

junij 2025
letnik 74

Gradbeni vestnik

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE IN
MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKA ZBORNICE SLOVENIJE



68

**PARAMETRIČNA ANALIZA ODZIVA
VEČNADSTROPNIH LESENIH
STAVB NA VETRNO OBTEŽBO**

78

**PONAZORITEV METODOLOŠKE
KOMPLEKSNOŠTI UVAJANJA
LCA V NAČRTOVALSKO PRAKSO
NA PRIMERU SMERNIC ZA
NIZKOOGLJIČNE STAVBE
SLOVENSКИH STANOVANJSКИH
SKLADOV**

96

**MONITORING IN ANALIZA
TRANSPORTA LEBDEČIH PLAVIN
V REKI DRAVI**

106

**POSLOVANJE SLOVENSKEGA
GRADBENIŠTVA V ZADNJEM
DESETLETJU**

Gradbeni vestnik

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS),
Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana,
telefon 01 52 40 200
v sodelovanju z **Matično sekcijo**
gradbenih inženirjev Inženirske
zbornice Slovenije (IZS MSG),
ob podpori **Javne agencije za**
znanstvenoraziskovalno in inovacijsko
dejavnost RS, Fakultete za gradbeništvo in
geodezijo Univerze v Ljubljani, Fakultete
za gradbeništvo, prometno inženirstvo in
arhitekturo Univerze v Mariboru in Zavoda
za gradbeništvo Slovenije

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **prof. dr. Matjaž Mikoš, predsednik**
izr. prof. dr. Andrej Kryžanowski
dr. Miha Jukić
IZS MSG: **dr. Rok Cajzek**
mag. Jernej Nučič
Tina Bučić
UL FGG: **izr. prof. dr. Matija Gams**
UM FGPA: **prof. dr. Miroslav Premrov**
ZAG: **doc. dr. Aleš Žnidarič**

Uredniški odbor: **izr. prof. dr. Primož Može,**
glavni in odgovorni urednik
prof. dr. Uroš Klanšek
dr. Maja Kreslin

Lektor: **Jan Grabnar**

Lektorica angleških povzetkov:
Romana Hudin

Tajnica: **Eva Okorn**

Oblikovalska zasnova: **Agencija GIG**

Tehnično urejanje, prelom in tisk:
Kočevski tisk

Naklada: 400 tiskanih izvodov
3000 naročnikov elektronske verzije

Podatki o objavah v reviji so navedeni
v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA
(The Int. Construction Database) ter na
www.zveza-dgits.si

Letno izide 12 števil. Letna naročnina
za individualne naročnike znaša 25,50 EUR;
za študente in upokojene 10,50 EUR;
za družbe, ustanove in samostojne podjetnike
188,50 EUR za en izvod revije; za
naročnike iz tujine 88,00 EUR.

V ceni je všteti DDV.
Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
SI56 0201 7001 5398 955

Slika na naslovnici:

Stavba z jeklenimi okvirji
z disipacijo potresne energije s trenjem
spojih (levo zgoraj), Salerno, Italija
Foto: Primož Može

Glasilo Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije in
Matične sekcije gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije.
UDK-UDC 05 : 625; tiskana izdaja ISSN 0017-2774;
spletna izdaja ISSN 2536-4332.
Ljubljana, junij 2025, letnik 74, str. 65-120

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Članki (razen angleških povzetkov) in prispevki morajo biti napisani v slovenščini.
4. Besedilo mora biti zapisano z znaki velikosti 12 točk in z dvojnimi presledkom med vrsticami.
5. Prispevki morajo vsebovati naslov, imena in priimke avtorjev z nazivi in naslovi ter besedilo.
6. Članki morajo obvezno vsebovati: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); znanstveni naziv, imena in priimke avtorjev, strokovni naziv, navadni in elektronski naslov; oznako, ali je članek strokoven ali znanstven; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; ključne besede v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; ključne besede (key words) v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ... naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so ti označeni še z A, B, C itn.
7. Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavja se oštevilčijo brez končnih pik. Denimo: 1 UVOD; 2 GRADNJA AVTOCESTNEGA ODSEKA; 2.1 Avtocestni odsek ... 3 ...; 3.1 ... itd.
8. Slike (risbe in fotografije s primerno ločljivostjo) in preglednice morajo biti razporejene in omenjene po vrstnem redu v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Kot decimalno ločilo je treba uporabljati vejico.
11. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki oglatih oklepajev: [priimek prvega avtorja ali kratica ustanove, leto objave]. V istem letu objavljena dela istega avtorja ali ustanove morajo biti označena še z oznakami a, b, c itn.
12. V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela razvrščena po abecednem redu priimkov prvih avtorjev ali kraticah ustanov in opisana z naslednjimi podatki: priimek ali kratica ustanove, začetnica imena prvega avtorja ali naziv ustanove, priimki in začetnice imen drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
13. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
14. Prispevke je treba poslati v elektronski obliki v formatu MS WORD glavnemu in odgovornemu uredniku na e-naslov: primoz.moze@fgg.uni-lj.si. V sporočilu mora avtor napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren.

Uredništvo

doc. dr. Janez Reflak (1937–2025) **67**

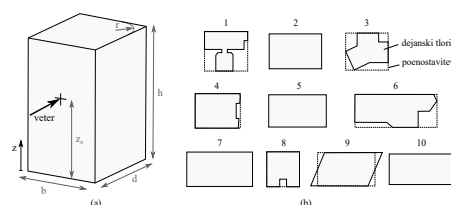


asist. dr. Blaž Kurent, mag. inž. str.
prof. dr. Boštjan Brank, univ. dipl. inž. grad.

PARAMETRIČNA ANALIZA ODZIVA VEČNADSTROPNIH LESENIH STAVB NA VETRNO OBTEŽBO

**PARAMETRIC ANALYSIS OF THE RESPONSE
OF MULTI-STOREY TIMBER BUILDINGS
TO WIND LOADING**

68



asist. dr. David Božiček, mag. inž. stavb.
doc. dr. Jaka Potočnik, mag. inž. arh.
doc. dr. Luka Pajek, mag. inž. stavb.
izr. prof. dr. Mitja Košir, univ. dipl. inž. arh.

PONAZORITEV METODOLOŠKE KOMPLEKSNO STI UVAJANJA LCA V NAČRTOVALSKO PRAKSO NA PRIMERU SMERNIC ZA NIZKOOGLJIČNE STAVBE SLOVENSКИH STANOVANJSКИH SKLADOV ILLUSTRATION OF THE METHODOLOGICAL COMPLEXITY OF IMPLEMENTING LCA IN BUILDING DESIGN: GUIDELINES FOR LOW-CARBON BUILDINGS OF SLOVENIAN HOUSING FUNDS

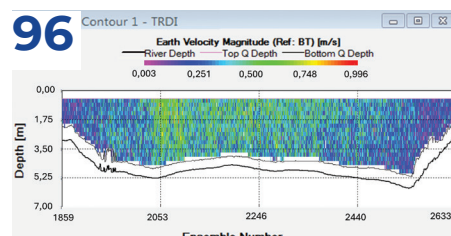
78

DEL A	INFORMATIVNI DEL	• Predstavitev metode LCA. • Značilnosti okoljskih deklaracij gradbenih proizvodov. • Opis predpostavk pri izračunih v smernicah.	
DEL B	METODOLOŠKI DEL	• Postopek izračuna ogljičnega odnosa stavb (IZ in PD). • Viri podatkov in računalniški postopek. • Prikaz in analiza rezultatov.	
DEL C	KONTEKSTUALNI DEL	• Kontekstualizacija rezultatov v okviru ogljičnega odnosa stanovanjskih stavb. • Priporočila za zmanjšanje ogljičnega odnosa.	

izr. prof. dr. Janja Kramer Stajniko, univ. dipl. inž. grad.
Matjaž Nekrep Perc, univ. dipl. inž. grad.

MONITORING IN ANALIZA TRANSPORTA LEBDEČIH PLAVIN V REKI DRAVI MONITORING AND ANALYSIS OF SUSPENDED SEDIMENT TRANSPORT IN THE DRAVA RIVER

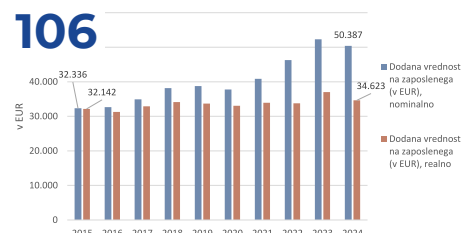
96



VSEBINA CONTENTS

ČLANKI PAPERS

Bojan Ivanc, CFA, CAIA
**POSLOVANJE SLOVENSKEGA
GRADBENIŠTVA V ZADNJEM DESETLETJU**
**BUSINESS PERFORMANCE OF SLOVENIAN
CONSTRUCTION SECTOR IN THE LAST DECADE**



FOTOREPORTAŽA Z GRADBIŠČA

Marko Stermecki, Zala Novak, Rok Debevec
KOPALIŠČE ILIRIJA



OBVESTILA ZDGITS

**ZADNJI PRIPRAVLJALNI SEMINAR
IN IZPITNI ROK ZA STROKOVNE
IZPITE ZA GRADBENO STROKO
V LETU 2025**

120

NOVI DIPLOMANTI

Eva Okorn

KOLEDAR PRIREDITEV

Eva Okorn

V spomin na doc. dr. Janeza Reflaka, univ. dipl. inž. grad. (1937–2025)



Nenadoma nas je 22. maja 2025 zapustil doc. dr. Janez Reflak, ustanovitelj in dolgoletni predstojnik Inštituta za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani ter dolgoletni predsednik Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije.

Rodil se je marca 1937 v Orlici v občini Ribnica na Pohorju. Potem ko je leta 1957 maturiral na klasični gimnaziji v Mariboru in odslužil vojaški rok, se je leta 1958 vpisal na študij gradbeništva na Fakulteti za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo (FAGG) Univerze v Ljubljani, kjer je diplomiral leta 1963. Na isti fakulteti je leta 1974 pridobil znanstveni naziv magistra gradbeništva in doktoriral leta 1990.

Že v času študija je bil demonstrator pri vajah matematike, po končanem študiju pa se je zaposlil na FAGG, na Katedri za jeklene konstrukcije, najprej kot raziskovalec, potem je bil izvoljen za asistenta pri predmetih Jeklene konstrukcije in Elastostatika, še naprej pa je sodeloval tudi pri vajah iz Matematike za gradbenike in arhitekte. Leta 1980 je bil izvoljen v naziv višjega predavatelja, leta 1991 pa v naziv docenta za področje Mehanka konstrukcij.

Vsa leta na fakulteti je poleg obsežnega pedagoškega dela opravljal tudi številne funkcije zlasti v upravnih odborih. Od leta 1995 do 2001 je bil prodekan za gospodarske zadeve. Deloval je tudi kot predstavnik fakultete na univerzi in drugih takratnih ustanovah.

Najpomembnejše delo na FAGG pa je opravil kot pobudnik ustanovitve Računskega centra (RC) leta 1971. Iz RC je leta 1980 nastal Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo (IKPIR), ki ga je z nekaj leti prekinitve vodil vse do svoje upokojitve leta 2001. V času njegovega predstojništva je to bila najmočnejša enota na FAGG in kasneje na FGG, kjer je bilo zaposlenih tudi do 30 sodelavcev, pedagogov, raziskovalcev, strokovnih delavcev, podiplomcev in doktorandov. Zahvaljujoč

Janezu Reflaku, je bil IKPIR zelo homogen in uspešen kolektiv, v katerem smo vsi z veseljem delali in stkali prijateljske vezi. Odločilno je vplival tudi na to, da je bil Inštitut tesno povezan s prakso, v obliki različnih svetovanj, študij in tudi konkretnih projektov po celi državi. Pri tem se je uporabljala za tiste čase revolucionarna programska oprema, ki so jo s svojim pionirskim delom razvili sodelavci inštituta.

Med letoma 1985 in 1988 je bil direktor Inštituta za metalne konstrukcije (IMK), kjer je uspešno in z veliko energije vplival na to, da se je izboljšala izobrazbena struktura zaposlenih in posodobila preizkuševalna in laboratorijska oprema.

Bil je zelo pomemben in viden član Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), v katero se je včlanil takoj po zaključku študija. Bil je član Upravnega odbora zveze, njen predsednik in kasneje podpredsednik, ter vodja pripravljanih seminarjev. Bil je tudi med ustanovnimi člani Inženirske zbornice Slovenije (IZS). Tam je bil dolga leta predsednik celotne Komisije za strokovne izpite vseh strok ter predsednik Komisije za strokovne izpite za področje gradbeništva. V okviru IZS je aktivno sodeloval tudi pri pripravi in spremembah gradbene zakonodaje.

Janez Reflak je številne naloge opravljal z veliko zavzetostjo, za kar so se mu društvene in poklicne organizacije oddolžile z najvišjimi priznanji, širša družba pa z državnimi odlikovanji.

Poleg zelo obširnega profesionalnega udejstvovanja je vedno našel čas tudi za prostočasne aktivnosti in je tudi v okviru IKPIR podpiral različne športne aktivnosti. Bil je priznan športni funkcionar, in sicer dolgoletni predsednik Namiznoteniškega kluba Olimpija, predsednik Namiznoteniške zveze Slovenije in predsednik Namiznoteniške zveze Jugoslavije.

Slovo od njega sklenimo z njegovim sporočilom, ki ga je namenil gradbenikom ob svoji 80-letnici: »Slovenskim gradbenikom svetujem, da se vsi bolj aktivno vključijo v delo ZDGITS in IZS. Ta aktivnost je nujno potrebna ob vsaki spremembi gradbene zakonodaje. Ne smemo namreč dopustiti, da o čistih strokovnih zadevah odločajo uradniki na ministrstvu, med njimi pravniki in drugi, ki v življenju niso narisali ene črte projekta ali prestopili ograje gradbišča. Zato apeliram na vse gradbenike, predvsem pa še na mlajše generacije: sedaj prihaja vaš čas in zato bodite aktivni v strokovnih združenjih in v IZS ter permanentno skrbite za svoje dodatno vseživljenjsko izobraževanje! Le tako boste prispevali h gradbeni stroki in k slovenski družbi to, kar se od vas glede na vašo izobrazbo in odgovornost tudi pričakuje.«

Sodelavci v IKPIR ga bomo zelo pogrešali. Najlepše se mu zahvaljujemo za vse, kar je naredil za nas in naš inštitut.

Sodelavci Inštituta za konstrukcije,
potresno inženirstvo in računalništvo

asist. dr. Blaž Kurent, mag. inž. str.
blaz.kurent@fgg.uni-lj.si



prof. dr. Boštjan Brank, univ. dipl. inž. grad.
bostjan.branc@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana



Znanstveni članek
UDK 69.032.2+624.011.1:531.1

PARAMETRIČNA ANALIZA ODZIVA VEČNADSTROPNIH LESENIH STAVB NA VETRNO OBTEŽBO

PARAMETRIC ANALYSIS OF THE RESPONSE OF MULTI-STOREY TIMBER BUILDINGS TO WIND LOADING

Povzetek

Večnadstropne lesene stavbe so zaradi svoje lahкости občutljive na nihanje zaradi vetra, kar lahko povzroča neugodje pri uporabi. Zato je merilo ugodja stanovalcev pogosto eden ključnih kriterijev pri projektiranju večnadstropnih lesenih stavb. V članku izračunamo pričakovane pospeške nihanja zaradi vetra za deset lesenih in hibridnih lesenih stavb z višinami med 22 m in 74 m, za katere so bili pridobljeni podatki o dimenzijah, masi ter dinamičnih lastnostih. Pospeški so bili izračunani po SIST EN 1991-1-4:2005 ter ovrednoteni po ISO 10137. Parametrična analiza je pokazala, da lokacija stavbe najbolj vpliva na njen odziv, izmed dejavnikov oblike stavbe ima največji vpliv zaobljenost oziroma prirezanost robov. Ugotovljeno je bilo tudi, da je za doseganje merila ugodja pri nižjih stavbah primerneje povečati togost, pri višjih pa dodati maso. V analizo je bila vključena tudi trenutno najvišja lesena stavba na svetu, analiza pa je pokazala potencial gradnje še višjih lesenih stavb v prihodnosti.

Ključne besede: lesene stavbe, vetrna obtežba, nihanje stavbe, mejno stanje uporabnosti, parametrična analiza

Summary

Due to their light-weight nature, multi-storey timber buildings are susceptible to wind-induced vibration, which can cause discomfort to the occupants. Therefore, vibration serviceability is often one of the key criteria in the design of multi-storey timber buildings. In this article, we calculate the expected accelerations of wind-induced vibration for 10 timber and hybrid timber buildings with heights between 22 m and 74 m, for which we have obtained data on dimensions, mass and modal properties. The accelerations were calculated according to SIST EN 1991-1-4:2005 and evaluated according to ISO 10137. The parametric analysis showed that the location of the building has the greatest influence on the expected wind-induced accelerations. Among the parameters of the building shape, the radius of the rounded edges proved to have the greatest impact. It was also found that increasing the stiffness of the building contributes better to improving the comfort criterion for lower buildings, while adding mass is better for taller buildings. The analysis also included the current tallest timber building in the world and showed the potential for even taller timber buildings in the future.

Key words: timber buildings, wind loading, building oscillations, serviceability limit state, parametric analysis

1 UVOD

Pri projektiranju večnadstropnih stavb je konstrukcija pogosto dimenzionirana na podlagi kriterijev mejnega stanja uporabnosti [Orr, 2019]. Razumevanje, kako učinkovito izpolniti merila uporabnosti, povečuje udobje uporabnikov ter prispeva k manjši porabi materiala in stroškovno učinkovitejšim projektnim odločitvam. Pri obravnavi uporabnosti je vključenih več vidikov, kot so navpične deformacije, horizontalni etažni pomiki, vibracije etažnih plošč in nihanje celotne stavbe [ASCE/SEI 7-22, 2022]. Slednje lahko poškodujejo nekonstrukcijske elemente in povzročijo nelagodje pri stanovalcih. Pri lesenih stavbah je pogosta težava nihanje, ki ga povzroča veter [Johansson, 2015, 2016; Malo, 2016].

Merila udobja za ocenjevanje uporabnosti temeljijo na človeškem zaznavanju nihanja [Lamb, 2017], ki pa se med posamezniki znatno razlikuje. Nivo nihanja je lahko karakteriziran z različnimi lastnostmi gibanja (kot so premik, hitrost, pospešek ter višji odvodi premika) [Johann, 2015], vendar pa se za merilo udobja običajno uporabljajo pospeški. Pri tem sta na voljo dva ISO-standarda za ocenjevanje sprejemljivosti nihanja – ISO 10137 [ISO 10137, 2007] in ISO 6897 [ISO 6897, 1984]. Oba podajata frekvenčno odvisno mejno krivuljo sprejemljivega nihanja. Primeri izračunov merila udobja so prikazani za stavbe iz križno lepljenega lesa (CLT) in lepljenega lesa (GLT) v skladu s švedskimi [Edskär, 2019] in britanskimi predpisi [Zhao, 2021].

Za izračun pospeškov zaradi vetra po SIST EN 1991-1-4:2005 (v nadaljevanju EC1) [Slovenski standard, 2005a] je potrebna določitev lastnih frekvenc stavbe. EC1 za stavbe, višje od 50 m, predlaga poenostavljeno empirično enačbo za izračun osnovne lastne frekvence (v hercih)

$$f = \frac{46}{h}, \quad (1)$$

kjer je h višina stavbe (v metrih). Čeprav so poenostavljene metode zaželeni zaradi časovne učinkovitosti, je zanesljivost enačbe (1) za lesene stavbe vprašljiva. Osnovana je bila na podlagi študije [Ellis, 1980], ki je uporabila podatke meritev 163 stavb in ni vključevala modernih visokih lesenih stavb. Nedavna študija [Reynolds, 2016] je učinkovitost enačbe preverila na enajstih lesenih in hibridnih lesenih stavbah ter ugotovila, da enačba (1) pri teh stavbah podcenjuje vrednost prve lastne frekvence. Kot omenjeno, se priporočilo EC1 pri uporabi enačbe (1) omejuje na stavbe, višje od 50 m, čeprav je nihanje zaradi vetra lahko težavno že pri precej nižjih stavbah [Bezabeh, 2020]. Slednje ugotavlja tudi analiza, predstavljena v tem članku. Po drugi strani SIST EN 1998-1:2005 [Slovenski standard, 2005b] sicer ponuja empirično enačbo za izračun prve lastne frekvence stavb, nižjih od 40 m, vendar pa je namenjena za uporabo v potresni analizi. Za natančnejši izračun dinamičnih lastnosti je nujno modeliranje s končnimi elementi (KE), kjer se v primeru križno lepljenih plošč (CLT) uporabljajo ploskovni elementi ter v primeru lepljenih nosilcev (GLT) linijski elementi.

Modelu KE je treba podati materialne lastnosti, ki so za lesene konstrukcije še posebno negotove, saj je variabilnost med posameznimi (nazivno enakimi) elementi velika. To gre pripisati predvsem nehomogeni strukturi, ki jo sestavljajo celuloza, hemiceluloza in lignin, ki se med seboj močno razlikujejo po togosti in gostoti. Glede na njihovo vsebnost v lesu se materialne lastnosti razlikujejo. Na primer, gostota navadne smreke

z 12-odstotno vsebnostjo vlage se lahko giblje med 350 in 600 kg/m³, modul elastičnosti vzdolž vlaken pa med 13,5 in 16,7 GPa [Persson, 2000]. V primeru konstrukcijskih lesenih elementov (kot so CLT in GLT) se kompleksnost zaradi lepljenih povezav med deskami še poveča. Na primer, ravninski strižni modul CLT-plošč se na podlagi evropskih tehničnih ocen (ETA) različnih proizvajalcev giblje med 250 MPa in 500 MPa, čeprav je vedno uporabljen les navadne smreke kakovosti C24. Brandner in sodelavci [Brandner, 2016] za take CLT-plošče priporočajo ravninski strižni modul v višini 450 MPa, če ozki robovi lamel niso lepljeni, oziroma 650 MPa, kadar so. Na negotovost materialnih lastnosti nadalje vpliva še vsebnost vlage, ki v splošnem zmanjšuje trdnost in togost lesa [Akter, 2023; Brandner, 2018]. Nasprotno pa vsebnost vlage vpliva na togost CLT-plošč. Sušenje plošč namreč povzroči razpoke v lamelah, zaradi česar se togost zmanjša. Pri ponovnem navlaženju les nabrekne, togost pa se poveča.

Les se zaradi svoje vlaknaste strukture v inženirskih aplikacijah pogosto obravnava kot prečno izotropen material, pri čemer je togost vzdolž vlaken bistveno večja (pri navadni smreki 20- do 30-krat večja) od togosti pravokotno na vlakna [Persson, 2000]. Razlika med togostjo lesa vzdolž vlaken ter pravokotno na njih postane pomembna pri konstrukcijah, kjer se navpične obremenitve prenašajo preko etažnih plošč iz CLT (angleško se ta tip konstrukcije imenuje »platform frame«). Zaradi manjše trdnosti se pri velikih navpičnih tlačnih obremenitvah pojavijo neelastične deformacije etažne plošče iz CLT pravokotno na vlakna [D'Arenzo, 2021]. To lahko povzroči dovolj velike deformacije, da se poškodujejo nekonstrukcijski elementi, kot so zunanje in notranje obloge.

Poleg materialnih lastnosti lesa je treba določiti še togost povezav med lesenimi elementi. Pri potresu imajo te povezave velik vpliv na dinamično obnašanje stavbe, saj sipajo energijo. Za razumevanje obnašanja jeklenih povezav pri ekstremnih dinamičnih obremenitvah so bili izvedeni mnogi statični in ciklični testi [D'Arenzo, Casagrande, 2019; D'Arenzo, Rinaldin, 2019; Gavric, 2015c, 2015a, 2015b]. Ko pa gre za dinamično obremenjevanje lesene konstrukcije z majhnimi amplitudami, pa je vpliv povezav manj raziskan. V primeru lesene CLT-konstrukcije z navpično obremenitvijo je jasno, da se zibanje CLT-stene pojavi, šele ko prečna sila prekorači določeno mejno silo [Casagrande, 2021]. Togost je tako odvisna od amplitude dinamičnega vzbujanja, kar je bilo opaženo tudi v primeru lesene stavbe, kjer je dolgotrajno spremljanje dinamičnega obnašanja zabeležilo potres [Cisterna, 2024]. Lastna frekvenca je bila pri vzbujanju potresa za 15 % nižja kot pri vetrni obtežbi. Z uporabo meritev dinamičnega vzbujanja manjših amplitud so bili kalibrirani modeli KE treh stavb [Kurent, Friedman, & Brank, 2024], na podlagi česar je bilo osnovanih nekaj priporočil, vendar pa splošno uveljavljenih smernic za modeliranje togosti jeklenih povezav v primeru vetrne obtežbe še ni.

2 METODOLOGIJA

Analiziranih je bilo deset lesenih in hibridnih lesenih stavb, za katere so v literaturi na voljo podatki, potrebni za izračun merila ugodja na podlagi standarda ISO 10137 ter za izračun odziva na vetrno obtežbo po EC1 [Slovenski standard, 2005a]. Podatki o dimenzijah in masah stavb, izmerjene prve lastne frekvence ter razmerja dušenja so zbrani v Preglednici 1. Dve

izmed analiziranih stavb poleg lesa v nosilni konstrukciji vsebujeta še druge konstrukcijske materiale. Nosilno konstrukcijo stavbe 6 sestavljajo leseni stebri in nosilci, armiranobetonsko jedro ter armiranobetonske etažne plošče, prva etaža pa je v celoti armiranobetonska. Stavba 9 vsebuje jeklene stebre, lesene nosilce in etažne plošče ter armiranobetonsko jedro. Prve tri etaže so v celoti armiranobetonske. Preostale analizirane stavbe imajo nosilno konstrukcijo izključno iz lesa. Za primerjavo med stavbami je v Preglednici 1 podana tudi prostorninska masa m_v , pri čemer je celotna masa stavbe normirana na njeno prostornino, izračunano kot produkt med bruto tlorisno površino tipične etaže in višino stavbe. Hibridni leseni stavbi (6 in 9) imata najvišjo prostorninsko maso. Poleg tega izstopata stavbi 3 in 5, kjer je uporabljen betonski estrih debeline med 8 in 10 cm. Stavba 10 pa vključuje dodano maso v zgornjih etažah v obliki betonskih etažnih plošč prav za zmanjševanje odziva stavbe na vetrno obtežbo. Pri preostalih lesenih stavbah se prostorninska masa giblje med 90 in 140 kg/m³.

Standard ISO 10137 za določitev sprejemljivosti nihanja uporablja maksimalne pospeške zaradi vetra s povratno dobo enega leta. Pri tem loči med dvema mejnima krivuljama – eno za stanovanjske in drugo za poslovne prostore. Grafa sta prikazana na Sliki 1, sprejemljivi pospeški so pod ustrezno krivuljo.

Izračun največjih karakterističnih pospeškov nihanja v smeri vetra a_{max} se izvede na podlagi EC1 (dodatek B) kot

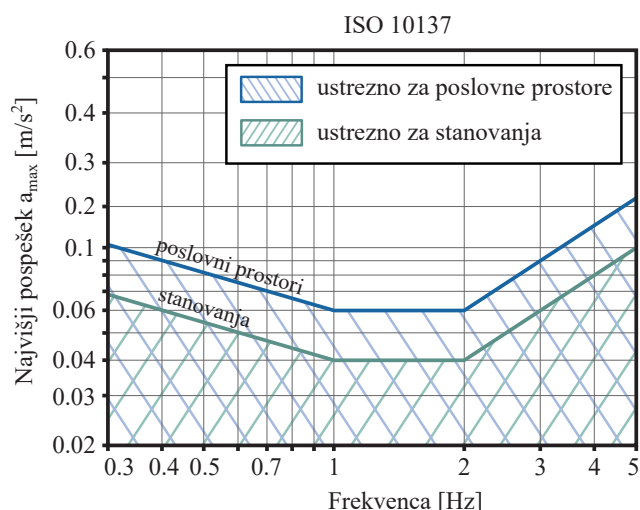
$$a_{max} = k_p \sigma_a, \quad (2)$$

kjer k_p predstavlja faktor največjih pospeškov (odvisen je od karakteristik stavbe in najpogosteje zavzema vrednost med 3 in 4), σ_a pa standardno deviacijo pospeškov, ki se po EC1 izračuna kot

$$\sigma_a(z) = \frac{c_f \rho b I_p(z_s) v_m^2(z_s)}{m_e} R K_x \phi(z), \quad (3)$$

Stavba	Št. etaž	$h \times b \times d$ [m]	f [Hz]	ζ [%]	m [t]	m_v [kg/m ³]	Ref.
1	7	22×31×28	2,85	1,56	1270	105	[Kurent, Brank, 2023]
2	8	27×23×15	1,88	1,60	1000	107	[Kurent, Friedman, Aloisio, 2024]
3	9	28×27×22	1,98	1,51	1153	98	[Tulebekova, 2023]
4	8	28×21×16	1,88	1,89	900	96	[Janot, 2025]
5	10	30×26×14	2,15	1,47	2400	220	[Tulebekova, 2023]
6	12	36×46×16	1,39	1,69	7385	274	[Manthey, 2021]
7	13	39×26×14	1,30	1,31	2639	186	[Tulebekova, 2023]
8	14	51×23×21	0,98	1,73	3325	135	[Olsen, 2016]
9	16	56×30×17	0,95	1,62	6976	252	[Flamand, 2023]
10	18	74×36×15	0,49	1,30	7106	174	[Tulebekova, 2022]

Preglednica 1. Podatki o desetih analiziranih stavbah, kjer so višina h , širina b in globina d podane v skladu z definicijo poglavja 2.1. Dinamične lastnosti stavbe vključujejo izmerjene prve lastne frekvence stavbe f in razmerja dušenja ζ . Za celotno maso stavbe m je predpostavljeno, da je enakomerno porazdeljena, na podlagi česar je izračunana prostorninska masa m_v .



Slika 1. Merilo ugodja po ISO 10137 za stanovanjske in poslovne prostore.

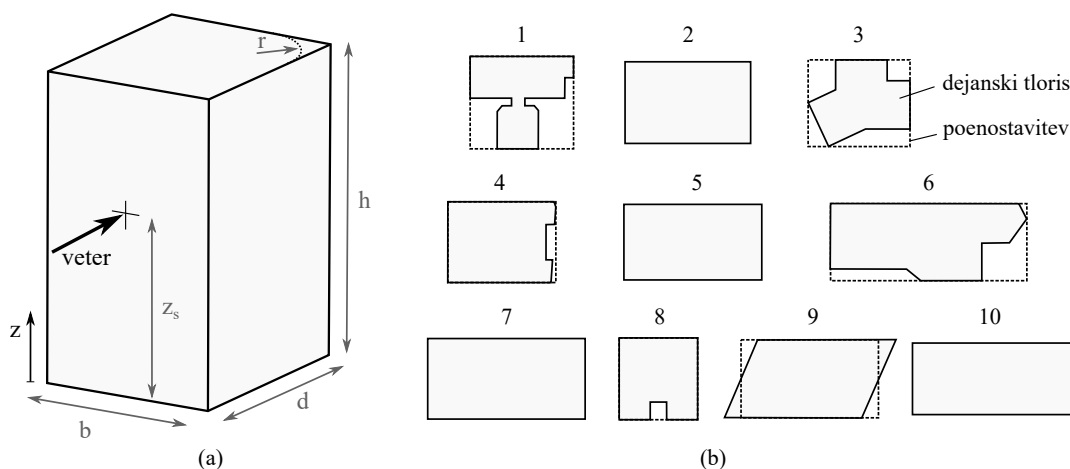
pri čemer so ρ gostota zraka, b širina stavbe (kot definirana v poglavju 2.1) ter m_e ekvivalentna masa (kot definirana v poglavju 2.3). Na koeficient sile c_f vpliva oblika stavbe (kot so dimenzije in zaobljenost robov stavbe). Okoliški teren vpliva na intenzivnost turbulence $I_p(z)$ ter na srednjo hitrost vetra $v_m(z)$. Slednja je na podlagi vplivov terena transformirana temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra $v_{b,0}$, ki je definirana s strani nacionalnega dodatka EC1 [Slovenski standard, 2008]. Za Slovenijo se $v_{b,0}$ določi v treh conah (cona 1: večina Slovenije, cona 2: Trnovski gozd, Notranjska, Karavanke in cona 3: Primorje, Kras in del Vipavske doline) glede na nadmorsko višino. Dinamične lastnosti stavbe so upoštevane v resonančnem odzivu R , brezdimenzijskem koeficientu K_x ter lastnem vektorju $\phi(z)$. Koordinata z je definirana po višini stavbe, kot prikazuje Slika 2a. Referenčna višina z_s pa je za stavbe definirana kot $z_s=0,6 h$.

Parametre, ki jih je treba določiti za izračun maksimalnih pospeškov, lahko ločimo na parametre okolice ter parametre stavbe. Med parametri okolice sta pomembni temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra $v_{b,0}$ ter prisotnost visokih ovir v

okolici stavbe, ki se upoštevajo z izbiro kategorije terena (od 0 do 4 glede na višino stavb v okolici). Hribovitost terena je prav tako pomemben dejavnik, ki vpliva na $v_m(z)$, vendar pa je zaradi osredotočenosti tega članka na dimenzioniranje lesenih stavb v nadaljnji analizi privzet raven teren. Parametri stavbe, ki vključujejo dimenzije stavbe, dinamične lastnosti ter maso, so natančneje opisani v poglavjih od 2.1 do 2.3.

2.1 Dimenzije

Pri stavbah prizmatične oblike, še posebej takšnih s tlorisom pravokotne oblike, je določitev dimenzij za izračun po EC1 preprosta. Tlorisi stavb, ki odstopajo od pravokotne oblike, so bili poenostavljeni, kot je razvidno s Slike 2b. Širina b in globina d stavbe sta definirani glede na smer vetra. Širina je dimenzija, ki je pravokotna na smer vetra, globina pa je z njo vzporedna (glej Sliko 2a). Višina h je definirana kot razdalja do vrhnje etažne plošče. V primeru stavbe 10, kjer je na strehi še dodatna konstrukcija, je bila ta zanemarljiva. V primeru zaobljenih robov se upošteva še njihov radij r . Pri vseh stavbah je na začetku privzeta predpostavka ostrih robov, vpliv zaobljenosti pa je preverjen v poglavju 3.2.



Slika 2. Predpostavljene so stavbe v obliki kvadra. Definirane so (a) dimenzije stavbe ter prikazani (b) poenostavljeni pravokotni tlorisi.

2.2 Dinamične lastnosti

Za izračun dinamičnega odziva stavbe so potrebne dinamične lastnosti – prva upogibna lastna frekvenca, pripadajoča nihajna oblika ter dušenje. EC1 ponudi poenostavljen izračun lastne frekvence stavbe po enačbi (1), vendar se v tej analizi uporabijo izmerjene lastne frekvence stavb, kot prikazuje Preglednica 1. Nihajna oblika stavbe se lahko privzame kot normiran pomik ϕ po koordinati višine stavbe z

$$\phi(z) = \left(\frac{z}{h}\right)^{\xi}, \quad (4)$$

kjer je ξ eksponent, ki definira obliko lastnega vektorja. Za različne stavbe EC1 priporoča vrednosti ξ med 0,6 in 1,5.

Dušenje je pomemben dejavnik za določitev resonančnega obnašanja. EC1 dušenje upošteva v obliki logaritmskega dekrementa δ , ki se določi kot seštevek

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d, \quad (5)$$

kjer je δ_s logaritmski dekrement zaradi dušenja konstrukcije, δ_a logaritmski dekrement zaradi aerodinamičnega dušenja ter δ_d logaritmski dekrement zaradi dušenja posebnih naprav, ki dušijo nihanje strukture. EC1 predlaga različne vrednosti δ_s glede na tip in material konstrukcije, vendar nima specifičnega priporočila za lesene stavbe. Za dušenje je tako določena vrednost na podlagi izmerjenega viskoznega razmerja dušenja ζ [Maia, 1997] kot

$$\delta = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}. \quad (6)$$

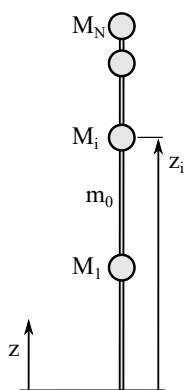
Razmerja dušenja ζ analiziranih stavb so prikazana v Preglednici 1, kjer je zaradi velike negotovosti določanja dušenja uporabljena povprečna vrednost dušenja prve in druge nihajne oblike.

