

- Adom, R.K., Simatele, M.D., Das, D.K., Mukalazi, K.A., Sonwabo, M., Mudau, L., Sithole, M., Kubanza, S., Vogel, C. and Zhou, L. (2023), »Enhancing climate change adaptation governance through transforming institutions in Kwa-Zulu Natal Province, South Africa«, International Journal of Climate Change Strategies and Management, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-12-2022-0157> (accessed 22 July 2024)
- Agencija Republike Slovenije za okolje (2024). Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja. ARSO. Sintezno poročilo-prvi del.
- https://meteo.arslo.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/OPS21_Porocilo.pdf
- Združeni narodi (2015). Spremenimo svet: Agenda za trajnostni razvoj do leta 2030.
- Bidstrup, M., Hansen, A. M., (2014). The paradox of strategic environmental assessment, Environmental Impact Assessment Review, Volume 47, 2014, Pages 29-35, ISSN 0195-9255, <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.03.005>. (accessed 22 July 2024).
- Cepuš S., Strmčnik K., Harmel M., Kranjc A., Premelč M., Harmel E., Weltl S., (2019). The effectiveness of the SEA process in Slovenia. Impact assessment and project appraisal. IAIA, Taylor and Francis, Vol. 37, NOS.3 – 4, p.312 – 326. <https://doi.org/10.1080/14615517.2019.1595934>
- Evropska okoljska agencija, 2017. EEA, Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator – based report. ISSN 1977-8449. Številka 1/2017. <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016>
- Evropska komisija (2023). Sporočila institucij, organov, uradov in agencij Evropske Unije
- Evropska komisija. Obvestilo Komisije. Smernice o strategijah in načrtih držav članic za prilaganje. Uradni list Evropske unije, 27.7.2023. C 264/01.
- European Commission (2025). Study supporting the preparation of the report on the application and effectiveness of the SEA Directive (Directive 2001/42/EC). Directorate-General for Environment. Publications Office of the European Union.
- Gonzales A. (2021). Strategic environmental assessment of spatial land use plans. In Handbook on Strategic Environmental Assessment. Edited by Fisher T.B., Gonzales A.. Research Handbooks on impact assessment. Elgar. p.142 - 164.
- Jones C., Baker M., Carter J., Jay J., Short M., Wood C. (2005). Evaluating the SEA in Land use plans. Chapter in Strategic Environmental Assessment and Land use planning. International evaluation. Earthscan, UK, USA. p.28-39.
- Judd, E. J., Tierney, J. E., Lunt, D. J., Montañez, I. P., Huber, B. T., Wing, S. L. & Valdes, P. J. (2024). A 485-million-year history of Earth's surface temperature. Science, številka 385, izdaja 6715, 20.9.2024, DOI: 10.1126/science.adk3705.
- Kolar Planinšič, V., 2017. Climate change in strategic environmental assessment for land use plans in Slovenia, Meeting of the Parties, SEA Protocol, Minsk, 16 June 2017, p.1 – 50. https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2017/EIA/MOP7/Panel_Presentations/V_Kolar_Planinsic_Slovenian_experience_FINAL.pdf (23 November, 2023)
- Partidario, M.R.M. R. (2012). Strategic Environmental Assessment Better Practice Guide - methodological guidance for strategic thinking in SEA.
- Portuguese Environment Agency and Redes Energéticas Nacionais (REN), ISBN: 978-972-8577-62-9, SA Lisbon, 2012.
- <https://www.iaia.org/pdf/special-publications/SEA%20Guidance%20Portugal.pdf>
- Partidario M.R. (2017). Role of Environment Assessments emphasized as key to SDG and climate change. United Nations Commission for Europe. MOP Conference. Minsk, 2017. <https://unece.org/environment/press/role-environment-assessments-emphasized-key-sdg-and-climate-change-action-minsk>
- European Environmental Agency (2025).
- Europe's environment and climate: knowledge for resilience, prosperity and sustainability
- Published 29 Sept 2025. str.79-87.
- doi: 10.2800/3817344
- Evropska Unija, 2024. Evropski podnebni načrt za leto 2040. Pot do podnebne nevtralnosti do leta 2050. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/attachment/877509/Factsheet%20Europe%E2%80%99s%202040%20climate%20pathway_sl.pdf
- Therivel R., Gonzales A. (2021). Strategic environmental assessment effectiveness, Part III Issues of effectiveness. Handbook on Strategic Environmental Assessment. Edited by Fisher T.B., Gonzales A., Elgar., 2021.
- Van Vuuren, D., Edmonds, J., Kainuma, et al. (M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., . . . Rose, S., 2011). The representative concentration pathways: an overview. Climatic Change, 109, 5-31.
- UNECE, 2017. Information on panel discussion on the role of the Protocol and the Convention in addressing climate change. ECE/MP.EIA/2017/INF.10, Minsk, 16 June 2017.
- UNECE (2017). United Nations Economic Commission for Europe. Convention on Environmental Impact Assessment. Information service. 1733290E, ECE/MP.EIA/21/Amend 1. New York and Geneva, November 2017.
- <https://unece.org/environment-policy/publications/convention-environmental-impact-assessment-transboundary-context>
- UNECE (2003). Protocol on Strategic Environmental Assessment to the Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context. United Nations. Treaty Series, vol. XXVII, No. 34028. May 2003. Available from <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/eia/documents/legaltexts/protocolenglish.pdf>
- Združeni narodi (2015). Spremenimo svet: Agenda za trajnostni razvoj do leta 2030. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Wende, W., Bond, A., Bobylev, N., & Stratmann, L. (2012). Climate change mitigation and adaptation in strategic environmental assessment. Environmental Impact Assessment Review, 32(1), 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2011.04.003>

TRAJNOST SLOVENSКИH GOZDOV JE OGROŽENA

doc. dr. Lado Kutnar, Gozdarski inštitut Slovenije
dr. Valerija Babij, Zavod za gozdove Slovenije

Povzetek

Gozdovi pokrivajo 58 % ozemlja Slovenije in sodijo med najpomembnejše naravne ekosisteme, saj zagotavljajo biotsko raznovrstnost ter številne oskrbovalne, uravnavalne in kulturne ekosistemske storitve. Poleg gospodarskega pomena imajo ključno vlogo pri uravnavanju podnebja, zadrževanju vode, varovanju tal pred erozijo ter zagotavljanju prostora za rekreacijo in kakovostnega življenjskega okolja. Njihovo delovanje temelji na trajnostnem, večnamenskem in sonaravnem gospodarjenju.

Prispevek analizira vplive podnebnih sprememb in drugih motenj na slovenske gozdove. V zadnjih desetletjih se razmere v gozdovih zaradi naraščajočih temperatur, pogostejših suš, ekstremnih vremenskih dogodkov ter abiotskih in biotskih dejavnikov opazno

slabšajo. Povečujeta se ranljivost gozdnih sestojev in ogroženost ključnih drevesnih vrst, kar vpliva na njihovo stabilnost in razvoj. Po podatkih Zavoda za gozdove Slovenije se je količina poškodovanega lesa v zadnjih treh desetletjih povečala za skoraj štirikrat.

Spremenjene razmere ogrožajo trajnost slovenskih gozdov ter zahtevajo okrepljene ukrepe in večja vlaganja za blaženje posledic podnebnih sprememb in drugih motenj.

Ključne besede: slovenski gozdovi, podnebne spremembe, motnje, trajnost, ranljivost.

THE SUSTAINABILITY OF SLOVENIAN FORESTS IS UNDER THREAT

Abstract

Forests cover 58% of Slovenia and represent one of the country's most important natural ecosystems, providing biodiversity and numerous provisioning, regulating and cultural ecosystem services. In addition to their economic importance, forests play a key role in climate regulation, water retention, soil protection and providing space for recreation and a high-quality living environment. Their functioning is supported by sustainable, multifunctional and close-to-nature forest management.

This paper analyses the impacts of climate change and other disturbances on Slovenian forests. In recent decades, forest conditions have deteriorated due to rising temperatures, more frequent droughts, extreme

weather events, and increasing abiotic and biotic disturbances. Forest stands and key tree species are becoming more vulnerable, affecting their stability and development. According to the Slovenian Forest Service data, the volume of damaged wood has increased almost fourfold over the last three decades.

These changes threaten the sustainability of Slovenian forests and require strengthened measures and greater investments to mitigate the effects of climate change and other disturbances.

Keywords: Slovenian forests, climate change, disturbances, sustainability, vulnerability.

1 UVOD

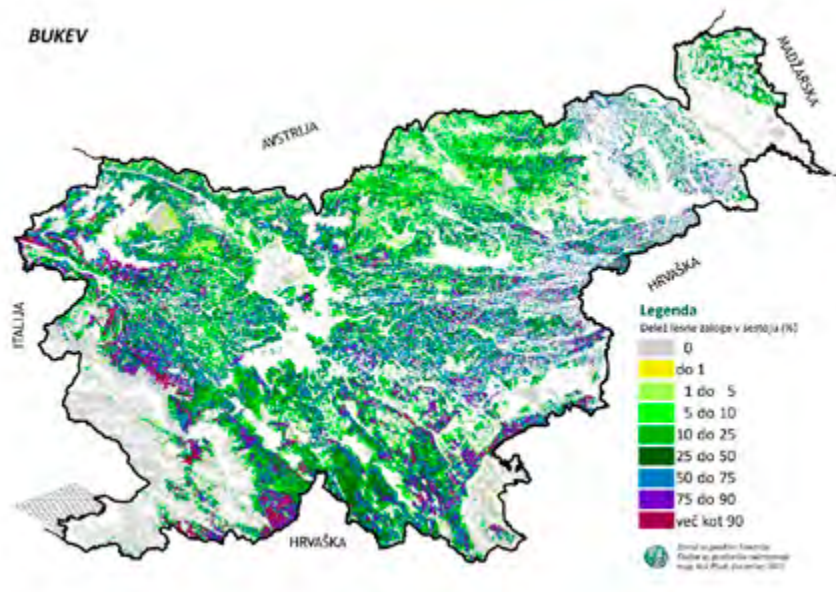
1.1 Splošne značilnosti slovenskih gozdov

V Sloveniji je gozd prevladujoči krajinski element, saj pokriva 58 % ozemlja naše države (ZGS, 2025). Slovenija je po deležu gozdov med najbolj gozdnatimi državami v Evropi. Gospodarjenje z gozdovi v Sloveniji temelji na načelih trajnosti, večnamenskosti in sonaravnosti (podroben opis v ZGS, 2025).

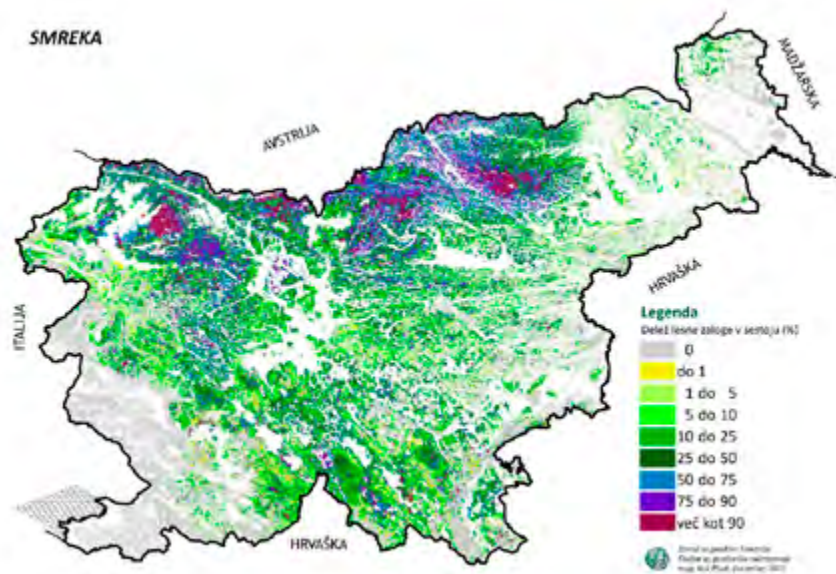
Pretežni del slovenskih gozdov predstavljajo rastišča bukovih, jelovo-bukovih in bukovo-hrastovih gozdov (skupaj približno 70 %), z razmeroma visoko proizvodno sposobnostjo. Med drevesnimi vrstami v lesni zalogi prevladujeta bukev (32,9 %) in smreka (30,1 %) (sliki 1 in 2). Sledijo jelka (7,4 %), hrasti (7,1 %), bori (5,4 %), drugi trdi listavci (8,5 %), plemeniti listavci (5,4 %) - glej Dakskobler in sod. (2013). Skupaj 56 % lesne zaloge predstavljajo listavci, 44 % pa iglavci (ZGS, 2025). Delež teh se postopoma še zmanjšuje (Kutnar in sod., 2021).

Drevesna sestava se med različnimi predeli Slovenije očitno razlikuje, saj so območja rastiščno zelo raznolika. Bukve v lesni zalogi prevladuje v dinarskem območju in vzhodnem delu Slovenije (slika 1). Iglavci prevladujejo v severni Sloveniji (območje Pohorja, Julijske Alpe, Kamniško-Savinjske Alpe, Karavanke) in na visokih planotah (Pokljuka, Jelovica, Mežakla), kjer v lesni zalogi močno prevladuje predvsem smreka (slika 2).

Slovenski gozdovi predstavljajo najbolj naravne ekosisteme, zelo pomembne z vidika ohranjanja biotske raznovrstnosti, tako na genetskem, vrstnem in ekosistemskem oz. krajinskem nivoju. Poleg tega so gozdovi pomembni tudi z vidika opravljanja številnih drugih funkcij, kot so proizvodne, ekološke in socialne funkcije, ki označujejo raznovrsten pomen gozdov za ljudi. V zadnjem času se za funkcije



Slika 1: Delež bukve (*Fagus sylvatica*) v gozdnih sestojih (Vir: ZGS, 2025)

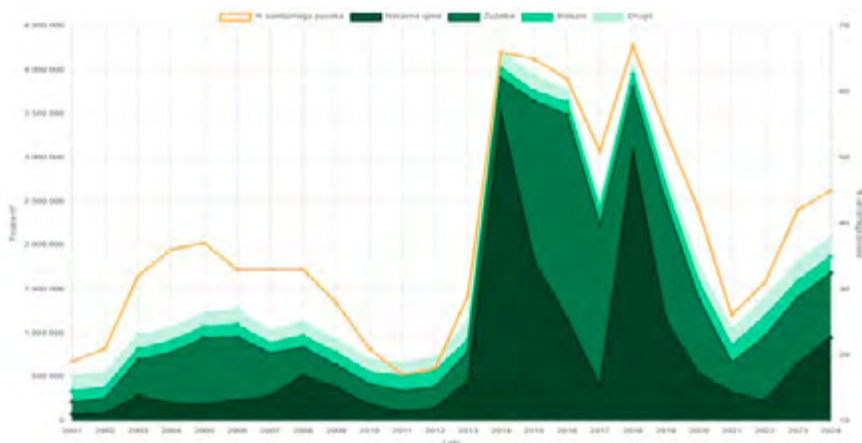


Slika 2: Delež smreke (*Picea abies*) v gozdnih sestojih (Vir: ZGS, 2025)

gozdov uporablja tudi sinonim ekostemske storitve (v nadaljevanju: ES), kot so oskrbovalne, uravnavne in kulturne ES (EEA, 2026). Z njimi označujemo številne učinke, storitve, dobrine, ki jih ljudem zagotavljajo gozdovi in drugi naravni ekosistemi.

Proizvodnja lesa je ena od ključnih funkcij gozdov, zlasti pomembna

za lastnike gozdov. Velika večina gozdov (77 %) je namreč v zasebni lasti, medtem ko je 20 % gozdov v lasti države ter 3 % v lasti občin (ZGS, 2025). Lesna zaloga, ki je definirana kot količina lesa stoječega drevja, je eden od temeljnih kazalnikov ocene zagotavljanja trajnosti gozdnih virov. Lesna zaloga slovenskih gozdov je po podatkih gozdno-gospodarskih načrtov Zavoda za



Slika 3: Prikaz količine poškodovanega lesa (v m³) in delež sanitarnega poseka glede na celotni posek (v %). Prikazana je poškodovanost gozdov tudi po vzrokih (dejavniki). (Vir: ZGS, 2025)

gozdove Slovenije (ZGS, 2025) 357.031.760 m³ oz. 304 m³/hektar.

Poleg pomena gozdov za proizvodnjo lesa (oskrbovalna ES) so številne uravnavalne ES (npr. pozitiven vpliv na podnebje in ozračje, zadrževanje vode, varovanje tal pred erozijo) pomembne za celotno družbo. Gozdovi so tudi prostor za rekreacijo in oddih ter izboljšujejo kakovost življenja (kulturne ES) (ZGS, 2025; EEA, 2026).

1.2 Analiza podatkov

Glavni namen študije je bila analiza in prikaz abiotičnih in biotičnih škodljivih dejavnikov v slovenskih gozdovih, ki so v veliki meri posledica podnebnih sprememb in motenj. Kot glavni vir za analizo v raziskavi smo uporabili Bazo podatkov Zavoda za gozdove Slovenije za zadnja tri desetletja (Baza podatkov ZGS, 1995–2024). Pri tem smo posebej ovrednotili posledice (poškodbe) gozdov zaradi glavnih negativnih dejavnikov: i) biotični škodljivi organizmi (predvsem škodljivi insekti in bolezni), ii) ujme (poškodbe zaradi abiotičnih dejavnikov, kot so žledolom, vetrolom, snegolom itn.) in iii) požari. Analizirali smo podatke o volumnu (m³) poškodovanega lesa, ki smo jih pridobili na osnovi sanitarnega poseka drevev v gozdovih (Baza podatkov ZGS, 1995–2024). To je ustaljen pristop za ocenjevanje poškodb gozdov v gozdarski praksi. Prizadete površine smo

prostorsko prikazali na karti sedmih ekoloških regij Slovenije (Kutnar in sod., 2002).

2 REZULTATI

Ekološke, rastiščne in sestojne razmere v slovenskih gozdovih se v zadnjih desetletjih močno poslabšujejo, kar je posledica podnebnih in drugih globalnih sprememb ter številnih motenj na regionalni in lokalni ravni. Naraščajoče temperature, pogostejše suše in ekstremni vremenski dogodki povečujejo občutljivost gozdnih sestojev in glavnih drevesnih vrst ter vse bolj vplivajo na njihov razvoj in stabilnost. V zadnjih desetletjih se močno povečujejo poškodovane gozdne površine in količina poškodovanega lesa zaradi ujma, škodljivih organizmov in drugih dejavnikov. Največje poškodbe gozdov, ki jih ugotavljamo tudi na osnovi sanitarnega poseka, s katerim odstranjujemo poškodovan in razvrednoten les, so bile v

obdobju med 2014 in 2020 (slika 3). Po podatkih Zavoda za gozdove Slovenije so se količine poškodovanega lesa v zadnjih treh desetletjih povečale za skoraj štirikrat, saj je bilo zaradi ujma in škodljivih organizmov v desetletju 1995–2004 poškodovanih okoli 6 milijonov m³, v desetletju 2015–2024 pa več kot 23 milijonov m³ (Baza podatkov ZGS, 1995–2024).

2.1 Biotični škodljivi dejavniki (predvsem škodljivci in bolezni)

V zadnjih treh desetletjih so biotični škodljivi dejavniki v slovenskih gozdovih povzročili največ poškodb. Mednje uvrščamo različne škodljive živalske organizme, najpogosteje žuželke (insekte), ki napadejo različne dele dreves. Podlubniki (med njimi so različni lubadarji in stržernarji) so med pogostejšimi škodljivci v iglastih gozdovih. Med škodljive dejavnike v gozdu uvrščamo tudi različne bolezni, ki jih povzročajo predvsem zajedavske glive (redkeje tudi bakterije ali virusi).

Po podatkih Zavoda za gozdove Slovenije o sanitarnem poseku je bilo zaradi škodljivih organizmov in bolezni v zadnjih 30 letih poškodovanih 21.883.407 m³ lesa (Baza podatkov ZGS, 1995–2024). Največ lesa je bilo poškodovanega v dinarski (6.781.162 m³) in alpski regiji (4.941.997 m³) (preglednica 1), kjer je tudi največ gospodarsko pomembnih gozdov. Poleg tega pa je velik del teh gozdov uvrščen v evropsko

Ekološka regija	Količina lesa (v m ³)
Alpska	4941997
Dinarska	6781162
Pohorska	1696303
Predalpska	3650080
Preddinarska	2503594
Predpanonska	1744786
Submediteranska	565485
Skupna vsota (1995–2024)	21883407

Preglednica 1: Sanitarni posek zaradi škodljivih organizmov v obdobju 1995–2024 po ekoloških regijah (Vir: Baza podatkov ZGS, 1995–2024)

Ekološka regija	Količina lesa (v m ³)
Alpska	4.118.729
Dinarska	5.197.408
Pohorska	1.584.236
Predalpska	4.176.402
Preddinarska	1.859.007
Predpanonska	1.289.780
Submediteranska	809.704
Skupna vsota (1995–2024)	19.035.266

Preglednica 2: Sanitarni posek po ujmah v obdobju 1995–2024 po ekoloških regijah (Vir: Baza podatkov ZGS, 1995–2024)

varstveno pomembno območje Natura 2000. Ti gozdovi so zelo pomembni tudi z vidika različnih funkcij (ekosistemskih storitev).

2.2 Abiotski dejavniki

Drugi veliki sklop, ki je bistveno negativno vplival na slovenske gozdove v zadnjih desetletjih, so različni abiotski dejavniki (ujme). Med njimi so najpogostejše različne ujme, kot so vetrolomi, žledolomi in snegolomi, ki praviloma povzročijo poškodbe gozdov na večjih površinah. Med škodljive abiotske dejavnike uvrščamo tudi poplave, usade in plazove ter tudi suše in pozebe dreves.

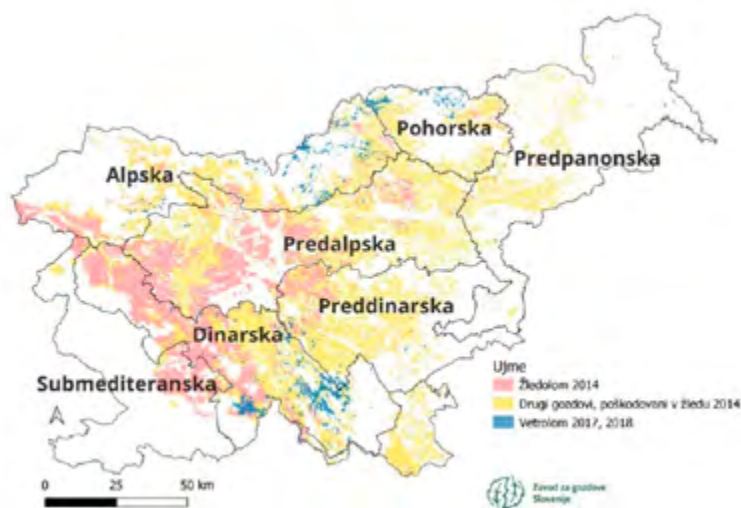
Po podatkih Zavoda za gozdove Slovenije (Baza podatkov ZGS, 1995–2024) je bilo v ujmah v zadnjih 30 letih poškodovanih 19.035.266 m³ lesa. Zaradi ujme je bilo največ gozdov po površini in volumnu lesa poškodovanih v dinarski regiji (5.197.400 m³) in predalpski regiji (4.176.400 m³) (preglednica 2). Delež poškodovanega lesa po ujmah se je močno zvišal po obsežnem žledolomu v začetku leta 2014. Žledolom je povzročil največje poškodbe v dinarskem območju in osrednji Sloveniji (slika 4). Vetrolomi se pojavljajo predvsem v alpski, pohorski in dinarski regiji.

2.3 Požari

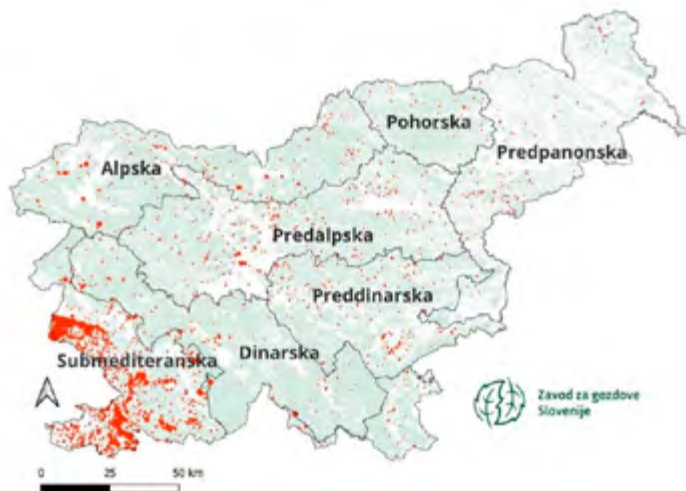
V zadnjih 30 letih se je število požarov, ki jih prav tako uvrščamo med abiotske dejavnike, v Sloveniji povečevalo. Območje Slovenije je močno požarno ogroženo (Komac,

2022), saj je Zavod za gozdove Slovenije v obdobju 1995–2024 zabeležil kar 2.780 gozdnih požarov, kar je povprečno 93 požarov na leto. V 70 % požarov v tem obdobju je pogorelo manj kot 1 ha gozda. Povprečna površina gozda, ki je

bila prizadeta zaradi požara v obdobju 1995–2024, je merila približno 5,4 ha (Baza podatkov ZGS, 1995–2024). Največji gozdni požar v Sloveniji je na goriškem Krasu leta 2022 zajel 3.707 ha, od tega 2.902 ha gozdne površine (Babij in sod., 2024). Glede na evidenco gozdnih požarov Zavoda za gozdove Slovenije je bilo v obdobju 1995–2024 največ požarov po številu in skupni površini v submediteranski ekološki regiji (slika 5), saj je bilo več kot 80 % površin gozdnih požarov v tej regiji. Po površini sledita dinarska in alpska regija. Požari so bili evidentirani tudi v vseh drugih ekoloških regijah.



Slika 4: Površine gozdov, poškodovane v večjih ujmah (Baza podatkov ZGS, 1995–2024), na karti ekoloških regij (Kutnar in sod., 2002)



Slika 5: Površine gozdov, poškodovane v požarih (rdeče) v zadnjih treh desetletjih (Baza podatkov ZGS, 1995–2024), na karti gozdne maske in ekoloških regij (Vir: Kutnar in sod., 2002)

3 ZAKLJUČEK

Številni biotski in abiotski dejavniki so v zadnjem obdobju povzročili veliko škode v slovenskih gozdovih. Delež poškodovanih gozdov in lesa nenehno narašča. Med glavnimi dejavniki, ki zmanjšujejo ekonomsko vrednost gozdov in povečujejo stroške sanacije gozdov, so predvsem različni škodljivi biotski dejavniki in velikopovršinske ujme (Baza podatkov ZGS, 1995–2024). Zaradi segrevanja ozračja, zmanjševanja količine padavin in suš v poletnem času je tudi vse več gozdnih požarov, zlasti v submediteranski regiji (Primorje in Kras) (Komac, 2022; Babij in sod., 2024). Delež sanitarnega poseka, s katerim odstranjujemo predvsem poškodovane, manj vredne lesne sortimente, se je v zadnjem obdobju močno povečal glede na celoten posek lesa v naših gozdovih (ZGS, 2025). V poškodovanih gozdovih je še posebej pomemben pravočasen nadzor

in odstranjevanje poškodovanega drevja iz gozda, saj ta predstavlja dodatno tveganje za nadaljnji razvoj bolezni in širjenje škodljivcev. Med ukrepi so tudi ustrezna finančna vlaganja za blaženje posledic, še posebej pa vlaganja za povečanje krepitve odpornosti gozdov in prilagojeno gospodarjenje.

Podnebne spremembe in velikopovršinske motnje bodo še naprej spreminjale podobo naših gozdov v prihodnosti (Kutnar in sod., 2021). V skladu z napovedmi na evropski ravni (npr. Hanewinkel in sod., 2013) in napovedmi za Slovenijo (Kutnar in sod., 2011; Kutnar & Koblner, 2011, 2014; Ficko in sod., 2011; Kermavnar in sod., 2023; Gregorčič in sod., 2023) se bo zmanjšal trenutni delež ključnih drevesnih vrst, kot npr. smreka, bukev, jelka. Ogrožene so tudi druge gospodarsko zanimive vrste, kot so nekatere vrste hrastov (Smolej & Hager, 1995; Kermavnar & Kutnar, 2024a). Ob

uresničevanju scenarijev podnebnih sprememb (Bertalanč in sod., 2018) se bodo danes pretežno mezofilni, zlasti bukovi gozdovi, postopoma spreminjali v bolj termofilne oblike gozdov, prilagojene na višje temperature in suše (Kutnar in sod., 2011; Gregorčič in sod., 2023). V spremenjenih gozdovih, z bolj odprtimi sestoji po sanitarnih posekih, obstaja dodatna nevarnost naselitve in širitve tujerodnih invazivnih vrst (Kus Veenvliet in sod., 2019; Kermavnar & Kutnar 2024b).

Spremenjene razmere v slovenskih gozdovih in ogrožena njihova trajnost bodo zahtevale še večje napore in finančna vlaganja za blaženje posledic. Ob prilagajanju na spremenjene razmere in intenzivnejšo dinamiko z večjimi negativnimi posledicami bo potreben še bolj aktiven pristop pri reševanju tovrstne problematike.

Doc. dr. Lado Kutnar je doktor bioloških znanosti in univerzitetni dipl. inž. gozdarstva. Več kot tri desetletja je raziskovalec na Gozdarskem inštitutu Slovenije v Ljubljani, kjer se ukvarja z biotsko raznovrstnostjo, gozdni mi rastišči in tipologijo gozdov, ekologijo vegetacije in rastlin, negativnimi vplivi na gozdove in varstvom narave. Na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani je habilitiran z nazivom docent za področje Varstva narave in okolja. Je predavatelj na Visoki šoli za trajnostni razvoj v Kranju, visokošolski program Varstvo okolja, kjer sodeluje kot predavatelj predmeta Ohranjanje biotske raznovrstnosti, in kot mentor študentom. V bibliografskem sistemu COBISS ima dokumentiranih več kot 900 del, od tega blizu 200 znanstvenih, strokovnih in poljudnih člankov. Je soavtor 18 znanstvenih in strokovnih monografij ter 31 poglavij v znanstvenih in strokovnih monografijah. Na različnih znanstvenih in strokovnih srečanjih je sodeloval s skoraj 190 prispevki. Pripravil je tudi več učnih gradiv in bil (so)mentor pri doktorskih, magistrskih in diplomskih delih.

Dr. Valerija Babij je doktorica bioloških znanosti. Bila je raziskovalka na Biološkem inštitutu ZRC SAZU in kustosinja za botaniko v Prirodoslovnem muzeju Slovenije ter Alpskem botaničnem vrtu Juliana v Trenti. Trenutno je sodelavka sektorja za načrtovanje razvoja gozdov na Zavodu za gozdove Slovenije. Ukvarja se z raziskovanjem flore in vegetacije, ekologijo rastlin, gozdnimi rastišči in varstvom narave. Ima izkušnje s kartiranjem rastlinskih vrst in vegetacije, med drugim evropsko varstveno pomembnih gozdnih habitatnih tipov in slovenskih pragozdov. V bibliografskem sistemu COBISS ima dokumentiranih več kot 200 del, od tega okoli 40 znanstvenih, strokovnih in poljudnih člankov. Prevedla je dva botanična priročnika iz nemškega v slovenski jezik. Občasno sodeluje pri sečnji in spravilu v domačem gozdu, zato ima opravljen tečaj varnega dela z motorno žago.

Visoka šola za trajnostni razvoj, samostojni visokošolski zavod, Ljubljanska cesta 30, 4000 Kranj, Slovenija (Higher Vocational College for Sustainable Development, Independent Higher-Education Institution, Ljubljanska cesta 30, 4000 Kranj, Slovenia)

LITERATURA IN VIRI

Babij, V., Kutnar, L., Marinšek, A. Kermavnar, J., 2024. Gozdna tla in vegetacija eno leto po požaru na Goriškem Krasu = Forest soil and vegetation one year after the Goriški Kras fire. *Gozdarski vestnik*, letn. 82, št. 1, str. 3–23.

Baza podatkov ZGS, 1995–2024. Zavod za gozdove Slovenije, 2025.

Bertalančič, R., Dolinar, M., Draksler, A., Honzak, L., Kobold, M., Kozjek, K., Lokošek, N., Medved, A., Vertačnik, G., Vlahovič, Ž., Žust, A., 2018. Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja: sintezno poročilo. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 81 str. EEA, 2026. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). Version 5.2. European Environment Agency, <https://cices.eu/>

Dakskobler, I., Košir, P., Kutnar, L., 2013. Gozdovi plemenitih listavcev v Sloveniji: združbe gorskega javorja, gorskega bresta, velikega jesena, ostrolistnega javorja, lipe in lipovca. Ljubljana, Silva Slovenica, Zveza gozdarskih društev Slovenije - Gozdarska založba, 75 str.

Ficko, A., Poljanec, A., Bončina, A., 2011. Do changes in spatial distribution, structure and abundance of silver fir (*Abies alba* Mill.) indicate its decline?. *Forest Ecology and Management* 261, 4: 844–854. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.12.014>

Gregorčič, T., Rozman, A., Repe, B., 2023. Predicting the potential ecological niche distribution of Slovenian forests under climate change using MaxEnt modelling. *Acta Geographica Slovenica*, 63(1), 89–109. <https://doi.org/10.3986/AGS.11561>

Hanewinkel, M., Cullmann, D.A., Schelhaas, M.-J., Nabuurs, G.-J., Zimmermann, N.E., 2013. Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nat. Clim. Chang.* 3: 203–207. <https://doi.org/10.1038/nclimate1687>

Kermavnar, J., Kutnar, L., Pintar, A.M., 2023. Ecological factors affecting the recent *Picea abies* decline in Slovenia: the importance of bedrock type and forest naturalness. *iForest*, 16, 105–115. <https://doi.org/10.3832/ifor4168-016>

Kermavnar, J., Kutnar, L., 2024a. Three decades of understory vegetation change in *Quercus*-dominated forests as a result of increasing canopy mortality and global change symptoms. *Journal of Vegetation Science* 35, e13317. <https://doi.org/10.1111/jvs.13317>

Kermavnar, J., Kutnar, L., 2024b. Habitat degradation facilitates the invasion of neophytes: A resurvey study based on permanent vegetation plots in oak forests in Slovenia (Europe). *Plants* 13, 962. <https://doi.org/10.3390/plants13070962>

Komac, B., 2022. Veliki gozdni požari v Sloveniji. *Geografski vestnik* 94, 2: 21–43. <https://doi.org/10.3986/GV94202>

Kus Veenvliet J., Veenvliet P., de Groot M., Kutnar L. 2019. Terenski priročnik za prepoznavanje tujerodnih vrst v gozdovih. Ljubljana, Silva Slovenica, Gozdarski inštitut Slovenije, 202 str.

Kutnar, L., Zupančič, M., Robič, D., Zupančič, N., Žitnik, S., Kralj, T., Tavčar, I., Dolinar, M., Zrnec, C., Kraigher, H. 2002. Razmejitev provenienčnih območij gozdnih drevesnih vrst

v Sloveniji na osnovi ekoloških regij. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 67: 73–117.

Kutnar, L., Kobler, A., 2011. Prediction of forest vegetation shift due to different climate-change scenarios in Slovenia. *Šumarski list*, 135, 3/4: 113–126.

Kutnar, L., Kobler, A., Krajnc, N., Simončič, P. 2011. Prilaganje gospodarjenja z gozdovi podnebnim spremembam glede na pričakovane spremembe značilnosti in prostorske razporeditve gozdov: zaključno poročilo o rezultatih opravljenega raziskovalnega projekta v okviru Ciljnega raziskovalnega programa (CRP) »Konkurenčnost Slovenije 2006–2013«. Ljubljana: Gozdarski inštitut Slovenije, 30, 39, 31, 25 s.

Kutnar, L., Kobler, A., 2014. Possible impacts of global warming on forest tree species composition in Slovenia. V: Zlatič, M. (ur.), Kostadinov, S. (ur.). *Challenges: sustainable land management - climate change*. Reiskirchen: Catena Verlag, s. 221–230.

Kutnar, L., Kermavnar, J., Pintar, A.M., 2021. Climate change and disturbances will shape future temperate forests in the transition zone between Central and SE Europe. *Ann.*



VPLIV ONESNAŽENOSTI ZRAKA NA ZDRAVJE PREBIVALCEV IN MOŽNOSTI ZA TELESNO DEJAVNOST V URBANIH OKOLJIH

Avtor: mag. Muharem Husić; Visoka šola za trajnostni razvoj, Kranj
soavtor: dr. Darko Siuka, ; UKC Ljubljana

Povzetek

Onesnaženost zunanjega zraka v mestih predstavlja pomemben javnozdravstveni izziv, saj so prebivalci zaradi goste poselitve in bližine virov emisij (promet, ogrevanje, industrija) pogosto izpostavljeni povišanim koncentracijam onesnaževal. Prispevek je pregledne narave in povezuje evropski zakonodajni okvir na področju kakovosti zunanjega zraka ter njegovo implementacijo v Sloveniji s predstavitvijo glavnih plinskih in trdnih onesnaževal ter njihovih vplivov na zdravje ljudi.

Poseben poudarek je na stanju v Sloveniji v letu 2024, kjer so bila v uradnem poročanju izpostavljena preseganja pri delcih PM_{10} (dnevni kriterij) na posameznih merilnih mestih, preseganja ciljne letne

vrednosti benzo(a)pirena na izbranih lokacijah ter preseganja kriterija ciljne vrednosti ozona (3-letni kriterij) na več merilnih mestih. V razpravi so izpostavljeni sezonski vzorci (zima: delci/PAH; poletje: ozon), pomen monitoringa in obveščanja prebivalcev ter usmeritve za ukrepe, ki zmanjšujejo emisije pri viru in izpostavljenost ranljivih skupin.

Ključne besede: kakovost zraka, PM_{10} , benzo(a)piren, ozon, javno zdravje.

THE IMPACT OF AIR POLLUTION ON POPULATION HEALTH AND OPPORTUNITIES FOR PHYSICAL ACTIVITY IN URBAN ENVIRONMENTS

Abstract

Urban ambient air pollution remains a major public-health challenge because residents are repeatedly exposed to emissions from traffic, residential heating and other sources within dense built environments. This review summarises the European Union and Slovenian regulatory framework and outlines key gaseous and particulate pollutants together with their health implications. Particular attention is given to Slovenia in 2024, where official reporting highlighted exceedances of the PM_{10} daily criterion at selected monitoring sites, exceedances of the annual target value for benzo(a)pyrene at specific locations, and exceedances of the ozone health target criterion

(three-year metric) at several sites. The discussion emphasises seasonality (winter periods dominated by particles/PAHs and summer periods dominated by ozone), the role of monitoring and public communication, and priority measures that reduce emissions at the source and protect vulnerable groups while preserving opportunities for outdoor physical activity.

Keywords: air quality, PM_{10} , benzo(a)pyrene, ozone, public health.

1 UVOD

Onesnaženost zunanjega zraka pomeni prisotnost plinskih in trdnih snovi v koncentracijah, ki lahko škodujejo zdravju ljudi, pri čemer je problem v urbanih okoljih izrazitejši zaradi goste poselitve, več virov emisij (promet, ogrevanje, industrija) ter razmer, ki lahko omejujejo redčenje onesnaževal. Zdravstveno je pomemben ponavljajoč se stik prebivalcev z onesnaževali, kar se lahko kaže v več respiratornih simptomih, poslabšanih kroničnih boleznih ter povečani obremenitvi zdravstvenega sistema. Slovenija ima pri tem izrazit sezonski vzorec: v hladnem delu leta sta izrazitejša porazdelitev ter trajanje povišanih koncentracij delcev in z njimi povezanih spojin zaradi kurilne sezone in inverzij, v toplem delu leta pa porazdelitev ter trajanje ozona kot sekundarnega onesnaževala. Posebej ranljive so skupine, kot so otroci, starejši ter osebe z že prisotnimi respiratornimi ali srčno-žilnimi boleznimi, pri katerih so koristni ciljni preventivni ukrepi in pravočasno obveščanje ob onesnaženosti. Namen prispevka je pregledno predstaviti zakonodajni okvir EU in Slovenije, glavne vrste in vire onesnaževal ter ključne vplive na zdravje s poudarkom na stanju v Sloveniji v letu 2024, pri čemer podrobneje izpostavimo tista onesnaževala, pri katerih so bila zaznana preseganja oziroma neizpolnjevanje meril (ARSO, 2025; WHO, 2021).

V nadaljevanju najprej predstavimo zakonodajo in logiko standardov, nato pregled onesnaževal ter tabele mejnih/ciljnih in dejanskih vrednosti za Slovenijo 2024, nato vplive preseženih onesnaževal, razpravo in sklep s priporočili.

2 METODOLOŠKI PRISTOP

Prispevek temelji na pregledni analizi sekundarnih virov, zakonodaje EU in Slovenije ter javno dostopnih strokovnih poročil in podatkov (npr. ARSO). Uporabljen je deskriptivno-

-analitični pristop za sistematično predstavitev onesnaževal, virov, mejnih/ciljnih vrednosti in vplivov na zdravje, s poudarkom na interpretaciji preseganj in sezonskih značilnosti v Sloveniji (2024). Prispevek ne vključuje lastnih meritev ali epidemiološke analize, temveč sintezo citirane literature. V pregled so bili vključeni (i) uradni dokumenti in predpisi EU ter njihove nacionalne izvedbene podlage, (ii) letna poročila in javno objavljeni kazalniki državne merilne mreže za kakovost zraka (DMKZ) ter (iii) ključni zdravstveni in okoljski viri (npr. priporočila WHO, poročila EEA ter pregledni članki), ki obravnavajo vplive onesnaženosti zraka na dihala in širše sistemske učinke. Jedro pregleda je usmerjeno v slovenski kontekst za leto 2024, pri čemer so bile za ozon uporabljene tudi večletne primerjave, skladno z načinom ocenjevanja meril. Viri so bili izbrani glede na relevantnost za slovenski prostor, metodološko preglednost ter neposredno uporabnost za interpretacijo preseganj, sezonske porazdelitve ter trajanja povišanih koncentracij onesnaževal PM_{10} , BaP (v PM_{10}) in O_3 .

Zdravstvene ugotovitve so povzete previdno in predstavljene kot sinteza dokazov iz citirane literature, brez sklepov, ki bi presejali razpoložljive podatke.

3 ZAKONODAJA V EVROPSKI UNIJI (EU) IN SLOVENIJI

Zakonodajni okvir EU in Slovenije določa mejne in ciljne vrednosti onesnaževal, način spremljanja kakovosti zraka ter pripravo ukrepov, kar je podlaga za interpretacijo preseganj in načrtovanje ukrepov v urbanih okoljih.

3.1 Temeljna načela zakonodaje v EU

Evropska unija ureja kakovost zunanjega zraka z mejnimi in ciljnimi vrednostmi, metodami ocenjeva-

nja (meritve in dopolnilne ocene), obveznostmi poročanja ter ukrepanjem ob presežkih. Pomembna je prenovljena Direktiva (EU) 2024/2881, ki poleg standardov poudarja primerljivost podatkov, pripravo načrtov kakovosti zraka in kratkoročnih akcijskih načrtov ter dostop javnosti do informacij. Ob presežkih morajo države dokazljivo izvajati ukrepe, ki vodijo k doseganju skladnosti in k zmanjševanju izpostavljenosti prebivalcev (EU, 2024). Mejne in ciljne vrednosti so namenjene zmanjšanju izpostavljenosti in tveganja za obolenost ter prezgodnjo umrljivost. Ker so smernice WHO pogosto strožje od pravno zavezujočih vrednosti, so smiselni ukrepi tudi tam, kjer do formalnih preseganj ne prihaja. V praksi to pomeni kombinacijo zmanjšanja emisij pri viru in zmanjšanja izpostavljenosti (npr. urbanistično načrtovanje, upravljanje prometa, informiranje prebivalcev) (WHO, 2021; EEA, 2025).

3.2 Izvedba v Sloveniji in pomen preseganj

EU zahteve se v Sloveniji izvajajo z nacionalnimi uredbami in programi, ki določajo standarde, merilno mrežo, poročanje in ukrepanje. Ključna strokovna podlaga je državna merilna mreža ter letno poročilo o kakovosti zraka, ki omogoča pregled skladnosti, primerjavo med leti in identifikacijo kritičnih območij. Poročila praviloma povezujejo rezultate z viri emisij in meteorološkimi razmerami ter so izhodišče za ukrepe na državni in občinski ravni (ARSO, 2025). Kriteriji skladnosti se razlikujejo glede na onesnaževalo: pri PM_{10} se presoja dnevna mejna vrednost in dovoljeno število preseganj v koledarskem letu; pri benzo(a)pirenu ciljna letna vrednost, izražena kot letno povprečje v frakciji PM_{10} ; pri ozonu pa največja dnevna 8-urna srednja vrednost in dodatno večletni kriterij (3-letno povprečje). Zato ocena stanja temelji na kombinaciji povprečij, številu preseganj



in sezonski porazdelitvi ter trajanju povišanih koncentracij. Na podlagi opisanega okvira v nadaljevanju predstavljamo ključne vrste onesnaževal, njihove vire ter pregled preseganj in vplivov na zdravje v Sloveniji v letu 2024.

4 VRSTE, IZVIRI IN VPLIVI ONESNAŽENOSTI ZRAKA NA ZDRAVJE

Onesnaževala v zraku delimo na plinska in trdna ter na (primarna (neposredni izpusti v zrak) in sekundarna (nastanejo v kemijskih pretvorbah v atmosferi). Sekundarni procesi so pomembni pri ozonu in pri delu delcev (sekundarni aerosoli). Zdravstveni učinki so odvisni od koncentracije, trajanja izpostavljenosti ter občutljivosti populacije.

4.1 Plinska in trdna onesnaževala

V tabeli 1 so prikazana glavna plin-

ska in trdna onesnaževala iz tipičnih virov in splošnih vplivov na zdravje.

