

april 2022
letnik 71

Gradbeni vestnik

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



102

NAPRAVE IN UKREPI ZA
IZBOLJŠANJE PROMETNE
VARNOSTI MOTORISTOV



OCENA VEČSPEKTRALNIH SIMULACIJSKIH
ORODIJ ZA VREDNOTENJE NEVIZUALNEGA
SVETLOBNEGA OKOLJA

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS),
Karlovska 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 raziskovalno 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
Dušan Jukić
IZS MSG: **Jernej Mazij**
mag. Jernej Nučič
mag. Mojca Ravnar Turk
UL FGG: **doc. dr. Matija Gams**
UM FGPA: **prof. dr. Miroslav Premrov**
ZAG: **doc. dr. Aleš Žnidarič**

Uredniški odbor: **izr. prof. dr. Sebastjan Bratina, glavni in odgovorni urednik**
doc. dr. Milan Kuhta

Lektor: **Jan Grabnar**

Lektorica angleških povzetkov:
Romana Hudin

Tajnica: **Eva Okorn**

Oblikovalska zasnova: **Agencija GIG**

Tehnično urejanje, prelom in tisk:
Kočeviski tisk

Naklada: 450 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 23,16 EUR; za študente in upokojene 9,27 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 171,36 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je všteti DDV. Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana: SI56 0201 7001 5398 955

Slika na naslovnici:
železniški viadukt Pesnica,
foto: Milan Kuhta

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, april 2022, letnik 71, str. 101-132

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 presledki 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: sebastjan.bratina@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

ČLANKI PAPERS

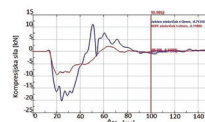
prof. dr. Tomaž Tollazzi, univ. dipl. inž. grad.
izr. prof. dr. Robert Kunc, univ. dipl. inž. str.
Uroš Brumec, mag. inž. prom.

NAPRAVE IN UKREPI ZA IZBOLJŠANJE PROMETNE VARNOSTI MOTORISTOV DEVICES AND MEASURES TO IMPROVE ROAD SAFETY FOR MOTORCYCLISTS

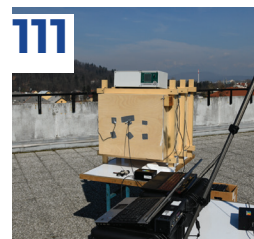
asist. dr. Jaka Potočnik, mag. inž. arh.
izr. prof. dr. Mitja Košir, univ. dipl. inž. arh.

OCENA VEČSPEKTRALNIH SIMULACIJSKIH ORODIJ ZA VREDNOTENJE NEVIZUALNEGA SVETLOBNEGA OKOLJA ASSESSMENT OF MULTISPECTRAL SIMULATION TOOLS FOR THE EVALUATION OF THE CIRCADIAN LUMINOUS ENVIRONMENT

102



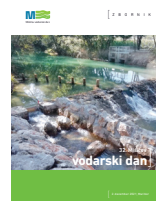
111



POROČILI S STROKOVNIH SREČANJ

mag. Smiljan Juvan, univ. dipl. inž. grad.
32. MIŠIČEV VODARSKI DAN 2021

126



GBC Slovenija
**TEHNIČNI IN ZAKONODAJNI VIDIKI
ZUNANJEGA TOPLOTNEGA OVOJA IN OVE**

127



VABILO ZDGITS

REDNA SKUPŠČINA ZDGITS 129

FOTOREPORTAŽA Z GRADBIŠČA

Tomaž Goričan, mag. inž. grad.
**OBVOZNICA KIDRIČEVO – PODVOZ
KIDRIČEVO S PRIKLJUČNIM KESONOM**

130



NOVI DIPLOMANTI

Eva Okorn

KOLEDAR PRIREDITEV

Eva Okorn

prof. dr. Tomaž Tollazzi, univ. dipl. inž. grad.

tomaz.tollazzi@um.si

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



izr. prof. dr. Robert Kunc, univ. dipl. inž. str.

robert.kunc@fs.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
Aškerčeva cesta 6, Ljubljana



Uroš Brumec, mag. inž. prom.

uros.brumec@gov.si

Ministrstvo za infrastrukturo,
Direkcija RS za infrastrukturo
Tržaška cesta 19, Ljubljana



Znanstveni članek

UDK 614.8:656.183.5

NAPRAVE IN UKREPI ZA IZBOLJŠANJE PROMETNE VARNOSTI MOTORISTOV DEVICES AND MEASURES TO IMPROVE ROAD SAFETY FOR MOTORCYCLISTS

Povzetek

V prispevku je prikazana metodologija za izboljšanje prometne varnosti motoristov, ki jo je Slovenija začela uvajati konec leta 2020.

V prvem delu prispevka so na kratko prikazane glavne prednosti in pomanjkljivosti vožnje z motornim kolesom. V nadaljevanju so prikazani stanje prometne varnosti motoristov v EU in trendi razvoja. Prikazano je tudi stanje v Sloveniji, ki je pred dvema letoma pričela z uvedbo metodologije za zagotavljanje boljše prometne varnosti motoristov. Ta med drugim vsebuje tudi uvedbo naprav in ukrepov za izboljšanje prometne varnosti motoristov.

Novelacija Direktive 2019/1936/EK predvideva nekatere bistvene zahteve, vezane na prometno varnost motoristov, zato so v prispevku prikazane tudi te zahteve, ki pa so vsebovane v slovenski metodologiji.

Zadnji del prispevka na kratko prikazuje nekatere najpomembnejše naprave za izboljšanje prometne varnosti motoristov ter pogoje in način njihove izvedbe.

Ključne besede: motoristi, prometna varnost, naprave in ukrepi

Summary

The article presents the methodology for ensuring better road safety of motorcyclists, which Slovenia began to introduce at the end of 2020.

The first part of the article gives a brief overview of the main advantages and disadvantages of motorcycling. This is followed by data showing the state of road safety of motorcyclists in the EU, and development trends.

The situation in Slovenia, which two years ago began with the introduction of a methodology to ensure better road safety for motorcyclists, is also presented. This methodology includes, among other things, the introduction of devices and measures to improve the road safety of motorcyclists.

The amendment to Directive 2019/1936/EC sets out some essential requirements related to road safety of motorcyclists, so the article also presents these requirements, which are contained in the Slovenian methodology.

The last part of the article briefly shows some of the most important devices to improve the road safety of motorcyclists, as well as the conditions and the principles of their implementation.

Key words: motorcyclists, road safety, devices and measures

1 UVOD

Enosledna motorna vozila (Powered Two Wheelers – PTWs) so atraktivno prevozno sredstvo, predvsem v velikih urbanih središčih pa tudi drugje. Predvsem zato ker zasedajo bistveno manj prostora na cesti in ne prispevajo k zastoju v prometu, se zlahka "podvajajo" na voznem pasu ali "filtrirajo" skozi preobremenjena območja in prispevajo k zmanjšanju zastojev na preobremenjenih cestah, porabijo v povprečju približno 16–48 % manj časa od osebnih vozil za isto prevoženo pot, porabijo v povprečju med 55 in 81 % manj goriva kot osebna vozila na isti poti, povzročajo zelo malo škode na cestah v primerjavi z drugimi motoriziranimi oblikami prevoza, zagotavljajo mobilnost v podeželskih in oddaljenih območjih, kjer ni javnega potniškega prometa, omogočajo hitrejšo dostavo vključno z zdravstvom (kri, organi), motorist reševalec hitreje dostopa do mesta prometne nesreče od vozila nujne medicinske pomoči [Tollazzi, 2020a]. Zato v mnogih državah z različnimi ukrepi spodbujajo njihovo uporabo (npr. Španija, Velika Britanija, Francija).

Ne glede na prej navedeno pa ima vožnja enoslednih motornih vozil tudi svoje pomanjkljivosti in predstavlja določene nevarnosti [Tollazzi, 2020a]. Motoristi v nasprotju z vozniki drugih motornih vozil niso obdani s "ščitom", motorist in motor imata majhno maso glede na druge vrste motoriziranih udeležencev (ki pa prihajajo iz nasprotne strani), motorist ima majhen oris (silhueto) in je zaradi tega težje zaznaven, ukrepi za zagotavljanje pasivne varnosti (npr. varnostne ograje) so praviloma izumljeni za dvosledna motorna vozila in lahko enoslednim predstavljajo veliko nevarnost, dinamika vožnje enoslednega motornega vozila je drugačna od dinamike vožnje dvoslednega vozila (pri vožnji čez krivino so vse vzdolžne in prečne sile na motorista v ravnotežju, zato lahko še tako majhna vzdolžna (npr. zaviranje) ali prečna sila (npr. izogibanje oviri) povzroči izgubo oblasti nad vozilom).

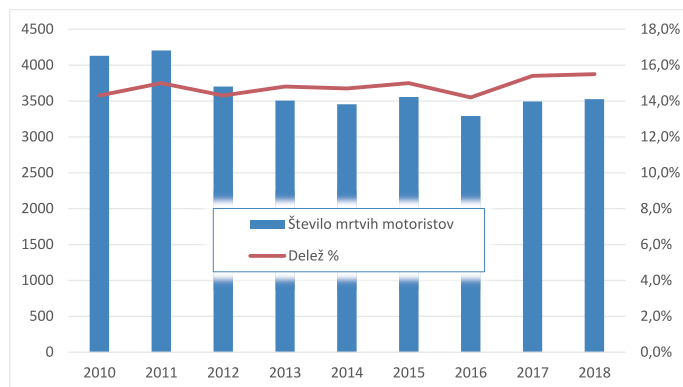
2 STANJE PROMETNE VARNOSTI MOTORISTOV V EU IN SLOVENIJI

2.1 Stanje prometne varnosti v EU

Dokument Evropske komisije European Road Safety Observatory, Facts and Figures, Motorcyclists and Moped Riders [EC, 2020] navaja statistične podatke, povezane s problematiko prometne varnosti enoslednih motornih vozil v EU.

Leta 2018 je bilo med vsemi smrtnimi žrtvami v prometnih nesrečah v državah EU 15,5 % motoristov. Čeprav se je število smrtno ponesrečenih motoristov zmanjšalo za 15 % med letoma 2010 in 2018, se je skupno število smrtnih žrtev na cestah zmanjšalo še bolj (-21 %). Posledica tega je, da se je relativni delež smrtno ponesrečenih motoristov glede na skupno število smrtnih žrtev na cestah nekoliko povečal, s 14,3 % leta 2010 na 15,5 leta 2018 (slika 1).

Države članice EU z največjim številom umrlih motoristov so (od največjega do najmanjšega števila) Italija, Francija, Nemčija, Španija in Poljska. To so tudi države z največjim številom umrlih mopedistov, razlika je samo v vrstnem redu držav. Francija ima največje število umrlih mopedistov, sledijo pa Italija,



Slika 1. Število mrtvih motoristov in njihov delež glede na skupno število smrtnih žrtev v EU27 (2010–2018) [EC, 2020].

Nemčija, Poljska in Španija. Za ta dva načina prevoza skupaj ima Italija največje število umrlih voznikov enoslednih motornih vozil.

Zelo zgovoren je tudi podatek o stopnji smrtnosti motoristov oz. številu umrlih motoristov na milijon prebivalcev, kjer je Grčija na prvem mestu (20), sledijo ji Ciper (14,8), Italija (11,4) in Hrvaška (10,8). Povprečje za EU27 je znašalo 7,9. Pri interpretaciji teh ugotovitev pa je treba biti zelo previden. Čeprav je stopnja smrtnosti motoristov na jugu EU večja, je treba upoštevati tudi dejstvo, da so v teh državah motorna kolesa bolj priljubljena oz. razširjena kot na severu EU. Po nekaterih raziskavah je leta 2018 kar 21 % odraslih Italijanov in 23 % odraslih Grkov uporabljalo motorje in mopede za svoje vsakodnevne vožnje v primerjavi s povprečjem dvajsetih držav, ki so sodelovale v raziskavi, kjer je ta delež znašal samo 13 %.

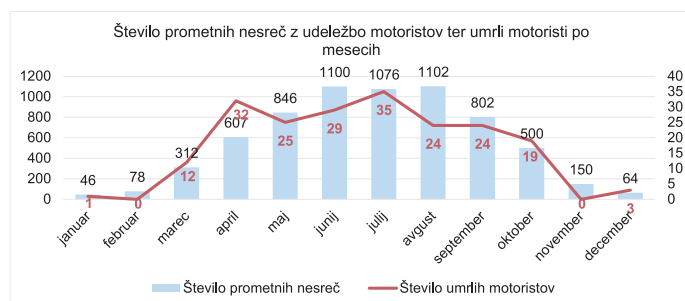
Stopnja smrtnosti je sicer pomemben podatek, ne upošteva pa razlik v splošnih stanjih varnosti prometa v državah. Z drugimi besedami, obstaja možnost, da je stopnja smrtnosti voznikov enoslednih motornih vozil v neki državi velika zato, ker je tudi skupna stopnja smrtnosti za vse udeležence v prometu v tej državi velika. Zato je zelo pomemben tudi podatek o deležu smrtno ponesrečenih motoristov glede na število vseh smrtno ponesrečenih udeležencev v prometu, ki predstavlja relativno pogostost smrtno ponesrečenih voznikov motornih koles.

Na koncu tega poglavja samo še zanimivost, da je leta 2018 v EU kar 36 % motoristov umrlo v prometnih nesrečah, v katerih je bilo udeleženo samo eno motorno vozilo ("single-vehicle collision") in brez udeležbe pešca. Ta podatek lahko tolmačimo na dva načina (usposobljenost motoristov ali varnost obcestja).

2.2 Stanje prometne varnosti motoristov v Sloveniji

V obdobju 2010–2019 je priljubljenost motornih koles v Sloveniji bila v neprestanem porastu, kar dokazuje tudi porast registriranih motornih koles [Murkovič, 2021]. Če primerjamo porast števila registriranih motornih koles s porastom števila registriranih osebnih vozil, lahko ugotovimo, da se je v obdobju 2010–2019 število registriranih osebnih vozil povečalo za 10 %, število registriranih motornih koles pa za kar 44 %.

Na žalost, če primerjamo delež smrtno ponesrečenih in težko telesno poškodovanih motoristov z vsemi smrtno ponesrečenimi in težko telesno poškodovanimi motoriziranimi udeleženci v prometu, lahko ugotovimo, da je ta delež bistveno večji, kot je njihov delež v strukturi motornega prometa. Še posebej prometne nesreče z udeležbo motoristov in število umrlih motoristov izstopajo na začetku motoristične sezone in v poletnih mesecih, kar je povsem razumljivo (slika 2).