2.3 Ekvivalentna masa

Ekvivalentna masa m_e je v EC1 definirana kot

$$m_e = \frac{\int_0^h m(z) \phi^2(z) dz}{\int_0^h \phi^2(z) dz}. \quad (7)$$

Kadar je masa $m(z)$ enakomerno porazdeljena, se izračun linijsko porazdeljene mase poenostavi na $m_e = M/h$, kjer je M celotna masa stavbe. Za neenakomerno porazdeljeno maso EC1 predlaga poenostavitev, kjer se za m_e vzame linijsko porazdeljena masa v zgornji tretjini stavbe. Za bolj natančen izračun v primeru neenakomerno porazdeljene mase po višini se lahko uporabi predpostavka kombinacije med enakomerno linijsko porazdeljeno maso $m_0 = M_0/h$ ter N diskretnih mas M_i , ki so locirane na višinah z_i , kot je prikazano na Sliki 3.



Slika 3. Kombinacija enakomerno porazdeljene mase m_0 in diskretnih mas M_i na višinah z_i .

Linijsko porazdeljena masa je tako definirana kot

$$m(z) = m_0 + \sum_{i=1}^N M_i \delta_{\text{Dirac}}(z - z_i), \quad (8)$$

kjer je $\delta_{\text{Dirac}}(z)$ Diracova delta funkcija. Ob uporabi Enačbe (8) se Enačba (7) pretvori v

$$m_e = \frac{\int_0^h m_0 \phi^2(z) dz + \sum_{i=1}^N M_i \delta_{\text{Dirac}}(z - z_i) \phi^2(z) dz}{\int_0^h \phi^2(z) dz}. \quad (9)$$

Ob upoštevanju pravil integriranja vsote ter zmnožka s konstanto, se Enačba (9) pretvori v

$$m_e = m_0 + \sum_{i=1}^N \frac{M_i \int_0^h \delta_{\text{Dirac}}(z - z_i) \phi^2(z) dz}{\int_0^h \phi^2(z) dz} \quad (10)$$

ter ob upoštevanju pravila za integriranje Diracove delta funkcije v

$$m_e = m_0 + \sum_{i=1}^N \frac{M_i \phi^2(z_i)}{\int_0^h \phi^2(z) dz}. \quad (11)$$

Ob predpostavki lastnega vektorja v obliki iz Enačbe (4) se integral $\int_0^h \phi^2(z) dz$ izračuna kot

$$\begin{aligned} \int_0^h \phi^2(z) dz &= \int_0^h \left(\frac{z}{h}\right)^{2\xi} dz = \left(\frac{1}{h}\right)^{2\xi} \int_0^h z^{2\xi} dz = \left(\frac{1}{h^{2\xi}}\right) \left[\frac{z^{2\xi+1}}{2\xi+1}\right]_0^h = \\ &= \left(\frac{1}{h^{2\xi}}\right) \left(\frac{h^{2\xi+1}}{2\xi+1}\right) = \frac{h}{2\xi+1}. \end{aligned} \quad (12)$$

Enačba (11) se tako pretvori v

$$m_e = m_0 + \sum_{i=1}^N \frac{M_i}{h} (2\xi + 1) \left(\frac{z_i}{h}\right)^{2\xi} \quad (13)$$

ali ob poenostavitvi $\xi=1$ (kar EC1 priporoča za nekatere stavbe) in dodajanju ene točkovne mase M_1 na vrhu stavbe

$$m_e = m_0 + 3 \frac{M_1}{h}. \quad (14)$$

Iz te enačbe je razvidno, da ima dodajanje mase na vrhu stavbe trikratni vpliv na ekvivalentno maso.

3 REZULTATI

Najprej za analizirane stavbe izračunamo najvišji pospešek po Enačbi (2) ter ovrednotimo njegovo ustreznost na podlagi ISO 10137. Za izračun so bile uporabljene dejanske dimenzije, masa in dinamične lastnosti stavbe, kot so podane v Pre-

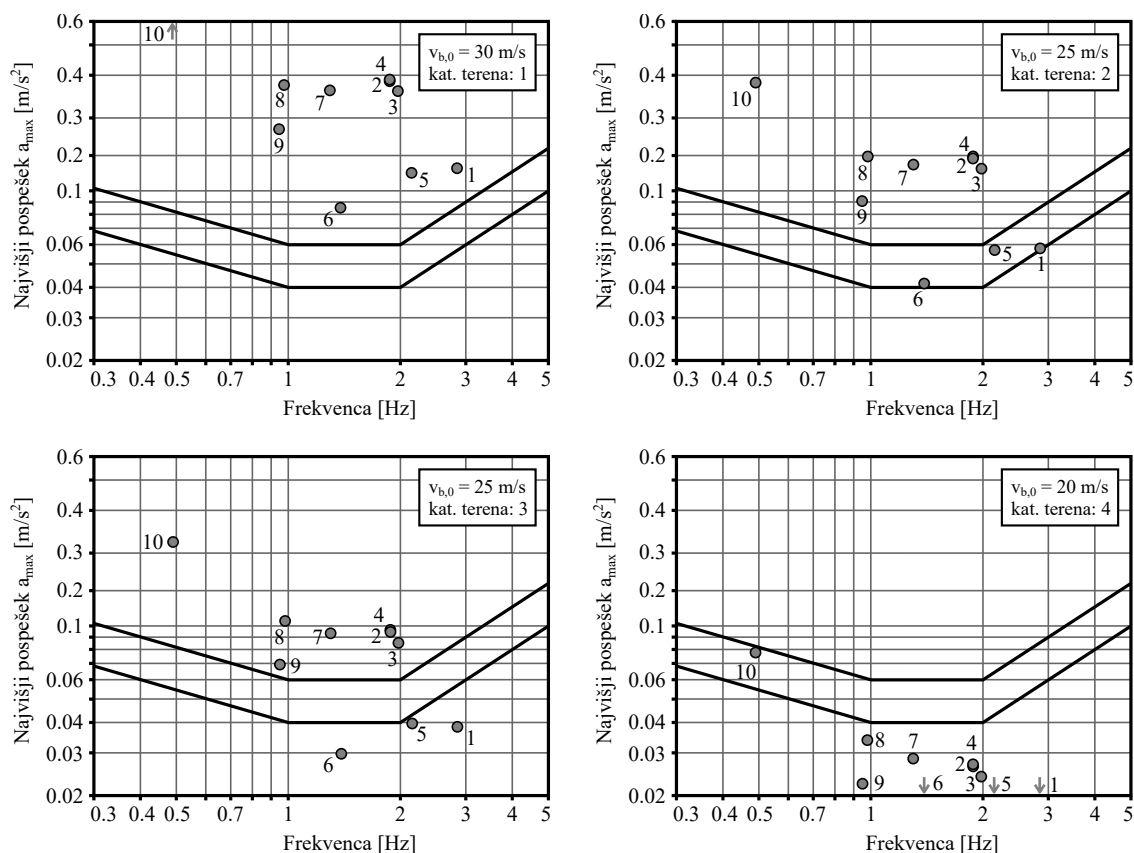
glednici 1. Niso pa se upoštevali dejanski pogoji okolice, kot so temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra (podana na podlagi ustreznih nacionalnih dodatkov, hribovitost in kategorija terena. Analiza je namreč osredotočena na primerjavo med konstrukcijami stavb in njihov odziv na enotno vetrno obtežbo. Zaradi tega je treba poudariti, da izračuni ne izražajo dejanske ustreznosti analiziranih stavb in jih je treba razumeti v kontekstu predpostavljenih obremenitvenih pogojev. Poleg tega je izračun narejen na celotni višini stavbe $z=h$, čeprav je najvišja točka, kjer se zagotavlja ugodje uporabnikov, po navadi nižje (recimo višina etažne plošče najvišjega uporabnega nadstropja). Slika 4 prikazuje najvišji pospešek analiziranih stavb ob predpostavki različnih kombinacij temeljne vrednosti osnovne hitrosti vetra $v_{b,0}$ ter kategorije terena. Iz rezultatov je razvidno, da je ustreznost konstrukcije z vidika uporabnosti stavbe pri vetrni obtežbi zelo odvisna od pogojev okolice. Na vetrovno bolj izpostavljenih lokacijah (kot so denimo Primorje, Kras in del Vipavske doline, kjer se predpostavlja $v_{b,0}=30$ m/s) so vse analizirane stavbe neustrezne ne glede na namen rabe (stanovanjski ali poslovni). Po drugi strani pa je večina stavb ustreznih pri pogojih v manj izpostavljenem mestnem okolju (v primeru Ljubljane se predpostavlja $v_{b,0}=20$ m/s). V nadaljevanju se izvede občutljivostna analiza parametrov stavbe in okolice, kjer se za začetne pogoje uporabita hitrost vetra $v_{b,0}=25$ m/s ter kategorija terena 3.

3.1 Vpliv terena

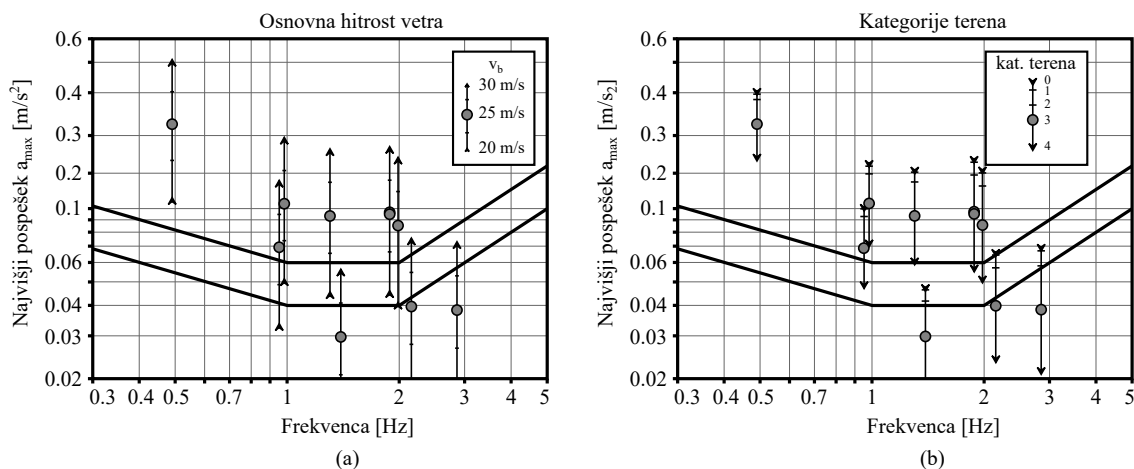
Izpostavljenost vetrovnim pogojem je eden najpomembnejših vplivov na uporabnost stavbe zaradi vetrne obtežbe. Pri tem sta upoštevana dva parametra, temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra $v_{b,0}$ in kategorija terena. V nižinskih legah do 800 m nadmorske višine se v Sloveniji glede na lokacijo upošteva $v_{b,0}$ med 20 m/s in 30 m/s, kar je primerljivo s predpisanimi vrednostmi za večji del Evropske unije. Iz Slike 5a je razvidno, da se zgornja meja vrednosti $v_{b,0}$ v primerjavi s spodnjo odraža v več kot petkratni vrednosti največjih pospeškov pri vseh analiziranih stavbah. Pri analizi terena, kot prikazuje Slika 5b, so pospeški v kategoriji 0 (ki ustreza izpostavljenim obmorskim legam) dva- do štirikratni v primerjavi s kategorijo 4 (ki ustreza mestnemu okolju z višjimi stavbami). Iz tega je razvidno, da je težavnost zadovoljevanja meril ugodja v veliki meri odvisna od lokacije stavbe.

3.2 Vpliv oblike stavbe

Kadar je v začetnih fazah zasnove ugotovljeno, da bo vetrna obtežba eden od pomembnih kriterijev pri projektiranju stavbe, je možnih ukrepov za izboljšanje uporabnosti zaradi nihanja pri vetrni obtežbi več. Eden od njih je spreminjanje dimenzij stavbe za boljše uporabnost zaradi nihanja pri vetrni obtežbi. Te so sicer omejene s kapacitetami zemljišča, prostorskimi načrti ter željami in sredstvi investitorja. V občutljivo- stni analizi so se od dejanskih dimenzij za do 20 % zmanjšale oziroma zvišale širina, globina ter višina, pri čemer pa se je proporcionalno spremenila tudi masa stavbe, tako da je prostorninska masa ostala enaka. Pri spreminjanju višine stavbe se je uskladila tudi frekvenca na podlagi predpostavke obratnega sorazmerja med višino in lastno frekvenco iz Enačbe (1). Pri povečanju višine za faktor 1,2 se je torej lastna frekvenca



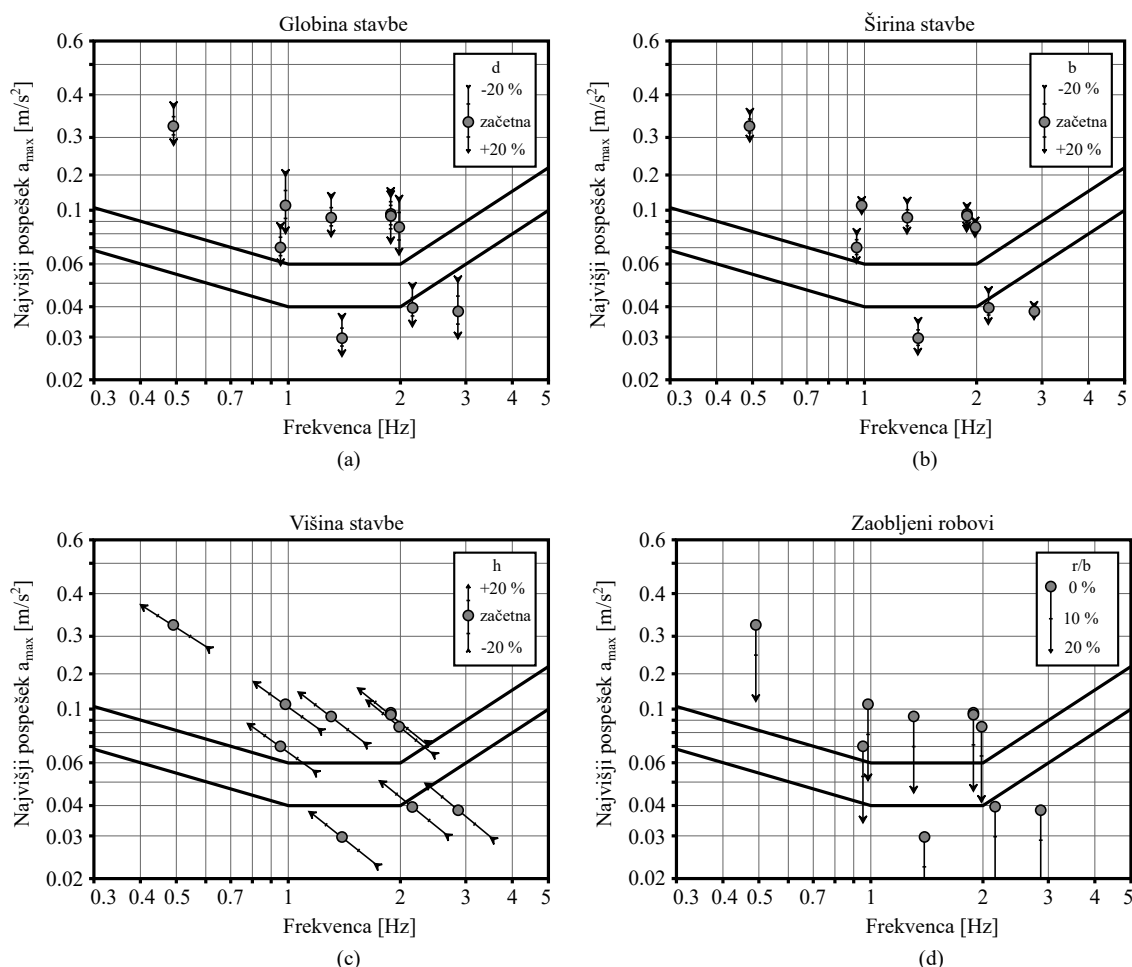
Slika 4. Najvišji pospeški nihanja stavb, izračunani po EC1, ob različnih predpostavkah temeljne vrednosti hitrosti vetra $v_{b,0}$ in kategorije terena. Grafi prikazujejo mejni krivulji po ISO 10137. Na grafih so označene tudi številke desetih analiziranih stavb.



Slika 5. Vpliv (a) hitrosti temeljne vrednosti hitrosti vetra $v_{b,0}$ in (b) kategorije terena na pričakovane pospeške nihanja stavb. Grafi prikazujejo mejni krivulji po ISO 10137.

zmanjšala za faktor 1,2. Iz rezultatov analiz, ki so prikazani na Sliki 6, je razvidno, da povečanje globine ali širine zmanjšuje pričakovane pospeške, povečanje višine pa jih poveča. Zanimivo opažanje je tudi, da pri stavbah z lastno frekvenco, nižjo od 1 Hz, povišanje stavbe kljub povečanju pospeškov ne poslabša znatno merila ugodja zaradi oblike mejne krivulje ISO 10137. To namiguje na možnost izgradnje še višjih lesenih stavb v prihodnosti.

Poleg gabaritov stavbe se je analiziral še vpliv zaobljenih robov. Razmerje med radijem zaobljenih robov in širine stavbe se je povečalo do vrednosti 0,2, kar znatno zmanjša silo vetra ter posledično pričakovane pospeške nihanja.



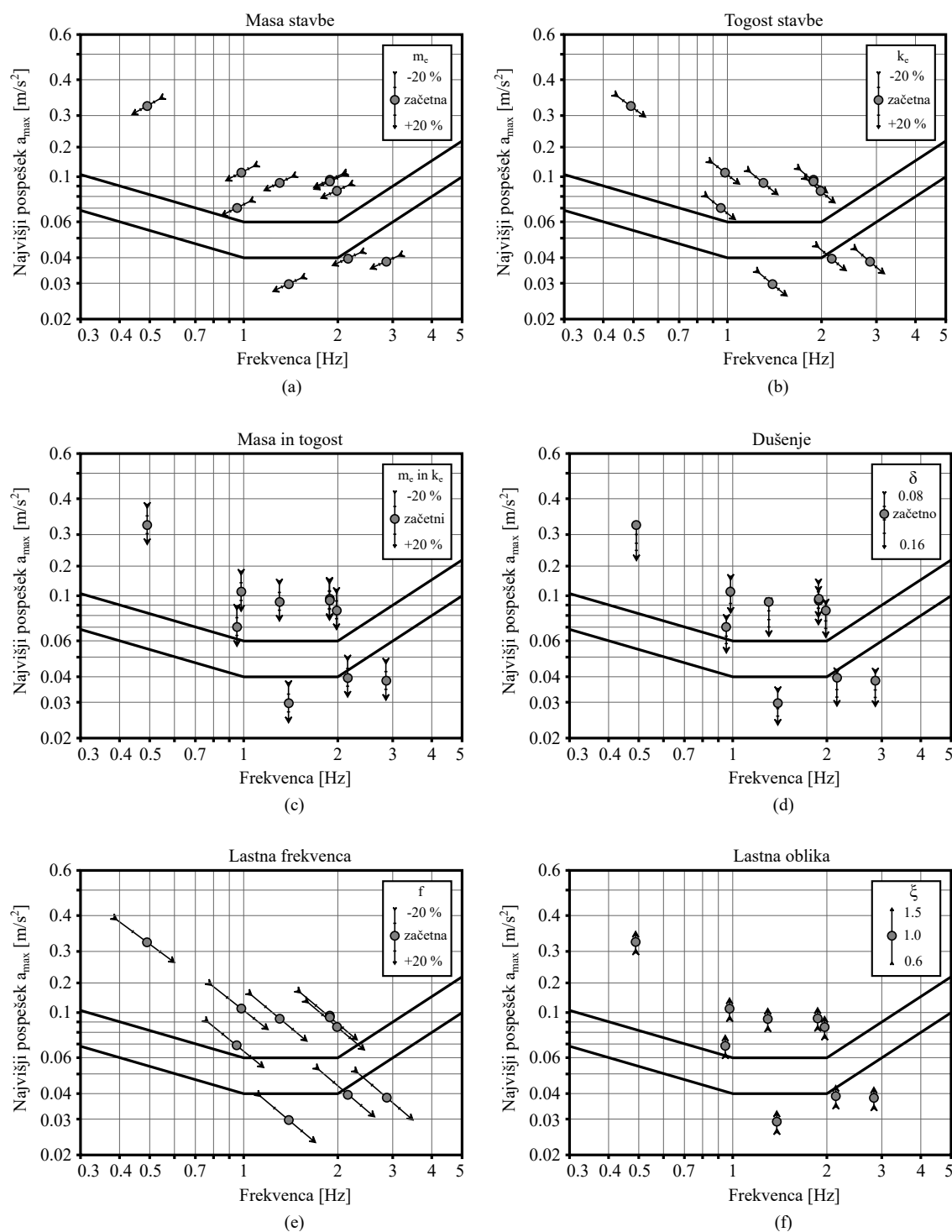
Slika 6. Vpliv spreminjanja (a) globine, (b) širine, (c) višine stavbe ter (d) radija zaobljenih robov na pričakovane pospeške nihanja stavb. Grafi prikazujejo mejni krivulji po ISO 10137.

3.3 Vpliv dinamičnih lastnosti

Nazadnje se je analiziral vpliv dinamičnih lastnosti na pričakovane pospeške. Na lastno frekvenco se lahko vpliva preko spreminjanja ekvivalentne mase m_e ali ekvivalentne togosti k_e , pri čemer je upoštevana enačba za izračun lastne frekvence dinamičnega sistema z eno prostostno stopnjo $f = \sqrt{k_e/m_e}$. V primeru spreminjanja mase se je predpostavila konstantna togost, pri spreminjanju togosti pa se je predpostavila konstantna masa. Treba je poudariti, da je povečanje ekvivalentne mase večje, če se jo dodaja na vrhu stavbe. Ob upoštevanju Enačbe (14) ima masa, dodana na vrhu stavbe, trikrat večji vpliv kot masa, ki se jo enakomerno doda po vsej višini. Povečanje ekvivalentne mase za 20 % se z dodajanjem mase na vrhu stavbe tako lahko doseže že s približno 6,7 % celotne mase. Zanimivo opazanje na Slikah 7a in 7b je, da je za stavbe z lastno frekvenco, nižjo od 1 Hz, bolj učinkovito dodajanje mase, za stavbe z lastno frekvenco, višjo od 2 Hz, pa dodajanje togosti. Sočasno proporcionalno povečevanje mase in togosti, kot je prikazano na Sliki 7c, je najustreznejše pri stavbah z lastno frekvenco med 1 Hz in 2 Hz.

Dinamične lastnosti stavbe so v fazi projektiranja izredno težko napovedane natančno. Dušenje armiranobetonskih

stavb ali stavb z jekleno konstrukcijo se določi na podlagi priporočila EC1 za logaritemski dekrement dušenja konstrukcij. Priporočilo obstaja tudi za lesene mostove, ne pa tudi za lesene stavbe. Izmed izmerjenih podatkov desetih stavb se vrednosti viskoznega dušenja ζ gibljejo med 1,3 % in 1,9 %, kar po Enačbi (6) pomeni logaritemski dekrement δ med 0,08 in 0,12. Pri nekaterih lesenih stavbah so se izmerile celo precej višje vrednosti dušenja [Kurent, Ao, 2023], zato je parametrična analiza upoštevala negotovost δ med 0,08 in 0,16. Vpliv negotovosti določitve dušenja je prikazan na Sliki 7d. Tudi z določanjem lastnih frekvenc stavbe je povezano precej negotovosti. Za parametrično analizo, prikazano na Sliki 7e, je bila predpostavljena možnost napake pri določanju osnovne lastne frekvence do 20 %. Ta ima še posebej velik vpliv pri stavbah s frekvenco, višjo od 2 Hz. Nazadnje se je preveril vpliv nihajne oblike s spreminjanjem eksponenta ξ med vrednostma 0,6 in 1,5 (kar za različne stavbe priporoča EC1). Ta se je izkazal za manj pomembnega, kot je prikazano na Sliki 7f.



Slika 7. Vpliv spreminjanja (a) mase, (b) togosti, (c) mase ter togosti stavbe hkrati, (d) dušenja, (e) lastne frekvence in (f) nihajne oblike na pričakovane pospeške nihanja stavb. Grafi prikazujejo mejni krivulji po ISO 10137.

4 SKLEP

Na podlagi podatkov o desetih lesenih in hibridnih lesenih stavbah so se izračunali pričakovani pospeški nihanja zaradi vetrne obtežbe po EC1. Pospeški so bili uporabljeni za določitev merila ugodja po standardu ISO 10137. Ugotovljeno je

bilo, da ima lokacija (preko pričakovane hitrosti vetra) velik vpliv na težavnost zagotavljanja ugodja zaradi nihanja ob vetrni obtežbi. Večina izmed analiziranih stavb bi namreč zadostila merilom ugodja, če bi bile postavljene v Ljubljani, nobena izmed njih pa ga ne bi, če bi bile postavljene v Primorju ali na Krasu. Pri parametrični analizi dimenzij

stavbe je bilo ugotovljeno, da povečevanje širine ali globine (ob proporcionalnem povečanju mase) zmanjšuje pričakovane pospeške, medtem ko višina stavbe pospeške poveča. Zaradi neenakomerne percepcije nihanja in višje tolerance pospeškov pri nižjih frekvencah se pri povišanju stavb nad 50 m merilo ugodja ne poslabša drastično. To nakazuje na možnost izgradnje še višjih lesenih stavb v prihodnosti. Pri analizi dinamičnih lastnosti je bilo ugotovljeno, da povečanje tako mase kot togosti zmanjšuje pričakovane pospeške, vendar pa ima zaradi frekvenčno odvisne krivulje merila ugodja togost večji vpliv na stavbe s prvo lastno frekvenco nad 2 Hz ter masa na stavbe pod 1 Hz.

5 ZAHVALA

Raziskavo je podprla Evropska komisija preko projekta Horizon Europe Innovation Action 101092052 BUILDCHAIN.

6 LITERATURA

Akter, S. T., Binder, E., Bader, T. K., Moisture and short-term time-dependent behavior of Norway spruce clear wood under compression perpendicular to the grain and rolling shear, *Wood Material Science & Engineering*, 18(2), 580–593, <https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2056715>, 2023.

ASCE/SEI 7-22, Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, 2022.

Bezabeh, M. A., Bitsuamlak, G. T., Popovski, M., Tesfamariam, S., Dynamic Response of Tall Mass-Timber Buildings to Wind Excitation, *Journal of Structural Engineering*, 146(10), [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0002746](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0002746), 2020.

Brandner, R., Cross laminated timber (CLT) in compression perpendicular to plane: Testing, properties, design and recommendations for harmonizing design provisions for structural timber products, *Engineering Structures*, 171(March), 944–960, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.02.076>, 2018.

Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G., Thiel, A., Cross laminated timber (CLT): overview and development, *European Journal of Wood and Wood Products*, 74(3), 331–351, <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0999-5>, 2016.

Casagrande, D., Pacchioli, S., Polastri, A., Pozza, L., Influence of the rocking behavior of shearwalls on the fundamental period of CLT structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 50(6), 1734–1754, <https://doi.org/10.1002/eqe.3420>, 2021.

Cisterna, A. J., Benedetti, F., Rosales, V., Almazán, J. L., Vega, A. O., Vibration based monitoring of a cross laminated timber building in a high seismicity zone, *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, (0123456789), <https://doi.org/10.1007/s13349-024-00862-1>, 2024.

D'Arenzo, G., Casagrande, D., Polastri, A., Fossetti, M., Fragiaco, M., Seim, W., CLT Shear Walls Anchored with Shear-Tensi-

on Angle Brackets: Experimental Tests and Finite-Element Modeling, *Journal of Structural Engineering*, 147(7), 1–15, [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0003008](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0003008), 2021.

D'Arenzo, G., Casagrande, D., Reynolds, T., Fossetti, M., In-plane elastic flexibility of cross laminated timber floor diaphragms, *Construction and Building Materials*, 209, 709–724, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.060>, 2019.

D'Arenzo, G., Rinaldin, G., Fossetti, M., Fragiaco, M., An innovative shear-tension angle bracket for Cross-Laminated Timber structures: Experimental tests and numerical modelling, *Engineering Structures*, 197(July), 109434, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109434>, 2019.

Edskär, I., Lidelöw, H., Dynamic properties of cross-laminated timber and timber truss building systems, *Engineering Structures*, 186, 525–535, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.136>, 2019.

Ellis, B. R., An assessment of the accuracy of predicting the fundamental natural frequencies of buildings and the implications concerning the dynamic analysis of structures, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 69(2), 763–776, 1980.

Flamand, O., Giovannelli, G., Manthey, M., Data Processing to Assess Structural Damping of Tall Timber Buildings, *Lecture Notes in Civil Engineering*, 432 LNCE, 640–648, https://doi.org/10.1007/978-3-031-39109-5_65, 2023.

Gavric, I., Fragiaco, M., Ceccotti, A., (a), Cyclic Behavior of CLT Wall Systems: Experimental Tests and Analytical Prediction Models, *Journal of Structural Engineering*, 141(11), [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0001246](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0001246), 2015.

Gavric, I., Fragiaco, M., Ceccotti, A., (b), Cyclic behavior of typical screwed connections for cross-laminated (CLT) structures, *European Journal of Wood and Wood Products*, 73(2), 179–191, <https://doi.org/10.1007/s00107-014-0877-6>, 2015.

Gavric, I., Fragiaco, M., Ceccotti, A., (c), Cyclic behaviour of typical metal connectors for cross-laminated (CLT) structures, *Materials and Structures*, 48, 1841–1857, <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0278-7>, 2015.

ISO 6897, Guidelines for the evaluation of the response of occupants of fixed structures, especially buildings and off-shore structures, to low-frequency horizontal motion (0.063 to 1 Hz). Geneva, 1984.

ISO 10137, Bases for design of structures—Serviceability of buildings and walkways against vibrations. Geneva, 2007.

Janot, D., Vieux-Champagne, F., Gueguen, P., Boudaud, C., Jung, A., 8-storey CLT building dynamical properties analysis and monitoring from construction to operating phase, *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 58(1), <https://doi.org/10.1617/s11527-024-02540-6>, 2025.

Johann, F. A., Carlos, M. E. N., Ricardo, F. L. S., Wind-induced motion on tall buildings: A comfort criteria overview, *Journal*

of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 142, 26–42, <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2015.03.001>, 2015.

Johansson, M., Linderholt, A., Bolmsvik, Å., Jarnerö, K., Olsson, J., Reynolds, T., Building higher with light-weight timber structures - The effect of wind induced vibrations, In INTER-NOISE 2015 - 44th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, San Francisco, CA, USA, 2015.

Johansson, M., Linderholt, A., Jarnerö, K., Landel, P., Tall timber buildings - A preliminary study of wind-induced vibrations of a 22-storey building, WCTE 2016 - World Conference on Timber Engineering, (August), 2016.

Kurent, B., Ao, W. K., Pavic, A., Pérez, F., Brank, B., Modal testing and finite element model updating of full-scale hybrid timber-concrete building, Engineering Structures, 289, 116250, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116250>, 2023.

Kurent, B., Brank, B., Ao, W. K., Model updating of seven-storey cross-laminated timber building designed on frequency-response-functions-based modal testing, Structure and Infrastructure Engineering, 19(2), 178–196, <https://doi.org/10.1080/15732479.2021.1931893>, 2023.

Kurent, B., Friedman, N., Aloisio, A., Pasca, D., Tomasi, R., Brank, B., Bayesian model updating of eight-storey CLT building using modal data, Probabilistic Engineering Mechanics, 77(June), 103642, <https://doi.org/10.1016/j.probingmech.2024.103642>, 2024.

Kurent, B., Friedman, N., Brank, B., Modelling of Multi-Storey Cross-Laminated Timber Buildings for Vibration Serviceability, Buildings, 14, 689, 2024.

Lamb, S., Kwok, K. C. S., The fundamental human response to wind-induced building motion, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 165(December 2016), 79–85, <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2017.03.002>, 2017.

Maia, N. M. M., Silva, J. M. M., Theoretical and Experimental Modal Analysis (1st Ed). Baldock, UK: Research Studies Press, 1997.

Malo, K. A., Abrahamsen, R. B., Bjertnæs, M. A., Some structural design issues of the 14-storey timber framed building "Treet" in Norway, European Journal of Wood and Wood Products, 74(3), 407–424, <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1022-5>, 2016.

Manthey, M., Flamand, O., Jalil, A., Pavic, A., Ao, W. K., Effect of non-structural components on natural frequency and damping of tall timber building under wind loading, World Conference on Timber Engineering 2021, WCTE 2021, 2021.

Olsen, M. F., Hansen, O., Measuring vibrations and assessing dynamic properties of tall timber buildings (Master thesis). Norwegian University of Science and Technology, 2016.

Orr, J., Drewniok, M. P., Walker, I., Ibell, T., Copping, A., Emmitt, S., Minimising energy in construction: Practitioners' views

on material efficiency, Resources, Conservation and Recycling, 140(June 2018), 125–136, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.015>, 2019.

Persson, K., Micromechanical Modelling of Wood and Fibre Properties. Lund University, <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1389.7685>, 2000.

Reynolds, T., Feldmann, A., Ramage, M., Chang, W.-S., Harris, R., Dietsch, P., Design Parameters for Lateral Vibration of Multi-Storey Timber Buildings, In Rainer Görlacher (Ed.), Proceedings of the International Network on Timber Engineering Research (pp. 365–376). Graz, Austria: Timber Scientific Publishing, 2016.

Slovenski standard, SIST EN 1991-1-4:2005 - Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije. Del 1-4: Splošni vplivi - Obtežba vetra (2005), 2005.

Slovenski standard, SIST EN 1998-1:2005 - Evrokod 8, Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij. Del 1, Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe (2005), 2005.

Slovenski standard, SIST EN 1991-1-4:2005/A101:2008- Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije. Del 1-4: Splošni vplivi - Obtežba vetra - Nacionalni dodatek (2008), 2008.

Tulebekova, S., Malo, K. A., Rønnquist, A., Dynamic identification and model calibration of connection stiffness in multi-storey cross-laminated timber buildings, Journal of Building Engineering, 72, 106607, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106607>, 2023.

Tulebekova, S., Malo, K. A., Rønnquist, A., Nåvik, P., Modeling stiffness of connections and non-structural elements for dynamic response of taller glulam timber frame buildings, Engineering Structures, 261, 114209, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114209>, 2022.

Zhao, X., Zhang, B., Kilpatrick, T., Sanderson, I., Liu, D., Numerical Analysis on Global Serviceability Behaviours of Tall Glulam Frame Buildings to the Eurocodes and UK National Annexes, Journal of Civil Engineering and Construction, 10(3), 109–122, <https://doi.org/10.32732/jceec.2021.10.3.109>, 2021.

asist. dr. David Božiček, mag. inž. stavb.
david.bozicek@fgg.uni-lj.si



doc. dr. Jaka Potočnik, mag. inž. arh.
jaka.potocnik@fgg.uni-lj.si



doc. dr. Luka Pajek, mag. inž. stavb.
luka.pajek@fgg.uni-lj.si



izr. prof. dr. Mitja Košir, univ. dipl. inž. arh.
mitja.kosir@fgg.uni-lj.si
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Jamova 2, 1000 Ljubljana, Slovenija



Znanstveni članek
UDK 697:620.9:502.173

PONAZORITEV METODOLOŠKE KOMPLEKSNOŠTI UVAJANJA LCA V NAČRTOVALSKO PRAKSO NA PRIMERU SMERNIC ZA NIZKOOGLJIČNE STAVBE SLOVENSКИH STANOVANJSКИH SKLADOV

ILLUSTRATION OF THE METHODOLOGICAL COMPLEXITY OF IMPLEMENTING LCA IN BUILDING DESIGN: GUIDELINES FOR LOW- CARBON BUILDINGS OF SLOVENIAN HOUSING FUNDS

Povzetek

Nova Direktiva o energetske učinkovitosti stavb (EPBD) uvaja vrednotenje vseživljenjskega ogljičnega odtisa stavb v načrtovalsko prakso. Kot orodje za izračun ogljičnega odtisa stavb je predvidena metoda ocenjevanja življenjskega cikla (LCA). Stavbe so kompleksni sistemi z dolgo življenjsko dobo, sestavljeni iz množice različnih gradbenih proizvodov. Uporaba metode LCA zato zahteva strukturiran pristop, celovito definicijo robnih pogojev in scenarijev izračuna ter podatke, s katerimi določamo okoljski odtis v različnih fazah življenjskega cikla stavb. V članku je predstavljena vsebina Smernic za nizkoogljicne stavbe slovenskih stanovanjskih skladov (smernice SSS). Predstavitev smernic služi kot izhodišče za razumevanje metodologije LCA in ključnih elementov, ki so zahtevani za harmonizirano vrednotenje ogljičnega odtisa stavb. V nadaljevanju je predstavljena primerjava metodoloških karakteristik izbranih nacionalnih metod in okvira Level(s) z metodo v smernicah SSS. To omogoča diskusijo o prihajajočih izzivih in tveganjih povezanih z uvajanjem LCA v načrtovalsko prakso in obrazložitev, zakaj bo prihajajoča nacionalna metoda za Slovenijo imela drugačno zasnovo kot v smernicah SSS. V Sloveniji se moramo pripraviti na uvedbo LCA, sicer obstaja tveganje za preobremenitev projektantov in dvom o reprezentativnosti izračunov.