4.2 Vrste in viri onesnaževal, mejne in ciljne vrednosti ter dejanske vrednosti

Tabela 2 povzema ključne mejne/ciljne vrednosti ter dejanske rezultate in preseganja za Slovenijo v letu 2024 na podlagi uradnega poročanja (ARSO, 2025). V letu 2024 so bila izpostavljena preseganja pri PM₁₀ (dnevni kriterij) (slika 1) in benzo(a)pirenu (ciljna letna vrednost) (slika 2), pri ozonu pa preseganje kriterija ciljne vrednosti za varovanje zdravja (3-letni kriterij) na več lokacijah (slika 3).

V nadaljevanju podrobneje obravnavamo vplive na zdravje predvsem pri PM₁₀, benzo(a)pirenu in ozonu, saj ti v uradnih rezultatih izstopajo glede na kriterije skladnosti (ARSO, 2025).

Pregled kazalnikov za leto 2024 kaže, da se problematika kakovosti

zraka v Sloveniji izraža predvsem sezonsko: v hladnem delu leta prevladujeta delci (PM₁₀) in benzo(a)piren (BaP) zaradi kombinacije emisij iz kurilnih naprav ter meteoroloških razmer, ki omejujejo redčenje zraka, v toplem delu leta pa je v ospredju ozon (O₃) kot sekundarno onesnaževalo, povezano s fotokemičnimi procesi in prisotnostjo predhodnikov ozona (NO_x in VOC). Takšna sezonska porazdelitev ter trajanje povišanih koncentracij sta pomembna za usmerjanje ukrepov: pozimi v zmanjšanje emisij pri viru in zaščito ranljivih skupin, poleti pa v obvladovanje predhodnikov ozona in pravočasno obveščanje prebivalstva.

4.3 Vplivi na zdravje - poudarek na preseženih parametrih v Sloveniji 2024

V nadaljevanju je podana interpretacija zdravstvenih učinkov preseženih onesnaževal PM₁₀, BaP in O₃. Kronična obstruktivna pljučna bole-

Onesnaževalo	Tipični viri v urbanem okolju	Splošni vplivi na zdravje (kratko)
žveplov dioksid (SO ₂)	zgorevanje goriv z žveplom; industrija	draženje sluznic; bronhokonstrikcija
dušikovi oksidi (NO _x) / dušikov dioksid (NO ₂)	promet; kurjenje; industrija	draženje dihal; poslabšanje astme; predhodnik O ₃ /sek. delcev
ogljikov dioksid (CO ₂)	promet; energetika; ogrevanje	podnebni kazalnik zgorevanja; posreden pomen za ukrepe
ozon (O ₃)	sekundarno: iz NO _x + VOC ob soncu	akutni respiratorni učinki; poletne porazdelitve in trajanje
lahkohlapne organske spojine (VOC)	topila; hlapi goriv; promet; industrija	nekateri toksični; ključni predhodnik O ₃
delci (PM ₁₀)	ogrevanje; promet (obraba/resuspenzija); industrija	respiratorni učinki; poslabšanja
drobni delci (PM _{2.5})	zgorevanje; sekundarna tvorba	sistemske učinki; kardiovaskularno tveganje
benzo(a)piren (BaP) in policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH)	nepopolno zgorevanje (les); lokalni viri	dolgoročna tveganja; BaP marker PAH

Tabela 1: Pregled glavnih onesnaževal, tipičnih virov in splošnih vplivov na zdravje (Vir: lastni na podlagi citirane literature)

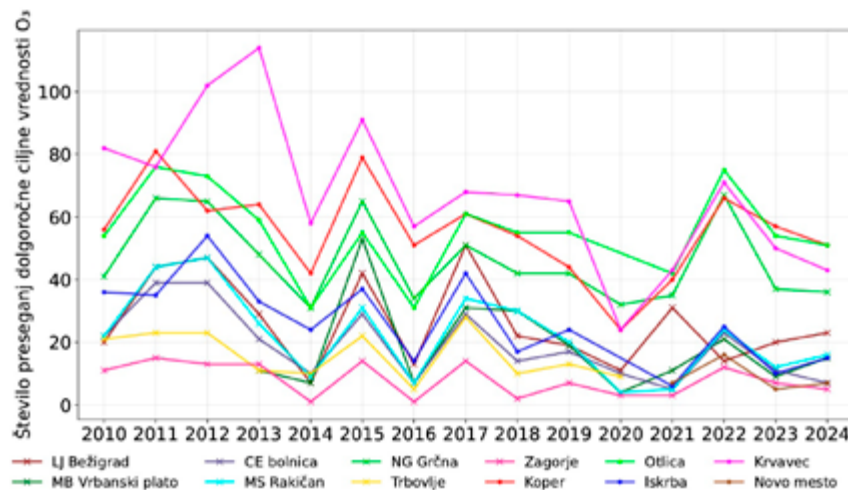
Onesnaževalo	Mejna/ciljna vrednost	Kriterij	Preseženo v SLO 2024	Sezona
PM ₁₀	50 µg/m ³ ; max 35 dni/leto	24-urno (dnevno) povprečje; št. dni s preseganjem	Ljubljana Center 49; Črnomelj 39; Črna 37	Zima
BaP (v PM ₁₀)	1 ng/m ³ (cilj)	letno povprečje	Celje bolnica 1,7; Črnomelj 2,6	Zima
O ₃	120 µg/m ³ (cilj)	maks. 8-urna; 3-letni kriterij	Koper; Nova Gorica-Grčna; Otlica; Krvavec	Poletje

Tabela 2: Presežena onesnaževala v Sloveniji v letu 2024 (Vir: ARSO, 2025)

zen (KOPB). Povišane ravni PM_{10} so povezane z draženjem in vnetjem dihalnih poti ter poslabšani astme in KOPB (slika 1). Kratkoročno se lahko povečajo simptomi, uporaba zdravil in zdravstvene obravnave, zato so ob sezonski porazdelitvi ter trajanju povišanih koncentracij ključni ukrepi pri viru in učinkovito obveščanje prebivalcev. Posebej ranljive so skupine z že obstoječimi respiratornimi ali srčno-žilnimi boleznimi (WHO, 2021; EEA, 2025).

Preseganje ciljne vrednosti benzo(a)pirena kaže na povečano izpostavljenost markerju PAH v kurilni sezoni. Poudarek je na dolgoročni izpostavljenosti in zmanjšanju emisij iz nepopolnega zgorevanja (npr. zamenjava zastarelih naprav, pravilno kurjenje, kakovost goriva), ob tem pa tudi na priporočilih za ranljive skupine v času trajanja povišanih koncentracij (slika 2) (EU, 2004; ARSO, 2025).

Ozon povzroča akutne respiratorne učinke (draženje, kašelj, zmanjšanje



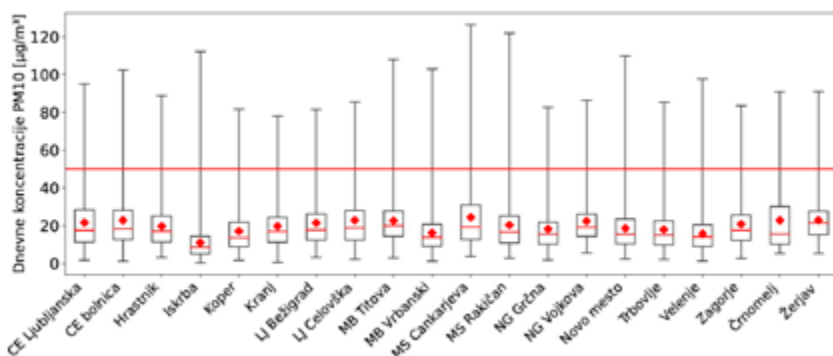
Slika 3: Preseganja 8-urne ciljne vrednosti za ozon na merilnih mestih DMKZ v obdobju 2010–2024 (Vir: ARSO, 2025)

pljučne funkcije) in lahko zmanjša toleranco napora (slika 3). Ker je ozon pogosto regionalno pogojen, so poleg lokalnih ukrepov pomembne strategije zmanjšanja predhodnikov ozona (NO_x in VOC) ter priporočila ob poletnem trajanju povišanih koncentracij, zlasti za ranljive skupine (WHO, 2021), (Bell et al., 2004).

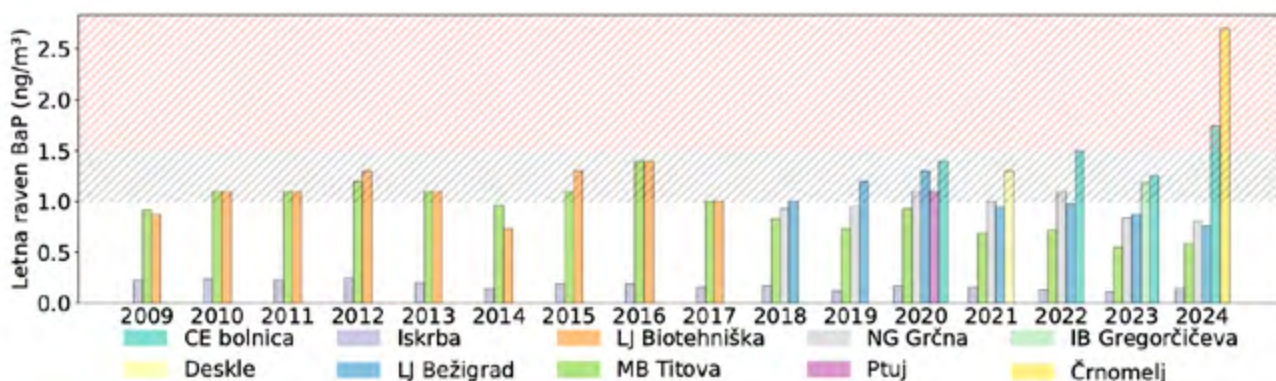
Zimske porazdelitve in trajanje povišanih koncentracij so v Sloveniji povezani predvsem z delci in PAH (vključno z BaP), poletne pa z ozonom. Takšna sezonskost omogoča ciljno načrtovanje ukrepov in komunikacije tveganj (ARSO, 2025).

Telesna dejavnost: Hoja, kolesarjenje, tek in rekreacija v urbanih zelenih površinah. Opozorila o onesnaženosti lahko zmanjšajo čas bivanja na prostem in motivacijo za gibanje. Pomembna sta jasna komunikacija tveganj ter usmerjanje prebivalcev k manj izpostavljenim lokacijam in ustreznemu času aktivnosti, brez odvrčanja od rednega gibanja.

Tabela 3 povzema povezave med viri, preseženimi onesnaževali, izpostavljenostjo in ključnimi zdravstvenimi učinki v Sloveniji (2024). V zimskem delu leta sta povišani koncentraciji PM_{10} in BaP pove-



Slika 1: Dnevne vrednosti PM_{10} na merilnih mestih DMKZ v letu 2024 (primerjava z dnevno mejno vrednostjo) (Vir: ARSO, 2025)



Slika 2: Povprečne letne ravni benzo(a)pirena na izbranih merilnih mestih po letih; ciljna vrednost 1 ng/m^3 (Vir: ARSO, 2025).



Sezona	Vir	Onesnaževalo	Izpostavljenost	Učinki
PM ₁₀ (Zima)	mala kurišča; promet/ resuspenzija	PM ₁₀	zimске inverzije; doline; urbana območja	respiratorni učinki; poslabšanja; ranljive skupine
BaP (Zima)	nepopolno zgorevanje biomase (kurilna sezona)	BaP (v PM ₁₀)	dolgotrajnejša zimska izpostavljenost; lokalna žarišča (kurilna sezona)	dolgoročno (kronično) tveganje; ranljive skupine
O ₃ (Poletje)	NO _x + VOC + sonce (fotokemija)	O ₃ (sekundarno)	poletna porazdelitev in trajanje; popoldne; regionalno	akutno draženje dihal; manjša toleranca napora

Tabela 3: Shema povezav vir - onesnaževalo - izpostavljenost - zdravstveni učinki ter sezonski vzorec (zima: PM₁₀/BaP; poletje: O₃) (Vir: lastna izdelava)

zani predvsem z emisijami malih kurišč (ter deloma s prometom in resuspenzijo) in z razmerami, ki lahko podaljšajo trajanje povišanih koncentracij (npr. inverzije in slabše zračenje v dolinah ter urbanih območjih). V poletnem delu leta je v ospredju O₃ kot sekundarno onesnaževalo, kjer na porazdelitev ter trajanje povišanih koncentracij vplivajo fotokemični procesi in prisotnost predhodnikov ozona (NO_x in VOC). Shema zato podpira interpretacijo, da se ukrepi in priporočila za prebivalce smiselno razlikujejo glede na sezono in prevladujoče onesnaževalo.

5 RAZPRAVA

V razpravi interpretiramo ugotovljena preseganja v letu 2024 po sezonah in lokacijah ter izpostavimo ključne ukrepe, način spremljanja (monitoring) in omejitve analize.

5.1 Interpretacija preseganj

Podatki za 2024 potrjujejo lokalno in sezonsko problematiko: zimске prekoračitve pri delcih in BaP ter poletna porazdelitev in trajanje onesnaževanja z ozonom. To zahteva ciljno načrtovanje ukrepov po virih in obdobjih ter spremljanje trendov (ponavljanje porazdelitve in trajanja na istih lokacijah ter število dni preseganj) (ARSO, 2025).

5.2 Ukrepi, monitoring in omejitve

Najbolj učinkoviti so ukrepi pri viru: čistejšo ogrevanje in zmanjšanje

emisij iz prometa, dopolnjeno z urbanističnimi rešitvami, ki zmanjšujejo izpostavljenost ob prometnicah. Za ozon so ključni ukrepi, ki zmanjšujejo predhodnike ozona (NO_x/VOC) na širšem območju, saj je ozon pogosto regionalno pogojen. Monitoring omogoča pravočasno obveščanje, zaščito ranljivih skupin in vrednotenje učinkovitosti ukrepov. Pomembna so jasna, razumljiva sporočila o tveganju ter priporočila, ki omogočajo prilagoditev vedenja ob porazdelitvi in trajanju brez nepotrebnega zmanjšanja telesne dejavnosti. Prispevek je pregleden in temelji na javno dostopnih poročilih ter literaturi; ne vključuje lastne kvantitativne analize izpostavljenosti ali zdravstvenih izidov na ravni posameznih območij. Prioritete so ukrepi v kurilni sezoni (PM/BaP), ukrepi za zmanjšanje predhodnikov ozona (NO_x/VOC) ter integracija okoljskih in javnozdravstvenih pristopov na državnih in občinskih ravni. Poseben poudarek je na zaščiti ranljivih skupin in na kakovostni komunikaciji tveganj.

6 ZAKLJUČEK

Onesnaženost zunanega zraka v mestih predstavlja pomemben javnozdravstveni izziv, saj so prebivalci zaradi goste poselitve in bližine glavnih virov emisij (promet, ogrevanje, industrija) pogosto izpostavljeni povišanim koncentracijam onesnaževal.

V Sloveniji so bila v letu 2024 v uradnem poročanju izpostavljena

preseganja PM₁₀ (dnevni kriterij) na posameznih merilnih mestih, preseganja ciljne letne vrednosti benzo(a)pirena (BaP) na izbranih lokacijah ter preseganja kriterija ciljne vrednosti ozona (3-letni kriterij) na več merilnih mestih (ARSO, 2025).

Najbolj učinkoviti so ukrepi pri viru onesnaženja: v hladnem delu leta predvsem zmanjšanje emisij iz ogrevanja in lokalni ukrepi za zmanjševanje delcev, v toplem delu leta pa zmanjšanje predhodnikov ozona (NO_x/VOC), pri čemer je pomembno tudi pravočasno obveščanje prebivalcev ob ozonskih epizodah ter njihovem trajanju. Celoletno ostajajo ključni stabilen monitoring, transparentno poročanje in ciljno komuniciranje za ranljive skupine.

Dodana vrednost prispevka je povezava zakonodaje, slovenskih podatkov (2024) in zdravstvenih implikacij v sezonskem okviru, kar podpira ciljno ukrepanje. Nadaljnje delo naj se usmeri v lokalne ocene izpostavljenosti ter v vrednotenje učinkov ukrepov na zdravje in vedenje.

mag. Muharem Husić, univ. dipl. inž. kem. teh. se je februarja 2018 upokojil po 40,5 letih delovne dobe. Poklicno pot je začel v kemični tovarni Melamin v Kočevju, kjer je delal štiri leta, nato je kar 36,5 let deloval na Kemijskem inštitutu v Ljubljani. V svoji bogati karieri je objavil 120 znanstvenih in strokovnih del ter tri recenzirane univerzitetne oziroma višješolske učbenike: Ergonomija in varstvo pri delu (2010), Ekologija (2011) in Odvajanje in čiščenje odpadnih vod (2015). Prav tako je avtor oziroma soavtor sedmih nerecenziranih učnih gradiv, ki so vključena v bazo COBISS. Kot mentor je vodil 55 diplomskih del, ki so prav tako evidentirana v bazi COBISS.

Soavtor **doc. dr. Darko Siuka** je diplomiral na Medicinski fakulteti v Ljubljani in leta 2015 opravil specialistični izpit iz gastroenterologije. Doktorski študij je zaključil na isti fakulteti, in sicer smer Biomedicina, usmeritev Socialna medicina. Po opravljeni specializaciji je začel delo specialista gastroenterologa na KO za gastroenterologijo UKC Ljubljana. V vseh letih je prostovoljno sodeloval pri ozaveščanju slovenske javnosti o pomenu preventive pri preprečevanju organskih in funkcionalnih bolezni prebavil s pomočjo spletnih, pisanih, radijskih in televizijskih medijev. V letu 2020 je aktivno sodeloval pri ozaveščanju slovenske in delno tudi mednarodne javnosti o covidu-19.

Opomba o uporabi umetne inteligence

Pri pripravi prispevka je bila uporabljena umetna inteligenca ChatGPT kot podporno orodje za generiranje idej, orientacijsko iskanje virov in povzemanje informacij. Generirana besedila niso bila uporabljena neposredno; končne trditve, številke in zaključki so bili kritično preverjeni in utemeljeni z originalnimi, citiranimi viri.

OpenAI. (2026). ChatGPT [generativni jezikovni model]. Pridobljeno 29. januarja 2026 s <https://chatgpt.com/>

LITERATURA IN VIRI

Agencija Republike Slovenije za okolje. (2025). Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2024: Letno poročilo. https://hmljn.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Letno_porocilo_2024_za_splet.pdf

Bell, M. L., McDermott, A., Zeger, S. L., Samet, J. M., & Dominici, F. (2004). Ozone and short-term mortality in 95 US urban communities, 1987–2000. *JAMA*, 292(19), 2372–2378. <https://doi.org/10.1001/jama.292.19.2372>

European Environment Agency. (2025). Air quality status report 2025. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/air-quality-status-report-2025>

European Parliament and the Council. (2004). Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2004/107/oj/eng>

European Parliament and the Council. (2024). Directive (EU) 2024/2881 of the European Parliament and of the Council of 23 October 2024 on ambient air quality and cleaner air for Europe (recast). Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/2881/oj/eng>

Hoek, G., Krishnan, R. M., Beelen, R., Peters, A., Ostro, B., Brunekreef, B., & Kaufman, J. D. (2013). Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: A review. *Environmental Health*, 12, 43. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-43>

Pope, C. A., III, & Dockery, D. W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(6), 709–742. <https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485>

World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/551b515e-2a32-4e1a-a58c-cdaecd395b19/content>

ANALIZA OKOLJSKIH VPLIVOV V PRIDELAVI MLEKA

dr. Marijan Pogačnik, Visoka šola za trajnostni razvoj, Kranj

Povzetek

Kmetijstvo je eden ključnih sektorjev pri uresničevanju ciljev trajnostnega razvoja, hkrati pa pomemben vir okoljskih obremenitev, zlasti emisij toplogrednih plinov, obremenjevanja vodnih virov in degradacije tal. Namen prispevka je analizirati glavne okoljske vplive kmetijske dejavnosti s poudarkom na okoljski učinkovitosti porabe krme v ekološko usmerjeni mlečni proizvodnji. Zaradi omejene razpoložljivosti internih podatkov so bili podatki o porabi energije, vode in organskih gnojil povzeti iz relevantne literature. Okoljska učinkovitost porabe krme je bila ocenjena z uporabo kazalnika energijske učinkovitosti, izražena kot poraba neto energije za laktacijo (NEL) na kilogram energijsko korigiranega mleka (MJ NEL/kg ECM) ter obratnega kazalnika (ECM/NEL). Analiza je zajela obdobje 2009–2025 in temelji na lastnih podatkih o prireji mleka, sestavi krme in energijski vrednosti krme. Rezultati

kažejo izrazito medletno variabilnost energijske učinkovitosti, z vrednostmi med 4,1 in 15,1 MJ NEL/kg ECM. Najvišja učinkovitost je bila dosežena leta 2020, kar sovпада z visoko prirejo ECM in relativno nizko porabo krmne energije. Nasprotno so bila nekatera leta zaznamovana z nižjo učinkovitostjo, verjetno zaradi slabše kakovosti voluminozne krme in omejitev pri spremljanju porabe krme. Povprečna vrednost kazalnika ECM/NEL ($\approx 0,16$ kg ECM/MJ NEL) kaže na zmerno dobro učinkovitost, značilno za ekološke mlečne kmetije v Evropi.

Ključne besede: trajnostno kmetijstvo, mlečna proizvodnja, energetska učinkovitost krme, okoljska učinkovitost.

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL IMPACTS IN MILK PRODUCTION

Abstract

Agriculture is a key sector in achieving the goals of sustainable development, while simultaneously representing a significant source of environmental pressures, particularly greenhouse gas emissions, water pollution, and soil degradation. The aim of this study is to analyse the main environmental impacts of agricultural production, with a specific focus on feed-use efficiency in organically oriented dairy farming. Due to limited availability of internal farm data, information on energy, water, and organic fertiliser use was derived from relevant scientific literature. Feed-use efficiency was assessed using an energy efficiency indicator expressed as net energy for lactation (NEL) per kilogram of energy-corrected milk (MJ NEL/kg ECM), along with its inverse indicator (ECM/NEL). The analysis covered the period from 2009 to 2025 and

was based on farm-specific data on milk production, feed composition, and feed energy values. The results indicate substantial interannual variability in energy efficiency, with values ranging from 4.1 to 15.1 MJ NEL/kg ECM. The highest efficiency was observed in 2020, coinciding with high ECM yield per cow and relatively low total feed energy input. In contrast, several years exhibited lower efficiency, likely due to reduced forage quality, variability in lactation stage, and limitations in accurately monitoring feed intake. The average ECM/NEL value of approximately 0.16 kg ECM/MJ NEL reflects a moderately good level of efficiency, typical of organic dairy farms in the European context.

1 UVOD

Kmetijstvo ima pomembno vlogo pri zagotavljanju prehranske varnosti, hkrati pa predstavlja enega večjih pritiskov na okolje. Glavni okoljski vplivi vključujejo emisije toplogrednih plinov, onesnaževanje vodnih virov z nitrati in drugimi polutanti, degradacijo tal ter intenzivno rabo energije in naravnih virov. V kontekstu ciljev trajnostnega razvoja in evropskih okoljskih politik postaja kvantitativno vrednotenje teh vplivov ključno orodje za oblikovanje učinkovitih ukrepov v kmetijski praksi. Namen prispevka je analizirati ključne okoljske vplive kmetijske proizvodnje z uporabo znanstveno uveljavljenih metod ter predstaviti razpoložljive podatkovne vire, ki omogočajo objektivno in primerljivo oceno vplivov.

V slovenskem kmetijstvu energija predstavlja pomemben vhod z okoljskimi vplivi. Največji delež porabe energije predstavlja plinsko olje za pogon kmetijskih strojev (59 %), sledita energija za proizvodnjo mineralnih dušikovih gnojil (34,7 %) in električna energija (3,7 %). Poraba plinskega olja se je v zadnjem desetletju bistveno spremenila, kar kaže na vztrajne potrebe po fosilnih gorivih in strojni mehanizaciji (SURs, 2026).

Po podatkih *Statističnega urada Republike Slovenije* je bila skupna poraba mineralnih gnojil v letu 2024 ocenjena na približno 119.000 ton (t), od tega 25.595 t N (61 kg/ha) 7.627 t P₂O₅ (25 kg/ha) in 8.970 t K₂O (30 kg/ha); (SURs, 2026).

Ti vnosi gnojil so pomemben kazalnik okoljskega tveganja, ker lahko prispevajo k emisijam N₂O (podnebni plin), izpiranju nitratov v vodne sisteme in evtrofikaciji površinskih voda (Smith et al., 2020).

Po podatkih *Evropske okoljske agencije (EEA) kmetijstvo* v EU prispeva k izpustom metana (CH₄) in didušikovega oksida (N₂O) — zlasti iz enterične fermentacije in tal — ki

predstavljata skupaj približno 79 % emisij kmetijskega sektorja; metan iz enterične fermentacije znaša približno 49 %, N₂O iz tal pa približno 30 % celotnih emisij v kmetijstvu (European Environment Agency, 2024). Skupne emisije kmetijstva v EU so med letoma 2005 in 2023 upadle za približno 6 %, s projekcijami dodatnega približno 10 % zmanjšanja do leta 2030 glede na 2005, če se izvajajo trenutno predvideni ukrepi (Peer et al., 2020).

V Evropski uniji (EU) je trajnostni razvoj kmetijstva umeščen v širši okvir okoljske in podnebne politike. Kmetijski sektor je pri tem vključen v evropske cilje zmanjševanja emisij toplogrednih plinov, ki predvidevajo vsaj 55-odstotno zmanjšanje emisij do leta 2030 glede na leto 1990 ter doseganje podnebne nevtralnosti do leta 2050. Ti cilji se uresničujejo z različnimi politikami in mehanizmi, ki spodbujajo zmanjševanje emisij ter prehod na bolj trajnostne kmetijske prakse (Lynch et al., 2021).

Globalno kmetijstvo prispeva znatne okoljske obremenitve. Na podlagi literature (Ritchie et al., 2026) je približno četrtnina (povprečno 25 %) svetovnih antropogenih emisij toplogrednih plinov povezana s pridelavo hrane, kar vključuje emisije iz tal, gnojil, živinoreje, premikov tal in rabe energije. Poleg tega polovica bivalnih površin planeta (približno 30 % celotne kopne površine) neposredno služi kmetijstvu, kar kaže na ogromno rabo zemljišč in s tem povezane pritiske na biodiverzitetu in ekosistemske storitve (Wilkes et al., 2020).

Kmetijstvo je tudi globalno največji uporabnik naravnih virov, z izrazitimi vplivi na vode (velike količine namakalne vode in hranil, ki povzročajo evtrofikacijo), tla (degradacija, erozija) in zrak (emisije CH₄, N₂O); (FAO, 2023).

2 PREGLED RAZISKAV

Baldini s sodelavci (Baldini C. et al., 2020) je ocenjeval z uporabo največjih emisijskih faktorjev (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) v Evropi in Ameriki več kot 70 LCA (Life Cycle Assessment) študij mlečne proizvodnje z namenom analizirati metodološke razlike med študijami, oceniti razpon okoljskih vplivov in identificirati ključne vire povzročanja okoljskih vplivov pri mleku. Ugotovili so, da je razpon emisij toplogrednih plinov 0,9–2,0 kg CO₂-e/kg mleka oz. pri ECM od 0,8–1,4 kg CO₂-e/kg (Evropa). Povprečne emisije pri enterični fermentaciji (razgradnja hrane v vampu živali); (CH₄) je 45–55 %, pri tleh in gnojilih (N₂O) je 25–35 %, pri krmi in energiji pa 10–20 %. Ugotovili so, da je LCA metoda za mleko zelo občutljiva na metodološke izbire, ekološko pridelovanje ima nižje vplive na hektar površine, enake ali višje pri preračunu na kg mleka. Pomembno je uporabljati standardne metode izračuna, kot npr. **PEFCR (Product Environmental Footprint Category Rules)**.

Van Selm s sodelavci (2021) je izdelal empirično primerjalno študijo pri ekoloških in konvencionalnih mlečnih kmetijah z namenom razjasniti vpliv sistema pridelave in vpliv funkcionalne enote na rezultate. Uporabili so LCA metodo po ISO 14040/44 za 1 kg ECM in 1 ha kmetijskih površin za analizo vseh okoljskih vplivov, emisije CH₄ in N₂O (IPCC), od proizvodnje do trenutka, ko kmetijski proizvod zapusti kmetijo (*Cradle-to-farm-gate*). Ugotovili so da imajo konvencionalne kmetije od 1,1–1,3 kg CO₂-e/kg ECM ogljičnega odtisa za standardizirano mleko, ekološke kmetije pa 1,2–1,4 kg CO₂-e/kg ECM. Ekološke kmetije imajo v povprečju za 5–15 % višji ogljični odtis na kg standardnega mleka, imajo pa 20–30 % nižje emisije na ha zaradi manjše porabe mineralnih gnojil in več travinja.



Roos s sodelavci (2022) je pregleдал okoljske vplive različnih živalskih proizvodov pri več kot 100 študijah, ki so analizirali živalske proizvode mleko ter meso goved, svinjine in perutnine. Poudarek je bil na metanu, rabi tal in krmi. Emisija TPG pri mleku je bila v povprečju v razponu od 0,8–1,5 kg CO₂-e/kg ECM, pri čemer je bila Evropa v spodnjem delu razpona. Pri mleku je metan (CH₄) glavni vir vpliva, pri krmi je ključna raba tal in evtrofikacija, medtem ko je energija sekundarnega pomena. Študija ugotavlja, da ima živinoreja visok absolutni vpliv, a obstajajo velike razlike med proizvodi, mleko ima bistveno nižji ogljični odtis kot govedina. Prav tako lahko tehnološke in upravljalvske izboljšave primerno zmanjšajo vplive na okolje.

Leip s sodelavci (2021) je proučeval dušikov odtis (N-odtis) pri kmetijski proizvodnji, pri predelavi in porabi hrane prebivalstva. Za študijo so bili osnova statistični podatki EU, za izračun so bili uporabljeni IPCC faktorji. Rezultati so bili izraženi v kg izgubljenega N/kg proizvoda in kg N/osebo/leto. Ugotovili so, da je povprečen prebivalec EU odgovoren za 18–20 kg izgubljenega N/osebo/leto, od tega 80 % izgub nastane v kmetijstvu. N-odtis je pri mleku: 0,02–0,03 kg izgubljenega N/kg mleka, pri mesu goveda: 0,3–0,6 kg N/kg mesa, pri žitu: 0,01–0,02 kg N/kg proizvoda. Rezultati so pokazali že znano dejstvo, da imajo živinorejski proizvodi višji N-odtis kot rastlinski, zato so izzive v izboljšanju učinkovitosti rabe dušika (NUE), kakor tudi v zmernem uživanju mesa.

Huygens s sodelavci (2022) je naredil študijo okoljskih vplivov rabe dušika v kmetijstvu: emisije N₂O, izpiranje nitratov, emisijah NH₃ in povezave z LCA in okoljskimi politikami. Uporabil je sintezo empiričnih študij, biogeokemijskih modelov in IPCC inventarjev za uporabo dušikovih bilanc in kvantifikacija vplivov po tokovih dušika. Ključne ugotovitve so bile, da je povprečna

NUE v kmetijstvu od 40–60 %, kar pomeni, da se od 40–60 % vnosa N izgubi v okolje. Pri posameznih emisijah to pomeni izgube ~1 % uporabljenega N → N₂O–N (IPCC EF1), 20–30 % N → izpiranje nitratov in od 20–40 % N iz gnoja → NH₃. Kljub razmeroma majhnim masnim tokovom ima didušikov oksid (N₂O) pomemben podnebni vpliv, saj predstavlja približno 6–7 % globalnih emisij toplogrednih plinov iz kmetijstva. Zato je raba dušika eden največjih okoljskih izzivov kmetijstva in zato je nujna integracija N-bilanc v LCA. S pametnim načrtovanjem lahko zmanjšamo izgube za 20–50 %.

Dalgaard s sodelavci (2021) je analiziral uporabnost hranilnih bilanc kot kazalnikov okoljskih izgub dušika ter povezavo med presežkom N in dejanskimi emisijami kakor tudi primernost bilanc za politike in prakso. Uporabili so metodologijo analize N-bilanc na ravni kmetije in regije, pri čemer so naredili meritve N₂O in koncentracijami NO₃⁻ v vodi ter jih primerjali z EU podatki. Ključne ugotovitve so bile, da so povprečni presežki dušika od 50–200 kg N/ha/leto, v intenzivnih sistemih pa tudi nad 250 kg N/ha. V povezavi z okoljskimi izgubami N presežek ni neposredna emisija, je pa zanesljiv kazalnik tveganja. Višji presežki namreč eksponentno povečajo verjetnost izpiranja in količino N₂O. Na podlagi teh izsledkov so ugotovili, da se N-bilance ne smejo interpretirati kot točne emisije, so pa robusten kazalnik za upravljanje in politiko. Najboljša pa je kombinacija bilanc in LCA, kjer lahko boljše interpretiramo podatke.

3 METODOLOGIJA

Metodologija temelji na kombinaciji analize življenjskega cikla (LCA) in uporabi izbranih okoljskih kazalnikov. Analiza je izvedena na ravni kmetijskega gospodarstva oziroma proizvodnega sistema na področju pridelave mleka. Zaradi obsežnosti raziskave in pomanjkljivih podatkov

smo se osredotočili le na izračun vpliva krme, medtem ko smo pri ostalih podatkih prikazali metodologijo. Funkcionalne enote so izražene na hektar kmetijske površine, na enoto proizvoda ter na enoto živali (GVŽ).

Analiza življenjskega cikla se opravlja v skladu z ISO 14040 in ISO 14044. Izbrane metodološke postavke so skladne s priporočili dokumenta *Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR)* za mlečne izdelke (European Commission – JRC, 2023), kar zagotavlja primerljivost rezultatov. Metoda je bila razvita v Evropski komisiji v okviru metodologije PEF (*Product Environmental Footprint*), ki zagotavlja, da so okoljski odtisi istovrstnih proizvodov primerljivi, ponovljivi in metodološko dosledni.

Pri izračunu emisij toplogrednih plinov (TGP) so uporabljeni emisijski faktorji v skladu z metodologijo IPCC (Tier 1 in Tier 2) (IPCC, 2006; IPCC, 2019). Pri oceni hranilnih tokov so uporabljene bilance dušika in fosforja, raba energije in vode pa sta analizirani z uporabo standardiziranih kazalnikov intenzivnosti (IPCC, 2006; IPCC, 2019).

Analiza snovnih tokov (Material Flow Analysis – MFA) je bila uporabljena za kvantifikacijo tokov dušika in fosforja na ravni kmetije, pri čemer so bili upoštevani vsi relevantni vnosi, iznosi in spremembe zalog v enoletnem obdobju.

Pri dušiku lahko računamo tudi »dušikov odtis« (*Nitrogen Footprint*), kar pomeni izračun skupne količine reaktivnega dušika (Nr), izgubljenega v okolje kot posledica proizvodnje in porabe določenega proizvoda, dejavnosti ali prehranskega sistema. Vključuje izgube v obliki: NH₃ (amonijak), N₂O (didušikov oksid), NO₃⁻ (nitriti), NO_x.

NUE je izražen v kg izgubljenega N/f NUE (*Nitrogen Use Efficiency*), pomeni učinkovitost rabe dušika (iznos/vnos). Gre za ključni agro-

nomski in okoljski kazalnik, ki opisuje, kako se učinkovito v kmetijski pridelavi pretvori vneseni dušik v proizvode, hkrati pa posredno kaže na okoljsko obremenitev. To pomeni iznosi dušika v proizvodih (mleko, meso, pridelki) in vnosi dušika v sistem (gnojila, krma, fiksacija), izražamo v deležu (O-1) ali v odstotku (%).

Izraz »Hot-spot« je dejavnost ali vhod v sistemu, ki nesorazmerno prispeva k skupnemu okoljskemu vplivu, v LCA analizi to pomeni, da majhen del sistema povzroča velik delež emisij ali vplivov.

ECM pomeni energijsko korigirano mleko (*Energy-Corrected Milk*). Gre za standardiziran način izražanja količine mleka, ki upošteva njegovo energijsko vrednost, predvsem vsebnost maščob in beljakovin. ECM se uporablja zato, da so primerjave okoljskih vplivov (npr. kg CO₂-e/kg mleka) med različnimi kmetijami in sistemi znanstve-

no korektne in primerljive. ECM je standardizirana merska enota mleka, ki upošteva vsebnost maščob in beljakovin ter omogoča znanstveno primerljivo izražanje okoljskih vplivov mlečne proizvodnje.

4 REZULTATI

Zaradi pomanjkanja podatkov smo se v tej raziskavi osredotočili na porabo krme, medtem ko smo za porabo energije (plinskega olja in elektrike), vode in organskih gnojil navedli le povprečne podatke iz literature. Vzrok temu je, da nimamo beleženih internih podatkov za porabo energije in vode, zato to porabo lahko le ocenjujemo. Pri organskih gnojilih za gnojenje večinoma uporabljamo le gnojevko, za katero nimamo sistematičnega zbiranja in beleženja. Podatke sicer zbiramo na letni ravni zaradi nitratne direktive, vendar nimamo celotnega zbira podatkov za dobo desetih let.

ECM mleko (kg)=0,327×M+12,95×F kg+7,2×P kg, kjer je F količina ma-

ščobe (kg/leto), P je količina beljakovin (kg/leto)

Energijska vrednost krme je bila izražena kot neto energija za laktacijo (NEL- Net Energy for Lactation, MJ NEL/kg suhe snovi) v skladu z evropskimi priporočili (INRA, 2018).

Izračuni: SS (kg)=sveža masa (kg) x delež SS, Energija (MJ NEL)=kg SS x MJ NEL/kg SS

Energetska učinkovitost=Skupna energija krme MJ NEL /ECM mleka v kg

Krmna učinkovitost= kg ECM/MJ NEL.

Okoljska učinkovitost porabe krme, izražena kot MJ NEL na kg ECM, se je med leti močno spreminjala (4,1–15,1 MJ/kg ECM). Najbolj učinkovito leto je bilo 2020, kar sovпада z visoko prirejo ECM na kravo (6.580 kg) in relativno nizko skupno porabo krmne energije. Dobra izraba krme je tudi v letih 2010 (4,81), 2013 (5,23) in 2021(5,64).

Pojasnilo kratic: ECM- Energy-Corrected Milk; NEL-Net Energy for Lactation; MJ-energija v mega joulih

Leto prireje	Povp. št. krav	ECM mleko	NEL skupaj MJ	MJ/kg ECM	ECM/NEL
2009	23,76	134.009	783.799	5,85	0,17
2010	24,5	163.804	787.388	4,81	0,21
2011	25,31	153.698	1.135.892	7,39	0,14
2012	26,24	179.289	1.086.258	6,06	0,17
2013	27,78	183.786	960.689	5,23	0,19
2014	28,45	174.108	1.014.550	5,83	0,17
2015	27,76	169.583	1.244.560	7,34	0,14
2016	28,61	171.187	975.352	5,7	0,18
2017	28,97	157.087	1.131.760	7,2	0,14
2018	28,17	172.467	1.565.788	9,08	0,11
2019	33,12	196.758	1.180.109	6	0,17
2020	32,75	215.504	882.284	4,09	0,24
2021	30,3	219.867	1.239.783	5,64	0,18
2022	29,7	182.276	1.887.544	10,36	0,1
2023	25,36	125.306	1.105.045	8,82	0,11
2024	25,67	107.298	1.615.625	15,06	0,07
2025	23,97	143.392	885.108	6,17	0,16

Tabela 1: Izračun energijske vrednosti krme v MJ na kg ECM mleka (Lastni vir)



Krma	MJ NEL / kg suhe snovi (SS)	Tipična suha snov (%)	MJ NEL / kg suhe snovi (SS)-povprečje
Močna krma (koncentrati)	6,8–7,2	88	7
Seno	5,0–5,5	85	5,2
Travna silaža	5,6–6,2	35	5,9
Koruzna silaža	6,4–6,8	32–35	6,6

Tabela 2: Faktorji za računanje Nel energije iz krme Vir: INRA, 2018)

Nasprotno je leto 2024 izkazovalo zelo nizko učinkovitost zaradi nesorazmerno visoke porabe energije iz voluminozne krme glede na doseženo prirejo mleka s 15.06 MJ/kg ECM. Manj učinkovita so bila tudi leta 2018 (9,08), 2022 (10,36) in 2023 (8,82). Vzrok je lahko v natančnosti spremljanja pravilnega zapisa porabe krme ali tudi v menjavi delovnega osebja v hlevu.

Kazalnik okoljske učinkovitosti porabe krme (MJ NEL/kg ECM) temelji na skupni porabi krmne energije na kmetiji, medtem ko je prireja mleka upoštevana samo pri molznicah. V sistem so vključene tudi telice in telički (približno 3 GVŽ), ki ne prispevajo k prireji mleka, zato so izračunane vrednosti približno za 10 % večje in rahlo podcenjujejo dejansko učinkovitost molznic. Ker je delež mlade živine med leti razmeroma stabilen, je primerjava med leti mogoča.

Kazalnik energijske učinkovitosti krme (ECM/NEL) je v analiziranem obdobju znašal povprečno približno 0,16 kg ECM/MJ NEL, kar ustreza zmerno dobri učinkovitosti, značilni za ekološko usmerjene mlečne kmetije. Opazna variabilnost vrednosti od 0,07 do 0,24 odraža sezonske spremembe kakovosti krme, stadij laktacije ter biološko variabilnost živali. Zelo nizka učinkovitost krme je bila v letu 2024 z 0,07 ECM/NEL, sledi leto 2022 (0,10), 2023 (0,11) in 2018 (0,11). Zelo dobra izkoriščenost krme je bila v letu 2010 (0,21) in v letu 2020 (0,24). Ekološke mlečne kmetije so praviloma v razponu 0,14–0,18. Nizke vrednosti so lahko tudi zaradi nizke

laktacije, začetka ali konca laktacije, slabše kakovosti voluminozne krme in višjih vzdrževalnih potreb (mraz, vročina).

V Sloveniji predstavlja največji delež energijske porabe v kmetijstvu: plinsko olje 59,0 %, energija za proizvodnjo mineralnih dušikovih gnojil 34,7 %, električna energija 3,7 %. Za leto 2023 je po podatkih SURS-a bilo porabljenih 96.859 ton mineralnih gnojil, od tega 52 kg N, 16 kg P₂O₅, 14 kg K₂O na hektar površine. Pri gnojilih spremljamo N-vnose s potencialom emisij N₂O ter tveganji za nitrate in evtrofikacijo.

V mlečni prireji, kjer se uporablja tudi gnojevka, je zato povezava med krmljenjem – izločanjem N – gnojevko – emisijami (N₂O/NH₃) – nitrate ključna in dobro podpira argument za kombiniranje LCA + MFA/N-bilanc (Baldini M. et al., 2020).

5 RAZPRAVA IN ZAKLJUČEK

5.1 Razprava

Kmetijstvo ima ključno vlogo pri prehranski varnosti in je pomemben vir okoljskih pritiskov. Na ravni EU so glavni viri emisij iz kmetijstva metan iz enterične fermentacije (49 %) in N₂O iz tal (30 %), tretji pomembni vir pa je metan iz ravnjanja z živinskimi gnojili (približno 17 %). To pomeni, da so krmljenje, živalska presnova in upravljanje z gnojili osrednja področja ("hot-spotti"), kjer lahko pričakujemo največje učinke ukrepov. Na globalni ravni se ocenjuje, da približno 25–30 %

svetovnih antropogenih emisij TGP izhaja iz prehranskih sistemov (kmetijstvo + raba tal + dobavne verige), kar potrjuje pomen kvantitativnega vrednotenja okoljskih vplivov v kmetijstvu. Pri tem je treba poudariti, da se raziskave na tem področju še razvijajo, pri čemer se včasih ugotavljajo drugačne količine (Paris, et al., 2022).

V naši raziskavi smo zaradi pomanjkanja podatkov ugotavljali le energijske učinkovitosti krme v letih od 2009 do 2025. Ugotovili smo veliko variabilnost podatkov: MJ NEL/kg ECM: 4,09–15,06 (povprečje 7,10 MJ/kg ECM), ECM/NEL: 0,07–0,24 (povprečje 0,156 kg ECM/MJ NEL). Leto 2020 izstopa kot najbolj učinkovito: 4,09 MJ NEL/kg ECM in 0,24 ECM/NEL, hkrati najvišja prireja na kravo, povprečno 6.580 kg ECM/kravo. Najmanj učinkovito leto po energetski izrabi krme je bilo leto 2024: 15,06 MJ NEL/kg ECM in 0,07 ECM/NEL ter nizka prireja na kravo, povprečno 4.180 kg ECM/kravo). Velike razlike razlagamo kot kombinacijo dveh vzrokov: biološko-proizvodni (stadij laktacije, zdravje, vremenski stres, kakovost voluminozne krme) in podatkovno-organizacijski (nepopolno beleženje porabe krme, spremembe osebja, ocenjevanje namesto merjenja).

Ker je MJ NEL/kg ECM razmerje med vhom energije in izhodom ECM, lahko že zmeroma napaka v evidentiranju voluminozne krme ali SS povzroči velik premik kazalnika – kar je skladno z vašim opozorilom o negotovosti podatkov.



Podatki za porabe krme so za celotno čredo, pri računanju ni vključena mlada živina. Ocenjujemo, da so izračunane vrednosti MJ/kg ECM za približno 10 % višje. Delež mlade živine je relativno stabilen, zato trendi ostajajo primerljivi.

V širšem evropskem kontekstu rezultati podpirajo ugotovitev, da so v živinoreji ključni "hot-spoti", povezani z metanom iz enterične fermentacije in N₂O iz tal, ki skupaj predstavljata večino emisij v kmetijstvu EU.

Nacionalni podatki kažejo, da so pomembni tudi vhodni tokovi energije (zlasti gorivo) in mineralna gnojila, kar utemeljuje potrebo po razširitvi analize tudi na te komponente.

Razpon emisij toplogrednih plinov za mleko, ugotovljen v tej študiji, je skladen z novjšimi LCA analizami, ki poročajo o vrednostih med 0,8 in 1,5 kg CO₂-e/kg ECM (Baldini et al., 2020; van Selm et al., 2021; Rööös et al., 2022).

Dušikove izgube v kmetijstvu predstavljajo enega ključnih okoljskih izzivov, saj se v povprečju le 40–60 % vnosa dušika pretvori v kmetijske proizvode, preostanek pa prispeva k emisijam N₂O, izpiranju nitratov in emisijam amonijaka (Leip et al., 2021; Huygens et al., 2022; Dalgaard et al., 2021).