Slika 2. Število prometnih nesreč z udeležbo motoristov ter umrli motoristi po mesecih v obdobju 2010–2019 [Murkovič, 2021].

V obdobju 2010–2019 se je delež [Murkovič, 2021]:

- prometnih nesreč z udeležbo motoristov povečal z 3,2 % na 3,6 %,
- smrtno ponesrečenih motoristov povečal z 12,3 % na 19,6 % in
- težko telesno poškodovanih motoristov povečal z 19,8 % na 23,0 %.

2.3 Celostna prometno varnostna analiza prometnih nesreč s smrtno ponesrečenimi motoristi

V nadaljevanju podajamo le kratek povzetek celostne prometno varnostne analize prometnih nesreč na državnih cestah s smrtno ponesrečenimi motoristi v obdobju 2018–2020. Prikaz celotne prometno varnostne analize bi namreč presegal prostor v reviji, predviden za ta prispevek. Celostna prometno varnostna analiza temelji na uradnih podatkih policije.

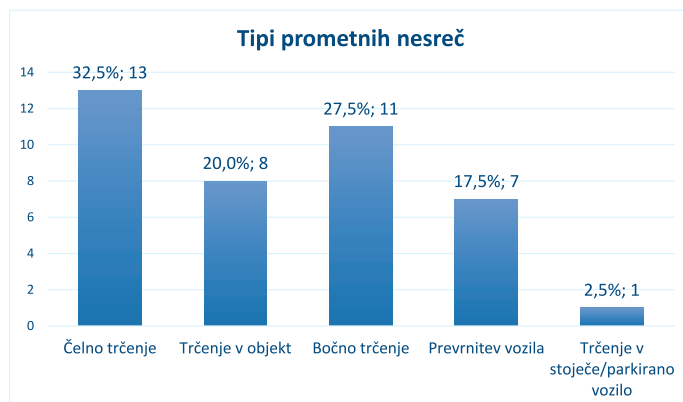
V obdobju 2018–2020 so motoristi bili povzročitelji prometnih nesreč s smrtnim izidom v kar 65 % prometnih nesreč z udeležbo motorista.

Med uradnimi vzroki za nastanek prometnih nesreč s smrtno ponesrečenimi motoristi izstopata (ne glede na povzročitelja) neprilagojena hitrost (47,5 %), nepravilna stran/smer vožnje (17,5 %), sledita pa nepravilno prehitevanje in neupoštevanje pravil o prednosti (vsak od vzrokov s po 15 %).

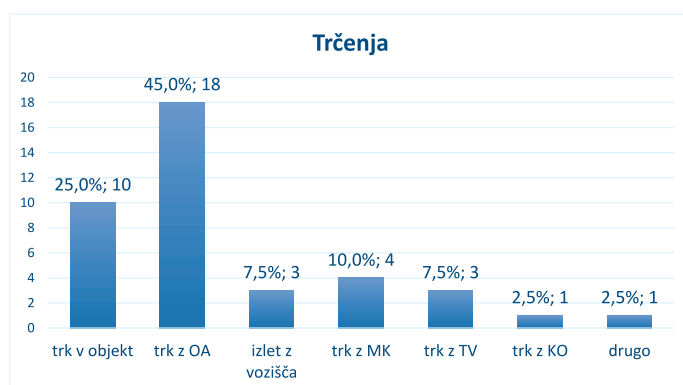
Med uradnimi tipi prometnih nesreč izstopata čelno trčenje (32,5 %) in bočno trčenje (27,5 %), sledi pa trčenje v objekt (20,0 %) (slika 3).

Pomemben podatek pri obravnavi prometnih nesreč z udeležbo motoristov je tudi podatek o tipih trčenja oz. s kom/čim je motorist bil udeležen v prometni nesreči. V obdobju 2018–

2020 je smrtno poškodovan motorist najpogostejše sodeloval v prometni nesreči z osebnim vozilom (45,0 %), v 25 % primerov pa gre za "single-vehicle collision" (slika 4).



Slika 3. Tipi prometnih nesreč, obdobje 2018–2020.



Slika 4. Tipi trčenja, obdobje 2018–2020.

Trend zadnjih let kaže na to, da se število prometnih nesreč z udeležbo samo motorista povečuje, število prometnih nesreč z osebnim vozilom pa zmanjšuje. Trend povečanja števila prometnih nesreč s smrtnim izidom, v katerih je sodeloval samo motorist, je skrb vzbujajoče. V takih prometnih nesrečah gre za napačno ali prepozno reakcijo motorista ali za nevarno obcestje. Za obdobje 2018–2020 so to trk v betonsko nabrežino, skalo, stebriček s tablico za označitev stacionaže, drevo, prometni znak in jekleno varnostno ograjo.

3 ZAHTEVE DIREKTIVE 2019/1936/EK GLEDE ENOSLEDNIH MOTORNH VOZIL

Prej navedeno slabo stanje prometne varnosti enoslednih motornih vozil v EU je, vključno s pritiski različnih institucij (predvsem Federation of European Motorcyclists' Associations (FEMA)) pri EK, povzročilo, da so v novelaciji Direktive 2019/1936 [EC, 2019] vozniki enoslednih motornih vozil eksplicitno uvrščeni v kategorijo ranljivih udeležencev v prometu (člen 2, nova točka 10).

Prav tako se v novelaciji direktive od držav članic zahteva, da zagotovijo, da se potrebe ranljivih udeležencev v prometu

upoštevajo pri izvedbi postopkov v celotnem "življenjskem ciklusu ceste", za vse ceste, ki jih zajema direktiva (to so z izjemo cest na TEN-omrežju tudi vse druge avtoceste in primarne ceste). Prej navedenemu so prilagojene tudi priloge k direktivi.

Hkrati se od držav članic zahteva, da mora program usposabljanja presojevalcev varnosti cest vsebovati vsebine s področij ranljivih udeležencev v prometu in ukrepe za zagotavljanje varnosti ranljivih udeležencev v prometu.

Slovenija je že leta 2019 uvrstila vsebine s področja zagotavljanja prometne varnosti pešcev, kolesarjev in voznikov enoslednih motornih vozil v program usposabljanja presojevalcev varnosti cest. Za prvi dve skupini ranljivih udeležencev obstajata tudi pravilnik in delovni osnutek tehnične specifikacije. Neobdelano je takrat ostalo samo področje enoslednih motornih vozil. Do leta 2021, ko je Direkcija RS za infrastrukturo objavila Smernice za opremljanje in vzdrževanje cest in obcestnega prostora s poudarkom na prometni varnosti motoristov.

4 NAPRAVE IN UKREPI ZA IZBOLJŠANJE PROMETNE VARNOSTI MOTORISTOV

4.1 Smernice

Direkcija RS za infrastrukturo je v preteklosti sama ali v sodelovanju z drugimi slovenskimi pristojnimi institucijami opravila vrsto aktivnosti na področju izboljšanja prometne varnosti motoristov: s preventivnimi akcijami in edukacijo, z uvedbo dodatne prometne signalizacije in z izboljšanjem prometno varnostnih razmer na/ob cesti. Vendar je bila večina teh aktivnosti kurativnega značaja.

Smernice za opremljanje in vzdrževanje cest in obcestnega prostora s poudarkom na prometni varnosti motoristov [Tollazzi, 2020b] predvidevajo uporabo novih pristopov, novih ukrepov in novih aktivnosti z namenom izboljšanja prometne varnosti enoslednih motornih vozil na cestah zunaj naselja. Za vsako napravo in ukrep je natančno opredeljeno, kaj se izvede, kdaj se izvede in kako se izvede.



Slika 5. Pravilna izvedba ML (prikaz odbojnika oziroma ščita je simboličen).

S to smernico se Slovenija postavlja ob bok nekaterim državam (Avstriji, Nemčiji, Norveški, Portugalski, Veliki Britaniji, Franciji in Španiji), ki že imajo predpise s področja projektiranja, opremljanja in vzdrževanja cest za večjo varnost motoristov, kar pa ima preventivni pomen. Smernica vsebuje tudi dognanja in predloge držav, ki se s področjem zagotavljanja prometne varnosti motoristov ukvarja jo že dalj časa. Predstavlja povzetek dobrih praks držav z najvišjo ravno prometne varnosti motoristov in dodaten prispevek k zagotavljanju prometne varnosti motoristov v Sloveniji.

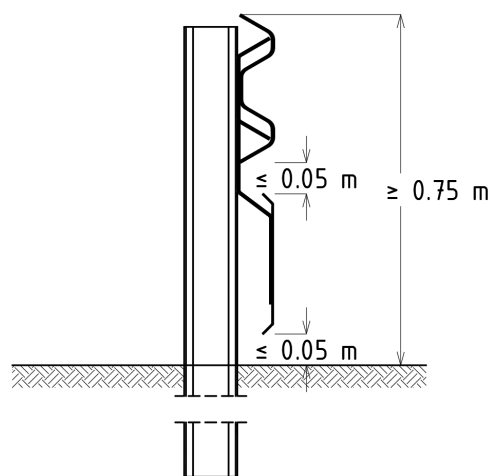
4.2 Pogoji, ki jih mora izpolnjevati posamezni ukrep

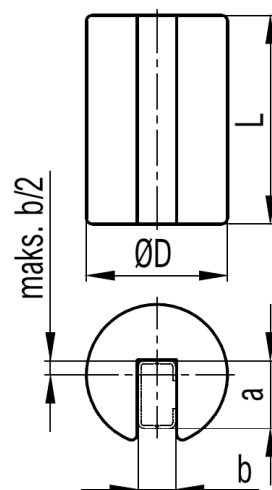
V pričujočem prispevku so prikazane samo tri naprave za izboljšanje ravni prometne varnosti motoristov. To so že znana motoristična letev in dve napravi, ki v slovenskem prostoru predstavljata novost.

Motoristična letev (ML) je linijski ukrep, izveden neprekinjeno vzdolž varnostne ograje, z namenom zadrževanja in preusmerjanja motorista v primeru zdrs, ki preprečuje neposreden trk s togimi elementi varnostne ograje, kot so stebrički, pritrdišča ali povezave modulov, prav tako pa preprečuje prehod motorista med stebrički in možnost trka v morebitno nevarnost za ograjo (slika 5).

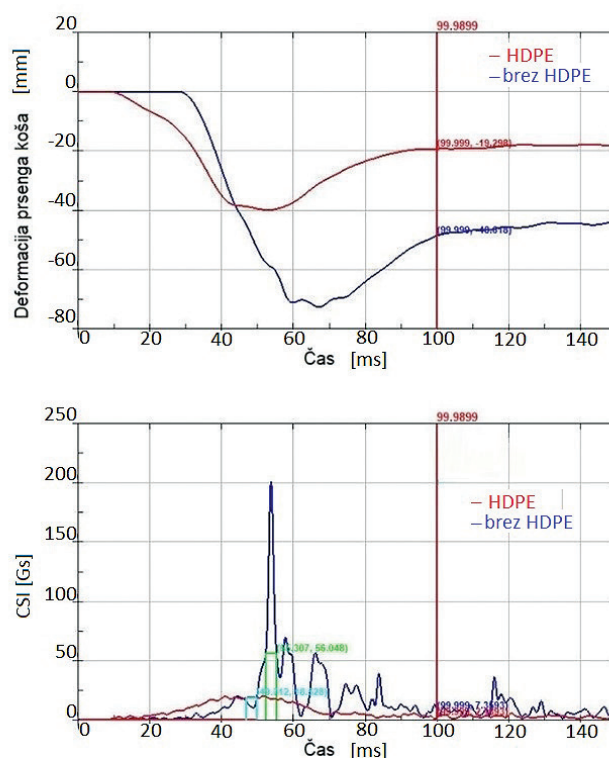
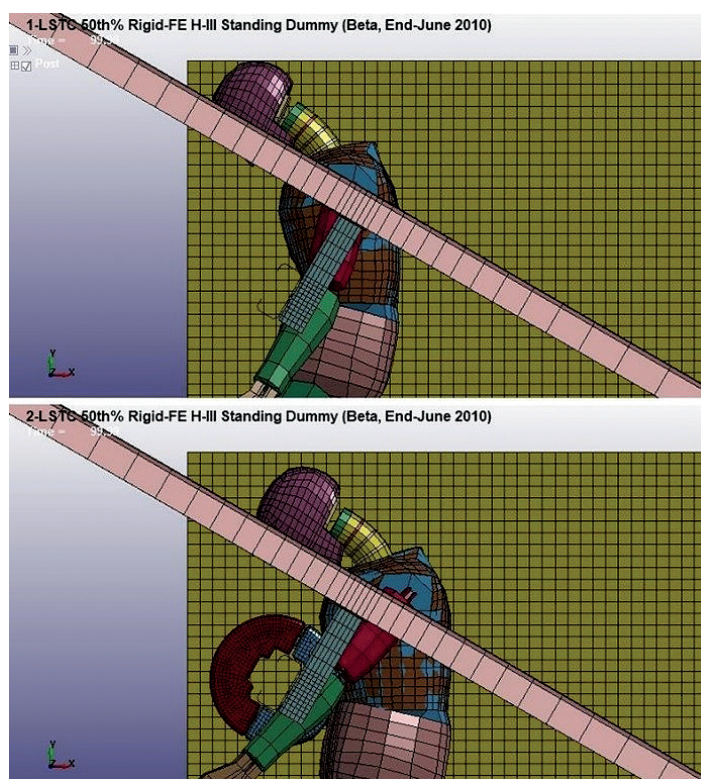
ML morajo imeti lastnosti, ki ponujajo določeno stopnjo varnosti v primeru naleta motorista, in sicer vrednosti poškodbenih parametrov glave in vratu ne smejo presežati predpisanih vrednosti, ki jih določa poškodba druge stopnje po ustreznem standardu [SIST, 2019].

Blažilec trkov motoristov (BTM) predstavlja zaščito nosilnih stebrov jeklene varnostne ograje (slika 6). BTM so naprave oziroma izdelki iz ustreznega materiala, ki se nameščajo na dele cestne opreme, ki ob padcu in zdrs motorista zanj predstavljajo veliko nevarnost v obliki velikih točkovnih obremenitev ob udarcih z glavo, vratom, trupom in drugimi telesnimi okončinami.





Slika 6. Pravilna postavitev in gabaritne oblike blažilca trka motorista za steber jeklene varnostne ograje.



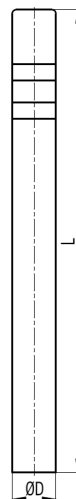
Slika 7. Primerjava rezultatov deformacije prsnega koša in indeksa poškodbe prsnega koša (CSI) pri naletu lutke s prsnim košem v BTM.