Ključne besede: LCA; ocenjevanje življenjskega cikla; ogljični odtis; ogljični odtis stavb; smernice za nizkoogljicne stavbe

Summary

The new Energy Performance of Buildings Directive introduces the evaluation of carbon in the whole-life cycle of buildings into design practice. Life Cycle Assessment (LCA) is envisaged as a tool for calculating the carbon footprint. Buildings, composed of various products with long lifespans, require a structured approach to LCA, including comprehensive boundary conditions and environmental impact data. The article presents the Guidelines for Low-Carbon Buildings of the Slovenian Building Fund, serving as a starting point for understanding the LCA methodology and the key elements for a harmonized carbon footprint assessment. It also compares the methodological characteristics of selected national methods and the Level(s) framework with the method presented in the guidelines. This enables a discussion on the challenges of implementing LCA into building design practice and an elaboration on why the upcoming national methodology will have a somewhat different design than the one developed in the guidelines. Slovenia must prepare for the introduction of LCA, otherwise there is a risk of overburdening the designers and the representativeness of the calculations will be called into question.

Key words: LCA; life cycle assessment; carbon footprint; carbon footprint of buildings; guidelines for low-carbon buildings

1 UVOD

Gradbeni sektor je pomemben člen našega družbenoekonomskega sistema. V Evropski uniji (EU) predstavlja 9 % skupnega bruto domačega proizvoda in neposredno zaposluje 18 milijonov ljudi¹ [EC^b, 2024]. Zato ni presenetljivo, da ima gradbeni sektor izrazit vpliv na okolje. Na globalni ravni stavbe prispevajo 37 % toplogrednih emisij, od tega 10 % proizvodnja gradbenih proizvodov [UNEP, 2021]. Količine materialov, ki se vgradijo v stavbe, so ogromne. Po nekaterih ocenah se več kot 30–50 % (masni delež) materialov v Evropi vgradi v stavbe, od tega skoraj 40 % vsega lesa, 65 % agregatov in 75 % proizvedenega betona [Herczeg, 2014].

Podatki kažejo, da se je sicer končna raba energije v stanovanjskem sektorju v EU od leta 2010 do 2021 znižala za 6,4 %, neposredne emisije toplogrednih plinov pa za kar 23,9 % [BSO, 2024]. V Sloveniji smo bili pri tem še zlasti uspešni, saj se je v tem obdobju raba energije v stanovanjskem sektorju znižala za 15,0 %, neposredne emisije toplogrednih plinov pa za kar 54,2 % [BSO, 2024]. Kljub temu pa projekcije nakazujejo, da naj bi zaradi naraščanja števila prebivalstva in kupne moči držav v razvoju raba energije v stavbah na globalnem nivoju do leta 2050 narasla za 50 %, medtem ko bi se tlorisna površina stavb lahko podvojila [UNEP, 2016]. Tudi v EU, kjer je zgrajenih že več kot 27 milijard m² tlorisne površine stavb [BSO, 2024], se pričakuje, da se bo tlorisna površina stavb do leta 2050 povečala za več kot 20 % [UNEP, 2016]. Podatki tako kažejo, da je za doseganje ciljev Pariškega sporazuma o podnebnih spremembah [UNFCCC, 2015] nujno nadaljnje manjšanje okoljskega odtisa stavb, te pa hkrati še vedno predstavljajo področje z velikim potencialom za zmanjšanje toplogrednih emisij za blaženje antropogeno povzročenih podnebnih sprememb [IEA, 2019].

Kot podpisnica Pariškega sporazuma ima EU ambiciozne cilje do leta 2030 zmanjšati emisije toplogrednih plinov za 55 % pod nivo emisij iz leta 1990 ter postati ogljično nevtralna do leta 2050 ([EC, 2018], [EP, 2018]). Z izboljšanjem energijske učinkovitosti stavb in uporabo obnovljivih virov energije so se v stavbnem fondu pomembno zmanjšale toplogredne emisije v fazi obratovanja. Poleg manjšanja vpliva v fazi obratovanja stavb pa je nujno tudi osredotočanje na preostale faze življenjskega cikla. S tem postajajo vse bolj pomembne utelešene emisije (ang. *embodied emissions*), ki nastajajo med ekstrakcijo surovin, proizvodnjo, transportom, gradnjo, uporabo stavb (npr. zamenjava stavbnih elementov) ter odstranitvijo objekta ([BPIE, 2021], [BPIE, 2023]). Za vrednotenje okoljskega odtisa stavb je potreben vseživljenjski pristop ter upoštevanje okoljskega vpliva v vseh fazah življenjskega cikla stavb, kar s prenovljeno Direktivo Evropskega parlamenta in Sveta o energetske učinkovitosti stavb (direktiva EPBD) uveljavlja tudi EU [EPBD, 2024]. Za postopek izračuna vseživljenjskega ogljičnega odtisa se direktiva EPBD sklicuje na standard SIST EN 15978 [SIST EN 15978, 2011] in indikator 1.2 »Potencial za globalno segrevanje v življenjskem ciklu (GWP, ang. *global warming potential*)« vseevropskega okvira za vrednotenje trajnosti v stavbah, Level(s) [Dodd, 2021]. Osrednje orodje za izračun vseživljenjskega okoljskega odtisa stavb v obeh dokumentih pa je metoda ocenjevanja življenjskega cikla – LCA (angl. *life cycle assessment*). Z uveljavitvijo nove direktive EPBD bo metoda LCA postala del načrtovalske

prakse stavb (čeprav se v jedru besedila direktive EPBD izraz LCA sploh ne pojavi). Ker pa so stavbe kompleksni sistemi z dolgimi življenjskimi dobami in je LCA specifična veda, lahko vključitev metode LCA v načrtovalsko prakso predstavlja izziv.

Vrednotenje okoljskega vpliva stavb z metodo LCA je v Sloveniji omejeno na posamezne raziskovalne skupine in specifične projekte, pri katerih je LCA del vrednotenja za namen certificiranja trajnostnosti stavb (npr. LEED [USGBC, 2022] in DGNB [DGNB, 2019] shemi). Je pa precej proizvajalcev gradbenih proizvodov, prisotnih na Slovenskem trgu, spoznalo LCA v sklopu izdelave okoljskih deklaracij za proizvode (EPD-jev, ang. *environmental product declarations*) [ZAG, 2023]. Kot posledico novih uredb in direktiv na nivoju EU lahko v prihajajočih letih pričakujemo vključitev metode LCA v načrtovanje stavb kot tudi drugih infrastrukturnih projektov. Zaradi tega bodo širšemu krogu deležnikov v grajenem okolju komunicirani rezultati LCA-analiz. Posledično bo naraščala tudi potreba po slovenski literaturi na temo LCA stavb. Izmed LCA-standardov, ki so relevantni za področje stavb, je v celoti prevedena le prva različica standarda SIST EN 15804 [SIST EN 15804, 2013], medtem ko drugi standardi, ki obravnavajo LCA kot računsko metodo za ocenjevanje okoljskega vpliva (SIST EN ISO 14040/44 ([SIST EN ISO 14040, 2006], [SIST EN ISO 14044, 2017])) in LCA kot orodje za vrednotenje okoljskega vpliva stavb (SIST EN 15804+A2 [SIST EN 15804, 2019], SIST EN 15978 [SIST EN 15978, 2011] in ISO 21931-1 [ISO 21931-1, 2022]), niso prevedeni v slovenski jezik. Zato trenutno izrazoslovje na področju LCA še ni dorečeno, kar lahko otežuje komunikacijo [Božiček, 2025].

1.1 Namen, cilji in struktura

Članek je zasnovan večplastno, pri čemer je prvi cilj predstaviti vsebino in koncept Smernic za nizkoozgljične stavbe slovenskih stanovanjskih skladov (smernice SSS). S pomočjo predstavitev smernic SSS bodo bralcem predstavljeni specifične uporabe metode LCA za namen vrednotenja okoljskega vpliva stavb ter izzivi, povezani z vzpostavitvijo metodološkega okvira, ki omogoča določanje emisij toplogrednih plinov v življenjskem ciklu stavb (poglavje 2). Predstavitev smernic je podlaga za drugi cilj članka, ki zajema primerjavo metodologije smernic SSS z nacionalnimi metodami drugih držav in okvirom Level(s) (poglavje 3). Navedena cilja tvori jedro članka, pri čemer pa članek zasleduje tudi posredni cilj, ki je v luči nedorečenega slovenskega izrazoslovja na področju LCA stavb vpeljati in v besedilo vključiti izraze, ki so pomembni za komunikacijo na obravnavanem področju. Obravnavani cilji omogočajo diskusijo o izzivih in tveganjih, povezanih z uvajanjem LCA v načrtovalsko prakso v Sloveniji.

2 SMERNICE ZA NIZKOOGLJIČNE STAVBE SLOVENSКИH STANOVANJSКИH SKLADOV

2.1 Kontekst

Po naročilu Zbornice za poslovanje z nepremičninami iz Gospodarske zbornice Slovenije [ZPN, 2024] smo na Katedri za stavbe in konstrukcijske elemente (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo) [KSKE, 2024] izdelali Smer-

¹ Za primerjavo: avtomobilska industrija zaposluje 13,8 milijona ljudi in prispeva 7 % k BDP-ju EU (ECa, 2024).

nice za nizkoogljične stavbe slovenskih stanovanjskih skladov [Košir, 2024] za izračun ogljičnega odtisa večstanovanjskih stavb. Pri izdelavi smernic smo upoštevali sledeče predpostavke, ki so izhajale iz zahtev naročnika in stopnje razvoja področja:

- Smernice se osredotočajo na večstanovanjske stavbe.
- Metoda v smernicah se lahko uporablja v zgodnjih fazah načrtovanja stavb (npr. idejna zasnova oz. IDZ) kot tudi v kasnejših fazah (npr. projektna dokumentacija za izvedbo gradnje oz. PZI).
- Velika večina projektantov in deležnikov grajenega okolja nima izkušenj z metodo LCA.
- V slovenskem jeziku primanjkuje literature na temo LCA stavb.

V okviru prvih dveh predpostavk smo določili robne pogoje, ki definirajo, kaj vse je vključeno v izračune ter kateri podatki se uporabljajo. V kontekstu drugih dveh predpostavk pa smo želeli dodati tudi informacijsko/izobraževalno komponento, saj je področje vrednotenja okoljskega vpliva stavb z metodo LCA za večino projektantov in deležnikov nekaj novega. Tako smernice poleg zahtev in usmeritev za izračun ogljičnega odtisa stavb podajajo tudi druge informacije, ki so pomembne za razumevanje področja.

2.2 Struktura smernic

Smernice SSS so sestavljene iz uvodnega ter vsebinskih poglavij. V uvodu so predstavljeni namen/cilj, struktura ter omejitve smernic. Cilj smernic je predstaviti poenostavljeno metodo izračuna ogljičnega odtisa večstanovanjskih stavb, ki bo primerna za fazo načrtovanja idejne zasnove stavbe (IDZ) kot tudi za fazo načrtovanja projektna dokumentacije za izvedbo gradnje (PZI). Metoda za izračun temelji na metodi LCA in v največji meri upošteva relevantne standarde in usmeritve ter je prilagojena za večstanovanjske stavbe oz. soseske večstanovanjskih stavb. V luči cilja po uporabi smernic v zgodnjih načrtovalskih fazah in dostopnosti LCA-podatkov so uvedene določene poenostavitve in predpostavke. V uvodnem poglavju smo dodali tudi preglednico z razlago pojmov in izrazov, saj v slovenskemu jeziku terminologija na področju LCA ni usklajena oz. dorečena. V preglednici smo opredelili izraze, kot so utelešeni okoljski vpliv (ang. *embodied environmental impact*), operativni okoljski vpliv (ang. *operational environmental impact*)

in biogeni ogljik (ang. *biogenic carbon*) ter druge, ki so pomembni za razumevanje področja in metodologije smernic.

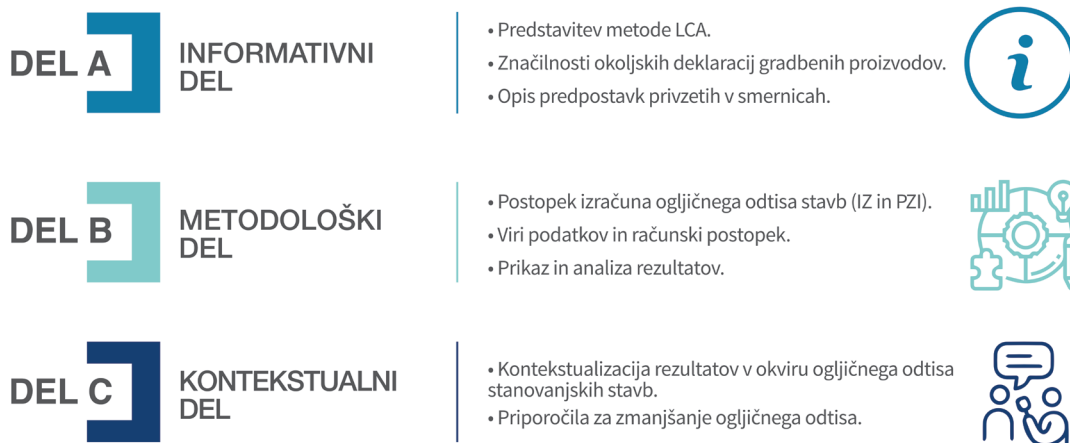
Vsebinska poglavja smernic SSS lahko razdelimo na tri dele, kot je prikazano na sliki 1.

2.3 Smernice SSS – del A

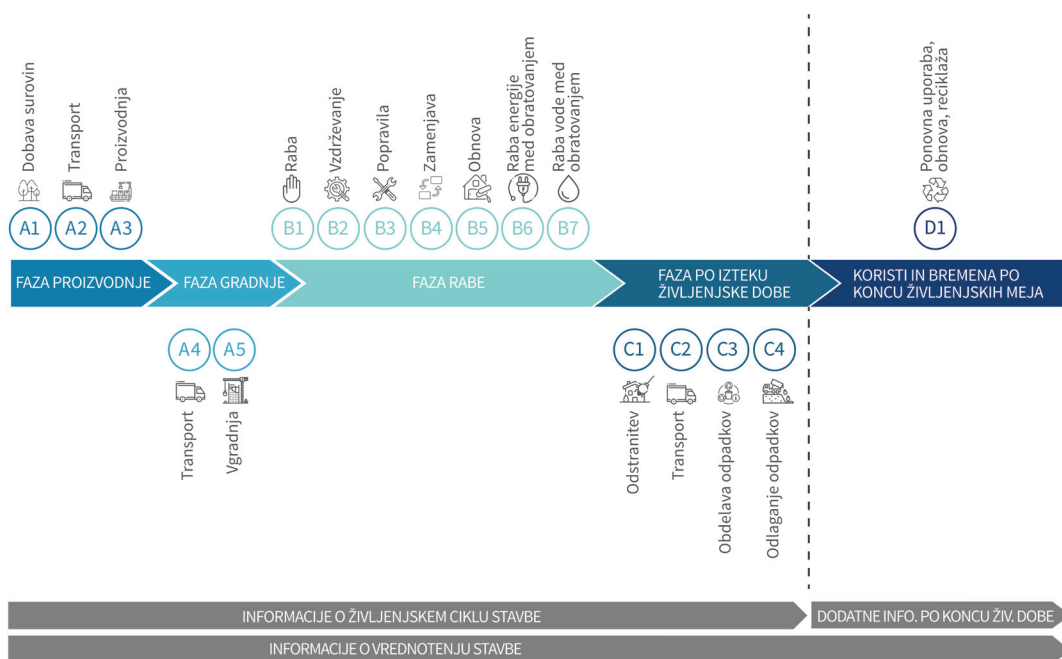
V delu A sta predstavljena metoda LCA ter način, kako rezultati LCA analiz prikazujejo okoljski vpliv. Poleg tega je bolj podrobno obrazložen koncept uporabe metode LCA za vrednotenje okoljskega vpliva stavb. Za implementacijo LCA na nivoju stavb je v skladu z razvitimi shemami in standardi predviden prilagojen pristop, ki ne zahteva poglobljenega razumevanja metode LCA, ampak upoštevanje osnov, ki omogočajo ustrezno rabo LCA podatkov. Tako se lahko LCA razumeva kot orodje, s katerim določamo učinkovitostne kazalnike (ang. *performance indicators*) stavb, ki odražajo vpliv stavbe na okolje. V delu A so opisane tudi bistvene predpostavke, privzete pri pristopu vrednotenja ogljičnega odtisa projektov SSS, ki je predstavljen v delu B. Predpostavke so argumentirane z relevantnimi dognanji iz znanstvene in strokovne literature. V podpoglavjih 2.3.1 in 2.3.2 so povzete ključne točke dela A, ki omogočajo razumevanje konteksta smernic ter tudi spoznavanje z določenimi metodološkimi značilnostmi LCA-analiz stavb.

2.3.1 LCA stavb in EPD-ji

Stavbe so kompleksni sistemi, sestavljeni iz množice gradbenih proizvodov. Njihov življenjski cikel je sestavljen iz različnih faz, ki zajemajo procese od ekstrakcije surovin do odstranitve objekta. Faze življenjskega cikla stavb smo v smernicah opisali v skladu s standardom SIST EN 15978 [SIST EN 15978, 2011]. Ta temelji na modularni razdelitvi, kjer fazo proizvodnje opisujejo moduli A1, A2 in A3, fazo gradnje modula A4 in A5, fazo rabe moduli B1–B7 ter fazo po izteku življenjske dobe moduli C1–C4 (slika 2). Dodatne informacije po koncu življenjske dobe stavb so v skladu z omenjenim standardom predstavljene kot koristi (npr. reciklaža gradbenih materialov ali ponovna uporaba gradbenih komponent) in/ali bremena (npr. skladiščenje in predelava strupenih snovi) v modulu D. Uporabna je delitev okoljskega odtisa stavb na utelešeni in operativni del. Prvi zajema vse module, razen B6 in B7, ki zajemata rabo energije in vode med obratovanjem in tvorita operativni okoljski odtis ([Andersen, 2023], [Röck, 2022]).



Slika 1. Smernice SSS so razdeljene na tri vsebinske sklope A, B in C (vir: [Košir, 2024]).



Slika 2. Razdelitev faz življenjskega cikla stavb po standardu SIST EN 15978 (vir: [Košir, 2024]).

V skladu z relevantnimi standardi za ocenjevanje okoljskega vpliva stavb (SIST EN 15978, ISO 21931-1) se okoljski vpliv stavb v njihovi življenjski dobi ocenjuje s pomočjo že izračunanih LCA-podatkov njihovih podelementov. To je smiselno, saj so stavbe sestavljene iz množice gradbenih proizvodov. Zato so baze LCA-podatkov gradbenih proizvodov ključen element za računanje vseživljenjskega okoljskega vpliva stavb. Pri tem pomembno vlogo igrajo EPD-ji (okoljske deklaracije proizvodov), ki smo jih v smernicah nekoliko podrobneje opisali.

EPD je dokument, ki komunicira rezultate LCA-analiz za določen proizvod (izdelek) [Grahl, 2007]. Glede na določila standarda SIST EN ISO 14025, EPD-ji spadajo med okoljske deklaracije tipa III [SIST EN ISO 14025, 2010]. Za gradbene proizvode so njihova struktura, pravila izdelave in uporabe določeni v skupnih pravilih za kategorije proizvodov (PCR, ang. *product category rules*), ki so določena v standardu SIST EN 15804. Izdelujejo jih operaterji, ki so javni ali zasebni organi za izdelavo okoljskih deklaracij tipa III. Zaradi želje po večji harmonizaciji in skladnosti EPD-jev za gradbene proizvode je bila ustanovljena iniciativa ECO Platform [ECO Platform, 2019]. Namen platforme je zagotavljanje kakovostnih EPD-jev za gradbene proizvode. Član iniciative ECO Platform je tudi eden izmed slovenskih operaterjev, in sicer Zavod za gradbeništvo Slovenije (ZAG) [ZAG, 2024]. Na spletni strani ECO Platform so EPD-ji njenih članic prosto dostopni splošni javnosti [ECO Portal, 2025], prav tako so EPD-ji dostopni na spletnih straneh operaterjev članov ECO Platform (npr. repozitorij EPD-jev ZAG [ZAG, 2023]).

EPD-ji za gradbene proizvode imajo določeno strukturo in pravila, kako izvajati LCA-analizo. V smernicah smo izpostavili pomen razlikovanja med EPD-ji, izdelanimi v skladu s SIST EN 15804+A1 [SIST EN 15804, 2013] (t. i. prva generacija EPD-jev), ter EPD-ji, izdelanimi po posodobljeni verziji standarda iz leta 2019 [SIST EN 15804, 2019] (t. i. druga generacija EPD-jev). Trenutno smo v tranzicijski fazi, saj so v bazah podatkov EPD-ji

izdelani tako po starejšem kot po novejšem standardu. EPD-ji prve generacije so se izdajali do leta 2022 in bodo v bazah podatkov do leta 2027, saj je njihova veljavnost pet let.

Dve ključni razliki med EPD-ji prve in druge generacije sta vezani na zahteve glede vključitve obveznih modulov življenjskega cikla ter obravnavano število okoljskih kategorij in okoljskih indikatorjev. Minimalni moduli življenjskega cikla (t. i. meje sistema), ki morajo biti upoštevani pri prvi generaciji EPD-jev so A1 do A3 oz. »od zibelke do vrat« (faza proizvodnje), medtem ko morajo EPD-ji druge generacije vsebovati tudi module faz C in D (glej sliko 2). Še izrazitejša razlika je pri prikazovanju rezultatov LCA-analiz, ki je povezana z zahtevami glede indikatorjev, ki opisujejo okoljski vpliv. Tako EPD-ji prve generacije vsebujejo sedem okoljskih indikatorjev, medtem ko je pri drugi generaciji vključenih 13 osrednjih ter šest dodatnih indikatorjev. Slednja sprememba je pomembna tudi za smernice SSS, saj je med generacijama EPD-jev prišlo do pomembne razlike pri kategoriji, ki opredeljuje vpliv na segrevanje ozračja. V EPD-jih prve generacije je bil vpliv na segrevanje ozračja izražen z enim okoljskim parametrom – GWP. V EPD-jih druge generacije pa je izražen s štirimi parametri; GWP_{skupni}, GWP_{fosilni}, GWP_{biogeni} in GWP_{taluc} (za razlago glej poglavje 2.3.2.2). Opisane metodološke razlike poudarjajo pomen ločevanja EPD-jev prve in druge generacije, saj slednje vpliva na obseg sistema ter rezultate LCA-izračunov.

Uporabo EPD-jev ter upoštevanje načel standarda SIST EN 15978 v svojih predpisih in metodologijah za računanje toplogrednih emisij stavb predvidevajo številne države EU (npr. Francija, Danska, Nemčija itd.) [One Click LCA, 2022]. To v okviru kazalnika 1.2 »Potencial za globalno segrevanje v življenjskem ciklu (GWP)« predvideva tudi vseevropski okvir za vrednotenje trajnosti stavb Level(s) [Dod, 2021], ki je prenesen tudi v predlog slovenskih kazalnikov trajnostne gradnje (kTG) [kTG, 2023]. Enak pristop predvideva tudi prenovljena direktiva EPBD pri dokazovanju skladnosti z zahtevami za brezemisijske

stavbe [EPBD, 2024]. Število EPD-jev za gradbene proizvode se neprestano povečuje. V času pisanja članka je bilo v bazi ECO Portal [ECO Portal, 2025] več kot 20000 EPD-jev, od katerih je bilo okvirno 16000 dokumentov druge generacije in okvirno 4000 dokumentov prve generacije EPD-jev.

2.3.2 Obseg sistema - kaj je vključeno v izračun ogljičnega odtisa in kaj izvzeto?

Pomemben element vsake LCA-analize je natančno definiranje, kaj vse je vključeno v izračune. Določanje obsega sistema je lahko pogojeno tudi s cilji izračunov (npr. primerjava glede na mejne vrednosti ogljičnega odtisa) [Božiček, 2023]. Metoda LCA-izračunov za namen smernic SSS je bila zasnovana za

večplasten namen. Prvič, morala je biti dovolj enostavna, da se lahko vključi že v idejni fazi projektov, za namen arhitekturnih natečajev. Drugič, rezultati so morali biti v obliki, ki omogoča učinkovito interpretacijo, ter imeti primerno informacijsko vrednost. In tretjič, poenostavitve in predpostavke so morale biti utemeljene in usklajene s trenutnim stanjem razvoja in razumevanjem področja.

Ključne metodološke predpostavke v smernicah so:

- Osredotočamo se izključno na fazo proizvodnje materialov ter rabo energije za obratovanje (glej poglavje 2.3.2.1).
- Ogljični odtis stavb prikazujemo z več kazalniki, tako da ločeno prikazujemo vsebnost biogenega ogljika v stavbi (glej poglavje 2.3.2.2).

MEJE SISTEMA (upoštevane faze življenjskega cikla po SIST EN 15978 [16])		• A1–A3 (faza proizvodnje) • B6 (raba energije za obratovanje) – referenčna računsko doba 50 let
OKOLJSKI INDIKATORJI		• GWP_{skupni} [kg CO₂ eq.] • GWP_{biogeni} [kg CO₂ eq.] • GWP_{fosilni} [kg CO₂ eq.]
FUNKCIONALNA ENOTA	Opis	• Večstanovanjska stavba znotraj gabarita zazidane površine ter objekti (površine) namenjene parkiranju osebnih avtomobilov. • Če je stavb več, je treba vsako stavbo obravnavati ločeno in tudi kot celoten projekt skupaj (npr. stanovanjska soseska).
	Vključeno	Nadzemni in podzemni del posameznega stanovanjskega objekta, vključno s/z: • temelji, • piloti, • tlemi na, pod ali nad terenom, • nosilno konstrukcijo (vertikalna in horizontalna, nadzemna in podzemna), • notranjimi nenosilnimi predelnimi stenami, • toplotno izolacijskimi materiali, • zvočno izolacijskimi materiali, • hidroizolacijskimi materiali, • estrihi in podložnim betonom, • konstrukcijskimi ploščami predelnih in zunanjih sten, • zasteklitvijo. Objekti in površine namenjene parkiranju osebnih avtomobilov: • garažna hiša, • zunanja asfaltirana parkirišča.
	Izključeno	• Jaški, • svetlobne kupole in cevasti svetlobniki, • sloji ozelenjene strehe (substrat, ločilni/drenažni/zaščitni sloj), • okenski okvirji, • vrata (zunanja in notranja), • nadstreški, • ograje, • inštalacije (elektro, strojne, vodovodne), • tehnični sistemi, • opleski • obrobe, • klančine ter ureditev zunanje okolice, • finalne talne obloge (tlak), razen v primeru uporabe betonskega finalnega tlaka, • stopnice in pripadajoči elementi (ograje, finalne obloge), • zaščitne in ločilne folije, • nasutja/tamponi (drobljenec, gramoz, pesek, prodec itd.).

Slika 3. Predviden obseg sistema za oceno ogljičnega odtisa večstanovanjskih stavb (vir: [Košir, 2024]).

- V analizo vključimo tiste dele stavbe oz. stavbnih elementov, ki bistveno prispevajo k okoljskemu vplivu, druge izločimo oz. zanemarimo (glej poglavje 2.3.2.3).

Cilj navedenih predpostavk je v največji meri zagotoviti reprezentativnost izračunanih rezultatov in hkrati v najmanjši meri obremenjevati projektante (oz. izvajalce LCA-izračunov), ki potencialno nimajo izkušenj z metodo LCA. Posledice opisanih predpostavk in zastavljenega obsega sistema so v smernicah utemeljene v ločenih podpoglavjih. Slika 3 prikazuje povzetek obsega sistema, predvidenega v smernicah SSS. V nadaljevanju sledi kratka argumentacija ključnih predpostavk v smernicah SSS.

2.3.2.1 Določitev meja sistema (upoštevanih modulov življenjskega cikla)

V analizah smo se omejili na utelešeni ogljični odtis faze proizvodnje (moduli A1, A2 in A3) ter operativni ogljični odtis zaradi rabe energije za obratovanje (modul B6). Omejevanje utelešenega ogljičnega odtisa na fazo proizvodnje omogoča vključevanje EPD-jev prve in druge generacije v LCA-izračune. Če bi želeli vključiti utelešeni odtis modulov v fazi B in C, bi to pomenilo, da v izračunih ne bi mogli upoštevati EPD-jev prve generacije, saj so pogosto vsebovali le podatke za fazo proizvodnje, kar je bil minimalne kriterij po takrat veljavnemu standardu EN 15804+A1. Ker želimo s pomočjo smernic spodbujati uporabo EPD-jev, hkrati pa za kontekst Slovenije primanjkuje LCA-podatkov za materiale, smo se odločili, da utelešeni okoljski odtis omejimo na fazo proizvodnje. Posledica te omejitve je manj celovita obravnava utelešenega okoljskega odtisa v stavbah v primerjavi s priporočili Level(s) sheme (glej poglavje 3). Poenostavitvi navkljub pa lahko omejevanje na module A1-A3 in B6 utemeljimo na osnovi rezultatov raziskav, ki fazo proizvodnje materialov in rabo energije za obratovanje prikazujejo kot dominantni fazi, ki prispevata glavnino okoljskega vpliva v življenjski dobi stavbe. Ta značilnost je bila prikazana pri študijah različnih stanovanjskih stavb, kjer lahko prispevek omenjenih faz ocenimo na 60–80 % vseživljenjskega okoljskega vpliva ([Blengini, 2010], [Islam, 2014], [Kovacic, 2018], [Monteiro, 2012], [Stephan, 2013], [Thormark, 2002]). Poleg tega je študija Röck et al. [Röck, 2020] slikovito prikazala, da odtis proizvodnje (A1-A3) novogradenj prispeva bistveni delež v časovnem okviru za učinkovito ukrepanje proti podnebnim spremembam, torej do leta 2050. Pri novih energijsko učinkovitih stavbah lahko pričakujemo, da bo do leta 2050 utelešeni ogljični odtis proizvodnje predstavljal glavnino vseživljenjskega ogljičnega odtisa. To postane še bolj izrazito, če se upošteva progresivno razogljčenje proizvodnje energije za delovanje stavb [Röck, 2020].

2.3.2.2 Okoljski indikatorji za prikazovanje ogljičnega odtisa stavb

Kot metrike za prikaz ogljičnega odtisa stavb so v smernicah SSS uporabljeni trije ločeni kazalniki:

- $GWP_{biogeni}$ [kg CO₂ eq.] –količina vezanega ogljikovega dioksida iz atmosfere v biomaso gradbenega proizvoda (npr. proizvodi na osnovi lesa, slame, konoplje itd.). Indikator se v smernicah izraža za fazo proizvodnje gradbenih proizvodov (A1-A3).

- $GWP_{fossilni}$ [kg CO₂ eq.] –potencial segrevanja ozračja zaradi toplogrednih emisij v ozračje. Indikator se v smernicah izraža za fazo proizvodnje (A1-A3) ter fazo obratovanja (B6).
- GWP_{skupni} [kg CO₂ eq.] –potencial segrevanja ozračja, pri čemer se biogeni ogljik upošteva po pristopu -1/+1. Indikator se v smernicah izraža za fazo proizvodnje (A1-A3) ter fazo obratovanja (B6).

Z uporabo treh kazalnikov GWP smo se približali konceptu prikazovanja ogljičnega odtisa v drugi generaciji EPD-jev, ki pa poleg omenjenih treh vključuje še četrti kazalnik, GWP_{luluc} . Ta prikazuje količino toplogrednih emisij, sproščenih v ozračje kot posledica rabe oz. spremembe rabe tal (kratica »luluc« iz izraza »land use and land use change«). Ker je za običajne gradbene proizvode prispevek GWP_{luluc} majhen (na osnovi pregleda LCA-podatkov običajnih gradbenih proizvodov lahko prispevek ocenimo na manj kot 1 %), smo ga v smernicah zanemarili. Tudi standard SIST EN 15804+A2 navaja, da lahko GWP_{luluc} zanemarimo, kadar prispevek k GWP_{skupni} ne presega deleža 5 % [SIST EN 15804, 2019]. Uporaba omenjenih kazalnikov omogoča uporabo EPD-jev prve in druge generacije. Je pa za EPD-je prve generacije pri biogenih materialih potreben dodaten izračun kazalnika $GWP_{biogeni}$. V smernicah smo podali navodila za izračun kazalnika $GWP_{biogeni}$ lesenih gradbenih proizvodov (izračun v skladu s standardom SIST EN 16449 [SIST EN 16440, 2014]). Biogeni materiali so materiali, ki vsebujejo biogeni ogljik, ki se z mehanizmom fotosinteze veže v trdne organske spojine (npr. proizvodi iz lesa, konoplje, slame itd.). S pomočjo deleža ogljika v biomaso lahko izračunamo količino odstranjenega atmosferskega ogljikovega dioksida (CO₂).

Kazalniki GWP so med sabo povezani, saj je GWP_{skupni} na nivoju proizvoda seštevek preostalih kazalnikov. V prilogi smernic SSS (priloga B, preglednica B1) so podani LCA-podatki za fazo proizvodnje (moduli A1-A3) pogosto uporabljenih skupin gradbenih proizvodov. Za vsak proizvod so podani deklarirana enota, ključne količinske lastnosti (toplotna prevodnost, gostota, površinska masa, debelina) ter ogljični odtis, izražen z vrednostmi GWP_{skupni} , $GWP_{biogeni}$ in $GWP_{fossilni}$. Indikatorji GWP iz preglednice B1 so med sabo povezani z enačbo 1.

$$GWP_{skupni} = GWP_{biogeni} + GWP_{fossilni}; GWP_{biogeni} \leq 0, GWP_{fossilni} > 0 \quad (1)$$

V fazi obratovanja smernice ne ločujejo med viri emisij (biogeni/fossilni). Posledično se za operativni ogljični odtis faze B6 rezultate prikazuje le s kazalnikom $GWP_{fossilni}$.

Uporaba ločenega prikaza prispevka biogenega ogljika oz. vezave atmosferskega CO₂ sledi priporočilom delovne skupine Aneksa 72 Mednarodne agencije za energijo (IEA), ki priporočajo, da se kazalnika $GWP_{biogeni}$ in $GWP_{fossilni}$ prikazujeta ločeno, kot alternativa, če LCA-študija ne vključuje tudi faze po izteku življenjske dobe (faza C na sliki 2) [Saade, 2023]. V LCA-izračunih za biogene materiale lahko biogeni ogljik upoštevamo na različne načine. V splošnem ločimo dva stacionarna pristopa (-1/+1 in 0/0) in dinamične pristope, ki sledijo naravnemu ciklu ogljičnih tokov [Hoxha, 2020]. Po pristopu upoštevavanja biogenega ogljika -1/+1 se vezani atmosferski CO₂ v biomaso vgrajenih proizvodov upošteva kot ponor za fazo A, medtem ko se za fazo C upošteva, da se vezani atmosferski CO₂ po koncu življenjske dobe sprosti v ozračje. Po pristopu 0/0 pa se skladiščenje atmosferskega CO₂ v biomaso ne upošteva v izračunih, torej se v sklopu faze A prikazuje le učinek sporočenih

toplogrednih emisij v ozračje. Trenutno ni dosežen konsenz, kateri način upoštevanja biogenega ogljika je najbolj ustrezen in primeren za LCA-analize stavb (oz. grajenega okolja). Lahko pa pristop upoštevanja biogenega ogljika pomembno vpliva na rezultate izračunov, če te prikazujemo z enim kazalnikom ([Hoxha, 2020], [Ouellet-Plamondon, 2023]). Posledično je smiselno, da se ogljični odtis prikazuje z ločenimi kazalniki, saj na ta način pridobimo pri transparentnosti in informativni vrednosti. Čeprav so rezultati nekoliko kompleksnejši, kot bi bili v primeru enega kazalnika, z ločenim prikazovanjem dobimo informacijo, koliko atmosferskega CO₂ je vezanega v stavbi in kolikšen je učinek toplogrednih plinov, sproščenih v ozračje.

2.3.2.3 Določitev funkcionalne enote in zahtevan nivo natančnosti

Smernice za nizkoozgljične stavbe SSS so osredotočene tudi na fazo IDZ, ko veliko podatkov še ni na voljo. Temu je prilagojen tudi zahtevani nivo natančnosti izračuna. Na sliki 3 je opisana funkcionalna enota, kjer so navedeni tudi elementi stavbe, ki jih je treba vključiti v izračun ocene ogljičnega odtisa predlagane projektne rešitve. V izračune smo vključili stavbne elemente, ki prispevajo bistveno h količinam (volumen in masa). Izločeni pa so elementi, za katere se predpostavi majhen vpliv in/ali za katere je v fazi IDZ o njih premalo informacij (npr. finalne obloge, tehnični stavbni sistemi). Izključeni so tudi elementi, za katere v bazah ni ustreznih podatkov (npr. okenski okvirji in vrata).