Analize življenjskega cikla (LCA) dosledno kažejo, da so glavni okoljski »hot-spoti« v proizvodnji mleka povezani predvsem z biološkimi procesi v živinoreji. Največji delež emisij toplogrednih plinov predstavlja enterična fermentacija pri prežvekovalcih, ki v povprečju prispeva približno 50 % emisij CO₂-ekvivalenta. Sledita pridelava krme (okoli 25 %), ki vključuje emisije, povezane z uporabo gnojil, obdelavo tal in porabo energije pri pridelavi krme, ter ravnanje z živinskimi gnojili (približno 15 %), kjer nastajajo emisije metana in didušikovega oksida med skladiščenjem in aplikacijo gnoja na kmetijska zemljišča.

5.2 Zaključek

Rezultati analize energijske učinkovitosti krme v obdobju 2009–2025 kažejo izrazito medletno variabilnost. Kazalnik okoljske učinkovitosti porabe krme (MJ NEL/kg ECM) se je gibal med 4,09 in 15,06 MJ NEL/kg ECM, pri čemer je povprečna vrednost znašala 7,10 MJ NEL/kg ECM. Obratni kazalnik krmne učinkovitosti (ECM/NEL) je znašal 0,07–0,24 kg ECM/MJ NEL, s povprečjem 0,156 kg ECM/MJ NEL. Najvišja učinkovitost je bila dosežena v letu 2020, ko je bila energijska poraba krme 4,09 MJ NEL/kg ECM, hkrati pa je bila dosežena tudi najvišja prireja 6.580 kg ECM na kravo, kar kaže na ugodno razmerje med energijskim vnosom in proizvodnim izhodom. Nasprotno je bilo leto 2024 najmanj učinkovito, saj je bila poraba energije krme 15,06 MJ NEL/kg ECM, krmna učinkovitost pa le 0,07 kg ECM/MJ NEL, kar sovpada z nižjo prirejo 4.180 kg ECM na kravo.

Opazna variabilnost kazalnikov verjetno odraža kombinacijo bioloških dejavnikov (kakovost voluminozne krme, stadij laktacije, zdravstveno stanje živali, vremenski pogoji) ter metodoloških omejitev podatkov, predvsem ocenjevanje porabe krme in nepopolno evidenco voluminozne krme v posameznih letih. Kljub tem omejitvam povprečna vrednost 0,156 kg ECM/MJ NEL ustreza razponu 0,14–0,18 kg ECM/MJ NEL, ki ga literatura navaja kot značilnega za ekološko ali nizko-intenzivne sisteme mlečne prireje, kar nakazuje, da je dolgoročna energijska učinkovitost analizirane kmetije primerljiva s podobnimi proizvodnimi sistemi.

Za nadaljevanje raziskav na tem področju je smiselno narediti analizo občutljivosti (npr. ±10–20 % pri porabi krme; ± pri energijskih faktorjih), scenarije "najboljši primer" (2020) vs. "najslabši primer" (2024) oz. poročanje razpona rezultatov (ne le ene vrednosti). Prav tako je treba

vzpostaviti boljši sistem beleženja podatkov, predvsem za pomembne podatke: mesečno beleženje goriva (računi + delovne ure strojev), elektrika (ločeno za hlev/molzišče, če je možno), gnojilna: približne količine (m³), termini in površine razvoza, masa krme in suha snov (vsaj za glavne voluminozne komponente). Na ta način bomo lahko prišli do primerljivih podatkov z različnimi LCA/MFA študijami.

Dr. Marijan Pogačnik (roj. 1962, Kranj) je doktoriral na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani s področja uporabe šolskih vrtov v izobraževanju. Od leta 1994 vodi Biotehniški center Naklo in predava na Višji strokovni šoli ter v B&B, Visoki šoli za varstvo okolja. Njegovo delo obsega področja ekološkega kmetijstva, izobraževanja in trajnostnega razvoja. Objavil je več kot 80 del ter mentoriral 33 študentov.

LITERATURA IN VIRI

- Baldini, C., Gardoni, D., & Guarino, M. (2020). A critical review of the recent evolution of Life Cycle Assessment applied to milk production. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120561. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120561>
- Baldini, M., Da Borso, F., Rossi, A., Taverna, M., Bovolenta, S., Piasentier, E., & Corazzin, M. (2020). Environmental Sustainability Assessment of Dairy Farms Rearing the Italian Simmental Dual-Purpose Breed. *Animals* 2020, 10(2), 296. <https://www.mdpi.com/2076-2615/10/2/296>
- Dalgaard, T., Hansen, B., Hasler, B., Hertel, O., Hutchings, N. J., Jacobsen, B. H., & Sørensen, P. (2021). Nutrient balances as indicators of agricultural nitrogen losses. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 119, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10705-021-10119-6>
- European Commission, Joint Research Centre (JRC). (2023). Environmental Footprint Category Rules for Dairy Products. Publications Office of the European Union. https://environment.ec.europa.eu/publications/environmental-footprint-category-rules-dairy-products_en
- European Environment Agency. (2024). Greenhouse gas emissions from agriculture in Europe. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emissions-from-agriculture>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). Pathways towards lower emissions livestock. FAO. <https://www.fao.org/3/cc3341en/cc3341en.pdf>
- Huygens, D., Orveillon, G., Lugato, E., Tavoni, M., Comero, S., & Jones, A. (2022). Environmental impacts of nitrogen use in agriculture. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 824315. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.824315>
- INRA. (2018). INRA Feeding System for Ruminants. Wageningen Academic Publishers. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-292-4>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). 2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/>
- Leip, A., Billen, G., Garnier, J., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Reis, S., & Westhoek, H. (2021). The nitrogen footprint of food products in the European Union. *Journal of Cleaner Production*, 291, 125949. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125949>
- Lynch, J., Cain, M., Pierrehumbert, R., & Allen, M. (2021). Livestock, land use and climate change. *Global Change Biology*, 27(10), 2267–2284. <https://doi.org/10.1111/gcb.15515>
- Paris, B., Vandrorou, F., Tyriss, D., Balafoutis, A. T., Vaiopoulos, K., Kyriakarakos, G., Manolakos, D., & Papadakis, G. (2022). Energy Use in the EU Livestock Sector: A Review Recommending Energy Efficiency Measures and Renewable Energy Sources Adoption. *Applied Sciences* 2022, 12(4), 2142. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/4/2142>
- Pe'er, G., Bonn, A., Bruelheide, H., Dieker, P., Eisenhauer, N., Feindt, P. H., & Lakner, S. (2020). A greener path for the EU Common Agricultural Policy. *Science*, 365(6452), 449–451. <https://doi.org/10.1126/science.aax3146>
- Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2020). Environmental Impacts of Food Production. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food>
- Röös, E., Patel, M., Spångberg, J., Carlsson, G., & Rydhmer, L. (2022). Environmental impacts of livestock products: A review of Life Cycle Assessment studies. *Animal*, 16(1), 100457. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100457>
- Smith, L. G., Kirk, G. J. D., Jones, P. J., & Williams, A. G. (2020). The greenhouse gas impacts of converting food production in England and Wales to organic methods. *Nature Communications*, 11, 193. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12622-7>
- Statistični urad Republike Slovenije (SURS). (2026). <https://www.stat.si/StatWeb/News/Index/13799>
- Triste, L., Marchand, F., Debruyne, L., Meul, M., & Lauwers, L. (2021). A review of sustainability assessment tools for agricultural systems. *Agricultural Systems*, 193, 103222. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103222>
- Van Selm, B., Frehner, A., de Boer, I. J. M., & van Hal, O. (2021). Life cycle assessment of organic and conventional dairy farming. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123924. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123924>
- Wilkes, A., Tennigkeit, T., Solymosi, K., Khounsy, S., Chervier, C., & Wollenberg, E. (2020). Measurement, reporting and verification of greenhouse gas emissions from livestock. *Global Food Security*, 26, 100374. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100374>

INDIKATIVNI MONITORING KAKOVOSTI ZRAKA KOT PODPORA LOKALNEMU UPRAVLJANJU IZPOSTAVLJENOSTI PM2,5

Avtorja: Tomaž Lazar in Iztok Polak, Alfa Proxima, d. o. o.

Izvleček

Kakovost zraka ostaja eden ključnih javnozdravstvenih in okoljskih izzivov sodobne družbe, pri čemer imajo drobni delci PM2,5 pomemben vpliv na zdravje ljudi. Zaradi prostorske omejenosti referenčnih merilnih postaj se v ospredje vse bolj postavlja indikativni monitoring kakovosti zraka, ki omogoča gostejšo prostorsko pokritost, sprotno spremljanje koncentracij onesnaževal ter boljše razumevanje lokalne izpostavljenosti prebivalcev onesnaženemu zraku. Članek predstavlja osnovne značilnosti indikativnega monitoringa, primerjavo z referenčnimi meritvami ter uporabo evropskega indeksa kakovosti zraka (EAQI) kot orodja za interpretacijo podatkov in obveščanje javnosti. Opisani so osnovni principi delovanja nizkocenovnih senzorskih sistemov, vpliv okoljskih dejavnikov na meritve ter pomen

kalibracije in validacije podatkov. Poseben poudarek je namenjen primeru indikativnega monitoringa v Mestni občini Kranj, kjer je predstavljena uporaba goste mreže merilnih postaj za spremljanje lokalnih epizod onesnaženja. Članek poudarja pomen povezovanja zanesljivih podatkov, okoljskih politik in odgovornega vedenja posameznikov pri izboljševanju kakovosti zraka ter varovanju zdravja ljudi.

Ključne besede: kakovost zraka, PM2,5, indikativni monitoring, EAQI, senzorski sistemi, lokalno onesnaženje, trajnostno upravljanje okolja.

INDICATIVE MONITORING OF AIR QUALITY AS SUPPORT FOR LOCAL MANAGEMENT OF PM2.5 EXPOSURE

Abstract:

Air quality remains one of the major public health and environmental challenges of modern society, with fine particulate matter (PM2.5) having a significant impact on human health. Due to the limited spatial coverage of reference monitoring stations, indicative air quality monitoring is becoming increasingly important, as it enables denser spatial coverage, real-time monitoring of pollutant concentrations, and a better understanding of local population exposure to air pollution. The article presents the main characteristics of indicative monitoring, a comparison with reference measurements, and the use of the European Air Quality Index (EAQI) as a tool for data interpretation and public communication. The paper describes the basic operating principles of low-cost

sensor systems, the influence of environmental factors on measurements, and the importance of calibration and data validation. Particular attention is given to the example of indicative air quality monitoring in the Municipality of Kranj, where a dense network of monitoring stations is used to detect local pollution episodes. The article highlights the importance of integrating reliable data, environmental policies, and responsible individual behavior in improving air quality and protecting public health.

Keywords: air quality, PM2.5, indicative monitoring, EAQI, sensor systems, local pollution, sustainable environmental management.

UVOD

Kakovost zraka se v Evropi sicer postopno izboljšuje, vendar ostaja eden ključnih javnozdravstvenih izzivov sodobne družbe (European Environment Agency [EEA], 2024). Drobni delci PM_{2,5}, dušikovi oksidi in ozon še vedno pomembno vplivajo na zdravje prebivalcev, zato postaja razumevanje njihove prisotnosti v prostoru vse pomembnejše (World Health Organization [WHO], 2021). V tem kontekstu v ospredje stopa indikativni monitoring zraka, ki omogoča bolj natančno, lokalno in časovno odzivno zaznavanje onesnaženosti. Tak pristop ne prinaša le boljših podatkov, temveč tudi odpira pot k pametnejšim in bolj trajnostnim odločitvam – tako na ravni posameznika kot družbe.

Indikativni monitoring zraka omogoča sprotno spremljanje koncentracij ključnih onesnaževal ter boljše razumevanje lokalnih okoljskih razmer. Takšni sistemi omogočajo lokalno spremljanje kakovosti zraka ter analizo prostorske porazdelitve onesnaženosti, poleg meritev vključujejo še analizo in interpretacijo zbranih podatkov, kar prispeva k učinkovitejšemu spremljanju kakovosti zraka in boljšemu razumevanju izpostavljenosti prebivalcev onesnaženju (European Environment Agency [EEA], n. d.).

Sistemi indikativnega monitoringa se uporabljajo v številnih slovenskih občinah in tudi v tujini, pri čemer pomembno prispevajo k sodelovanju z lokalnimi skupnostmi ter ozaveščanju prebivalstva o škodljivih vplivih onesnaženega zraka in po menu trajnostnega ravnanja.

Potreba po bolj natančnem, lokalnem in razumljivem spremljanju zraka zato ni več zgolj tehnično vprašanje, temveč postaja ključni element učinkovitega upravljanja okolja in varovanja zdravja ljudi.

Raziskovalno izhodišče

Članek izhaja iz predpostavke, da klasične referenčne merilne postaje zaradi svoje prostorske omejenosti ne omogočajo dovolj natančnega vpogleda v dejansko lokalno izpostavljenost prebivalcev onesnaženemu zraku. Zato je za učinkovitejše spremljanje kakovosti zraka, zaščito zdravja ljudi in sprejemanje trajnostnih odločitev potreben indikativni monitoring, ki omogoča gostejšo mrežo meritev, sprotno spremljanje onesnaženosti ter boljše razumevanje lokalnih okoljskih razmer.

Namen članka

Namen članka je predstaviti pomen indikativnega monitoringa kakovosti zraka kot sodobnega orodja za zaznavanje lokalnega onesnaženja, izboljšanje razumevanja izpostavljenosti prebivalcev škodljivim snovem ter podporo trajnostnemu upravljanju okolja. Članek želi ozavestiti javnost o vplivu onesnaženega zraka na zdravje, predstaviti prednosti spremljanja AQI ter poudariti pomen povezovanja podatkov, okoljskih politik in odgovornega vedenja posameznikov pri izboljševanju kakovosti zraka.

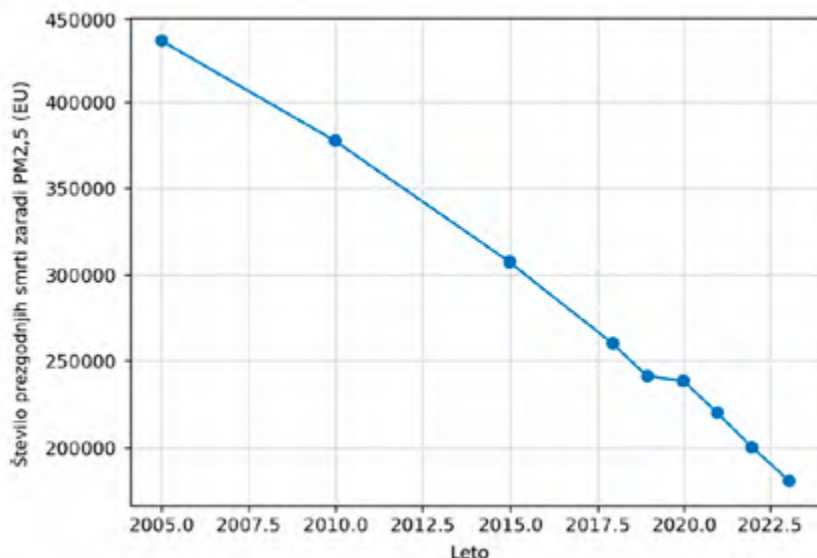
Metodologija

Metodologija članka temelji na ana-

litičnem in opisnem pristopu. Avtor uporablja pregled strokovne literature, evropskih smernic in zakonodaje (WHO, EEA, EU direktive) ter tehnični opis indikativnega monitoringa kakovosti zraka. V članku so predstavljeni principi delovanja nizkocenovnih senzorskih modulov za merjenje delcev PM_{2,5} in plinastih onesnaževal, uporaba IoT omrežij za prenos podatkov ter izračun AQI (Air Quality Index). Metodologija vključuje tudi primer praktične uporabe sistema v Mestni občini Kranj, kjer je prikazana prostorska razporeditev merilnih postaj in interpretacija podatkov o kakovosti zraka. Članek primerja indikativne meritve z referenčnimi meritvami ter analizira njihove prednosti in omejitve.

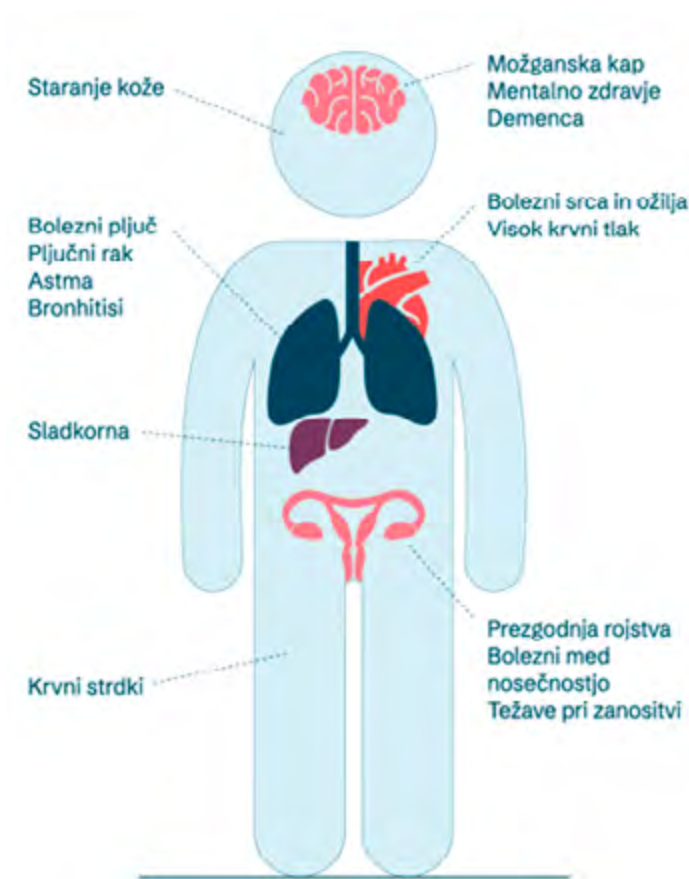
KAKOVOST ZRAKA KOT JAVNOZDRAVSTVENI IZZIV

Kljub napredku na področju okoljskih politik kakovost zraka ostaja eden ključnih izzivov sodobne družbe (European Environment Agency [EEA], 2024). Drobni delci PM_{2,5} predstavljajo največje tveganje za zdravje, saj zaradi svoje majhnosti prodrejo globoko v pljuča in krvni obtok ter povzročajo srčno-žilne bolezni, bolezni dihal in prezgodnjo smrt (World Health Organization [WHO], 2021; Kumar & Singh, 2023).



Graf 1: Ocenjeno število prezgodnjih smrti zaradi izpostavljenosti delcem PM_{2,5} v Evropski uniji v obdobju 2005–2023.





Slika 1: Vplivi onesnaženega zraka na različne organske sisteme in zdravje človeka. Vir: avtorska priredba po strokovni literaturi..

Po ocenah Evropske agencije za okolje (EEA) je v Evropski uniji z dolgotrajno izpostavljenostjo delcem PM_{2,5} še vedno povezanih približno 180.000–240.000 prezgodnjih smrti letno (EEA, n. d.) Kakovost zraka tako ni več zgolj okoljsko, temveč predvsem javnozdravstveno vprašanje.

Ob tem ne smemo spregledati tudi drugih pomembnih onesnaževal, kot so dušikovi oksidi (NO_x), ki so predvsem posledica prometa ter prizemni ozon (O₃), ki nastaja sekundarno ob sončnem sevanju. Prav kombinacija teh onesnaževal določa dejansko izpostavljenost prebivalcev (WHO, 2021).

NAPREDEK REGULATIVE IN NOVE REALNOSTI

Evropska unija je z uvedbo strožjih emisijskih standardov v prometu ter z zaostrovanjem zahtev za industri-

jo dosegla pomembno zmanjšanje emisij (European Commission, 2024). Dolgoročni trendi kažejo, da regulativa in tehnološki napredek prinašata rezultate (European Environment Agency [EEA], 2024).



Slika 2: Primer temperaturne inverzije, ki prispeva k zadrževanju onesnaževal v nižinah in kotlinah. (Foto: Iztok Polak.)

Vendar pa se je v zadnjih letih spremenila struktura virov onesnaženja. Medtem ko so veliki točkovni viri danes bolje nadzorovani, v ospredje stopajo razpršeni viri, predvsem individualna kurišča in vsakodnevne navade ljudi.

SLOVENIJA: GEOGRAFSKI IN LOKALNI IZZIVI

Posebnost Slovenije je njena razgibana, hribovita in gorata struktura. Številne doline in kotline so slabo prevetrene, kar pomeni, da se onesnažen zrak zadržuje v bližini tal.

V zimskem času so pogoste temperaturne inverzije, ki preprečujejo mešanje zraka in povzročajo kopičenje onesnaževal, zlasti delcev PM_{2,5} (European Environment Agency [EEA], 2024). Posledično lahko tudi manjši lokalni emisijski viri povzročijo dolgotrajno povišane koncentracije onesnaževal.

V takšnih razmerah postane razumevanje lokalne kakovosti zraka ključno.

WHO SMERNICE IN ZAOSTROVANJE EVROPSKE ZAKONODAJE

Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) priporoča bistveno strožje mejne vrednosti za ključna one-

snaževala, kot jih določa evropska zakonodaja. Za PM_{2,5} priporoča letno povprečno koncentracijo 5 µg/m³, kar pomeni, da je lahko tudi zrak, ki izpolnjuje veljavne zakonodajne zahteve, še vedno škodljiv za zdravje ljudi (World Health Organization [WHO], 2021).

Nova evropska direktiva o kakovosti zunanjega zraka te vrednosti postopno približuje priporočilom WHO ter hkrati poudarja potrebo po boljšem spremljanju dejanske izpostavljenosti prebivalcev onesnaženemu zraku (European Commission, 2024).

OMEJITVE OBSTOJEČIH MERITEV

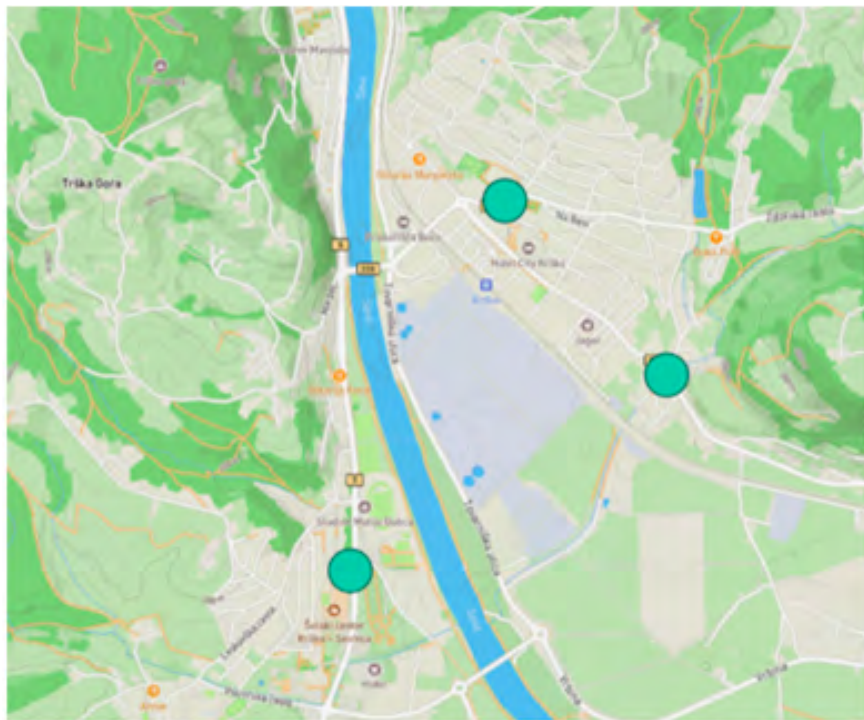
Referenčne merilne postaje zagotavljajo visoko natančnost in skladnost s standardiziranimi merilnimi metodami, vendar so zaradi visokih stroškov postavitve in vzdrževanja prostorsko razmeroma redke (European Environment Agency [EEA], 2024). Zaradi tega pogosto ne zaznajo lokalnih vrhov onesnaženja, ki nastajajo na ravni posameznih ulic ali naselij.

Pri onesnaževalih, kot so PM_{2,5}, NO₂ in O₃, ki so izrazito prostorsko in časovno spremenljivi, povprečne vrednosti pogosto ne odražajo dejanske izpostavljenosti prebivalcev onesnaženemu zraku (World Health Organization [WHO], 2021).

INDIKATIVNI MONITORING IN AQI: CELOSTNI POGLED NA ZRAK

Indikativni monitoring omogoča vzpostavitev gostih mrež meritev, ki dopolnjujejo referenčne sisteme. S spremljanjem več onesnaževal hkrati omogoča izračun indeksa kakovosti zraka (AQI), ki združuje kompleksne podatke v enoten kazalnik (European Environment Agency [EEA], n. d.)

Takšen pristop omogoča zaznavanje lokalnih epizod onesnaženja,



Slika 3: Prostorska razporeditev indikativnih merilnih postaj in trenutni prikaz AQI v Mestni občini Kranj. Vir: Sensware IoT platforma, Alfa Proxima, d. o. o.

boljšo prostorsko pokritost in spremljanje kakovosti zraka v realnem času.

OSNOVNI OPIS TEHNIČNIH ZNAČILNOSTI INDIKATIVNIH MERITEV

Indikativne meritve kakovosti zraka temeljijo na uporabi nizkocenovnih senzorskih modulov, ki omogočajo visoko prostorsko in časovno ločljivost meritev. Meritve se izvajajo v kratkih, nekajminutnih intervalih in se agregirajo v standardna časovna povprečja.

Za merjenje delcev PM se uporabljajo optični senzorji na principu sipanja svetlobe, kjer je signal odvisen od koncentracije in velikosti delcev. Plinasta onesnaževala (npr. NO₂, O₃ in CO) se merijo z elektrokemijskimi senzorji, ki zaznavajo električni tok, sorazmeren koncentraciji plina.

Na meritve pomembno vplivajo okoljski dejavniki, kot sta temperatura in relativna zračna vlaga, zato sistemi vključujejo korekcijske algoritme in kalibracijo glede na referenčne postaje. Čeprav takšni

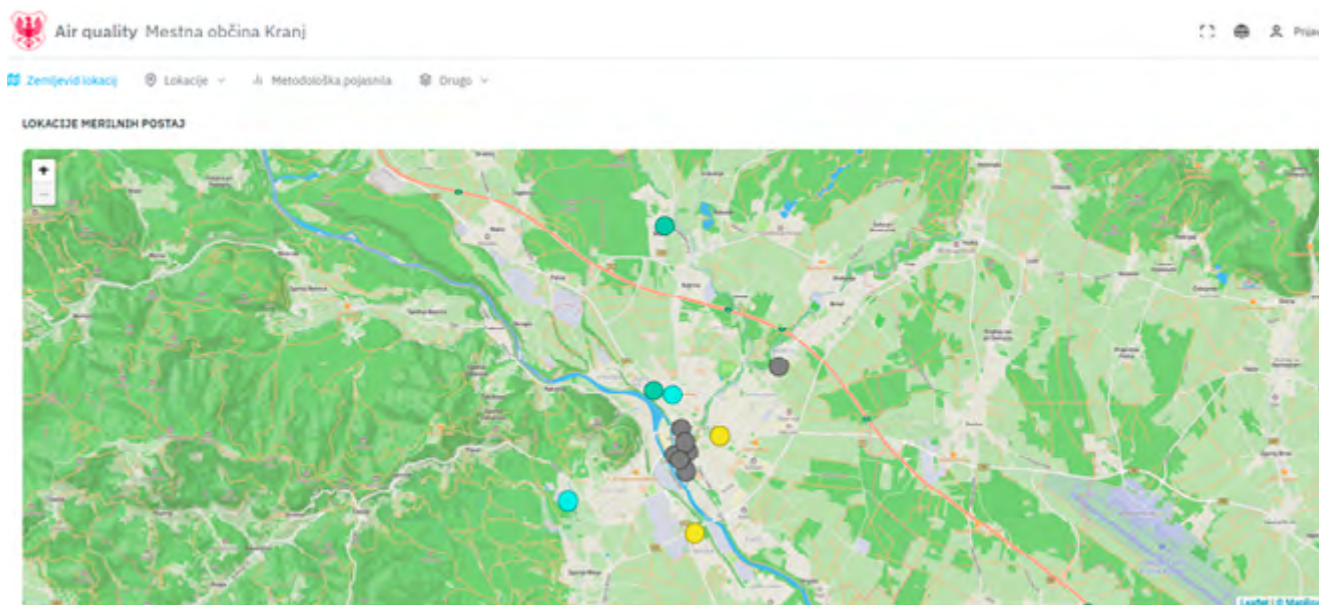
sistemi ne dosegajo referenčne natančnosti, določene z EN standardi, so ob ustrezni validaciji primerni za zaznavanje trendov in lokalnih epizod onesnaženja (European Environment Agency [EEA], 2024).

Podatki se prenašajo prek IoT omrežij v centralne sisteme, kjer se obdelujejo in pretvarjajo v kazalnike, kot je indeks kakovosti zraka (AQI) (European Environment Agency [EEA], n. d.) Ključna prednost indikativnih meritev je možnost vzpostavitev gostih merilnih mrež za boljše razumevanje lokalne kakovosti zraka.

KRATKA PRIMERJAVA Z REFERENČNIMI MERITVAMI

Referenčne meritve kakovosti zraka temeljijo na standardiziranih metodah (EN standardi), zagotavljajo visoko natančnost in sledljivost meritev, vendar so zaradi visoke cene in kompleksnosti prostorsko omejene (European Environment Agency [EEA], 2024). Namenjene so predvsem uradnemu spremljanju kakovosti zraka in preverjanju skladnosti z zakonodajnimi zahtevami.





Slika 4: Mreža indikativnih merilnih postaj in trenutni prikaz AQI v Mestni občini Kranj. Vir: Sensware IoT platforma, Alfa Proxima, d. o. o.

Indikativne meritve so stroškovno učinkovitejše in omogočajo gostoto mrežo merilnih mest ter spremljanje kakovosti zraka v realnem času. Njihova natančnost je nižja, vendar ob ustrezni kalibraciji omogočajo zanesljivo zaznavanje trendov, lokalnih razlik in kratkotrajnih epizod onesnaženja (European Environment Agency [EEA], 2024).

Oba pristopa se medsebojno dopolnjujeta: referenčne meritve zagotavljajo visoko točnost in primerljivost podatkov, indikativne meritve pa večjo prostorsko in časovno podrobnost spremljanja kakovosti zraka.

PRIMER INDIKATIVNEGA MERJENJA KAKOVOSTI ZRAKA V MESTNI OBČINI KRANJ

Na spletni platformi Sensware IoT (<https://iot.sensware.si/kr/locations/map>) je prikazana mikroprostorska razporeditev merilnih postaj, ki omogoča spremljanje lokalnih značilnosti kakovosti zraka (Alfa Proxima, d. o. o., n. d.).

Lokacije merilnih postaj so označene z barvnimi oznakami, pri čemer posamezna barva prikazuje trenutno stopnjo onesnaženosti oziroma vrednost indeksa kakovosti zraka

(AQI). V Mestni občini Kranj se indikativne meritve izvajajo na lokacijah Zlato Polje, Mlaka, Laze, Orehek, Planina in Zdravstveni dom. Sive oznake na zemljevidu niso povezane z izvajanjem monitoringa kakovosti zraka.

S klikom na posamezno merilno mesto je mogoče prikazati podrobnejše podatke za posamezna onesnaževala, ki jih merilne postaje spremljajo. Pri izračunu evropskega indeksa kakovosti zraka (EAQI – European Air Quality Index) se upoštevajo koncentracije prašnih delcev, prizemnega ozona in dušikovih oksidov skupaj z izbranimi meteo-

rološkimi parametri (European Environment Agency [EEA], n. d.)

Za določitev skupnega indeksa EAQI se za vsak posamezni onesnaževalec najprej oceni stopnja kakovosti zraka glede na izmerjeno koncentracijo. Končni indeks kakovosti zraka nato določa tisti onesnaževalec, ki doseže najslabšo oceno oziroma predstavlja največje tveganje za kakovost zraka in zdravje prebivalcev (EEA, n. d.)

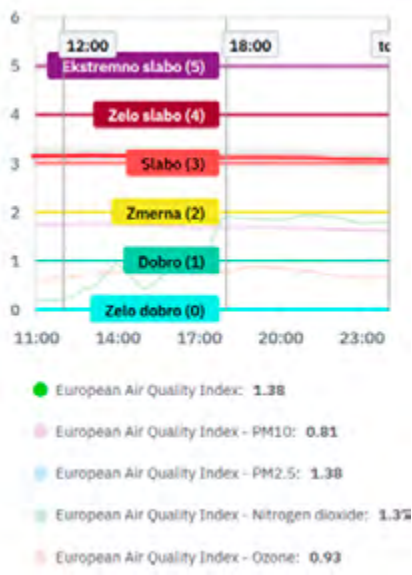
AQI KOT ORODJE ZA VSE – NE LE ZA STROKOVNJAKE

Ena ključnih prednosti indeksa kakovosti zraka (AQI) je njego



Slika 5: Letni potek evropskega indeksa kakovosti zraka (EAQI) na merilni postaji Orehek v Mestni občini Kranj. Barvni prikaz ponazarja časovno spreminjanje kakovosti zraka glede na koncentracije spremljanih onesnaževal. Vir: Sensware IoT platforma, Alfa Proxima, d. o. o.





Slika 6: Barvna lestvica evropskega indeksa kakovosti zraka (EAQI) za prikaz stopnje onesnaženosti zraka. Posamezne barvne kategorije označujejo kakovost zraka od »zelo dobro« do »ekstremno slabo«. Vir: Sensware IoT platforma, Alfa Proxima, d. o. o.

zumljivost. Namesto prikaza kompleksnih koncentracij posameznih onesnaževal omogoča enostaven vpogled v stanje kakovosti zraka, pogosto v obliki barvnih lestvic ali opisnih kategorij (European Environment Agency [EEA], n. d.)

Prav zato je spremljanje AQI primerno tudi za širšo javnost. Prebivalcem omogoča boljše razumevanje stanja zraka in prilagajanje vsakodnevnih dejavnosti, na primer omejevanje aktivnosti na prostem ob povišanih koncentracijah prizemnega ozona ali zmanjšanje kurjenja ob povečanih koncentracijah delcev PM_{2,5}.

AQI tako predstavlja pomemben povezovalni element med znanstvenimi podatki, okoljskimi politikami in vsakdanjim življenjem ter prispeva k večji ozaveščenosti o vplivih kakovosti zraka na zdravje ljudi (World Health Organization [WHO], 2021).

ODGOVORNOST POSAMEZNIKA V SODOBNEM UPRAVLJANJU ZRAKA

Čeprav je evropska regulativa v zadnjih desetletjih pomembno zmanjšala emisije iz prometa in industrije, kakovost zraka danes vse bolj določajo tudi vsakodnevne odločitve posameznikov (European Commission, 2024).

Pomembni ukrepi za zmanjševanje lokalnega onesnaževanja vključujejo:

- uporabo ustreznih in energetsko učinkovitih kurilnih naprav,
- kurjenje suhega lesa,
- zmanjševanje nepotrebne ogrevanja,
- uporabo javnega prevoza, kolesa ali hoje.

Ko so vplivi posameznih dejavnosti podprti z lokalnimi podatki o kakovosti zraka, postanejo posledice onesnaževanja bolj razumljive, ukrepi za zmanjševanje emisij pa učinkovitejši in lažje sprejeti tudi med prebivalci.

ZAKLJUČEK

Upravljanje kakovosti zraka zahteva povezovanje podatkov, okoljskih politik in odgovornega vedenja posameznikov. Kljub napredku na področju zmanjševanja emisij velika večina Evropejcev še vedno diha zrak, katerega koncentracije onesnaževal presegajo priporočila Svetovne zdravstvene organizacije (WHO) (World Health Organization [WHO], 2021; European Environment Agency [EEA], 2024). V Sloveniji geografske in meteorološke razmere, zlasti temperaturne inverzije v kotlinah in dolinah, ta problem še dodatno poudarjajo.

Prihodnost upravljanja kakovosti zraka zato ne bo temeljila zgolj na regulativi, temveč predvsem na povezovanju treh ključnih elementov: zanesljivih podatkov, učinkovitih okoljskih politik in odgovornega vedenja posameznikov.

Indikativni monitoring in spremljanje evropskega indeksa kakovosti zraka (EAQI) omogočata prehod od splošnih ocen k natančnemu, lokalnemu in proaktivnemu upravljanju kakovosti zraka. Takšen pristop pomembno prispeva k boljšemu razumevanju izpostavljenosti prebivalcev onesnaženemu zraku ter predstavlja pomemben korak k izboljšanju javnega zdravja in kakovosti življenja.

Tomaž Lazar deluje na področju spremljanja kakovosti zraka in razvoja okoljskih informacijskih sistemov. V podjetju Alfa Proxima sodeluje pri razvoju sistemov za indikativni monitoring kakovosti zraka, namenjenih spremljanju lokalne izpostavljenosti onesnaženju ter podpora pri okoljskem upravljanju.

Avtor **Tomaž Lazar** je prokurist podjetja Alfa Proxima, d. o. o., ki razvija sisteme indikativnega monitoringa kakovosti zraka. Članek ni namenjen promociji dejavnosti podjetja Alfa Proxima, d. o. o.

LITERATURA IN VIRI

Alfa Proxima d.o.o. (n.d.). Sensware – indikativni monitoring kakovosti zraka. <https://www.sensware.si>

European Commission. (2024). Directive (EU) 2024/2881 of the European Parliament and of the Council of 23 October 2024 on ambient air quality and cleaner air for Europe. EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX%3A32024L2881>

European Environment Agency. (2024). Air quality in Europe 2024: Health impacts of air pollution. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/harm-to-human-health-from-air-pollution-2024>

European Environment Agency. (n.d.). European Air Quality Index (EAQI). <https://airindex.eea.europa.eu/AQI/index.html>

European Environment Agency. (n.d.). Health impacts of exposure to air pollution. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/health-impacts-of-exposure-to>

European Environment Agency. (n.d.). Statistical data on health impacts attributable to PM2.5 exposure. <https://www.eea.europa.eu/en/datahub/featured-data/statistical-data/datahubitem-view/6628e569-49a6-412f-a6a9-cca8ecafee5e>

Harvard T.H. Chan School of Public Health. (n.d.). The dangers of air pollution for heart health. <https://hsph.harvard.edu/news/the-dangers-of-air-pollution-for-heart-health/>

Karagulian, F., Barbieri, M., Kotsev, A., Spinelle, L., Gerboles, M., Lagler, F., Redon, N., Crunaire, S., & Borowiak, A. (2019). Review of the performance of low-cost sensors for air quality monitoring. *Atmosphere*, 10(9), 506. <https://doi.org/10.3390/atmos10090506>

Kumar, P., & Singh, R. (2023). Toxicological effects of fine particulate matter (PM2.5). *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(4), 278. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06278-9>

World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/item/9789240034228>



SVETOVNA TEKMA ZA KRITIČNIMI SUROVINAMI

Avtorica/Author Antonija Božič Cerar, Visoka šola za trajnostni razvoj, Kranj

Povzetek

Kritične surovine imajo ključno vlogo pri delovanju sodobnega gospodarstva ter pri razvoju nizkoogljičnih in digitalnih tehnologij. Energetski prehod in pospešena digitalizacija povzročata hitro rast povpraševanja po številnih mineralnih surovinah, ki so nepogrešljive za proizvodnjo baterij, tehnologij obnovljivih virov energije, električnih vozil in digitalne infrastrukture. Zaradi geografske koncentracije nahajališč, omejenih zmogljivosti predelave in geopolitičnih tveganj postajajo dobavne verige teh materialov vse pomembnejši dejavnik gospodarske in energetske varnosti. Prispevek obravnava razvoj koncepta kritičnih surovin ter predstavlja razvoj politike Evropske unije na tem področju, vključno z Evropskim aktom o kritičnih surovinah. Posebna

pozornost je namenjena vlogi kritičnih materialov v energetskem prehodu, strateškemu pomenu bakra ter potencialu krožnega gospodarstva in recikliranja pri zmanjševanju odvisnosti od primarnih virov. Analiza kaže, da bodo učinkovito upravljanje dobavnih verig, diverzifikacija virov in razvoj recikliranja ključni za dolgoročno stabilnost oskrbe s kritičnimi surovinami.

Ključne besede: kritične surovine, energetski prehod, dobavne verige, krožno gospodarstvo, baker, evropska industrijska politika.

THE GLOBAL RACE FOR CRITICAL RAW MATERIALS

Abstract

Critical raw materials play a crucial role in modern economies and in the development of low-carbon and digital technologies. The energy transition and rapid digitalisation are significantly increasing demand for a wide range of mineral resources required for batteries, renewable energy technologies, electric vehicles and digital infrastructure. Due to the geographical concentration of deposits, limited processing capacities and growing geopolitical risks, supply chains for these materials are becoming an increasingly important component of economic and energy security. This paper discusses the development of the concept of critical raw materials and reviews the evolution of European Union policies in this field,

including the Critical Raw Materials Act. Particular attention is given to the role of critical materials in the energy transition, the strategic importance of copper and the potential of circular economy and recycling in reducing dependence on primary resources. The analysis indicates that effective supply-chain management, diversification of supply sources and improved recycling capacities will be essential for ensuring long-term stability in the supply of critical raw materials

Keywords: critical raw materials, energy transition, supply chains, circular economy, copper, European industrial policy.

1 UVOD

Kritične surovine predstavljajo temelj številnih sodobnih tehnologij in industrijskih procesov. Stabilna in zanesljiva oskrba z materiali, kot so litij, kobalt, nikelj, baker in elementi redkih zemelj, je ključna za razvoj energetike, digitalnih tehnologij in številnih drugih gospodarskih sektorjev. Zaradi naraščajočega povpraševanja po teh materialih ter njihove geografske koncentracije v omejenem številu držav postajajo kritične surovine vse pomembnejši elemente gospodarske in energetske varnosti (International Energy Agency [IEA], 2025).

V zadnjih letih so nestabilne cene, ozka grla v dobavnih verigah ter geopolitične napetosti dodatno povečali zanimanje za strateško upravljanje teh materialov. Kritične surovine so zato postale osrednja tema številnih gospodarskih in industrijskih politik ter mednarodnih trgovinskih razprav (European Commission, 2023).

2 EVROPSKA POLITIKA KRITIČNIH SUROVIN

Evropska unija je vprašanje kritičnih surovin začela sistematično obravnavati leta 2008 z uvedbo Pobude EU za surovine (Raw Materials Initiative – RMI). Namen pobude je bil zagotoviti zanesljivo oskrbo evropskega gospodarstva s surovinami ter zmanjšati odvisnost od uvoza.

Prvi seznam kritičnih surovin je bil objavljen leta 2011 in je vključeval 14 materialov od 41 analiziranih kandidatnih surovin. V naslednjih letih se je seznam postopoma širil, saj

so nove tehnologije in spremembe v industrijski strukturi povečale pomen nekaterih materialov. Leta 2014 je seznam vključeval 20 kritičnih surovin, leta 2017 27, leta 2020 pa 30. Zadnja posodobitev iz leta 2023 vključuje 34 kritičnih surovin (European Commission, 2023).

Evropski svet je leta 2022 z Versajsko deklaracijo pozval k zmanjšanju strateških odvisnosti Evropske unije ter kreptivi gospodarske suverenosti. Poseben poudarek je bil namenjen zagotavljanju stabilne oskrbe s kritičnimi surovinami in kreptivi odpornosti dobavnih verig (European Council, 2022).

V tem kontekstu je Evropska komisija pripravila Evropski akt o kritičnih surovinah (Critical Raw Materials Act – CRMA), katerega cilj je povečati evropske zmogljivosti na področju pridobivanja, predelave in recikliranja surovin. Akt med drugim predvideva identifikacijo strateških projektov vzdolž celotne vrednostne verige ter razvoj strateških rezerv. Eden ključnih ciljev je, da bi Evropska unija do leta 2030 zagotovila zmogljivosti za recikliranje najmanj 25 % svoje letne porabe strateških surovin (European Commission, 2023).

3 KRITIČNE SUROVINE IN ENERGETSKI PREHOD

Energetski prehod in razogljičenje gospodarstva povzročata hitro rast povpraševanja po številnih mineralnih surovinah. Tehnologije obnovljivih virov energije, električna vozila in baterijski sistemi za shranjevanje energije zahtevajo bistve-

no več materialov kot konvencionalni energetske sistemi, ki temeljijo na fosilnih gorivih (IEA, 2025).

Iz tabele 1 je razvidno, da ima baker posebno vlogo, saj se pojavlja v skoraj vseh tehnologijah energetskega prehoda, kar potrjuje njegov strateški pomen za elektrifikacijo gospodarstva.

Po ocenah Mednarodne agencije za energijo bo za doseganje ciljev Pariškega sporazuma potrebno približno štirikratno povečanje oskrbe s kritičnimi minerali, medtem ko bi scenarij globalne podnebne nevtralnosti do leta 2050 zahteval celo šestkratno povečanje (IEA, 2025).

Največjo rast povpraševanja povzročajo tehnologije obnovljivih virov energije, zlasti vetrne in sončne elektrarne. Električna vozila vsebujejo bistveno več mineralov kot vozila z motorjem z notranjim zgorevanjem, pri čemer imajo ključno vlogo litij, nikelj, kobalt, mangan in grafit. Redki zemeljski elementi so nepogrešljivi za trajne magnetne v vetrnih turbinah in elektromotorjih električnih vozil.

4 MATERIALNA INTENZIVNOST ENERGETSKEGA SISTEMA

Energetski sistemi temeljijo na velikih količinah materialov. Globalni energetske sistem je bil leta 2024 ocenjen na približno 17 milijard ton materialov (IEA, 2025).