BTM morajo imeti lastnosti, ki zagotavljajo določeno stopnjo varnosti v primeru naleta motorista (nalet motorista naravnost z glavo v blažilec in nalet motorista s prsnim košem v blažilec).

Vrednosti poškodbenih parametrov glave in vratu ne smejo presegati predpisanih vrednosti, ki jih določa poškodba druge stopnje po ustreznem standardu [SIST, 2019] pri naletni hitrosti do 15 km/h. Slika 7 levo prikazuje primerjavo modelov trka

telesa motorista v tog steber brez (zgoraj levo) in z (spodaj levo) BTM pri naletni hitrosti 15 km/h v računalniškem času 100 ms. Slika 7 desno prikazuje deformacije prsnega koša in indeksa poškodbe prsnega koša telesa motorista (CSI) ([Trajkovski, 2018a], [Trajkovski, 2019]).

Pasivno varni stebrički (PVS) (slika 8) se nameščajo na odsekih cest v primerih, ko bi izvedba togih naprav za zaščito motoristov v primeru trka motorista povzročila večjo škodo, kot če ti

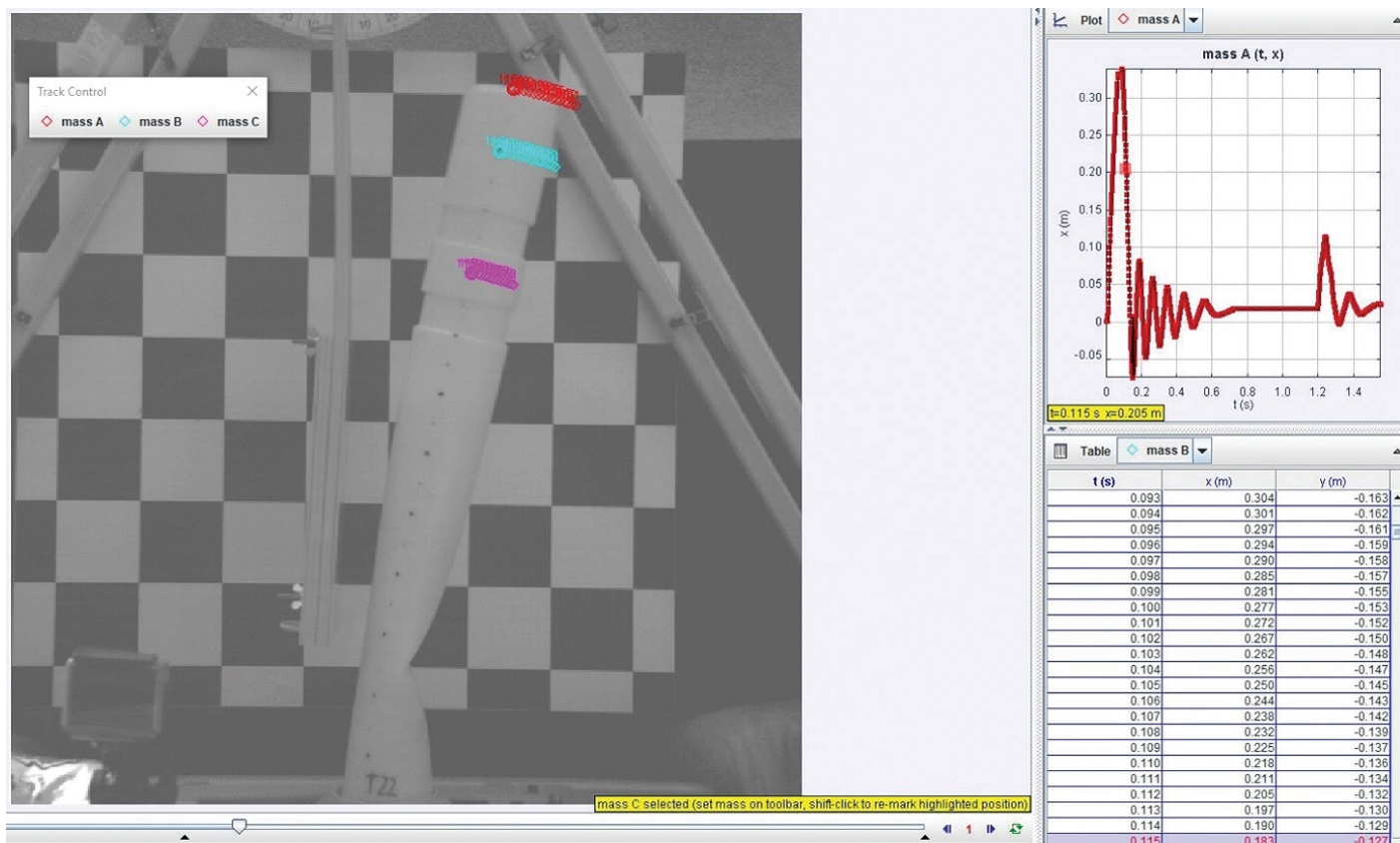


Slika 8. Pravilna postavitev in gabaritna oblika pasivno varnega stebrička.

ne bi bili nameščeni. Namen PVS ni zaščita motorista v primeru zdrsa ali trka, temveč le izboljšano označevanje z namenom vizualnega usmerjanja (vodenja) motorista v vožnji, še posebej skozi krivine [Trajkovski, 2018b].

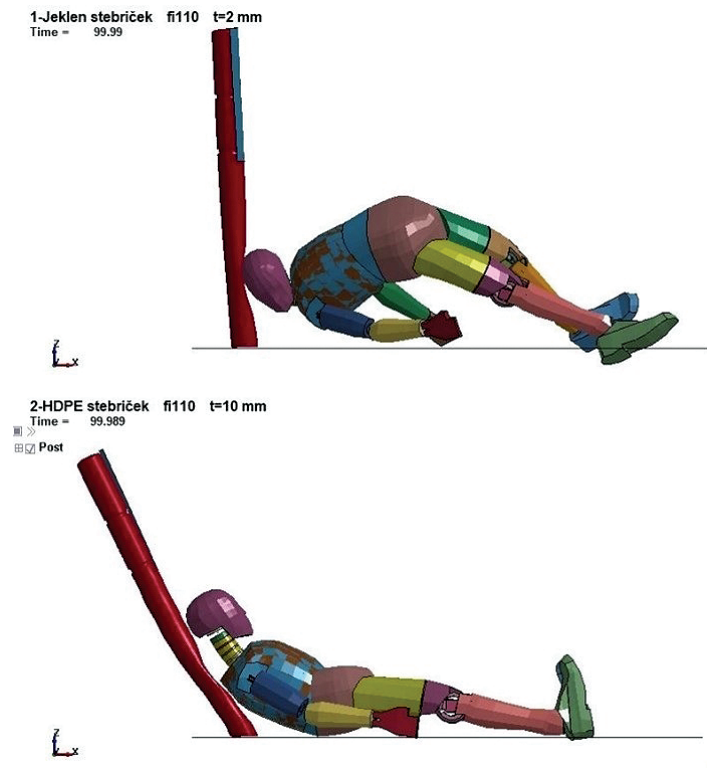
PVS mora izpolnjevati določene osnovne in posebne pogoje po ustreznem standardu [SIST, 2008]. Poleg osnovnih pogojev morajo stebrički imeti tudi določeno stopnjo varnosti v

primeru naleta motorista (nalet motorista naravnost z glavo v stebriček in nalet motorista s prsnim košem v stebriček) ([Trajkovski, 2018a], [Trajkovski, 2019]). Na sliki 9 so prikazani dinamični udarni test motorista in časovni potek gibanja stebrička, posnet z uporabo hitrotekoče kamere, in obdelava podatkov za pridobitev časovne odvisnosti največjega pomika PVS.



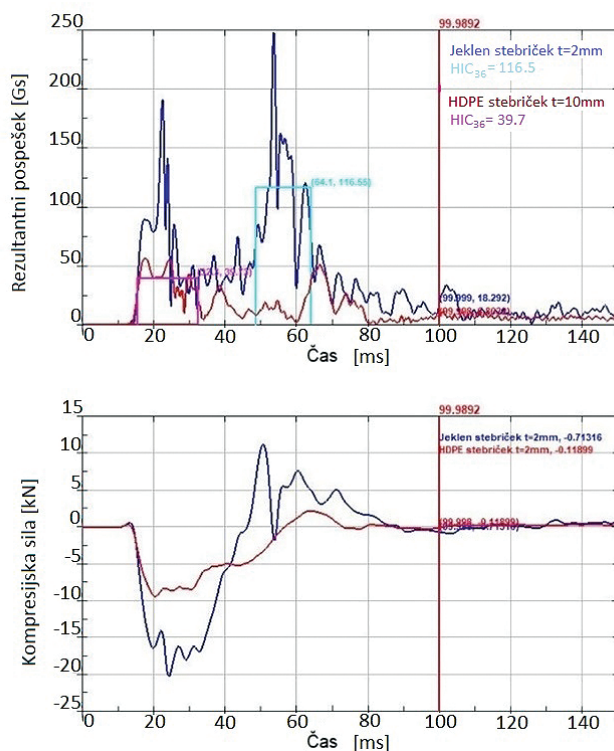
Slika 9. Dinamično testiranje stebričkov po standardu [SIST, 2008].

Na sliki 10 sta prikazana odziv numerične lutke HYBRID III pri naletu z glavo v jekleni stebriček in PVS ter kompresijska sila na glavo pri naletni hitrosti 30 km/h za oba primera. Primerjava poškodbenih parametrov in kompresijske sile na glavo nedvomno kaže, da so PVS bistveno bolj varni za motoriste v primeru trka [Trajkovski, 2018b].



4.3 Dosedanje izkušnje, pridobljene na pilotnem projektu

V nadaljevanju zaradi kompleksnosti raziskave podajamo samo kratek povzetek ugotovitev učinkovanja pasivno varnih stebričkov v realnem okolju.



Slika 10. Vpliv osnovnega materiala stebrička na poškodbeni kriterij glave (HIC36) in kompresijsko silo pri naletni hitrosti 30 km/h (računski čas simulacije 100 ms).



Slika 11. Nameščena očala na udeležencu meritev (levo) in kalibriranje očal na vznikle lastnosti (desno).



Slika 12. Prikaz območja raziskave na cesti R1-214, odsek 1157, Stari Log-Dvor.

Direkcija RS za infrastrukturo je v začetku leta 2020 na cesti R1-214, odsek 1157, Stari Log-Dvor, med km 8,0 – 67 m in km 9,5 – 40 m, opremila krivine s pasivno varnimi stebrički ter odstranila nevarne ovire. Osnovni namen raziskave je bil določiti učinek uvedbe pasivno varnih stebričkov.

Pri izdelavi naloge je za pridobivanje terenskih podatkov uporabljena sodobna terenska raziskovalna oprema, med drugim tudi očala Tobii Pro 2 (slika 11), ki omogočajo raziskovalcem poglobljen in objektivni vpogled v obnašanje testiranca in njegovo osredotočenost v realnem okolju brez motečih ele-

mentov. Očala Tobii Pro 2 beležijo objekte fiksacije, vrstni red zaznavanja objektov fiksacije in dolžino fiksacije posameznega objekta [Tollazzi, 2022].

Raziskava [Tollazzi, 2020c] je narejena v realnem prometnem okolju, in sicer v sredo, 11. septembra 2019 (prej), ter v petek, 10. julija 2020 (pozneje). Udeleženci raziskave so vozili po vnaprej določeni poti, ki je vsebovala tri krivine (slika 12).

Raziskava je izvedena na skupaj 30 udeležencih, in sicer na 15 udeležencih pred izvedbo ukrepov in 15 po izvedbi. Narejena je ločena analiza za vsakega motorista posebej (slika 13), re-



Slika 13. Prikaz ročne obdelave podatkov.

zultati so povzeti ter izračunane povprečne vrednosti za vsako krivino ločeno. Rezultati so na to primerjani z metodo prej/potem in na ta način je določena učinkovitost izvedenih elementov na odseku. Kratek povzetek glavnih ugotovitev raziskave je podan v nadaljevanju.

Dodatna oprema pritegne veliko pogledov motoristov ne glede na to, ali gre za levo ali desno krivino, in predstavlja učinkovit način vodenja motoristov v krivinah.

Ima večji učinek (večji delež skupnih fiksacij) v levih kot v desnih krivinah, kar je logično, saj gre za nevarnost, da motorist zdrsi s ceste.

Uvedba dodatne cestne opreme v celoti spremeni vrstni red objektov fiksacije.

Povprečna vrednost potovalnih hitrosti po uvedbi dodatne opreme je nekoliko manjša kot pred uvedbo.

Nekoliko se spremenijo tudi krivulje vožnje motoristov. Po uvedbi ukrepov motoristi vozijo nekoliko bolj stran od desne roba vozišča.

S tem je učinkovitost pozitivnega delovanja pasivno varnih stebričkov dokazana.

5 SKLEP

Prispevek obravnava problematiko prometne varnosti enoslednih motornih vozil in nekatere ukrepe za njeno izboljšanje.

Dejstvo je, da je stanje prometne varnosti enoslednih motornih vozil tako v celotni EU kot v Sloveniji slabo in da jo bo treba izboljšati. To od držav članic EU zahtevajo tudi določila nove evropske direktive, ki motoriste eksplicitno uvrščajo v skupino ranljivih udeležencev v prometu, ki jih je treba upoštevati v vseh fazah presoje varnosti in zanje zagotoviti varno cestno okolje.

Poglavitni del prispevka je namenjen prikazu metodologije za izboljšanje prometne varnosti motoristov, ki jo je Slovenija začela uvajati konec leta 2020. Ta med drugim vsebuje tudi uvedbo naprav in ukrepov za izboljšanje prometne varnosti motoristov. V prispevku so na kratko prikazane nekatere najpomembnejše naprave za izboljšanje prometne varnosti motoristov in njihovo modelno preizkušanje z računalniškimi simulacijami.

Zadnji del prispevka prikazuje kratek povzetek pilotne raziskave v realnem okolju oz. prikaz delovanja pasivno varnih stebričkov na izbrani populaciji motoristov. Ugotovljeno je, da je učinkovitost njihovega delovanja velika in izjemno pozitivna.

6 ZAHVALA

V prispevku so objavljeni nekateri rezultati raziskav, narejenih v okviru projekta P2-0129 Razvoj, modeliranje in optimiranje objektov in procesov v gradbeništvu in prometu, ki ga financira Agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS), ter delno v okviru raziskovalne skupine P2-0109 Modeliranje v tehniki in medicini.