Pogosto se večstanovanjske stavbe slovenskih stanovanjskih skladov gradijo v okviru celotnih sosesk (slika 4a). Zaradi tega smo predvideli, da se v primeru soseske ločeno obravnava vsaka stavba (npr. ločeno stavba A in B na sliki 4) ter tudi soseska

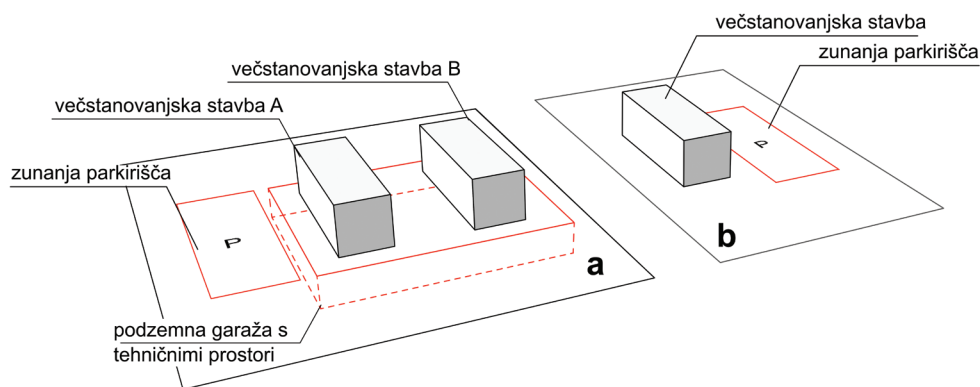
kot celota. Ker so pogost element večstanovanjskih stavb in sosesk tudi objekti in površine, namenjene parkiranju osebnih avtomobilov, kot so garažna hiša, podzemna garaža in zunanja asfaltirana parkirišča (slika 4), in ker ti lahko prispevajo pomemben delež k utelešenemu ogljičnemu odtisu, smo predvidevali, da se tudi tovrstni objekti vključijo v izračun ogljičnega odtisa.

2.4 Smernice SSS – del B

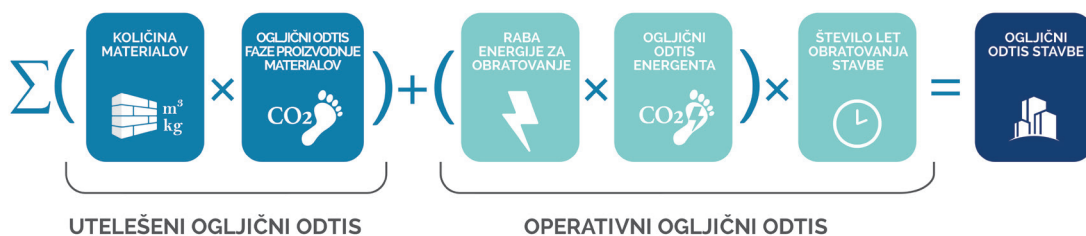
V delu B smernic SSS so predstavljeni metoda izračuna, dodatni podatki o virih LCA-podatkov ter način prikaza in interpretacije rezultatov. Osnovni koncept izračuna ogljičnega odtisa je predstavljen na sliki 5.

Za izračun utelešenega ogljičnega odtisa potrebujemo podatke o količinah in vrstah vgrajenih materialov (gradbenih proizvodov) ter pripadajoče LCA-podatke, ki opisujejo njihov ogljični odtis. Za izračun operativnega ogljičnega odtisa potrebujemo podatke o rabi energije za obratovanje stavbe in podatke o ogljičnem odtisu energentov. V skladu z definiranim obsegom sistema se operativni ogljični odtis računa z upoštevanjem 50-letne referenčne računske dobe (RRD). Za 50-letno obdobje RRD smo se odločili, ker to dobo predvideva tudi vseevropska shema za vrednotenje trajnosti stavb Level(s) in prenovljena direktiva EPBD.

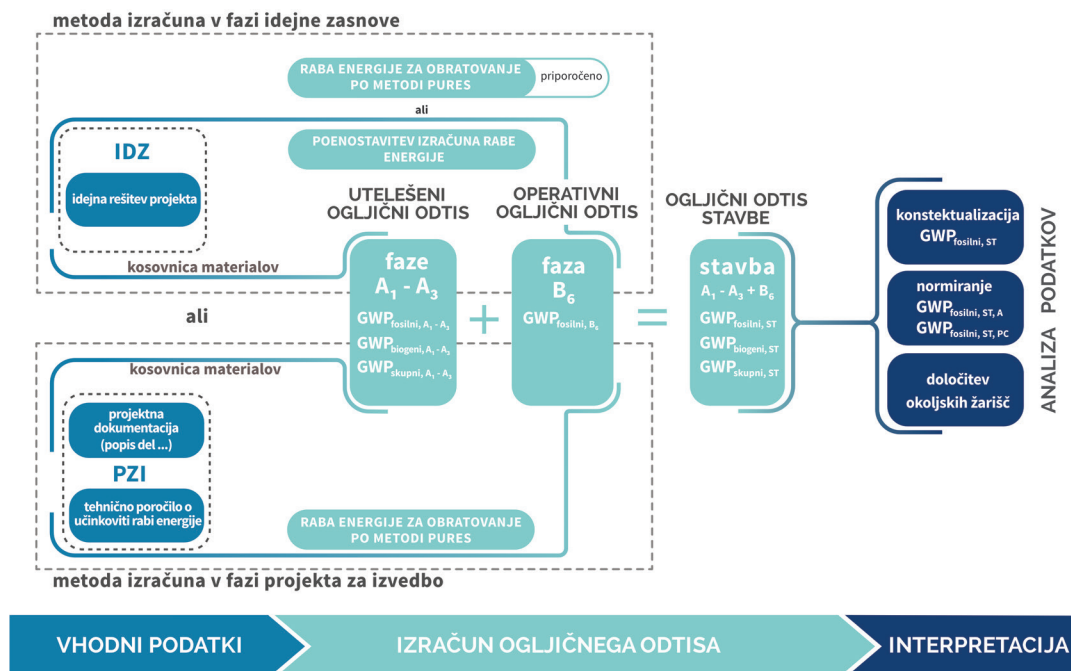
Metodološko se izračun v smernicah deli na dva dela. Prvi obravnava oceno ogljičnega odtisa za fazo načrtovanja IDZ projektov, medtem ko drugi predvideva uporabo smernic v fazi načrtovanja PZI. Okvir in razlike predvidene za posamezno fazo načrtovanja projektov so prikazani na procesnem diagramu na sliki 6.



Slika 4. Prikaz večstanovanjskih stavb s pripadajočimi parkirnimi prostori a) kot soseska s podzemno garažo in zunanjim parkiriščem ob stavbi in b) kot samostojna stavba z zunanjim parkiriščem ob stavbi.



Slika 5. Konceptualna zasnova izračuna ogljičnega odtisa stavb v skladu s smernicami SSS (vir: [Košir, 2024]).



Slika 6. Procesni diagram za določitev ogljičnega odtisa stavbe v fazi načrtovanja IDZ in PZI (vir: [Košir, 2024]). Pomen indeksov $_{ST, A}$ in $_{PC}$ je opredeljen pri opisu slike 8.

Za obe fazi načrtovanja stavb je predviden identičen obseg sistema, kot je določen na sliki 1. Na ta način sta omogočena primerjava rezultatov faze IDZ in PZI in ovrednotenje vpliva načrtovalskih odločitev na ogljični odtis. Za fazo IDZ je značilna precejšnja stopnja neznank glede lastnosti gradbenih proizvodov, ki bodo sestavljali stavbo, kar otežuje oceno ogljičnega odtisa predlagane načrtovalske rešitve. Ne glede na navedeno pa je v tej fazi razvoja projekta mogoče najbolj odločilno vplivati na kasnejšo učinkovitost stavbe s prilagoditvijo arhitekturno-gradbene zasnove in izbiri gradbenih proizvodov. Zato je zgodnja ocena ogljičnega odtisa, čeprav do določene mere nepopolna, zelo dobrodošla, saj omogoča identifikacijo okoljskih žarišč in projektante v nadaljnjih fazah razvoja projekta usmeri v iskanje smiselnih rešitev za zmanjšanje ogljičnega odtisa. Na drugi strani pa odločevalcem (investitorjem) ocena že na začetku projektiranja poda informacijo o okvirnih okoljskih vplivih stavbe, s čimer jim olajša izbiro najprimernejše idejne zasnove (npr. v postopkih natečajnih rešitev). Posledično bo v fazi načrtovanja IDZ ocena o količini in vrsti gradbenih materialov temeljila na zastavljeni geometrični zasnovi stavbe in inženirskih ocenah (npr. v smernicah podamo usmeritve za upoštevan delež armature AB-elementov in debelino toplotne izolacije). V fazi PZI pa lahko podatke o količini in vrsti gradbenih materialov črpamo iz projektne dokumentacije (npr. popisi del). Da bi olajšali izračune utelešenega ogljičnega odtisa je v prilogi B smernic SSS podana preglednica z LCA-podatki za pogoste skupine gradbenih proizvodov. Te podatke priporočamo za fazo IDZ, medtem ko v fazi PZI priporočamo uporabo EPD-jev (slika 5). Ker lahko manjkajo podatki za določene skupine gradbenih proizvodov, smo kot dopolnilni vir LCA-podatkov v smernicah predvideli nemško bazo Ökobaumat [ÖKOBAUDAT, 2023].

Raba energije za obratovanje (B₆) v skladu s standardom SIST EN 15978 zajema energijo tehničnih sistemov za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje, razsvetljavo, kondicioniranje zraka in pripravo tople sanitarne vode. V izračunih rabe energije se upošteva kondicionirani del stanovanjske stavbe. Energija za obratovanje stavbe se določi glede na metodologijo izračuna po Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES) [PURES, 2022]. Ta pristop je smiseln za fazo načrtovanja PZI, medtem ko je ta pristop za fazo IDZ lahko neizvedljiv, saj je stopnja neznank o delovanju stavbe večja. Posledično smo za fazo načrtovanja IDZ za določitev rabe energije za obratovanje predvideli dva poenostavljena postopka. Prvi omeji izračun na energijo za ogrevanje in hlajenje, pri čemer se lahko uporabi poljubna metoda izračuna (npr. stacionarno modeliranje za energijsko manj zahtevne stavbe po PURES). Druga poenostavitev pa temelji le na oceni specifične potrebne toplote za ogrevanje glede na zgornje meje energijskega razreda, v katerega je uvrščen projekt po Pravilniku o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb [Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb, 2023]. Tehnični sistemi se po obeh postopkih upoštevajo poenostavljeno preko faktorjev učinkovitosti delovanja, ki so navedeni v smernicah SSS.

Poseben poudarek smo namenili interpretaciji rezultatov. Cilj je bilo predpisati interpretacijo rezultatov, ki bo ponudila zadovoljivo informacijsko vrednost ter omogočila identifikacijo okoljskih žarišč in primerjavo med različnih projekti. Izračunani rezultati analize ogljičnega odtisa stavbe ali soseske se prikažejo na obrazcu iz priloge A smernic SSS (slika 7).

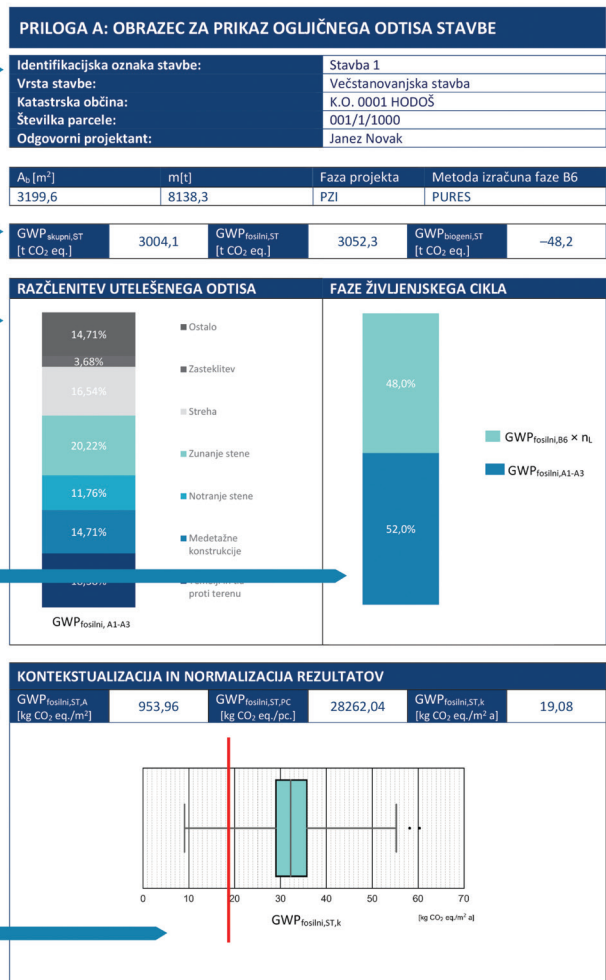
1 Izpolni se polja o osnovnih podatkih obravnavane stavbe/soseske in odgovornem projektantu.

2 Izpolnijo se informacije o bruto površini stavbe, masi stavbe, identificira se faza projekta (IDZ, PZI) ter se navede metoda izračuna faze B6. Podajo se vrednosti GWP v t CO₂ eq.

3 Z desnim klikom v območju grafikona se prikaže kontekstni meni, iz katerega izberete "uredi podatke v Excelu" (ang. "edit data in Excel"). S klikom se odpre Excel pogovorno okno, kjer izpolnite zahtevane podatke. Polja, ki jih je potrebno izpolniti, so označena rdeče. Polj označenih s sivo barvo se ne spreminja.

5 Izpolni se vrednosti za GWP_{fossilni,ST,A}, GWP_{fossilni,ST,PC} in GWP_{fossilni,ST,k}.

6 S klikom na in premikom rdeče črte na primerno mesto v grafikonu označite vrednost GWP_{fossilni,ST,k}.



Slika 7. Obrazec iz priloge A je namenjen prikazovanju rezultatov izračunov ogljičnega odtisa (vir: [Košir, 2024]).

Na obrazcu iz priloge A smernic SSS se prikažejo sledeči podatki:

- Podatke o stavbi ali soseski in projektantu (identifikacijska oznaka stavbe/soseske, vrsta stavbe, katastrska občina, številka parcele in odgovorni projektant).
- Informacije o bruto površini stavbe (A_b) in skupni masi stavbe (m).
- Informacije o obravnavani fazi projekta (IDZ ali PZI) ter o metodi izračuna za določitev GWP_{fossilni,B6} (Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah – PURES, Poenostavitev 1 ali Poenostavitev 2).
- Rezultate ocene ogljičnega odtisa stavbe oz. soseske za faze življenjskega cikla A1-A3 in B6 za RRD 50 let. Rezultati se prikažejo na enoto t CO₂ eq. (ton CO₂ ekvivalenta).

Poleg navedenih rezultatov se ogljični odtis stavbe ali soseske dodatno interpretira skozi določitev sledečih parametrov:

- Določitev okoljskih žarišč glede na parameter GWP_{fossilni}:
 - prikaz razmerja med fazami življenjskega cikla A1-A3 in B6 za RRD 50 let,
 - razčlenitev utelešenega ogljičnega odtisa na posamezne skupine konstrukcijskih sklopov celotne stavbe ali soseske.

- Normirane vrednosti GWP_{fossilni} glede na bruto površino stavbe (A_b) ali soseske ter na projektirano število uporabnikov (p_{pc}).
- Kontekstualizacija rezultatov v okviru evropskih večstanovanjskih stavb (glej poglavje 2.5).
- Opombe, kjer se navedejo bistvene predpostavke, privzete pri izračunu ogljičnega odtisa stavb, ter viri LCA-informacij gradbenih proizvodov (priloga B ali EPD-ji). Pri uporabi EPD-jev je treba navesti, kateri so bili uporabljeni.

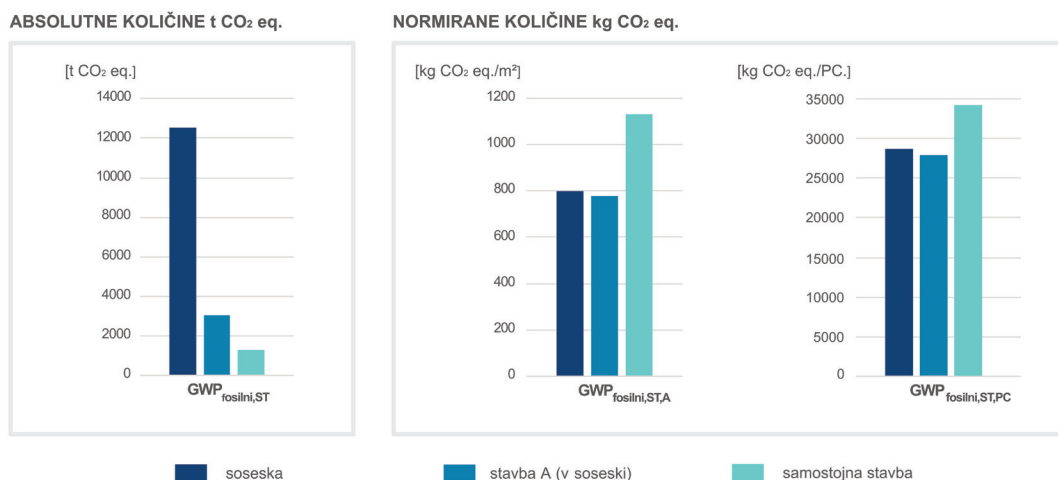
Kot posledica identifikacije okoljskih žarišč na nivoju utelešenega okoljskega odtisa (točka 3 na sliki 7) se ogljični odtis računa za celotno stavbo ter za posamezne konstrukcijske sklope. V kontekstu smernic SSS so konstrukcijski skopi definirani kot: (i) temelji in tla proti terenu, (ii) medetažne konstrukcije, (iii) notranje stene, (iv) zunanje stene (v), streha, (vi) zasteklitev in (vii) ostalo. Pod kategorijo ostalo spadajo garažne hiše in zunanja parkirišča. Za vsako od naštetih kategorij konstrukcijskih sklopov so v smernicah podani podrobnejši opisi (preglednica 3 v smernicah SSS).

Izračunane vrednosti na nivoju stavb ali soseske sporočajo skupen ogljični odtis projekta, ne podajo pa informacij o okoljskih žariščih in ne omogočajo primerjave med različnimi projekti.

Zaradi tega se v obrazcu prikazujejo tudi okoljska žarišča (točki 3 in 4 na sliki 7) in normirani rezultati (točka 5 na sliki 7). Normirane količine lahko služijo za primerjavo med različnimi projekti večstanovanjskih stavb, ki se med sabo razlikujejo (slika 8). Tako je omogočena primerjava med različnimi projektnimi rešitvami znotraj istega projekta kot tudi primerjava med različnimi projekti, ki predstavljajo stanovanjske soseske ali posamezne večstanovanjske stavbe. Na primeru ogljičnega odtisa soseske, stavbe v soseski in samostojne stavbe je potreba po normalizaciji rezultatov v fazi interpretacije prikazana na sliki 8. Za potrebe smernic smo za normalizacijsko osnovo izbrali bruto tlorisno površino Ab ($GWP_{fossilni,ST,A}$) in predvideno število stanovančev v večstanovanjski stavbi ($GWP_{fossilni,ST,PC}$). Bruto tlorisna površina Ab predstavlja površino, kot je določena po projektu, in ne vključuje površin, namenjenih parkiranju avtomobilov. S prikazovanjem normaliziranih rezultatov izboljšamo informativno vrednost rezultatov in omogočamo primerjavo med projekti.

lotno sosesko) prikažejo glede na vrednosti grafikona kvartilov, ki prikazuje razpon vrednosti večstanovanjskih stavb iz repozitorija EU ECB-DB. Podatki se primerjajo glede na vrednosti $GWP_{fossilni,ST,K}$, ki predstavljajo rezultate $GWP_{fossilni}$, normirane na bruto površino in referenčno računsko dobo [$kg\ CO_2\ eq/(m^2a)$].

Na koncu smernic so v delu C dodana priporočila za zmanjševanje utelešenega ogljičnega odtisa stavb. Splošna priporočila so podana z zavedanjem, da je zmanjševanje ogljičnega odtisa stavb, predvsem utelešenega ogljičnega odtisa, kompleksna naloga, ki zahteva temeljit premislek o lokaciji gradnje kot tudi o načrtovalskih rešitvah in izbranih gradbenih proizvodih. Študije dokazujejo, da ni enotnega pristopa za zmanjševanje ogljičnega odtisa stavb, ampak je potreben skupek strategij, ki vključujejo tako odločevalce (investitorje) kot projektante [Le Den, 2022]. V grobem lahko strategije za zmanjševanje utelešenega ogljičnega odtisa delimo v tri skupine, in sicer na izogibanje, izboljšavo (optimizacija) in zamenjavo [Röck, 2023] (slika 9).



Slika 8. Prikaz $GWP_{fossilni}$ za sosesko, stavbo A kot del soseske (glej sliko 4) in samostojne stavbe. $GWP_{fossilni,ST}$ (fossilni del utelešenega in operativnega GWP na nivoju stavbe oz. soseske) se v obrazcu iz priloge A smernic SSS (glej sliko 7) navaja pod točko 2, $GWP_{fossilni,ST,A}$ (normiranje na bruto površino stavbe ali soseske) in $GWP_{fossilni,ST,PC}$ (normiranje na projektirano število uporabnikov – per capita) pa se v obrazcu navaja pod točko 5.

2.5 Smernice SSS – del C

Zadnji del smernic je namenjen kontekstualizaciji rezultatov in podajanju splošnih priporočil za nižanje ogljičnega odtisa.

Brez kontekstualizacije rezultatov in primerjave z referenčnimi vrednostmi izračunan ogljični odtis ne omogoča ocene uspešnosti zasnove zunaj računskega okvira stavbe. Zaradi tega je primerjava z mejnimi vrednostmi ali referenčnimi vrednostmi podobnih tipov stavb zelo priročen pripomoček, ki doda informacijsko vrednost k izračunu ogljičnega odtisa.

Trenutno ne obstajajo določene mejne vrednosti za ogljični odtis stavb, ki bi jih lahko nekritično uporabili za večstanovanjske stavbe v Sloveniji. Posledično kontekstualizacija v smernicah temelji na primerjavi z ogljičnim odtisom večstanovanjskih stavb, zgrajenih v Evropi. Uporabljeni so podatki iz javno dostopnega repozitorija EU-ECB-DB (Röck, 2023). Kontekstualizacija se prikaže na obrazcu priloge A v točki 6 smernic SSS (slika 7), pri čemer se rezultati za obravnavano stavbo (ali ce-

Skupaj je podanih osem priporočil za nižanje utelešenega okoljskega dotisa večstanovanjskih stavb, ki temeljijo na različnih strategijah zmanjševanja utelešenega ogljičnega odtisa. Priporočila so:

1. Načrtovanje za dolge življenjske dobe.
2. Izogibanje gradnji na lokacijah, ki potrebujejo globoko temeljenje.
3. Izogibanje gradnje podzemnih delov stavbe.
4. Optimizacija zasnove nosilne konstrukcije z gledišča nosilnega sistema in materiala.
5. Optimizacija horizontalnih nosilnih sistemov.
6. Optimizacija oblike stavbe.
7. Izbor gradbenih proizvodov z nižjim ogljičnim odtisom in ekvivalentnimi učinkovitostnimi lastnostmi.
8. Optimizacija števila parkirišč v garažnih hišah.

Za vsako od priporočil je v smernicah SSS podan podrobnejši opis (preglednica 6 v smernicah SSS).

STRATEGIJA	ZNAČILNOSTI	DELEŽNIKI	SYMBOL
Izogibanje	Strategija temelji na pristopu zmanjševanja potreb po proizvodnji in rabi gradbenih proizvodov in stavb. Pri uporabi te strategije za zmanjševanje ogljičnega odtisa so ključni odločevalci, saj z definicijo zahtev in izhodišč vplivajo na to kaj, koliko in kje se bo gradilo.	odločevalci	
Izboljšava	Strategija se nanaša na konceptualne in strateške načrtovalske odločitve, s katerimi se zadosti s strani odločevalcev definiranim projektnim zahtevam ter sočasno zmanjša ogljični odtis stavbe. Predvideni so ukrepi na nivoju arhitekturne in gradbene zasnove stavbe, tehnologije gradnje, oblike stavbe itd., zato so za izvedbo strategije izboljšave ključni načrtovalci.	načrtovalci (odločevalci)	
Zamenjava	Strategija predvideva zamenjavo gradbenih proizvodov s takšnimi z nižjim ogljičnim odtisom, a primerljivim delovanjem. Z zamenjavo se doseže zniževanje ogljičnega odtisa stavbe, pri tem pa se ne posega v njeno zasnovo.	načrtovalci	

Slika 9. Strategije za zmanjševanje utelešenega ogljičnega odtisa stavb (vir: [Košir, 2024]).

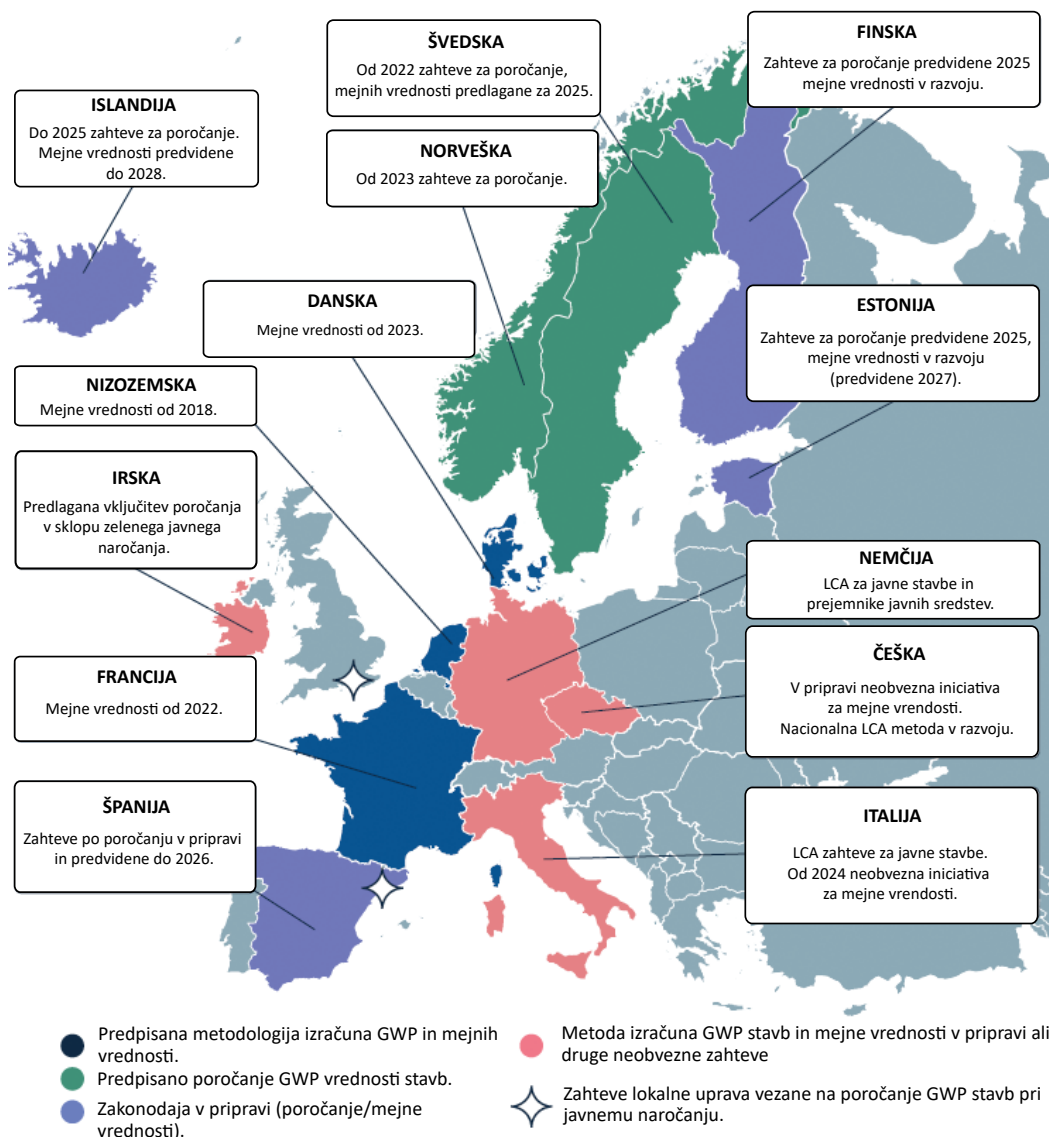
3 PRIMERJAVA METODOLOGIJE SMERNIC SSS Z DOLOČILI V DRUGIH DRŽAVAH

Nekatere države v Evropi imajo že zakonsko osnovo za poročanje vseživljenjskega ogljičnega odtisa stavb, medtem ko je v številnih drugih ta v pripravi (slika 10). Vodilne so Nizozemska, Francija in Danska, ki imajo predpisano metodologijo kot tudi določene mejne vrednosti. Proaktivne so tudi druge nordijske države (Švedska, Norveška), Estonija in Španija, ki imajo že sprejete zahteve za poročanje oz. načrtujejo njihovo implementacijo še pred roki, ki jih zahteva nova direktiva EPBD [EPBD, 2024]. Poleg poudarka na energijski učinkovitosti stavb nova direktiva EPBD zahteva tudi poročanje o vseživljenjskem ogljičnem odtisu. V členu 7.2 navaja, da bodo od 1. 1. 2028 izračuni GWP prikazani v energetski izkaznici novih stavb z uporabno tlorisno površino, večjo od 1000 m², in od 1. 1. 2030 pri vseh novih stavbah. Dodatno od držav članic zahteva uvedbo mejnih vrednosti ogljičnega odtisa, za katerega morajo do 1. 1. 2027 priložiti časovni načrt (člen 7.5). Pri metodologiji za izračun GWP se EPBD sklicuje na standard SIST EN 15978 in indikator 1.2 okvira Level(s). V skladu z določili priloge III je po EPBD omogočena tudi uporaba nacionalnih metod ali drugih orodij, ki izpolnjujejo minimalna merila, določena v okviru Level(s). Do 31. 12. 2025 bo sprejet tudi delegirani akt, ki bo podal minimalen okvir Unije za nacionalni izračun GWP. Iz tega vidika je smiselno primerjati metodološka izhodišča smernice SSS z nacionalnimi metodami drugih držav ter tudi z okvirom sheme Level(s).

Preglednica 1 prikazuje metodološka izhodišča za določanje vseživljenjskega ogljičnega odtisa, ki ga pri izračunih GWP zahtevajo različne nacionalne metode (Francija, Nizozemska, Danska, Finska, Islandija, Norveška, Švedska), okvir Level(s) in predhodno opisana smernica SSS. Informacije o nacionalnih metodah temeljijo na podatkih treh poročil [One Click LCA, 2022], [Nordic Innovation, 2024], [Toth, 2024], medtem ko podatki za metodo Level(s) temeljijo na priročniku indikatorja 1.2 [Dodd, 2021].

V primerjavi z nacionalnimi metodami in priporočili Level(s) obravnava metoda smernic SSS utelešeni ogljični odtis najmanj obsežno, saj se osredotoča le na fazo proizvodnje (A1–A3). Kot je bilo omenjeno v poglavju 2.3.2.1, je to posledica vključitve EPD-jev prve generacije, pri katerih omenjeni moduli predstavljajo minimalne zahteve po prvi verziji standarda SIST EN 15804 [SIST EN 15804, 2013]. Poleg tega za Slovenijo ne obstaja nacionalna baza LCA-podatkov kot pri večini drugih držav, ki bi bila zasnovana na način, da se za dovolj velik spekter skupin gradbenih proizvodov zagotovijo celoviti LCA-podatke, ki vključujejo tudi podatke za manjkajoče module (nekateri nacionalne metode predpisujejo scenarije in LCA-podatke za določene module, npr. transportne razdalje in modula C3 in C4). Izmed obravnavanih nacionalnih metod je glede meja sistema za utelešeni del ogljičnega odtisa metodi smernic SSS še najbolj podobna metoda Švedske, ki poleg faze proizvodnje vključuje še modula A4 in A5 (transport od gradbišča in vgradnja), pri čemer pa ne upošteva operativnega ogljičnega odtisa zaradi rabe energije med obratovanjem (modul B6). Tudi Nizozemska in Norveška ne predvidevata vključitve modula B6 v svojih metodologijah, medtem ko se v preostalih državah zelo približajo polnemu obsegu življenjskega cikla, kot to priporoča okvir Level(s). Vse module po SIST EN 15978 obravnava francoska metoda, ki je posebna tudi v tem, da edina biogeni ogljik v izračunih upošteva na dinamičen pristop -1/+1, ki emisije biogenega ogljika v fazi C upošteva s časovno integriranimi redukcijskimi faktorji (npr. faktor 1 v prvemu letu in faktor 0,6 po 50 letih obratovanja). Ločeno prikazovanje biogenega ogljika poleg metode v smernicah SSS predvidevata še metodi Finske in Islandije, medtem ko okvir Level(s) predvideva še dodatno poročanje GWP_{total}. Ker je poleg indikatorja GWP_{total} ogljični odtis prikazan tudi z indikatorjem GWPf, metoda po Level(s) in smernicah SSS biogeni ogljik v izračunih upošteva po pristopu 0/0 in pristopu -1/+1 (za opis pristopov glej poglavje 2.3.2.2).

Večina metod ogljični odtis računa za dobo 50 let, z izjemo Norveške in Islandije, ki predvidevata dobo RRD 60 let, ter Nizozemske, ki dobo 50 let predvideva za stanovanjske stavbe in 75 let za nestanovanjske stavbe. Z izjemo islandske preostale nacionalne metode ter okvir Level(s) predvidevajo scenarij



Slika 10. Pregled stanja predpisov za poročanje o ogljičnem odtisu stavb v Evropi (prilagojeno po [Toth, 2024]).

razogljičenja energije pri računanju operativnega ogljičnega odtisa modula B6. Smernice SSS so osredotočene izključno na večstanovanjske stavbe, medtem ko nacionalne metode pokrivajo širši spekter stavb, pri čemer pa se lahko zahteve med državami pomembno razlikujejo. Tako na primer norveška in finska metoda izključujeta enostanovanjske stavbe, medtem ko se metode Danske, Finske in Nizozemske osredotočajo na novogradnje. Podobno kot smernice SSS večina nacionalnih metod predpisuje obrazec za poročanje rezultatov, pri čemer je ta obvezen pri metodah Francije, Nizozemske, Islandije in Švedske.

Preglednica 1 grobo opiše zahteve glede vključenosti stavbnih elementov, saj v metodah obstajajo določene specifike (npr. norveška metoda izključuje balkone, finska metoda pa določa izjeme pri vključevanju temeljev in okolice). Praviloma vse metode v izračune vključujejo temelje in elemente netransparentnega stavbnega ovoja (konstrukcijski sklopi zunanjih in notranjih sten, tal, strehe in medetažnih delitev). Smernice SSS ne vključujejo tehničnih stavbnih sistemov (TSS), ki so vključeni pri

vseh nacionalnih metodah z izjemo norveške metode. Smernice SSS v funkcionalno enoto vključujejo infrastrukturo za parkiranje, tudi kadar ta ni integrirana s stavbo, medtem ko je večina preostalih nacionalnih metod ne. Metoda Level(s) predvideva upoštevanje okolice stavb (tudi parkirno infrastrukturo), medtem ko francoska in danska metoda okolico upoštevat z določenimi omejitvami (obravnavanje parkirne infrastrukture ni povsem jasno opredeljeno). Nekatere metode vključujejo tudi fiksno montirano pohištvo (Level(s), Finska in Švedska).

Medtem ko smernice SSS ne podajajo zahtev glede mejnih vrednosti ogljičnega odtisa, ampak v okviru obrazca priloge A predvidevajo primerjavo za namen izboljšanja informacijske vrednosti rezultatov, pa te podajajo francoska, nizozemska in danska metoda. Zahteve glede mejnih vrednosti ogljičnega odtisa so v razvoju in predvidene za vključitev tudi pri drugih nacionalnih metodah. Okvir Level(s) pa omenjenih zahtev pri poročanju rezultatov vseživljenjskega ogljičnega odtisa ne podaja.