Pridobivanje surovin povzroča velike količine odpadnih materialov. Pri pridobivanju premoga je treba za eno tono uporabnega materiala

Tehnologija	Ključne surovine	Vloga surovin
Električna vozila	litij, nikelj, kobalt, grafit, baker	baterije, elektromotorji
Vetrne elektrarne	redki zemeljski elementi, baker	generatorji, magneti
Sončne elektrarne	silicij, srebro, baker	fotonapetostni moduli
Elektroenergetska omrežja	baker, aluminij	prenos električne energije
Baterijski sistemi	litij, kobalt, nikelj	shranjevanje energije

Tabela 1: Ključne kritične surovine po tehnologijah energetskega prehoda; (Vir: prilagojeno po IEA 2025)



izkopati približno sedem ton materiala. Pri pridobivanju nafte nastane približno šest ton odpadne vode in drugih ostankov na tono proizvedene nafte. Pri kritičnih mineralih so razmerja pogosto še večja. Vsebnost bakra v rudi je pogosto manjša od enega odstotka, kar pomeni, da je za pridobitev ene tone bakra treba odstraniti več kot sto ton materiala.

5 BAKER KOT KLJUČNI MATERIAL ENERGETSKEGA IN DIGITALNEGA PREHODA

Baker je eden najpomembnejših materialov za elektrifikacijo gospodarstva. Zaradi visoke električne in toplotne prevodnosti ima ključno vlogo v proizvodnji električne energije, prenosu elektrike ter številnih tehnologijah nizkoogljivega prehoda.

Baker je bistven za delovanje vetrnih turbin, sončnih elektrarn, električnih vozil, toplotnih črpalk in elektroenergetskih omrežij. Po ocenah mednarodnih organizacij se bo svetovno povpraševanje po bakru do leta 2050 približno podvojilo zaradi širjenja tehnologij z nizkimi emisijami (International Copper Association, 2024).

Baker ima pomembno vlogo tudi v digitalni infrastrukturi, zlasti v podatkovnih centrih in sistemih umetne inteligence. Delovanje velikih modelov umetne inteligence zahteva zmogljive podatkovne centre z visoko porabo električne energije. Zaradi tega je baker ključna sestavina električne infrastrukture, hladilnih sistemov in omrežnih povezav v teh centrih.

6 KROŽNO GOSPODARSTVO IN RECIKLIRANJE KRITIČNIH SUROVIN

Za razliko od fosilnih goriv je kovine mogoče reciklirati in ponovno uporabiti. Krožno gospodarstvo zato predstavlja pomemben mehanizem za zmanjšanje odvisnosti od primarnih surovin.

Potencial za recikliranje kritičnih materialov je velik, vendar obstajajo številni izzivi. Med njimi so pomanjkanje informacij o vsebnosti materialov v odpadnih izdelkih, logistične težave pri zbiranju odpadkov ter omejena ekonomičnost recikliranja nekaterih materialov.

Trenutno približno 17 % svetovnega povpraševanja po bakru pokriva sekundarna proizvodnja. Po ocenah bi se lahko s kombinacijo ustreznih politik, izboljšanih sistemov zbiranja odpadkov in novih tehnologij recikliranja ta delež do leta 2050 povečal na približno 40 % (IEA, 2023).

7 KROŽNO GOSPODARSTVO IN EVROPSKA KONKURENČNOST

Krožno gospodarstvo ima pomembno vlogo pri zagotavljanju dolgoročne stabilnosti dobavnih verig kritičnih surovin. Pri tem pa mora poleg okoljskih ciljev upoštevati tudi gospodarske zakonitosti.

Mario Draghi je v poročilu o prihodnosti evropske konkurenčnosti poudaril potrebo po oblikovanju enotnega evropskega trga za odpadke in reciklirane materiale, kar bi lahko pomembno prispevalo k večji

učinkovitosti krožnega gospodarstva v Evropi (European Commission, 2024).

V Sloveniji ima pomembno vlogo pri spodbujanju krožnega gospodarstva Slovenski center za krožno gospodarstvo (SCKG), ki povezuje podjetja, raziskovalne institucije in javni sektor ter spodbuja razvoj trajnostnih poslovnih modelov in učinkovite rabe virov (SCKG, 2024).

8 ZAKLJUČEK

Kritične surovine postajajo eden ključnih dejavnikov globalnega energetskega in tehnološkega prehoda. Energetska transformacija, digitalizacija in razvoj umetne inteligence povečujejo povpraševanje po številnih mineralih, ki so nujni za delovanje sodobnih tehnologij.

Evropska unija se na te izzive odziva s celovito politiko kritičnih surovin, ki vključuje diverzifikacijo dobavnih verig, razvoj domače proizvodnje, spodbujanje recikliranja in uveljavljanje načel krožnega gospodarstva. V prihodnje bo uspešnost energetskega prehoda v veliki meri odvisna od tega, kako učinkovito bodo države in gospodarstva upravljali kritične surovine ter zagotavljali trajnostno in zanesljivo oskrbo z materiali.

Antonija Božič Cerar je zaključila študij na montanistiki - NTF, Univerze v Ljubljani. Poklicno pot je začela kot raziskovalka v gospodarstvu, kjer se je kmalu srečala tudi z okoljskimi vprašanji, ki so pomembni za podjetja. S tem področjem se je ukvarjala tudi pri svojem delu na Ekoskladu. Zadnjih 24 let je zaposlena na Gospodarski zbornici Slovenije, sprva kot samostojna svetovalka v Službi za varstvo okolja, nato pa kot direktorica te službe. Delo službe obsega delo s podjetji z vidika zahtev tako slovenske kot tudi evropske okoljske zakonodaje, izmenjave dobrih praks in mreženja okoljskih strokovnjakov, ki delajo na področju okolja v gospodarstvu. V zadnjem letu je močno vpeta tudi v delo Slovenskega centra za krožno gospodarstvo, kjer je GZS koordinator. Delovanje centra sofinancira Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj.

LITERATURA IN VIRI

European Commission. (2023). Critical Raw Materials Act. <https://single-market-economy.ec.europa.eu>

European Commission. (2024). The future of European competitiveness (Draghi report). <https://commission.europa.eu>

International Energy Agency. (2023). Recycling of critical minerals.

International Energy Agency. (2025). Global critical minerals outlook 2025.

International Energy Agency. (2025). World energy outlook 2025.

International Copper Association. (2024). Copper and the energy transition.

Slovenski center za krožno gospodarstvo. (2024). Projekt SCKG. <https://www.sckg.si>



ENERGETSKA IN EKONOMSKA OCENA IZRABE ODVEČNE TOPLOTE ELEKTRO OBLOČNE PEČI

Sandro Abramovič, SIJ Acroni, d. o. o.
doc. dr. Drago Papler, Visoka šola za trajnostni razvoj; Kranj

Povzetek

Evropska komisija je v sklopu načrta za okrevanje in odpornost na področju energetske učinkovitosti, obnovljivih virov energije in trajnostne mobilnosti vključila načrt REPowerEU, ki v segmentu industrije s sofinanciranjem pripomore k pospežitvi zelenega prehoda, in sicer s povečanjem rabe obnovljivih virov energije, izboljšanjem energetske učinkovitosti in razogljičenjem gospodarstva. Za prikaz možnosti in potenciala izrabe odvečne toplote elektro obločne peči podjetja SIJ Acroni je bil na podlagi inovativnih tehničnih rešitev in meritev izveden preračun količine odvečne toplote, ki bi jo bilo možno pridobiti iz dimnih plinov.

Z uvedbo sistema bi se izboljšala energetska učinkovitost sistema elektro obločne peči in kot obnovljiv vir zagotovila toplotna energija, ki bi jo lahko uporabili bodisi v lokalnem sistemu ogrevanja bodisi v daljinskem sistemu ogrevanja mesta Jesenice.

Poleg tehničnih karakteristik umestitve sistema za izrabo odvečne toplote in količine te je na podlagi inženirskih ocen investicije izdelana ekonomska analiza upravičenosti vlaganj. S pomočjo ekonomskih metod neto sedanje vrednosti investicije, interne stopnje donosnosti ter statičnih in dinamičnih kazalnikov učinkovitosti so bili izračunani ekonomski učinki v normalnih pogojih, pri različnih stanjih z vidika tveganja ter z upoštevanjem dodatnih koristi s Cost Benefit analizo.

Ključne besede: elektro obločna peč, odvečna toplota, energija, ekonomski kazalniki, Cost Benefit analiza.

EVALUATING THE ENERGY AND ECONOMIC POTENTIAL OF ELECTRIC ARC FURNACE HEAT RECOVERY

Abstract

The European Commission implemented the RE-PowerEU plan and provided additional fundings of projects as part of the recovery and resilience plan in the field of energy efficiency, renewable energy sources and sustainable mobility. The goal is to accelerate the green transition in the industry segment through co-financing by increasing the use of renewable energy sources, improving energy efficiency and decarbonising the economy. To demonstrate the possibilities and potential for utilizing excess heat from SIJ Acroni's electric arc furnace, innovative technical solutions and measurements were used to calculate the amount of excess heat that could be recovered from flue gases. The introduction of the system for utilization of waste heat from flue gases would improve the energy efficiency of the electric arc furnace system and provide

thermal energy as a renewable source, which could be used either in the local heating system or in the district heating system of the city of Jesenice. In addition to the technical characteristics of the installation of the system for the utilization of excess heat and its quantity, an economic analysis of the justification of the investment was prepared on the basis of engineering estimates of the investment. Using economic methods of net present value of investment, internal rate of return, and static and dynamic efficiency indicators, the economic effects were calculated under normal conditions, in various risk scenarios, and taking into account additional benefits using a cost-benefit analysis.

Keywords: electric arc furnace, excess heat, energy, economic indicators, Cost Benefit analysis

1 UVOD

V jeklarski industriji se za izdelavo jeklenih izdelkov uporabljajo tehnološki procesi taljenja, rafinacije, litja in oblikovanja jekla v končni izdelek. Vsak tehnološki proces ob tem porabi veliko količino energije za doseganje ustreznih mehanskih lastnosti in oblike končnega izdelka pri katerem ob intenzivnem ogrevanju in ohlajanju nastane stranski produkt odvečna toplota.

Evropska unija v segmentu industrije ob uvedbi najboljših razpoložljivih tehnologij (Uradni list Evropske unije, 2012) s sofinanciranjem pripomore k pospešitvi zelenega prehoda, in sicer s povečanjem rabe obnovljivih virov energije, izboljšanjem energetske učinkovitosti in razogljičenjem gospodarstva, kar jeklarsko industrijo umešča med upravičene porabnike sredstev.

Podjetje SIJ Acroni, d. o. o. v tehnološkem procesu izdelave jekla v obratu jeklarna uporablja elektro obložno peč (EOP). Za ohlajanje dimnih plinov elektro obložne peči se uporablja primarni hladilni sistem za ohlajanje dimnih plinov, ki zagotavlja zadostno ohlajanje dimnih plinov elektro obložne peči na temperaturo, ki se v kasnejši fazi očistijo preko sistema filtrov in izpustijo v okolje. Primarni hladilni sistem pri tem mora zagotoviti rapidno ohlajanje dimnih plinov z odvzemanjem ogromne toplotne energije preko hladilnih elementov sistema.

V primeru investicije v nov sistem ohlajanja dimnih plinov z izvedbo izkoriščanja odvečne toplote lahko govorimo o koristih zmanjšanja porabe električne energije in potencialno izrabo odvečne toplote v obliki obnovljivega vira energije za povečanje energetske učinkovitosti obrata jeklarne.

2 PREGLED LITERATURE

Raziskovalno področje se dotika zamenjave primarnega sistema za ohlajanje dimnih plinov elek-

tro obložne peči z izrabo odvečne toplote, ki se v sistemu odvede s pomočjo vodno hlajenih cevovodov preko toplotnih izmenjevalcev. Avtorja (Karboniczek, 2022 in Tolar, 2006) poudarjata pomen učinkovitega ohlajanja za stabilnost procesa.

2.1 Elementi primarnega sistema ohlajanja elektro obložne peči

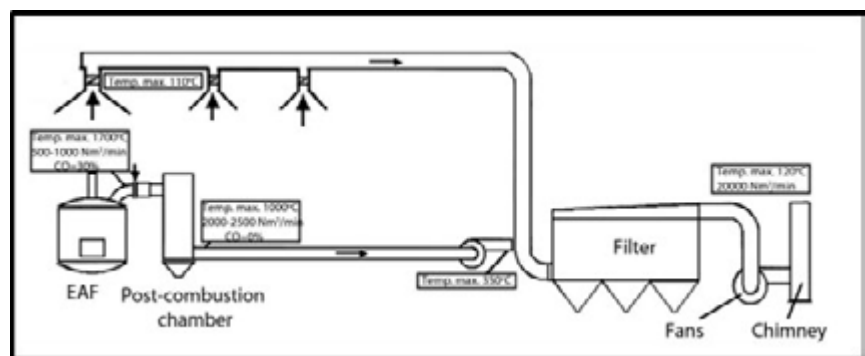
Shema celotnega sistema ohlajanja dimnih plinov elektro obložne peči je prikazana na sliki 1.

Agregat elektro obložne peči se uporablja za taljenje jeklenega vložka. V procesu taljenja moramo zagotoviti ustrezno hlajenje agregata in odvajanje odvečne toplote, ki se pojavijo kot dimni plini.

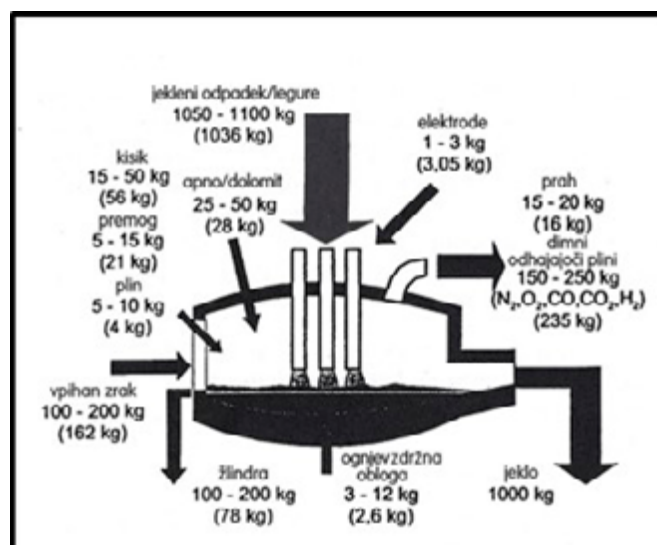
Iz elektro obložne peči se dimni plini odvajajo preko primarnega sistema odpraševanja z namenom, da se ustrezno ohladijo na temperaturo pod 200 °C in preko filtrirnega sistema očistijo, preden se preko dimnika izpustijo v okolje.

2.2 Materialna in energetska bilanca elektro obložne peči

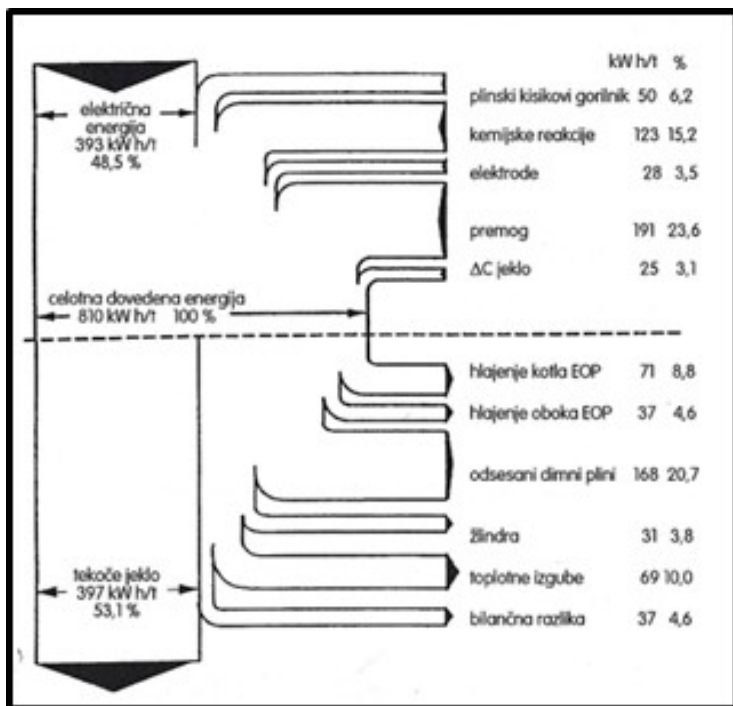
Na sliki 2 je prikazana materialna in energetska bilanca elektro obložne peči pri proizvodnji 1000 kg jekla in lastnosti dimnih plinov, ki jih je s primarnim sistemom ohlajanja treba ustrezno ohladiti.



Slika 1: Splošna shema sistema za zajemanje izpušnih plinov iz 160-tonske elektro obložne peči (Vir: Karboniczek, 2022)



Slika 2: Shema materialne bilance 100 t elektro obložne peči (Vir: Tolar, 2006)



Slika 3: Primer energetske bilance 100-tonske elektro obločne peči (Vir: Tolar, 2006)

Za razumevanje potrebe ohlajanja dimnih plinov se izkazuje energetska bilanca elektro obločne peči za potrebe proizvodnje 1000 kg jekla in energetska potreba po ohlajanju dimnih plinov, prikazano na sliki 3.

Pri dimenzioniranju sekundarnega sistema ohlajanja dimnih plinov je treba zagotoviti ustrezne pogoje odsesavanja in ohlajanja dimnih plinov. Iz energetske bilance razberemo, da pri izdelavi 100 ton jekla dovedemo 81 MWh električne in kemijske energije, pri tem preko sistema za ohlajanje dimnih plinov odvedemo 16,8 MWh toplotne energije oziroma 20,7 odstotka dovedene energije.

2.3 Tehnološke rešitve ohlajanja dimnih plinov

Razvite so tri tehnologije ohlajanja izpušnih plinov, in sicer tehnologija vodno hlajenih hladilnih cevovodov, tehnologija hladilnega stolpa dimnih plinov (Erb, Feucht, 2024) in tehnologija neposredne proizvodnje pare (Dorndorf, Liese, Granderrath, Schrade, 2016). Tehnologija neposredne proizvodnje pare v kasnejši fazi omogoča uporabo

pare v ostalih tehnoloških procesih obrata, uporabo pare za proizvodnjo električne energije preko ORC enote ali uporabo toplotnih izmenjevalcev za uporabo v lokalnih ali daljinskih sistemih ogrevanja. Ne glede na izbrano tehnologijo moramo zagotoviti zadosten odzjem toplotne energije dimnih plinov. Poleg odvzema toplote je treba zagotoviti ustrezen pretok dimnih plinov, za katera se uporabljajo vetrila. Odvečno toploto lahko odvedemo preko hladilnih elementov in jo preko zunanjih hladilnih stolpov izpustimo v okolje. V primeru vgradnje sistema za zajem toplote zajame-

mo in jo lahko uporabimo v ostalih procesih, ki potrebujejo toplotno energijo ali pa jo uporabimo za lokalni ali daljinski sistem ogrevanja.

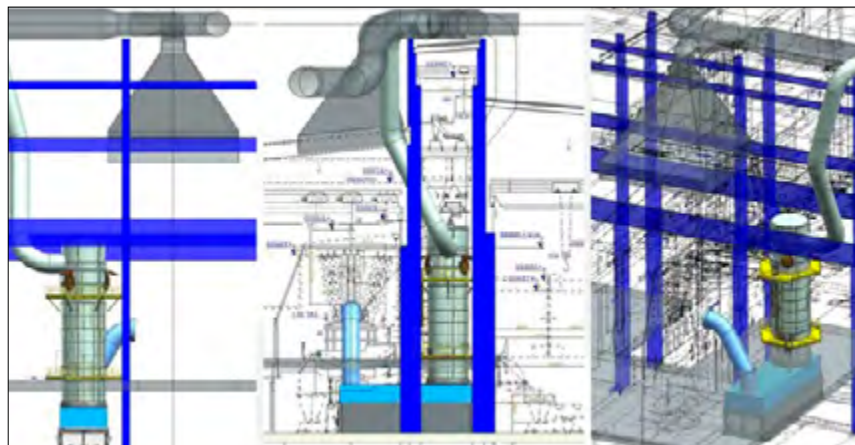
Za potrebe ocene izvedljivosti projekta je podjetje SIJ Acroni naročilo študijo izvedljivosti umestitve vodno hlajenega stolpa v obrat jeklarne. Študija omogoča potrditev umestitve hladilnega stolpa dimnih plinov vključno z osnovnimi preliminarnimi podatki za vgradnjo tega. Glavne komponente za vgradnjo so: vodno hlajeni povezovalni cevovod, hladilna komora s toplotnim izmenjevalcem, hladilni stolp in vodni črpalni sistem.

Najpomembnejša ugotovitev je, da bi poleg možnosti izrabe odvečne toplote zaradi konstrukcijske spremembe dosegli manjši upor in padec tlaka v cevovodih, in tako lahko zmanjšali moč na vetrilih. S tem bi zmanjšali porabo električne energije na vetrilih, in sicer v povprečju zmanjšanje moči za 600 kW.

3 MATERIALI IN METODE DELA

Izračun količine odvečne toplote

Za potrebe izvedbe izračunov in dimenzioniranja je treba izvesti meritve vsebine dimnih plinov, količine dimnih plinov in temperature dimnih plinov na vstopu in izstopu hladilnega stolpa. S tem lahko določimo količino odvečne toplote, ki jo je možno uporabiti. Za namene



Slika 4: Prikaz umestitve vodno hlajenega hladilnega stolpa (Vir: Erb, Feucht, 2024)

okvirnega izračuna odvečne toplote smo vzeli izmerjene podatke, ki so bili pridobljeni v sklopu izvedenih meritev vključno s podatki, ki so na voljo v sklopu podjetja SIJ Acroni, ter uporabili enačbe drugega zakona termodinamike (Kraut, 2007).

Merjenje upravičenosti investicijskih vlaganj

Investicije je treba presojati z vidika, ali so denarni prilivi (prihodki) večji od denarnih odlivov (odhodki). V literaturi zasledimo različne načine za ugotavljanje uspešnosti naložbe (Bizjak, 2008). Najbolj pogoste so statične in dinamične metode ocenjevanja, katere osnovno merilo za delitev je vključevanje časovne dimenzije denarja v presojo investicije.

Statični kriteriji zanemarjajo časovno komponento oziroma jo upoštevajo le delno, pri dinamičnih metodah pa z diskontiranjem prihodnjih denarnih tokov na začetni trenutek naredimo zneske primerljive (Papler, Bojnc, 2012).

Ekonomsko vrednotenje

Izračune smo izvedli z vidika načrtovanih prihrankov in prihodkov v primeru prodaje odvečne toplotne energije ter ekonomskih učinkov, ki jih merimo z različnimi kazalci. Ob tem smo ocenili tveganja z odstopanjem doseženih prihrankov/prihodkov glede na spremenjene vhodne parametre (stroški električne energije in zmanjšanje obsega poslovanja sistema) in koristi v primeru prodaje odvečne toplotne energije. Za izračune ekonomskega vrednotenja smo izvedli primerjalno analizo ekonomskih metod in kazalnikov v normalnih pogojih, pri tveganjih in koristih (Cost Benefit analiza). Investicijo smo ocenili z ekonomskimi metodami, kot so interna stopnja donosnosti (ISD), neto sedanja vrednost (NSV), dobo vračanja naložbe (EDV=t) ter kazalniki učinkovitosti in uspešnosti, kazalnik gospodarnosti ali ekonomičnosti (E), kazalnik donosnosti ali rentabilnost naložb (D) in kazalnik

donosnosti odhodkov ali rentabilnost vseh sredstev (Do).

4 REZULTATI

4.1 Investicija in prihranki sistema za izrabo odvečne toplote

Na podlagi projektantskih ocen smo pridobili ocene investicije v sistem hladilnega stolpa dimnih plinov, ki znaša 4.020.000 EUR. Pri izračunih smo upoštevali individualno diskontno stopnjo sredstev v višini 4,6 %. Za kalkulacijo stroškov obratovanja se upošteva amortizacijska doba 25 let in dodatni stroški vzdrževanja, ki so ocenjeni na 203.520 EUR/leto. Za potrebe izračuna prihrankov smo upoštevali, da elektro obločna peč obratuje 6.604 ur/leto in doseže letni prihranek v višini 591.349 EUR/leto z zmanjšanjem porabe električne energije na vetrilih.

4.2 Teoretični izračun količine odvečne energije

Teoretična povprečna moč odvečne toplote (Q), ki je na voljo, je preračunana iz specifične toplote zmesi plinov ($c = 1,0206 \text{ kJ/kg K}$), masnega pretoka ($m = 33,936 \text{ kg/s}$)

in spremembe temperature ($\Delta T = 300 \text{ K}$) znaša 10,39 MW. Ob tem smo na podlagi meritev za preračun upoštevali srednje vrednosti in zanemarili izgube sistema, saj so temperature dimnih plinov odvisne od proizvodnega programa. Pri letnem obratovalnem ciklu elektro obločne peči smo za izračun upoštevali 6.000 obratovalnih ur/leto in pridobili teoretično 62,34 GWh odvečne toplote, ki bi jo lahko uporabili kot obnovljivi vir energije.

4.3 Tveganja in Cost Benefit analiza

Za oceno tveganj smo kot tveganje 1 upoštevali spremembo cene električne energije, ki vpliva na dosežene prihranke investicije, saj je trenutno glede na geopolitično stanje Evrope podvržena močnim spremembam. Tveganje 2 smo opredelili kot zmanjšanje obratovalnih ur elektro obločne peči, kot posledica spremembe prodajnega programa ali zmanjšanja obsega poslovanja.

Za oceno Cost Benefit analize smo upoštevali proizvodno ceno 80,79 EUR/MWh, ki je bila določena s strani oddelka Energetika družbe SIJ Acroni in se uporablja za naslednja izračuna:

1. oddajo toplotne energije v interni sistem ogrevanja podjetja SIJ Acroni in
2. oddajo toplotne energije v sistem daljinskega ogrevanja mesta Jesenice.

Ob tem smo upoštevali naslednje podatke:

- *Tveganje 1* – sprememba cene električne energije. Za izračune smo uporabili zgodovinske povprečne letne cene električne energije in jih ponavljajoče se upoštevali v celotni amortizacijski dobi. Pri tem smo uporabili naslednje ponavljajoče se vrednosti za celotno amortizacijsko dobo projekta ($c_{2028} = 273,69 \frac{\text{EUR}}{\text{MWh}}$; $c_{2029} = 104,53 \frac{\text{EUR}}{\text{MWh}}$; $c_{2030} = 91,92 \frac{\text{EUR}}{\text{MWh}}$; $c_{2031} = 149,24 \frac{\text{EUR}}{\text{MWh}}$; $c_{2032} = 37,54 \frac{\text{EUR}}{\text{MWh}}$; $c_{2033} = 114,62 \frac{\text{EUR}}{\text{MWh}}$...);
- *Tveganje 2* – zmanjšanje obratovalnih ur elektro obločne peči, in sicer za 15 % iz 6.604 obratovalnih ur na 5.613 obratovalnih ur;
- *Cost Benefit analiza 1* – uporaba odvečne toplote v lastnem sistemu ogrevanja SIJ Acroni = 3.444 MWh/leto po ceni 80,79 EUR/MWh;
- *Cost Benefit analiza 2* – uporaba odvečne toplote v daljinski sistem ogrevanja mesta Jesenice = 18.982 MWh/leto po ceni 80,79 EUR/MWh.



Elementi	Enota	Normalno stanje	Tveganje 1: dinamična cena el. energije	Tveganje 2: obratovalne ure -15 %	CBA 1: interni sistem ogrevanja	CBA 2: ogrevanje mesto Jesenice
Investicija (N)	EUR	4.020.000	4.020.000	4.020.000	4.020.000	4.020.000
Letni prihodki	EUR	591.349	147.748 – 1.084.469	502.646	868.692	1.942.949
Letni odhodki	EUR	203.520	203.520	203.520	203.520	203.520
Letni donos (d)	EUR	387.829	-56.372 – 880.949	299.126	665.162	1.739.429
Celotni prihodki (Sd)	EUR	14.724.580	12.601.371	12.515.893	25.678.174	48.379.434
Celotni stroški (So)	EUR	5.088.000	5.088.000	5.088.000	5.088.000	5.088.000

Tabela 1: Vhodni podatki investicije (Vir: lastni, 2026)

Ekonomske metode in kazalniki	Enota	Normalno stanje	Tveganje 1: dinamična cena el. energije	Tveganje 2: obratovalne ure -15 %	CBA 1: interni sistem ogrevanja	CBA 2: ogrevanje mesto Jesenice
Enostavna doba vračanja sredstev - EVS	leto	10,37	14,3	13,44	6,63	2,39
Neto sedanja vrednost - NSV	EUR	2.693.509	288.755	375.189	5.685.034	21.451.651
Finančna diskontna stopnja – r za NSV	%	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
Interna stopnja donosnosti - ISD	%	8,48	4,9	8,98	16,72	47,37
Kazalnik gospodarnosti ali ekonomičnosti - E	-	1,45	1,04	1,05	1,82	4,08
Kazalnik donosnosti ali rentabilnosti naložb - D	%	67	7,18	9,33	141,42	533,62
Kazalnik donosnosti odhodkov ali rentabilnost vseh sredstev - Do	%	45,43	4,15	5,4	81,75	308,48

Tabela 2: Ekonomski kazalniki investicije: normalno stanje, tveganja in cost benefit analizi (Vir: lastni, 2026)

4.4 Izračuni ekonomskega vrednotenja

Vhodni podatki za preračun investicije so prikazani v tabeli 1.

Na podlagi vhodnih podatkov iz tabele 1 smo izračunali ekonomske kazalnike investicije, ki so prikazani v tabeli 2.

5 5 RAZPRAVA

Raziskava izvedljivosti posodobitve primarnega sistema ohlajanja dimnih plinov na elektro obložni peči (EOP) v podjetju SIJ Acroni razkriva pomemben energetski in ekonomski potencial, ki presega zgolj osnovno funkcijo ohlajanja plinov pod kritično temperaturo 200 °C.

Izračuni na podlagi drugega zakona termodinamike so pokazali, da sistem trenutno zavrže ogromne

količine energije. Teoretična razpoložljiva moč 10,39 MW oziroma 62,34 GWh toplote letno predstavlja ogromen energetski potencial obnovljivega vira energije. Trenutni sistem to toploto preko hladilnih stolpov neizkoriščeno oddaja v okolico, kar v luči energetske učinkovitosti predstavlja entropijske izgube. Ključna ugotovitev študije (Erb, 2024) je, da nova konstrukcija hladilnega stolpa ne prinaša le možnosti zajema toplote, temveč tudi konstrukcijske izboljšave za prehod dimnih plinov z zmanjšanjem upora v cevovodih. Zmanjšanje upora v cevovodih neposredno zniža moč vetril za 600 kW in s tem porabo električne energije na vetrilih, kar predstavlja prihranek skoraj 600.000 EUR letno, neodvisno od tega, ali toploto dejansko prodamo ali ne.

Analiza petih scenarijev je potrdila visoko stopnjo robustnosti investicije. Kazalnik gospodarnosti (E) ostaja nad vrednostjo 1,0, celo v primeru neugodnih tržnih razmer:

- **Tveganje 1 (Cena električne energije):** Dinamične cene električne energije so najbolj kritičen faktor. Ob najnižji predvideni ceni (37,54 EUR/MWh) letni donos postane celo negativen, vendar dolgoročna amortizacija (25 let) in obdobja visokih cen ohranjajo interno stopnjo donosnosti (ISD) pri 4,90 %, kar je še vedno za 0,30 diskontne točke več nad diskontno stopnjo 4,6 %.
- **Tveganje 2 (Obratovalne ure):** 15 % zmanjšanje števila letnih obratovalnih ur podaljša dobo vračanja na 13,44 leta, vendar projekt ne ogrozi finančne stabilnosti podjetja.

Največji razkorak opazimo med normalnim stanjem in scenarijem pri Cost Benefit analizi 2. Če bi SIJ Acroni vso zajeto toploto (18.982 MWh/leto) usmeril v daljinsko ogrevanje mesta Jesenice, bi se ekonomika projekta korenito spremenila:

- *Enostavna doba vračanja investicije* bi se z 10,37 leta skrajšala na izjemnih 2,39 leta.
- *Neto sedanja vrednost (NSV)* bi poskočila z 2,6 milijona na 21,4 milijona EUR.

To nakazuje, da je ključ do maksimalne donosnosti v povezovanju industrijskih procesov z lokalno skupnostjo (industrijska simbioza), s čimer se odvečna toplota iz bremena spremeni v tržni produkt.

6 ZAKLJUČEK

Investicija v nov sistem ohlajanja dimnih plinov z izrabo odvečne toplote v podjetju SIJ Acroni predstavlja šolski primer zelenega prehoda v težki industriji. Na podlagi opravljene analize lahko povzamemo ključne ugotovitve:

- *Tehnična upravičenost*: zamenjava obstoječih cevovodov z vodno hlajenim stolpom zmanjša padec tlaka in omogoča neposreden prihranek električne energije na vetrilih v višini 591.349 EUR letno, kar predstavlja osnovno varnostno mrežo investicije.
- *Ekonomska donosnost*: projekt je ekonomsko upravičen v vseh analiziranih scenarijih. Tudi ob upoštevanju tržnih tveganj in nihanju cen energentov, interna stopnja donosnosti (ISD) ostaja nad diskontno stopnjo, kar pomeni, da investicija povečuje vrednost podjetja.
- *Trajnostni vpliv*: z izrabo teoretičnih 62,34 GWh odvečne toplote podjetje ne le izboljšuje svojo energetska bilanco, temveč se aktivno vključuje v razogljičenje regije. Scenarij ogrevanja mesta Jesenice (Cost Benefit analiza 2) izkazuje najvišjo rentabilnost in

možnost dobave toplotne energije kot obnovljivi vir energije.

Končna ocena izvedbe investicije je glede na izračune ekonomske kazalnike upravičena. V primeru izvedbe investicije bi podjetje SIJ Acroni sledilo najboljšim razpolo-

žljivim tehnologijam (BAT) in utrdilo svoj položaj energetska učinkovitega proizvajalca jekla.

Sandro Abramovič je diplomirani inženir tehnologije prometa in zaposlen kot specialist za infrastrukturo v oddelku za strateški in trajnostni razvoj podjetja SIJ Acroni. Zadnjih 20 let je aktiven na področju energetike ter industrije in ima za seboj bogato zgodovino izkušenj z izvedbo in vodenjem projektov. Obiskuje magistrski študij programa Gospodarski inženiring na Poslovno-tehniški fakulteti, Univerze v Novi Gorici.

Drago Papler je docent za ekonomijo in znanstveno-raziskovalni sodelavec ter zunanji član Katedre za ekonomijo na Fakulteti za management, Univerze na Primorskem. Kot predavatelj ekonomije, strateškega managementa, energetskih in proizvodnih sistemov, obnovljivih virov energije ter učinkovite rabe energije je vključen v pedagoško delo v magistrskem programu Gospodarski inženiring na Poslovno-tehniški fakulteti, Univerze v Novi Gorici ter v diplomskem programu Varstvo okolja na Visoki šoli za trajnostni razvoj, Ljubljana. Sodeluje v programih Višje strokovne šole B&B in Višje strokovne šole Biotehniškega centra Naklo. Izkušnje ima iz strokovne kariere v gospodarstvu. Zaposlen je bil v Elektru Gorenjska na področju tehnične komercialne investicij distribucijskega omrežja, marketinga in trga z električno energijo. V Gorenjskih elektrarnah je bil vodja investicij, razvoja in projektive ter svetovalec direktorja za raziskave in razvoj ter predstavnik vodstva za kakovost in upravljanje z energijo. Od leta 2021 je vodja Medpodjetniškega izobraževalnega centra Biotehniškega centra Naklo. Njegova raziskovalna področja so: interdisciplinarne študije, ekonomika, management, podjetništvo, kakovost, energetika, obnovljivi viri energije, agroekonomija in turizem. Sodeluje v strokovnih združenjih ter kot predavatelj na konferencah, vodi projekte trajnostnega razvoja in sodeluje v znanstveno-raziskovalnih projektih. Zaključuje drugi doktorat znanosti.

LITERATURA IN VIRI

Bizjak, F. (2008). Osnove ekonomike podjetja za inženirje. Nova Gorica: Univerza v Novi Gorici.

Dorndorf, M., Liese, M., Granderath, R., Schrade, C. (2016). High efficient energy recovery solutions for melt shops. La Metallurgia Italiana n. 9, 2016.

Erb, K., Feucht, T. (2024). PO1402 Feasibility study HTQ – interni dokument podjetja SIJ Acroni-Jesenice: SIJ Acroni.

Karbowiczek, M. (2022). Electric Arc Furnace Steelmaking. CRC Press. Taylor & Francis Group. Dostopno na naslovu: <https://research1.com/IronSteelManufactureLibrary/ElectricArcFurnaceSteelmakingKarbowiczek.pdf> (10. 2. 2026).

Kraut, B. (2007). Krautov strojniški priročnik. 14 slovenska izdaja predelana. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.

SIJ Acroni (2025). Interni arhiv tehnične dokumentacije. Jesenice: SIJ Acroni.

Papler, D. in Bojnec, Š. (2012). Naložbe v trajnostni razvoj energetike. Dostopno na naslovu: <https://www.frn-kp.si/zalozba/ISBN/978-961-266-128-1.pdf> (11. 1. 2026).

Tolar, M. (2006). Elektrojeklarstvo. Jesenice, Sij – Acroni. Jesenice: SIJ Acroni.

Uradni list Evropske unije (2012). BAT (Best Available Technologies. Najboljše razpoložljive tehnologije) 2012/135/EU o industrijskih emisijah za proizvodnjo železa in jekla, str. L70/79.

VLOGA NAPREDNE BIOTEHNOLOGIJE V KROŽNEM GOSPODARSTVU IN ZELENEM PREHODU

dr. Martin Batič, Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo; Visoka šola za trajnostni razvoj, Kranj

Povzetek

Napredna biotehnologija zajema inovativne biotehnoške pristope in tehnologije, ki imajo ključno vlogo pri razvoju krožnega gospodarstva in zelenega prehoda. Omogoča trajnostne rešitve v industriji, medicini, kmetijstvu, varstvu okolja in drugih sektorjih ter podpira prehod v snovno učinkovite in nizkoogljične sisteme.

Omogoča učinkovito rabo virov ter proizvodnjo visokovrednih bioobnovljivih proizvodov. S tem zmanjšuje odvisnost od fosilnih virov, spodbuja kroženje snovi ter prispeva k razogljičenju industrije in varovanju okolja.

Napredna biotehnologija je eden ključnih stebrov biogospodarstva in pomemben nosilec zelenega prehoda. Predstavlja pomembno področje evropskih in slovenskih razvojnih politik ter pomembno prispeva k doseganju ciljev trajnostnega razvoja.

Ključne besede: biotehnologija, krožno gospodarstvo, zeleni prehod, trajnostni razvoj.

THE ROLE OF ADVANCED BIOTECHNOLOGY IN THE CIRCULAR ECONOMY AND GREEN TRANSITION

Abstract

Advanced biotechnology comprises innovative approaches and technologies that play a key role in developing the circular economy and advancing the green transition. It offers sustainable solutions for industry, medicine, agriculture, environmental protection, and other sectors, supporting the move towards resource-efficient and low-carbon systems.

Advanced biotechnology enables efficient resource use and the production of high-value bio-based products. This reduces dependence on fossil resources, promotes circular material flows, and contributes to industrial decarbonisation and environmental protection.

Advanced biotechnology is a key pillar of the bioeconomy and an important driver of the green transition. Owing to its rapid development and broad applicability, it is a significant focus of both European and Slovenian development policies and makes an important contribution to achieving sustainable development goals.

Keywords: biotechnology, circular economy, green transition, sustainable development.

1 UVOD

Biokonvergenca med znanostmi o življenju in naprednimi tehnologijami predstavlja eno ključnih gonil sodobnega inovacijskega razvoja. Hiter napredek ter sinergijsko povezovanje bioloških, inženirskih in digitalnih pristopov omogočata razvoj inovacij z visoko dodano vrednostjo, ki pomembno prispevajo h krožnemu gospodarstvu in zelenemu prehodu v različnih gospodarskih sektorjih, s čimer podpirajo uresničevanje ciljev trajnostnega razvoja.

Napredna biotehnologija zajema nabor inovativnih metod, procesov in tehnoloških rešitev, ki temeljijo na uporabi bioloških sistemov, organizmov ali njihovih komponent. Ti pristopi omogočajo razvoj produktov in storitev, ki ne le izboljšujejo kakovost življenja, temveč tudi povečujejo okoljsko in gospodarsko učinkovitost pri upravljanju naravnih virov, vključno z zmanjševanjem rabe neobnovljivih virov in okoljskih obremenitev.

Trajnostni razvoj se v tem kontekstu razume kot celovit okvir, ki usklajuje gospodarske, družbene in okoljske vidike razvoja. Njegov cilj je zadovoljevanje potreb sedanjih generacij, ne da bi ogrožal sposobnost prihodnjih generacij za izpolnjevanje lastnih potreb.

Integracija biotehnoloških inovacij v trajnostne proizvodne in potrošne prakse ima ob pospešenem tehnološkem razvoju in naraščajočih okoljskih pritiskih izrazit transformativni potencial. Biokonvergenčni pristopi lahko pomembno prispevajo k uresničevanju vseh 17 ciljev trajnostnega razvoja, ki jih opredeljuje Agenda 2030 Združenih narodov, pri čemer se poudarja osrednja vloga znanosti, tehnologije in inovacij pri reševanju kompleksnih globalnih družbenih, okoljskih in gospodarskih izzivov (United Nations, 2015).

Okoljska kriza, ki jo povzročata predvsem prekomerno izčrpavanje

naravnih virov in onesnaževanje, je povzročila nujnost prehoda na bolj trajnostne poslovne modele. Krožno gospodarstvo se pri tem promovira kot alternativa tradicionalnemu linearnemu poslovnemu modelu, saj temelji na ponovni uporabi, recikliranju in predelavi materialov, kar zmanjšuje količino odpadkov ob ustvarjanju zelenih delovnih mest in povečevanju industrijske učinkovitosti, kot je prikazano na sliki 1 (Carmona Marques, Fernandes, Sampaio, & Silva, 2025); (Manganda, Sehnem, & Lara, 2024); (Maroldi, in drugi, 2024).

Pomembnost biotehnologije za krožno gospodarstvo in zeleni prehod izpostavlja tudi Evropska unija v »Strategiji za kompetitivno in trajnostno EU gospodarstvo« (Evropska komisija, Strateški okvir za konkurenčno in trajnostno biogospodarstvo EU, COM(2025) 960 final, 2025), kjer so tehnologije z biološkimi pristopi, temelječe na obnovljivih virih, označene kot medsektorsko uporabne. Ocenjuje se tudi, da bi bilo možno do 60 % vseh fizičnih vložkov v svetovno gospodarstvo, ki vključujejo tako biološke materiale kot nebiološke vložke, mogoče proizvesti ali nadomestiti z biološkimi metodami (Chui, Evers, Manyika, Zheng, & Nisbet, 2020). Biotehnološka panoga predstavlja velik potencial za krožno gospodarstvo in zeleni prehod tudi v Sloveniji, kjer je mnenje, da biotehnologija že zdaj prispeva več kot 6 % BDP (Ministrstvo za gospodarstvo, turizem in šport, 2024).

Biotehnološki pristopi omogočajo okoljsko in družbeno učinkovite rešitve v različnih sektorjih, vključno z industrijo, okoljem, medicino, kmetijstvom in celo gradbeništvom. Najsodobnejše področje biotehnološke znanosti imenujemo napredna biotehnologija. Izkorišča preboje v bioloških znanostih, kot so genska tehnologija, napredne tehnike urejanja genoma, sintezna biologija ter napredek v računalništvu in inženirstvu, kar omogoča

največjo potencialno uporabo mikroorganizmov in njihovih delov v večjem merilu in možnost spreminjanja strukture samega življenja.

Ta multidisciplinarnost napredne biotehnologije in širok spekter proizvodov, ki se pridobivajo z uporabo genskega spreminjanja, se uporablja za doseganje trajnostnih ciljev biogospodarstva in zelenega prehoda.

Nekaj primerov na področjih, kjer se uporablja napredna biotehnologija:

Kmetijstvo

- povečanje pridelka, zmanjšanje porabe fitofarmaceutskih sredstev in gnojil (npr. uporaba gensko spremenjenih rastlin, bio-pesticidov in bio-gnojil) in zmanjšanje proizvodnih stroškov (npr. precizno in pametno kmetovanje);
- izboljšanje hranilne vrednosti hrane (npr. povečanje vsebnosti železa in cinka pri žitih);
- povečanje produktivnosti na področju živinoreje (npr. precizna živinoreja, genomska selekcija in vzreja, urejanje genov in genski inženiring, alternativne beljakovine in celično kmetijstvo).