Posebna zahvala Direkciji RS za infrastrukturo, ki tako moralno kot finančno ves čas podpira raziskave s področja prometne varnosti motoristov.

Zahvala DRI, d. o. o., za sodelovanje pri nastanku slovenskih smernic za opremljanje in vzdrževanje cest in občestnega prostora s poudarkom na prometni varnosti motoristov.

Zahvala tudi članom tehničnega odbora za projektiranje cest in prometno varnost za konstruktivno strokovno sodelovanje pri nastanku TSPI Naprave in ukrepi za izboljšanje prometne varnosti motoristov.

7 LITERATURA

EC, European Commission, Directive (EU) 2019/1936 of the European Parliament and of the Council amending Directive 2008/96/EC on road infrastructure safety management, Bruselj, 2019.

EC, European Commission, European Road Safety Observatory, Facts and Figures, Motorcyclists and moped riders, Bruselj, 2020.

Murkovič, A., Varnost motoristov v cestnem prometu – dileme pri ogledu kraja prometne nesreče, magistrsko delo, Nova univerza, Fakulteta za državne in evropske študije, Kranj, 2021.

SIST, SIST EN 12899-3 Stalna vertikalna cestna signalizacija – 3. del: Smerniki in svetlobno odbojna telesa, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2008.

SIST, SIST-TS CEN/TS 17342 Oprema cest - Oprema cest za ublažitev udarcev motoristov pri trkih v varnostno ograjo, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana 2019.

Tollazzi, T., Key components of motorcyclists' safety: motorcycle - rider - environment. Generis Publishing, ISBN: 978-1-63902-165-9, 2020a.

Tollazzi, T., Renčelj, M., Jelenc, J., Kunc, R., Ambrož, M., Zupan, S., Trajkovski J., Smernice za opremljanje in vzdrževanje cest in občestnega prostora s poudarkom na prometni varnosti motoristov, zaključno poročilo, Direkcija RS za infrastrukturo, Ljubljana, 2020b.

Tollazzi, T., Moharič, M., Monitoring motoristov v krivinah Lašče pri Dvoru, poročilo, Direkcija RS za infrastrukturo, Ljubljana, 2020c.

Tollazzi, T., Moharič, M., Gruden, C., A preliminary assessment of rider/driver gaze behavior in urban areas, Sustainability, iss. 4, 14, str. 1-18, DOI: 10.3390/su14042056, 2022.

Trajkovski, J., Ambrož, M., Žerovnik, A., Kunc, R., Numerična simulacija naleta motorista v točkovne zaščite: razvojno-raziskovalna naloga: končno poročilo, Ljubljana, 2018a.

Trajkovski, J., Ambrož, M., Kunc, R., Numerična simulacija in verifikacija PE stebričkov : razvojno-raziskovalna naloga: končno poročilo, Ljubljana, 2018b.

Trajkovski, J., Ambrož, M., Kunc, R., Analiza HDPE stebričkov: del razvojno-raziskovalne naloge numerične simulacije naleta motorista v zaščite in stebriček s pripravo predloga uporabe: končno poročilo, Ljubljana, 2019.

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



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



Znanstveni članek
UDK 628.9.021:72.054

OCENA VEČSPEKTRALNIH SIMULACIJSKIH ORODIJ ZA VREDNOTENJE NEVIZUALNEGA SVETLOBNEGA OKOLJA

ASSESSMENT OF MULTISPECTRAL SIMULATION TOOLS FOR THE EVALUATION OF THE CIRCADIAN LUMINOUS ENVIRONMENT

Povzetek

Svetlobo, predvsem dnevno svetlobo smo z napredki v znanosti preteklih desetletij prepoznali kot usklajevalec vsakodnevnega biološkega ritma – cirkadianega ritma ljudi s 24-urnim solarnim ritmom. Vrsta fotoreceptorja, zadolžena za nevizualno zaznavo, je bolj občutljiva za modri del svetlobe kakor sistem vidne zaznave in zato za oceno učinkov svetlobe na nevizualni sistem zahteva sposobnost vrednotenja okolja tudi z vidika spektralne sestave svetlobe. Namen te študije je bil na podlagi opravljenega eksperimenta ocene notranjega okolja pomanjšane pisarne, postavljene na strehi Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, preveriti, ali so obstoječa orodja večspektralnega vrednotenja notranjega okolja dovolj točna za vrednotenje nevizualnega svetlobnega okolja. Simulacije ovrednotimo z vidika točnosti in hitrosti pri jasnem nebu in severni orientaciji analiziranega prostora. Točnost simulacij ovrednotimo na podlagi korena povprečnega kvadrata napake (RMSE) relativne spektralne porazdelitve svetlobe (RSPD) in relativne napake v relativni melanopski učinkovitosti (RMU). Analiza pokaže nizke RMSE orodij ALFA in Lark, ko obravnavamo RSPD dnevne svetlobe, merjene na horizontalni ravnini zunaj. Kadar točnost vrednotimo z vidika navideznega uporabnika prostora, ALFA vestno simulira svetlobno okolje z največjo RMSE = 0,08 in največjo napako v RMU = 2,8 %. Lark se izkaže za manj natančnega z največjo RMSE = 0,18 in največjo napako v RMU = 16,2 %. Dodatno se izkaže, da je orodje ALFA časovno mnogo učinkovitejše z več kot 20-krat krajšimi simulacijskimi časi v primerjavi z Larkom.

Ključne besede: dnevna svetloba, nevizualni učinki svetlobe, spektralne simulacije, pisarna

Summary

Light, especially daylight, has been recognized by advances in science over the past decades as the main coordinator of the daily biological rhythm of people with a 24-hour solar rhythm. The photoreceptor responsible for the non-visual perception is more sensitive to the blue component of light than the visual perception system. Therefore, it is necessary to evaluate the indoor environment in terms of the spectral composition of light to assess the effects of light on the non-visual system. The purpose of this study was to verify whether the existing tools for multispectral evaluation of the indoor environment are accurate enough to evaluate the non-visual luminous environment. The reliability of the studied tools was tested under clear sky conditions on a north oriented scale model of an office the luminous environment of which was determined experimentally. Experimental results were compared to the simulations evaluated in terms of accuracy and speed. The accuracy of the simulations was evaluated based on the root mean square error (RMSE) of the relative spectral distribution of light (RSPD) and the relative error of the relative melanopic efficiency (RME). The analysis shows that low RMSE of ALFA and Lark tools were achieved when considering RSPD measured outside on the horizontal plane. When evaluating accuracy from the perspective of a hypothetical office user, ALFA adequately simulated the lighting environment with a maximum RMSE = 0.08 and a maximum error in RME = 2.8 %. Lark proves to be less accurate with a maximum RMSE = 0.18 and a maximum error in RME = 16.2 %. Additionally, the ALFA tool proves to be much more time-efficient with more than 20 times shorter simulation runs compared to Lark.

Key words: daylight, non-visual effects of light, spectral simulations, office

1 UVOD

Ljudje v sodobnih industrijskih in postindustrijskih družbah v notranjem grajenem okolju preživimo več kot 90 % časa [Dovjak, 2019], zato je količina naravne svetlobe, ki jo prejmemo v dnevno, v veliki meri pogojena z zasnovo stavbe in njenega okolja. To je še posebej pomembno, saj ima svetloba poleg svojega vizualnega vpliva tudi na mnoge fiziološke in psihološke procese v našem telesu [Siraji, 2022], ki jih poimenujemo nevizualni učinki svetlobe (angl. non-image-forming effects). Nevizualne učinke svetlobe lahko razdelimo v tri kategorije: cirkadiane, nevrovedenjske in nevroendokrine odzive [IES, 2018]. Nevroendokrini odzivi regulirajo, kako možgani regulirajo sintezo hormonov [Berson, 2003], predvsem sintezo melatonina, ki posledno vpliva tudi na cirkadiane odzive, ki usklajujejo našo notranjo 24-urno uro s solarnim ciklom [Czeisler, 2007]. Med nevrovedenjske odzive pa uvrščamo odnos med živčnim sistemom in človeškim vedenjem, med takšne procese uvrščamo pozornost [Rahman, 2017], razpoloženje [Milosavljevic, 2019], kognitivno učinkovitost [Jamrozik, 2019] kot tudi srčni utrip [Cajochen, 2005], telesno temperaturo [Lok, 2019] itd.

Intrinzično fotosenzitivne ganglijske celice (ipRGC) s pomočjo melanopsina v nevizualni recepciji odigrajo ključno vlogo, saj neposredno komunicirajo s superkiazmatskim jedrom v možganih [Berson, 2002], ki regulira naš dnevni ritem in ostale vidike nevizualne zaznave. IpRGC podobno kot paličice in čepki vsebujejo fotopsin – protein, ki sproži prenos svetlobno povzročenega signala do možganov. Fotopsin v ipRGC je poimenovan melanopsin in je najbolj občutljiv za svetlobo v modrem delu spektra pri 480 nm [Foster, 2021], posledično je tudi nevizualna zaznava najbolj občutljiva za takšno svetlobo v nasprotju z vidno zaznavo, ki je najbolj občutljiva za svetlobo v rumeno-zelenem delu spektra pri 555 nm [ISO, 2019]. Dodatno je nevizualna zaznava svetlobe časovno pogojena. To pomeni, da bo vpliv svetlobe na cirkadiani sistem oz. človeško vedenje odvisen od tega, kdaj, kako dolgo smo izpostavljeni svetlobi in kako smo bili izpostavljeni svetlobi v bližnji preteklosti [Wahl, 2019]. Visoka količina svetlobe v jutranjih urah tako premika človekovo uro naprej [Crowley, 2015], čez dan vpliva na razpoloženje ter dviga našo pozornost in produktivnost ([Figueiro, 2017], [Knoop, 2019], [Sahin, 2014]). Velike količine svetlobe zvečer pa obratno zamikajo cirkadiano uro nazaj ter jo s tem desinhronizirajo s solarnim ciklom [Emens, 2015]. Dolgotrajna neustrezna »svetlobna dieta« se lahko prične izražati v mnogih psiholoških ali fizioloških boleznih. Med najpogostejšimi so sezonsko pogojena depresija in motnje spanca [Walker, 2020]. V ekstremnih primerih, kot je izmenska delo, pa lahko takšne motnje privedejo tudi do različnih vrst raka [Straif, 2007].

Drugačnost nevizualnega odziva na svetlobo zato zahteva tudi drugačno vrednotenje svetlobnega okolja. V literaturi se pojavlja vse večje število študij, v katerih sta najpogostejše uporabljani dve metodologiji. Prvo metodologijo ekvivalentnega α -opskega luxa oz. ekvivalentnega melanopskega sevanja, ki so jo predlagali Lucas in sod. [Lucas, 2014], je privzela tudi CIE v [CIE, 2018]. Omenjena metodologija nevizualno količino svetlobe opisuje analogno z metodo osvetljenosti. Vendar za vrednotenje vpliva na ipRGC, namesto $V(\lambda)$ uporablja odzivnost posameznih fotoreceptorjev ob prejetem svetlobnem dražljaju. Pri analizi nevizualnih aspektov je tako najpomembnejši odziv ipRGC, pri čemer se količina svetlobe izrazi s t. i. ekvivalentnimi melanop-

skimi luxi (EML). Vemo pa, da pri nevizualni zaznavi posredno sodelujejo tudi ostali fotoreceptorji, zato lahko s to metodo vrednotimo tudi vplive svetlobe na ostale fotoreceptorje, kljub temu pa koherentni vpliv vseh fotoreceptorjev pri nevizualni zaznavi v tej metriki ni zajet. Celosten vpliv sodelovanja vseh fotoreceptorjev pri nevizualni zaznavi svetlobe pa je zajet v drugi najbolj pogosto uporabljeni metodologiji, poimenovani Circadian Light – CL_A , ki so jo predlagali [Rea, 2012]. Ta metoda ni neposredno primerljiva z metodo fotopske osvetljenosti, vendar za razliko od metode α -opskega sevanja sočasno upošteva delovanja vseh fotoreceptorjev pri nevizualni zaznavi. Iz raziskovalnega dela, ki so ga izvedli [Figueiro, 2017] o nevizualnih vplivih svetlobe na delavce v pisarniških okoljih, pa vemo, da izpostavljenost količini svetlobe 275 CL_A (275 CL_A lahko dosežemo s sevanjem črnega telesa pri 275 lx in 4000 K) ali več, v času delovnika zaposlenih pozitivno vpliva na njihove kognitivne vedenjske sposobnosti.

Pri načrtovanju notranjega bivalnega ali delovnega prostora so simulacije svetlobnega okolja zelo pomembne, saj omogočajo preliminarno testiranje načrtovalskih rešitev, ki vplivajo na razporeditev svetlobe v prostoru. Trenutno je na voljo vrsta različnih simulacijskih orodij, ki omogočajo vrednotenje vidne svetlobe oziroma osvetljenosti notranjega okolja [Gkaintatzi-Masouti, 2021]. Takšna orodja vrednotijo svetlobo preko treh kanalov – R, G in B, skladno s človeško vidno zaznavo in v osnovi niso sposobna simulacij spektralne sestave svetlobe oziroma izračunov rezultatov, uteženih glede na nevizualno zaznavo svetlobe. Med takšna orodja uvrščamo orodja, kot so na primer Radiance [RADSITE, 2021], Daysim [Daysim, 2019], Relux [Relux, 2022] in Velux Daylight Visualizer [Velux, 2022]. Tovrstna orodja omogočajo vrednotenje količine svetlobe v odvisnosti od geometrije, pripadajočih optičnih lastnosti (koeficienti odsevnosti ali presevnosti) in svetlobnih pogojev (dnevna svetloba in/ali električna razsvetljava). Predvsem kadar vrednotimo zgolj vpliv dnevne svetlobe, je s takšnimi orodji smiselno oceniti tudi svetlobno okolje v daljšem časovnem obdobju v odvisnosti od podnebnih razmer. To omogoča metodologija podnebno pogojenega modeliranja dnevne svetlobe ([Brembilla, 2019], [Eržen, 2016]). Vsa izmed do sedaj naštetih orodij in metod vestnega vrednotenja nevizualno učinkovitega svetlobnega okolja niso sposobna, saj so pri takšnih oblikah simulacijah potrebne znatne poenostavitve. Tako so na primer ([Acosta, 2017], [Andersen, 2013], [Mardaljevic, 2013]) v svojih študijah nevizualnih aspektov grajenega okolja zanemarili obarvanosti materialov. To pomeni, da so predvideli uporabo spektralno nevtralnih materialov, kjer so vrednosti faktorjev vidne odsevnosti in presevnosti le pomnožili z generalizirano nevizualno učinkovitostjo povprečne dnevne svetlobe ter tako nespektralno ocenili nevizualne aspekte notranjega okolja s pomočjo orodja Radiance. Za bolj vestno upoštevanje vpliva optičnih lastnosti materialov (npr. obarvanosti materialov) na nevizualni vidik svetlobnega okolja je zato treba uporabiti metodo, ki bo zmožna spektralne simulacije dnevne svetlobe. Trenutno sta na voljo samo dve večspektralni metodi oziroma orodji, ki to omogočata za simulacije z dnevno svetlobo [Gkaintatzi-Masouti, 2021]. Prvo orodje, poimenovano Lark [Lark, 2015], je odprtokodni vtičnik za Rhinoceros [Rhino 6, 2020], ki je osnovan na n-koračni metodi Radiance, predlagani s strani [Inanici, 2015]. Lark sočasno izvede 3 simulacijske izračune Radiance RGB, kar pomeni, da je spekter dnevne svetlobe predstavljen z 9 diskretnimi kanali. Larkova 9-kanalna metoda

preko posebnih uteži za vsakega izmed 9 kanalov omogoča vrednotenje spektra dnevne svetlobe, pri čemer so kanali bolj zgoščeni v območju višje občutljivosti nevizualne zaznave. Kakor je prikazano v preglednici 1, so v ta namen prilagojene tudi relativna spektralna svetlobna učinkovitost pri dnevnem videnju $V(\lambda)$ in relativna spektralna svetlobna učinkovitost melanopsina $N_m(\lambda)$ [Inanici, 2015]. Lark spektralne pogoje dnevne svetlobe generira na podlagi obstoječih predhodno izmerjenih ali drugače definiranih spektralnih distribucij sevanja (SPD) dnevne svetlobe.