	FRANCIJA (2022)	NIZOZEMSKA (2018) ¹	DANSKA (2025) ²	FINSKA (2023)	ISLANDIJA (2025)	NORVEŠKA (2022)	ŠVEDSKA (2025) ²	EU - Level(s) (2024)	smernice SSS (2024)
GWP indikator ³	GWP _s	GWP _s	GWP _s	GWP _s , GWP _b	GWP _s , GWP _b	GWP _s	GWP _s	GWP _s , GWP _f , GWP _b , GWP _{fu}	GWP _s , GWP _b , GWP _f
Upoštevanje biogenega ogljika	-1/+1 (dinamično)	-1/+1	-1/+1	-1/+1	-1/+1	O/O	O/O	O/O in -1/+1	O/O in -1/+1
Moduli po SIST EN 15978	A1-A3, A4-A5, B1-B5, B6-B7, C1-C4, D	A1-A3, A4-A5, B1-B5, C1-C4, D	A1-A3, (A4-A5), B4, B6, C3-C4, D	A1-A3, A4-A5, B4, B6, C3-C4, D	A1-A3, A4-A5, B4, B6, C3-C4, D	A1-A3, A4-A5, B2, B4	A1-A3, A4-A5 (od 2027 tudi B2, B4, C1-C4)	A1-A3, A4-A5, B1-B5, B6-B7, C1-C4, D	A1-A3, B6
Doba RRD [let]	50	50/75	50	50	60	60	/	50	50
Upoštevanje stavbni elementi ⁵	temelji, stavlbeni ovoj, vrata, okna, FO, okolica (omejeno), stopnice, TSS	temelji, stavlbeni ovoj, vrata, okna, FO, stopnice, TSS	temelji (piloti lahko izključeni), stavlbeni ovoj, vrata, okna, FO, okolica (omejeno), stopnice, TSS	temelji, stavlbeni ovoj, vrata, okna, FO, stopnice, TSS, pohištvo (fiksno)	temelji, stavlbeni ovoj, vrata, okna, FO, TSS	temelji, stavlbeni ovoj, vrata, okna, FO	temelji, stavlbeni ovoj, vrata, okna, FO, okolica, pohištvo (fiksno)	temelji, stavlbeni ovoj, vrata, okna, FO, okolica, TSS, pohištvo (fiksno)	temelji, stavlbeni ovoj, okna (samo zasteklitve), okolica (izključno infrastrukturna za parkiranje)
Obrazec za poročanje rezultatov	Da (obvezen)	Da (obvezen)	Da (neobvezen)	Ni določen	Da (spletni obrazec)	Ni določen	Da (obvezen)	Delno (priporočila za poročanje)	Da (priloga k smernicam)
Scenarij razogljičenja energije za modul B6	Da	Ni relevantno (brez modula B6)	Da	Da	Ne	Ni relevantno (brez modula B6)	Ni relevantno (brez modula B6)	Da	Ne
Nacionalna baza LCA podatkov	Da (INIES)	Da (NMD)	Da (tabela 7, priloga 2 v BR18)	Da (CO2 data.fi)	Ne (EPD-ji ali druge generične baze)	Ne (uporaba EPD-jev)	Da (Boverkets database)	Ne	Ne
Tipi stavb	Poslovne, stanovanjske in izobraževalne novogradnje	Poslovne in stanovanjske novogradnje	Vse novogradnje	Novogradnje z izjemo enostanovanjskih, sakralnih in industrijskih	Vse razen počitniških	Vse razen enostanovanjskih	Večje od 100 m ² (določene izjeme)	Vse novogradnje z izjemo sakralnih	Večstanovanjske
Mejna vrednost	Da	Da	Da	Ne (v razvoju)	Ne (predvidene 2028)	Ne	Ne (predvidene 2025)	Ne	NE (primerjava na obziru prilog A)

¹ Metoda nastala 2013 in večkrat posodobljena. Metoda v primerjavi z drugimi posebnimi indikatorji GWP vključuje tudi druge okoljske indikatorje, ki jih s procesom uteževanja pretvori v stroškovni indikator (strošek škode okolju) (MPC). ² Za Dansko in Švedsko podana izhodišča za posodobljene metode; ³ V poglavju 2 GWP_s, GWP_b in GWP_f označeni kot GWP_{kg,upn}, GWP_{kg,upn} in GWP_{kg,upn}. ⁴ Stavbni ovoj pomeni konstrukcijske sklope tal, zunanjih in notranjih sten, medetažne delitve in strehe (netransparentni elementi). FO je kratica za finalne obdelave ter TSS za tehnične stavbne sisteme.

Preglednica 1. Pregled metodoloških izhodišč različnih nacionalnih metod za računanje ogljičnega odtisa stavb, koncepta Level(s) in smernic SSS.

4 DISKUSIJA – UVAJANJE LCA V NAČRTOVALSKO PRAKSO

Predstavitev smernic SSS (poglavje 2) in primerjava z izbranimi nacionalnimi metodami (poglavje 3) sta služili orisu kompleksnosti uvajanja LCA v načrtovalsko prakso. Kot je prikazano v preglednici 1 se metodološke značilnosti med različnimi metodami lahko pomembno razlikujejo. Metodologija v smernicah SSS je pri večini značilnosti nekoliko bolj ozko usmerjena kot najbolj široko zastavljene metodologije. Tako se osredotoča na večstanovanjske stavbe, ne vključuje mejnih vrednosti, utelešeni odtis računa le za fazo proizvodnje in ne upošteva elementov, kot so stopnice, ter tehničnih stavbnih sistemov. Vključuje pa modul B6 in obrazec za poročanje, česar nekatere nacionalne metode ne (npr. Norveška). Poleg tega ogljični odtis prikazuje s tremi kazalniki, pri čemer vključuje pristopa upoštevanja biogenega ogljika -1/+1 in 0/0. Za okvir Level(s) preglednica 1 prikazuje metodološke značilnosti, kot so priporočene za polni obseg metode, pri čemer je pomembno poudariti, da okvir Level(s) dopušča tudi poenostavitve (npr. osredotočanje na reducirani obseg življenjskega cikla). V sklopu direktive EPBD bo do 31. 12. 2025 sprejet tudi delegirani akt, ki bo podal minimalen okvir Unije za nacionalni izračun GWP. Ta bo harmoniziral pravila za računanje in poročanje vseživljenjskega ogljičnega odtisa stavb. Končna vsebina delegiranega akta v tem trenutku še ni znana, se pa kaže obris metodoloških zahtev za računanje vseživljenjskega ogljičnega odtisa stavb. Na spletni strani WLC EPBD lahko zainteresirana javnost spremlja napredek pri nastajanju delegiranega akta [WLC-EPBD, 2024].

Za majhno državo, kot je Slovenija, ni smiselno snovati unikativne metode, ampak se je bolj smiselno opirati na izkušnje drugih držav ter določila prihajajočega delegiranega akta k direktivi EPBD. Hkrati pa lahko pasivnost pomeni tveganje, saj Slovenija spada v skupino držav, kjer še niso bili storjeni prvi koraki na področju uvajanja ocene vseživljenjskega ogljičnega odtisa stavb v načrtovalsko prakso (slika 10). V skladu s PURES je predvideno podajanje informacij o letnih izpustih CO₂ zaradi rabe energije med obratovanjem, medtem ko vrednotenje utelešenega ogljičnega odtisa ni zahtevano.

Po trenutno dostopnih javnih informacijah [WLC-EPBD Stakeholder meeting, 2025] lahko ocenimo, da metodologija smernic SSS ne bi dosegala minimalnega obsega, ki ga bo določal delegirani akt glede vključenih faz življenjskega cikla in nivoja natančnosti. Po drugi strani pa smernice SSS v račune zajemajo infrastrukturo za parkiranje (tudi tisti del, ki ni integriran s stavbo), s čimer se nekoliko bolj približajo tej zahtevi delegiranega akta kot obstoječe nacionalne metode iz poglavja 3. Pri snovanju smernic SSS nismo sledili zahtevam in ciljem direktive EPBD, saj ta v času pisanja še ni bila sprejeta, ampak smo sledili cilju naročnika, pri čemer smo izhajali iz stanja obravnavanega področja v Sloveniji. Posledično neposredna preslikava metodologije v smernicah SSS za uporabo v nacionalni metodi ne bi bila primerna. Lahko pa izkušnje pri snovanju (in uporabi) smernic SSS izkoristimo pri načrtovanju in implementaciji nacionalne metode. V sklopu projekta INDICATE LIFE [INDICATE, 2024] avtorji poudarjajo, da je pomembno, da države začnejo z uvajanjem čim prej in s tem ne tvegajo, da bodo prisiljene v sprejemanje ukrepov pod časovnim pritiskom [Toth, 2024].

Pri implementiranju pravil za ocenjevanje ogljičnega odtisa stavb na državnem nivoju so pomembna štiri področja, ki so med sabo prepletena: (i) metodološke značilnosti (podatki in orodja), (ii) regulatorni okvir in zagotavljanje skladnosti, (iii) vključevanje deležnikov in (iv) podporni ukrepi političnih odločevalcev [Toth, 2024]. Prvi dve področji določata obseg sistema in pravila za računanje ogljičnega odtisa. Kot je razvidno iz predstavitev smernic SSS in primerjave z drugimi metodami, so tukaj potrebne odločitve glede indikatorjev ogljičnega odtisa, baz podatkov, računskega obdobja, nivoja natančnosti, meja sistema in ne nazadnje poročanja ter interpretacije rezultatov. Obstoječi standardi in okviri ter prihajajoči delegirani akt predstavljajo določena vodila, vendar kot je razvidno iz primerov drugih držav, obstajajo različne možnosti, kako implementirati LCA-pravila ([One Click LCA, 2022], [Nordic Innovation, 2024], [Toth, 2024]). Čeprav bo delegirani akt podal kriterije za harmonizacijo izračunov ogljičnega odtisa v državah članicah, pa lahko pričakujemo določeno fleksibilnost. Poleg tega bo namen delegiranega akta podati metodološki okvir za izračun ogljičnega odtisa stavb in ne natančnih navodil [WLC-EPBD Stakeholder meeting, 2024]. Posledično obstaja precejšnja verjetnost, da bodo države članice primorane sprejemati določene metodološke odločitve, za katere pa sta pomembni tudi drugi dve področji (vključevanje deležnikov in podporni ukrepi političnih odločevalcev). Različni deležniki v grajenem okolju lahko imajo različne poglede glede najprimernejšega uvajanja določil vrednotenja vseživljenjskega ogljičnega odtisa, zaradi česar je pomembno, da se vključujejo tako LCA-strokovnjaki iz akademskega okolja kot industrijski deležniki (arhitekti, inženirji, proizvajalci materialov, ministrstva, stanovanjski skladi itd.). Pri tem bosta kot podporni ukrep pomembni tudi izobraževanje in informiranje, saj metoda LCA do sedaj ni bila zahtevan element projektiranja stavb.

Smernice SSS služijo kot primer, ki pokaže kompleksnost področja. Primerjava z drugimi metodami pa nam nakaže na smeri za izboljšave in nadgradnjo, ko bodo podobne usmeritve zaradi zahtev direktive EPBD potrebne za vse stavbe v Sloveniji. Poleg tega bodo države članice morale vpeljati mejne vrednosti ogljičnega odtisa, ki bodo omogočale ocenjevanje uspešnosti zasnov stavb. Predpogoj za mejne vrednosti pa je jasno definirana metodologija in robni pogoji ter scenariji za izračune, saj mora biti opredeljen obseg sistema [Božiček, 2023]. Izhodišča le-tega so upoštewane faze in moduli življenjskega cikla stavb, okoljski indikatorji, s katerimi prikazujemo ogljični odtis, in opisana funkcionalna enota za izračune. Poleg obsega sistema je pomembna tudi dostopna in ustrezna podatkovna baza LCA-podatkov gradbenih proizvodov kot tudi LCA-podatki, vezani na ogljični odtis rabe energije. Pričakujemo lahko, da se bo kot posledica sprejetja nove uredbe o gradbenih proizvodih izboljšala dostopnost LCA-podatkov, saj bodo ti postali del izjave o lastnostih [CPR, 2024]. Pomemben segment usmeritev za izračun ogljičnega odtisa je tudi zahtevana granulacija podatkov ter prikaz rezultatov izračunov. Našteti elementi so za primer smernic SSS obravnavani in prikazani v pričujočem članku. Kot razširjeni element sheme vrednotenja ogljičnega odtisa stavb je lahko predvideno tudi spremljanje podatkov izračunanih ogljičnih odtisov stavb, saj to omogoča evidentiranje stanja, analiziranje napredka in ovrednotenje doseganja zastavljenih ciljev. Posledično lahko spremljanje ogljičnega odtisa stavb služi kot osnova za peri-

odično posodabljanje metodologije in progresivno zaostrovanje mejnih vrednosti ogljičnega odtisa. Ključni izziv pri uvajanju LCA v prakso pa je doseči ravnesje med robustnostjo in celovitostjo LCA metodologije ter obremenitvami za izvajalce analiz. Če to ravnesje ni doseženo, obstaja tveganje za neskladje med obremenitvami izvajalcev in verodostojnostjo izračunanih rezultatov.

5 SKLEP

V prihodnjih letih bo vrednotenje ogljičnega odtisa stavb postalo del načrtovalske prakse. To nalaga direktiva EPBD, ki predvideva postopno uvajanje analiz vseživljenjskega ogljičnega odtisa v načrtovalsko prakso. Kot prikazujejo izkušnje iz držav, ki so v različnih oblikah že uvedle vrednotenje ogljičnega odtisa stavb v načrtovalski postopek, pa se metodologije in pravila izračunov lahko razlikujejo. Nova direktiva EPBD bo podala minimalne kriterije za harmonizacijo metodološkega okvira izračunov ogljičnega odtisa stavb v EU. Ne glede na to pa lahko pričakujemo, da bodo države članice primorane sprejeti določene odločitve glede najprimernejšega načina zasnove metodološkega okvira izračunov. Slovenija spada v skupino držav, ki do tega trenutka še niso implementirale LCA-pravil za računanje ogljičnega odtisa stavb. V tem kontekstu smo v članku predstavili naše izkušnje pri izdelavi Smernic za nizkoogljične stavbe slovenskih stanovanjskih skladov, ki smo jih izdelali po naročilu Zbornice za poslovanje z nepremičninami iz Gospodarske zbornice Slovenije.

V članku je predstavljena vsebina Smernic za nizkoogljične stavbe slovenskih stanovanjskih skladov. Smernice smo izdelali v specifičnem kontekstu, saj se osredotočajo na večstanovanjske stavbe. Metodologijo v Smernicah za nizkoogljične stavbe slovenskih stanovanjskih skladov smo primerjali z izbranimi nacionalnimi metodami preostalih evropskih držav ter okvirom Level(s) in izpostavili ključne razlike. Čeprav bo prihajajoči delegirani akt v sklopu direktive EPBD podal minimalna metodološka izhodišča za izračun in poročanje ogljičnega odtisa stavb, v diskusiji opozorimo, da se moramo na implementacijo LCA v načrtovalsko prakso pripraviti tudi v Sloveniji. Če tega na storimo, obstaja tveganje, da bo uvajanje v prakso vodilo do preobremenitve projektantov (izvajalcev LCA-analiz) in omejenega učinka na zmožnost spremljanja in optimizacije ogljičnega odtisa stavb ter dvom o verodostojnosti rezultatov izračunov.

6 ZAHVALA

Avtorji se zahvaljujejo za finančno podporo Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (raziskovalno programsko financiranje št. ARIS P2-0158 in projekt št. ARIS N2-0258).

7 LITERATURA

Andersen, C. M. E., Garnow, A., Wittchen, A., and Stranddorf, L. K.: Whole Life Carbon Impact of: 45 Timber Buildings, Whole Life Carbon Impact of, Department of the Built Environment, Aalborg University, København, 2023.

Blengini, G. A. and Di Carlo, T., The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings, *Energy and Buildings*, 42, 869–880, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.12.009>, 2010.

Božiček, D., Analiza vplivnih dejavnikov okoljskega odtisa energijsko učinkovitih enostanovanjskih stavb v Sloveniji: doktorska disertacija, Repozitorij Univerze v Ljubljani, <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisCradiva.php?id=167069>, 2025

Božiček, D., Almezeraani, Y., and Košir, M., Making sense of LCA results when evaluating multiple building designs – comparison of interpretation concepts, *Building Research & Information*, 0, 1–19, <https://doi.org/10.1080/09613218.2023.2236254>, 2023.

BPIE (Buildings Performance Institute Europe), EU Buildings Climate Tracker: A call for faster and bolder action, 2023, <https://www.bpie.eu/publication/eu-buildings-climate-tracker-a-call-for-faster-and-bolder-action/>, leto vpogleda: 4. 12. 2023.

BPIE (Buildings Performance Institute Europe), Whole-life Carbon: Challenges and solutions for highly efficient and climate-neutral buildings, 2021.

BSO (EU Building Stock Observatory), <https://building-stock-observatory.energy.ec.europa.eu/factsheets/>, leto vpogleda: 28. 4. 2024.

CPR (Construction Products Regulation), Regulation (EU) 2024/3110 of the European Parliament and the Council of 27 November 2024 laying down harmonised rules for the marketing of construction products and repealing Regulation (EU) No 305/2011: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/3110/oj/eng>, leto vpogleda: 12. 2. 2025.

Čist planet za vse - Evropska strateška dolgoročna vizija za uspešno, sodobno, konkurenčno in podnebno nevtrarno gospodarstvo: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX:52018DC0773>, leto vpogleda: 23. 10. 2023.

DGNB (German Sustainable Building Council), <https://www.dgnb.de/en/index.php>, leto vpogleda: 3. 4. 2019.

Dodd, N., Donatello, S., Cordella, M., Level(s) indicator 1.2: Life cycle Global Warming Potential (GWP) user manual: introductory briefing, instructions and guidance, Joint Research Centre, 2021.

ECa (European Commission), Automotive industry, https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/automotive-industry_en, last access: 28 April 2024.

ECb (European Commission), Construction sector: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction_en, last access: 2 December 2024.

ECO Platform, ECO Portal, <https://www.eco-platform.org/>, leto vpogleda: 3. 4. 2019.

ECO Portal, <https://www.eco-platform.org/eco-portal-access-point-to-digital-product-data.html>, leto vpogleda: 5. 3. 2025.

EP (European Parliament), EU measures against climate change, 2018 <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180703STO07129/eu-measures-against-climate-change>, last access: 23 October 2023.

EPBD, Direktiva (EU) 2024/1274 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 25. aprila 2024 o energetske učinkovitosti stavb (prenovitev), Evropski parlament, 2024: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX%3A32024L1275>, leto vpogleda: 3. 12. 2024.

Grahl, B., Schmincke, E., The part of LCA in ISO type III environmental declarations, The International Journal of Life Cycle Assessment, 2007, 38–35, <https://doi.org/10.1065/lca2006.12.300>, 2007.

Herczeg, M., McKinnon, D., Milios, L., Bakas, I., Klaassens, E., Svatikova, K., Widerberg, O., Resource efficiency in the building sector, <https://trinomics.eu/wp-content/uploads/2015/06/Resource-efficiency-in-the-building-sector.pdf>, leto vpogleda: 30. 4. 2024.

Hoxha, E., Passer, A., Saade, M. R. M., Trigaux, D., Shuttleworth, A., Pittau, F., Allacker, K., and Habert, G., Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods, Buildings and Cities, 1, 504–524, <https://doi.org/10.5334/bc.46>, 2020.

IEA (International Energy Agency), The Critical Role of Buildings Perspectives for the Clean Energy Transition, 2019.

INDICATE, <https://www.indicatedata.com>, leto vpogleda: 30. 10. 2024.

Islam, H., Jollands, M., Setunge, S., Ahmed, I., and Haque, N., Life cycle assessment and life cycle cost implications of wall assemblages designs, Energy and Buildings, 84, 33–45, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.041>, 2014.

ISO 21931-1:2022 Sustainability in buildings and civil engineering works – Framework for methods of assessment of the environmental, social and economic performance of construction works – Part 1: Buildings, International Organization for Standardization, 2022

Košir, M., Potočnik, J., Pajek, L., and Božiček, D., Smernice za nizkoogljicne stavbe slovenskih stanovanjskih skladov, Gospodarska zbornica Slovenije - Zbornica za poslovanje z nepremičninami, 2024.

Kovacic, I., Reisinger, J., and Honic, M., Life Cycle Assessment of embodied and operational energy for a passive housing block in Austria, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 1774–1786, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.058>, 2018.

KSKE, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente, <https://kske.fgg.uni-lj.si/>, leto vpogleda: 22. 10. 2024.

kTG (Kazalniki trajnostne gradnje), Trajnostna gradnja, <https://trajnostnagradnja.si/kazalniki-trajnostne-gradnje/>, leto vpogleda: 4. 12. 2023.

Le Den, X., Steinmann, J., Röck, M., Birgisdottir, H., Horup, L. H., Tozan, B., and Sorensen, A., Towards embodied carbon benchmarks for buildings in Europe - Summary report, <https://doi.org/10.5281/zenodo.6397514>, 2022

Monteiro, H. and Freire, F., Life-cycle assessment of a house with alternative exterior walls: Comparison of three impact assessment methods, Energy and Buildings, 47, 572–583, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.032>, 2012.

Nordic Innovation, Decarbonisation of the building stock, 2024 <https://www.nordicsustainableconstruction.com/knowledge/2024/september/wp1-task-4-decarbonisation-of-the-building-stock>, leto vpogleda: 5. 9. 2024.

Nordic Harmonisation of Life Cycle Assessment, Nordic Sustainable Construction, <https://www.nordicsustainableconstruction.com/work-packages/nordic-harmonisation-of-life-cycle-assessment>, leto vpogleda: 22. 10. 2024.

ÖKOBAUDAT, <https://www.oekobaudat.de/>, leto vpogleda: 26. 1. 2023.

One Click LCA, Construction Carbon Regulations in Europe - Review and Best Practices, 2022: <https://oneclicklca.com/resources/ebooks/construction-carbon-regulation-europe>, leto vpogleda: 4. 5. 2024.

Ouellet-Plamondon, C. M., Ramseier, L., Balouktsi, M., Delem, L., Foliente, G., Francart, N., Garcia-Martinez, A., Hoxha, E., Lützkendorf, T., Nygaard Rasmussen, F., Peuportier, B., Butler, J., Birgisdottir, H., Dowdell, D., Dixit, M. K., Gomes, V., Gomes da Silva, M., Gómez de Cózar, J. C., Kjendseth Wiik, M., Llatas, C., Mateus, R., Pulgrossi, L. M., Röck, M., Saade, M. R. M., Passer, A., Satola, D., Seo, S., Soust Verdaguer, B., Veselka, J., Volf, M., Zhang, X., and Frischknecht, R., Carbon footprint assessment of a wood multi-residential building considering biogenic carbon, Journal of Cleaner Production, 404, 136834, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136834>, 2023.

Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2023-01-0094/pravilnik-o-metodologiji-izdelave-in-izdaji-energetskih-izkaznic-stavb>, leto vpogleda: 3. 12. 2024.

PURES, Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Uradni list RS, št. 70/22, 161/22 in 129/23, <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=PRAVI4331>, leto vpogleda: 3. 12. 2024

Röck, M.: Embodied Carbon of European Buildings Database (EU-ECB-DB), 2022, <https://doi.org/10.5281/zenodo.6671558>, 2023.

Röck, M., Saade, M. R. M., Balouktsi, M., Rasmussen, F. N., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., Habert, G., Lützkendorf, T., and

Passer, A., Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation, *Applied Energy*, 258, 114107, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>, 2020.

Röck, M., Balouktsi, M., and Saade, M. R. M., Embodied carbon emissions of buildings and how to tame them, *One Earth*, 6, 1458–1464, <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.10.018>, 2023.

Röck, M., Sorensen, A., Le Den, X., Horup, L. H., and Birgisdottir, H., Towards EU embodied carbon benchmarks for buildings – Setting the baseline: A bottom-up approach, 2022, <https://doi.org/10.5281/zenodo.5895051>.

Saade, Marcella R. M., Hoxha, Endrit, Passer, Alexander, Frischknecht, Rolf, and Potrč Obrecht, T., IEA EBC ANNEX 72 Basics and recommendations on assessment of biomass-based products in buildings LCAs: the case of biogenic carbon, 2023 <https://doi.org/10.3217/978-3-85125-953-7-08>

SIST EN 15804:2012+A1:2013 Trajnostnost gradbenih objektov – Okoljske deklaracije za proizvode – Skupna pravila za kategorije proizvodov za gradbene proizvode, Slovenski inštitut za standardizacijo (SIST), 2013.

SIST EN 15804:2012+A2:2019 – Trajnostnost gradbenih objektov – Okoljske deklaracije za proizvode – Skupna pravila za kategorije proizvodov za gradbene proizvode, Slovenski inštitut za standardizacijo (SIST), 2019.

SIST EN 15978: 2011 Trajnostnost gradbenih objektov – Vrednotenje učinkov ravnanja z okoljem v stavbah – Računska metoda, 2011

SIST EN 16449:2014 – Les in lesni izdelki – Izračun vezave atmosferskega ogljikovega dioksida, Slovenski inštitut za standardizacijo (SIST), 2014

SIST EN ISO 14025: 2010 Okoljske označbe in deklaracije – Okoljske deklaracije tipa III – Načela in postopki (ISO 14025:2006), Slovenski inštitut za standardizacijo (SIST), 2010

SIST EN ISO 14040:2006 Ravnanje z okoljem – Ocena življenjskega cikla – Načela in okvirji Slovenski inštitut za standardizacijo (SIST), 2006

SIST EN ISO 14044:2006/oprA1:2017 Ravnanje z okoljem – Ocena življenjskega cikla – Zahteve in smernice, Slovenski inštitut za standardizacijo (SIST), 2017.

Stephan, A., Crawford, R. H., and de Myttenaere, K., A comprehensive assessment of the life cycle energy demand of passive houses, *Applied Energy*, 112, 23–34, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.05.076>, 2013.

Thormark, C., A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential, *Building and Environment*, 37, 429–435, [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00033-6), 2002.

Toth, Z., Broer, R., Graaf, L., and Röck, M., How to establish Whole Life Carbon benchmarks: Insights and lessons learned from emerging approaches in Ireland, Czechia and Spain, *Buildings Performance Institute Europe (BPIE)*, 2024, <https://www.bpie.eu/publication/how-to-establish-whole-life-carbon-benchmarks-insights-and-lessons-learned-from-emerging-approaches-in-ireland-czechia-and-spain/>, leto vpogleda: 15. 10. 2024

UNEP (United Nations Environment Programme), *Global Status Report 2016: Towards Zero-emission Efficient and Resilient Buildings*, 2016, <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-2016-towards-zero-emission-efficient-and-resilient-buildings>, leto vpogleda: 28. 4. 2024

UNEP (United Nations Environmental Programme), *Global Status Report for Buildings and Construction*, 2021, <https://www.unep.org/resources/report/2021-global-status-report-buildings-and-construction>, leto vpogleda: 4. 5. 2024

UNFCCC (United Nations Climate Change), *The Paris Agreement*, 2015, <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>, leto vpogleda: 28. 5. 2024.

US GBC (U.S. Green Building Council), <https://www.usgbc.org/credits/new-construction-core-and-shell-schools-new-construction-retail-new-construction-data-27>, leto vpogleda: 7. 1. 2022.

WLC EPBD Stakeholder meeting, *Whole Life-Cycle Global Warming Potential reporting for buildings*, 2nd Stakeholder meeting – Presentation slides 21. 2. 2025, <https://www.wlc-epbd-guidance.eu/documents/>, leto vpogleda: 8. 3. 2025.

WLC EPBD, *Whole Life-Cycle Global Warming Potential reporting for buildings*, <https://www.wlc-epbd-guidance.eu/>, leto vpogleda: 22. 10. 2024.

ZAG (Zavod za gradbeništvo Slovenije) – *Izdane okoljske deklaracije*, <https://www.zag.si/certifikati-in-soglasja/izdane-okoljske-deklaracije/>, leto vpogleda: 4. 12. 2023.

ZAG (Zavod za gradbeništvo Slovenije), <https://www.zag.si/>, leto vpogleda: 5. 5. 2024.

ZPN (Zbornica za poslovanje z nepremičninami), *Gospodarska zbornica Slovenije* https://www.gzs.si/zbornica_z_poslovanje_z_nepremicninami, leto vpogleda: 22. 10. 2024.

izr. prof. dr. Janja Kramer Stajnko, univ. dipl. inž. grad.
janja.kramer@um.si



Matjaž Nekrep Perc, univ. dipl. inž. grad.
matjaz.nekrep@um.si

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno
inženirstvo in arhitekturo, Smetanova ulica 17, Maribor



Znanstveni članek
UDK 556.18:624.131.23:502.131.1

MONITORING IN ANALIZA TRANSPORTA LEBDEČIH PLAVIN V REKI DRAVI

MONITORING AND ANALYSIS OF SUSPENDED SEDIMENT TRANSPORT IN THE DRAVA RIVER

Povzetek

Učinkovito upravljanje premeščanja lebdečih plavin v vodotokih je ključno za oblikovanje trajnostnih strategij razvoja vodnih virov in ima osrednjo vlogo pri obvladovanju poplavne ogroženosti, optimizaciji hidroenergetske rabe in ohranjanju rečne morfologije. V študiji je podana analiza dinamike lebdečih plavin v slovenskem delu reke Drave, ki temelji na obsežnem naboru empiričnih podatkov, pridobljenih z večletnimi meritvami na več merilnih mestih.

Transport lebdečih plavin je dinamičen proces, ki je odvisen od hidravličnih značilnosti toka, sezonskih sprememb virov plavin ter antropogenih vplivov na rečno strugo. Akumulacija plavin v zadrževalnikih in strugi vpliva na hidrološko ravnoesje, saj zmanjšuje infiltracijo vode v podzemne vodonosnike in spreminja režim sedimentacije. Analiza visokovodnega dogodka iz leta 2018, izvedena z vidika odvisnosti koncentracije lebdečih plavin od pretoka, omogoča poglobljen vpogled v izvor in transport plavin na merjenem odseku reke Drave.

V Sloveniji se lebdeče plavine v reki Dravi upravljajo pretežno s konvencionalnimi metodami, kot sta sedimentacija in ponovna vključitev v rečne ter vodne ekosisteme. V prispevku so predlagane dodatne dolgoročne strategije celostnega upravljanja plavin, ki bi prispevale k učinkovitejšemu gospodarjenju z vodnimi viri, optimizaciji hidroenergetskih sistemov ter zmanjšanju negativnih ekoloških posledic.

Ključne besede: površinske vode, lebdeče plavine, reka Drava, celostno upravljanje vodnih virov

Summary

The transport of suspended sediments is a dynamic process that is influenced by the hydraulic properties of the river, the seasonal fluctuations of sediment sources and anthropogenic influences on the riverbed. The accumulation of sediments in reservoirs and riverbeds affects the water balance by reducing water infiltration into aquifers and changing the sedimentation regime. The analysis of the 2018 flood event, which was carried out from the point of view of the dependence of suspended sediment concentration on discharge, provides a detailed insight into the origin and transport of sediments in the monitored section of the Drava River.

In Slovenia, suspended sediment management in the Drava River is primarily based on conventional methods such as sedimentation and reintegration into the river and aquatic ecosystems. This study proposes additional long-term strategies for integrated sediment management that could increase the efficiency of water resource management, optimize hydropower systems and mitigate adverse ecological impacts.

Key words: Surface waters, suspended sediments, Drava River, integrated water resources management

1 UVOD

Premeščanje plavin v površinskih vodah je kompleksen in dinamičen proces, ki ima velik vpliv zlasti na varstvo okolja, hidroenergetsko izrabo vodotokov, obvladovanje poplavne ogroženosti in upravljanje vodnih virov. V zadnjem času je bilo izvedenih več študij o dinamiki lebdečih plavin na slovenskih rekah, ki predstavljajo velik del materiala, premeščajočega se vzdolž vodotokov [Bezák, 2013; Dolinar, 2014b; Kramer Stajnko, 2020; Mikoš, 2012; Ulaga, 2023]. Odlaganje plavin v vodnih telesih pomembno vpliva na kopičenje mulja v rečnih strugah, poplavnih območjih in površinskih vodah, hkrati pa ima nezanemarljiv vpliv na okolje zaradi različnih onesnaževal, ki so vezana na delce plavin.

Premeščanje lebdečih plavin v reki Dravi pomembno vpliva na hidroenergetsko izrabo vodotoka ter dolgoročno načrtovanje ukrepov za poplavno varnost in trajnostno upravljanje vodnih virov. Nastanek in prisotnost plavin v rečnem ekosistemu sta posledica geoloških in geomorfoloških procesov, pri čemer prevladujeta preperevanje zemeljske skorje in erozijski mehanizmi, ki sproščajo delce v vodotok. Intenziteta transporta plavin je tesno povezana s hidravličnimi razmerami, na količino in hitrost premeščanja pa vplivajo tako trenutne razmere kot dolgoročne podnebne spremembe. Povišane temperature in povečano taljenje ledenikov v zadnjem obdobju prispevajo k večji mobilizaciji plavinskega materiala, kar vodi v spremenjeno sedimentacijsko ravnovesje v rečni strugi [ARSO VODE, 2023].

Antropogeni vplivi, kot so gradnja hidroenergetskih objektov in hidrotehnični posegi, bistveno preoblikujejo transportne procese plavin. Akumulacijski bazeni zadržujejo velik delež plavin, kar povzroča zapolnjevanje rezervoarjev, zmanjšano prepustnost rečnega dna ter motnje v hidrološkem ciklu, vključno z omejeno infiltracijo vode v podzemne vodonosnike. Razumevanje teh dinamičnih interakcij je ključno za razvoj učinkovitih strategij upravljanja rečnih sistemov in optimizacijo hidrološkega režima Drave.

Raziskave v slovenskih rekah [Bezák, 2013; Dolinar, 2014b; Gregorc, 2010; Knapič, 2019; Ulaga, 2005, 2023] so pokazale, da se največ plavin premešča v obdobjih visokih vodostajev, vendar vsak visokovodni dogodek ne poveča nujno njihove količine. Na dinamiko plavin vplivajo pretekli hidrološki dogodki, intenzivnost padavin in drugi dejavniki. Pri analiziranju visokovodnih dogodkov se razmerje med koncentracijo lebdečih plavin in pretokom pogosto izraža v obliki histereznih zank, ki omogočajo določitev izvora plavin. Te zanke se lahko oblikujejo v pozitivni ali negativni smeri, odvisno od dinamike prenosa plavin. Pozitivna histereza pomeni, da je koncentracija lebdečih plavin v fazi naraščanja visokovodnega vala višja kot v fazi njegovega upadanja pri enakem pretoku. Tak vzorec kaže na bližnji vir sedimenta, kot so rečno dno ali brežine, kjer erozijski procesi sprožijo takojšnje sproščanje delcev. Nasprotno pa negativna histereza nastane, kadar se plavine v večji meri sproščajo iz oddaljenih virov ali pri erozijsko nestabilnih brežinah, kjer je izpostavljenost materiala vodnemu toku večja. V teh primerih pride do zamika v sproščanju plavin, kar pomeni, da je njihova koncentracija v fazi upadanja vala višja kot v fazi naraščanja pri isti vrednosti pretoka. [Bača, 2008; Bogen, 1980; Eder, 2010; Garnett Williams, 1989]

Med poplavnimi dogodki se ob prelitju vode iz rečne struge delci plavin odložijo na poplavnih ravninah in kmetijskih površinah, kar lahko povzroči trajne spremembe v sestavi tal. Lebdeče plavine pogosto vežejo različne organske in anorganske snovi, vključno s potencialno škodljivimi onesnaževali, kar vodi v kemično degradacijo prizadetih območij. Prisotnost visoke koncentracije plavin v poplavnih vodah pomembno vpliva na obseg škode. Poleg mehanskega odlaganja materiala, ki lahko spremeni morfologijo terena, zamuljenje površin zmanjšuje sposobnost ponovnega ponikanja vode, kar podaljšuje trajanje in intenziteto poplavnih razmer. Raziskave kažejo, da se pri poplavah z visoko vsebnostjo plavin hidravlična učinkovitost rečnih sistemov zmanjša, saj se upočasni odtokanje vode, kar povečuje obremenitev infrastrukture in pospešuje erozijske procese na prizadetih območjih. [Brilly, 1999]

Nacionalni hidrološki monitoring površinskih voda, določen v skladu z Vodno direktivo 2000/60/ES, vključuje sistematično spremljanje hidroloških in fizikalno-kemijskih parametrov vodotokov. Meritve zajemajo vodostaj, hitrost toka, pretoke, geometrijske značilnosti rečnih profilov, temperaturo vode ter koncentracijo lebdečih plavin. Obseg spremljanja je določen v okviru programa monitoringa, ki ga izvaja Agencija Republike Slovenije za okolje. Program natančno opredeljuje merilne parametre, metodologijo izvajanja meritev ter pogostost zajema podatkov. Med pomembnejše elemente državnega monitoringa spada tudi analiza lebdečih plavin in njihovega transporta, pri čemer se redne meritve v okviru nacionalnega monitoringa izvajajo predvsem na večjih vodotokih. [ARSO VODE, 2021]

Za celovito upravljanje premeščanja plavin je ključno izvajanje natančnih terenskih meritev, ki omogočajo zajem podatkov o dinamiki lebdečih plavin pod vplivom spremenljivih hidravličnih razmer. Terensko pridobljeni podatki predstavljajo temelj za razvoj in nadgradnjo modelov prenosa plavin, ki omogočajo dolgoročno načrtovanje strategij upravljanja plavin ter izboljšanje kalibracije numeričnih simulacij. Terenske meritve lebdečih plavin omogočajo kvantifikacijo mase premeščenih plavin skozi določen prečni profil vodotoka v opazovanem časovnem intervalu. Ti podatki so ključni za analizo časovno-prostorskih vzorcev transporta plavin in oceno vpliva hidravličnih dejavnikov na rečno morfodinamiko.