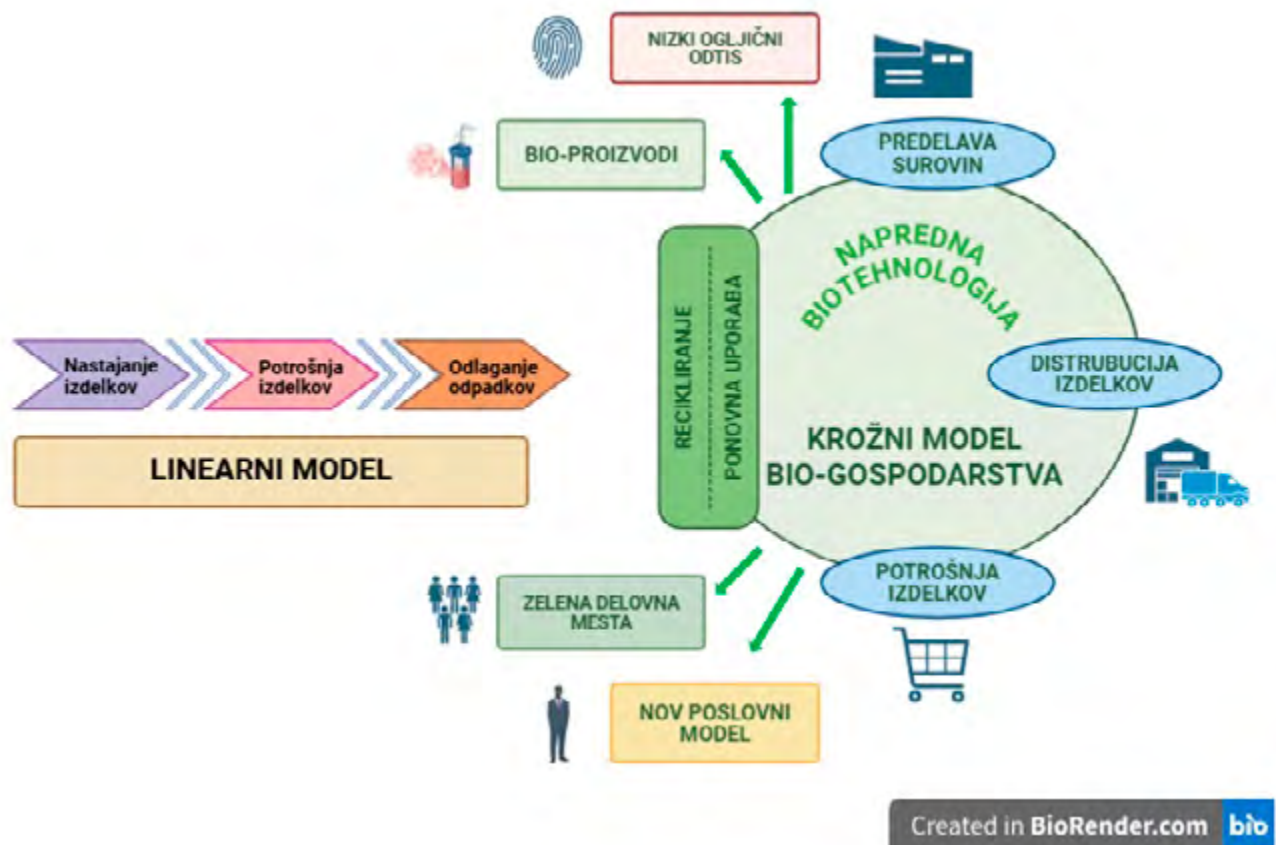
Medicina

- proizvodnja novih in varnejših cepiv (npr. mRNA cepivo proti covidu-19; rekombinantno cepivo proti HPV);
- zdravljenje nekaterih genskih bolezni (npr. hemofilija A in B; srpastocelična anemija);
- zagotavljanje novih in boljših zdravil (CAR-T celice, rekombinantni insulin).

Okolje

- biopolimeri, bioplastika (npr. PLA, PHA, Bio-PE, Bio-PET);
- zmanjšanje onesnaževanja zemlje, vode in zraka (npr. bioremediacije);
- biorafinerije (npr. obdelava odpadkov, biogoriva, biocement).





Slika 1: Primerjava tradicionalnega linearnega modela, temelječega na izčrpanju virov in onesnaževanju, s krožnim modelom biogospodarstva napredne biotehnologije, temelječega na ponovni uporabi, recikliranju in predelavi materialov za zmanjšanje odpadkov za povečanje industrijske učinkovitosti (Vir: ustvarjeno v <https://BioRender.com>)

Napredna biotehnologija sicer ni čudežna tehnologija za doseganje trajnostnega razvoja, vendar pa ima izredno veliko potencialno vrednost zmanjšanja vpliva na okolje in izboljšanja kakovosti življenja, kar je osrednji del zelenega prehoda in trajnostnega razvoja.

V nadaljevanju je predstavljena vloga naprednih biotehnologij in njihova podpora krožnemu gospodarstvu in zelenemu prehodu v sektorju okolja. Prav tako je osvetljen inovativni pristop, ki prispeva k trajnostnemu razvoju, regeneraciji virov, izkoriščanju odpadkov in zmanjšanju odvisnosti od fosilnih goriv.

2 NAPREDNA BIOTEHNOLOGIJA, OKOLJE IN TRAJNOSTNI RAZVOJ

21. stoletje se pogosto opisuje kot stoletje biotehnologije (National Research Council, 2002). Biotehnološke inovacije, vključno z napredno biotehnologijo, novimi genomskimi tehnikami, sintezo biologijo in celostnim upravljanjem naravnih virov, postajajo ključno gonilo krožnega gospodarskega razvoja in trajnostnih sistemov ter zelenega prehoda v različnih sektorjih (Calicioglu & Bogdanski, 2021); (Kardung, in drugi, 2021); (Schenberg, 2010); (Enríquez, 1998). Napredek na tem področju je sprožil nove načine proizvodnje, kroženja, potrošnje, ki so močno spremenili gospodarsko in socialno strukturo in vplivali

na nastanek novega multidisciplinarnega krožnega gospodarskega modela, poimenovanega biogospodarstvo. Leta 2005 je Evropska unija tudi prvič uvedla pojem „na znanju temelječe bio-gospodarstvo“ (Evropska komisija, Conference: the knowledge-based bio-economy, 2005) in s tem prispevala k hitremu globalnemu razvoju koncepta bio-gospodarstva (Wei, in drugi, 2022); (Von Braun, 2020); (Sharma, 2015). Napredna biotehnologija s svojimi inovativnimi pristopi predstavlja osnovni in osrednji element krožnega biogospodarstva v doseganju zelenega prehoda in trajnostnega razvoja. Hiter razvoj na področju sintezne biologije, metabolnega inženirstva in sistemske biologije ponuja zanimive možnosti za ustvarjanje učinkovitejših in trajnostnih biotehnoloških procesov

(Bobde, Harinathan, & Patil, 2024); (Rayalu, Vijayakumar, & Rao, 2024).

2.1 Bioenergija

Pridobivanje bioenergije temelji na izkoriščanju bioloških procesov za proizvodnjo obnovljivih virov energije, t. i. eko-goriv, ki predstavljajo trajnostno alternativo fosilnim gorivom. V to skupino sodijo predvsem tekoča biogoriva, bioplina (vključno z biovodikom), goriva iz odpadkov ter električna goriva (e-goriva). Mednje spadajo alkoholi in aromatski ogljikovodiki, ki se pridobivajo neposredno z bioprocesom ali anaerobno razgradnjo. Ti produkti se lahko nato uporabljajo samostojno ali kot dodatek fosilnim gorivom, bioplinu ali biometanu.

Biogoriva in bioplina imajo velik potencial, da postanejo ključni del celostnega pristopa k reševanju vprašanj podnebnih sprememb in zagotavljanju energetske oskrbe. Ocenjuje se, da bi napredna biotehnologija lahko do leta 2040 prispevala k zmanjšanju emisij CO₂ ekvivalenta za tri do štiri gigatone letno (GtCO₂e). (Yilbasi, 2025); (Advanced Biotech for Sustainability Coalition, 2025); (Sharma, 2015).

Inovativni pristopi za doseganje ciljev trajnostnega razvoja

Inovativni pristop za trajnostno in obnovljivo surovino za proizvodnjo biogoriv (biovodik, biometan, biodizel), ki se od fosilnih goriv razlikuje po nižjih emisijah in nevarnih onesnaževal zraka, se trenutno šteje tudi biotehnološko pridobivanje biomase mikroalg. Mikroalge so enocelični organizmi, ki s fotosintezo pretvarjajo sončno v kemijsko energijo s pomočjo fotosinteze (Deviram, in drugi, 2020) in predstavljajo alternativni in konkurenčen vir biomase v primerjavi z rastlinami. Nekateri avtorji navajajo, da mikroalge predstavljajo le približno 0,2 % svetovne biomase, vendar s fotosintezo prispevajo približno 50 % svetovne fiksacije organskega ogljika (Field, Behrenfeld, Rander-

son, & Falkowski, 1998). Mikroalge se uporabljajo tudi v tehnologijah za varstvo okolja, vključno z obdelavo odpadnih in izcednih vod, nevtralizacijo odpadkov in mulja ter biološko sekvestracijo ogljikovega dioksida, izboljševanjem bioplina in obdelavo dimnih plinov (Dębowski, Zieliński, Kazimierowicz, Kujawska, & Talbierz, 2020) (Pathak, Ahmad, & Kothari, 2019). Na drugi strani alternativnih virov za proizvodnjo bio-energenta z uporabo alg so rastlinske oljarice, ki se uporabljajo tudi za hrano in krmo. Njihova uporaba za proizvodnjo bio-energentov pa lahko posega tudi v prehransko varnost. Primerjava med mikroalgami in oljno ogrščico kaže, da imajo mikroalge bistveno večji potencial za proizvodnjo biodizla, saj lahko proizvedejo približno 20.000–80.000 L olja na hektar na leto, medtem ko oljna ogrščica približno 1.500 L/ha (Chisti, 2007). Ocenjuje se tudi, da bi bilo za nadomestitev celotne evropske porabe transportnih goriv z biodizlom iz mikroalg potrebnih približno 9,25 milijona hektarjev površin za gojenje alg, kar ustreza približno površini Portugalske, ob predpostavki letne produktivnosti približno 40.000 L biodizla na hektar s 50-% vsebnostjo olja v biomasi alg in 3 % izkoristkom sončne energije (Norsker, Barbosa, Vermuë, & Wijffels, 2011) (Commission, 2010). V tem okviru uporaba napredne biotehnologije omogoča inovativne pristope izbire in izboljšanja ter prilagoditev posebnih sevov mikroalg za posamezne aplikacije, vključno s proizvodnjo nosilcev energije, varstvom okolja in biotehnologijami okoljskega inženirstva (slika 2). (Nagarajan, Lee, & Chang, 2019).

2.2 Bioremediacija

Bioremediacija je „in-situ“ ali „ex-situ“ proces, pri katerem mikroorganizmi s pomočjo različnih mehanizmov – kot so encimske oksidacije in redukcije, bioaugmentacija, biostimulacija, biološko iz-

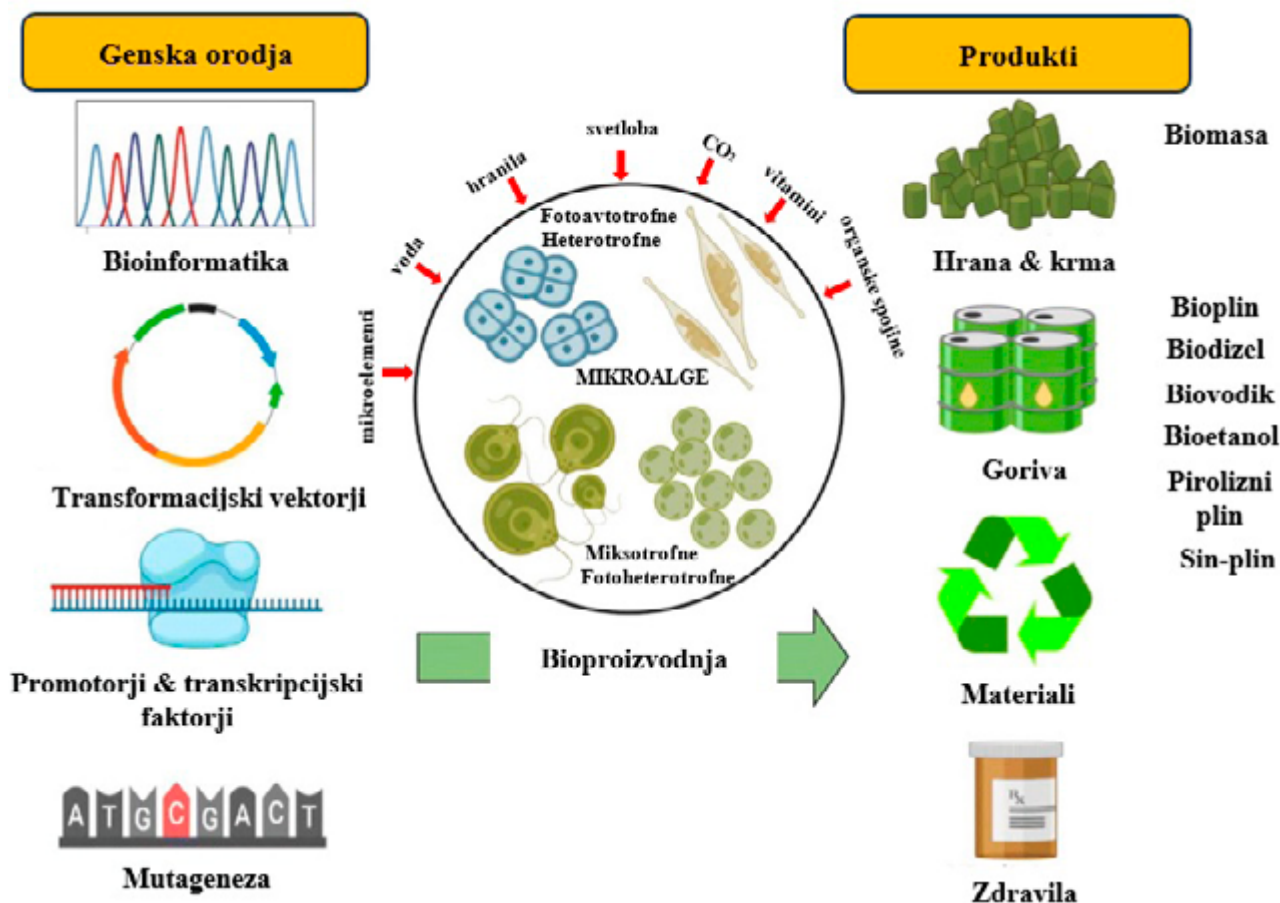
luževanje, biosorpcija, bioakumulacija in precipitacija – razgrajujejo in pretvarjajo onesnaževala v manj škodljive snovi. Gre za okolju prijazno in stroškovno učinkovito metodo čiščenja onesnaženega okolja, ki omogoča sanacijo zemlje, vode in zraka. Praktična uporaba bioremediacije se je začela pred desetletji z biološko obdelavo naftnih ogljikovodikov, pri čemer se je proces izkazal za zelo učinkovit in cenovno ugoden v primerjavi s fizikalnimi in kemičnimi metodami (Arora & Fatima, 2024).

Kljub svoji učinkovitosti je uporaba bioremediacije deležna tudi kritik. Marsikje se še vedno uporablja znotraj tradicionalne industrijske paradigme, pri čemer prispeva le malo k spremembi običajnih gospodarskih praks in potrošniških vzorcev. Poleg tega so v večini primerov predlagane rešitve omejene na biološko sanacijo kot ukrep za odpravo že nastalega onesnaženja. Kot številni zgodnji ekološki pristopi so tudi te biološke metode pogosto „end-of-pipe“ rešitve, ki se ukvarjajo s težavami šele na koncu procesa, namesto da bi jih naslavljalje že od samega začetka („beginning-of-pipe“ rešitve). V tem okviru bo treba popolnoma obrniti miselno paradigmo v smeri zmanjšanja nastajanja odpadkov, namesto da se te biološke sanacije osredotočajo na ravnanje z odpadki z uporabo bioloških sredstev (Montana-Hoyos & Fiorentino, 2016).

Inovativni pristopi za doseganje ciljev trajnostnega razvoja

Inovativni pristop na področju bioremediacije omogoča uporabo genske tehnologije in sintezne biologije za dodatno povečanje učinkovitosti in specifičnosti mikroorganizmov ter mikrobnih združb, ki sodelujejo v bioremediacijskih procesih. Mikrobne združbe, vključene v bioremediacijo, sestavljajo različne mikrobne vrste, ki lahko v medsebojnem delovanju učinkoviteje razgrajujejo kompleksna onesnaževala ali njihove mešanice kot po-





Slika 2: Uporaba različnih genskih orodij (novih tehnik ureditve genoma, sintezne biologije, genskega in metabolnega inženiringa itn.) v bioproizvodnji mikroalg za pripravo različnih produktov (Vir: Prirejeno po (Sproles, in drugi, 2021) in (Dębowski, Zieliński, Kazimierowicz, Kujawska, & Talbier, 2020))

samezne vrste mikroorganizmov. Takšne združbe so lahko naravne ali umetno oblikovane, pri čemer lahko vključujejo tudi gensko spremenjene mikroorganizme s komplementarnimi presnovnimi potmi. Uporaba mikrobnih združb omogoča izboljšano razgradnjo težje razgradljivih spojin, kot so pesticidi, plastika, sintetična in klorirana barvila, ter drugih ksenobiotikov, hkrati pa prispeva k večji robustnosti in stabilnosti bioremediacijskih procesov. (Bobde, Harinathan, & Patil, 2024); (Anderson, 2015); (Rayalu, Vijayakumar, & Rao, 2024). Eden od številnih primerov na tem področju je možnost uporabe gensko spremenjene bakterije *Pseudomonas putida* za odstranjevanje težko razgradljivega onesnaževala 1, 2, 3-trikloropropana (TCP) iz tal ali vode, kar izboljša razgradnjo TVP za več

kot 95 %, kar kaže na učinkovito bioremediacijo tega onesnaževala (Samir, in drugi, 2014).

2.3 Bioplastika

Od komercialne uvedbe plastike v 50. letih prejšnjega stoletja se je letna proizvodnja plastike povečala za več kot 100-krat (Bergeson, Silvera, & Alper, 2024). Kljub vsesplošnemu prehodu na krožno gospodarstvo z uporabo postopkov recikliranja in ponovne uporabe surovin pa je pri njeni proizvodnji še vedno dokaj prisoten linearni gospodarski model. Velikokrat je tipičen življenjski cikel plastičnega proizvoda kratkotrajen in z enkratno uporabo, kar predstavlja pritisk na okolje zaradi kopičenja ne-reciklirane plastike kot odpadka, ki pristane na odlagališčih ali energetski predelavi (Salazar, 2025). V tem okviru se je kot obe-

tavna rešitev za zmanjšanje odvisnosti od fosilnih goriv in ublažitev pritiska tradicionalnih plastik na okolje pojavil biotehnološki proces proizvodnje bioplastike, ki je pridobljena iz obnovljivih bioloških virov (npr. sladkorji, škrob, olje) in pripravljena na način, da je biorazgradljiva in se jo lahko tudi kompostira ali nadgradi (Rao, 2025). Preboji na področju biotehnologije in znanosti o materialih so še dodatno spodbudili številne inovacije na področju bioplastike, kar ima za posledico večjo uporabo v različnih industrijskih sektorjih. Praviloma področje bioplastike razvrščamo v dve kategoriji, in sicer bioplastiko ter biorazgradljivo plastiko. Bioplastika je na eni strani pridobljena iz obnovljivih bioloških virov (npr. koroza, sladkorni trs ali celuloza) vendar ne iz fosilnih goriv. Je lahko biorazgradljiva

ali tudi ne, vendar je zaradi uporabe obnovljivih virov bolj trajnostna. Na drugi strani pa je biorazgradljiva plastika zasnovana tako, da se pod določenimi pogoji razgradi na osnovne snovi, kot so voda, CO₂ in biomasa. Bioplastiki, kot sta na primer polimlečna kislina (PLA) in polihidroksi-alkanoat (PHA) sta pridobljeni iz obnovljivih rastlinskih ali živalskih virov ter sta tako biološkega izvora kot tudi biorazgradljivi, zato se jih lahko reciklira in tudi nadgradi.

Inovativni pristopi za doseganje ciljev trajnostnega razvoja

Napredna biotehnologija in njena orodja imajo ključno vlogo pri razvoju in proizvodnji bioplastike in biorazgradljive plastike ter njenega recikliranja in nadgradnje. Biotehnološka orodja omogočajo gensko spreminjanje mikroorganizmov tako, da proizvajajo različne biopolimere, ki so nato gradniki trajnostnih materialov. Primeri vključujejo gensko spreminjanje nekaterih bakterij in kvasovk za sintezo PLA iz obnovljivih virov, kot je koruzni škrob, kar spodbuja krožno gospodarstvo in zmanjšuje odvisnost od fosilnih goriv, saj se odpadki lahko predelajo v uporabne proizvode. Na primer, gensko spremenjena *Escherichia coli* za proizvodnjo PLA je dosegala večkratno količino PLA polimera v primerjavi z divjim sevom. Enako je tudi gensko spremenjen sev za proizvodnjo PHA dosegel 2–3 krat večjo vsebnost polimera (Jung, Kim, Park, & Lee, 2010); (Ylilinen, Salusjärvi, Toivari, & Penttilä, 2022). Uporaba genske tehnologije, tehnologije urejanja genoma in sintezne biologije postaja temelj za premagovanje izzivov, povezanih z genskim spreminjanjem encimov in njihovih kombinacij, genskim izboljševanjem mikrobnih sevov, kar neposredno vpliva tudi na povečanje učinkovitosti proizvodnje bioplastike in biorazgradljive plastike (Huang, Dong, Che, Li, & Tang, 2025). Iz tega izhaja tudi, da se ogljični odtis proizvodnje bioplastike v primeru PLA zmanjša za

približno 50–70 % ter pri PHA za približno 79–80 % v primerjavi s proizvodnjo klasične plastike (Ouyang, Li, Chen, Li, & Braun, 2024) (Liu, Li, & Chen, 2022).

2.4 Bio-gradbeni materiali

V letu 2025 je bila svetovna poraba osnovnega gradbenega materiala – cementa – ocenjena na približno 4,15 milijarde metričnih ton (Volume Concrete, 2025). V okviru prizadevanj za prehod v krožno gospodarstvo, doseganje ciljev trajnostnega razvoja in zmanjševanje ogljičnega odtisa v gradbeništvu predstavlja proizvodnja biocementa z uporabo mikroorganizmov in encimov inovativen pristop z velikim potencialom za nadomeščanje konvencionalnega cementa. Proces proizvodnje biocementa temelji na uporabi bakterij, plesni, alg ali encimov za inducirano tvorbo kalcijevega karbonata (CaCO₃). Prednosti biocementa v primerjavi s konvencionalnim cementom so predvsem povezane z nižjimi emisijami CO₂, manjšo porabo energije ter potencialnim izboljšanjem mehanskih lastnosti materiala. Z vidika trajnostnega razvoja uporaba biocementa prispeva k zmanjšanju vplivov gradbeništvu na grajeno okolje, saj omogoča zmanjšanje porabe konvencionalnega cementa, za katerega sektor gradbeništvu na globalni ravni intenzivno išče rešitve za znižanje emisij toplogrednih plinov. Biocement pomembno prispeva tudi na področju ravnanja z odpadki in recikliranja v gradbeništvu. Različni tokovi odpadkov se lahko uporabijo bodisi kot substrati za rast mikroorganizmov bodisi kot surovine za proizvodnjo gradbenih materialov, pridobljenih iz industrijskih ali kmetijskih odpadkov. Vir kalcija za mikrobnno spodbujeno precipitacijo je lahko tudi pepel iz zgorevanja premoga, žlindra iz proizvodnje jekla ter jajčne lupine iz živilske in kmetijske proizvodnje. Takšen pristop ne le zmanjšuje količine odpadkov, odloženih na odlagališčih,

temveč zagotavlja tudi cenovno dostopen vir surovin za proizvodnjo biocementa. V gradbeništvu se biocement uporablja predvsem v samopopravljivem betonu, pri sanaciji razpok ter pri stabilizaciji tal, kar potrjuje njegovo prilagodljivost in uporabnost pri reševanju številnih konstrukcijskih in geotehničnih problemov. Biocement predstavlja primer bio-eko-tehnologije, pri kateri se odpadni materiali v okviru krožnega gospodarstva pretvarjajo v koristne surovine. Takšen pristop zmanjšuje odvisnost od primarnih surovin ter prispeva k zmanjševanju okoljskih in gospodarskih tveganj v gradbeništvu in v sistemih ravnanja z odpadki. Za njegovo širšo industrijsko uporabo so še vedno potrebne nadaljnje raziskave, zlasti z vidika izboljšanja energetske učinkovitosti procesov, biorazgradljivosti materialov ter dodatnega zmanjševanja morebitnih negativnih vplivov na okolje (Tegegn, 2024); (Yan, Nakashima, Chikara, & Kawasaki, 2025).

Inovativni pristopi za doseganje ciljev trajnostnega razvoja

Napredni biotehnološki procesi proizvodnje biocementa, ki predstavlja okolju prijaznejšo alternativo konvencionalnemu cementu, omogočajo ciljno prilagajanje lastnosti gradbenih materialov posebnim zahtevam sodobnega gradbeništvu. Trenutno sicer nimamo enotno sprejete splošne ocene, vendar literatura s tega področja priprav gradbenih mešanic nakazuje, da je že delna nadomestitev med 10–60 % konvencionalnega cementa z biocementom povsem realna v poskusnih pogojih. Nekateri avtorji (Mekonnen, Hailu, Hareru, & Tegegn, 2025) poročajo, da 60 % biocementa kot sestavnega dela betona kaže povečane mehanske lastnosti v primerjavi s konvencionalnim cementom. Zavedati pa se je treba, da pri tem uporaba različnih mikroorganizmov različno vpliva na mehanizme precipitacije karbonata in s tem posledično na



mikrostrukturo ter končne lastnosti nastalega materiala. Bakterije iz rodu *Bacillus* (npr. *Bacillus megaterium* in *Bacillus subtilis*) na primer pomembno vplivajo na tlačno trdnost biocementa, kar omogoča razvoj materialov z izboljšanimi mehanskimi lastnostmi. Po drugi strani pa bakterije *Sporosarcina pasteurii*, *Klebsiella pneumoniae* in predstavniki rodu *Lysinibacillus*, izolirani iz različnih okoljskih virov (npr. tal in odpadnih voda), zaradi svojih specifičnih presnovnih poti in fizioloških lastnosti vplivajo na nastanek in morfologijo karbonatnih mineralov ter s tem na končne lastnosti materiala. Izbira ustreznega mikroorganizma, hranil in dodatkov biocementnim sistemom omogoča visoko stopnjo prilagodljivosti in vsestransko uporabo biocementa v gradbeništvu. Napredna biotehnološka orodja na področju proizvodnje biocementa omogočajo nadaljnje inovacije predvsem na področju optimizacije in izboljše-

vanja lastnosti mikroorganizmov. Pri bakteriji *Sporosarcina pasteurii* se kljub njeni že visoki učinkovitosti biocementiranja pričakuje, da bo z uporabo metod genskega inženirstva in drugih pristopov napredne biotehnologije mogoče še dodatno izboljšati učinkovitost in stabilnost procesov biocementiranja (Gupta & Mukherjee, 2021); (Osama Ahmed, Abbas, Ahmed Ibrahim, & Wael, 2023).

3 OMEJITVE IN TVEGANJA NAPREDNE BIOTEHNOLOGIJE

V predhodnih poglavjih je bil omenjen izjemen potencial napredne biotehnologije v krožnem gospodarstvu in zelenem prehodu v različnih sektorjih in podrobneje v izpostavljenem sektorju okolja. Vendar kot vsaka nova tehnologija tudi napredna biotehnologija ni izjema, saj s seboj prinaša določene tehnične omejitve, etična in druž-

beno vprašanja, tveganja za zdravje ljudi in okolje ter zakonodajne omejitve, ki so navedene v tabeli 1. Njena uporaba zato zahteva upoštevanje previdnostnega pristopa.

4 ZAKLJUČEK

Napredna biotehnologija predstavlja enega ključnih stebrov prehoda v krožno gospodarstvo ter uresničevanja ciljev trajnostnega razvoja in zelenega prehoda. Povezovanje genskih tehnologij, sodobnih tehnik urejanja genoma, sintezne biologije ter inženirskih in digitalnih pristopov omogoča razvoj inovativnih rešitev, ki bistveno prispevajo k učinkovitejši rabi virov, zmanjševanju okoljskih obremenitev in prehodu iz linearnih v krožne proizvodne sisteme.

Prispevek je na izbranih področjih, kot so proizvodnja bioenergije, bioremediacija, bioplastika in bio-gradbeni materiali, pokazal, da imajo napredne biotehnološke

SEKTORJI	POTENCIALNE KORISTI	POTENCIALNE OMEJITVE / TVEGANJA
Okolje	a) bioremediacija (čiščenje onesnaževal z GSO), b) sintetični mikroorganizmi za proizvodnjo energije.	- nepričakovani vplivi na okolje (npr. ekosisteme itn.), - dolgoročni vplivi (npr. naravne vrste, biotska pestrost itn.)
Industrija / bioproceni	a) bio-goriva, bio-plastika, b) sintetične beljakovine in encimi.	- nepredvidljivost novih biomolekul, - stroški razvoja in prenos v večje merilo.
Medicina	a) genska terapija dednih bolezni, b) napredne imunoterapije (npr. rakavih obolenj), c) personalizirana zdravila.	- nastanek izven tarčnih mutacij ("off-target") pri uporabi tehnik urejanja genoma (npr. CRISPR), - neželeni imunološki odzivi, - visoki stroški terapij.
Kmetijstvo	a) gensko spremenjene rastline (npr. odpornost na škodljivce, slanost, sušo itn.), b) višja prehranska vrednost in spremenjena sestava pridelkov.	- horizontalni in vertikalni prenos genov v divje populacije, - potencialni ekosistemski vplivi, - skeptičnost javnosti do GSO.
Družba / etika	a) izboljšanje kakovosti življenja, b) dostop do napredne in personalizirane medicine.	- etična vprašanja (npr. "designer babies" itn.), - neskladja v zakonodajnih okvirjih med državami, - dostopnost in družbena neenakost (uporaba sinteznih produktov npr. vanilina, sladkih proteinov (Stevia) itn.)

Tabela 1: Sektorji uporabe sodobne biotehnologije in njenih produktov gensko spremenjenih organizmov (GSO) ter njene potencialne koristi, omejitve in tveganja

rešitve osrednji inovacijski potencial v biogospodarstvu. Z uporabo naprednih biotehnoloških orodij je omogočena večja učinkovitost procesov ter prilagajanje lastnosti produktov potrebam različnih sektorjev. Na področju bioenergije prispevajo k boljši izrabi biomase iz mikroalg ter razvoju nizkoogljicnih goriv, na področju bioremediacije pa povečujejo učinkovitost in specifičnost razgradnje onesnaževal z uporabo naprednih mikrobnih sistemov. Razvoj bioplastike in biopolimerov zmanjšuje odvisnost od fosilnih virov in spodbuja trajnostne materialne tokove, medtem ko biocement predstavlja primer uporabe biotehnologije v tradicionalno energetsko intenzivnih panogah, kot je gradbeništvo.

Kljub velikemu razvojnemu in inovativnemu potencialu napredne biotehnologije bo njen širši razvoj zahteval interdisciplinarno sodelovanje znanosti, industrije in odločevalcev ter sistemsko vključevanje biotehnoloških inovacij v strategije krožnega gospodarstva in zelenega prehoda. Pomembni izzivi ostajajo predvsem pri prenosu laboratorijskih rešitev v večje merilo in industrijsko prakso, ekonomski upravičenosti ter zagotavljanju dolgoročne okoljske in družbene sprejemljivosti, zato so za širšo uporabo potrebne nadaljnje raziskave in ustrezna podpora politike ter upoštevanje previdnostnega pristopa.



Vir: Shutterstock



Dr. Martin Batič je doktor biotehnoških znanosti in magister biokemijskega inženirstva ter vodja Oddelka za biotehnologijo na Ministrstvu za okolje, podnebje in energijo. Ukvarja se z moderno biotehnologijo, sintezno biologijo in biološko varnostjo. Je aktiven član več mednarodnih strokovnih skupin s področja biološke varnosti moderne biotehnologije in sintezne biologije ter ocene tveganja za okolje. Pri svojem delu združuje izkušnje, pridobljene v industriji, raziskovalno-pedagoškem delu in zakonodajnem področju. Za svoje delo je prejel tudi bronasto priznanje madžarskega društva za mikrobiologijo.

LITERATURA IN VIRI

- Advanced Biotech for Sustainability Coalition. (4. februar 2025). Advanced Biotech for Sustainability. Pridobljeno iz Advanced Biotech for Sustainability Coalition: <https://www.ab4s.org/>
- Anderson, A. (2015). Engaging communities with environmental biotechnology. *Journal of Environmental Biotechnology*, 18, 2, 55–68, <https://doi.org/10.1016/j.envbio.2015.03.002>.
- Arora, N. K., & Fatima, T. (2024). Environmental sustainability and biotechnology: opportunities and challenges. *Environmental Sustainability*, 7, 115–119, <https://doi.org/10.1007/s42398-024-00317-9>.
- Arora, N., Fatima, T., & Mishra, J. (2018). Environmental sustainability: challenges and viable solutions. *Environ Sustain*; 1; <https://doi.org/10.1007/s42398-018-00038-w>, 309–340.
- Balzano, S., Sardo, A., Blasio, M., Chahine, T., Dell'Anno, F., Sansone, C., & Brunet, C. (2020). Microalgal metallothioneins and phytochelatin and their potential use in Bioremediation. *Front Microbiol*; 11:517; <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00517>.
- Bergeson, A., Silvera, A., & Alper, H. (2024). Bottlenecks in biobased approaches to plastic degradation. *Nat Commun*, 15, 4715, <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49146-8>.
- Bobde, K. A., Harinathan, B., & Patil, P. A. (2024). Environmental Biotechnology: Sustainable Solutions for a Greener Future. *Afr.J.Bio.Sci.* 6(Si3), 1547–1561, doi: 10.48047/AFJBS.6.Si3.2024.
- Calicioglu, O., & Bogdanski, A. (2021). Linking the bioeconomy to the 2030 sustainable development agenda: Can SDG indicators be used to monitor progress towards a sustainable bioeconomy? *New Biotechnol.*, 61, 40–49.
- Carmona Marques, P., Fernandes, P. C., Sampayo, P., & Silva, J. (2025). Advances in Biotechnology in the Circular Economy: A Path to the Sustainable Use of Resources. *Sustainability*, 17(14), 6391, <https://doi.org/10.3390/su17146391>.
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25(3), 294–306.
- Chui, M., Evers, M., Manyika, J., Zheng, A., & Nisbet, T. (2020). The Bio Revolution: Innovations transforming economies, societies, and our lives, May 13, 2020. https://www.mckinsey.com/-/media/mckinsey/industries/life%20sciences/our%20insights/the%20bio%20revolution%20innovations%20transforming%20economies%20societies%20and%20our%20lives/may_2020_mgi_bio_revolution_report.pdf; McKinsey.
- Commission, E. (2010). Sustainable production of second generation biofuels from algae (BIOFAT project report). <https://cordis.europa.eu:CORDIS-EU-Research-Results>.
- Dębowski, M., Zieliński, M., Kazmierowicz, J., Kujawska, N., & Talbierz, S. (2020). Microalgae Cultivation Technologies as an Opportunity for Bioenergetic System Development—Advantages and Limitations. *Sustainability*, 12, (23, 9980, <https://doi.org/10.3390/su12239980>.
- Deviram, G., Mathimani, T., Anto, S., Ahamed, T., Ananth, D., & Pugazhendhi, A. (2020). Applications of microalgal and cyanobacterial biomass on a way to safe, cleaner and a sustainable environment. *J. Clean. Prod.*, 253, 119770.
- Enriquez, J. (1998). Genomics and the world's economy. *Science*, 281, 925–996.
- Evropska komisija. (2005). Conference: the knowledge-based bio-economy. Pridobljeno iz Cordis: <https://cordis.europa.eu/event/id/24073-conference-the-knowledgebased-bioeconomy>
- Evropska komisija. (27. 11 2025). Strateški okvir za konkurenčno in trajnostno biogospodarstvo EU, COM(2025) 960 final. Pridobljeno iz <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52025DC0960>
- Field, C., Behrenfeld, M., Randerson, J., & Falkowski, P. (1998). Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science* (281);, 237–240.
- Gupta, S., & Mukherjee, A. (2021). Bio-cement production using microbially induced calcite precipitation (MICP) method: A review. *Chemical Engineering Science*, 238, 116610, <https://doi.org/10.1016/j.ces.2021.116610>.
- Huang, S., Dong, Q., Che, S., Li, R., & Tang, K. H. (2025). Bioplastics and biodegradable plastics: A review of recent advances, feasibility and cleaner production. *Science of The Total Environment*, 969,, 178911, ISSN 0048-9697, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178911.
- Jung, Y., Kim, T., Park, S., & Lee, S. (2010). Metabolic engineering of *Escherichia coli* for the production of polylactic acid and its copolymers. *Biotechnol Bioeng.*, 1, 105(1), 161–71, doi: 10.1002/bit.22548.
- Kardung, M., Cingiz, K., Costenoble, O., Delahaye, R., Heijman, W., Lovrić, M., . . . Piotrowski, S. (2021). Development of the Circular Bioeconomy: Drivers and Indicators. *Sustainability*, 13, 413.
- Liu, W., Li, Y., & Chen, B. (2022). Life cycle analysis of polylactic acids from different wet waste feedstocks. *Journal of Cleaner Production*, 390,, 136140.
- Manganda, A., Sehnem, S., & Lara, A. (2024). Transition to the Circular Economy: Innovative and Disruptive Production Technologies Adopted by Agribusiness Startups. *Environ. Qual. Manag.*, 34, e22293.
- Maroldi, W., de Andrade Arruda Fernandes, I., Junior, B., Pedro, A., Maciel, G., & Haminiuk, C. (2024). Waste from the Food Industry: Innovations in Biorefineries for Sustainable Use of Resources and Generation of Value. *Bioresour. Technol.*, 413.
- Mekonnen, E., Hailu, S., Hareru, K., & Tegegn, K. (2025). Engineering experimental study on the mechanical and durability properties of concrete by partial replacement of cement with microbially induced calcite precipitation (MICP) bio-cement. *Discov Appl Sci* 7; <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07220-w>.
- Ministrstvo za gospodarstvo, turizem in šport. (2. 9 2024). Biotech Hills in vlada podpisala pismo o nameri za razvoj ekosistema na področju biotehnologije. Pridobljeno iz GOV.SI: <https://www.gov.si/novice/2024-09-02-biotech-hills-in-vlada-podpisala-pismo-o-nameri-za-razvoj-ekosistema-na-podrocju-biotehnologije/>
- Montana-Hoyos, C., & Fiorentino, C. (2016). Bio-Utilization, Bio-Inspiration, and Bio-Affiliation in Design for Sustainability: Biotechnology, Biomimicry, and Biophilic Design. *The International Journal of Designed Objects*, 10, 3, 1–18, www.designinsociety.com, ISSN: 2325-1379.

- Nagarajan, D., Lee, D., & Chang, J. (2019). Bio-gas Upgrading by Microalgae: Strategies and Future Perspectives. V M. Alam, & Z. Wang, *Microalgae Biotechnology for Development of Biofuel and Wastewater Treatment*. Singapore: Springer.
- National Research Council. (2002). *Biotechnology in the 21st century: Opportunities and challenges*. Washington DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/10470>.
- Norsker, N.-H., Barbosa, M. J., Vermuë, M. H., & Wijffels, R. H. (2011). Microalgal production—A close look at the economics. *Biotechnology Advances*, 29(1), 24–27.
- Osama Ahmed, I., Abbas, A., Ahmed Ibrahim, H., & Wael, I. (2023). A literature review of bio-cement: Microorganisms, production, properties, and potential applications. *ERURJ*, 2, 4, 554–574.
- Ouyang, X., Li, X., Chen, Q., Li, Y., & Braun, R. (2024). Life cycle design of polyhydroxyalkanoates (PHA). *National Science Review*. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwaf517>.
- Pathak, V. V., Ahmad, S., & Kothari, R. (2019). Chapter 10: Implication of Algal Microbiology for Wastewater Treatment and Bioenergy Production. V S. R. (eds.), *Environmental Biotechnology: For Sustainable Future*: https://doi.org/10.1007/978-981-10-7284-0_10 (str. 263–281). Singapore : Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Rao, A. (2025). Bioplastics: Innovations and Industrial-Scale Production. *J Micro Bio Curr Res.*; 9(1), 252.
- Rayalu, M. B., Vijayakumar, M., & Rao, M. P. (2024). Innovations in biotechnology: Recent advances and future directions. *International Journal of Biotechnology and Microbiology*, 6, 3, 33–41, www.biotechnologyjournals.com.
- Salazar, A. (7. Januar 2025). The Future of Plastics Lies in Bioplastics and Advanced Biotechnology. Pridobljeno iz AZoM: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=24200>
- Samir, G., Pavlova, M., Arif, M. I., Postema, C. P., Damborsky, J., & Janssen, D. B. (2014). A *Pseudomonas putida* strain genetically engineered for 1,2,3trichloropropane bioremediation. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(17), 5467–5476.
- Schenberg, A. C. (2010). *Biotecnologia e desenvolvimento sustentável*. Dossiê Biotecnologia, *Estud. av.* 24 (70), <https://doi.org/10.1590/S0103-40142010000300002>.
- Sharma, D. (2015). *Bio-Fuel Sustainability: Prospects and Challenges*. V H. Choudhury, *Biology, Biotechnology and Sustainable Development* (str. 1–12). Delhi, India: Research India Publications.
- Sproles, A. E., Fields, F. J., Smalley, T. N., Le, C. H., Badary, A., & Mayfield, S. P. (2021). Recent advancements in the genetic engineering of microalgae. *Algal Research*, 53, 102158, 2211–9264. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102158>.
- Tegegn, Y. S. (2024). The Role of Microorganisms in Bio-cement Production: An Extended Review. *Engineering and Applied Sciences*, 9, 6, 147–159, <https://doi.org/10.11648/j.eas.20240906.13>.
- United Nations. (5. Februar 2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development, (A/RES/70)*. United Nations. https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E, 70–71. Pridobljeno iz https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E
- Volume Concrete. (4. Februar 2025). *Global Cement Consumption: The Big Picture (2025 Update)*. Pridobljeno iz Worldwidecementconsumption.com/worldwide-cement-consumption/
- Von Braun, J. (2020). Bioeconomy and Its Set of Innovations for Sustainability. *Ind. Biotechnol.* 16, 142–143.
- Wei, X., Luo, J., Pu, A., Liu, Q., Zhang, L., Wu, S., . . . Wan, X. (2022). From Biotechnology to Bioeconomy: A Review of Development Dynamics and Pathways. *Sustainability* ,14, 10413, 1–17, <https://doi.org/10.3390/su141610413>.
- Yan, Z., Nakashima, K., Chikara, T., & Kawasaki, S. (2025). Strategies for cost-optimized biocement production: a comprehensive review. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 41–67, <https://doi.org/10.1007/s11274-025-04281-2>.
- Yilbası, Z. (2025). Biofuels, E-Fuels, and Waste-Derived Fuels: Advances, Challenges, and Future Directions. *Sustainability*, 17 (13), 6145, <https://doi.org/10.3390/su17136145>.
- Ylinen, A., Salusjärvi, L., Toivari, M., & Penttilä, M. (2022). Control of D-lactic acid content in P(LA-3HB) copolymer in the yeast *Saccharomyces cerevisiae* using a synthetic gene expression system. *Metab Eng Commun.*, Apr 30, 14, e00199, doi: 10.1016/j.mec.2022.e00199.

PROMET KOT VIR ONESNAŽENJA IN PRILOŽNOST: AKTIVNA MOBILNOST ZA BOLJŠE ZDRAVJE

Avtor: mag. Muharem Husić, Visoka šola za trajnostni razvoj, Kranj;
soavtor: Kiril Pavlovski, mag. kin, Kinergy, Kiril Pavlovski, s. p.

Povzetek

Promet je pomemben vir emisij NO₂, delcev PM in hrupa, zlasti v urbanih območjih. Prispevek analizira vplive prometnih emisij in izpostavljenosti na zdravje ter ocenjuje učinke preusmeritve kratkih poti z avtomobila na hojo in kolesarjenje. Na podlagi smernic WHO HEAT in primerov slovenskih mest scenarij kaže, da bi zmanjšanje 20–30 % kratkih voženj zmanjšalo izpostavljenost onesnaževalom in hrupu ter povečalo telesno dejavnost prebivalcev.

Rezultati podpirajo razvoj varne infrastrukture za aktivno mobilnost kot pomembnega ukrepa za izboljšanje kakovosti zraka in javnega zdravja.

Ključne besede: prometne emisije; NO₂ in delci PM; aktivna mobilnost; hrup; preventivno javno zdravje.

TRANSPORT AS A SOURCE OF POLLUTION AND AN OPPORTUNITY: ACTIVE MOBILITY FOR BETTER HEALTH

Abstrakt

Transport is a major source of NO₂, particulate matter (PM), and noise, particularly in urban areas. This paper examines the health impacts of traffic-related emissions and exposure and assesses the benefits of shifting short car trips to walking and cycling. Based on WHO HEAT guidance and examples from Slovenian cities, the scenario indicates that reducing 20–30% of short car trips could lower exposure to air pollution and noise while increasing physical activity. The find-

ings support the development of safe active-mobility infrastructure as an important measure for improving air quality and public health.

Keywords: traffic emissions; NO₂ and particulate matter; active mobility; noise; preventive public health

1 UVOD

Promet je v urbanih okoljih eden pomembnih virov onesnaževanja zraka. Z motornim prometom so povezane emisije dušikovih oksidov (NO_x/NO₂) in delcev (PM₁₀, PM_{2.5}), hkrati pa promet povzroča tudi pomembne obremenitve s hrupom. Na mestnih prometnicah se onesnaževala pogosto kopičijo, zato je izpostavljenost ob cestnih koridorjih največja.

Z okoljskega in kemijskega vidika prometne obremenitve izvirajo iz izpušnih emisij pri izgorevanju goriv ter iz neizpušnih virov (obraba pnevmatik in zavor, resuspenzija cestnega prahu). NO_x in hlapne organske spojine sodelujejo v fotokemijskih reakcijah, ki prispevajo k nastanku prizemnega ozona, medtem ko se delci lahko tvorijo tudi sekundarno iz plinastih predhodnikov. Zato je pri obravnavi prometnega onesnaževanja pomembno upoštevati tako primarne kot sekundarne onesnaževalce ter vpliv razpršilnih razmer v mestih (npr. zimske inverzije, ulični kanjoni).

Namen prispevka je analitično ovrednotiti povezati okoljsko-kemijsko razumevanje prometnih emisij in regulatornega okvira z ukrepi za zmanjšanje prometnih obremenitev. V prvem delu (kemijski/okoljski vidik) so povzeti pomembni prometni viri, trendi in zakonodajni okvir ter možnosti zmanjšanja emisij z zmanjšanjem motornega prometa. V nadaljevanju prispevka (kineziološki del) so obravnavani zdravstveni in gibalni učinki hoje in kolesarjenja kot jedra aktivne mobilnosti.

2 METODOLOŠKI PRISTOP

Opredelitve: Emisije pomenijo izpuste onesnaževal na viru, koncentracije njihovo prisotnost v zraku, izpostavljenost pa stik prebivalstva z onesnaženim zrakom.

Analiza temelji na pregledu sekundarnih podatkov in dokumentov.