Kanal	B1	B2	B3	G1	G2	G3	R1	R2	R3
Začetek [nm]	380	422	460	498	524	550	586	650	714
Konec [nm]	422	460	498	524	550	586	650	714	780
$V(\lambda)$	0,0004	0,0095	0,0522	0,1288	0,2231	0,3174	0,2521	0,0162	0,0002
$N_m(\lambda)$	0,0166	0,1819	0,3973	0,2468	0,1204	0,0351	0,0018	0	0

Preglednica 1. Prikaz razdeljevanja območja vidnega dela sevanja na 9 diskretnih kanalov v programskem orodju Lark. Podani sta tudi prilagojeni funkciji $V(\lambda)$ in $N_m(\lambda)$.

Druga metoda večspektralnega vrednotenja svetlobe se imenuje ALFA – *Adaptive Lighting for Alertness* [LLC, 2021] in je prav tako vtičnik za Rhinoceros, vendar je ta licenčni oziroma plačljiv. ALFA vrednoti svetlobno okolje v 81 spektralnih kanalih vidne svetlobe pri 5-nm resoluciji med 380 in 730 nm. Omogoča uporabo umetnih svetil kot tudi dnevne svetlobe, lastnosti katere kreira na podlagi knjižnice libRadTran [Emde, 2016] – knjižnice radiacijskega prenosa atmosferskega profila srednjih geografskih širin Geofizikalnega laboratorija ameriških zračnih sil za jasno, oblačno, delno oblačno in deževno nebo.

V literaturi smo zasledili vrsto študij, kjer orodje Lark uporablja jo za vrednotenje notranjega nevizualnega svetlobnega okolja. Kot prvi koncept delovanja predstavijo [Inanici, 2015]. Nato [Ewing, 2017] preizkusijo delovanja Larka za druge α -opske luxe. [Konis, 2017] na podlagi Larka izračuna melanopske osvetljenosti celotnega pisarniškega okolja. Vendar izmed omenjenih študij nobena ne vrednoti, ali izvedene simulacije dobro oz. primerno odražajo realnost. Prvi poskus poenostavljene primerjave točnosti Larka opravimo v študiji pomanjšane pisarne [Potočnik, 2019], vendar zgolj z vidika α -opskih osvetljenosti pri spektralno nevtralnem okolju in oblačnem nebu, kjer je napaka Larka manjša od 0,5 %. Bolj celovito primerjavo sposobnosti spektralne simulacije zunanjega svetlobnega okolja izvedeta [Balakrishnan, 2019], ki sistematično evidentirata specifičnosti obeh programskih orodij ter primerjata simulirane rezultate z eksperimentalnimi meritvami kot tudi standardnimi simulacijami Radiance RGB. Bistven zaključek izvedene študije je spoznanje, da je za izvajanje multispektralnih simulacij z orodjem Lark in ALFA ključnega pomena razumevanje in zavedanje na kakšen način orodji simulirata zunanje hemisferske svetlobne pogoje. Tako ALFA uporablja generični atmosferski profil za srednje geografske širine, kar omogoča simulacijo situacij s soncem pri majhnih dviznih kotih (npr. zvečer). Nasprotno Lark kot vhodni podatek potrebuje SPD dnevne svetlobe, v primeru prisotnosti sonca pa je to simulirano kot bel disk enakomerne energije. Omenjeni razliki in primerjava avtorjev privedejo do zaključka, da ALFA bolj vestno odraža svetlobne pogoje pri

jasnem tipu neba, nasprotno pa velja v primeru oblačnega neba (tj. brez prisotne direktne komponente) za orodje Lark [Balakrishnan, 2019]. Celostno zasnovano analizo točnosti simulacijskih orodij Lark in ALFA v primerjavi z eksperimentalnimi meritvami so izvedli tudi Pierson in sod., in sicer tako v primeru dnevne svetlobe [Pierson, 2021a] kot tudi uporabe umetne razsvetljave [Pierson, 2021b]. V primerjavi med simulacijskimi in merjenimi rezultati pisarniškega okolja v Eindhovnu in Lausanni pri večinoma oblačnem (Eindhoven) in jasnem (Lausanna) stanju neba ter ob relativno spektralno nevtralnih

optičnih lastnostih notranjih površin se je Lark izkazal kot zelo točen, odstopanja med meritvami in simulacijami pa so bila podobna kot v primeru standardnih simulacij Radiance RGB (± 20 %) [Pierson, 2021a]. Omenjena raziskava je v primeru ALFE pokazala na vestno reproduciranje spektralne distribucije dnevne svetlobe, a na podcenjevanje dosežene absolutne osvetljenosti.

ALFA se vedno pogosteje uporablja pri analizi notranjega svetlobnega okolja [Gkaintatzi-Masouti, 2021]. V naših predhodnih študijah s pomočjo ALFE določamo vpliv različnih arhitekturno-gradbenih elementov v enostransko osvetljeni celični pisarni v točki v času [Potočnik, 2021] ter vpliv barv v poteku celega dne ([Potočnik, 2020a], [Potočnik, 2020b]) izključno pri osvetljevanju z dnevno svetlobo. Na letnem nivoju vrednotijo nevizualno svetlobno vsebino prostora tudi [Vaz, 2020]. V nasprotju [Safraneek, 2020] svetlobo notranjega okolja vrednotijo zgolj z vidika umetne razsvetljave. Na podlagi že predhodno omenjenih validacijskih študij Larka in ALFE, ki so jih izvedli ([Pierson, 2021a], [Pierson, 2021b]), se orodje ALFA izkaže za bolj natančno v primeru večspektralnih simulacij pisarniškega okolja, osvetljenega z umetno svetlobo [Pierson, 2021a], v vseh primerih pa za veliko hitrejšo ter uporabniku prijaznejšo.

Pregled literature je pokazal, da sta bili simulacijski orodji Lark in ALFA pogosto uporabljani, izvedenih pa je bilo tudi nekaj validacijskih študij pri osvetljevanju tako z dnevno kot tudi umetno svetlobo, a ob relativno spektralno nevtralnih odsevnih in presevnih lastnostih notranjega okolja. Kljub temu pa še vedno z gotovostjo ne vemo, ali se lahko na rezultate z orodji zanesemo z vidika točnosti simulacijskih rezultatov spektralno nevtralnega okolja. Posledično je poglobitni cilj predstavljene študije v nadaljevanju določiti, kako zanesljivi in točni sta orodji Lark in ALFA pri spektralni reprezentaciji notranjega svetlobnega okolja v primerjavi z meritvami izključno pri jasnem stanju neba ter ob prisotnosti spektralno nenevtralnih površin (npr. obarvana stena) in zasteklitve (npr. obarvane sončno zaščitne zasteklitve). Posledično je bilo preučeno tudi, do ko-

likšne mere sta orodji uporabni (in relevantni) pri vrednotenju melanopsko uteženega svetlobnega okolja, ki je primarni pokazatelj ustreznosti svetlobnega okolja z vidika nevizualnih vplivov svetlobe. Zanesljivost simulacijskih orodij Lark in ALFA ovrednotimo na podlagi eksperimentalnih meritev, pridobljenih na pomanjšanem modelu pisarne z enostransko zasteklitvijo in severno orientacijo.

2 METODOLOGIJA

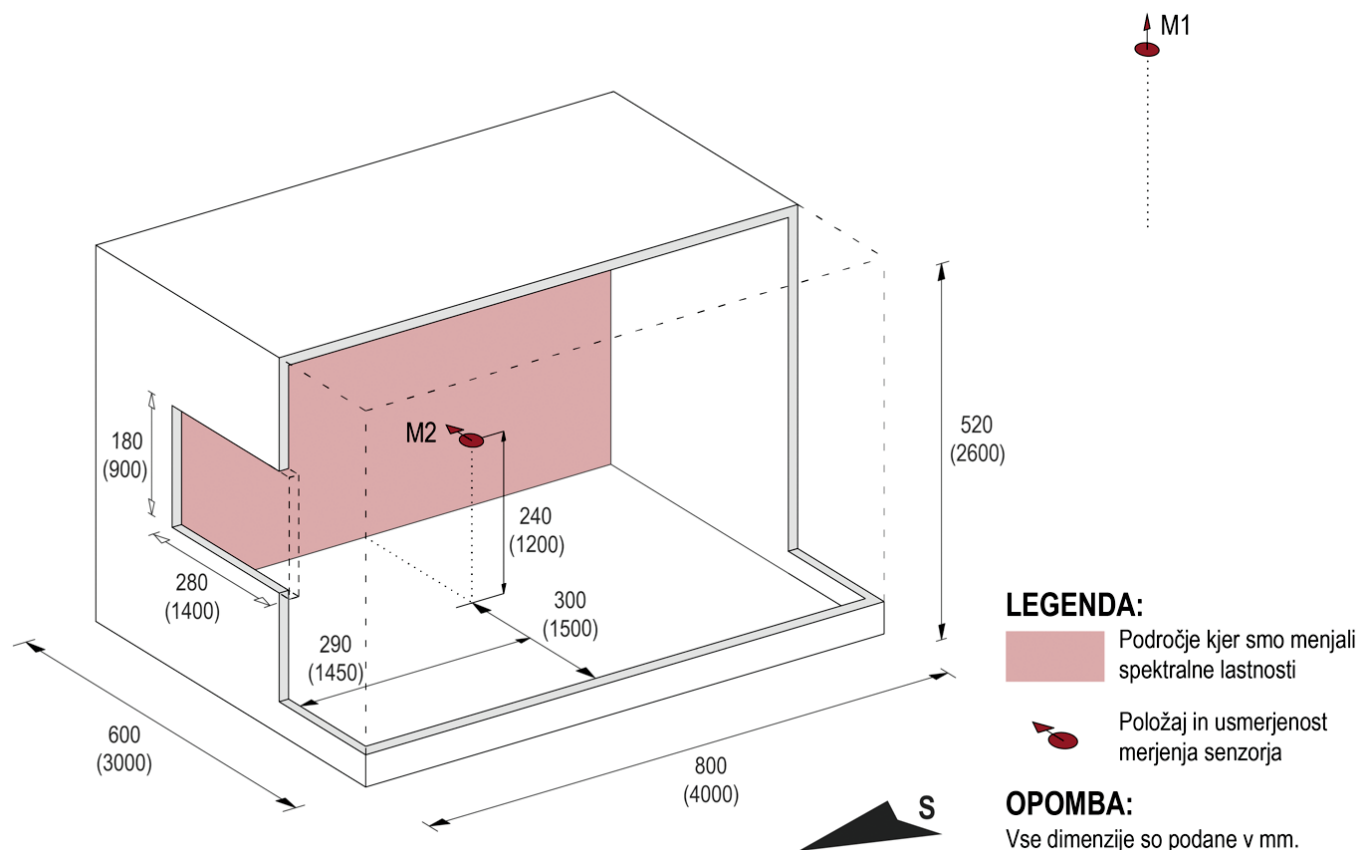
Metodološko je izvedeno raziskavo možno razdeliti na tri poglavne dele, ki so predstavljeni v nadaljnjih podpoglavjih. V prvem delu (poglavje 2.1) so predstavljene optične lastnosti površin in geometrijska zasnova referenčnega prostora. Prostor je bil uporabljen v pomanjšanem merilu v sklopu eksperimentalnih meritev, katerih izvedba je predstavljena v poglavju 2.2, kot tudi v simulacijskih izračunih (poglavje 2.3). Na koncu so predstavljeni način in metode, uporabljene za ovrednotenje točnosti simulacijskih izračunov v primerjavi z referenčnimi eksperimentalno pridobljenimi rezultati (poglavje 2.4).

2.1 Opis referenčnega prostora

Referenčni prostor predstavlja tipično celično pisarno, namenjeno enemu uporabniku, z dimenzijami 3000 x 4000 x 2600 mm (širina x dolžina x višina), merjenih kot notranje, »svetle« dimenzije. V sklopu eksperimentalnega dela je bil

predstavljen s pomanjšanim modelom v merilu 1 : 5. Tako so dejanske fizične dimenzije eksperimentalnega (pomanjšanega modela) znašale 800 x 600 x 520 mm (slika 1). Referenčni prostor je bil zasnovan kot enostransko osvetljen z vertikalno okensko odprtino, ki je bila izvedena na krajši stranici prostora pri deležu fasadne zasteklitve 10,5 % zunanje stene. Okenska odprtina dimenzij 1400 x 900 mm (širina x višina) je bila orientirana proti severu, v steno pa je bila postavljena simetrično okoli središčne vertikalne osi zidu s parapetom 900 mm. V pomanjšanem eksperimentalnem modelu tako višina parapeta znaša 180 mm, okno pa je 280 mm široko ter 180 mm visoko.