Merjenje lebdečih plavin kljub številnim razvitim metodam in instrumentom ostaja izziv, saj premeščanje poteka v spremenljivih pogojih. Za pridobitev čim bolj natančnih modelov sta potrebna kombinacija neposrednih in posrednih meritev ter sistematičen monitoring. Dolgoročne rešitve za upravljanje sedimentov so ključne za zmanjšanje negativnih vplivov na vodne vire, hidroenergetske sisteme in ekosisteme.

Članek predstavlja pregled meritev lebdečih plavin na večji mestih v reki Dravi pri povprečnih pretokih v desetletnem obdobju ter analiz meritev lebdečih plavin med visokovodnim valom v izbranem obdobju izjemno povečanega pretoka. Raziskava obravnava časovno dinamiko premeščanja plavin na različnih skalah ter identificira njihove glavne vire. Poleg analize obstoječih strategij upravljanja predlaga tudi smernice za nadaljnje raziskave in izboljšave pri upravljanju transporta plavin.

2 MONITORING IN ANALIZA LEBDEČIH PLAVIN V REKI DRAVI

Reka Drava, eden največjih desnih pritokov Donave, ima ključno vlogo pri hidroenergetski izrabi, saj je njen vodni potencial skoraj v celoti izkoriščen za proizvodnjo električne energije. Izvira v Južni Tirolski v Italiji in teče skozi Avstrijo, Slovenijo ter Hrvaško, kjer se pri Osijeku izliva v Donavo. V Sloveniji Drava teče v dolžini 117,7 km in pokriva povodje s skupno površino 4.662 km². Povprečni pretok reke znaša 292 m³/s (HE Dravograd), k čemur pomembno prispevajo tudi pritoki, kot sta Meža z 12 m³/s in Dravinja z 11 m³/s. Poleg teh pritokov Drava vzdolž celotne poti sprejema še več manjših hudourniških dotokov. [D Lóczy, 2019] Hidroenergetski potencial reke je izkoriščen s sistemom 22 hidroelektrarn, ki so razporejene v Avstriji, Sloveniji in na Hrvaškem, od tega jih osem deluje v Sloveniji. Na slovenskem delu so bili pri Zlatoličju in Forminu zgrajeni umetni stranski kanali, namenjeni izboljšanju hidravlične učinkovitosti energetskega sistema.

Zaradi intenzivne regulacije rečnega toka ima Drava močno spremenjeno morfodinamiko, kar neposredno vpliva na obnašanje premeščanja lebdečih plavin in sedimentacijske procese. Politične in upravljavske strukture v državah, skozi katere teče reka, so v preteklosti vplivale na raziskovalne in regulativne dejavnosti. Do političnih sprememb ob koncu 20. stoletja so bile te aktivnosti zanemarjene, kar je vodilo v pomanjkanje celovitih študij o rečnem okolju.

Izgradnja hidroelektrarn na reki Dravi je močno vplivala na premeščanje plavin, saj je njihova prodonosnost na odseku med Markovci in Zavrčem danes kar 400-krat manjša kot pred postavitvijo hidroelektrarne Formin [MKGP, 2022]. Zmanjšan transport plavin je povzročil poglobljanje in zoževanje rečne struge ter znižanje njene povprečne gladine za 1,6 metra, kar je privedlo do upada podtalnice in postopnega izsuševanja okoliške pokrajine. Po izgradnji hidroelektrarne Zlatoličje se je gladina podtalnice na vzhodnem delu Dravskega polja znižala za 2 do 3 metre, v bližini odvodnega kanala pa celo do 9 metrov [MKGP, 2022]. Hkrati akumulacijska jezera hidroelektrarn predstavljajo območja intenzivnega kopičenja plavin, predvsem finih delcev mulja, ki se zaradi zmanjšane pretočnosti odlagajo in vplivajo na vodne ekosisteme. Na območju Dravogradskega jezera so ti procesi povzročili nastanek obsežnega močvirja v Črneškem zalivu. Za ublažitev negativnih posledic sedimentacije so leta 2012 v okviru ekološke sanacije iz naplavljenega mulja oblikovali umetni otok pri Spodnji Vižingi, s čimer so želeli izboljšati ekološko stanje vodnega okolja in zmanjšati vpliv kopičenja plavin. [MKGP, 2022]

V zadnjem obdobju so se pojavile raziskave, usmerjene v analizo možnosti ponovne uporabe plavin iz Drave v gradbeni industriji, vendar celovite študije o tokovih plavin in njihovih vplivih na rečno dinamiko ostajajo omejene. [Ducman, 2022; Knapič, 2019; Mikoš, 2017].

Zgodovinski podatki kažejo, da so bile meritve lebdečih plavin na reki Dravi na merilnem mestu na Ptujju izvajane med letoma 1956 in 1975, pri čemer v okviru državnega hidrološkega monitoringa sistematičnih meritev ni bilo. Leta 2013 je bila vzpostavljena izmenjava podatkov o motnosti vode med Agencijo Republike Slovenije za okolje (ARSO) in Dravskimi

elektrarnami Maribor (DEM) za izbrane lokacije monitoringa. Meritve motnosti z optičnimi senzorji so se v akumulacijah hidroelektrarn uvajale postopoma: prvi senzor je bil nameščen leta 2011 v akumulaciji Hidroelektrarne Dravograd, leta 2012 na dveh drugih lokacijah v Vuzenici in na Mariborskem otoku, ter leta 2013 na četrti lokaciji v Markovcih. Kljub dostopnosti surovih urnih podatkov, ki jih je zagotovil DEM, relacija med izmerjeno motnostjo in koncentracijo lebdečih snovi v vodi ni bila določena, kar otežuje natančno kvantifikacijo sedimentnih tokov. Meritve se izvajajo s senzorji tipa Solitax LXV (HACH), ki delujejo na podlagi metode širjenja svetlobe pod kotom 90° (ISO 7027) in omogočajo meritve motnosti v razponu 0,001–4000 FNU oziroma koncentracije lebdečih delcev v območju od 0,001 do 50 g/l. Podatki so pridobljeni na petminutni ravni in prikazani kot koncentracije celotnih suspendiranih snovi (TSS – Total Suspended Solids) v mg/l. Za zagotavljanje neprekinjenega in zanesljivega delovanja so senzorji opremljeni z avtomatskim sistemom samočiščenja, ki se aktivira vsake štiri ure. Rezultati meritev kažejo, da se v običajnih hidroloških razmerah koncentracija lebdečih delcev v vodi giblje med 10 in 20 g/m³, medtem ko ob povečanih pretokih, ki lahko dosežejo do 1400 m³/s, koncentracija plavin znatno naraste in preseže 320 g/m³. [Hutevec, 2016]

V okviru slovensko-avstrijskega programa čezmejnega sodelovanja SI-AT 2008–2013 z naslovom Drava-Mura Crossborder Initiative – DRA-MUR-CI je bil eden od delovnih sklopov namenjen spremljanju premeščanja lebdečih plavin. V ta namen so bile izvedene meritve in modeliranje transporta plavin na izbranih monitoring postajah reke Drave, in sicer na Šturmovem potoku, v Zavrču ter na Ptujju.

Leta 2018 so bile v okviru projekta HyMoCARES po naročilu izvajalca Inštituta za vode Republike Slovenije izvedene dodatne meritve lebdečih plavin v Zgornjem Dupleku in Zlatoličju, kjer so potekale neprekinjeno eno leto. Monitoring je vključeval tudi spremljanje visokovodnega dogodka oktobra 2018, kar je omogočilo podrobnejšo analizo vpliva povečanih pretokov na premeščanje plavin. Zbrani podatki so prispevali k boljšemu razumevanju dinamike plavin v reki Dravi ter omogočili nadgradnjo obstoječih modelov procesov premeščanja plavin. [UM FGPA, 2019]

3 KRATEK POVZETEK METOD DOLOČEVANJA VSEBNOSTI LEBDEČIH PLAVIN

Merjenje in kvantifikacija lebdečih plavin v vodotokih kljub razvoju številnih učinkovitih metod ostajata izjemno kompleksna izziva, ki zahtevata uporabo poenostavitve in predpostavk. Premeščanje plavin je dinamičen in nelinearen proces, pri katerem nobena posamezna merilna tehnika ne more v celoti zajeti časovno in prostorsko spremenljivih pogojev v rečnih strugah.

Eden ključnih izzivov pri določanju količine lebdečih plavin je dejstvo, da vodotoki več kot 50 % celotne obremenitve s plavinami prenesejo v obdobjih poplav. Ker se tovrstni dogodki pojavljajo v kratkih časovnih intervalih in so pogosto nepredvidljivi, je pridobivanje reprezentativnih vzorcev oteženo, še posebno v odsotnosti avtomatiziranih merilnih sistemov. Kla-

sične metode vzorčenja in laboratorijske analize koncentracij plavin so v najboljšem primeru logistično zahtevne in ekonomsko neučinkovite.

Poleg tega konvencionalne metode, ki temeljijo na laboratorijski obdelavi odvzetih vzorcev, pogosto vključujejo merilne in analitične napake, ki vplivajo na natančnost določanja koncentracije plavin. To je eden ključnih razlogov za razvoj in implementacijo alternativnih metod, ki so po možnosti neinvazivne in omogočajo kontinuirano spremljanje lebdečih delcev v vodotokih [UM FGPA, 2013].

Metode za določanje lebdečih plavin v rekah se delijo na neposredne (lebdeče plavine določamo na osnovi odvzetega vzorca vode) in posredne ali surogatne (lebdečih plavin ne vzorčimo, ampak koncentracijo in zrnastost določamo z merilniki, ki oddajajo ali sprejemajo mehansko ali elektromagnetno valovanje) [Mikoš, 2012].

1. Neposredne metode (vzorčenje)

Te metode vključujejo fizično zajemanje vzorcev vode in plavin za kasnejšo laboratorijsko analizo.

- Stekleničenje: vzorci se odvijemajo ročno ali samodejno s steklenicami ali vrečkami. Metoda je preverjena in omogoča določitev koncentracije in zrnastosti. Njene slabosti so slaba časovna ločljivost, potreba po laboratorijski analizi in invazivnost.
- Črpalno vzorčenje: vzorci se zajemajo z uporabo črpalk. Metoda omogoča avtomatizacijo in določitev koncentracije plavin. Njene slabosti so omejena sesalna višina in potreba po laboratorijski obdelavi vzorcev.

2. Posredne metode (surogatne metode)

Namesto vzorčenja se lastnosti plavin ocenjujejo z različnimi senzorji, ki merijo fizikalne pojave.

- Optične metode (meritev sipanja ali absorpcije svetlobe) so relativno poceni in omogočajo daljinsko zaznavanje. Njihova slabost je odvisnost od zrnastosti ter možnost onesaženja senzorjev.
- Akustične metode (zvočni odboj od delcev) so neinvazivne in zagotavljajo dobro prostorsko ločljivost. Njihova slabost je slabljenje signala pri visokih koncentracijah plavin in samo umerjanje signala za pretvorbo v koncentracijo plavin. Med akustične metode spada tudi metoda meritve z ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). ADCP postaja vse bolj priljubljen za spremljanje koncentracije lebdečih plavin, saj omogoča oceno hitrosti in koncentracije delcev v vodi s pomočjo zvočnega valovanja. Metoda je neinvazivna in omogoča sprotne merjenje, vendar zahteva kalibracijo. Pri visokih koncentracijah je njena natančnost zmanjšana.
- Laserska difrakcija (meritev odboja laserskega žarka) omogoča natančno oceno zrnastosti, vendar je metoda draga, invazivna in ima omejen spekter zrnastosti.
- Jedrske metode (merjenje prehoda gama- ali rentgenskih žarkov) so uporabne pri širokem razponu koncentracij, vendar imajo nizko občutljivost in okoljske omejitve.
- Daljinsko spektralno zaznavanje (satelitske slike, multispektralne analize) je uporabno za široka območja, vendar ima ta metodo slabo ločljivost in omejeno uporabnost v rekah, predvsem v manjših vodotokih.

Za določitev koncentracije lebdečih plavin, predstavljenih v tem članku, je bila uporabljena kombinacija neposrednih in posrednih metod, pri čemer je bila izbira metode prilagojena razpoložljivosti raziskovalne opreme ter specifičnim hidrološkim in okoljskim razmeram na merilnih lokacijah. Neposredne metode so obsegale ročni odvzem vzorcev vode (stekleničenje) na več vertikalah in različnih globinah glede na trenutno globino vode v prerezu. Posredne metode so vključevale uporabo akustičnega Dopplerjevega merilnika pretokov (ADCP) tipa RioGrande ZedHed s frekvenco 1200 kHz, proizvajalca Teledyne RD Instruments (San Diego, Kalifornija, ZDA). Podrobnejši opis metodologije je na voljo v [Kramer Stajnko, 2023].

Koncentracija lebdečih plavin je bila določena z laboratorijsko analizo zbranih vzorcev vode. Primarna metoda določanja je temeljila na filtracijski tehniki, skladni s slovenskim standardom SIST EN 872:2005, ki določa postopke za kvantifikacijo suspendiranih delcev v vodi. Podrobnejši opis metodologije je na voljo v [Dolinar, 2014a].

Za vzorčenje so bili uporabljeni različni tipi vzorčevalnikov, od enostavnih naprav, ki so bile prilagojene ekstremnim hidrodinamičnim pogojem, kot je visokovodni val, do globinsko integriranih vzorčevalnikov. Slednji so podrobneje opisani v študiji [UM FGPA, 2019].

4 REZULTATI IN ANALIZA MERITEV

V članku so predstavljeni rezultati meritev lebdečih plavin, izvedenih v daljšem časovnem obdobju na petih izbranih merilnih mestih: Šturmov potok, Zavrč, Ptuj, Studenška brv Maribor in Zgornji Duplex (slika 1). V raziskavi so bile uporabljene različne merilne tehnike, pri čemer je pridobljeno znanje omogočilo identifikacijo optimalne metode za njihovo dolgoročno spremljanje.

Če hidroloških parametrov ni bilo mogoče izmeriti neposredno na terenu z razpoložljivo merilno opremo, so bili podatki o pretoku vode v bližini merilnih mest pridobljeni iz sekundarnih virov. Za območja v neposredni bližini Hidroelektrarne Fala (merilno mesto Šturmov potok) in Hidroelektrarne Mariborski otok (merilno mesto Studenška brv) so podatke zagotovile Dravske elektrarne Maribor (DEM), upravljavec hidroenergetskih objektov na reki Dravi. Na merilnih mestih Borl (v bližini merilnega mesta v Zavrču) in Ptuj so bili podatki o pretoku in vodostaju pridobljeni iz merilne mreže Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO).



Slika 1. Lokacije meritev koncentracije lebdečih plavin v reki Dravi.

4.1 Merilno mesto Šturmov potok

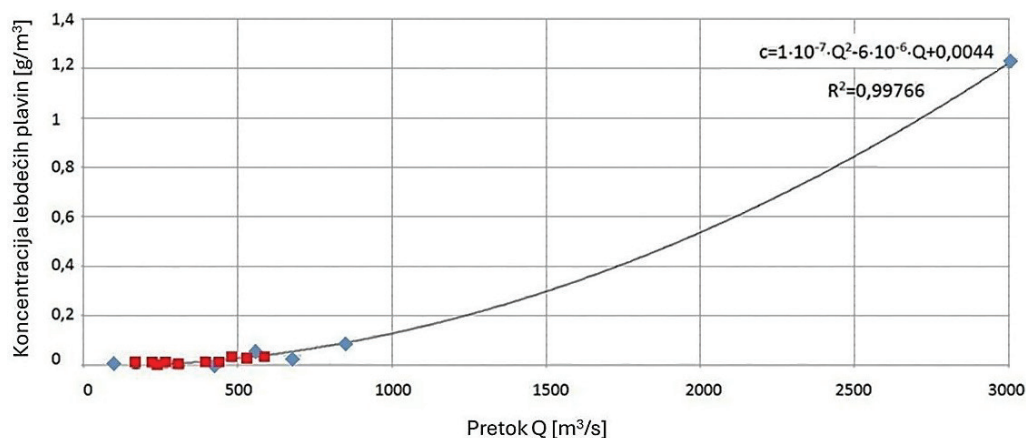
Meritve na merilnem mestu Šturmov potok so, skladno z že opisano metodologijo, potekale z uporabo ADCP-merilnika, s katerim se je zajel prečni hitrostni profil in določil trenutni pretok (slika 2). Vzorci vode so bili odvzeti na treh vertikalah pri globinah 2 m in 4 m. Povprečne izmerjene vrednosti pretoka, temperature vode in koncentracije lebdečih plavin so prikazane v preglednici 1.

Drava – Šturmov graben			
Datum	Pretok Q [m³/s]	Temperatura T [°C]	Povprečna koncentracija plavin C [mg/l]
1. 6. 2009	385,1	13,2	17,1
1. 7. 2009	523,3	14,7	30,8
3. 8. 2009	494,0	19,7	23,8
14. 10. 2009	441,3	12,8	12,5
14. 1. 2010	314,3	3,4	4,1
20. 4. 2010	188,3	10,9	3,7
17. 6. 2010	555,8	16,7	51,5
16. 9. 2010	428,9	15,2	14,8
31. 1. 2011	312,4	3,5	2,3
22. 3. 2011	168,7	7,8	5,5

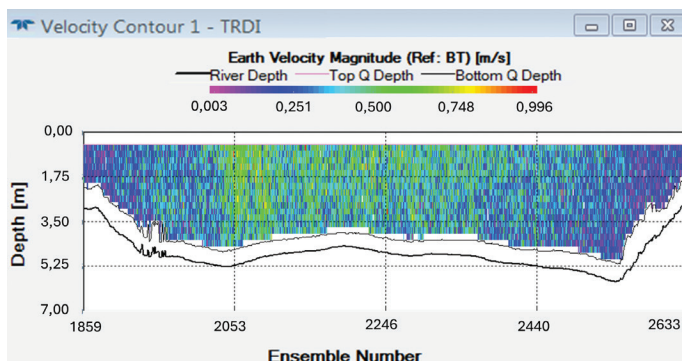
Preglednica 1. Rezultati meritev (izmerjeni pretok, temperatura in povprečna koncentracija lebdečih plavin v odvzetih vzorcih) na merilnem mestu Šturmov potok.

Slika 3 prikazuje sočasno izmerjene vrednosti pretoka in koncentracije lebdečih plavin, pri čemer je opazna sorazmerna povezava med spremenljivkama. Rezultati nakazujejo neposredno soodvisnost pretoka in koncentracije lebdečih plavin, kar potrjuje trend naraščanja koncentracije lebdečih delcev s povečevanjem pretoka in obratno.

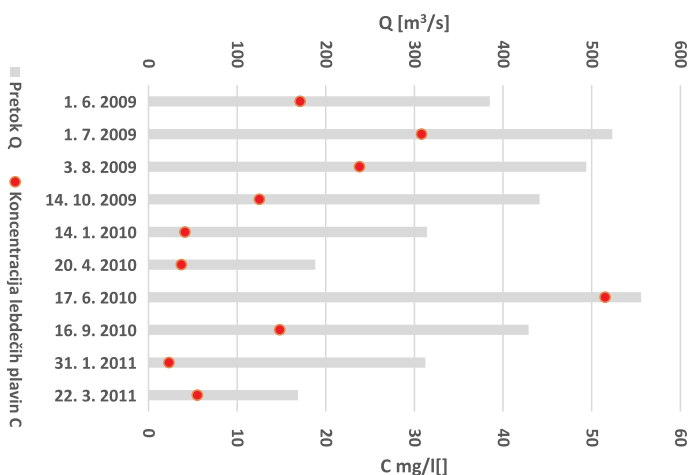
Soodvisnost teh parametrov je mogoče zadovoljivo opisati s kvadratnimi regresijskimi funkcijami, kot je prikazano na sliki 4.



Slika 4. Korelacija med koncentracijo lebdečih plavin in pretokom na lokaciji Šturmov potok.



Slika 2. Izmerjen hitrostni profil na merilnem mestu Šturmov potok; prikazana je velikost hitrosti toka (v m/s), referenčno na dno (BT – Bottom Track) po globini vodotoka (v m) vzdolž prečnega prereza.



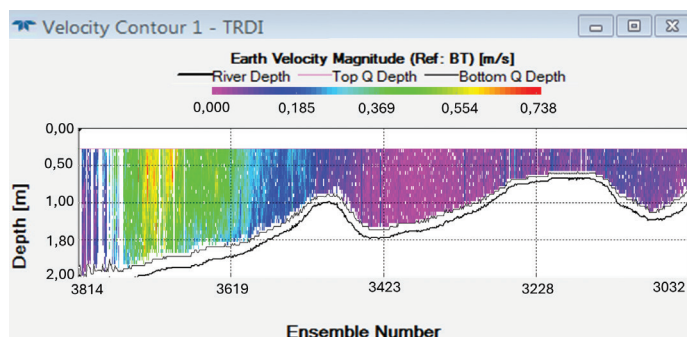
Slika 3. Izmerjeni pretoki in koncentracije lebdečih plavin na merilnem mestu Šturmov potok.

Kakovost prilaganja regresijskega modela eksperimentalnim podatkom je ocenjena s koeficientom determinacije (R^2), ki služi kot indikator natančnosti aproksimacije merjenih vrednosti z izbrano funkcijo.

Pri visokih pretokih, kjer ni eksperimentalnih podatkov, modelirana krivulja predstavlja napoved koncentracije lebdečega materiala na podlagi ekstrapolacije regresijske enačbe. Ker regresijski model temelji na podatkih iz nižjega območja pretokov, je pri interpretaciji ekstrapoliranih vrednosti potrebna previdnost. Dejanske koncentracije lebdečih plavin pri ekstremnih pretokih lahko odstopajo od napovedanih vrednosti zaradi dodatnih vplivov, kot so spremembe v transportnih mehanizmi, eroziji rečne struge in novih sedimentnih virih. Zato je za natančnejše napovedi priporočljivo pridobiti dodatne podatke iz obdobj visokih pretokov in preveriti zanesljivost modela v tem območju.

4.2 Merilno mesto Zavrch

Na merilnem mestu Zavrch so bile uporabljene enake metodologije meritev kot na merilnem mestu Šturmov potok. V tem delu reke se na koncu Ptujkega jezera kanal loči od glavne struge Drave pri pregradi Markovci, da zagotavlja dovod vode v Hidroelektrarno Formin, ki je bila zgrajena med letoma 1964 in 1969. Maksimalna kapaciteta derivacijskega kanala je 500 m³/s, pri čemer presežna voda ob doseženi kapaciteti odteka v naravno rečno strugo. Zahtevani ekološko sprejemljiv pretok na tem območju znaša 10 m³/s v zimskem in zgodnjepomladanskem obdobju (15. oktober–15. marec) ter 20 m³/s v poletno-jesenskem obdobju (15. marec–15. oktober). Merilno mesto je bilo izbrano z namenom, da se ugotovi, koliko lebdečih plavin se ob razcepu struge preusmeri v naravno strugo.



Slika 5. Izmerjen hitrostni profil na merilnem mestu Zavrch; prikazana je velikost hitrosti toka (v m/s), referenčno na dno (BT – Bottom Track) po globini vodotoka (v m) vzdolž prečnega prereza.

Na merilnem mestu so bile izmerjene relativno nizke vrednosti pretokov (preglednica 2), kar je potrjeno tudi z izmerjenim hitrostnim profilom (slika 5). Kljub temu je v vseh obdobjih zagotovljen minimalni predpisani ekološko sprejemljiv pretok. Analiza oblike hidravličnega profila kaže, da gre za rečni odsek v zavoju, kar potrjuje izrazita erozija na levi brežini in akumulacija transportiranih plavin na desni strani zaradi vpliva sekundarnih tokov, kar je razvidno tudi iz slike 6.

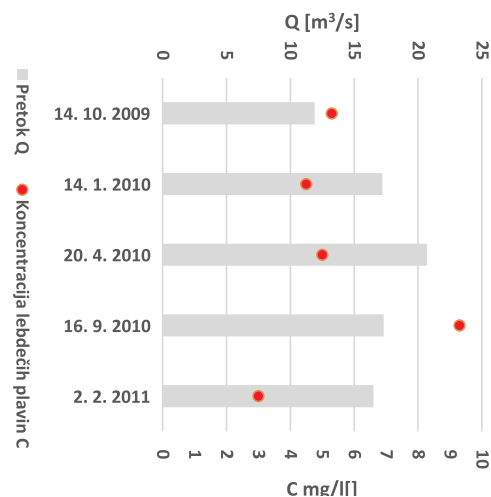
Zaradi izrazite kompleksnosti hidroloških in morfoloških razmer ni mogoče vzpostaviti statistično značilne korelacije med pretokom in povprečno izmerjeno koncentracijo lebdečih plavin kot v primeru prejšnje lokacije. Razcep struge pri pregradi Markovci, kjer se del vode usmerja v derivacijski kanal, pomembno spreminja naravno dinamiko toka v glavni strugi. Tako prihaja do zmanjšane in nestanovitnega pretoka, ki

Drava – Zavrch			
Datum	Pretok Q [m ³ /s]	Temperatura T [°C]	Povprečna koncentracija plavin C [mg/l]
14. 10. 2009	11,9	11,6	5,3
14. 1. 2010	17,2	4,2	4,5
20. 4. 2010	20,7	11,2	5,0
16. 9. 2010	17,3	16,7	9,3
2. 2. 2011	16,5	3,0	3,0

Preglednica 2. Rezultati meritev (izmerjeni pretok, temperatura in povprečna koncentracija lebdečih plavin v odvzetih vzorcih) na merilnem mestu Zavrch.



Slika 6. Zračni posnetek merilnega mesta pri Zavrchu, z vidno erozijo leve brežine in akumulacijo plavin na desni strani.



Slika 7. Izmerjeni pretoki in koncentracije lebdečih plavin na merilnem mestu Zavrch.

je sicer znotraj meja ekološko sprejemljivih vrednosti, a zaradi zmanjšane energije toka omejuje zmožnost transporta plavin. To je razvidno tudi iz primerjave pretoka in koncentracije lebdečih plavin, prikazane na sliki 7.

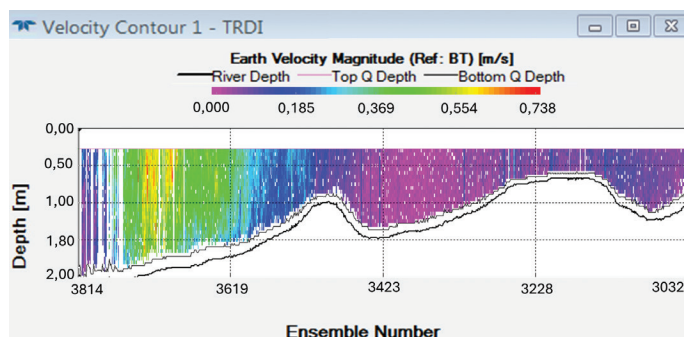
4.3 Merilno mesto Ptuj

Merilno mesto na Ptujju je locirano tik za sotočjem naravne rečne struge in umetnega derivacijskega kanala, v neposredni bližini pa je tudi avtomatska vodomerna postaja ARSO. Metodologija meritev na tem mestu sledi enakim postopkom, kot so bili uporabljeni na predhodno opisanih merilnih mestih. V obdobjih povišanih pretokov so bili dodatni vzorci vode za določitev koncentracije lebdečih plavin odvzeti z bližnjega mostu, pri čemer se v teh primerih ni izvedla meritev prečnega profila struge z uporabo ADCP-merilnika. Rezultati meritev za

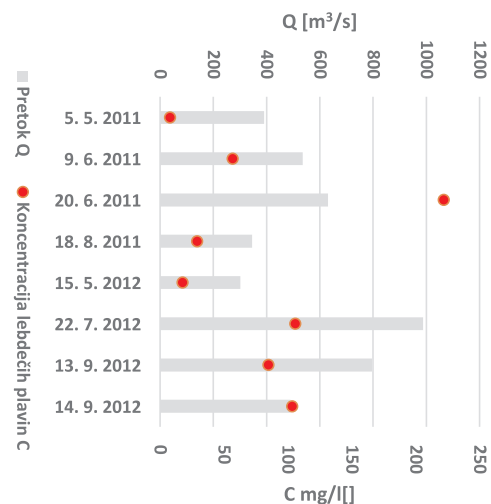
merilno mesto Ptuj so predstavljeni v preglednici 3, medtem ko je prečni hitrostni profil s pripadajočimi vrednostmi pretoka prikazan na sliki 8.

Drava – Ptuj			
Datum	Pretok Q [m³/s]	Temperatura T [°C]	Povprečna koncentracija plavin C [mg/l]
5. 5. 2011	390,8	13,9	7,8
9. 6. 2011 z mostu	536,0	16,4	56,7
20. 6. 2011 z mostu	631,0	14,7	222,0
18. 8. 2011	345,2	20,3	29,0
15. 5. 2012	301,2	15,1	17,7
22. 7. 2012 z mostu	988,0	15,9	105,7
13. 9. 2012 z mostu	796,0	15,4	84,7
14. 9. 2012	489,1	14,5	103,3

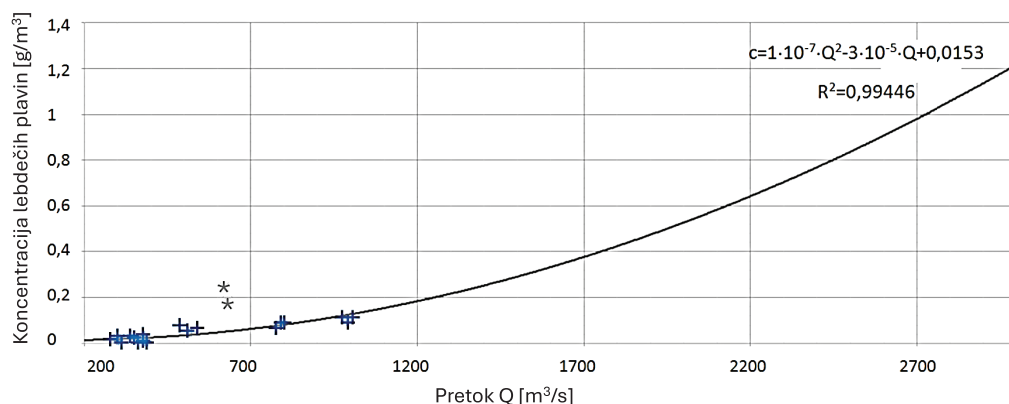
Preglednica 3. Rezultati meritev (izmerjeni pretok, temperatura in povprečna koncentracija lebdečih plavin v odvzetih vzorcih) na merilnem mestu Ptuj.



Slika 8. Izmerjen hitrostni profil na merilnem mestu Ptuj; prikazana je velikost hitrosti toka (v m/s), referenčno na dno (BT – Bottom Track) po globini vodotoka (v m) vzdolž prečnega prereza.



Slika 9. Izmerjeni pretoki in koncentracije lebdečih plavin na merilnem mestu Zavrč.



Slika 10. Korelacija med koncentracijo lebdečih plavin in pretokom na lokaciji Ptuj.

Analiza izmerjenih koncentracij lebdečih plavin je pokazala eno izrazitejšo odstopanje od pričakovanega trenda (20. 6. 2011, slika 9), kar je mogoče pripisati povečanemu pretoku in posledičnemu spiranju plavinskega materiala, ki se je premical v vodni tok. Podobno so bile višje in nesorazmerne koncentracije lebdečih plavin v primerjavi s pretokom zaznane tudi septembra 2012, ko je povišan pretok z zamikom sprožil mobilizacijo in transport plavin.

Na podlagi zbranih podatkov je bila sestavljena kvadratna regresijska funkcija, ki opisuje razmerje med pretokom in koncentracijo lebdečih plavin, prikazana na sliki 10. Rezultati nakazujejo, da pri višjih pretokih koncentracija lebdečih delcev narašča nelinearno. Ta pojav je mogoče razložiti s povečano erozijo in mobilizacijo plavin iz rečnega dna in brežin. Trend rasti koncentracije lebdečih plavin pri visokih pretokih potrjuje hipotezo o aktivaciji dodatnih transportnih mehanizmov, kot sta dvigovanje materiala z dna rečne struge in prispevek lebdečega materiala iz bočnih pritokov.

4.4 Merilno mesto Studenška brv

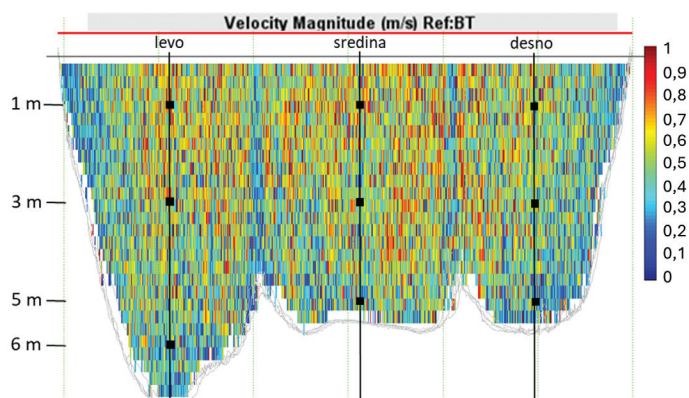
Na merilnem mestu Studenška brv je predstavljen primer določanja koncentracije lebdečih plavin z ADCP-merilnikom, pri čemer je uporabljena kombinacija direktne in indirektna metode meritev. S pomočjo pripadajoče programske opreme VISEA-PDT (Plume Detection Toolbox), ki jo razvija podjetje Aqua Vision, je omogočena simulacija koncentracije lebdečih plavin v izbranem prečnem profilu. Ta simulacija temelji na kalibraciji modela, izvedeni na podlagi količin lebdečih plavin,

Točka odvzema vzorca	Koncentracija plavin C [mg/l]
levo – 1 m	6,0
levo – 3 m	8,3
levo – 6 m	9,2
sredina – 1 m	10,0
sredina – 3 m	7,8
sredina – 5 m	7,4
desno – 1 m	7,0
desno – 3 m	6,8
desno – 5 m	7,4

Preglednica 4. Izmerjena koncentracija lebdečih plavin v posameznih točkah.

Drava – Ptuj			
Datum	Pretok Q [m³/s]	Temperatura T [°C]	Povprečna koncentracija plavin C [mg/l]
19. 5. 2016	287	13,9	7,8

Preglednica 5. Rezultati meritev (izmerjeni pretok, temperatura in povprečna koncentracija lebdečih plavin v odvzetih vzorcih) na merilnem mestu Studenška brv.



Slika 11. Izmerjen hitrostni profil na merilnem mestu Studenška brv z mesti odvzema vzorcev za kalibracijo; prikazana je magnituda hitrosti toka (v m/s).

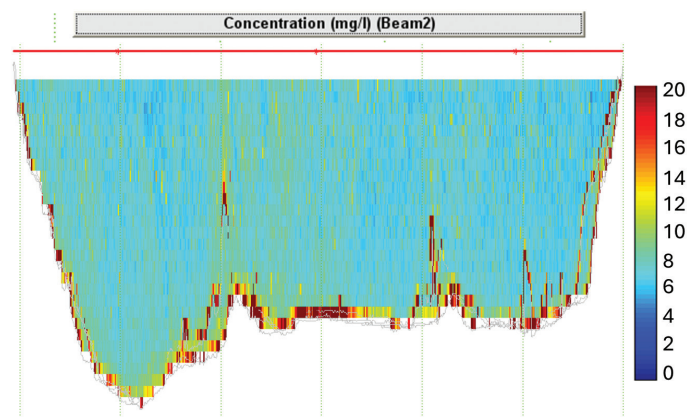
pridobljenih s točkovnim vzorčenjem po prečnem profilu (stekleničenje) (slika 11, preglednica 4). Rezultati meritve so podani v preglednici 5.

Dejanska vrednost koncentracije lebdečih plavin se določa iterativno, saj sta tako jakost povratnega akustičnega signala kot koncentracija lebdečih plavin odvisni od prisotnosti delcev, ki povzročajo oslabitev signala. Pri tem se upoštevata izguba zvočne energije zaradi absorpcije delcev in sipanja v vodnem mediju. Zaradi te soodvisnosti je treba določanje koncentracije lebdečih delcev izvesti z večkratnimi iterativnimi prilagoditvami, kar samodejno izvaja programska oprema VISEA-PDT (Plume Detection Toolbox).