Uporabljeni so nacionalni emisijski inventarji in kazalniki Agencije Republike Slovenije za (ARSO), uradna statistika emisij toplogrednih plinov Statističnega urada Republike Slovenije (SURS) ter evropski viri o kakovosti zraka in prometu Evropske agencije za okolje (EEA) in priporočila za zdravje Svetovne zdravstvene organizacije (WHO). Podatki so obravnavani tako, da se jasno loči:

- promet kot vir emisij (NO_x, PM, CO₂, črni ogljik),
- regulativni okvir (mejne vrednosti, standardi vozil, nacionalne obveznosti) in
- ukrepi zmanjševanja emisij. Zdravstveni in kineziološki učinki aktivne mobilnosti so obravnavani ločeno v nadaljevanju prispevka.

3 ZAKONODAJNI OKVIR V EVROPSKI UNIJI IN SLOVENIJI ZA ONESNAŽEVANJE ZRAKA IZ PROMETA

V Evropski uniji in Sloveniji je vzpostavljen večnivojski okvir za zmanjševanje onesnaževanja zraka iz prometa, ki povezuje standarde kakovosti zunanjega zraka, spremljanje in poročanje ter ukrepe na terenu (npr. načrti za kakovost zraka, prometni ukrepi v območjih preseganj). Temeljni dokument na ravni EU je Direktiva (EU) 2024/2881 o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo (prenovitev), ki določa mejne in ciljne vrednosti onesnaževal ter zahteve za monitoring in ukrepanje.

V Sloveniji se zahteve EU izvajajo predvsem prek Zakona o varstvu okolja (ZVO-2) in izvedbenih predpisov, ki urejajo spremljanje kakovosti zunanjega zraka, določanje območij preseganj in pripravo programov ukrepov. Posebej v mestih z večjimi prometnimi obremenitvami so pomembni ukrepi za zmanjšanje NO₂ in delcev (npr. prometno umirjanje, preusmerjanje tranzita, območja z omejenim prometom).

Na ravni emisij vozil EU promet kot vir onesnaževanja dodatno ureja s predpisi o homologaciji in mejnimi vrednostmi izpustov. Ključni so standardi Euro 5/Euro 6 za osebna vozila ter Euro VI za težka vozila; novejši okvir Euro 7 določa dodatne zahteve glede emisij in trajnosti baterij (Uredba (EU) 2024/1257).

Dodatno NEC Direktiva (EU) 2016/2284 določa nacionalne obveznosti zmanjšanja emisij pomembnih onesnaževal (npr. NO_x, PM_{2.5}), kar zahteva usklajeno ukrepanje več sektorjev, tudi prometa. Na strateški ravni ukrepe za trajnostni promet podpirajo okviri, kot so SUMP (trajnostni načrti urbane mobilnosti) in Fit for 55, ki spodbujajo zmanjšanje uporabe osebnih vozil na kratkih razdaljah ter razvoj aktivne mobilnosti.

4 PROMET KOT VIR ONESNAŽENJA

Emisijski inventar za Slovenijo kaže, da je cestni promet še vedno eden najpomembnejših virov prometno pogojenih onesnaževal. Po kazalniku ARSO je cestni promet leta 2022 prispeval 43 % k celotnim izpustom dušikovih oksidov (NO_x), čeprav se trendno izpusti v zadnjih desetletjih zmanjšujejo (ARSO, 2025). V tem prispevku je poudarek na prometnem podpisu NO₂/NO_x in hrupu, ki sta za urbano izpostavljenost najbolj značilna kazalnika.

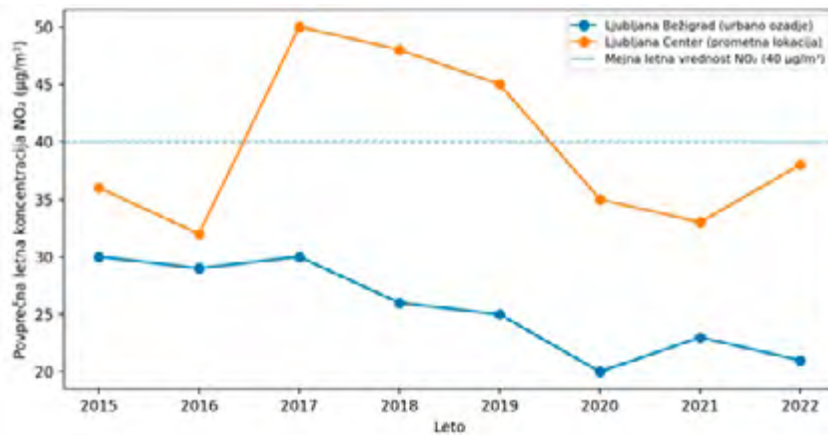
Ključne skupine prometnih onesnaževal in njihovi viri so:

- NO_x/NO₂ - predvsem iz izpušnih emisij pri izgorevanju goriv (zlasti dizelska vozila, hladni zagon, prometni zastoji).
- PM₁₀ in PM_{2.5} - iz izpušnih emisij ter pomembno tudi iz neizpušnih virov: obraba pnevmatik in zavor ter resuspenzija cestnega prahu.
- Črni ogljik - pokazatelj nepopolnega izgorevanja; pomemben pri dizelskem prometu in kot del fine frakcije delcev.



Kazalnik	Prometni sklop	Leto	Vrednost (ton)	Delež v Sloveniji
NO _x	cestni promet	2022	-	43 % vseh izpustov NO _x
NO _x	vse vrste prometa	2023	10.400	44,6 % vseh izpustov NO _x
PM ₁₀	vse vrste prometa	2023	1.900	13,3 % vseh izpustov PM ₁₀

Tabela 1: Izbrani kazalniki prispevka prometa k emisijam v Sloveniji (poudarek na NO_x in delcih). (Vir: ARSO, 2025; SURS, 2025)



Slika 1: Trend povprečnih letnih koncentracij NO₂ (µg/m³) v Ljubljani 2015–2022 (Vir: Mestna občina Ljubljana, 2023)

- HOS/NMVOC in CO - prispevata k fotokemijskim procesom; skupaj z NO_x sodelujeta pri nastanku prizemnega ozona.

V urbanih območjih so koncentracije NO₂ in delcev pogosto najvišje ob prometnicah (tj. obcestna izpostavljenost), na kar vplivajo prometna gostota, delež tovornih vozil, hitrostni režim, ulični kanjoni ter meteorološke razmere. Za oceno prispevka prometa so zato posebej uporabne meritve na prometno obremenjenih lokacijah ter primerjava z merilnim mestom urbanega ozadja.

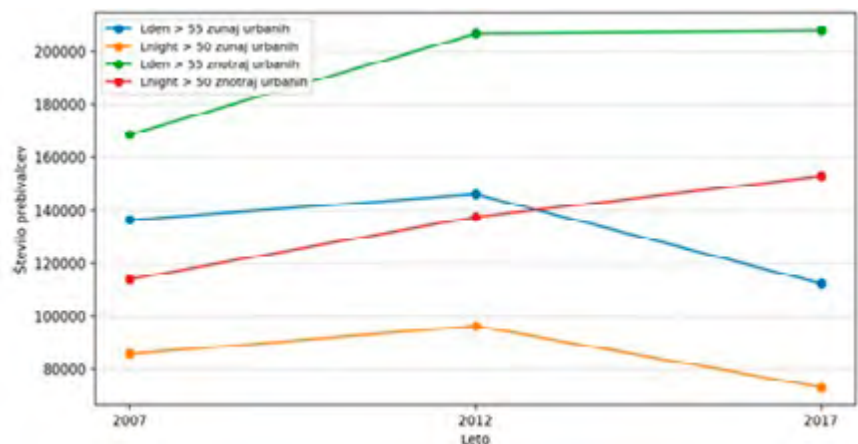
4.1 Podatki in kazalniki, ki so specifični za promet

V nadaljevanju so predstavljeni izbrani kazalniki, ki neposredno opisujejo prispevek prometa k emisijam in izpostavljenosti. Izbrani so tako, da se vsebinsko ne podvajajo s preglednim prispevkom o splošni kakovosti zraka (PM₁₀/BaP/O₃),

temveč poudarijo prometni podpis: NO₂/NO_x ob cestah ter prometni hrup (tabela 1).

Leto	L(den) > 55 zunaj urbanih	L(noč) > 50 zunaj urbanih	L(den) > 55 znotraj urbanih	L(noč) > 50 znotraj urbanih
2007	136.343	85.771	168.696	113.945
2012	146.151	96.351	206.709	137.477
2017	112.341	73.084	207.815	152.871

Tabela 2: Število prebivalcev, izpostavljenih prometnemu hrupu ob cestah (Vir: ARSO, 2025)



Slika 2: Izpostavljenost prebivalcev prometnemu hrupu ob cestah (Vir: ARSO, 2025)

Opomba: 'Vse vrste prometa' vključuje tudi necestne vrste prometa; podatki so povzeti iz uradnih objav SURS in kazalnikov ARSO (zadnji razpoložljivi podatki).

Slika 1 prikazuje trend povprečnih letnih koncentracij NO₂ (µg/m³) v Ljubljani (prometna lokacija v primerjavi z urbanim ozadjem) za obdobje 2015–2022. Podatki so povzeti iz poročila o meritvah kakovosti zraka za leto 2022. Mejna letna vrednost NO₂ znaša 40 µg/m³.

Tabela 2 in slika 2 prikazujeta izpostavljenost prebivalcev prometnemu hrupu ob cestah (Lden > 55 dB; Lnight > 50 dB), strateške karte hrupa. Kazalnik »Izpostavljenost prometnemu hrupu«, podatki iz strateških kart hrupa (prikaz za ceste).

Podatki izhajajo iz strateškega kartiranja okoljskega hrupa (Direktiva 2002/49/ES – END) in predstavljajo rezultat modelnih izračunov širjenja hrupa. Nanašajo se na prebivalce v vplivnih območjih ob najbolj prometnih cestah na območju Mestne občine Ljubljana (MOL), pri čemer se obremenitev nanaša

na ravni hrupa na zunanjih fasadah objektov. Pasivni ukrepi na stavbah (npr. zvočno izolativna okna) se v strateškem kartiranju praviloma ne odražajo, zato predstavljajo oceno obremenjenosti v zunanjem bivalnem okolju.

Po ARSO kazalniku »Izpostavljenost hrupu zaradi prometa v Ljubljani« (strateške karte hrupa, leto 2017) je bilo v dnevnem obdobju hrupa cestnega prometa nad mejno vrednostjo kazalca L_{dv}n (≈ L_{den}) 65 dB izpostavljenih približno 16 % prebivalcev MOL (47.620), v nočnem obdobju pa hrupu nad mejno vrednostjo kazalca L_{noč} (≈ L_{night}) 55 dB približno 20 % prebivalcev (57.780).

5 AKTIVNA MOBILNOST KOT OKOLJSKI UKREP ZA ZMANJŠANJE EMISIJ

Z vidika okoljske kemije je aktivna mobilnost učinkovit ukrep predvsem zato, ker zmanjšuje število prevoženih kilometrov z motornimi vozili, s tem pa znižuje izpušne emisije (zlasti NO_x/NO₂) ter neizpušne emisije delcev (obraba, resuspenzija) in prometni hrup. Največji potencial za modalni premik so kratke poti v mestih, kjer so emisije na kilometer pogosto povišane zaradi hladnega zagona in zastojev. Aktivna mobilnost deluje komplementarno z elektrifikacijo prometa: zmanjšanje motornega prometa zmanjšuje tudi hrup in del 'neizpušnih' delcev, ki ostajajo prisotni ne glede na vrsto pogona.

Za spremljanje učinkov ukrepov aktivne mobilnosti je smiselno uporabljati kombinacijo kazalnikov:

- prometni tokovi in prevoženi kilometri (VKT) ter delež kratkih voženj z osebnimi vozili;
- delež poti z aktivno mobilnostjo (hoja/kolesarjenje) in uporaba infrastrukture;
- koncentracije NO₂ (prometne postaje) ter PM₁₀/PM_{2.5} (prometno območje in urbano ozadje);

- prometni hrup (L_{den}/L_{night}) na prometnih koridorjih.

Okoljski del prispevka tako utemeljuje aktivno mobilnost kot ukrep za zmanjšanje emisij in izpostavljenosti prometnim onesnaževalom; v nadaljevanju prispevka so predstavljeni zdravstveni in kineziološki učinki redne hoje in kolesarjenja ter praktični vidiki spodbujanja aktivne mobilnosti.

6 ZDRAVSTVENI IN KINEZIOLOŠKI UČINKI AKTIVNE MOBILNOSTI

Redna hoja in kolesarjenje imata pomembne pozitivne učinke na zdravje, zlasti na gibalni aparat. Aktivna mobilnost izboljšuje mišično-skeletno kondicijo, povečuje vzdržljivost, ravnotežje in funkcionalno sposobnost posameznika ter zmanjšuje tveganje za kronične bolezni, povezane s telesno neaktivnostjo. Z vidika kineziologije redna telesna dejavnost prispeva k zmanjševanju pojavnosti bolečin v hrbtenici, degenerativnih obolenj sklepov in mišičnih neravnovesij.

Aktivna mobilnost zajema oblike gibanja, kot so hoja, kolesarjenje, tek in uporaba drugih nemotoriziranih prevoznih sredstev za vsakodnevno premikanje. Poleg okoljskih in družbenih koristi ima pomembne zdravstvene in kineziološke učinke.

Z zdravstvenega vidika redna aktivna mobilnost pozitivno vpliva na srčno-žilni sistem, saj znižuje tveganje za hipertenzijo, koronarno bolezen srca in možgansko kap. Prispeva k uravnavanju telesne mase, zmanjšuje tveganje za sladkorno bolezen tipa 2 ter izboljšuje presnovo lipidov. Poleg tega ima pomemben vpliv na duševno zdravje, saj zmanjšuje stres, anksioznost in simptome depresije ter izboljšuje splošno počutje in kakovost življenja.

Sodobne smernice za telesno aktivnost poudarjajo pomen redne-

ga gibanja za ohranjanje zdravja in preprečevanje kroničnih bolezni. Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) priporoča odraslim vsaj 150–300 minut zmerno intenzivne telesne dejavnosti tedensko. Približno 150 minut na teden dovolj za izboljšanje VO₂max, srčnega utripa v mirovanju in diastoličnega krvnega tlaka, pri čemer izpostavlja tudi zmanjševanje sedečega vedenja (WHO, 2020, Novis, B. J. in sod. 2025). Podobna priporočila navajata tudi centri za obvladovanje in preprečevanje bolezni (Centers for Disease Control and Prevention, 2022) in nacionalna zdravstvena služba (National Health Service, 2023). Hoja in kolesarjenje kot dostopni in vsakodnevni obliki telesne aktivnosti predstavljata učinkovit način doseganja teh priporočil, hkrati pa prinašata številne zdravstvene in gibalne koristi.

6.1 Koristi hoje in kolesarjenja

Po svetovni zdravstveni organizaciji je ocenjena smrtnost zaradi srčno-žilnih bolezni približno 19,8 milijona smrti v letu 2022, kar predstavlja okoli 32 % vseh smrti na svetu (WHO, 2025). Koronarna srčna bolezen (KSB), cerebrovaskularna bolezen, revmatska srčna bolezen in druge bolezni spadajo v kategorijo srčno-žilnih bolezni (Baran in sod., 2024).

Hoja in kolesarjenje izboljšujeta srčno-žilno zdravje, mišično-skeletno funkcijo ter psihofizično počutje, kar potrjujejo številne epidemiološke študije.

Poleg tega so motnje, kot sta sladkorna bolezen ali arterijska hipertenzija, manj pogoste pri pešcih in kolesarjih ter imajo manjše tveganje za KSB kot pri vozačih, ki uporabljajo avtomobile. Študije so pokazale, da pogosto kolesarjenje zmanjša umrljivost zaradi vseh vzrokov za približno 30 %. Telesna aktivnost ima pomembne mehanizme za nadzor krvnega tlaka, zniževanje lipidov, protivnetne učinke, izboljš-



šano delovanje endotelija in nadzor glikemije.

Metodologija WHO HEAT temelji na epidemioloških dokazih, ki kažejo, da redna aktivna mobilnost zmanjšuje tveganje za prezgodnjo smrtnost za približno 10–30 %, pri čemer relativno tveganje pri rednih kolesarjih znaša okoli 0,72. To pomeni približno 28 % nižje tveganje smrti v primerjavi z neaktivno populacijo, kar predstavlja ključen vhodni parameter za oceno zdravstvenih koristi scenarijev preusmeritve prometa (WHO, 2024)

Vendar pa se v literaturi pomanjkanje časa pogosto omenja kot pomembna ovira za zvišanje dnevne ravni telesne aktivnosti v industrializiranih državah (Baran in sod., 2024).

6.2 Vpliv na gibalni aparat

Dobro delujoč mišično-skeletni sistem je temelj za ohranjanje telesne zmogljivosti, samostojnosti in dobre kakovosti življenja. Zmanjšana funkcionalna sposobnost ter degenerativne bolezni mišično-skeletnega sistema predstavljajo enega najpogostejših in hkrati naraščajočih vzrokov obolenosti ter poslabšanja življenjskega počutja. Redna telesna dejavnost ugodno vpliva na večino strukturnih elementov, ki so pomembni za gibljivost, moč in zmanjševanje tveganja za razvoj degenerativnih obolenj. Poleg tega lahko telesna dejavnost upočasni, ali celo prepreči pojav pogostih mišično-skeletnih težav, kot so mehanske bolečine v križu, bolečine v vratu in ramenih ter osteoporoza z zapleti v obliki zlomov. Vadba ima pomembno vlogo tudi pri rehabilitaciji mišično-skeletnih obolenj ter okrevanju po ortopedskih posegih.

Velik del upada funkcionalnih sposobnosti v starosti pogosto niso posledica staranja samega, temveč je povezan tudi z zmanjšano telesno dejavnostjo. Redno gibanje lahko ugodno vpliva na mišično-skeletni sistem – tako pri ohranja-

nju zdravih struktur kot pri podpori že oslabiljenih funkcij. Koristi gibanja so praviloma dosegljive v vseh starostnih obdobjih, tudi pri osebah z različnimi zdravstvenimi omejitvami, pri čemer imajo učinek že zmerne in redne oblike telesne dejavnosti.

Redna telesna dejavnost skozi vse življenje je zato smiselna kot pomemben del zdravega življenjskega sloga za krepitev mišično-skeletnega zdravja na ravni posameznika in populacije. Pri načrtovanju vadbenih programov pa je treba upoštevati, da se optimalni pristopi razlikujejo glede na starost, zdravstveno stanje, varnostne vidike in praktično izvedljivost, zato je priporočljivo prilagajanje intenzivnosti ter postopno uvajanje in spremljanje napredka.

7 PREVENTIVA POŠKODB IN FUNKCIONALNA STABILNOST

Pomemben vidik aktivne mobilnosti je tudi preventiva poškodb. Hoja in kolesarjenje, ob ustrezni infrastrukturi in pravih gibalnih vzorcih, spodbujata krepitev stabilizacijskih mišic, izboljšujeta koordinacijo in zmanjšujeta tveganje za padce ter preobremenitvene poškodbe (WHO, 2022). Aktivna mobilnost tako predstavlja učinkovit ukrep primarne in sekundarne preventive na področju gibalnega aparata.

Preventiva poškodb pri hoji, teku in kolesarjenju temelji predvsem na pravilni izvedbi gibanja, postopnem povečevanju obremenitev ter ustrezni opremi. Pomemben dejavnik je izbira primerne obutve oziroma kolesa, ki mora biti prilagojeno telesnim značilnostim posameznika, saj neustrezna oprema povečuje tveganje za poškodbe sklepov, mišic in vezi. Redno ogrevanje pred aktivnostjo in raztezanje po njej prispevata k večji gibljivosti ter zmanjšujeta možnost mišičnih nategov in preobremenitvenih poškodb.

Pri teku je še posebej pomembna pravilna tekaška tehnika in izbira primerne podlage, saj lahko dolgotrajne obremenitve vodijo v poškodbe kolen, gležnjev in stopal. Pri hoji je tveganje za poškodbe manjše, vendar je kljub temu treba paziti na pravilno držo in zmeren tempo. Pri kolesarjenju ima ključno vlogo pravilna nastavitve višine sedeža in krmila ter uporaba zaščitne opreme, kot je čelada, ki zmanjšuje tveganje za resnejše poškodbe ob padcih.

Pri kolesarjenju je obvezna uporaba ustrezne razsvetljave, in sicer bele luči spredaj ter rdeče luči zadaj poleg odsevnikov na kolesu. Prav tako je priporočljivo, da so pohodniki in tekači oblečeni v svetla ali odsevna oblačila ter da se gibljejo po dobro osvetljenih površinah. Upoštevanje prometnih pravil in povečana previdnost v večernih urah pomembno prispevata k večji varnosti ter zmanjšujeta tveganje za poškodbe.

7.1 Povezava z urbanim okoljem

Urbano okolje ima ključno vlogo pri spodbujanju ali omejevanju aktivne mobilnosti ter s tem neposreden vpliv na zdravje prebivalstva in pojavnost poškodb. Načrtovanje mest, prometna infrastruktura in kakovost javnih površin pomembno določajo, ali se bodo prebivalci odločali za hojo, tek in kolesarjenje kot del vsakodnevnega življenja. Dobro zasnovano urbano okolje lahko bistveno prispeva k večji telesni dejavnosti, boljši funkcionalni stabilnosti ter zmanjšanju tveganja za poškodbe.

Pri oblikovanju ukrepov za spodbujanje hoje in kolesarjenja v urbanih okoljih je ključno upoštevati osnovne smernice WHO za promocijo telesne dejavnosti. To vključuje zagotavljanje pravičnih in dostopnih možnosti gibanja za vse starostne skupine, pristop, ki temelji na človekovih pravicah, ter dokaz-



no utemeljene ukrepe, ki temeljijo na spremljanju in evalvaciji politik. Prav tako je pomembno spodbujanje multisektorskega sodelovanja in vključevanje skupnosti pri razvoju rešitev za aktivno mobilnost v mestu (WHO, 2018).

WHO je maja 2025 izdala nov praktičen toolkit (priročnik) za hojo in kolesarjenje, ki daje dokazno podprte strategije za varnost in spodbujanje aktivne mobilnosti – vključno z:

- načrtovanjem in investiranjem v infrastrukturo (npr. pločniki, ločene kolesarske poti, varni prehodi),
- medsektorskim vključevanjem politik (transport, zdravje, izobraževanje),
- zakonodajnimi ukrepi, ki ustvarjajo varnejše okolje,

- vedenjskimi in komunikacijskimi kampanjami.

Neenakosti v dostopu do varnega in spodbudnega okolja za telesno aktivnost pogosto bolj prizadenejo ranljive in socialno prikrajšane skupnosti. Posledično so zdravstveni sistemi bolj obremenjeni s preprečljivimi boleznimi, skupnosti pa težje izkoristijo socialne, okoljske in gospodarske koristi povečane telesne dejavnosti (WHO, 2022).

8 URBANISTIČNI IN PROMETNOPOLITIČNI VIDIK

Učinkovita promocija aktivne mobilnosti zahteva ustrezno urbanistično in prometno načrtovanje. Ključni so varna in dostopna in-

frastruktura za pešce in kolesarje, umirjanje prometa ter vključevanje aktivne mobilnosti v prometne strategije, skladne z evropskimi usmeritvami Sustainable Urban Mobility Plans (SUMP), paketom Fit for 55 in Direktivo o kakovosti zraka (Evropska komisija, 2019; 2021; 2024; EEA, 2025).

9 SKLEP

Analiza v sklepu sintetizira v dveh komplementarnih vidikih – prometnem podpisu onesnaževanja (NO₂/NO_x, delci iz obrabe/resuspencije) in prometnem hrupu – ter na dokazih o zdravstvenih in kinezioloških koristih aktivne mobilnosti (hoja, kolesarjenje). V urbanih okoljih sta NO₂/NO_x in hrup posebej značilna kazalnika obremenitev ob cestnih koridorjih, zato so ukrepi,



ki zmanjšujejo motorni promet na kratkih razdaljah, praviloma najbolj učinkoviti za hitro znižanje lokalne izpostavljenosti.

Scenarijska ocena (WHO HEAT) podpira preusmerjanje kratkih poti na aktivno mobilnost, saj tak modalni premik hkrati zmanjšuje izpušne emisije (zlasti NO₂/NO_x), del neizpušnih delcev ter prometni hrup, hkrati pa poveča redno telesno dejavnost in prispeva k boljši kardiorespiratorni pripravljenosti ter mišično-skeletnemu zdravju (npr. manj bolečin v hrbtenici, boljša funkcionalna stabilnost). Scenarij vključuje predpostavke o povprečni dolžini kratkih poti (2–5 km), deležu populacije v urbanih območjih ter stopnji preusmeritve 20–30 %, pri čemer so ocenjeni učinki na zmanjšanje NO₂, PM in prezgodnje umrljivosti na osnovi metodologije WHO HEAT.

Za uspeh so pomembni: (I) varna, zvezna in privlačna infrastruktura za hojo/kolesarjenje, (II) ukrepi umirjanja prometa in zmanjševanja tranzita v mestih, (III) spremljanje učinkov z merilnimi kazalniki (NO₂ na prometnih postajah, Lden/Lnight na koridorjih) ter (IV) vključevanje

javnosti in medsektorsko sodelovanje (promet, zdravstvo, prostor). Tak celoviti pristop je skladen z načeli SUMP in evropskimi usmeritvami ter predstavlja učinkovito sinergijo okoljskih in zdravstvenih politik.

Uvajanje hoje in kolesarjenja kot del vsakodnevnega prevoza je v skladu s priporočili WHO, saj aktivna mobilnost prispeva k doseganju priporočenih količin telesne dejavnosti in hkrati zmanjšuje izpuste onesnaževal ter prometni hrup v mestih. Spodbujanje zelene mobilnosti tako predstavlja sinergijo med zdravjem ljudi in trajnostnim urbanim okoljem, kar omogoča izboljšanje kardiorespiratorne pripravljenosti, mišično-skeletnega zdravja ter kakovosti zraka v urbanih koridorjih.

Omejitev prispevka je, da prikaz hrupa temelji na strateškem kartiranju (modelni izračuni) in da so scenariji preusmeritve kratkih poti odvisni od lokalnih potovalnih navad; kljub temu rezultati jasno kažejo smer: več aktivne mobilnosti pomeni manj prometno pogojene izpostavljenosti in boljše javno zdravje.

mag. Muharem Husić, univ. dipl. inž. kem. teh. se je februarja 2018 upokojil po 40,5 letih delovne dobe. Poklicno pot je začel v kemični tovarni Melamin v Kočevju, kjer je delal štiri leta, nato je kar 36,5 leta deloval na Kemijskem inštitutu v Ljubljani. V svoji bogati karieri je objavil 120 znanstvenih in strokovnih del ter tri recenzirane univerzitetne oziroma višješolske učbenike: Ergonomija in varstvo pri delu (2010), Ekologija (2011) in Odvajanje in čiščenje odpadnih vod (2015). Prav tako je avtor oziroma soavtor sedmih nerecenziranih učnih gradiv, ki so vključena v bazo COBISS. Kot mentor je vodil 55 diplomskih del, ki so prav tako evidentirana v bazi COBISS.

Opomba o uporabi umetne inteligence

Pri pripravi prispevka je bila uporabljena umetna inteligenca ChatGPT kot podporno orodje za generiranje idej, orientacijsko iskanje virov in povzemanje informacij. Generirana besedila niso bila uporabljena neposredno; končne trditve, številke in zaključki so bili kritično preverjeni in utemeljeni z originalnimi, citiranimi viri.

ChatGPT (OpenAI). (2026). ChatGPT [generativni jezikovni model]. Dostopno prek: <https://chatgpt.com/> (zadnja uporaba: 8. 2. 2026).

LITERATURA IN VIRI

Agencija Republike Slovenije za okolje. (2025). Izpusti onesnaževal zraka iz prometa (kazalnik). Kazalci okolja. <https://kazalci.arso.gov.si/sl/content/izpusti-onesnazeval-zraka-iz-prometa>

Baran, C., Belgacem, S., Paillet, M., de Abreu, R. M., de Araujo, F. X., Meroni, R., & Corbellini, C. (2024). Active commuting as a factor of cardiovascular disease prevention: A systematic review with meta-analysis. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 9(3), 125. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39051286/>

Centers for Disease Control and Prevention. (2022). Physical activity guidelines for adults. U.S. Department of Health and Human Services. <https://www.cdc.gov/physical-activity-basics/guidelines/adults.html>

European Commission. (2021). Fit for 55: Delivering on the proposals. https://commission.europa.eu/topics/climate-action/delivering-european-green-deal/fit-55-delivering-proposals_en

Evropski parlament in Svet Evropske unije. (2024). Direktiva (EU) 2024/2881 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2024 o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo (prenovitev). Uradni list Evropske unije, L, 2024/2881, 20. 11. 2024. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/2881/oj/eng>

Evropski parlament in Svet Evropske unije. (2024). Uredba (EU) 2024/1257 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 24. aprila 2024 o homologaciji motornih vozil, motorjev ter sistemov, sestavnih delov in ločenih tehničnih enot, namenjenih takim vozilom, glede na njihove emisije in trajnost baterij (Euro 7). Uradni list Evropske unije, L, 2024/1257, 8. 5. 2024. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL-EN/TXT/?uri=CELEX:32024R1257>

Rupprecht Consult. (2019). Guidelines for developing and implementing a Sustainable Urban Mobility Plan (2nd ed.). European Commission. https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/urban-transport/sustainable-urban-mobility-planning-and-monitoring_en

National Health Service. (2023). Physical activity guidelines for adults aged 19 to 64. <https://www.nhs.uk/live-well/exercise/physical-activity-guidelines-for-adults-aged-19-to-64/>

Novis, B. J., Hargreaves, E. A., Jowett, T., & Rehrer, N. J. (2025). Effects of commuter cycling on physical activity, cardiometabolic health and body composition. *European Journal of Sport Science*, 25(5). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40179036/>

Statistični urad Republike Slovenije. (2025). Računi emisij v zrak, 2023. <https://www.stat.si/StatWeb/News/Index/13835>

World Health Organization. (2018). Global action plan on physical activity 2018–2030: More active people for a healthier world. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240014183>

World Health Organization. (2020). WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240015128>

World Health Organization. (2022). Global status report on physical activity. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/8804f1b0-dbae-4e58-a251-36fd14dc7e02/content>

World Health Organization. (2024). Health economic assessment tool (HEAT) for walking and for cycling: Methods and user guide on physical activity, air pollution, road fatalities and carbon impact assessments (2024 update). <https://www.who.int/publications/m/item/health-economic-assessment-tool-%28-heat%29--for-walking-and-for-cycling.-methods-and-user-guide-on-physical-activity--air-pollution--road-fatalities-and-carbon-impact-assessments--2024-update>

World Health Organization. (2025). Promoting walking and cycling: A toolkit of policy options (ISBN 9789240109902). World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240109902>

HRUP VRTNIH ORODIJ KOT IZZIV TRAJNOSTNEGA PREHODA: MERITVE, OCENA TVEGANJ IN MOŽNOSTI ZMANJŠANJA OKOLJSKIH VPLIVOV

izr. prof. dr. Nikola Holeček, Visoka šola za trajnostni razvoj, Kranj

Povzetek

Vrtna orodja predstavljajo pomemben, vendar pogosto spregledan vir hrupa v bivalnem in delovnem okolju. V kontekstu zelenega prehoda, ki poudarja zmanjševanje okoljskih obremenitev, digitalizacijo in razvoj trajnostnih tehnologij, postaja razumevanje emisij hrupa ter njihovih vplivov na zdravje in kakovost bivanja vse pomembnejše. Prispevek predstavlja analizo hrupnosti izbranih vrtnih orodij na osnovi neposrednih terenskih meritev ravni zvočnega tlaka in izračunane emisijske zvočne moči, pri čemer so upoštevani ključni fizikalni mehanizmi širjenja zvoka (geometrijska divergenca, atmosferska absorpcija). Merjene vrednosti so primerjane z deklariranimi podatki proizvajalcev ter z mejami dovoljenih izpostavljenosti v delovnem okolju, kar omogoča oceno realnih tveganj za uporabnike.

Poseben poudarek je namenjen razlikam med bencinskimi in akumulatorskimi napravami, kjer rezultati kažejo na izrazito nižje ravni hrupa in boljšo subjektivno zaznavo pri akumulatorskih orodjih, kar ima neposredne implikacije za trajnostni razvoj, zmanjševanje emisij ter izboljšanje delovnih pogojev. Prispevek obravnava tudi pomen osebne varovalne opreme, digitalnega spremljanja emisij in možnosti vključevanja pametnih merilnih pristopov v načrtovanje tišjih in okolju prijaznejših naprav.

Ključne besede: hrup vrtnih orodij, zvočna moč, izpostavljenost hrupu, trajnostni razvoj.

NOISE FROM GARDEN TOOLS AS A CHALLENGE OF THE GREEN TRANSITION: MEASUREMENTS, RISK ASSESSMENT AND OPPORTUNITIES FOR ENVIRONMENTAL IMPACT REDUCTION

Abstract

Garden tools are a significant yet often overlooked source of environmental and occupational noise. In the context of the green transition, which emphasises reducing environmental pressures, promoting digitalisation and deploying sustainable technologies, understanding sound emissions and their health impacts is increasingly important. This contribution presents an analysis of noise generated by selected garden tools based on field measurements of sound pressure levels and calculated sound power emissions, incorporating key physical mechanisms of sound propagation (geometrical divergence, atmospheric absorption). Measured values are compared with manufacturers' declarations and regulatory exposure limits, enabling an assessment

of actual risks to operators. Special attention is given to differences between petrol-powered and battery-powered tools; results show substantially lower noise levels and improved subjective sound perception for battery devices, which directly contributes to sustainability goals, reduced emissions and improved working conditions. The paper also highlights the role of personal protective equipment, digital noise monitoring and the potential integration of smart measurement approaches into the design of quieter and more environmentally friendly outdoor equipment.

Keywords: garden tool noise, sound power, noise exposure, sustainable development.

1 UVOD

Hrup je eden najpogostejših okoljskih dejavnikov tveganja v bivalnem in delovnem okolju. Svetovna zdravstvena organizacija je leta 2018 ugotovila, da je okoljski hrup drugi najpomembnejši okoljski dejavnik tveganja za zdravje v Evropi, takoj za onesnaženim zrakom (World Health Organization [WHO], 2018). Čeprav se hrup pogosto obravnava kot neizogiben stranski produkt človekove dejavnosti, se z vidika trajnostnega razvoja vse bolj prepozna kot pomemben element okoljskega vpliva, ki ga je mogoče upravljati, meriti in zmanjševati. Vrtna orodja, ki vključujejo motorne in električne kosilnice, motorne žage, puhalnike listja, prezračevalnike ter trimerje, predstavljajo specifičen segment virov hrupa, saj se uporabljajo v neposredni bližini uporabnika ter pogosto v naseljih, kjer vplivajo na kakovost bivanja večjega števila prebivalcev. Delavci, ki upravljajo ta orodja, so nedvomno izpostavljeni hrupu, zato je nujno treba upoštevati mejne dnevne izpostavljenosti hrupu, ki so določene z nacionalno zakonodajo (Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu, 2006). Zakonodaja predpisuje mejne vrednosti in ukrepe, ki jih je dolžen delodajalec izpolniti v primeru prekoračitve mejnih vrednosti. Poleg tega predpisuje, da je podatke, ki jih proizvajalec navaja v tehničnih listih/energetskih nalepkah treba preveriti/izmeriti v skladu s Slovenskim standardom SIST ISO 9612: Akustika – Določanje izpostavljenosti hrupu v delovnem okolju: Inženirska metoda, 2009.

V Evropski uniji je jasno usklajena zakonodaja glede hrupa v okolju in predpisuje mejne vrednosti za vire hrupa na lokalni ali nacionalni ravni. Označevanje vrtnih orodij je zajeto v direktivi 2000/14/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 8. maja 2000 o približevanju zakonodaje držav članic v zvezi z emisijo hrupa v okolje, ki ga povzroča oprema, ki

se uporablja na prostem (European Parliament and Council, 2000), in mora vključevati:

- Oznako CE, ki je vidno, čitljivo in neizbrisno pritrjena na posamezni opremi;
- podatke o ravni zvočne moči LWA v dB(A) glede na 1 pW.

Direktiva 2000/14/ES je bila spremenjena z European Parliament and Council, 2009, European Parliament and Council, 2005 in European Parliament and Council, 2019 ter popravljena z European Parliament and Council, 2021. Namen te direktive je izboljšati nadzor nad emisijo hrupa 57 različnih vrst opreme, ki se uporablja na prostem:

- spodbujati nemoteno delovanje enotnega trga EU;
- izboljšati zdravje in dobro počutje državljanov z zmanjšanjem hrupa, ki ga povzroča oprema, ki se uporablja na prostem.

Zeleni prehod zahteva temeljito preoblikovanje tehnologij in praks, ki znižujejo emisije hrupa, spodbujajo spremljanje okoljskih parametrov ter omogočajo razvoj tišjih in okolju prijaznejših naprav. Analiza hrupa vrtnih orodij se tako uvršča v presečišče med tehničnimi, zdravstvenimi, okoljskimi in družbenimi vidiki trajnostnega razvoja. Pri tem so ključni elementi: razumevanje fi-

zikalnih mehanizmov širjenja zvoka, objektivna primerjava deklariranih in izmerjenih ravni, ocena tveganja za uporabnike ter širši družbeni kontekst razumevanja hrupa kot okoljskega stresorja.

Pričujoči prispevek temelji na terenskih meritvah imisijske ravni zvočnega tlaka pri izbranih vrtnih orodjih, izračunu emisijske ravni zvočne moči na osnovi geometrijske divergence in atmosfere absorpcije ter primerjavi rezultatov z zakonodajnimi mejami izpostavljenosti.

2 METODE IN TEORETIČNO OZADJE

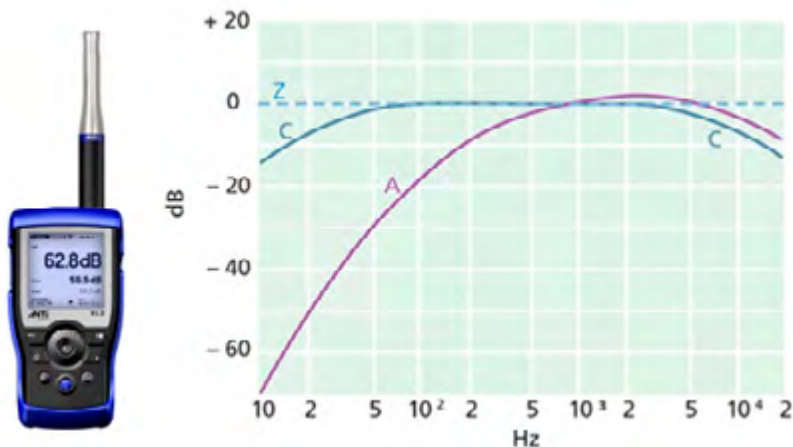
2.1 Merjenje imisijske ravni zvočnega tlaka

Za meritve smo uporabili merilnik ravni zvoka NTi XL2, ki smo si ga izposodili iz laboratorija Fakultete za varstvo okolja v Velenju. Je večstranski natančen merilnik ravni zvoka, zasnovan za profesionalno rabo pri meritvah okoljskega hrupa, akustiki stavb in ocenjevanju poklicnega hrupa. Certificiran je kot merilnik ravni zvoka tipa 2, ki izpolnjuje standarde, kot je IEC 61672-1. Merimo lahko ravni zvočnega tlaka, ravni izpostavljenosti zvoku in druge akustične parametre. Ponuja



Slika 1: Na sliki je prikaz merjenja hrupa vrtnih orodij: Levo. Nabor vrtnih strojev, ki so merjeni v realnih pogojih delovanja. Desno: prve meritve (Vir: N. Holeček, A. Lamper, 1. 4. 2025)





Slika 2: Zvokomer Nti Audio XL2-TA. Na desni so karakteristike frekvenčnega vrednotenja / uteževanja (vir: Nti Audio, n. d.)

tudi analizo oktavnih in 1/3 oktavnih pasov. Omogoča številne različice meritev, kot so trenutni hrup, ekvivalentni hrup, tudi minimalne in maksimalne vrednosti (Leq, Lmin, Lmax in vršne vrednosti (Lpeak), merijo se lahko tudi v kombinaciji s frekvenčnim tehtanjem A, B, C, Z ter s časovnim tehtanjem hitro, počasno in impulzno (slika 2). Naprava pokaže vse rezultate hkrati, ima pa tudi funkcijo shranjevanja rezultatov na odstranljivo kartico SD za kasnejšo dokumentacijo. Poleg tega je vsaki meritvi mogoče dodati tudi zvočne posnetke.

Frekvenčna utež A: utežna krivulja A opisuje občutljivost človeškega ušesa pri nižjih jakostih zvoka (40 dB(A)). Območje največje slišnosti ima med 1000 in 4000 Hz. Zvok pri višjih in nižjih frekvencah oslabi. Frekvenčna utež C: odziv človeškega ušesa na hrup se razlikuje glede na raven hrupa, uporablja se v območju nad 100 dB. Koristno je predvsem za oceno najvišjih ravni zvočnega tlaka ter meritve impulznega hrupa. Frekvenčna utež Z (linearni odziv): ničelna frekvenčna utež se nanaša na frekvenčno odzivnost med 10 Hz in 20 kHz brez frekvenčne korekcije.

Izpostavljenost uporabnika je bila ocenjena z meritvami ravni zvočnega tlaka L_{peqA} na mestu upravljalca stroja, skladno s smerni-

cam standarda SIST ISO 9612 za ocenjevanje hrupa na delovnem mestu. Meritve so bile opravljene med rednim delovanjem naprav v naravnem okolju. Merilni pogoji:

- trajanje posamezne meritve: 30 s
- število ponovitev: 3
- merilna razdalja: 1,0 m (±0,05 m)
- temperatura: 14–18 °C
- relativna vlaga: 55–68 %
- merilna standardna negotovost: ±1,5 dB (k = 2) – upoštevan je merilnik ravni zvoka po IEC 61672-1:2002, razred 2.

Uporabljeno je bilo frekvenčno tehtanje A in časovno tehtanje S (slow).

2.2 Izračun emisijske ravni zvočne moči

Ker laboratorijskih meritev po SIST ISO 3744 ni bilo mogoče izvesti, je bila emisijska raven zvočne moči LW izračunana iz izmerjene ravni zvočnega tlaka z uporabo sferične divergence:

$$L_w = L_p - 10 \log K + 20 \log r + 11 - A_{\text{atm}}(1)$$

Kjer je L_w je izsevana raven zvočne moči vira, L_p pa raven zvočnega tlaka, izmerjenega na oddaljenosti r metrov od vira. 10 log K = 0,13 dB je odvisen od atmosferskih pogojev. Zadnji člen v enačbi upošteva slabljenje hrupa zaradi atmosferske absorpcije A_{atm}, v decibelih, med širjenjem zvoka na razdalji r, v me-

trih, in je podana z enačbo (2):

$$A_{\text{atm}} = \frac{\alpha r}{1000} (2)$$

kjer je α koeficient atmosferskega slabljenja zvoka v atmosferi v decibelih na kilometer, za vsak oktavni pas pri srednji frekvenci pasu (tabela 1 v standardu ISO 9613-2, Second edition 2024-01).

Koeficient atmosferskega slabljenja v atmosferi je zelo odvisen od frekvence zvoka, temperature okolice in relativne vlažnosti zraka, bistveno manj pa od okoliškega tlaka. Evidentno je, da je pri nizkih frekvencah (npr. 63 Hz) atmosferska disipacija do 1000 manjša od tiste na višjih frekvencah, npr. 8000 Hz.

2.3 Primerjava z zakonodajo in mejami izpostavljenosti

Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu, Uradni list RS, št. 17/2006, 18/2006 – popr.) in Direktiva 2003/10/ES v EU določata mejne vrednosti izpostavljenosti in opozorilne vrednosti izpostavljenosti (tabela 1).

2.4 Subjektivna in psihoakustična analiza

Vrednotenje in nivoji zvočne moči so ponovljivi in natančni. Subjektivna zaznava glasnosti pa ni linearno povezana z logaritemsko skalo ravni zvočnega tlaka. Na primer, če ima motorna kosilnica zvočno moč 100 dB(A), kolikšen bi bil nivo zvočne moči motorne kosilnice, ki je za 10 odstotkov tišji kot ta, ali pa za 10 odstotkov glasnejši? (90 dB(A) ali 110 dB(A) je seveda napačno!). Vsaka primerjava, računsko ali subjektivna, vsebuje velike napake, posebno če je spekter zvoka neenoten, če vsebuje relativno velike tonalne komponente ali če variira v času. Znano je, da ima širokopasovni hrup drugačno subjektivno glasnost kot čisti ton z istim nivojem.

Psihoakustika je znanstvena disciplina, ki preučuje, kako ljudje zaznavamo in interpretiramo zvoke.

Meja izpostavljenosti	Povprečna raven hrupa (dB(A)) LEX (8h)	Konica zvočnega tlaka (dB(C)) LCpeak
Spodnja opozorilna vrednost	80 dB	135 dB
Zgornja opozorilna vrednost	85 dB	137 dB
Mejna vrednost izpostavljenosti (ne sme biti presežena)	87 dB	140 dB

Tabela 1: Glavne mejne vrednosti hrupa

Gre za povezavo med fizikalnimi lastnostmi zvoka (kot so frekvenca, glasnost in spekter) ter subjektivno zaznavo zvoka pri ljudeh. Ker percepcija istega zvočnega dogodka ni enaka in enoznačna pri vseh subjektih, so v psihoakustiki vpeljali kriterije istega zvočnega dogodka kot tako imenovano kakovost zvoka. Psihoakustični modeli zaznavanja zvoka so dobro opisani v literaturi (Zwicker & Fastl, 2000).

Pri vprašanju, kako je psihoakustika povezana s hrupom vrtnih orodij, lahko podamo enostavni primer: psihoakustične meritve lahko pomagajo pri izboljšanju dizajna orodij, da bodo manj obremenjujoča za uporabnika. Čeprav imata dve kosilnici enak LWA v dB(A), se lahko ena zdi bolj moteča zaradi višjih tonov ali vibracij. Električna orodja so pogosto manj nadležna, ker imajo manj nizkih frekvenc in vibracij kot

bencinska. Pri ocenjevanju vpliva hrupa je bilo upoštevano tudi njegovo subjektivno zaznavanje, zlasti:

- tonalnost,
- ostrina,
- časovne fluktuacije,
- spektralne značilnosti akumulatorskih vs. bencinskih motorjev.