V referenčnem prostoru je bilo predpostavljeno eno delovno mesto, ki je bilo predvideno za stransko osvetljeno delovno mesto, kar pomeni, da svetloba z okna pada na delovno mesto z leve strani, pogled hipotetičnega uporabnika pa je usmerjen proti vzhodni steni. Pozicija omenjenega hipotetičnega uporabnika je bila predvidena v točki, odmaknjeni 1450 mm (v pomanjšanem modelu 290 mm) ter 1500 mm (v pomanjšanem modelu 300 mm) od zahodne stene prostora. Predvideno je bilo, da uporabnik sedi za pisalno mizo, zato je bila za njegovo zenično višino privzeta vrednost 1200 mm (v pomanjšanem modelu 240 mm), kar je tipična višina očesa sedečega opazovalca. Vse lastnosti referenčnega prostora z označenimi realnimi dimenzijami kot tudi dimenzijami pomanjšanega modela so predstavljene na sliki 1, eksperimentalni model pa je prikazan tudi na sliki 3.



Slika 1. Zasnova referenčnega prostora celične pisarne z označenimi merilnimi mesti. Dimenzije, navedene v oklepajih, predstavljajo dejanske dimenzije prostora, dimenzije izven oklepajev pa dimenzije eksperimentalnega modela v merilu 1 : 5.

2.1.1 Optične lastnosti materialov referenčnega prostora

Ujemanje eksperimentalnih meritev in simulacijskih izračunov smo preverjali pri 9 različnih konfiguracijah optičnih lastnosti elementov (površin) notranjega okolja. V osnovi je bil eksperimentalni model pisarne izdelan iz brezovih vezanih plošč, ki so na notranji strani pobarvane v belo barvo z izmerjeno vidno odsevnostjo $R_v = 0,87$, tla smo pustili neobdelana v brezovem lesu, katerega izmerjena vidna odsevnost je znašala $R_v = 0,61$. Optične lastnosti vzhodne stene (na slikah 1 in 3 rdeče označena površina) so bile spreminjane med oranžno (OS), sivo (SS) in modro (MS) barvo pri primerljivi izmerjeni $R_v \approx 0,55$ (slika 2). Barva vzhodne stene je bila v eksperimentalnem modelu reproducirana s pomočjo visokozmogljivega tiskalnika na mat fotopapirju, kar je omogočalo hitro zamenjavo optičnih lastnosti vzhodne stene v sklopu eksperimentalnega dela raziskave. Barve vzhodne stene pisarniškega okolja so bile izbrane z namenom, da omogočijo preveritev točnosti analiziranih orodij Lark in ALFA pri nenevtralnih lastnostih notranjih površin, in sicer v toplem (OS – oranžna barva), nevtralnem (SS – siva barva) ali hladnem (MS – modra barva) odsevnem okolju. Odsevnosti vseh uporabljenih materialov v odvisnosti od valovne dolžine, ki so natančneje prikazane na sliki 2, so bile izmerjene s pomočjo spektrofotometra Perkin Elmer Lambda 950 UV-Vis_NIR v območju vidne svetlobe (380–780 nm) in resoluciji 1 nm v laboratoriju Oddelka za arhitekturo, grajeno okolje in konstrukcijsko inženirstvo na Politehniki v Milanu. Izmerjene vrednosti odsevnosti R_v kot tudi odsevnost v odvisnosti od valovne dolžine so bile uporabljene za poustvaritev optičnih lastnosti v simulacijskih programih Lark in ALFA.

Podobno kot pri odsevnih materialih smo tudi pri presevnih materialih (tj. zasteklitvah) točnost simulacij vrednotili pri toplih (DZ_br – dvoslojna bronasta zasteklitve z nizkoemisijemskim premazom), hladnih (DZ_m – dvoslojna modra zasteklitve z nizkoemisijemskim premazom) in nevtralnih ma-

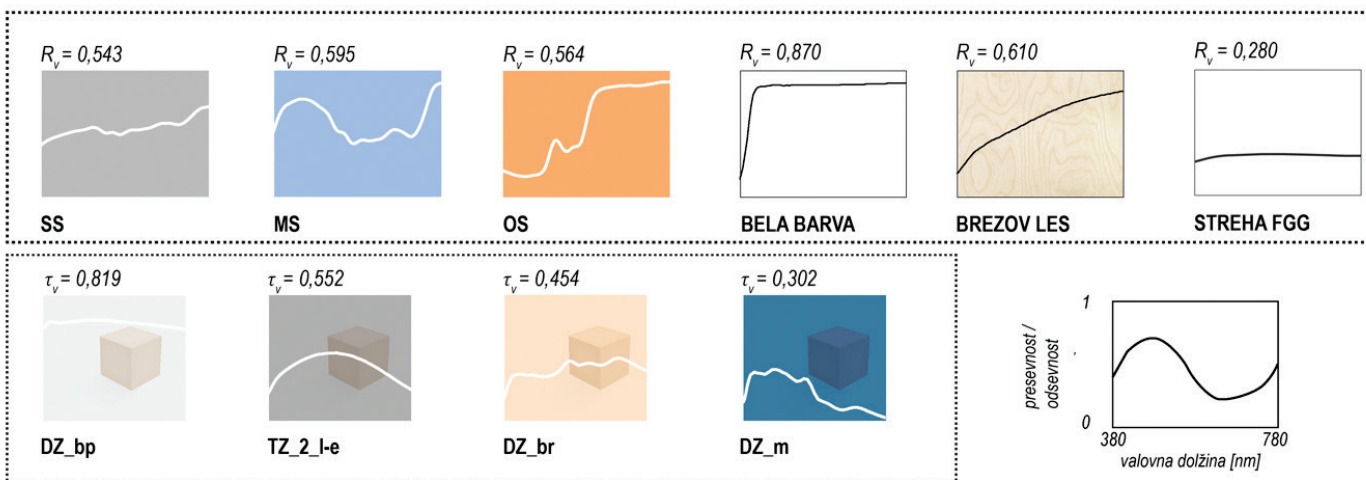
terialih (DZ_bp – dvoslojno steklo brez premazov in TZ_2_l-e – troslojno steklo z nizkoemisijemskim premazom). Ker so omenjene zasteklitve komercialni tipi zasteklitev, ki jih proizvaja podjetje Reflex, d. o. o. [REFLEX, 2022], smo njihovo presevnost (τ_v) določili s pomočjo podatkov proizvajalcev stekel in s programskim orodjem Optics [LBL, 2021]. Izračuni presevnosti zasteklitev so bili izvedeni na podlagi standarda [SIST, 2011]. Vrednosti tako pridobljene presevnosti τ_v kot tudi presevnosti v odvisnosti od valovne dolžine so predstavljene na sliki 2.

2.1.2 Analizirane konfiguracije referenčnega prostora

Kakor smo že omenili, smo materiale izbirali tako, da smo lahko preverili, ali preverjani programski orodji točno računata z materiali različnih poudarjenih valovnih dolžin, torej s spektralno nenevtralnimi materiali. Na podlagi klasifikacije uporabljenih materialov v toplo, hladno in nevtralnno okolje zasnujemo 9 različnih konfiguracij notranjega okolja (preglednica 2), ki bodo eksperimentalno izmerjene in simulacijsko analizirane z ALFO in Larkom.

S konfiguracijami notranjega okolja K1 do K3 smo preverjali zanesljivost simulacij pri hladnih (MS – modra barva), nevtralnih (SS – siva barva) ali toplih odsevnih lastnosti (OS – oranžna barva) vzhodnega zidu, pri čemer v okensko odprtino ni bila vstavljena zasteklitve (preglednica 2). Nadalje s konfiguracijami K4 do K6 preverimo zanesljivost istih odsevnih materialov, vendar z dvoslojno zasteklitvijo (DZ_bp) v okenski odprtini (preglednica 2). Na koncu pa s konfiguracijami K7 do K9 preverjamo, kako točni sta programski orodji pri simuliranju različnih presevnih materialov ob upoštevanju nevtralnih odsevnih lastnosti vzhodne stene (SS – siva barva). Poimenovanja analiziranih konfiguracij z odgovarjajočimi uporabljenimi materiali vzhodnega zidu in zasteklitve so prikazana v preglednici 2.

ODSEVNI MATERIALI



PRESEVNI MATERIALI

Slika 2. Materiali, uporabljeni v eksperimentu in simulacijah s predstavljenimi vrednostmi τ_v in R_v kot tudi presevnostjo oz. odsevnostjo v odvisnosti od valovne dolžine svetlobe.

Konfiguracija	Materialnost vzhodnega zidu	Tip zasteklitve
K1	OS	brez zasteklitve
K2	SS	brez zasteklitve
K3	MS	brez zasteklitve
K4	OS	DZ_bp
K5	SS	DZ_bp
K6	MS	DZ_bp
K7	SS	DZ_br
K8	SS	TZ_2_l-e
K9	SS	DZ_m

Preglednica 2. Različice uporabljenih konfiguracij materialov v eksperimentalnem in simulacijskih modelih. Pri vseh konfiguracijah so notranje stene in strop, razen vzhodne stene, belo obarvani, tla pa v neobdelanem brezovem lesu (glej sliko 2).

2.2 Zasnova eksperimentalnih meritev

Model referenčnega prostora celične pisarne je bil nameščen na strehi Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (UL FGG). Eksperimentalne meritve, uporabljene v pričujoči študiji, so bile izvedene 28. 2. 2019. V merilnem mestu M1, prikazanem na sliki 1, smo na horizontalni ravnini merili stanje zunanjega svetlobnega okolja. V točki M2 smo merili stanje notranjega svetlobnega okolja v vertikalni ravnini z gledišča zaznavanja hipotetičnega sedečega uporabnika pisarne. V merilnem mestu M1 merimo spektralno distribucijo sevanja dnevne svetlobe (SPD) in zunanjo globalno horizontalno osvetljenost ($E_{e,h}$). V merilnem mestu M2 sočasno merimo osvetljenost na vertikalni ravnini – E_v in SPD na vertikalni ravnini z vidika uporabnika pisarniškega prostora. Meritve SPD, $E_{e,h}$ in E_v so bile izvedene v 30-sekundnih intervalih neprekinjenega merjenja – za vsako iteracijo eksperimenta je bilo opravljenih 30 meritev. V namen zmanjšanja vpliva spremenljivosti zunanjih pogojev dnevne svetlobe na podlagi izmerjenih podatkov izvednimo povprečno vrednost vsakega izmed 30-sekundnih intervalov merjenja.

Za meritve SPD prejete dnevne svetlobe na horizontalni ravnini zunaj (merilno mesto M1) in SPD v vertikalni ravnini uporabnika (merilno mesto M2) smo uporabili dva enaka kalibrirana spektrometra StellarNet Black Comet CLK-CXR [BLACK-Comet, 2020] s konkavnim optičnim rešetom s sposobnostjo merjenja spektra v obsegu od 280 do 900 nm pri 1-nm resoluciji [BLACK-Comet, 2020]. SPD zunanjih in notranjih svetlobnih pogojev so merjeni za vidni del sevanja, torej med 380 in 780 nm v 1-nm resoluciji. Spektrometra svetlobo zajemata z nameščenim kosinusnim receptorjem, ki omogoča 180° kot merjenja svetlobe. Receptor spektrometra je bil skupaj z merilcem osvetljenosti nameščen na trinožnem stojalu v notranjosti modela pisarne v merilnem mestu M2 (slika 3), podobno sta bila nameščena tudi receptor spektrometra in merilec osvetljenosti v merilnem mestu M1, pri čemer je tri-

nožno stajalo postavljeno tako, da so okoliške ovire čim manj vplivale na meritve.

Zunanjo osvetljenost na horizontalni ravnini – $E_{e,h}$ (merilno mesto M1) in osvetljenost na vertikalni ravnini v notranjosti modela – E_v (merilno mesto M2) hipotetičnega uporabnika smo merili z merilcema osvetljenosti Almemo FLA 603 [Almemo, 2020], kalibriranima po standardu DIN 5032 z napako ± 1 lx. Senzorja sta bila preko dataloggerja Almemo 5950-2 2M povezana na prenosni računalnik, kjer so se zapisovali podatki.

2.3 Zasnova simulacijskih modelov

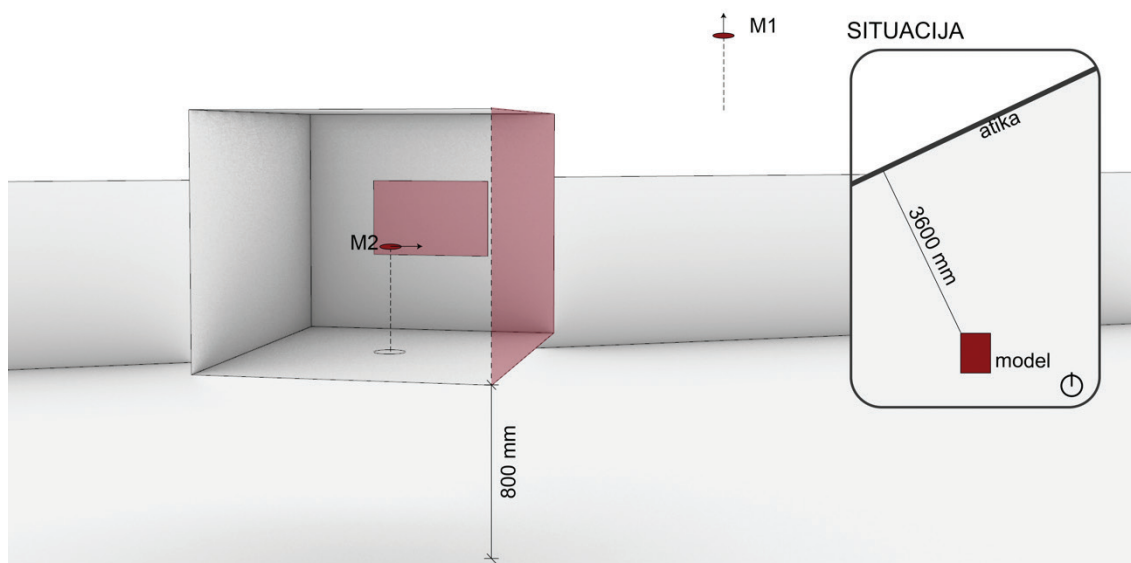
Obe obravnavani orodji, torej Lark in ALFA, sta vtičnika geometrijskega modelirnika Rhinoceros 6 [Rhino 6, 2020], kjer je bila izdelana digitalna replika geometrije referenčnega prostora, opisanega v poglavju 2.1. Z digitalnim modelom smo pustvarili geometrijo izvirnega eksperimentalnega modela v realnih dimenzijah, dodatno smo pri tem upoštevali tudi postavitev eksperimentalnega modela na strehi UL FGG. Model je bil s stranico z okensko odprtino 3600 mm oddaljen od strešnega nadzidka – atike (slika 3). Enako kot v eksperimentalnem modelu sta tudi v digitalnem modelu v merilnem mestu M1 simulirani SPD in globalna osvetljenost z dnevno svetlobo na horizontalni ravnini, v merilnem mestu M2 pa v vertikalni ravnini simuliramo osvetljenost in SPD na zenični višini uporabnika (1200 mm nad tlemi).