Povezava med absolutno vrednostjo odbitega signala in koncentracijo lebdečih plavin je podana z empiričnim izrazom:

$$10 \log (C) = A I + B \quad (1)$$

kjer so C – koncentracija lebdečih plavin [mg/l], I – izmerjen absolutni odboj [dB], A in B – empirični kalibracijski konstanti, pridobljeni s postopkom iteracije na osnovi vnešenih, dejansko izmerjenih vrednosti koncentracij lebdečih plavin. V obravna-



Slika 12. Koncentracija lebdečih plavin (v mg/l) po pretvorbi iz absolutne vrednosti odbitega signala z iteracijo na osnovi dejansko izmerjenih vrednosti koncentracij lebdečih plavin (preglednica 5).

vanem primeru sta vrednosti konstant določeni kot $A=0,0221$ in $B=1,8696$. Rezultirajoča koncentracija lebdečih plavin po profilu je prikazana na sliki 12.

Koncentracija lebdečih plavin (v mg/l) po pretvorbi iz absolutne vrednosti odbitega signala z iteracijo na osnovi dejansko izmerjenih vrednosti koncentracij lebdečih plavin (preglednica 5)

Uporaba akustičnega Dopplerjevega merilnika pretoka (ADCP) za določitev koncentracije in razporeditve lebdečih plavin po rečnem profilu se je izkazala za dobro alternativo drugim metodam, kadar se uporablja v povezavi z ustrezno programsko opremo, ki omogoča pretvorbo akustičnih signalov v koncentracijo plavin. Takšen pristop omogoča celovit prikaz premeščanja plavin skozi izbrani prečni profil vodnega telesa.

4.5 Merilno mesto Zgornji Duplex

Na merilnem mestu v Zgornjem Duplexu, med Mariborom in Ptujem, kjer je struga od pregrade Melje za potrebe hidroelektrarne Zlatoličje že ločena na naravno strugo in umetni kanal, je bila izvedena meritev visokovodnega dogodka, ki se je zgodil v jeseni 2018. Meritve so se začele izvajati 29. 10. 2018, ko je pretok reke Drave presegel $500 \text{ m}^3/\text{s}$. Pretok v naravni strugi se je povečal z začetnih $10 \text{ m}^3/\text{s}$ na $1391 \text{ m}^3/\text{s}$, pri čemer je visoka voda trajala tri dni. Na merilnem mestu so se odvzemali vzorci vode, saj meritev z ADCP-merilnikom zaradi zahtevnih razmer ni bila mogoča. Podatki o pretoku so bili pridobljeni iz avtomatizirane merilne postaje na pregradi Melje (DEM), kjer so bili v realnem času dostopni prek spletne platforme Dravskih elektrarn. Za določitev koncentracije lebdečih plavin v odvisnosti od pretoka med visokovodnim dogodkom so bili vzorci vode ročno zajeti iz mostu z uporabo 1000 ml plastičnih steklenic v enournih oziroma dvournih intervalih. Vzorčenje je potekalo do 4. novembra 2018, pri čemer je bilo v zadnjih štirih dneh, ko je pretok upadel pod $500 \text{ m}^3/\text{s}$, odvzet le en vzorec na dan.

Rezultati meritev koncentracije lebdečih plavin v odvisnosti od pretoka med visokovodnim dogodkom v oktobru 2018 so prikazani na sliki 13. Najnižja vrednost pretoka je bila izmerjena 5. novembra 2018 ob 15.13 in je znašala $92 \text{ m}^3/\text{s}$, medtem ko je bil največji pretok dosežen 30. oktobra 2018 ob 18.33 in je znašal $1391 \text{ m}^3/\text{s}$. Najnižja koncentracija lebdečih plavin je bila

105 mg/l (5. novembra 2018 ob 15.13), najvišja pa 2450 mg/l (31. oktobra 2018 ob 00.28).

Ugotovljeno je, da se koncentracije lebdečih plavin pri naraščajočem vodostaju razlikujejo od tistih, izmerjenih pri enakem vodostaju med fazo upadanja vode. Njihova dinamika v vodotokih je odvisna od številnih dejavnikov, med katerimi so ključni energijski pogoji, določeni s pretokom, razpoložljivost plavin, intenzivnost padavin, raba tal in vegetacijska pokrovnost. Ti dejavniki pomembno vplivajo na pojav časovne zamaknenosti odziva, značilne za analizo odnosa med odtokom in koncentracijo lebdečih plavin. Histerezne vzorce tega pojava zaznamujejo nelinearne spremembe v premeščanju plavin, ki so odvisne od hidravličnih pogojev, pri čemer pomembno vlogo igrajo procesi erozije, odlaganja in ponovnega dviga materiala v vodno telo.

V tem primeru se oblikuje histerezna zanka v nasprotni smeri urinega kazalca, kar nakazuje, da so bili viri plavin v oddaljenih delih porečja in so prispevali k površinskemu odtoku. To pomeni, da so plavine dosegle vodotok šele v fazi upadanja pretoka. Zamik premeščanja plavin bi lahko povzročila tudi erozija materiala v porečju, ki se je v prejšnjem poplavnem dogodku odložil na pobočjih in ni dosegel rečnega toka, ob naslednjem visokovodnem dogodku pa so ga površinski odtoki transportirali v strugo. Visoke koncentracije lebdečih plavin v fazi upadanja pretoka so pogosto povezane tudi z zrušitvijo rečnih brežin.

Za natančno opredelitev dejavnikov, ki prispevajo k povečanju koncentracije lebdečih plavin v fazi upadanja pretoka, je potrebna dodatna analiza podatkov o rabi tal in intenziteti padavin.

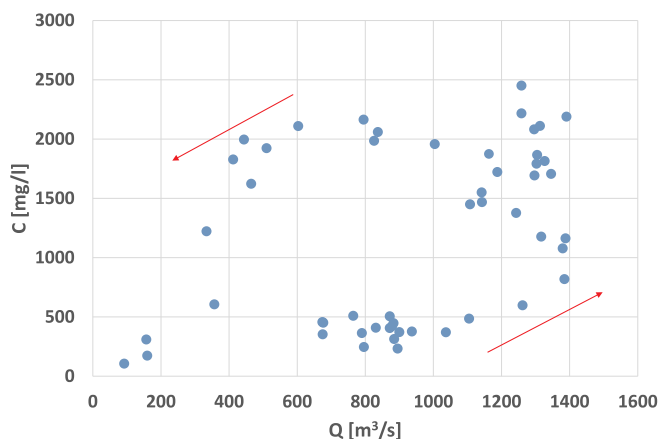
Rezultati jasno kažejo, da se na tem delu reke Drave večina materiala premešča med visokovodnimi dogodki, kar lahko povzroči znatne težave in škodo na poplavljenih območjih, kot so onesnaženje kmetijskih površin in zmanjšana učinkovitost povratnih valov. Zato so nujni posebni ukrepi in dodatne zaščitne strategije za zmanjšanje negativnih vplivov na ta območja.

5 SKLEP

V članku so predstavljeni rezultati večletnih meritev lebdečih plavin, izvedenih na različnih lokacijah reke Drave v obdobjih povprečnih pretokov in med enim visokovodnim dogodkom. Pri raziskavi so bile uporabljene različne merilne tehnike in njihove kombinacije, prilagojene specifičnim terenskim razmeram, z namenom zagotavljanja visoke natančnosti in reprezentativnosti pridobljenih podatkov. Zaradi izrazitih časovnih in prostorskih nihanj koncentracije lebdečih plavin v posameznem profilu je njihovo zanesljivo določanje mogoče le z usklajeno uporabo indirektnih in direktnih merilnih metod.

Raziskava transporta lebdečih plavin med visokovodnim valom potrjuje hipotezo, da se največji delež plavin premešča med poplavnimi dogodki. Analiza rezultatov in prisotnost značilne antihisterezne zanke, ki opisuje korelacijo med pretokom in koncentracijo lebdečih plavin nakazuje, da so glavni viri plavin locirani na poplavnih območjih oziroma da so posledica erozijskih procesov na brežinah vodotoka.

Za vzpostavitev učinkovitega modela dinamike lebdečih plavin v reki Dravi je potrebno kontinuirano spremljanje transporta plavin. Poleg obstoječih senzorjev motnosti, nameščenih na štirih hidroelektrarnah, je nujna tudi uporaba fizičnega vzorčenja in drugih dopolnilnih metod, ki omogočajo pridobitev



Slika 13. Odvisnost med koncentracijo lebdečih plavin C in pretokom vode Q med visokovodnim dogodkom oktobra 2018.

reprezentativnega pregleda režima premeščanja plavin v izbranem prečnem profilu. Takšna kombinacija merilnih pristopov bi omogočila zanesljivejša napovedi transporta plavin in posledično optimizacijo strategij njihovega upravljanja.

Sistematično spremljanje transporta plavin v reki Dravi je ključnega pomena za učinkovito načrtovanje njihovega upravljanja in predstavlja pomemben izziv za upravljavce hidroelektrarn, saj neposredno vpliva na njihovo operativno učinkovitost. Ocenjuje se, da se v akumulacijskih bazenih letno odloži med 30.000 in 40.000 m³ sedimentnega materiala, kar lahko vodi v postopno zmanjševanje uporabne prostornine akumulacij in posledično vpliva na delovanje hidroenergetskih sistemov [Ducman, 2022]. Analiza opazovanj je pokazala postopno zmanjševanje skupne prostornine akumulacij. Ugotovljeno je bilo, da se je od začetka delovanja hidroelektrarn do leta 2014 skupna prostornina zmanjšala za 32 %. Poleg tega se uporabna prostornina akumulacij letno zmanjša za približno 33.000 m³, kar dodatno omejuje njihovo zmogljivost in učinkovitost [Knapič, 2019]

Na podlagi natančnega modela transporta lebdečih plavin bi se lahko določili ustrezni ukrepi za upravljanje plavin, bodisi s preusmerjanjem proti osrednjemu toku reke bodisi z implementacijo sedimentnih pregrad, lovilnikov ali zaves. Pri tem je ključno, da so vsi predlagani ukrepi trajnostno naravnani ter ne povzročajo negativnih vplivov na druge uporabnike rečne ekosistema in naravno okolje v njegovi neposredni bližini.

6 ZAHVALA

Del rezultatov, prikazanih v članku, je pridobljen v sklopu naloge »Meritve kalnosti reke Drave v času normalnih pretokov in v času visokovodnega vala med jezom Melje in Ptujskim jezerom« naročnika Inštituta za vode Republike Slovenije kot del projekta HyMoCARES.

7 LITERATURA

ARSO VODE, Program hidrološkega monitoringa površinskih voda. Ljubljana, Retrieved from http://www.arso.gov.si/vode/poročila_in_publikacije/, 2021.

ARSO VODE, Pregled hidroloških razmer površinskih voda v Sloveniji, Poročilo o monitoringu za leto 2020. Ljubljana, 2023.

Bača, P., Hysteresis effect in suspended sediment concentration in the Rybárik basin, Slovakia / Effet d'hystérèse dans la concentration des sédiments en suspension dans le bassin versant de Rybárik (Slovaquie), Hydrological Sciences Journal, 53(1), 224–235, <https://doi.org/10.1623/hysj.53.1.224>, 2008.

Bezák, N., Šraj, M., Mikoš, M., Pregled meritev vsebnosti suspendiranega materiala v Sloveniji in primer analize podatkov, Gradbeni Vestnik, (62), 2013.

Bogen, J., The hysteresis effect of sediment transport systems, Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography, 34(1), 45–54, <https://doi.org/10.1080/00291958008545338>, 1980.

Brilly, M., Matjaž, M., Šraj, M., Vodne ujme. Ljubljana, Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/236974255>, 1999.

Dolinar, B., (a), Merilni nadzor lebdečih plavin v reki Dravi, Materiali in Geokolje, 61, 79–86, 2014.

Dolinar, B., (b), Suspendirani sedimenti v reki Dravi, Gradbeni Vestnik, 63(april), 94–100, 2014.

Ducman, V., Bizjak, K. F., Likar, B., Kolar, M., Robba, A., Imperl, J., ... Gregorc, B., Evaluation of Sediments from the River Drava and Their Potential for Further Use in the Building Sector, Materials, 15(12), <https://doi.org/10.3390/ma15124303>, 2022.

Eder, A., Strauss, P., Krueger, T., Quinton, J. N., Comparative calculation of suspended sediment loads with respect to hysteresis effects (in the Petzenkirchen catchment, Austria), Journal of Hydrology, 389(1–2), 168–176, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.05.043>, 2010.

Garnett Williams, Sediment Concentration Versus Water Discharge During Single Event.Pdf, Journal of Hydrology, Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169489902540>, 1989.

Gregorc, B., Spremljanje vsebnosti suspendiranega materiala v rečni vodi Drave s pomočjo on-line meritev, Ekolist, 2010.

Hutevec, M., Problematika kalnosti v vodotokih. Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Retrieved from <http://www3.fgg.uni-lj.si/DRUGG-DigitalniRepozitorijULFGGhttp://drugg.fgg.uni-lj.si/http://drugg.fgg.uni-lj.si/5955/http://www3.fgg.uni-lj.si/en/DRUGG-TheDigitalRepositoryhttp://drugg.fgg.uni-lj.si/http://drugg.fgg.uni-lj.si/5955/>, 2016.

Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A., Upravljanje S Sedimenti V Akumulacijskih Bazenu Hidroelektrarn Na Reki Dravi : Predstavitel Pilotnega Projekta Plavljenja Sedimentov V Matico, Mišičev Vodarski Dan, 171–176, 2019.

Kramer Stajnko, J., Jecl, R., Nekrep Perc, M., Measurement and modeling of suspended sediment dynamics in watercourses, WIT Transactions on Engineering Sciences, 128, 61–67, <https://doi.org/10.2495/AFM200061>, 2020.

Kramer Stajnko, J., Jecl, R., Nekrep Perc, M., Advances in Monitoring and Understanding the Dynamics of Suspended-Sediment Transport in the River Drava, Slovenia: An Analysis More than a Decade-Long, Applied Sciences (Switzerland), 13(15), <https://doi.org/10.3390/app13159036>, 2023.

Lóczy, D., The Drava River, (Dénes Lóczy, Ed.). Cham: Springer International Publishing, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92816-6>, 2019.

Mikoš, M., Metode Terenskih Meritev Suspendiranih Sedimentov V Rekah Methods of Field Measurements of Suspended Sediments in Rivers, Gradbeni Vestnik, 61, 151–158, 2012.

Mikoš, M., Rečni sedimenti in mineralni agregati v gradbeništvu, Gradbeni Vestnik, 64(december), 28, 2017.

MKGP, Naravovarstveni E-vodnik po Dravi: poglavje Narava, 2022.

Ulaga, F., Monitoring suspendiranega materiala v slovenskih rekah, Acta Hydrotechnica, 23/39(2005), 117–128, 2005.

Ulaga, F., Suspendirane snovi v slovenskih rekah v letih 2021 in 2022, Ujma, 37, 134–138, 2023.

UM FGPA, Model obvladovanja sedimentov v akumulacijah HE na Dravi za ravnanje s sedimenti v akumulaciji ČHE Kozjak, 2–84, Retrieved from www.fgpa.si, 2013.

UM FGPA, Meritve kalnosti reke Drave v času normalnih pretokov in v času visokovodnega vala med jezom Melje in Ptujskim jezerom: končno poročilo. Maribor, Retrieved from www.fgpa.si, 2019.

Bojan Ivanc, CFA, CAIA
bojan.ivanc@gzs.si
Močnikova 10,
1000 Ljubljana



Strokovni članek
UDK 69+339.1(497.4)

POSLOVANJE SLOVENSKEGA GRADBENIŠTVA V ZADNJEM DESETLETJU

BUSINESS PERFORMANCE OF SLOVENIAN CONSTRUCTION SECTOR IN THE LAST DECADE

Povzetek

Dinamika poslovanja v gradbeništvu je v zadnjem desetletju dosegla lokalno dno v letu 2016, potem pa je pričela močno naraščati. Leti 2022 in 2023 sta bili po rasti izjemni leti, predvsem zaradi rasti del, financiranih iz kohezijskih sredstev in Načrta za okrevanje in odpornost. Leto 2024 je bilo spet nekoliko šibkejše, predvsem zaradi padca gradbenih del, kar je bilo povezano z zamudami pri izdaji gradbenih dovoljenj na upravnih enotah. Rast gradbenih del je sovpadala z rastjo števila gradbenih podjetij, katerih povprečna velikost, merjena s številom zaposlenih, je sčasoma vseeno nekoliko porasla. Dinamika črpanja kohezijskih sredstev je pomembno vplivala na dinamiko poslovanja v gradbeništvu. Gradbeništvo je predstavljalo okoli 6 % ustvarjene dodane vrednosti v slovenskem gospodarstvu, s čimer se je slovensko gradbeništvo uvrstilo na enajsto mesto med 27 EU državami. Prejemki zaposlenih so v zadnjem desetletju naraščali hitreje kot v povprečju in so bili v letu 2024 le še za desetino nižji od slovenskega povprečja. Kljub visoki rasti plač se je z izzivom pomanjkanja usposobljenih delavcev v zadnjih treh letih (2022-2024) soočala že polovica gradbenih podjetij. To zelo verjetno vpliva na nižjo produktivnost dela in na visoko rast plač oziroma stroškov dela na zaposlenega. Zaradi visokega deleža stroškov dela v dodani vrednosti gradbena podjetja ne morejo dodatno dvigovati plač, kar bi prispevalo k zmanjšanju primanjkljaja ponudbe delovne sile.

Ključne besede: gradbena dela, dovoljenja, dodana vrednost, kazalnik zaupanja, omejitveni dejavniki

Summary

The dynamics of the construction industry over the past decade reached a local low in 2016, after which it began to rise sharply. The years 2022 and 2023 were exceptionally strong in terms of growth, mainly due to construction works linked to the EU Cohesion Funds and Recovery and Resilience Facility (RRF). The year 2024 was somewhat weaker, primarily due to a decline in construction activities caused by the delay in issuing building permits by administrative units. The increase in construction activities coincided with the growth in the number of construction companies. Their average size, measured in terms of the number of employees, has increased slightly over time. The dynamics of drawing cohesion funds has significantly influenced the business performance in the construction sector. The construction accounts for approximately 6% of the gross value added in the Slovenian economy, which places Slovenia's construction sector in 11th place among the 27 EU countries. Earnings of construction workers have grown faster than the average earnings over the past decade and were only a tenth lower in 2024. Despite high wage growth, half of construction companies have faced a shortage of skilled workers in the last three years (2022-2024). This most likely affects lower labour productivity and contributes to the high growth in wages or labour costs per employee. Due to the high share of labor costs in gross added value, construction companies are unable to increase wages any further, which would help reduce the labor supply shortage.

Key words: construction works, permits, value added, construction confidence, limitations

1 UVOD

V svojem prispevku sem se osredotočil na vse razpoložljive statistične podatke o gradbeništvu v Sloveniji, ki prikazujejo poslovanje te dejavnosti v zadnjih desetih letih skozi prizmo gradbenih del, stroškov poslovanja, kazalnika zaupanja, omejitvenih dejavnikov pri poslovanju in zaposlovanja. Obenem navajam mednarodno primerjavo z državami EU-27 pri indikatorjih, ki so na voljo.

2 POSLOVNA DINAMIKA PODJETIJ V GRADBENIŠTVU

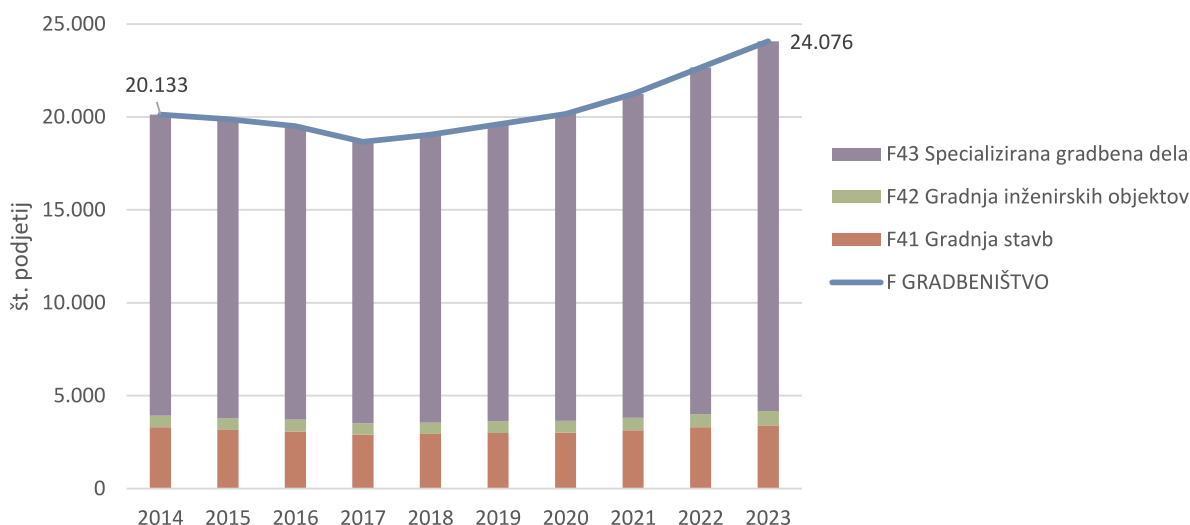
Število podjetij v gradbeništvu (vključuje tako gospodarske družbe kot samostojne podjetnike) je upadalo od leta 2014 do 2017, ko se je znižalo z okrog 20.100 na približno 18.700, medtem ko je do leta 2023 naraslo na okrog 24.100, kar je prikazano na Sliki 1. Skladno z rastjo obsega gradbenih del je naraščalo tudi število subjektov. 83 % podjetij je bilo registriranih v dejavnosti specializiranih gradbenih del, 14 % v gradnji

gradbeno podjetje med letoma 2014 in 2023 vseeno povečalo, in sicer z 2,7 na 3,3 v letu 2019. Do leta 2023 je sicer nekoliko upadlo, na 3,1.

Leta 2023 je po podatkih iz letnih finančnih poročil eno gradbeno podjetje preseglo 300 mio. EUR letnega prihodka, eno 200 mio. EUR in še šest 100 mio. EUR. Deset podjetij je imelo realizacijo med 50 in 100 mio. EUR. Leta 2014 je le eno podjetje presegalo 100 mio. EUR letnega prihodka, šest podjetij pa je ustvarilo realizacijo med 50 in 100 mio. EUR. Rast letne realizacije največjih gradbenih podjetij odraža tako realno (količinsko) kot cenovno rast gradbenih del v tem obdobju [baza Kapos, 2025].

3 DODANA VREDNOST V GRADBENIŠTVU

Dodana vrednost v gradbeništvu je v letu 2024 prvič preseгла 4 mrd. EUR in se je v zadnjih desetih letih okrepila za 123 % oziroma za 8,3 % na leto. Zaposlenost se je v tem obdobju okrepila za skoraj polovico (48 %) oziroma za 4 % na leto, medtem ko je produktivnost dela narasla za nekoliko

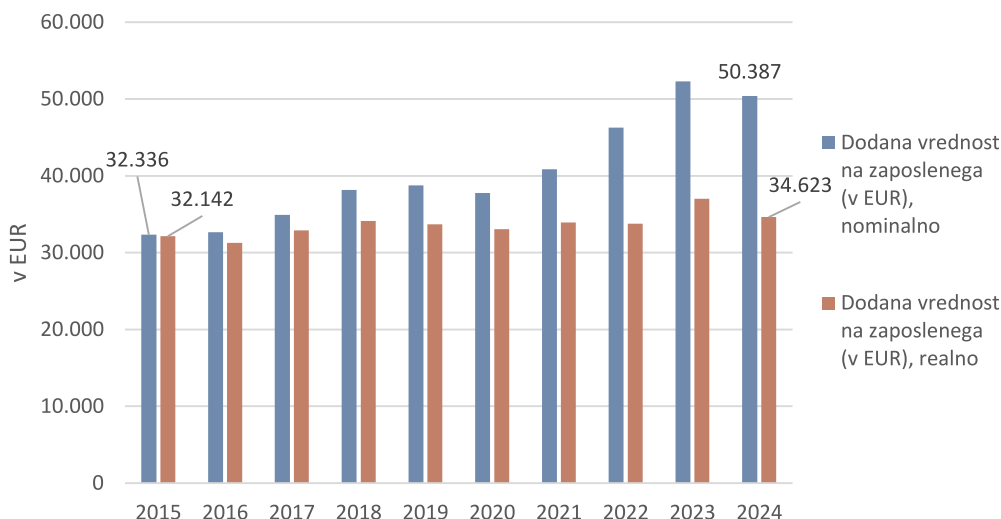


Slika 1. Število podjetij v Sloveniji, ki imajo kot glavno dejavnost določeno F – gradbeništvo, v obdobju med letoma 2014 in 2023 [Statistični urad RS].

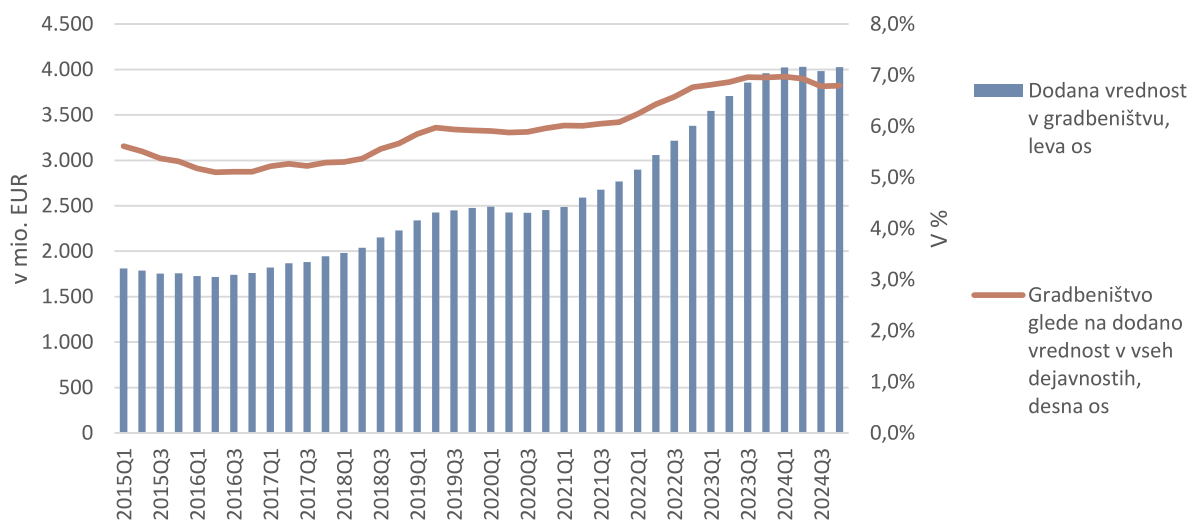
stavb in 3 % v gradnji inženjerskih objektov. V desetletnem obdobju se je najbolj povečalo število podjetij v dejavnosti gradnje inženjerskih objektov (+23 %) in specializiranih gradbenih del (+23 %), medtem ko je bil absolutni prirast števila večji v dejavnosti specializiranih gradbenih delih (+3.700). Konec leta 2023 je bilo 19.900 podjetij registriranih v primarni dejavnosti specializiranih gradbenih del, 3.407 v gradnji stavb in 769 v gradnji inženjerskih objektov. Glede na vsa podjetja v državi (230 tisoč v letu 2023) je bil delež gradbenih podjetij nekoliko višji od desetine (10,5 %). Ta delež je bil v letu 2023 najvišji po letu 2014, ko je znašal 10,8 % [Statistični urad RS, 2025]. V gradbeništvu je rast obsega del in dodane vrednosti zelo povezana z nastajanjem novih podjetij. Velja pa tudi obratno, da je upad aktivnosti povezan s krčenjem števila teh podjetij. Povprečna velikost gradbenega podjetja v Sloveniji je majhna, vendar se je povprečno število delovno aktivnih na povprečno

več kot polovico (50,5 %) oziroma za 4,2 % na leto. Produktivnost dela je porasla s 33.500 EUR v letu 2014 na 50.400 EUR v letu 2024, kot je razvidno na Sliki 2. Rast cen v gradbeništvu odraža deflator, ki predstavlja razliko med spremembo dodane vrednosti in njenim realnim obsegom. Pretežno odraža vpliv gibanja stroškov dela in materiala, ki so v tem času v povprečju naraščali. Upošteva se omenjeno spremembo cen v gradbeništvu, se je realna produktivnost zelo skromno povečala, in sicer je v desetih letih skupaj porasla za 3,4 % oziroma za 0,3 % na leto [Statistični urad RS, 2025]. Višjo realno realizacijo dodane vrednosti je tako spremljalo tudi večje zaposlovanje.

V zadnjih desetih letih je dodana vrednost gradbenega sektorja v Sloveniji znašala 5,9 % ustvarjene dodane vrednosti vseh dejavnosti, pri čemer je dejavnost ta delež konsistentno



Slika 2. Dodana vrednost na zaposlenega v slovenskem gradbeništvu, nominalno in realno [Statistični urad RS].



Slika 3. Dodana vrednost v slovenskem gradbeništvu v zadnjih desetih letih in njen delež glede na vse dejavnosti; kumulativna vsota zadnjih štirih četrtletij; originalni podatki [Statistični urad RS].

presejala po zadnjem četrtletju leta 2020, kar potrjuje Slika 3. To pomeni, da se je dodana vrednost v tej dejavnosti krepila hitreje kot v preostalih dejavnostih.

Mednarodna primerjava kaže, da je bila Slovenija s šestodstotno ustvarjeno dodano vrednostjo v gradbeništvu na enajstem mestu med 27 državami EU, kar je bilo za 0,5 odstotne točke več od navadnega povprečja držav članic in za 0,7 odstotne točke več od tehtanega povprečja. Vodilne države po pomenu gradbeništvu v dodani vrednosti so bile pretežno nove članice EU, ki so predvsem iz naslova kohezijskih sredstev prejele velike zneske in s so s tem gradile novo infrastrukturo. Izstopale so Slovaška (8 %), Poljska (7,7 %) in Litva (7,1 %). V zadnjem znanem letu (2024) je bil pomen gradbeništvu v ustvarjeni dodani vrednosti v Sloveniji višji od dolgoletnega povprečja (6,8 %) in je bil sedmi najvišji med državami EU. Po višini so bile na prvih treh mestih Slovaška (8,4 %), Romunija (8,0 %) in Hrvaška (7,7 %) [Eurostat, 2025].

4 ŠTEVILO DELOVNO AKTIVNIH V GRADBENIŠTVU

Leta 2014 je bilo v gradbeništvu 54 tisoč oseb delovno aktivnih, med njimi je bilo 69 % državljanov RS, preostali pa so bili tuji državljani. Do leta 2024 je to število naraslo na 80 tisoč, od katerih je bilo 40 tisoč državljanov RS in prav toliko tujih državljanov. V obdobju med navedenima letoma se je povečalo število delovno aktivnih z državljanstvom RS (+2.800), še bolj pa število tujih državljanov (+22.700). Tudi na gibanje števila delovno aktivnih na nacionalnem nivoju je imelo zaposlovanje v gradbeništvu velik pomen. V desetih letih je 18 % celotnega prirasta oziroma povečanja vseh delovno aktivnih v državi predstavljal gradbeni sektor. 8,6 % vseh delovno aktivnih v državi je bilo v letu 2024 v povprečju aktivnih v gradbeništvu. Ti podatki so navedeni v Preglednici 1.

	2015	2024	2024/2015	2024-2015
Delovno aktivno prebivalstvo	54.314	79.867	+47,0 %	+25.553
Od tega državljani Slovenije	37.202	40.021	+7,6 %	+2.819
Od tega tuji državljani	17.112	39.846	+132,9 %	+22.734
Od tega državljani držav članic EU	2.317	2.068	-10,8 %	-249
Od tega: državljani drugih držav	14.795	37.778	+155,3 %	+22.983

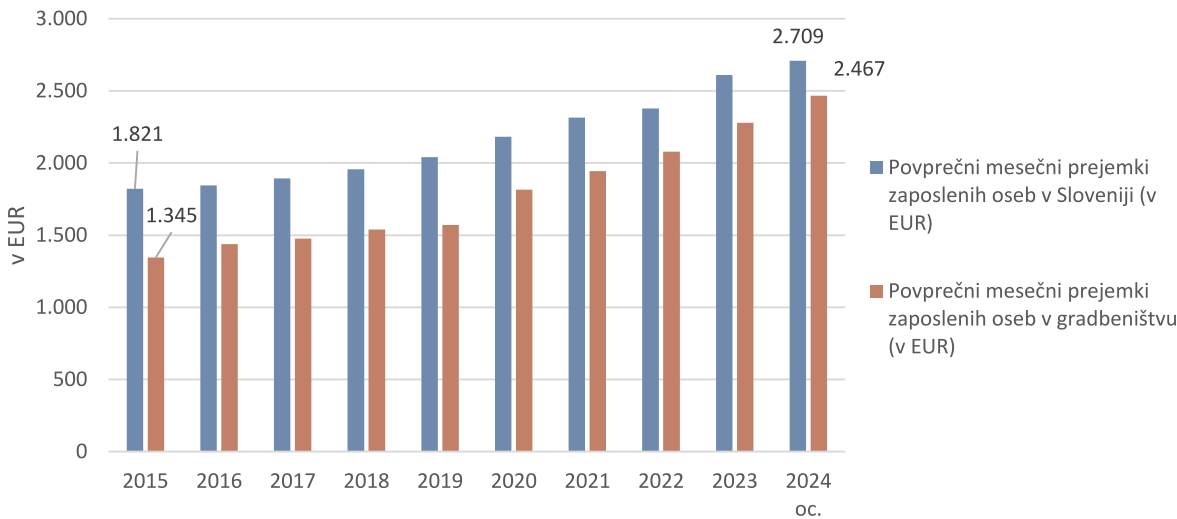
Preglednica 1. Število delovno aktivnih prebivalcev v gradbeništvu v Sloveniji; povprečje let 2015 in 2024, relativna in absolutna sprememba med tema dvema letoma [Statistični urad RS].

Razdelitev delovno aktivnih oseb na zaposlene osebe, ki so v delovnem razmerju pri pravnih ali fizičnih osebah, in na samozaposlene osebe – samostojne podjetnike posameznike kaže, da se v zadnjih desetih letih ni pomembno spremenila. V letu 2015 je bilo 82 % delovno aktivnih v gradbeništvu zaposlenih (od tega pri pravnih osebah 79 % in pri fizičnih osebah 21 %) in 18 % samozaposlenih, medtem ko je v letu 2024 delež prvoomenjenih narasel na 83 %, delež drugih pa je upadel na 17 %. Pri tem je delež zaposlenih pri pravnih osebah do leta 2024 nekoliko narasel (na 82 %) na račun manjšega deleža zaposlenih pri fizičnih osebah (znižanje na 18 %). Številčni prirast zaposlenih oseb (+21.500) je za nekajkrat presegel prirast samozaposlenih oseb (+3.900) [Statistični urad RS, 2025].

5 PLAČE V GRADBENIŠTVU

Podatki o plačah pri pravnih osebah upoštevajo približno dve tretjini vseh delovno aktivnih oseb v gradbeništvu, medtem ko so ti podatki za zaposlene osebe pri fizičnih osebah ali samozaposlenih s to metodologijo neprimerljive. Na tem področju sta na voljo dve statistiki, in sicer ena na osnovi mesečnih podatkov, ki vključuje le bruto plače in izredna izplačila, in druga na osnovi letnih podatkov (prejemki zaposlenih oseb), ki vključuje poleg omenjene bruto plače in izrednih izplačil še nadomestila plač za čas letnega dopusta, regres za letni dopust (ta mora biti izplačan najmanj v višini minimalne plače), jubilejne nagrade in plačila v naravi (v obliki izdelkov), stroške nastanitve zaposlenih oseb, stroške za avtomobile in druga plačila v naravi. Letni podatki kažejo, da so se povprečni prejemki med letoma 2015 in 2024 v gradbeništvu povečali za 83 % oziroma s 1.345 EUR na 2.467 EUR, kar je bilo višje povišanje kot v povprečju v Sloveniji, kjer so se ti dvignili s 1.821 EUR na 2.709 EUR v letu 2024. To potrjuje tudi razmerje med prejemki zaposlenih v gradbeništvu glede na povprečne prejemke zaposlenih, saj je naraslo s 74 % v letu 2015 na 91 % v letu 2024. Ob tem je treba sicer izpostaviti, da se med zaposlene s 1. 1. 2024 upoštevajo tudi tisti zaposleni, ki so napoteni v tujino. Njihova vključitev v to statistiko je namreč prispevala k dvigu povprečnih prejemkov v gradbeništvu. Ne glede na to posebnost pa je tudi v predhodnih letih ta delež naraščal, saj je v letu 2023 znašal 87 %. V letu 2024 so bili torej povprečni prejemki zaposlenih oseb v gradbeništvu za slabo desetino nižji od državnega povprečja, kar je razvidno s Slike 4.