Ti parametri pomembno vplivajo na zaznano obremenjenost in počutje, kar je relevantno za družbene in zdravstvene učinke.



Vir: GiraGPT



3 REZULTATI MERITEV IN RAZPRAVA

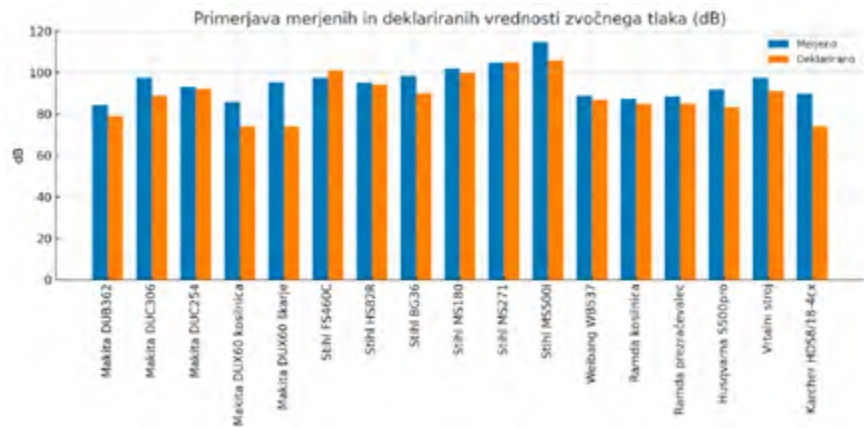
3.1 Primerjava izmerjenih in deklariranih vrednosti

V tabeli 2 je podana primerjava in na sliki 3 je povzet rezultat šestmesečnih meritev med delovanjem 18 različnih orodij.

Ugotovitve:

- pri večini orodij so bile izmerjene vrednosti višje od deklariranih,
- razlike so znašale 3–8 dB,
- trend kaže na pogosto podcenjevanje deklariranih vrednosti.

Osnovna statistična obdelava, povprečna vrednost skupine orodij (akumulatorsko/bencinsko) in standardna deviacija skupine sta podani v tabeli 3.



Slika 3: Graf na katerem je prikazana primerjava merjenih in deklariranih vrednosti zvočnega tlaka (Vir: Lamper, Holeček, 2025)

Iz grafa na sliki 3 je razvidno, da se pri večini orodij merjene vrednosti razlikujejo od deklariranih. Pri določenih napravah (npr. Makita DUC306, Makita DUX60 škarje, Stihl FS460C) so merjene vrednosti precej višje od deklariranih,

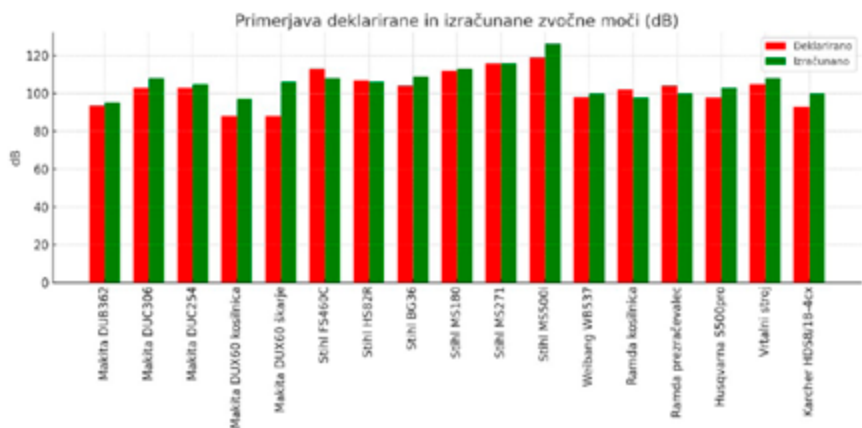
kar kaže na možno podcenjevanje dejanske obremenitve uporabnika z zvokom. Pri drugih napravah (npr. Stihl MS271, Stihl MS500i) pa so deklarirane vrednosti bližje meritvam. Splošno lahko opazimo, da proizvajalci pogosto navajajo nižje vrednosti, kar zmanjšuje

	Merjene vrednosti		Od strani proizvajalca deklarirane vrednosti		Izračunana raven zvočne moči v dB na osnovi meritev zvočnega tlaka
	LpCpeak (dB)	LpAeq (dB)	LWA (dB)	LpA (dB)	
	vršne ravni zvočnega tlaka	ekvivalentne ravni zvočnega tlaka	A raven zvočne moči dB	A raven zvočnega tlaka dB	
Makita DUB362	96,7	84,3	93	79	95
Makita DUC306	114	97,6	103	89	108
Makita DUC254	108	93	103	92	105
Makita DUX60 kosilnica z nitjo	95,4	85,8	88	74	97
Makita DUX60 škarje	112,2	95,2	88	74	106
Stihl FS460C	112,4	97,4	113	101	108
Stihl HS82R	103,6	95,1	107	94	106
Stihl BG36	110,7	98,3	104	90	109
Stihl MS180	118,8	102,2	112	100	113
Stihl MS271	116,4	104,8	116	105	116
Stihl MS500i	130,6	114,7	119	106	126
Weibang WB537 SCV »3 v 1«	106,1	88,8	98	87	100
Ramda kosilnica	104,3	87,4	102	85	98
Ramda prezračevalc trate 40 cm, koš 45 l, mot. tg725x	106	88,7	104	85	100
Husqvarna S500pro	107,2	91,7	98	83	103
Struc Muta	104,5	89,1	96	85	100
Vrtalni stroj	110	97,5	105	91	108
Karcher HDS8/18-4cx	100,7	89,8	93	74	100

Tabela 2: Prikaz merjenih, deklariranih in izračunanih vrednosti za hrup pri različnih orodjih

Skupina	Povprečni LAeq (dB)	standardna deviacija σ (dB)
Akumulatorska orodja	88	4,1
Bencinska orodja	98,7	5,3

Tabela 3: Povprečne vrednosti merjenecv skupine akumulatorskih/bencinskih orodij in standardna deviacija za skupini



Slika 4: Primerjava med deklarirano in merjeno zvočno močjo (Vir: Lamper, Holeček, 2025)

uradno obremenitev, dejansko pa so uporabniki izpostavljeni višjim ravnem hrupa. Pri primerjavi deklarirane zvočne moči z izračunano na podlagi meritev, se pokaže podobna slika (slika 4). Pri nekaterih orodjih (npr. Makita DUC306, Stihl MS500i, Husqvarna S500pro) so izračunane vrednosti višje od deklariranih, kar kaže na večjo obremenitev okolice s hrupom, kot jo navaja proizvajalec. Nekaj primerov (npr. Stihl MS271, Stihl MS180) pa kaže relativno dobro skladnost. Kljub temu je skupna tendenca, da deklarirane vrednosti v povprečju podcenjujejo dejanske rezultate, kar je pomembno pri ocenjevanju tveganj za uporabnika in okolico.

Pri večini merjenih strojev so bile izmerjene vrednosti višje od deklariranih, kar kaže na podcenjevanje oziroma nepopolno prikazovanje zvočnih emisij s strani proizvajalcev. Statistična variabilnost rezultatov meritev kaže na pogosto podcenjevanje deklariranih vrednosti.

Možni razlogi za odstopanja so:

- Merilni standardi: proizvajalci pogosto navajajo emisijske vrednosti, izmerjene v idealnih laboratorijskih pogojih, ki ne odražajo dejanske uporabe na terenu.
- Dejanski pogoji uporabe: dejavniki, kot so teren, obraba stroja in vremenski vplivi, vplivajo na višjo raven hrupa, ki ni vedno zajeta v uradnih podatkih.
- Merilna negotovost in metodologija: razlike v postopkih merjenja, merilni razdalji in uporabljenih napravah lahko povzročijo odstopanja med deklariranimi in dejanskimi vrednostmi.

Rezultati potrjujejo, da ker presežene ravni hrupa predstavljajo pomemben varnostni dejavnik, je uporaba zaščite sluha nujna tudi takrat, ko tehnične specifikacije proizvajalcev kažejo na nižje emisije. Zaradi ugotovljenih neskladij priporočamo dodatne neodvisne meritve ter strožje regulacije, ki bi zagotovile večjo transparentnost in realno prikazovanje podatkov o hrupu na trgu. Analiza vseh merjenih vrtnih orodij je pokazala:

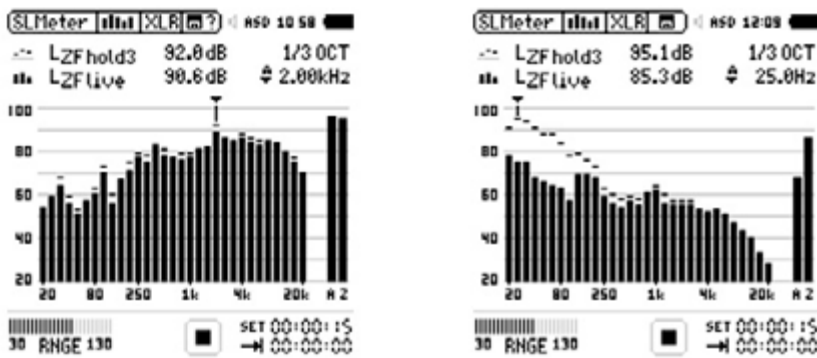
- odstopanja med deklarirano in izmerjeno zvočno močjo so bila prisotna pri večini naprav,
- pri nekaterih bencinskih orodjih so izmerjene ravni presegle deklarirane do 5–8 dB,
- akumulatorska orodja so v povprečju izkazovala 10–15 dB nižje vrednosti hrupa kot primerljiva bencinska.

Razlike so skladne s pričakovanji: bencinski motorji vsebujejo izrazite nizkofrekvenčne komponente in mehanske vibracije, medtem ko akumulatorski motorji povzročajo bolj enakomeren spekter manjše subjektivne glasnosti.

Iz literature in ocenjevanja izdelkov od strani potrošnikov je poznan t. i. semantični diferencial, ki temelji na konotativnem mnenju (dodajanje čustev), torej na sugestivnem pomenu med dvema bipolaranima pridevnikoma: dobro – slabo, grdo – lepo, tiho – glasno, počasi – hitro, ustrezno – neustrezno idr. Metode subjektivnega dožemanja so dobro poznane in uveljavljene v družboslovnih znanostih, tehnikom žal to še vedno povzroča težave v razumevanju. Npr. pri zvočni moči delovanja motorne žage renomiranega proizvajalca se navaja zelo visoka raven hrupa 106 dB (A). Tako izrazita glasnost ustrezne »kakovosti zvoka« nedvomno asociira na moč motorne žage. Podobno opazimo v moto industriji pri motorjih visokega cenovnega razreda, ko se moč motorja tudi mora slišati. Nasprotno pri orodjih, ki imajo v primerjavi z motorji izrazito nižje nivoje zvočne moči, npr. 74 dB(A), vsakršna hrapavost in časovna fluktuacija zvoka uporabnika asociira na okvaro oziroma neustreznost.

Analiza je bila kvalitativna, saj parametri (tonalnost, ostrina, fluktuacije) niso bili kvantificirani. Uporabljeni so koncepti iz Zwicker & Fastl (2000). Pri primerjavi akumulatorske in bencinske kosilnice je bila zaznana pomembna razlika v subjektivni glasnosti. Akumulatorska





Slika 5: Primerjava med frekvenčnim odzivom akumulatorskega orodja na levi in bencinskega orodja na desni (Vir: Lamper, Holeček, 2025)

kosilnica proizvaja nižjo raven zvočnega tlaka in ima mehkejši zvočni spekter, saj pri njenem delovanju ni prisotnih močnih nizkofrekvenčnih komponent in vibracij motorja z notranjim izgorevanjem (glej sliko 5). Zato jo uporabniki subjektivno zaznavajo kot tišjo in manj motečo, čeprav se lahko objektivno izmerjene ravni hrupa deloma prekrivajo. Nasprotno pa bencinska kosilnica oddaja izrazitejši hrup z večjimi amplitudami v nizkofrekvenčnem območju ter značilnim »mehanskim« tonom motorja, kar vodi v percepcijo večje obremenitve s hrupom. Subjektivna percepcija glasnosti je torej pri akumulatorski kosilnici nižja, kar pomeni večje udobje pri delu in manjše tveganje za dolgoročno izpostavljenost motečemu hrupu.

3.2 Ocenjena izpostavljenost uporabnika

V več kot 70 % primerov je bila pri bencinskih orodjih presežena zgornja opozorilna vrednost 85 dB(A), pri motornih žagah in puhalnikih listja pa pogosto tudi 87 dB(A). Akumulatorska orodja so bila praviloma pod 85 dB(A), nekatere kosilnice celo pod 80 dB(A). To pomeni:

- bistveno manjše tveganje,
- možnost dela brez zahtevane dodatne osebne varovalne opreme,
- višjo subjektivno udobnost pri delu.

3.3 Trajnostni učinki in okoljski vidiki

Hrup ima ključno vlogo pri trajnostnem upravljanju okolja, saj:

- vpliva na zdravje ljudi,
- zmanjšuje kakovost bivanja v urbanih naseljih,
- povečuje stres in motnje spanja,
- vpliva na živali in ekosisteme (ptice, oprasovalci).

Prehod na akumulatorska orodja pomeni hkrati:

- nižjo emisijo hrupa,
- manj emisij CO₂,
- manj lokalnega onesnaževanja zraka,
- manj vibracij (kar zmanjšuje tveganje za HAVS – hand-arm vibration syndrome).

Akumulatorska orodja zmanjšujejo lokalne emisije (brez izpustov pri uporabi). Celovita ocena vpliva na CO₂ zahteva analizo življenjskega cikla (LCA).

3.4 Družbeni vidiki in regulativa

V zadnjih letih se v Evropi krepi razprava, o:

- omejevanju bencinskih vrtnih orodij v mestih,
- uvajanju časovnih omejitev uporabe hrupnih naprav,
- razvoju pametnih merilnih omrežij za spremljanje hrupa,
- ozaveščanju uporabnikov o osebni zaščiti.

V Sloveniji je ključni izziv nizka ozaveščenost uporabnikov in pomanjkanje nadzora pri zasebni rabi.

4 OSEBNA VAROVALNA OPREMA ZA ZAŠČITO PROTI HRUPU

Ena izmed ključnih nalog varnosti in zdravja pri delu je preprečevanje poškodb sluha zaradi čezmernega hrupa, ki pogosto nastaja pri uporabi mehanske, gozdarske, gradbene ali vrtno opreme. Stalna ali ponavljajoča se izpostavljenost hrupu nad dovoljenimi mejami lahko povzroči nepovratne posledice, kot so trajno zmanjšanje sluha, izguba občutljivosti za določene frekvence, kronični tinitus (zvonjenje v ušesih) in splošna zmanjšana kakovost življenja. Zaradi teh razlogov je uporaba osebne varovalne opreme (OVO) za zaščito sluha bistvena, kadar raven hrupa presega opozorilne in mejne vrednosti. V skladu s Pravilnikom o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu sledi, da če je delavec izpostavljen hrupu, ki presega 80 dB(A), mu mora delodajalec zagotoviti ustrezna zaščitna sredstva, že pri tej ravni mora biti omogočeno tudi usposabljanje o nevarnostih in pravilni rabi OVO. Pri ravneh nad 85 dB(A) je uporaba zaščite za sluh obvezna, delodajalec mora tudi izvesti oceno tveganja, sprejeti ukrepe za zmanjšanje hrupa in zagotoviti stalno spremljanje izpostavljenosti.

Na voljo so različne vrste zaščitnih sredstev za sluh, ki jih je treba izbrati glede na jakost, trajanje izpostavljenosti ter delovno okolje: ušesni čepki: izdelani iz pene, silikona ali drugih mehkih materialov. So diskretni, lahki in primerni za uporabo v zmerno hrupnih okoljih. Njihova slabost je, da jih je treba pravilno vstaviti v ušesni kanal, sicer ne zagotavljajo optimalne zaščite Honeywell Safety Products (2022) navaja, da naglavne zaščitne slušalke: pokrijejo celotno uho in so primerne za višje ravni hrupa. Nu-

HRUP VRTNIH ORODIJ KOT IZZIV TRAJNOSTNEGA PREHODA: MERITVE, OCENA TVEGANJ IN MOŽNOSTI ZMANJŠANJA OKOLJSKIH VPLIVOV

Hrupa vrtnih orodij pogosto ne zaznavamo kot pomembnega okoljskega problema, kljub njegovim vplivom na zdravje ljudi, dobro počutje in kakovost bivanja v urbanih in naravnih okoljih.

VPLIVI HRUPA



Povišan hrup moti ljudi in živali ter zmanjšuje kakovost bivanja.



Dolgotrajna izpostavljenost lahko povzroča stres, utrujenost in težave s sluhom.



Vpliva na vedenje ptic in drugih živali v urbanih in naravnih okoljih.



Zmanjšanje hrupa prispeva k bolj zdravemu in prijetnemu okolju za vse.

MERITVE HRUPA

Ravni zvočnega tlaka merimo v decibelih (dB(A)) z zvočnim merilnikom po standardu IEC 61672-1.

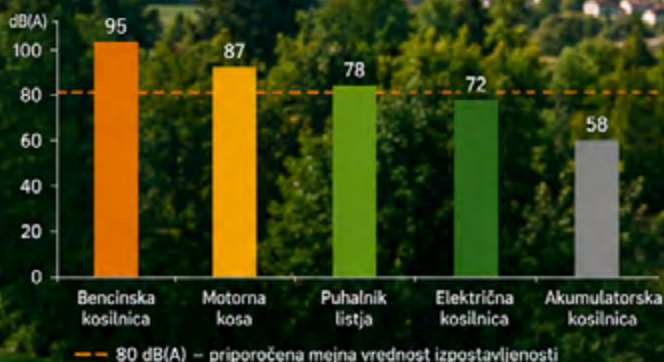


Merilnik razreda 2



Meritve na različnih oddaljenostih in pri različnih vrtnih orodjih.

PRIMERJAVA RAVNI HRUPA (LpAeq, dB(A))



Vir: Lamper, Holecsek, 2025

KLJUČNI PARAMETRI



Raven zvočnega tlaka (LpAeq, LpCpeak)



Frekvenčni spekter zvoka

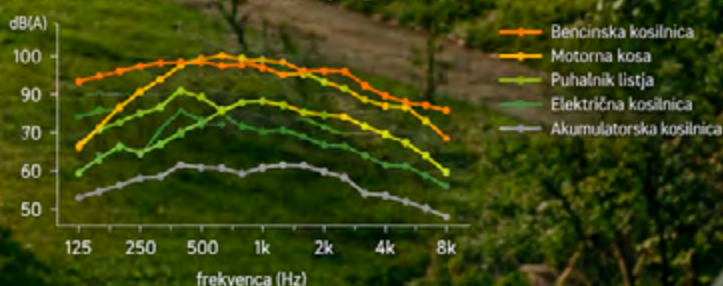


Čas izpostavljenosti



Vrsta in stanje orodja

PRIMERJAVA MERITEV NA 5 m (LpAeq, dB(A))



Vir: Lamper, Holecsek, 2025

MOŽNOSTI ZMANJŠANJA HRUPA



Izbira tišjih akumulatorskih orodij



Redno vzdrževanje in pravilna uporaba



Omejitev časa izpostavljenosti



Uporaba osebne zaščitne opreme



Zasnova zelenih barier in premišljeno načrtovanje prostora



dijo večjo zaščito in so preprostejše za pravilno namestitve. Pogosto se uporabljajo pri delu z motorno žago, mulčerji, brusilniki in podobno.

Kombinirana zaščita: vključuje slušalke, integrirane v čelado ali zaščitni vizir. Uporablja se pri kompleksnih opravilih, kjer je hkrati potrebna zaščita glave, oči in sluha (npr. v gozdarstvu). Zaščitna sredstva morajo biti ustrezno izbrana in pravilno nameščena, sicer zaščita ni učinkovita. Pomembno je, da delavci prejmejo ustrezna navodila za uporabo, seznanitev z omejitvami posamezne opreme ter da se zaščitna sredstva redno čistijo in vzdržujejo. Določena zaščitna oprema omogoča dušenje hrupa tudi za 20–35 dB, kar lahko bistveno zmanjša vpliv hrupa na zdravje. Vendar mora biti zaščita izbrana individualno, saj preveliko dušenje lahko zmanjša zaznavanje opozorilnih signalov v okolju, kar predstavlja novo varnostno tveganje. Uporaba osebne varovalne opreme za zaščito sluha je ključni element pri preprečevanju poklicnih poškodb sluha. Pri delu z vrtno in kmetijsko mehanizacijo, kjer pogosto prihaja do preseganja opozorilnih in mejnih vrednosti hrupa, je dosledna uporaba OVO obvezna. Le s celostnim pristopom – od prepoznavanja tveganja, izbire ustrezne zaščite, pravilne uporabe ter ozaveščanja uporabnikov – lahko dolgoročno zagotovimo varno delovno okolje in ohranimo zdravje sluha (Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu, 2005). Pri izmerjenih ravneh nad 95 dB(A) je priporočljiva kombinirana zaščita sluha z dušenjem najmanj 25 dB.

5 ZAKLJUČEK

Prispevek predstavlja tudi prvo sistematično terensko analizo hrupa vrtnih orodij v Sloveniji, ki združuje fizikalne meritve in trajnostne vidike. Ker parametri (tonalnost, ostrina, fluktuacije) niso bili kvantificirani, je analiza kvalitativna. Uporabljeni so bili koncepti iz Zwicker & Fastl (2000).

Analiza rezultatov je razkrila, da:

1. Izpostavljenost hrupu pri delu z vrtnimi orodji pogosto presega zakonsko dovoljene vrednosti. Pri večini bencinskih orodij so bile izmerjene ravni hrupa nad opozorilnimi (85 dB(A)) in pogosto blizu ali nad mejnimi vrednostmi (87 dB(A)), kar pomeni obvezno uporabo osebne varovalne opreme.
2. Akumulatorsko orodje je praviloma tišje od bencinskega, vendar so tudi pri teh v nekaterih primerih izmerjene vrednosti presegle spodnjo opozorilno mejo (80 dB(A)).
3. Deklarirane vrednosti proizvajalcev niso vedno skladne z meritvami. Pri posameznih napravah so bile razlike med deklarirano in izmerjeno ravno zvočne moči več kot 3 dB, kar kaže na potrebo po doslednejšem nadzoru in preverjanju podatkov v praksi.
4. Za zmanjšanje tveganja so ključni tehnični in organizacijski ukrepi ter uporaba osebne varovalne opreme. Priporočljiva je izbira tišjih (akumulatorskih) orodij, omejevanje časa izpostavljenosti ter kombinirana uporaba čepkov in glušnikov pri najglasnejših orodjih (npr. puhalniki listja, motorne žage).

Rezultati kažejo, da prehod na akumulatorska vrtna orodja pomembno prispeva k zmanjšanju hrupa, izboljšanju delovnih pogojev in uresničevanju ciljev trajnostnega razvoja. Z vidika trajnostnega razvoja je nujno spodbujati prehod na tišje tehnologije, nadgraditi sistem spremljanja hrupa in izboljšati ozaveščenost uporabnikov. Hrup tako postaja del širše razprave o zelenem prehodu, ki vključuje tehnične, okoljske in družbene dimenzije ter zahteva interdisciplinarni pristop. Zeleni prehod vključuje tehnološke, družbene in politične spremembe. Rezultati tega prispevka pa kažejo, da akumulatorska orodja omogočajo občutno zmanjšanje hrupa, hkrati pa so energetsko učinkovitejša in okolju prijaznejša. Zmanjšanje hrupa izboljšuje zdravje prebivalcev, zmanjšuje stres in izboljšuje kakovost bivanja. Evropska regulativa (Direktiva 2000/14/ES) strogo predpisuje označevanje ravni zvočne moči, a meritve kažejo, da odstopanja obstajajo. To krepi potrebo po dodatnih neodvisnih preverjanjih, kot npr. vpeljavo mobilnih merilnih sistemov, omreženih senzorjev in umetne inteligence, kar je ključno za spremljanje hrupa v mestih, upravljanje okoljskih kazalnikov in razvoj prilagodljivih politik.

Ne nazadnje je treba kritično oceniti omejitve raziskave zaradi omejenega števila orodij, terenskih meritev, odsotnosti laboratorijskih pogojev, kvalitativne psihoakustične analize in relativno omejene statistične obdelave.

Profesor dr. Nikola Holeček je diplomiral na Fakulteti za fiziko, znanstveni magisterij in doktorat pa je zaključil na področju strojništva, na Univerzi v Ljubljani. Za svoje delo na področju razpoznavanja in zmanjševanja hrupa je nagrajen s prestižno svetovno nagrado Martin-Hirschorn IAC Prize (<https://www.inceusa.org/about-ince-usa/honors-and-awards/hbpa/>). Je habilitiran visokošolski učitelj in poučuje več predmetov na prvi in drugi stopnji univerzitetnega študija.

LITERATURA IN VIRI

- World Health Organization. Regional Office for Europe. (2011). Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe. WHO Regional Office for Europe. <https://www.who.int/europe/publications/item/9789289002295>
- Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganimi zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu. (2006). Uradni list Republike Slovenije, št. 17/2006. <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2006-01-0713>
- European Parliament and Council. (2000). Directive 2000/14/EC of 8 May 2000 on the approximation of the laws of the Member States relating to the noise emission in the environment by equipment for use outdoors. Official Journal L 162, 1–78.
- European Parliament and Council. (2003). Directive 2003/10/EC on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise).
- European Parliament and Council. (2005). Directive 2005/88/EC amending Directive 2000/14/EC on noise emission in the environment by equipment for use outdoors. Official Journal L 344, 44–46.
- European Parliament and Council. (2009). Regulation (EC) No 219/2009 amending Directive 2000/14/EC on noise emission in the environment by equipment for use outdoors.
- European Parliament and Council. (2019). Regulation (EU) 2019/1243 amending Directive 2000/14/EC on noise emission in the environment by equipment for use outdoors. Official Journal L 198, 241–344.
- Zwicker, E., & Fastl, H. (2000). Psychoacoustics: Facts and models (1st ed.). Springer-Verlag.
- Zakon o varnosti in zdravju pri delu (ZVZD-1). (2011). Uradni list Republike Slovenije, št. 43/11, 78/13.
- International Organization for Standardization. (2006). ISO 1996-1: Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 1: Basic quantities and assessment procedures. ISO.
- International Organization for Standardization. (2009). ISO 9612: Acoustics – Determination of occupational noise exposure – Engineering method. ISO.
- Slovenian Institute for Standardization. (2004). SIST EN 60942: Electroacoustics – Sound calibrators.
- Slovenian Institute for Standardization. (2014). SIST EN 61672-1: Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications.
- Slovenian Institute for Standardization. (2004). SIST EN 458: Hearing protectors – Recommendations for selection, use, care and maintenance.
- Berger, E. H., Royster, L. H., Royster, J. D., Driscoll, D. P., & Layne, M. (2003). The noise manual (5th ed.). American Industrial Hygiene Association.
- Münzel, T., Schmidt, F. P., Steven, S., Herzog, J., Daiber, A., & Sørensen, M. (2018). Environmental noise and the cardiovascular system. *Journal of the American College of Cardiology*, 71(6), 688–697.
- Stansfeld, S. A., & Clark, C. (2015). Noise pollution: Non-auditory effects on health. *British Medical Bulletin*, 113(1), 109–120.
- National Institute for Occupational Safety and Health. (1998). Criteria for a recommended standard: Occupational noise exposure. U.S. Department of Health and Human Services.
- European Agency for Safety and Health at Work. (2005). Uvodne besede o hrupu pri delu.
- European Agency for Safety and Health at Work. (2006). Hrup v številkah.
- Holeček, N. (2017). Hrup in protihrupne tehnologije pri aparatih v domačem okolju. Visoka šola za varstvo okolja.
- Honeywell Safety Products. (2022). Hearing protection product catalogue (ali: Technical guide to hearing protection). <https://sps.honeywell.com>
- Ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve. (2009). Prenehajte s tem hrupom!: Priročnik z osnovnimi informacijami in navodili.
- Nacionalni inštitut za javno zdravje. (2025). Osnovne informacije o hrupu.
- NTi Audio. (2020). XL2 Sound Level Meter – User manual (Version 4.33.00).
- Makita Corporation. (2023). DUX60 Multi-function Power Head – Product overview.
- Makita Corporation. (2023). DUX60 Multi-function System – User manual.
- Stihl. (2023). Tehnične specifikacije orodij.
- Husqvarna. (2022). Noise and emission comparison between electric and petrol trimmers.
- Weibang. (2023). Tehnični podatki modela WB537 SCV 3v1.
- Petrol d. d. (2024). Bencinska kosilnica Ramda G46SHL-E 4v1 – tehnični podatki.
- Eurogarden. (2025). Prežračevalac trate Texas 400TG TG725X – tehnični list.



METRO LJUBLJANA

David Kene, Babilli Garden d.o.o., Visoka šola za trajnostni razvoj, Kranj

Izvleček

Ljubljana vstopa v obdobje, v katerem obstoječi prometni sistem ne zadošča več potrebam prebivalcev, dnevnih vozačev in turistov. Mestni avtobusni promet deluje na meji zmogljivosti, cestna infrastruktura je preobremenjena, število osebnih vozil pa kljub okoljskim ciljem ne upada. Evropske podnebne zaveze do leta 2035 dodatno zahtevajo hitro in premišljeno preobrazbo mobilnosti, a strateške odločitve, povezane s prestolnico, postavljajo številne strokovnjake v dvome o učinkovitosti ukrepov. Pričakovati je, da bo imela Ljubljana do leta 2030 celotno floto avtobusov na elektriko in vodik. Mar ni potrebno povečanje kapacitet? Državni svet je leta 2024 organiziral strokovni posvet na temo prometne situacije v Sloveniji, na kateri pa konkretne rešitve za Ljubljanski

promet niso bile predstavljene. Mnenja učinkovitosti povečevanja števila pasov so deljena, Mestna občina Ljubljana pa trenutno zasleduje strategijo, ki spodbuja voznike, da avtomobile pustijo na parkiriščih P+R (Parkiraj in se pelji) ter se naprej po mestu vozijo z avtobusi, kolesi ali hodijo peš. Kakšna bi torej bila videti strategija Ljubljanskega prometa, ki temelji na javnem potniškem prometu in parkiriščih P+R? Spoznajte, kako bi bil videti Ljubljanski metro.

Ključne besede: Ljubljana, metro sistem, urbani promet, prometno načrtovanje, trajnostna mobilnost.

LJUBLJANA METRO REGION

Abstract:

Ljubljana is entering a period in which the existing transport system is no longer sufficient to meet the needs of residents, daily commuters, and tourists. The city's bus network is operating at the limits of its capacity, road infrastructure is heavily congested, and the number of private vehicles continues to remain high despite environmental objectives. In addition, European climate commitments for 2035 require a rapid and carefully planned transformation of mobility. However, strategic decisions concerning the capital city raise doubts among many experts regarding the effectiveness of current measures. By 2030, Ljubljana is expected to operate an entirely electric- and hydrogen-powered bus fleet, yet questions remain as to whether capacity expansion is being adequately addressed. In 2024, the National Council of the Republic of Slovenia organized an expert consultation on Slovenia's traffic situation,

although no concrete solutions for Ljubljana's transport challenges were presented. Opinions on the effectiveness of increasing road lane capacity remain divided, while the Municipality of Ljubljana currently pursues a strategy encouraging drivers to leave their cars at Park-and-Ride (P+R) facilities and continue their journeys by bus, bicycle, or on foot. What, then, would a transport strategy for Ljubljana look like if it were based primarily on public transport and P+R infrastructure? This paper explores the concept of a Ljubljana metro system and its potential role in shaping the future of urban mobility in the Slovenian capital.

Keywords: Ljubljana, metro system, urban transport, transport planning, sustainable mobility.



Slika 1: Prihodnost javnega prometa (Vir: Construction Week, 2022)

1 UVOD

Ljubljana se v zadnjih desetletjih sooča z izrazitim povečevanjem prometnih obremenitev. Vsakodnevno se v mesto pripelje več kot 140.000 dnevni migrantov in približno 120.000 osebnih vozil, pri čemer je v kar 90 odstotkih v vozilu voznik sam. Takšna prometna struktura povzroča pogoste prometne zastoje, zmanjšuje učinkovitost javnega potniškega prometa ter negativno vpliva na kakovost bivanja v mestu. Državni svet Republike Slovenije je 22. januarja 2024 organiziral "Strokovni posvet Slovenija stoji na cestah: Reševanje prometnih zastojev mora postati eden ključnih državnih razvojnih in infrastrukturnih projektov" (DS RS, 2024), kjer so strokovnjaki razpravljali o obstoječem stanju in pristopih k reševanju problematike. Obstoječi sistem javnega potniškega prometa temelji predvsem na avtobusnem prometu, ki ga upravlja Ljubljanski potniški promet (LPP). Kljub razvoju rumenih pasov in reorganizaciji posameznih mestnih prometnic avtobusni sistem deluje na meji svojih kapacitet, predvsem v prometnih konicah. Evropske podnebne zaveze in cilji trajnostne mobilnosti dodatno poudarjajo potrebo po zmanjšanju uporabe osebnih vozil ter povečanju deleža javnega potniškega prometa. Zato se postavlja vprašanje, ali je za Ljubljano dolgoročno primeren razvoj sistema hitrega mestnega železni-

škega prometa. Namen prispevka je predstaviti konceptualni model razvoja metro sistema v Ljubljani, ki temelji na analizi mestne topologije v primerjavi s svetovnimi prestolnicami. Prispevek predstavlja strateški in konceptualni predlog.

1.1 METODOLOGIJA

Na podlagi izhodišč temelji strateški predlog na kombinaciji primerjalne analize urbanih prometnih sistemov, analize prometne strukture mesta ter konceptualnega prometnega načrtovanja. V izhodiščih je utemeljena izbira metro sistema. V nadaljevanju je v prvem koraku bila opravljena primerjalna analiza različnih tipologij metro sistemov. V drugem koraku je bila izvedena analiza prostorske in prometne organizacije Ljubljane, s poudarkom na glavnih vpadnicah, prometnih tokovih ter obstoječi infrastrukturi javnega potniškega prometa. Na podlagi teh ugotovitev je bil oblikovan konceptualni model razvoja metro sistema za Ljubljano, ki upošteva topologijo mesta in povezave z regionalnim prometom. Strateški predlog upošteva dolgoročni dvofazni pristop izgradnje prometne infrastrukture: predpriprava izgradnje.

Ljubljana se sooča z naraščajočim prometom, ki ogroža kakovost bivanja, gospodarsko konkurenčnost in okoljsko vzdržnost. Ob upoštevanju trendov hitrega, elektrificiranega in večnivojskega urbanega prometa

je cilj strateško-konceptualne študije oceniti, kateri koncept metro sistema bi najbolj učinkovito služil kot hrbtenica ljubljanskega javnega potniškega prometa in predstaviti možne smeri dolgoročnega razvoja trajnostnega javnega prometa v Ljubljani.

2 IZHODIŠČA

Največjo prioriteto v prometu ima pešec, ki je v prometu najbolj ranljiv. Skupaj z osebnimi motornimi vozili ta dva akterja predstavljata temelj prometne strategije v Sloveniji. Ob vse večjem številu osebnih vozil v Ljubljani je treba za izboljšanje prometne strategije okrepiti javni prevoz in ga narediti konkurenčnega osebnim vozilom, da se bodo vsakodnevni delovni migranti zanj odločili.

2.1 TRENUTNA PROBLEMATIKA

Na Mestni občini Ljubljana (MOL) in LPP težavnost trenutne infrastrukture pripisujejo na območju Tivolska-Slovenska-Trg OF-Dunajska, a na to so opozarjali že strokovnjaki na posvetu Državnega zbora. Rumeni pasovi lahko pospešijo pretočnost potniškega prometa, a celostnega učinka na pretočnost prometa ne bodo imeli, kar bo posledično zaviralo tudi potniški promet.

Med strokovnjaki na področju prometne infrastrukture narašča kon-



senz, da širitev cest na več pasov ne poveča pretočnosti trajno. Namesto tega je ključna preoblikovana prometna strategija urbanih območij, osredotočena na javni potniški promet, ki omogoča višje potniške kapacitete, zmanjšuje okoljski odvis in izboljšuje kakovost bivanja, kar je bilo izpostavljeno tudi na strokovnem posvetu. Mestna občina Ljubljana, trenutno zasleduje strategijo, ki ljudi spodbuja, da avtomobile pustijo na parkiriščih P+R ter se naprej po mestu vozijo z avtobusi, kolesi ali hodijo peš. Strategija P+R v konceptu zmanjšuje število avtomobilov v mestih, a mora biti podprta z gostimi urniki avtobusnih prevozov. V Ljubljani je trenutno sedem (7) P+R parkirišč in sedemnajst (17) avtocestnih uvozov. Vključujoč dve nakupovalni središči (BTC in Rudnik) je strateško pokritih več kot polovica uvozov in vse glavne prometnice. Na podlagi letnih poročil LPP lahko razberemo, da se število avtobusov čez leta ni bistveno spremenilo. Leta 2010 je LPP imel 213 avtobusov, leta 2024 pa je povprečno število avtobusov znašalo 209. Za uspešno P+R strategijo, bi bilo v prihodnosti smiselno povečati avtobusno floto in posledično povečati frekvenco avtobusnih prihodov.

2.2 TRAJNOSTNA PROMETNA STRATEGIJA

Trajnostna prometna strategija pomeni dolgoročni strateški načrt, ki upošteva vse ravni prometa in poskuša čim boljše predvideti globalne trende. Hitrost in varnost sta dve temeljni gonilni sili inovacij v transportu. Največjo pretočnost v prometu zagotavljata enosmerni promet in krožišča. Prometna strategija mora torej stremeti k boljši pretočnosti, kar pomeni manj semaforjev in jasno prometno signalizacijo.

Težko je predvideti, kako bo videti transport prihodnosti. Ob upoštevanju fizikalnih omejitev in inovacij, ki jih že spremljamo v tujini, večjih znanstvenih prebojev ni pričakovati. Avtonomna vožnja, elektrifikacija vozil in integracija pametnih transportnih omrežij bodo verjetno izboljšali učinkovitost in varnost, a ne bodo bistveno spremenili temeljne narave urbanega prometa. Največji preboj se pričakuje na področju dronov in transporta lažjih pošilk, vendar integracijo teh inovacij v Evropi omejuje regulativa.

Pomemben dejavnik v prometu so tudi vozila s prednostjo. Urgentne službe², kot so reševalci, gasilci in policisti so v prometni strategiji pogosto pozabljeni. V interventnih situacijah so prav od teh služb od-

visna življenja. Prvi korak k podpori vozil s prednostjo je avtomatizacija celotne mreže semaforjev, ki bi urgentnim vozilom nudil usklajeno signalno koordinacijo zelenih luči ali poljudno rečeno "zeleni val".

2.3 METRO IN NE TRAMVAJ

Ljubljana ima zgodovinske izkušnje z mestno železnico, saj je bil tramvajski sistem uveden leta 1901. Zaradi omejene dolžine prog, relativno visokih obratovalnih stroškov ter nizke stopnje motorizacije prebivalstva je tramvaj ostal dopolnilni prometni sistem. Leta 1958 je bil ukinjen in nadomeščen z avtobusnim prometom, medtem ko se je nadaljnji razvoj prometne infrastrukture usmeril predvsem v avtomobilski promet. Kljub več pobudam za ponovno uvedbo mestne železnice, zlasti v začetku devetdesetih let, projekti niso bili realizirani, predvsem zaradi prostorskih in infrastrukturnih omejitev. Pri tem je pomembno razlikovati med tramvajskim sistemom, ki je integriran v cestno infrastrukturo in običajno napajan z nadzemnimi vodi ter metro sistemom, ki ima praviloma ločeno traso in lastno infrastrukturo ter omogoča večje potniške kapacitete in večjo zanesljivost prevoza (tabela 1).

Značilnost	Metro	Tramvaj	Vlak (železnica)
Osnovni namen	Mestni javni prevoz z zelo velikimi kapacitetami	Mestni javni prevoz	Regionalni, nacionalni ali mednarodni prevoz
Okolje	Predvsem v velikih mestih	Mestna območja	Med mesti in regijami
Infrastruktura	Ločena od cest (podzemna ali nadzemna)	Večinoma integrirana v cestni promet	Ločena železniška infrastruktura
Postaje	Zelo gosto razporejene	Gosto razporejena postajališča	Postaje bolj oddaljene
Hitrost	Srednja	Najnižja	Najvišja
Kapaciteta potnikov	Zelo velika	Srednja	Velika
Prometna ločenost	Popolnoma ločen sistem	Pogosto deli prostor s cestnim prometom	Popolnoma ločen sistem
Napajanje	Elektrika (tretja tirnica ali nadzemni vod)	Elektrika (nadzemni vod)	Elektrika ali dizel
Tip uporabe	Hitri mestni transport	Lokalni mestni transport	Daljinski in regionalni transport

Tabela 1: Primerjava metro, tramvaj in vlak (Vir: European Commission, 2019)

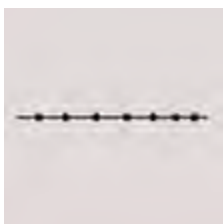
2 Na zemljevidu Ljubljane (v nadaljevanju) pobarvano z vijolično barvo.

Ljubljana sodi med manjše evropske prestolnice, kar odpira vprašanje primernosti različnih sistemov mestnega tirnega prometa. Tramvajski sistemi, integrirani v cestno infrastrukturo, zahtevajo prilagoditve prometnega režima in upravljanja prostora. Alternativen pristop predstavlja razvoj metro sistema, ki bi lahko deloval na ločeni infrastrukturi. Ob upoštevanju obstoječe železniške infrastrukture v regiji se kot ena izmed možnih rešitev pojavlja koncept sistema, ki bi uporabljal enako tirno širino kot železniški promet, kar bi lahko omogočalo določeno stopnjo interoperabilnosti in potencialno dvojno rabo infrastrukture za mestni in regionalni potniški promet.

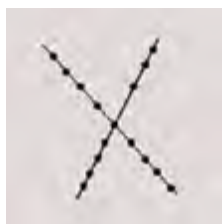
Metro sistemi so v praksi najpogosteje izvedeni kot podzemne ali nadzemne železnice. Geografske in hidrološke značilnosti Ljubljane, ki leži na prodnatih in deloma poplavno izpostavljenih območjih Ljubljanskega barja, predstavljajo pomemben dejavnik pri načrtovanju prometne infrastrukture. Projekcije podnebnih sprememb, predstavljene v poročilu »Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja«, ki ga je pripravila Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), napovedujejo višje temperature, daljša sušna obdobja ter povečano pogostost intenzivnih padavin. Takšne razmere lahko povečajo tveganja za poplavljanje nizko ležeče infrastrukture, kar je treba upoštevati pri načrtovanju

podzemnih prometnih sistemov. Poplavni dogodki lahko namreč povečajo obratovalne in vzdrževalne stroške, povzročijo začasno ohromitev prometnega sistema ter poškodbe infrastrukture, kar lahko pomembno vpliva na dolgoročno ekonomsko upravičenost takšnih rešitev. Zgolj z vidika poplavne tveganosti je verjetno najbolj primerna nadzemna železnica ali nadzemni metro.

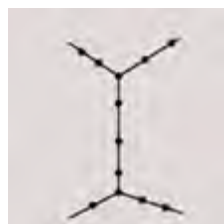
V kontekstu dolgoročnega razvoja urbanega prometa se zato vse pogosteje obravnava koncept večnivojskih prometnih sistemov. Ti lahko vključujejo cestni promet na osnovni ravni (1. nivo), tirne sisteme z visoko kapaciteto na ločeni infrastrukturi (2. nivo) ter razvoj novih



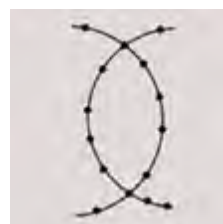
„I“:
Algiers, Almaty, Baltimore, Cleveland, Gwangju, Helsinki, Hiroshima, Jakarta, Kazan, Lima, Manila, Maracaibo, Miami, Mumbai, Quito, Sydney, Valencia (Venezuela), Yekaterinburg



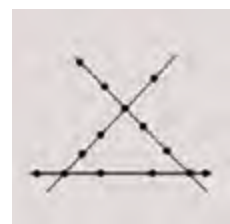
Križ:
Atlanta, Bangalore, Incheon, Kaohsiung, Kyoto, Monterrey, Nagpur, Nizhny Novgorod, Panama City, Philadelphia (SEPTA), Rotterdam, Sendai, Warsaw



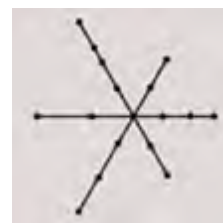
„X“:
Amsterdam, Brussels, San Francisco Bay Area, Stockholm, Thessaloniki



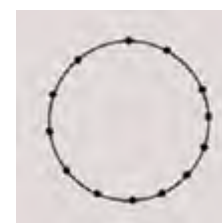
Dvakrat sekajoči poti (zračna vreča):
Cairo, Chennai, Lille, Marseille, Montreal, Nanchang, Nuremberg, Rotterdam, Toronto



Sekante:
Athens, Budapest, Busan, Guadalajara, Kharkiv, Hyderabad, Lisbon, Milan, Munich, Philadelphia (vključujoč PATCO), Prague, Rome, São Paulo, Tashkent



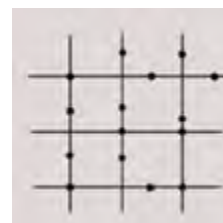
Radial:
Boston, Budapest, Buenos Aires, Chicago, Daegu, Kyiv, Los Angeles, Sapporo, Tehran, Washington



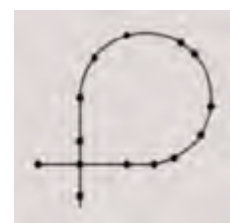
Krog:
Glasgow, Singapore



Radialni krog:
Bangkok, Beijing, Bucharest, Chengdu, Chongqing, Copenhagen, Delhi, Hamburg, London, Madrid, Moscow, Nagoya, Paris, Seoul, Shanghai, Singapore, Tokyo, Zhengzhou



Kompleksna mreža:
Barcelona, Berlin, Guangzhou, Hangzhou, Hong Kong, Mexico City, Milan, Nanjing, New York, Osaka, Shenzhen, Taipei, Tianjin, Vienna, Wuhan



Podaljšana zanka:
Sofia, Naples, Newcastle, Singapore

Tabela 2: Topologija metro sistemov svetovnih mest



oblik mobilnosti, kot so avtonomna zračna vozila oziroma droni za specifične transportne naloge (3. nivo).