Simulacije vtičnika Lark smo izvajali po 9-kanalni metodi orodja, torej smo vzporedno izvajali 9 iteracij Radiance izračunov pri visokih nastavitvah kakovosti: -ab 8 (ambientalni odboji), -ds 0,25 (količnik direktnega vzorčenja), -dp 256 (gostota sekundarnega vzorčenja svetlobnega izvora), -ad 2048 (število ambientalnih delitev), -dt 0,25 (prag direktnega vzorčenja), -as 2048 (število ambientalnih super vzorcev), -aa 0,1 (ambientalna natančnost) in -ar 300 (ambientalna ločljivost). Za vhodni podatek o zunanjih svetlobnih pogojih dnevne svetlobe smo uporabili povprečno eksperimentalno izmerjeno SPD dnevne svetlobe v času izvajanja meritev 28. 2. ob 12.00 pri predpostavljenem enakomernem albedu okolice 0,20.

Simulacije v programu ALFA prav tako izvedemo v visoki kakovosti Radiance simulacij pri -ab 8 in -lw (limita uteži) 0,001 pri 180 prehodih izračuna. Kot vhodni podatek zunanjih svetlobnih pogojev ALFA samodejno izvedniti zunanje pogoje na podlagi algoritma libRadTran za 28. 2. ob 12.00 pri predpostavljenem enakomernem albedu okolice 0,20.

2.4 Ovrednotenje simulacijskih orodij

Rezultate simulacijskih orodij smo ovrednotili na podlagi zmožnosti točnega pustvarjanja zunanjih svetlobnih pogojev ter zmožnosti vestne reprodukcije notranjih svetlobnih pogojev. Orodji ovrednotimo s treh vidikov, predstavljenih v naslednjih podpoglavjih, ki ocenjujejo reprodukcijo spektra prejete svetlobe v analizirani točki, napako v izračunu melanopsko uteženih količin in časovno učinkovitost simulacij, torej hitrost izračuna.



Slika 3. Postavitev eksperimentalnega modela na strehi (levo zgoraj). Trinožno stojalo z merilcem osvetljenosti in receptorjem spektrometra (desno zgoraj). Digitalna reprezentacija fizičnega modela (spodaj).

2.4.1 Točnost reprodukcije spektra svetlobe

Sprva točnost simulacij ovrednotimo z metodo povprečnega korena kvadratne napake – *RMSE* (angl. *relative mean square error*) za spekter med 380 in 730 nm. Napaka *RMSE* je bila izračunana za SPD-je, normalizirane na 555 nm, po naslednji enačbi:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_{sim,i} - E_{exp,i})^2}, \quad (1)$$

pri čemer je:

RMSE – koren povprečnega kvadrata napake [-],

$E_{sim,i}$ – normalizirani SPD simulacije *i*-te valovne dolžine v intervalu od 380 do 730 nm,

$E_{exp,i}$ – izmerjeni normalizirani SPD *i*-te valovne dolžine v intervalu od 380 do 730 nm.

Izpostaviti je treba, da so resolucije spektrov eksperimenta in izračunanih podatkov programov ALFA in Lark različne. Eksperimentalne meritve so zaradi natančnosti uporabljenih spektrometrov v resoluciji 1 nm med 380 in 780 nm. ALFA lahko izračuna sevalne spektre v 5-nm resoluciji med 380 in 730 nm. Kakor je prikazano v preglednici 1, lahko Lark simulira spektralne vrednosti v le devetih diskretnih intervalih med 380 in 780 nm. Ker smo želeli primerjati simulirane spektre

obeh programskih orodij z eksperimentalnimi meritvami, smo spektralne rezultate, pridobljene z orodjem ALFA, in meritve eksperimenta interpolirali na vrednosti 9 kanalov orodja Lark. Vsi spektri so bili nato normalizirani na vrednost sevanja pri 555 nm.

2.4.2 Napaka pri izračunu melanopsko uteženih količin

Točnost simulacij ovrednotimo za metriko relativne melanopske učinkovitosti – RMU (angl. Relative Melanopic Efficiency – RME), ki je definirana kot količnik med ekvivalentno melanopsko osvetljenostjo (enačba 2), določeno po metodi ekvivalentnega α -opskega luxa, in osvetljenostjo [Potočnik, 2020a]. $E_{e,\lambda}(\lambda)$ predstavlja sevanje v odvisnosti od valovne dolžine, $N_m(\lambda)$ relativno spektralno občutljivost melanopsina in $V(\lambda)$ relativno spektralno svetlobno učinkovitost pri fotopskem videnju. RMU orodja ALFA je bil izračunan na podlagi 5-nm podatkov, RMU Larka pa po krivuljah in diskretnih intervalih v preglednici 1.

$$RMU = \frac{\int E_{e,\lambda}(\lambda) N_m(\lambda) d\lambda}{\int E_{e,\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}, \quad (2)$$

Napako v RMU izrazimo s pomočjo relativne napake (Err_{RMU}), kot je prikazano v enačbi 3, kjer je RMU_{eks} relativna učinkovitost, določena na podlagi eksperimentalnih meritev, in RMU_{sim} relativna učinkovitost, določena na podlagi simulacijskih rezultatov.

$$Err_{RMU} = \left| \frac{RMU_{eks} - RMU_{sim}}{RMU_{eks}} * 100 \right|, \quad (3)$$

2.4.3 Časovna učinkovitost simulacij

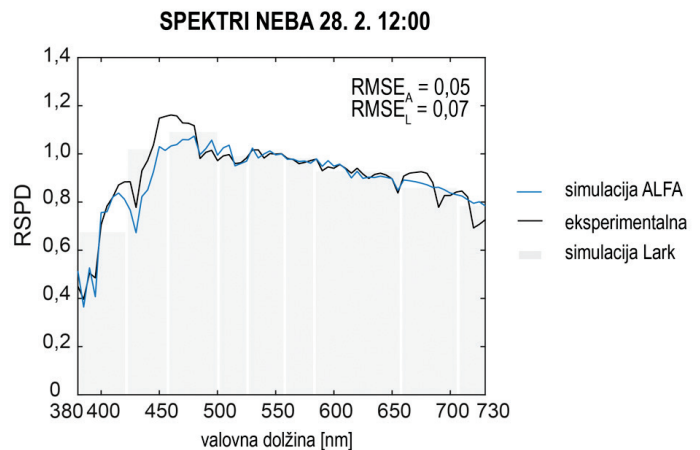
Časovno učinkovitost simulacij ovrednotimo na podlagi samodejno izvedenih podatkov o trajanju izračuna v vsakem od analiziranih orodij. Čas izvajanja simulacij je merjen v sekundah. Količina časa, potrebnega za simulacije, označimo s t_L (simulacijski čas Lark) in t_A (simulacijski čas ALFA).

3 REZULTATI

Zanesljivost simulacij bo predstavljena v treh ločenih sklopih. V prvem ovrednotimo izračunano globalno sončno sevanje na horizontalni ravnini. V drugem delu z vidika hipotetičnega uporabnika pisarniškega prostora ovrednotimo prejeteto sevanje na vertikalni ravnini. V tretjem sklopu podatke prejetega sevanja ovrednotimo v kontekstu vrednotenja notranjega okolja z vidika melanopsko utežene osvetljenosti in časovne učinkovitosti simulacij.

3.1 Točnost reprodukcije spektrov pri simulaciji zunanjih svetlobnih razmer

Eksperimentalno izmerjeno stanje zunanjih svetlobnih razmer v obliki relativnih SPD ($RSPD$) je skupaj s simulacijskimi rezultati obeh programskih orodij prikazano na sliki 4. Že iz vizualne primerjave spektrov na grafikonu slike 4 je očitno, da so razlike med izmerjenimi in simuliranimi spektri majhne, simulirani podatki torej dobro sledijo merjenim pogojem. Posledično se

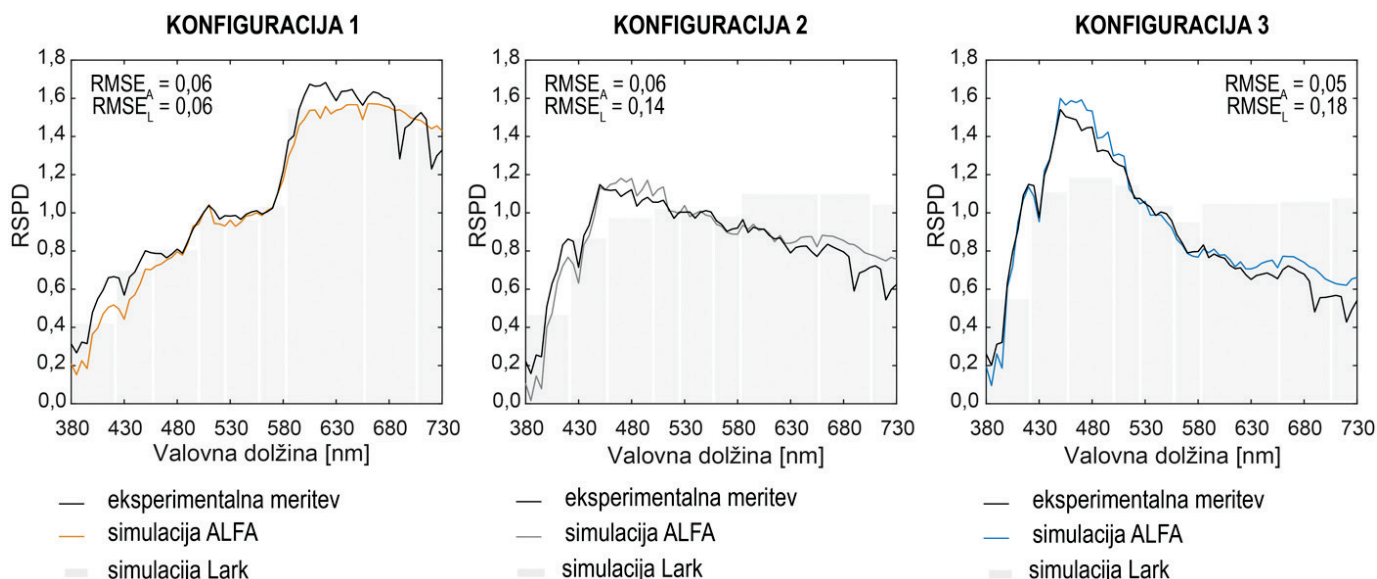


Slika 4. Primerjava $RSPD$ simuliranih spektrov ALFE in Larka z meritvami.

to odraža tudi v $RMSE$, ki je za simulacije Lark $RMSE_L = 0,07$. Še nekoliko manjšo napako (28,5 % manjšo) pa zabeležimo za simulirani spekter programskega orodja ALFA z $RMSE_A = 0,05$. Najmanjšo točnost simulacijskih spektrov je mogoče opaziti v modrem delu spektra, in sicer v intervalu med 450 in 480 nm, kjer obravnavani orodji podcenjujeta količino prejetega sevanja.

3.2 Točnost reprodukcije spektrov simulacij ob spreminjanju odsevnih in presevnih lastnosti materialov notranjega okolja

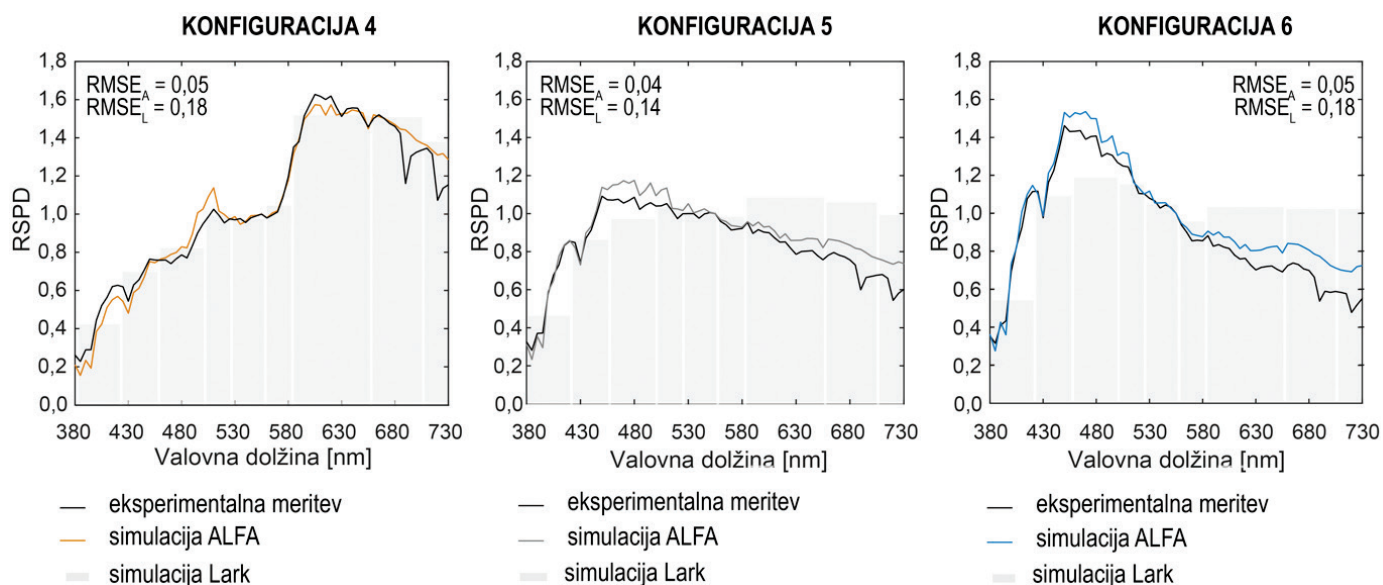
Na sliki 5 so prikazani eksperimentalno izmerjeni in simulirani spektri konfiguracij K1 do K3 (preglednica 2) materialnosti vzorčnega prostora. Pri navedenih konfiguracijah je bila varirana materialnost vzhodne stene, v okenski odprtini pa ni bilo nameščene zasteklitve. V primeru konfiguracije prostora K1 (OS barva vzhodnega zidu), s programskima orodjema dosežemo enakovredno napako pri reprodukciji spektrov, in sicer $RMSE_L = RMSE_A = 0,06$. Na podlagi vizualne primerjave spektrov na sliki 5 ter dosežene vrednosti $RMSE$ lahko zaključimo, da Lark in ALFA razmeroma dobro sledita eksperimentalno izmerjenemu spektru. Enakovredno odstopanje $RMSE_A = 0,06$ in vestno sledenje obliki spektra eksperimentalne meritve zaznamo tudi v primeru simulirane konfiguracij K2 (SS barva vzhodnega zidu), v primeru K3 pa $= 0,05$ (MS barva vzhodnega zidu) pri orodju ALFA. Nasprotno pa je v primeru spektrov, pridobljenih s programskim orodjem Lark, v primeru spektralno nevtralnega okolja (konfiguracija K2) in hladnega okolja (konfiguracija K3) možno zaznati bistveno odstopanje v primerjavi z eksperimentalno izmerjenimi spektri. V Larku simulirani konfiguraciji K2 in K3 sta evidentno podcenjeni v modrem delu vidnega spektra s sočasno preveč izraženimi valovnimi dolžinami v toplem delu spektra (slika 5). Posledično se opisano dejstvo odraža tudi v napaki $RMSE_L$, ki je v primeru konfiguracije K2 2,3-krat ($RMSE_L = 0,14$), v primeru konfiguracije K3 pa kar 3-krat ($RMSE_L = 0,18$) večja kot v primeru konfiguracije K1.