Mesečni podatki o bruto plačah in izrednih izplačilih kažejo, da se je razlika med povprečno plačo v gradbeništvu in tisto na ravni Slovenije zniževala. Povprečna bruto plača v gradbeništvu je v letu 2015 znašala 1.189 EUR (76 % povprečne), do leta 2024 pa je narasla na 1.951 EUR (81 % povprečne). Pri neto plači je bila razlika nekoliko nižja, in se je skrčila s 79 % v letu 2014 na 82 % v 2024. Povprečna neto plača v gradbeništvu je tako v tem obdobju narasla z 803 EUR na 1.252 EUR. Ti podatki ne vključujejo regresa ter različnih povračil stroškov in nado-



Slika 4. Primerjava povprečnih mesečnih prejemkov zaposlenih oseb v Sloveniji in v slovenskem gradbeništvu, v obdobju 2015-2024 [Statistični urad RS].

mestil. Ocenjujem, da je statistika na osnovi letnih podatkov, ki vključujejo tudi navedena izplačila, ustrežnejši pokazatelj razlik med dejavnosti. Obenem je treba upoštevati razlike v povprečni izobrazbi zaposlenih med dejavnostmi. Ta je v gradbeništvu v povprečju med nižjimi, kar pojasni podpovprečno višino plač oziroma prejemkov [Statistični urad RS, 2025].

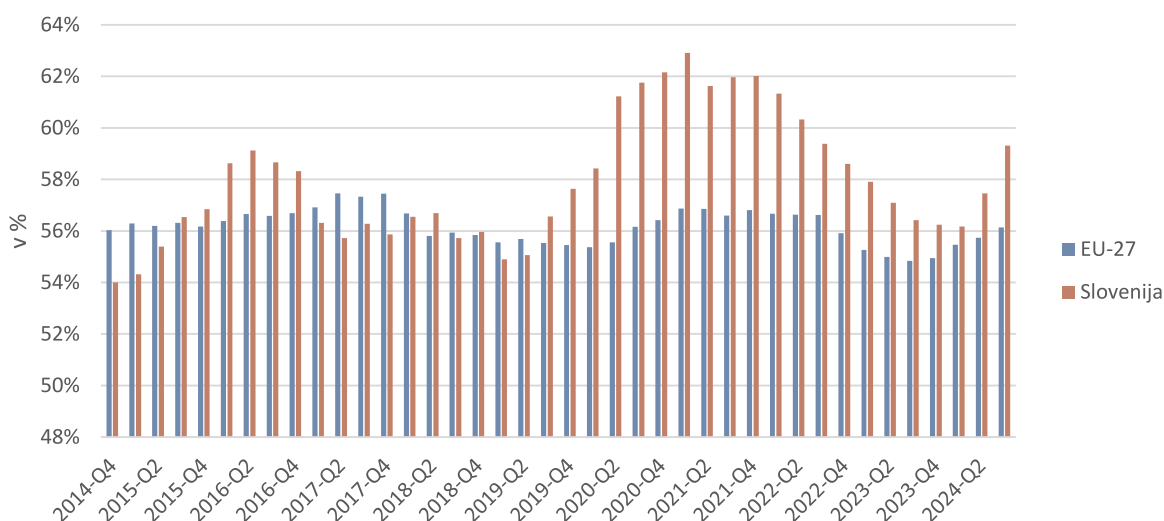
6 STROŠKI DELA V DODANI VREDNOSTI

Strošek dela je v zadnjih desetih letih predstavljal 55 % ustvarjene dodane vrednosti v slovenskem gradbeništvu, s čimer je bila Slovenija uvrščena na 13. mesto (58 %) med državami, ki imajo ta kazalnik najnižji. Najnižji je bil na Slovaškem (28 %), na Malti (36 %) in na Poljskem (36,3 %). Nižji kazalnik pomeni, da gradbena podjetja poslujejo bolj učinkovito, saj večji delež pripade preostanku, ki se uporabi za amortizacijo (namen financiranja investicij), stroške financiranja, davek od dohodka

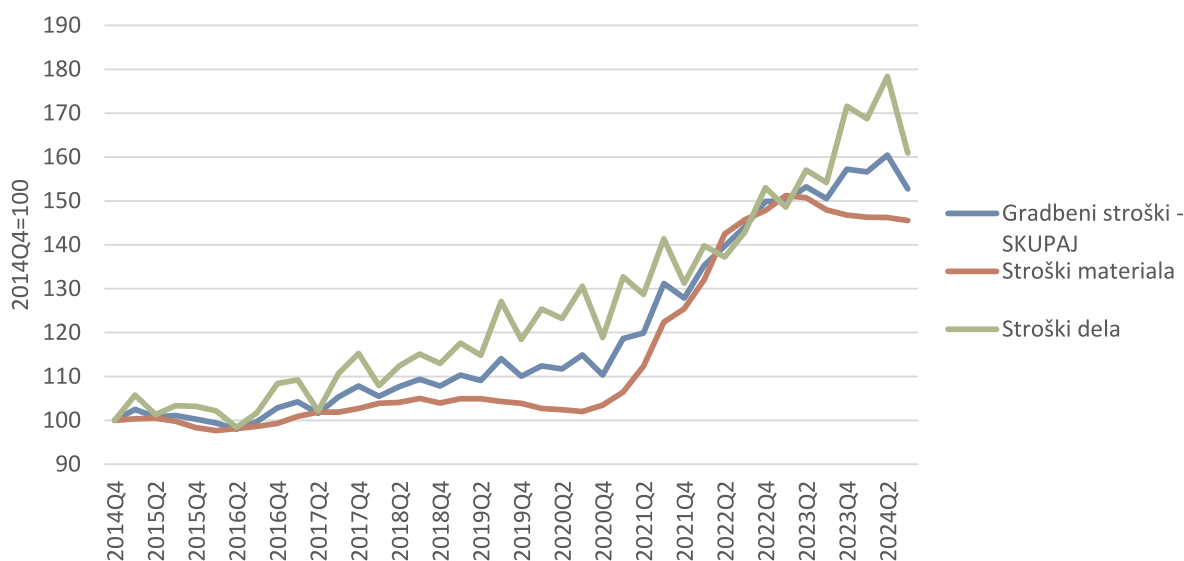
pravnih oseb in poslovni presežek. V zadnjem letu je Slovenija izgubila dve mesti (15.) in je bil z 59 % ta delež (delež stroškov v dodani vrednosti) za 4 odstotne točke višji kot na ravni EU-27. Delež stroškov dela v dodani vrednosti v slovenskem gradbeništvu je bistveno porasel od leta 2020 naprej, razlika pa se je v letu 2023 nekoliko skršila, vendar se je v letu 2024 zopet povečala, kar je razvidno s Slike 5 [Eurostat, 2025].

7 GRADBENI STROŠKI V GRADBENIŠTVU

Podatki o gradbenih stroških v gradbeništvu so na voljo šele od leta 2024, medtem ko je daljša časovna vrsta podatkov dosegljiva za podatke o spremembi gradbenih stroškov za nova stanovanja. V zadnjih desetih letih so gradbeni stroški za nova stanovanja zrasi za 53 %, oziroma za 4,3 % na leto. Pri tem so stroški dela v povprečju naraščali hitreje (4,9 % na leto oziroma 61 % kumulativno) kot stroški materiala (3,8 % na leto oziroma



Slika 5. Strošek dela v dodani vrednosti, primerjava Slovenije in EU-27, v obdobju 2014-3. četrletje 2024 [Statistični urad RS].



Slika 6. Gibanje gradbenih stroškov za nova stanovanja v Sloveniji v obdobju 4. četrletje 2014-3. četrletje 2024; kumulativno in ločeno na stroške materiala in stroške dela; izhodiščno četrletje je 4. četrletje 2014 [Statistični urad RS].

46 % kumulativno), kar prikazuje Slika 6 [Statistični urad RS, 2025]. Glavni generatorji rasti cen stroškov materiala so bili višje cene najpogostejše uporabljenih gradbenih materialov, kot so pesek, cement, jeklo, opeka, steklo idr. Stroški dela so naraščali tako zaradi višje rasti cen kot zaradi uskladitve minimalne plače in večjega povpraševanja gradbenih podjetij po delavcih.

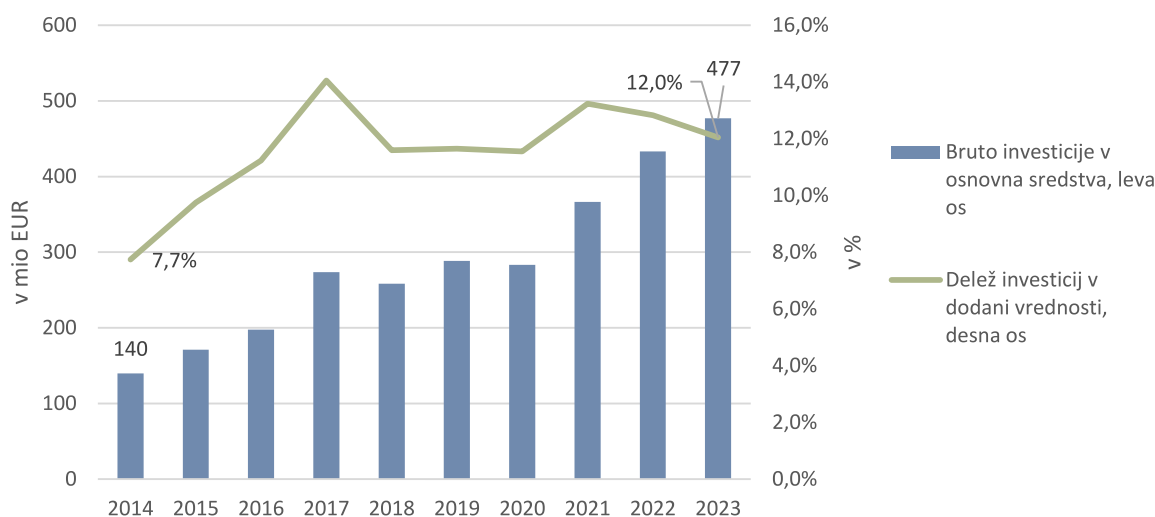
8 INVESTICIJE V GRADBENIŠTVU

Letne bruto investicije v osnovna sredstva so se v zadnjih desetih letih povečevale tako vrednostno kot relativno glede na ustvarjeno dodano vrednost. V prvih dveh opazovanih letih, 2014 in 2015, so investicije znašale okoli 9 % dodane vrednosti, potem pa so se povečale na okoli 12 %, oziroma so nihale med 11 % in 14 % letne dodane vrednosti. Med letoma 2014 in 2016 je bila letna vrednost investicij med 140 in 198 mio. EUR, med letoma 2017 in 2020 je znašala med 200 in 300 mio. EUR, po letu 2021 pa med 367 in 477 mio. EUR, kar prikazuje Slika 7.

Te investicije so bile najpogostejše v obliki nakupa novih ali rabljenih gradbenih strojev in transportne opreme, v manjši meri pa v druge zgradbe in objekte (23 % vseh investicij v povprečju zadnjih desetih let) [Statistični urad RS, 2025].

9 GRADBENA DELA IN DOVOLJENJA

Podatki o dinamiki gradbenih del so na voljo mesečno, letno pa je na voljo tudi njihova vrednost, vendar z veliko zamudo. Trenutno so namreč na voljo letni podatki do leta 2020. Obenem je povezanost dinamike mesečnih gradbenih del z letnimi vrednostmi nizka, kar vzbuja dvom o kakovosti statistike na mesečni ravni. Vseeno je ta statistika tista, s katero razpolagamo. V zadnjih desetih letih se je vrednost gradbenih del v povprečju povečala za 9,4 % na leto, oziroma realno za 4,8 %. Pri tem je izstopala rast gradbenih del na stanovanjskih stavbah (+18,9 % nominalno, +13,7 % realno), ki so jim po rasti sledila specializirana gradbena dela (+12,7 % nominalno, +8,1 %



Slika 7. Bruto investicije v osnovna sredstva v slovenskem gradbeništvi v obdobju 2014-2023 in njihov delež v dodani vrednosti [Statistični urad RS].



Slika 8. Nominalna in realna dinamika gradbenih del v Sloveniji, 2014-2024 (2021=100) [Statistični urad RS].

realno). Precej nižja je bila rast pri gradnji nestanovanjskih stavb (+5,7 % nominalno, +1,1 % realno) in gradnji inženirskih objektov (+6,6 % nominalno, +1,9 % realno). Zelo pomembno je izpostaviti, da pandemija ni imela pomembnega vpliva na gradbena dela, saj se ta niso pomembno spremenila glede na predhodno leto 2019. Primerjava nominalnih in realnih indeksov gradbenih del za obdobje 2014-2024 je na voljo na Sliki 8.

Podatki o gradbenih dovoljenjih za gradnjo stavb v zadnjih desetih letih kažejo, da je to bilo najnižje leta 2015, ko je bilo izdanih okoli pet tisoč dovoljenj s predvideno površino stavb v izmeri 1,17 milijona m². Potem je preseglo šest tisoč dovoljenj v obdobju 2016-2019 in ponovno v obdobju 2021-2022 (leto 2020 je bilo leto pandemije), vendar je v letih 2023 in 2024 zopet upadlo pod šest tisoč. V zadnjih dveh znanih letih je bilo predvidenih za izgradnjo 1,85 milijona km² površin stavb, od tega nekoliko večji delež stanovanjskih (51 %) [Statistični urad RS, 2025]. Podatki po posameznih letih so na voljo v Preglednici 2.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Število stavb (1.000)	5,1	6,8	6,7	6,5	6,2	5,9	6,7	6,4	6,0	5,8
Predvidena površina stavb (1 mio. m²)	1,17	1,16	1,70	1,73	1,56	1,55	1,91	2,17	1,88	1,83

Preglednica 2. Število stavb in njihova površina, predvidena z izdanimi gradbenimi dovoljenji v posameznem letu v obdobju 2015-2024 v Sloveniji [Statistični urad RS].

10 KAZALNIK ZAUPANJA V GRADBENIŠTVU

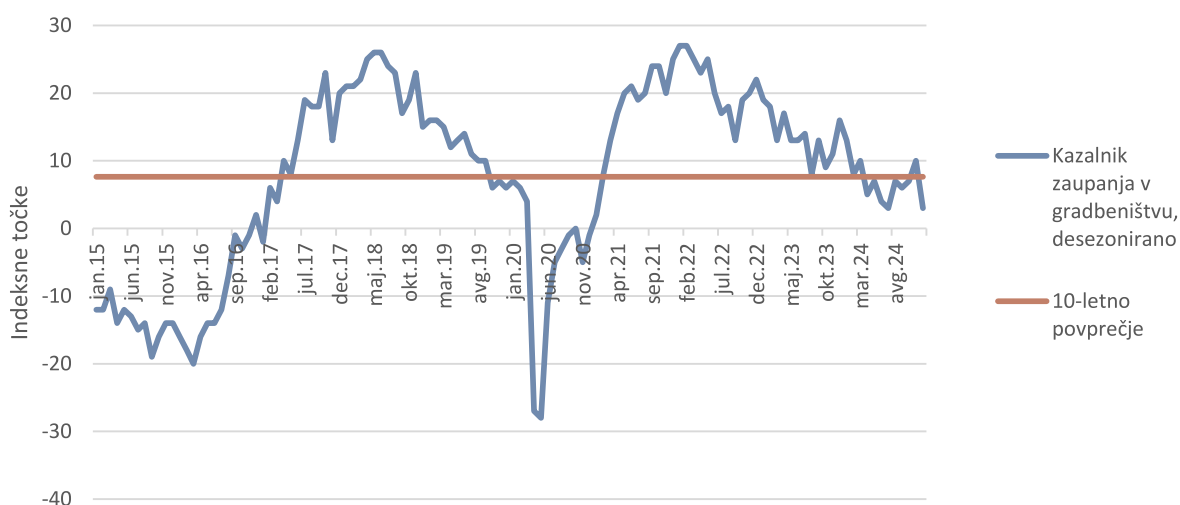
Zaupanje v gradbeništvo (desezonirani podatki) se je v zadnjem desetletju zelo spreminjalo in je bilo globoko negativno vse do leta 2017. Zatem se je močno okrepilo, potem pa je v času prvega vala pandemije covida-19 še enkrat močno upadlo, vendar predvsem v prvih treh mesecih po izbruhu pandemije. Zatem je razpoloženje pričelo rasti, vendar se je v

letu 2024 začelo zniževati ter je bilo pod desetletno povprečno vrednostjo. Kljub temu je zaupanje ostalo neto pozitivno [Statistični urad RS, 2025], kar prikazuje Slika 9.

11 OMEJITVENI DEJAVNIKI V GRADBENIŠTVU

Podatki o omejitvenih dejavnikih, ki predstavljajo največji izziv pri poslovanju gradbenih podjetij, so se v zadnjih desetih letih spreminjali, kar prikazuje Preglednica 3. Podjetja so lahko v mesečnem anketnem vprašalniku navedla več kot en omejitveni dejavnik, s katerim se soočajo. Konsistentno so visoki stroški dela predstavljali izziv za okoli tretjino gradbenih podjetij. Ta izziv je bil najmanjši leta 2020, v času izbruha pandemije. To je tudi skladno z nizko produktivnostjo dela oziroma velikim deležem stroškov dela v ustvarjeni dodani vrednosti. Izziv visokih stroškov materiala je bil prav tako izziv za okoli tretjino gradbenih podjetij (nekatera od teh so lahko kot isti izziv izpostavila tudi stroške dela). Izrazito visok je bil ta izziv v obdobju 2021-2023, ko so se podražili številni

energetske surovine in materiali. Leta 2022 je denimo 62 % podjetij ocenilo, da je to za njih velik izziv pri poslovanju. Pomanjkanje usposobljenih delavcev je bilo v letih 2014-2016 izziv za okoli desetino gradbenih podjetij. V zadnjih treh letih (2022-2024) pa se je s tem soočala že polovica gradbenih podjetij. Pomanjkanje usposobljenih delavcev zelo verjetno vpliva na nižjo produktivnost dela in je nekako povezano z izzivom visokih stroškov dela. Velika konkurenca v dejavno-



Slika 9. Kazalnik zaupanja v gradbeništvo v obdobju 2015-2014, mesečno, desezonirano in desetletno povprečje; meri razliko med pozitivnimi in negativnimi odgovori gradbenih podjetij na različnih področjih (prodaja, naročila, cene, zaposlenost ipd.) [Statistični urad RS].

sti je bila izziv za okoli 40 % gradbenih podjetij v 2014-2018, v zadnjih treh letih (2022-2024) pa je ta delež upadel na okoli petino podjetij. Slabi vremenski pogoji so bili v povprečju ovira za približno petino gradbenih podjetij, ta delež je nekoliko odstopal le v letih 2016-2018, ko je znašal v povprečju okoli 27 %. Visoki finančni stroški ali težave pri pridobivanju kreditov so bile izziv za dobro četrtino podjetij v letu 2014, po letu 2017 pa je ta delež upadel pod 10 % [Statistični urad RS, 2025].

13 LITERATURA

Eurostat, <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>, statistični portal Evropske unije, 2025

Baza Kapos, interna baza podatkov GZS na osnovi letnih podatkov o poslovanju družb Ajpes, 2025

Statistični urad RS, <https://pxweb.stat.si/SiStat/sl>, podatkovna baza SISTAT, 2025

Leto	Nezadostno povpraševanje (v %)	Slabi vremenski pogoji (v %)	Visoki stroški materiala (v %)	Visoki stroški dela (v %)	Pomanjkanje usposobljenih delavcev (v %)	Velika konkurenca v dejavnosti (v %)
2015	43	17	27	32	8	41
2016	41	20	26	33	10	48
2017	23	26	26	32	25	45
2018	11	28	25	29	40	36
2019	13	25	21	29	40	33
2020	22	18	18	26	30	30
2021	12	22	42	28	39	27
2022	6	14	62	36	50	20
2023	9	22	48	39	52	19
2024	12	22	35	36	47	21

Preglednica 3. Najpogostejši omejitveni dejavniki v slovenskem gradbeništvu v obdobju 2015-2024; povprečje leta; v deležu med vsemi anketiranimi podjetji [Statistični urad RS]

12 SKLEP

Slovensko gradbeništvo je v zadnjih desetih letih pomembno izboljšalo svoje poslovanje in se v zadnjih letih sooča z drugačnimi izzivi kot v obdobju 2009-2014, ko so se gradbena podjetja soočila z veliko finančnega dolga, slabo likvidnostjo, visokim padcem gradbenih del ter propadom večjih gradbincev. Rast poslovanja je bila še posebno visoka v letih 2022 in 2023, kar so podjetja izkoristila za dvig investicij, plač in povečano zaposlovanje. Glavni izziv gradbenega sektorja predstavljata šibka realna rast produktivnosti in pomanjkanje usposobljenih delavcev. V letu 2024 je stavka upravnih enot vplivala na nižje število izdanih gradbenih dovoljenj, kar je prispevalo k relativno šibkemu poslovnemu letu, vsaj glede na zelo visoka pričakovanja ob koncu leta 2023. Izziv nizke produktivnosti je delno povezan z izzivom pomanjkanja usposobljenih delavcev, hkrati pa z načini izvedbe stanovanjske gradnje in uporabe digitalnih tehnologij. Pomanjkanje usposobljenih delavcev je povezano z zelo šibkim vpisom mladih na študij gradbeništva v letih, ko je bil nivo gradbenih del izrazito nizek. Ne glede na to je tudi na teh področjih čutiti napredek, kar pomeni, da za leti 2025 in 2026 utemeljeno pričakujemo ponovno realno rast poslovanja gradbenega sektorja.

FOTOREPORTAŽA KOPALIŠČE ILIRIJA



Slika 1. Na novo rekonstruirana glavna vhodna stavba. (Foto: Miran Kambič)

Lokacija: Ljubljana

Investitor: Mestna občina Ljubljana

Projektant arhitekture: LorenzAteliers, Elea iC, d. o. o.

Projektant gradbenih konstrukcij: Elea iC, d. o. o.

Izvajalec: Makro 5 gradnje, d. o. o.

V torek, 18. marca 2025, je bilo uradno odprtje športnega centra Ilirija, s čimer se je zaključil projekt, ki smo ga v podjetju Elea iC razvijali šest let. Ta sodoben športni kompleks v središču mesta ponuja vrhunske zmogljivosti tako za profesionalne športnike kot za rekreativce ter zagotavlja izjemne pogoje za vadbo in preživljanje prostega časa. Poleg tega služi kot najsodobnejše prizorišče, ki lahko gosti velika mednarodna tekmovanja.

Izgradnja športnega centra Ilirija danes predstavlja enega največjih športnih infrastrukturnih projektov v Ljubljani. Kompleks je med prvimi javnimi stavbami v Sloveniji, zasnovanimi v skladu s standardi samozadostnosti. Napajajo ga strešna sončna elektrarna in toplotne črpalke, kar mu omogoča, da skoraj vse potrebe po energiji pridobiva iz obnovljivih virov. Sončna elektrarna na strehi letno proizvede približno 763,13 megavatne ure električne energije – kar bi bilo dovolj za oskrbo 188 gospodinjstev. Ta dosežek ne poudarja le zavezanosti projekta k trajnosti, temveč ga postavlja tudi kot merilo za prihodnji razvoj okolju prijazne infrastrukture.

Športni center Ilirija je premišljeno zasnovan in sestavljen iz štirih ločenih delov:

1. Vhodni del: V tem delu je rekonstruirano pročelje zgodovinske stavbe Ilirija, ki ga dopolnjuje replika kultnega kipa Plavalka. Obsega sprejemni prostor, kavarno in muzej, posvečen inženirju Stanku Bloudku, pionirju slovenskega športa.
2. Notranji prostor: Notranji prostori vključujejo olimpijski bazen, vadbeni bazen in tribuno za gledalce s 1500 sedeži.
3. Zgradba telovadnice: V njej so štiri večnamenske športne dvorane. Stavba je z glavno stavbo povezana z mostovžem.
4. Športna cona na prostem: Razprostira se med notranjo dvorano in Narodnim domom. Vsebuje odprt bazen, manjše sončne ploščadi in dodatne rekreacijske objekte, ki zagotavljajo veliko možnosti za dejavnosti na prostem.



Slika 2. Junij 2022: Gradnja se začne z izkopom gradbene jame, pri čemer je ohranjen objekt kulturne dediščine, povezan z zgodovinskim bazenom Stanka Bloudka.
(Foto: Aleš Dolenc, Elea iC, d. o. o.)



Slika 3. Marec 2023: Postavlja se betonska konstrukcija, hkrati pa se na zgodovinski stavbi izvaja strukturna ojačitev. Gradnja Lattermanovega podhoda poteka pod delujočim železniškim prometom.
(Foto: Aleš Dolenc, Elea iC, d. o. o.)



Slika 4. September 2023: Začnejo se dela na jekleni konstrukciji. Gradnja betonske konstrukcije za podzemno garažo in Lattermanov podhod je zaključena.
(Foto: Aleš Dolenc, Elea iC, d. o. o.)



Slika 5. Marec 2024: Zaključi se jeklena strešna konstrukcija, začne se polaganje strešne kritine.
(Foto: Aleš Dolenc, Elea iC, d. o. o.)



Slika 6. Julij 2024: Streha je dokončana, vključno s strešnimi okni in sončnimi kolektorji. Zaključuje se urejanje krajine na vrhu podzemne garaže. Enotna konveksna streha, ki se razteza čez tri stavbe, ustvarja neprekinjeno povezavo med vstopno ploščadjo in ljubljanskim parkom Tivoli.
(Foto: Aleš Dolenc, Elea iC, d. o. o.)



Slika 7. Trajnostni energetski koncept: Projekt vključuje strešno sončno elektrarno, ki letno proizvede približno 763,13 MWh, in sistem toplotnih črpalk voda-voda za ogrevanje stavbe in sanitarne vode ter hlajenje prostorov.
(Foto: Aleš Dolenc, Elea iC, d. o. o.)



Slika 8. Pogled na glavno plavalno dvorano: Montaža tribun in jeklene konstrukcije kaže napredek tega pomembnega arhitekturnega in inženirskega dosežka. Skupaj se uporabi približno 1.500 ton jekla, ki se sestavi na kraju samem z uporabo vijčnih povezav. Celotna jeklena konstrukcija je vroče cinkana.
(Foto: arhiv Elea iC, d. o. o.)



Slika 9. Julij 2024: Uspešno je bil izveden preizkus zrakotesnosti, s čimer so bili doseženi visoki okoljski standardi za javno športno stavbo tako velikega obsega.
(Foto: arhiv Elea iC, d. o. o.)



Slika 10. Lattermanov podhod: Podrivanje podhoda v končni položaj pod aktivnimi železniškimi tiri. To je najširši tovrstni objekt v Sloveniji, izveden s tehnologijo podrivanja. Objekt je bil na svoje mesto uspešno podrinjen februarja 2023.
(Foto: Aleš Dolenc, Elea iC, d. o. o.)



Slika 11. Vključevanje javnosti: Kljub gradnji kompleks Ilirija ostaja dostopen širši javnosti. Septembra 2024 je Rok Debevec, arhitekt in vodja projekta, Elea iC, predstavil projekt na arhitekturnem festivalu Odprte hiše Slovenije.
(Foto: Arhiv Odprtih hiš Slovenije)



Slika 12. Dokončan objekt: Pogled na stekleno fasado in nov Lattermanov podhod, ki povezuje park Tivoli s centrom Ljubljane. Vsi jekleni elementi so na prehodih v notranjost objekta izvedeni z ustrezno prekinitvijo toplotnega mostu.
(Foto: Miran Kambič)



Slika 13. Pogled proti središču mesta (v ozadju Lattermanov podhod). Razdeljena streha ločuje telovadne dvorane (leva stavba) od plavalne dvorane (desna stavba). Celotna betonska fasada je izvedena iz montažnih betonskih elementov, vijakačenih na podkonstrukcijo iz jekla.
(Foto: Miran Kambič)



Slika 14. Notranjost glavne stavbe z bazenom. Zaradi estetskega videza so vsi spoji na jeklenih škatlastih profilih izvedeni znotraj profilov. Na podpornih stebrih so dodatno izdelane odprtine, ki omogočajo prezračevanje steklene fasade.
(Foto: Miran Kambič)



Slika 15. Glavna stavba, gledano iz južne strani, z zunanjim bazenom in stekleno fasado, ki omogoča pogled v glavno dvorano. Konzolni del strehe meri ca. 7 metrov.
(Foto: Miran Kambič)



Slika 16. Vadbeni bazen s pogledom na Lattermanovo pasajo. Zaradi velikih razponov je za podporo armiranobetonskega nosilca in strehe stavbe uporabljeno močno jekleno paličje. Uporabljeno je bilo tudi naknadno napenjanje nosilcev z velikimi razponi.
(Foto: Miran Kambič)



Slika 17. Olimpijski bazen s pogledom na tribuno s 1500 sedeži. Zaradi velikih razponov strehe, ki presegajo 50 metrov, so nekateri jekleni natezni elementi močno obremenjeni, tudi do 300 ton.
(Foto: Miran Kambič)

Avtorji fotoreportaže: Marko Stermecki, Zala Novak in Rok Debevec, Elea iC, d. o. o.

ZADNJI PRIPRAVLJALNI SEMINAR IN IZPITNI ROK ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2025

SEMINAR	IZPIT
13. - 15. 10. 2025	18. - 25.11.2025

A. PRIPRAVLJALNI SEMINARJI:

Seminarje organizira **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS)**, Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana;

Telefon: (01) 52-40-200; e-naslov: gradb.zveza@siol.net; gradbeni.vestnik@siol.net.

Uradne ure: od ponedeljka do četrтка od 09.00 do 14.00 ure; v petek ni uradnih ur za stranke!

Pripravljalni seminar bo za:

1. Pooblašcene inženirje gradbene stroke
2. Vodje del za področje gradbene stroke

Predavanja bodo iz naslednjih predmetov izpitnega programa:

1. Predpisi s področja graditve objektov, urejanja prostora, arhitekturne in inženirske dejavnosti, zborničnega sistema ter osnov varstva okolja in splošnega upravnega postopka
2. Investicijski procesi in vodenje projektov
3. Varstvo zdravja in življenja ljudi ter varstvo okolja pri graditvi objektov
4. Področni predpisi in standardizacija s področja graditve objektov

Cena za udeležbo na tridnevnem seminarju skupaj z učnim gradivom znaša 757,00 EUR z DDV. V ceni so všteti tudi odmori za kavo.

Seminar obsega uvodno predavanje predsednika izpitne komisije pri IZS ter 5 predavanj iz predmetov izpitnega programa. Predavali bodo pooblaščeni strokovnjaki IZS, ki so pri IZS člani izpitne komisije za opravljanje strokovnih izpitov.

Kandidati lahko poslušajo zgolj posamezno predavanje v okviru seminarja, cena za obisk posameznega predavanja je 151,40 EUR z DDV.

Seminar bo potekal v predavalnici, v primeru višje sile bo izveden kot video konferenca. Vabilo z urnikom in vsemi ustreznimi navodili prejme vsak udeleženec teden dni pred začetkom predavanj.

Kotizacijo za seminar je potrebno nakazati ob prijavi na poslovni račun ZDGITS: **SI56 0201 7001 5398 955**.

Prijava je potrebno posredovati na e-naslov gradb.zveza@siol.net najmanj **teden dni pred začetkom** seminarja! Prijavni obrazec je objavljen na spletni strani ZDGITS (<http://www.zveza-dgits.si>).

Izvedba seminarja je odvisna od števila prijav (najmanj 20).

B. STROKOVNI IZPITI

potekajo pri **Inženirski zbornici Slovenije (IZS)**, Jarška 10-B, 1000 Ljubljana. Informacije o strokovnih izpitih in izpitnih programih je mogoče dobiti na sedežu IZS (uradne ure: ponedeljek, sredo, četrtek in petek od 8.00 do 12.00 ure, torek od 12.00 do 16.00 ure), na spletni strani IZS (www.izs.si) ali po telefonu (01) 547-33-19 (uradne ure: ponedeljek, sredo, četrtek, petek od 10.00 do 12.00 ure; v torek od 14.00 do 16.00 ure) oziroma na e-naslovu martina.babnik@izs.si.

NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

I. STOPNJA – VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Andraž Založnik, Uporaba programske opreme Elitcad za načrtovanje, mentor doc. dr. Robert Klinc;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=167960>

Matevž Jugovic, Izdelava projekta organizacije gradbišča za izvedbo stanovanjske soseske Litijska-Pesarska, mentor doc. dr. Bojan Čas, somentor izr. prof. dr. Andrej Kryžanowski;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=167689>

Veldin Aličič, Analiza AB stropne plošče poslovno-stanovanjske stavbe Otočec, mentorica doc. dr. Jerneja Češarek Kolšek;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=167963>

Matic Pušljar, Opaženje vidnih betonskih površin, mentor doc. dr. Bojan Čas;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=168863>

II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO (smeri Gradbene konstrukcije, Geotehnika-hidrotehnika, Nizke gradnje)

Domen Kunič, Potresno odporno projektiranje armiranobetonskih integralnih mostov po novi različici standarda Evrokod 8, mentor doc. dr. Anže Babič, somentorica prof. dr. Tatjana Isaković;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=169421>

II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO

Marko Žarov, Primerjalna analiza tehnološke zasnove betonske težnostne pregrade, mentor izr. prof. dr. Andrej Kryžanowski, somentorica asist. dr. Mateja Klun;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=168830>

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO

I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Rok Zdovc, Organizacija gradbišča in terminsko planiranje gradnje Logističnega centra Hoče, mentor prof. dr. Uroš Klanšek, somentorica asist. dr. Mateja Držeknik;
<https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=91951&lang=slv>

III. STOPNJA – DOKTORSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Tomaž Goričan, Umetne nevronske mreže z bazo znanja kolektivne inteligence stroke in uporabo v mostogradnji, mentor izr. prof. dr. Iztok Peruš, somentor doc. dr. Milan Kuhta;
<https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=91890&lang=slv>

II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Nejc Časar, Vpliv ekspandiranega glinenega agregata na reološke, mehanske in izolativne lastnosti cementnih kompozitov, mentor doc. dr. Gregor Kravanja, somentor izr. prof. dr. Andrej Ivanič;
<https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=92002&lang=slv>

Amin Rakhmatov, Analiza interoperabilnosti med BIM in MKE na primeru večstanovanjskega objekta, mentor doc. dr. Milan Kuhta, delovni somentor Matic Ledinek;
<https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?lang=slv&id=92564>

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

INTERDISCIPLINARNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA – SMER GRADBENIŠTVO

I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM

Ajda Ritonja, zaključek študija brez zaključnega dela.

Jan Repa, zaključek študija brez zaključnega dela.

Rubriko ureja **Eva Okorn**, gradb.zveza@siol.net

KOLEDAR PRIREDITEV

17.-18.6.2025

Dnevi prometnega inženirstva 2025

Portorož, Slovenija

<https://dips.si/dnevi-prometnega-inzenirstva-2025/>

22.-27.6.2025

**IAHR2025 – 41st International Association
for Hydro-Environment Engineering and
Research World Congress**

Singapur, Singapur

<https://2025.iahr.org/>

24.-27.9.2025

21. simpozij gradbenih konstruktorjev

Severne Makedonije

Ohrid, Makedonija

<http://mase.gf.ukim.edu.mk/>

15.-17.10.2025

Međunarodno naučno-stručno savetovanje

**»Geotehnički aspekti građevinarstva i zemljotresno
inženjerstvo 2025«**

Vrnjačka Banja, Srbija

[https://ingkomora.rs/vesti/savetova-e-geotehnicki-
aspekti-gra-evinarstva-i-zem-otresno-inzhe-erstvo-2025](https://ingkomora.rs/vesti/savetova-e-geotehnicki-aspekti-gra-evinarstva-i-zem-otresno-inzhe-erstvo-2025)

9.-12.9.2025

XXI Technical Dam Control International Conference

Krakov, Poljska

<https://tkz.is.pw.edu.pl/en/>

13.-14.11.2025

46. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije

Portorož, Slovenija

www.sdgc.si

22.-24.6.2026

**12th BCRR 2026 Slovenia - 12th International
Conference on the Bearing Capacity of Roads,
Railways and Airfields**

Ljubljana, Slovenija

<https://bcrra.si/>

20.-23.10.2026

INTERPRAEVENT 2026

Sapporo, Hokkaido, Japonska

[www.kokusaisabo.or.jp/interpraevent2026/english/
home-e.htm](http://www.kokusaisabo.or.jp/interpraevent2026/english/home-e.htm)

23.-27.11.2026

WLF7 - 7th World Landslide Forum

Amrita, Faridabad Campus, Indija

<https://wlf7.org>

KOLEDAR IZOBRAŽEVANJ IZS

12.6.2025

**TSPI Minimalne zahteve za načrtovanje in izvedbo
preiskav tal in podzemne vode**

IZS, Jarška cesta 10b, Ljubljana

[www.izs.si/izobrazevanja/izs-izobrazevanja/
?education=I-0022/2025](http://www.izs.si/izobrazevanja/izs-izobrazevanja/?education=I-0022/2025)

Rubriko ureja **Eva Okorn**, ki sprejema predloge
za objavo na e-naslov: gradb.zveza@siol.net