2.4 DVOFAZNA STRATEGIJA

Strategija mora temeljiti na obstoječi infrastrukturi ter biti tehnično in ekonomsko izvedljiva. Predvidena je v dveh fazah.

FAZA (1. nivo): P+R parkirišča, mestni avtobusni promet (LPP), urgentne službe.

FAZA (2. in 3. nivo): Metro in mestni zračni promet.

3 METRO SISTEM - TOPOLOGIJA

Topologija ali geometrija metro sistema definirajo razni faktorji, med drugim geografske ovire, potniški vzorci, cena izgradnje, politika in zgodovinske omejitve. Transitni sistem, ki je namenjen določenemu področju opredeljujejo linije, ki jih v grobem opredeljujemo v oblike ali zanke »I«, »L«, »U«, »S« in »O« (tabela 2).

Kot je prikazano na tabeli 2, je topologija metro sistema izredno prilagodljiva okoliščinam in potrebam posameznega mesta.

3.1 TOPOLOGIJA LJUBLJANE

Ker gre v primeru Ljubljane za nadzemni sistem, ki bi bil vkomponiran v že obstoječo infrastrukturo (cestno topologijo) sem kot avtor za lažjo predstavo izdelal dva zemljevida in končno shemo (slika 2 in 3).

Ljubljana ima značilno krožno cestno strukturo. Avtocestni križ ustvarja prometne tokove med avtocestami in glavnimi mestnimi cestami (slika 2, svetlo rumeno):

- Gorenjska avtocesta → Celovška cesta
- Primorska avtocesta → Tržaška cesta
- Dolenjska avtocesta → Dolenjska cesta
- Štajerska avtocesta → Šmartinska cesta

Poleg glavnih povezav ima Ljubljana dodatne prometnice v smeri neba (slika 2, oranžno):

- V - Zaloška cesta
- S - Dunajska cesta
- J - Barjanska cesta
- Z - /

Ostale ceste razdelijo Ljubljano na manjše dele kroga, a za razliko od že prej omenjenih cest nimajo neposredne povezave med centrom in avtocesto. To so na primer: Ižanska cesta, Litijska cesta, Cesta na Brdo, Vodnikova cesta, Slovenčeva cesta, Štajerska cesta, Letališka cesta in druge (slika 2, oranžno).

Nazadnje so tukaj povezovalne ceste, ki imajo značilno krožno obliko, saj kakor krožnice obkrožajo center Ljubljane. Drenikova, Samova in Topniška, Njegoševa in Roška ces-

ta so najboljši primer, ki povezuje Celovško, Šmartinsko in Dolenjsko cesto (slika 2, zeleno).

Kritična infrastruktura, kot so glavna železniška in avtobusna postaja, Univerzitetni in klinični center Ljubljana, Gasilska brigada Ljubljana in ostalo so na sliki 2 obarvani vijolično.

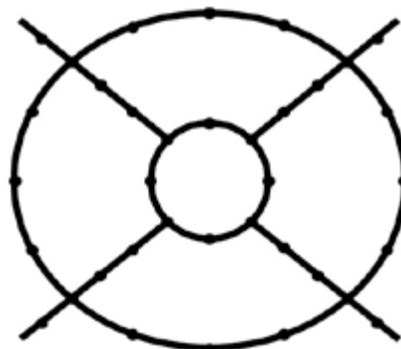
Topologija Ljubljane je torej dvo-krožna. Skoraj sklenjeni zeleni krog predstavlja notranji krog, AC obroč pa zunanji krog, ki ju povezujejo 4 glavne vpadnice.

4 FAZA 1 - ENOSMERNI CESTNI PROMET (1. NIVO)

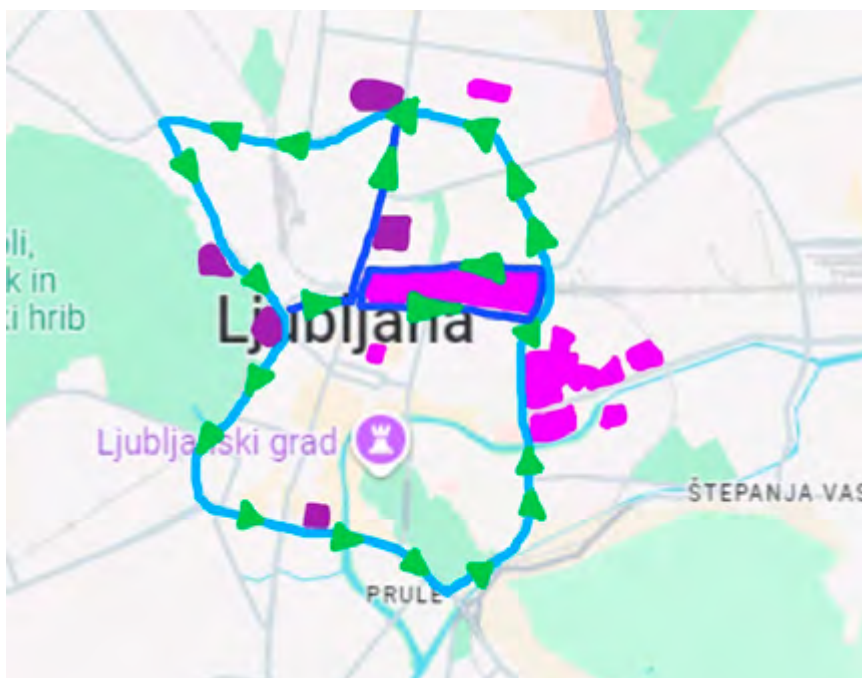
Upoštevač vse zgoraj naštetje izzive je s svetlomodro označena enosmerna dvopasovnica za avtomobile, ki jo spremljata dva rumena avtobusna pasova. Enosmerna



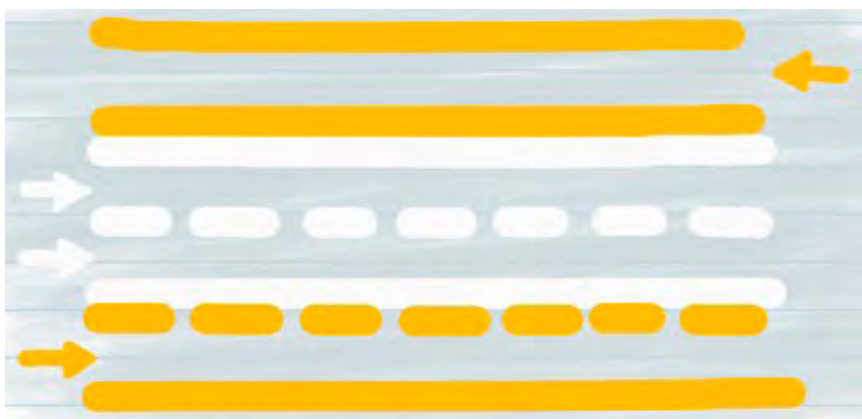
Slika 2: Ljubljanske prometnice (Vir: Google Zemljevid, 2024).



Slika 3: Topologija metro sistema Ljubljane (Lastni vir).



Slika 4: Skica enosmernega krožnega središča Ljubljana (Lastni vir)



Slika 5: Skica pasov v primeru enosmernega krožnega središča Ljubljana (Lastni vir)

ureditev poteka v nasprotni smeri urinega kazalca, po vzoru krožnih križišč. Smer je namreč idealna za desni zavoj, ki poteka hitreje, še posebno v primeru razvrstilnega pasu.

S takšno razporeditvijo bi se prometna ureditev v Ljubljani občutno izboljšala. Iz skice je mogoče sklepati, da bi bila Zaloška cesta najbolj razbremenjena, saj ima najslabši dostop do mestnega središča. To hkrati rešuje problematiko UKC, ki predstavlja temelj kritične infrastrukture. Ker imajo reševalna vozila in druga urgentna vozila pravico vožnje po rumenem pasu, enosmerna ureditev nanje ne vpliva glede dostopnosti in najhitrejših možnih povezav. Primer razporeditve pasov je na sliki 6.



Slika 6: Nadzemni hitri železniški sistem (Vir: Tanuwidjaja in Chang, 2017)

Z ohranitvijo enega rumenega pasu se spodbuja mestni potniški promet. Najbolj obremenjeni prometnici bi postali Celovška in Dunajska cesta, če bi ohranili dvosmerni promet.

Še večji izziv pri izgradnji metro sistema predstavlja zagotavljanje finančne varnosti. Projekt izgradnje ljubljanskega metro sistema je nedvomno projekt državnega pomena. Ob upoštevanju korupcijskih tveganj je zato pri načrtovanju nujno zagotoviti enostaven, pregleden in predvidljiv koncept.

Med infrastrukturnimi koncepti je verjetno najbolj odporen dvignjen enostebrni metro, prikazan na spodnji sliki (slika 7). Enostebrni sistem je minimalističen. Potrebuje manj načrtovanja in je tako ugodnejši. Današnji enostebrni nadvoz je lahko dovolj močan, da prenese, ne zgolj potniškega, temveč tudi tovorni železniški promet.

Pri izbiri velikosti tirov je nujno, da so ti enake širine kot železniška infrastruktura. Ta sinhronizacija omogoča lažje vzdrževanje in dvojno uporabnost vagonov, ki lahko služijo kot del metro sistema, ali medkrajevnega železniškega potniškega prometa. V praksi so najdaljše povezave mest z bližnjimi letališči, kar je smiselno tudi v primeru Ljubljana - Letališče Jožeta Pučnika.



Primeri podobnih metro sistemov:



Slika 7: Daka – Bangladeš (Vir: The Daily Star, 2024)



Slika 10: New Delhi Metro (Vir: Hindustan Times, 2022)



Slika 11: Kobe – Japonska (Vir: Wikipedija, 2012)



Slika 8: Nagpur – Indija (Vir: Nagpur Trends, 2023)



Slika 9: Mumbai – India (Vir: Systra, b.l.)

Smisel nadvoza oziroma nad cestnega metroja je v izkoriščanju višine, ki je v Sloveniji oz. Ljubljani še nismo začeli izkoriščati. Drug vidik pa predstavlja obstoječa infrastruktura, ki jo takšna zasnova podpira. Za izgradnjo bi namreč zgolj nadgradili že obstoječe glavne prometnice in ohranili prostorsko namembnost. To bi občutno zmanjšalo dolgotrajne birokratske postopke in zakonodajne procese.

4.1 MESTNI ZRAČNI PROMET LJUBLJANA - DRONI

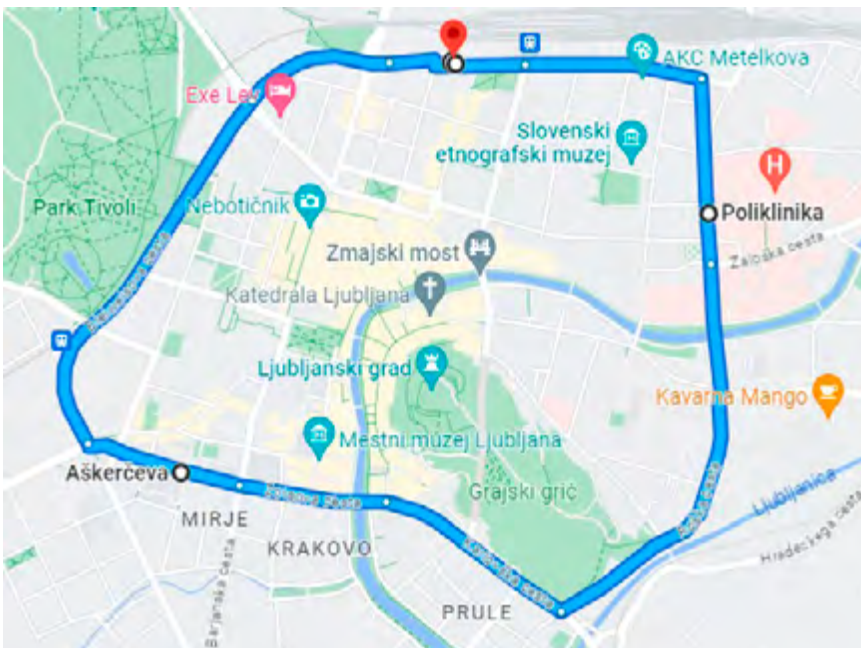
Umeščanje dronov v prostor je z vidika varnosti izziv. Trenutno se stroka nagiba k vzpostavitvi zračnih cest nad električnimi daljnovodi, ki

do neke mere že imajo potrebna dovoljenja za poseganje v zračni prostor. Težava se torej pojavi, ko daljnovodov ni, kot je primer mestnih središč. V takem primeru predstavlja nadvozni metro sistem rešitev, saj prav tako posega v zračni prostor. Metro linije so torej idealen temelj prihajajočih tehnoloških izzivov avtonomnega zračnega prometa.

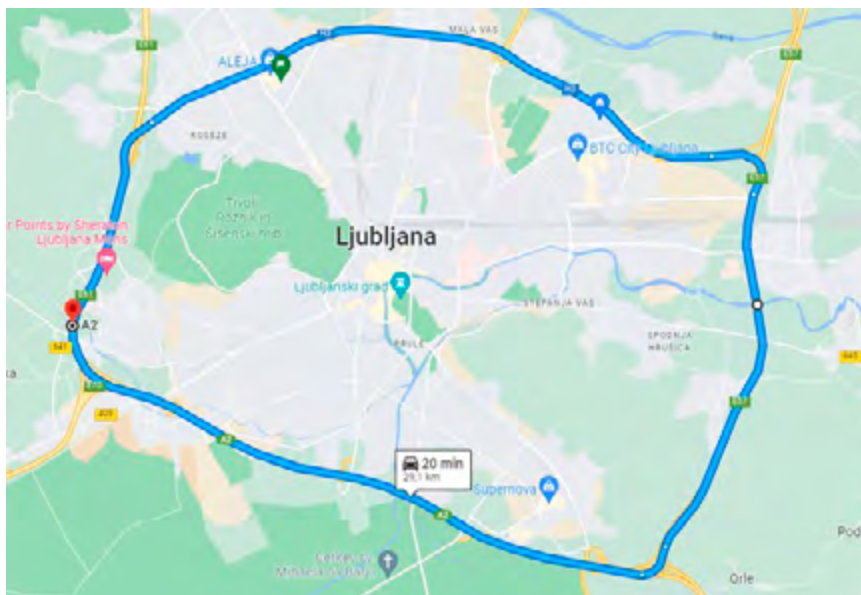
5 FAZA 2 - METRO LJUBLJANA

Na podlagi predhodno opisane Faze 1 je torej končno vprašanje le še, kako bi metro povezava bila videti v Ljubljani.

Metro sistem torej mora potekati po največjih prometnicah, ki so dovolj široke, za postavitev stebrišča in cestišča. Cestni promet pod metro cestiščem je stvar dogovora in je odvisen od prometnice do prometnice. Odprte so vse kombinacije z rumenimi pasovi, zato te ureditve ni smiselno definirati. Ljubljana ima torej dvokrožno topologijo. V poglavju 3, kjer so prikazane različne oblike sistemov, Ljubljana zaradi AC obroča (Ljubljanska obvoznica) in notranjega obroča sovпада s kombinacijo kroga in dvakrat sekajočih poti (ang. Radial - Two crossing paths).



Slika 12: Ljubljana (center) (Lastni vir)



Slika 13: Ljubljana (AC) (Lastni vir)

5.1 KROG - (LJUBLJANA AC)

Krog okoli Ljubljane znaša dobrih 28 kilometrov, premer po vzhodno-zahodni smeri pa znaša nekaj manj kot 10 km. V spodnji tabeli 3 lahko vidimo primerjavo z ostalimi mesti, ki imajo vzorne krožne linije, kot sta Glasgow in Singapur.

Če bi torej metro sistem potekal po AC obroču, bi v primerjavi s preostalimi mesti po svetu, po dolžini krožne linije imel postajališče skoraj na vsak kilometer. To pomeni, da bi postajališče imel vsak od 17 avtocestnih uvozov, ki bi mu lahko pripadalo tudi parkirišče P+R.

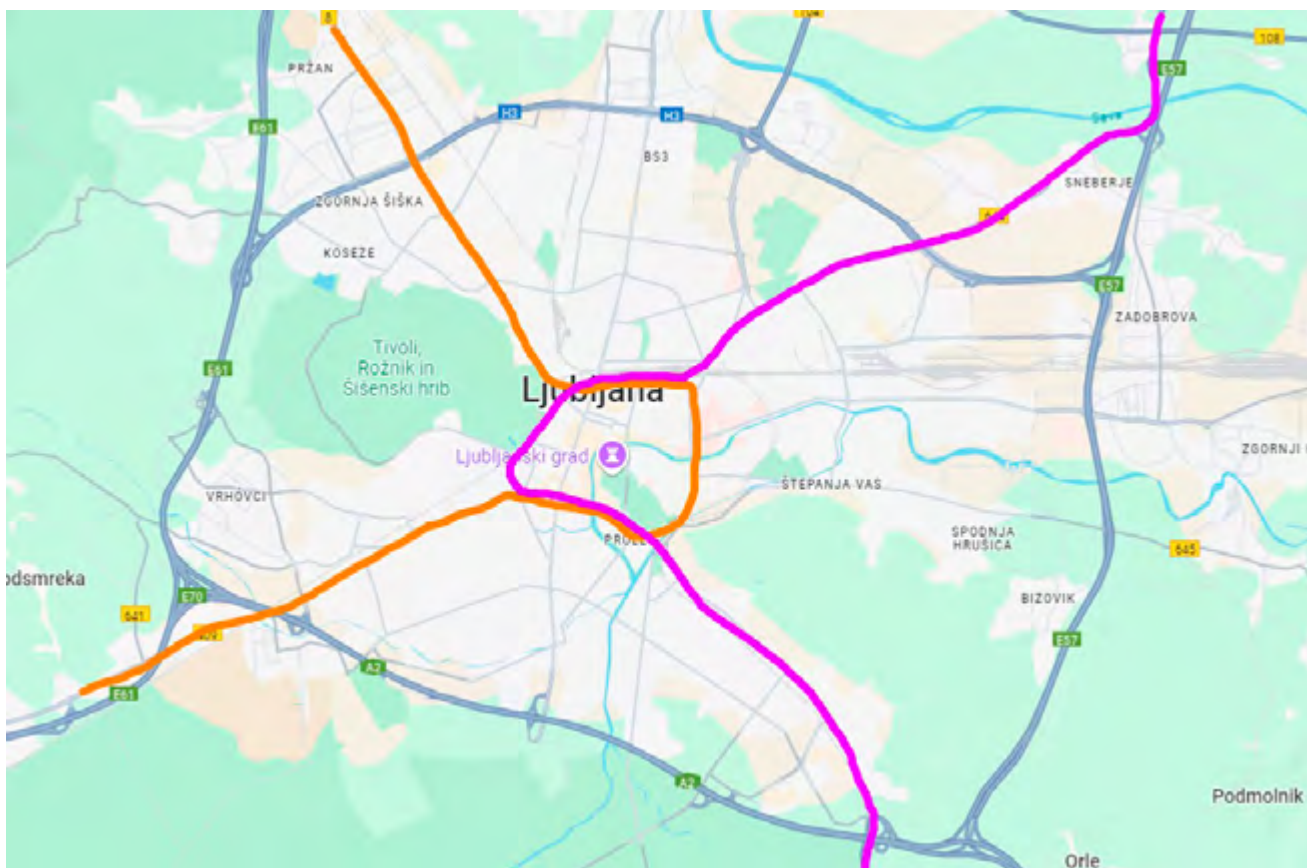
5.2 DVAKRAT SEKAJOČI POTI (LJUBLJANA CENTER)

Mesta s podobno topologijo dvakrat sekajočih poti so Cairo, Chennai, Lille, Marseille, Montreal, Nanchang, Nuremberg, Rotterdam in Toronto. Takšna trasa bi potekala po notranjem krogu Ljubljana center. Primer metro sistema je na spodnji skici (slika 14).

	Prebivalstvo (2022)	Radij krožne linije (km)	Dolžina krožne linije (km)	Št. postaj
LJUBLJANA (AC)	300.354 (2025)	4,5	28	?
Ljubljana (Center)	284.293	0,96	6	?
Glasgow	626.410	3,5	10,5	15
Detroit (City)	639.111	0,75	4,73 km	13
Copenhagen (City) - (M3)	656.787	2,5	15,5	17
Bucharest (M1)	1.716.961	3,75	pribl. 23,6	16
Hamburg (U3)	1.945.532	3,3	20,7	25
Madrid (6)	3.265.038	3,7	23,5	28
Singapore (CCL)	5.637.000	5,7	35,5	30
Chengdu (7)	15.419.445	6,1	38,61	31

Tabela 3: Metro sistemi





Slika 14: Skica metro sistema Ljubljana (Lastni vir)

Metro sistem bi tako temeljil na dveh povezovalnih linijah:

- Linija 1: Sneberje - Rudnik,
- Linija 2: Vižmarje - Brezovica.

Linije bi temeljile na P+R parkiriščih in predstavljale hitre povezave z mestnim središčem. Te linije so prav tako lahko podaljšane na relacijah:

- Linija 1: Domžale - Grosuplje,
- Linija 2: Letališče Jožeta Pučnika - Vrhnika.

Takšen metro sistem, kot je prikazan na sliki 15, bi v kombinaciji z mestnim avtobusom lahko predstavljal temelj ljubljanskega potniškega prometa.

6 ZAKLJUČEK

Predstavljena dvofazna prometna strategija Ljubljane temelji na realnih prostorskih, infrastrukturnih in finančnih izhodiščih ter omogoča postopno, a sistemsko preobrazbo mestne mobilnosti. Prva faza, ki vključuje reorganizacijo cestnega prometa, širitev sistema P+R, okrepitev mestnega avtobusnega prometa in prednostno obravnavo urgentnih služb, je ob ustrezni politični volji in upravljanju izvedljiva do leta 2035. Ta faza predstavlja nujen prehod, ki stabilizira prometni sistem in ustvari pogoje za nadaljnji razvoj. Druga faza, ki vključuje izgradnjo nadzemnega metro sistema in postopno uvajanje večnivojskega

prometa, je dolgoročen razvojni cilj, realno dosegljiv do leta 2050. Skupaj obe fazi ponujata časovno in vsebinsko usklajeno pot k trajnostni, učinkoviti in odporni prometni prihodnosti Ljubljane.

David Kene je mladi podjetnik in študent Varstva okolja na Visoki šoli za trajnostni razvoj. V letu 2021 je kot HUB manager start up pospeševalnika Reveris, d. o. o. pridobil izkušnje na področju digitalnih zagonskih podjetij, ki so ga vodile do pobude in leto kasneje ustanovitve hčerinskega podjetja Diamant esports, d. o. o., telekomunikacijskega velikana T-2. V sklopu študijske prakse pri podjetju Limnos, d. o. o. podjetja za aplikativno ekologijo se je študijsko specializiral za rastlinske čistilne naprave in vodne sisteme, v letu 2024 pa ustanovil tudi start-up podjetje Babili Garden, d. o. o. ki digitalizira aeroponične zalivalne sisteme za notranje prostore. Kot mladi podjetnik dela na področju trajnostnih poslovnih rešitev, ki podjetjem zagotavljajo dolgoročno poslovno uspešnost v času digitalizacije in umetne inteligence.

LITERATURA IN VIRI

- Državni svet Republike Slovenije. (2024, 22. januar). Strokovni posvet Slovenija stoji na cestah: Reševanje prometnih zastojev mora postati eden ključnih državnih razvojnih in infrastrukturnih projektov. <https://ds-rs.si/sl/novice/strokovni-posvet-slovenija-stoji-na-cestah-resevanje-prometnih-zastojev-mora-postati-eden>
- Ljubljanainfo. (2025, 28. november). Zakaj se center Ljubljane vsak popoldan ustavi? LPP in občina razkrivata, kaj je v ozadju. <https://ljubljanainfo.com/novica/lokalno/zakaj-se-center-ljubljane-vsak-popoldan-ustavi-lpp-obcina-razkrivata-kaj-je-v-ozadju/320823>
- Ljubljanainfo. (9. september 2025). Mestna vinjeta za v Ljubljano? Jankovič iskreno o pobudi za omejitev dnevnih migrantov. Ljubljanainfo. Pridobljeno s <https://ljubljanainfo.com/novica/lokalno/mestna-vinjeta-za-v-ljubljano-jankovic-iskreno-o-pobudi-za-omejitev-dnevnih-migrantov/307115>
- Vurnik, B. (n.d.). Izjava o zgodovini prometa v Ljubljani (Radijska oddaja). Val 202, Radio Slovenija.
- Karimi, H., Ghadirifaraz, B., Shetab Boushehri, S.N. et al. Reducing traffic congestion and increasing sustainability in special urban areas through one-way traffic reconfiguration. *Transportation* 49, 37–60 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11116-020-10162-4>
- Construction Week, 2022. The future of public transport is integrated, decarbonised, and digitalised. Pridobljeno 12. 12. 2024 z naslova: <https://www.constructionweekonline.com/business/the-future-of-public-transport-is-integrated-decarbonised-and-digitalised>
- SURS, 1. 1. 2024. Ljubljana v številkah. Pridobljeno 15. 10. 2024 z naslova <https://www.ljubljana.si/sl/o-ljubljani/ljubljana-v-stevilkah/>
- Ljubljanainfo. Jankovič o taksi za vstop v Ljubljano: Problem so dnevni vozači, sploh pa tisti, ki se v Ljubljano vozijo sami. Pridobljeno 16. 10. 2024 z naslova <https://ljubljanainfo.com/novica/lokalno/jankovic-o-taksi-za-vstop-v-ljubljano-problem-so-dnevni-vozac-sploh-pa-tisti-ki-se>
- LPP 2024; LPP 2012. Vozni park in statistični podatki. Pridobljeno 10. 12. 2024 z naslova <https://www.lpp.si/ljubljanski-potniski-promet/o-druzbi/vozni-park-statisticni-podatki>
- Finance.si, 2019. V Ljubljano se vsak dan na delo pripelje več kot 127 tisoč ljudi. Oglejte si, koliko prostora zasede 30 tisoč avtov. Pridobljeno 10. 12. 2024 z naslova <https://www.finance.si/transport-logistika/v-ljubljano-se-vsak-dan-na-delo-pripelje-vec-kot-127-tisoc-ljudi-oglejte-si-koliko-prostora-zasede-30-tisoc-avtov/a/8954218>
- European Commission, United Nations, & International Transport Forum. (2019). Glossary for transport statistics (5th ed.). Publications Office of the European Union. Pridobljeno 25. 2. 2026 z naslova https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2020/03/glossary-for-transport-statistics-2019-5th-edition_3044081f/505b670b-en.pdf
- Siol.si, 2020. Analiza navigacijskega giganta za Ljubljano: kdaj nikakor na cesto. Pridobljeno 10. 12. 2024 z naslova <https://siol.net/avtomoto/promet/analiza-navigacijskega-giganta-za-ljubljano-kdaj-nikakor-na-cesto-518317>
- Wikipedia. (n.d.). List of metro systems. In Wikipedia. Pridobljeno 10. 12. 2024 z naslova: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_metro_systems
- Tanuwidjaja, G. in Chang, B. G. (2017). Green infrastructure concept for JABODETABEKJUR metropolitan area. Pridobljeno 10. 12. 2024 z naslova: https://www.researchgate.net/figure/Above-the-Ground-MRT-line-developed-on-top-of-toll-road_fig3_319170817
- The Daily Star, 2024. Metro launches Friday operations. Pridobljeno 10. 12. 2024 z naslova: <https://www.thedailystar.net/news/bangladesh/transport/news/metro-launches-friday-operations-3707771>
- Nagpur Trends, 2023. Gadkari's Nagpur city to get five more... Pridobljeno 10. 12. 2024 z naslova: <https://www.nagpurtrends.com/articles/gadkaris-nagpur-city-to-get-five-more-flyovers-and-will-see-new-projects-worth-crores-pEz2QK>
- Hindustan Times 2022. Delhi Metro: Section of Pink line to pass above flyover... Pridobljeno 10. 12. 2024 z naslova: <https://www.hindustantimes.com/cities/delhi-news/delhi-metro-section-of-pink-line-to-pass-above-flyover-in-north-delhi-s-jagatpur-village-101663352280887.html>
- Wikipedija, 2012. Hanshin Expressway Route 3 Kobe Route. Pridobljeno 10. 12. 2024 z naslova: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hanshin_Expressway_Route_3_Kobe_Route.JPG
- Systra. (b. l.). Mumbai metro line 6. Pridobljeno 15. 5. 2026 z naslova <https://www.systra.com/india/project/mumbai-metro-line-6/>

SMO PRIPRAVLJENI NA ZELENI PREHOD?

Povzetek okrogle mize

V okviru letošnje konference o trajnostnem razvoju je potekala okrogla miza z naslovom »Ali smo pripravljene na zeleni prehod? Vloga prostora, kmetijstva, surovin in biotehnologije.« Razprava je povežala strokovnjake z različnih področij – od prostorskega načrtovanja in kmetijstva do industrije, biotehnologije in trajnostnih inovacij – ki so skozi praktične primere in strokovne poglede osvetlili ključne izzive zelenega prehoda.

Sodelujoči so poudarili, da trajnostni razvoj danes ni več zgolj okoljska tema, temveč strateško vprašanje prihodnjega razvoja družbe in gospodarstva. Ob tem so poudarili, da bo uspeh zelenega prehoda odvisen predvsem od povezovanja stroke, gospodarstva, države in lokalnih skupnosti.

Na okrogli mizi so sodelovali mag. Vesna Kolar Planinšič, dr. Marijan Pogačnik in dr. Martin Batič, razpravo pa je povezoval Boštjan Paušer.

Prostorsko načrtovanje kot temelj podnebne odpornosti
Pomemben del razprave je bil namenjen vlogi prostora pri prilaganju podnebnim spremembam. Mag. Vesna Kolar Planinšič je poudarila, da ima prostorsko načrtovanje ključno vlogo tako pri blaženju podnebnih sprememb kot tudi pri povečanju odpornosti mest in naselij.

Med ključnimi izzivi je izpostavila pravilno umeščanje infrastrukture, ohranjanje zelenih površin in zagotavljanje prostora za naravne vodne tokove ter poplavna območja. Ob tem je opozorila, da morajo mesta postajati bolj odporna na ekstremne vremenske pojave.

Posebej je izpostavila koncept »spužvastih mest«, ki temelji na zadrževanju padavinske vode z zelenimi površinami, parki in večnamenskimi odprtimi prostori. Takšni pristopi po njenem mnenju ne prispevajo zgolj k zmanjševanju posledic podnebnih sprememb, temveč tudi izboljšujejo kakovost bivanja in zdravje prebivalcev.

Razprava se je dotaknila tudi pomena prometne infrastrukture in trajnostne mobilnosti. Sodelujoči so poudarili, da bodo za doseganje podnebnih ciljev nujne nadaljnje investicije v železniško infrastrukturo, javni promet, kolesarska omrežja ter obnovljive vire energije.

Kmetijstvo med pritiski in priložnostmi

Dr. Marijan Pogačnik je opozoril, da se sodobno kmetijstvo danes sooča z velikimi okoljskimi in podnebnimi pritiski, hkrati pa ima pomembno vlogo pri zagotavljanju prehranske varnosti in ohranjanju podeželja.

Po njegovih besedah bo prihodnost kmetijstva temeljila predvsem na trajnostnih praksah, učinkoviti rabi virov in vključevanju mladih v panogo. Poudaril je pomen ekološkega kmetovanja ter dejstvo, da Slovenija na tem področju še vedno zaostaja za nekaterimi evropskimi državami.

Posebej je poudaril pomen izobraževanja in prenosa znanja v prakso. Mlajše generacije po njegovem mnenju lažje sprejemajo nove tehnologije in trajnostne pristope, zato bodo prav mladi ključni pri preobrazbi kmetijstva.

Sodelujoči so opozorili tudi na potrebo po stabilnejšem regulatornem okolju in bolj učinkovitem črpanju razvojnih sredstev. Obstoječi birokratski postopki po njihovem mnenju pogosto otežujejo uvajanje trajnostnih rešitev in inovacij v prakso.

Krožno gospodarstvo in nove tehnologije

Pomemben poudarek razprave je bil namenjen krožnemu gospodarstvu in tehnološkim inovacijam. Dr. Martin Batič je predstavil potencial napredne biotehnologije pri razvoju bolj trajnostne industrije. Poudaril je, da lahko sodobne tehnologije pomembno prispevajo k zmanjševanju emisij, učinkovitejši rabi virov in razvoju novih materialov.

Kot zanimiv primer je navedel razvoj bio cementa, ki omogoča uporabo različnih odpadnih surovin in ima potencial za zmanjšanje okoljskega odtisa gradbene industrije. Poudaril je tudi, da ima Slovenija na področju biotehnologije in farmacevtskih inovacij pomembno znanje ter številna perspektivna podjetja in raziskovalne platforme.



Sodelujoči so se strinjali, da tehnološke inovacije same po sebi niso dovolj. Ključno bo njihovo hitro uvajanje v prakso ter povezovanje raziskovalnega okolja z gospodarstvom.

Trajnostni razvoj zahteva sodelovanje

V zaključnem delu razprave so sodelujoči poudarili, da trajnostni razvoj zahteva celovit pristop in dolgoročno vizijo. Med ključnimi ukrepi za naslednje desetletje so izpostavili razvoj trajnostne mobilnosti, večjo energetske neodvisnosti, uporabo obnovljivih virov energije, krepitev krožnega gospodarstva ter spodbujanje inovacij.

Poseben poudarek so namenili tudi povezovanju različnih sektorjev. Po njihovem mnenju bo uspešen zeleni prehod mogoč le ob tesnem sodelovanju države, gospodarstva, raziskovalnih institucij in lokalnih skupnosti.

Okrogla miza je pokazala, da Slovenija na številnih področjih že razvija dobre prakse in inovativne rešitve, vendar bodo za hitrejši napredek potrebni jasni cilji, stabilno zakonodajno okolje ter učinkovitejši prenos znanja in tehnologij v prakso.

Trajnostna revolucija tako ni več vprašanje prihodnosti, temveč sedanjosti – vprašanje pa ostaja, kako hitro bomo znali znanje, inovacije in sodelovanje pretvoriti v konkretne spremembe.





VISOKA ŠOLA ZA TRAJNOSTNI RAZVOJ



VISOKA ŠOLA
ZA TRAJNOSTNI RAZVOJ

Pridobi uporabna
znanja in si
odpri vrata v svet.



več o programu



B&B IZOBRAŽEVALNI CENTER

Iščete partnerja za projekte, raziskave ali razvoj kadrov?

POVEŽIMO SE ZA SKUPEN USPEH:

Skupni projekti: Sodelovanje pri (EU ali SLO) razpisih.

Raziskave in diplomske naloge: uporabne rešitve za vaše poslovanje.

Konference in dogodki: predstavitev in objava strokovnih/znanstvenih člankov, strokovna revija Trajnost.

Karierni center: zaposlitvene priložnosti, Alumni klub.

Sporazumi s podjetji: prakse, ekskurzije, zaposlovanje.

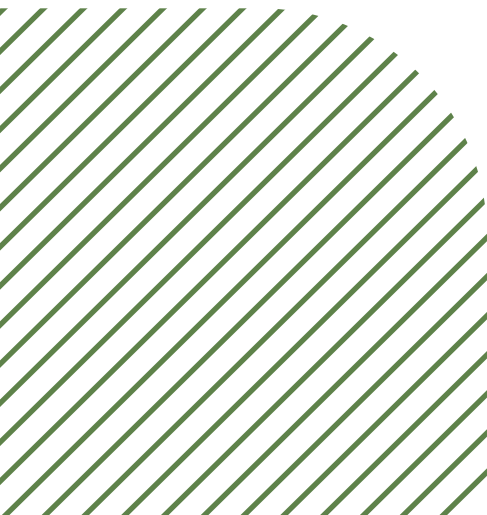
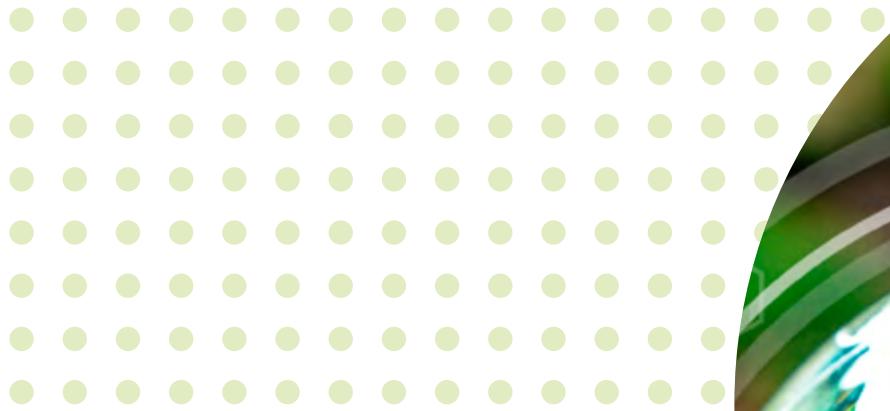
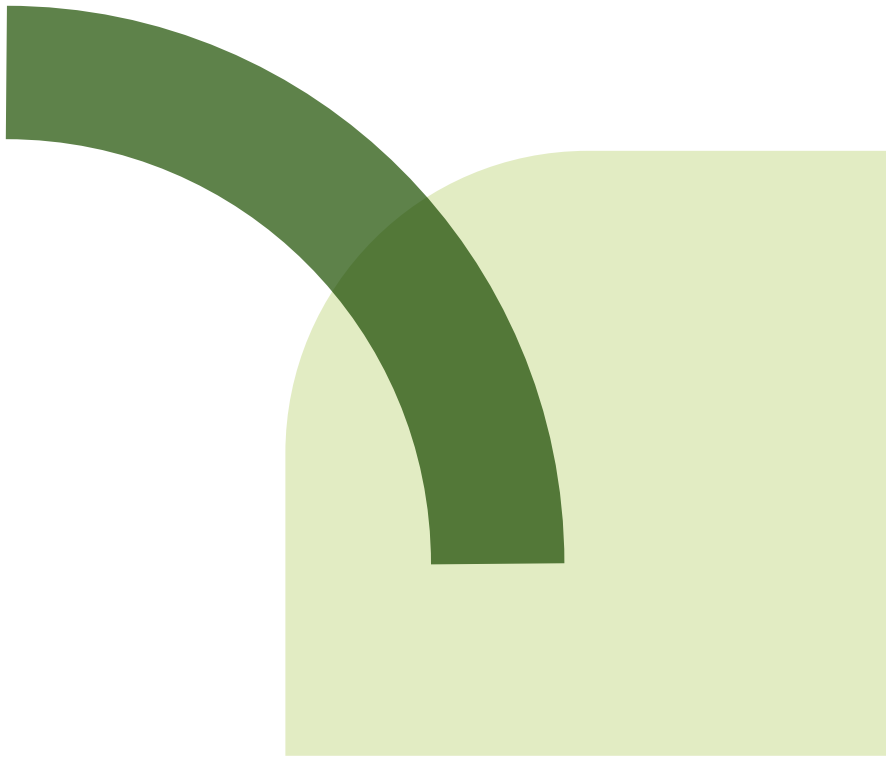
PODROČJA:

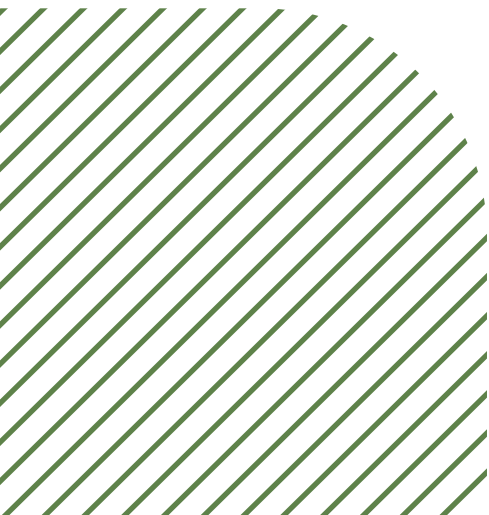
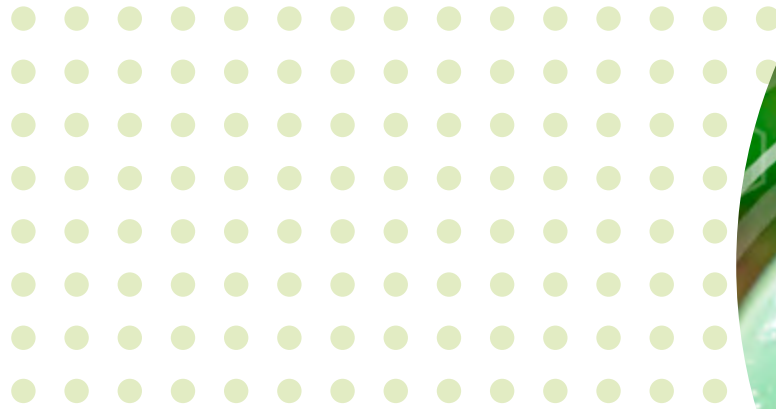
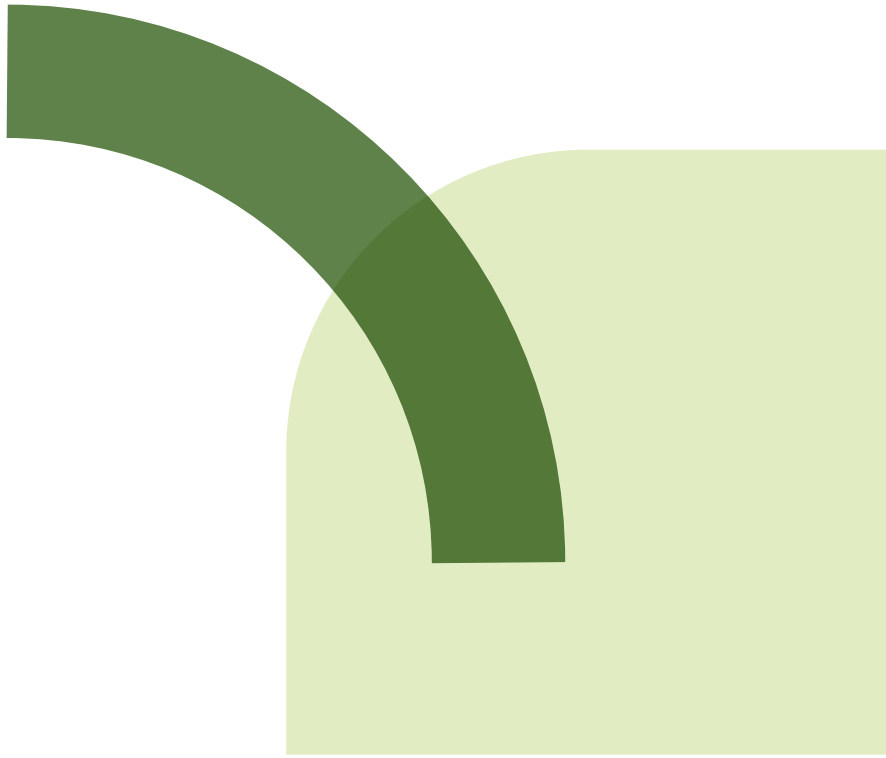
- ELEKTROENERGETIKA
- STROJNIŠTVO
- LOGISTIKA
- EKONOMIJA
- TRAJNOSTNO UPRAVLJANJE OKOLJA

poskeniraj
me



Klikni na bb.si





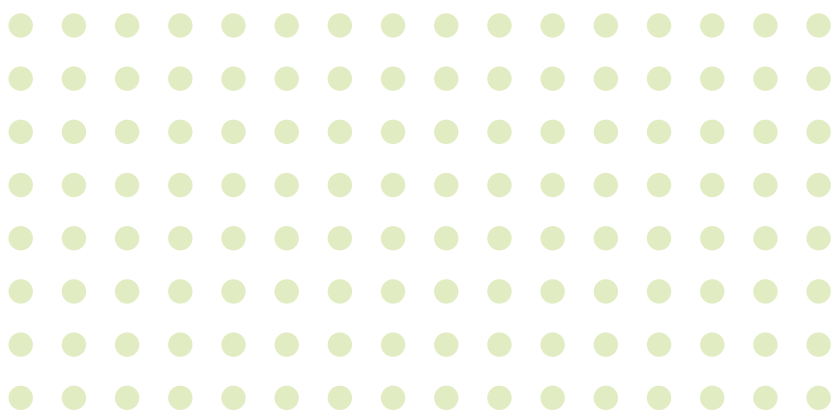


Strokovna revija

trajnost

Letnik II, 2026

IZZIVI IN PRILOŽNOSTI



VISOKA ŠOLA
ZA TRAJNOSTNI RAZVOJ



ZNANSTVENA MONOGRAFIJA

Trajnostni razvoj prostora na alpskem območju:

- trajnostna mobilnost
- trajnostni turizem
- upravljanje prostora
- prevozna revščina
- prihodnost alpskih regij

Raziščite
znanstveno
e-monografijo:





B&B IZOBRAŽEVALNI CENTER

Iščete partnerja za projekte, raziskave ali razvoj kadrov?

POVEŽIMO SE ZA SKUPEN USPEH:

Skupni projekti: Sodelovanje pri (EU ali SLO) razpisih.

Raziskave in diplomske naloge: uporabne rešitve za vaše poslovanje.

Konference in dogodki: predstavitev in objava strokovnih/znanstvenih člankov, strokovna revija Trajnost.

Karierni center: zaposlitvene priložnosti, Alumni klub.

Sporazumi s podjetji: prakse, ekskurzije, zaposlovanje.

PODROČJA:

- ELEKTROENERGETIKA
- STROJNIŠTVO
- LOGISTIKA
- EKONOMIJA
- TRAJNOSTNO UPRAVLJANJE OKOLJA

poskeniraj
me



Klikni na bb.si