Slika 5. Primerjava RSPD-meritev in simulacij ALFE in Larka pri menjanju odsevnih materialov brez nameščene zasteklitve – konfiguracije K1, K2 in K3.

Tudi pri konfiguracijah prostora K4 (OS barva vzhodnega zidu), K5 (SS barva vzhodnega zidu) in K6 (MS barva vzhodnega zidu), ko je bila v okensko odprtino nameščena zasteklitvev DZ_bp (dvoslojna zasteklitvev brez nizkoemisijjskih premazov), so dosežene $RMSE$ -napake primerljive s tistimi v primeru konfiguracij K1 do K3. Torej v situaciji, ko v okenski odprtini ni nameščene zasteklitve. V primeru simulacijskih rezultatov z oranžno obarvano steno (konfiguracija K4, slika 6) ponovno opazimo dobro ujemanje obeh simuliranih spektrov z eksperimentalno izmerjenim. Napaka ALFE $RMSE_A = 0,07$ je 15 % manjša od napake v primeru $RMSE_L = 0,07$. Manjšo napako programskega orodja ALFA izračunamo tudi v primeru, kadar

je zid pobarvan sivo – konfiguracija K5, in modro – konfiguracija K6. V primeru simulacij s programskim orodjem ALFA vsi simulacijski spektri konfiguracija K4 do K6 vestno sledijo eksperimentalno izmerjenim spektrom (slika 6), kar se odraža tudi v vrednostih $RMSE_A = 0,05$ (konfiguraciji K4 in K6) in $RMSE_A = 0,04$ (konfiguracija K5). Podobno pa ni mogoče trditi za simulacijske rezultate orodja Lark, saj kot v primeru konfiguracij K2 in K3 tudi pri konfiguracijah K5 in K6 zasledimo podcenjevanje modrega dela spektra ter precenjevanje toplega dela. To se odraža v 3,5-krat višji napaki $RMSE_L = 0,14$ pri konfiguraciji K5 in 3,6-krat višji napaki konfiguracije K6 ($RMSE_L = 0,18$) kot pri rezultatih ALFE.



Slika 6. Primerjava RSPD-meritev in simulacij programov ALFA in Lark pri menjanju odsevnih materialov z nameščeno zasteklitvijo DZ_bp – konfiguracije K4, K5 in K6.

3.3 Točnost reprodukcije spektrov simulacij pri spreminjanju presevnosti zasteklitve ob spektralno nevtralnih notranjih površinah

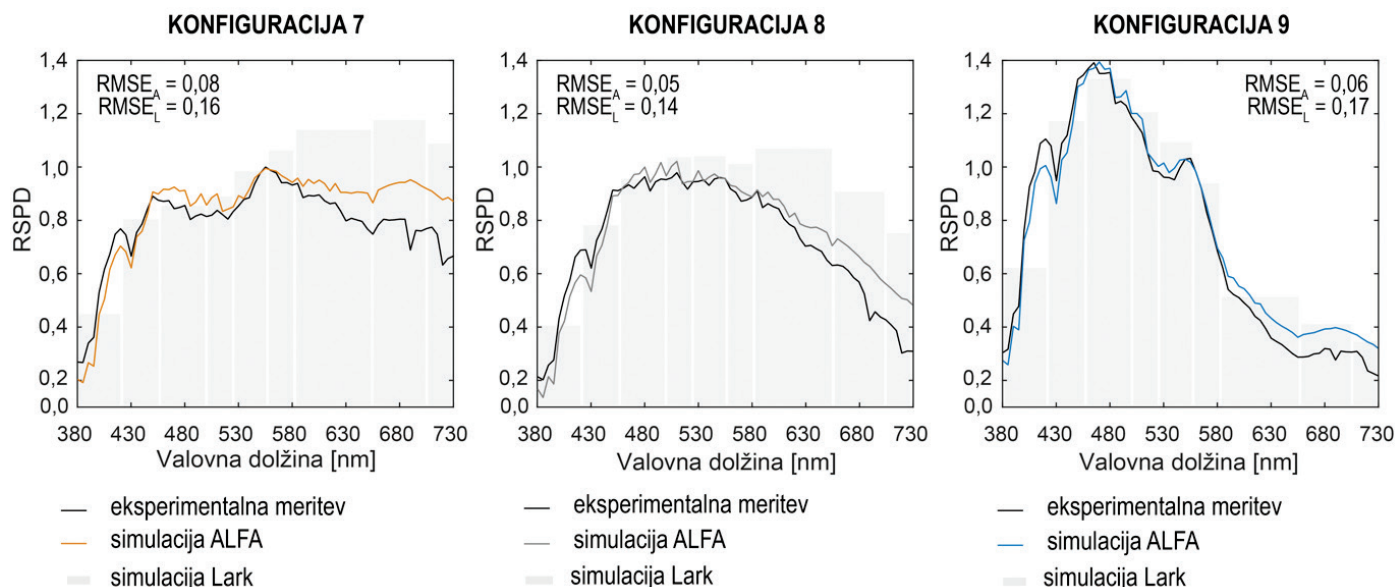
Rezultati simulacij in meritev konfiguracij notranjega svetlobnega okolja K7, K8 in K9 so predstavljeni na sliki 7 in prikazujejo napako spektrov, ko v okensko odprtino namestimo toplo obarvano zasteklitev (DZ_br), trislojno zasteklitev nevtralne barve (TZ_2_l-e) in zasteklitve hladne barve (DZ_m), pri sivo obarvanem vzhodnem zidu (SS). Podobno kot že pri ostalih konfiguracijah (K1 do K6) se programsko orodje ALFA izkaže za natančnejše tudi, ko spreminjamo presevnost oziroma lastnosti zasteklitve. Največjo napako $RMSE_{ALFE}$ izračunamo pri konfiguraciji K7 (zasteklitev DZ_br), ko je $RMSE_A = 0,08$, najmanjšo pa pri konfiguraciji K9 (zasteklitev DZ_m) z napako $RMSE_A = 0,06$. Spektri, pridobljeni z orodjem Lark, so v primeru konfiguracij K1 in K4, kadar smo uporabljali tople odsevni material, izkazovali enakovredne napake tistim, pridobljenimi z ALFO, kar pa ne velja, kadar simuliramo toplo obarvano zasteklitev (konfiguracija K7, zasteklitev DZ_br, glej sliko 7). Izračunana napaka $RMSE_L = 0,16$ je 3-krat višja od tiste, izračunane s simulacijskim orodjem ALFA, saj Lark precenjuje količino sevanja v toplem delu spektra (550 do 730 nm). Podobno kakor v primeru konfiguracije K7 Lark precenjuje količino sevanja v toplem delu spektra tudi v primeru uporabe zasteklitve TZ_2_l-e (konfiguracija K8), kar se izraža v višji napaki $RMSE_L = 0,14$ kot v primeru simulacij z ALFO ($RMSE_A = 0,05$). Simulirani spektri Larka, kadar je nameščeno modro tonirano steklo (DZ_m, konfiguracija K9), pa v nasprotju s primeri, kadar smo stene obarvali modro (konfiguraciji K3 in K6), bolje sledijo poteku eksperimentalno izmerjenega spektra (razmerje med hladnim in toplim delom spektra je podobno tistemu iz eksperimenta). Napaka $RMSE_L (0,17)$ je tako v primeru konfiguracije

K9 2,8-krat višja kot $RMSE_{ALFE}$ (0,06), medtem ko je bila v primerih konfiguracija K3, in K6 več kot 3-krat višja kot $RMSE_A$ omenjenih kombinacij.

3.4 Napaka pri izračunu nevizualnih količin

Rezultati $RMSE$ napake spektrov so ovrednotili, kako dobro sta programski orodji sposobni simulirati spekter prejetega sončnega sevanja v primerjavi z eksperimentalno izmerjenim spektrom. Vendar vidni in cirkadiani sistem nista enakovredno občutljiva za celoten vidni spekter, zato spektre iz prejšnjih poglavij preračunamo s pomočjo $N_m(\lambda)$ (spektralna svetlobna učinkovitost melanopsina) v RMU – relativno melanopsko učinkovitost, izmerjene in simulirane prejete svetlobe ter vrednotimo relativno napako (Err_{RMUL} ali Err_{RMUA}), ki je posledica sposobnosti izvedenja spektrov z orodji ALFA ali Lark. Izračunane napake Err_{RMUL} in Err_{RMUA} so skupaj z RMU simulacij in eksperimenta (RMU_E) predstavljene v preglednici 3. Kot pričakovano, se uporabljeni nevtralni odsevni in/ali presevni materiali (konfiguracije K2, K4 in K6) izražajo v $RMU_E \approx 1,00$ (preglednica 3). Relativne melanopske učinkovitosti konfiguracij K1, K3 in K5, torej kadar so uporabljeni topli odsevni/presevni materiali so $RMU_E \leq 0,93$. Drugače povedano, uporaba toplih odsevnih/presevnih materialov v primerjavi z nevtralnimi barvami slabša relativno melanopsko učinkovitost. V primeru konfiguracij, kjer so uporabljeni modri materiali (konfiguracije K3, K6 in K9), pa lahko opazimo višjo relativno melanopsko učinkovitost z $RMU_E \geq 1,3$.

Pri analizi izračunanih relativnih napak, predstavljenih v preglednici 3, opazimo, da se ALFA, tudi kadar spektre preračunamo v RMU , izkaže za natančnejše programsko orodje. Povprečna relativna napaka Err_{RMUA} znaša 1,33 %, pri čemer je povprečna napaka Err_{RMUL} več kot 6-krat višja in znaša 8,23 %. Izračunane napake ALFE se gibljejo v razponu od 0,00 % do 2,80 %, kjer so najnižje Err_{RMUA} izračunane v primeru konfiguracije



Slika 7. Primerjava RSPD meritev in simulacij programov ALFA in Lark pri nevtralnih odsevnih materialih (SS barva vzhodnega zidu) in menjanju zasteklitve – konfiguracije K7, K8 in K9.

cij K1 (OS barva vzhodne stene, brez zasteklitve), K3 (MS barva vzhodne stene, brez zasteklitve) in K7 (SS barva vzhodne stene, DZ_br zasteklitev), najvišja $Err_{RMU,A}$ pa v primeru konfiguracije K5 (SS barva vzhodne stene, DZ_bp zasteklitev).

Podcenjevanje modrega dela sončnega spektra pri simulacijah Larka se izraža tudi v nižjih vrednostih RMU_L . Do podcenjevanja pride, ko so v notranjem okolju uporabljeni spektralno nevtralni materiali (konfiguraciji K2 in K4) ali modri materiali (konfiguraciji K3 in K6). Posledično najvišjo $Err_{RMU,L}$ izračunamo za konfiguracijo K6 (MS barva vzhodne stene, DZ_bp zasteklitev), in sicer 16,15 %. Najnižja izračunana $Err_{RMU,L} = 1,33$ % se pojavi v primeru konfiguracije K1 (OS barva vzhodne stene, brez zasteklitve). Kadar primerjamo napake Larka in ALFE v odvisnosti od lastnosti posameznih analiziranih konfiguracij, ugotovimo, da je orodje ALFA konsistentno natančnejše pri vseh kombinacijah, razen v primeru konfiguracije K4 (OS barva vzhodne stene, DZ_bp zasteklitev), ko sta $Err_{RMU,L}$ in $Err_{RMU,L}$ enakovredna (2,70 %).

Analiza časovne učinkovitosti, prikazana v preglednici 3, kaže na bistveno krajše simulacijske čase pri orodju ALFA. Ta v povprečju ($t_{povA} = 18,6$ s) več kot 22-krat hitreje izračuna specifično simulacijo kot programsko orodje Lark ($t_{povL} = 418,2$ s).

okolja. Z orodjem Lark lahko sevalno oz. svetlobno vsebino računamo za 9 specifično definiranih intervalov (kanalov) spektra med 380 in 780 nm. Z ALFO je mogoča reprezentacija spektra z 5-nm resolucijo med 380 in 730 nm, kar sicer ne zajame popolnoma celega vidnega spektra, vendar je doprinos sevanja med 730 in 780 nm pri upoštevanju relativni spektralni svetlobni učinkovitosti pri dnevnem videnju $V(\lambda)$ in relativni spektralni svetlobni učinkovitosti melanopsina $N_m(\lambda)$ zanemarljiv. Zaradi te omejitve programskega orodja ALFA je bil pri vrednotenju rezultatov zanemarljiv interval med 730 in 780 nm. Spektri simulacij obeh programskih orodij so se izkazali za primerljivo natančne, kadar je bila v prostoru uporabljena oranžna barva stene. Pri vseh ostalih primerih analiziranih konfiguracijah notranjega okolja se pri orodju Lark pojavljajo mnogo večje napake pri izračunu spektralnih podatkov v poziciji sedečega hipotetičnega uporabnika, s pogledom, obrnjenim v vzhodno (obarvano) steno. Rezultati analize so pokazali, da so spektri, izračunani z orodjem Lark, preveč izraženi v toplem delu spektra (550 do 730 nm) in preveč siromašni v modrem delu spektra (422 do 524 nm). Identificirano sistematično podcenjevanje modrega spektra v primeru orodja Lark je mogoče pripisati uporabljenemu algoritmu izvrednotenja spektralnega neba. Algoritem za ustvarjanje neba -gensky [Daysim, 2019], ki ga uporablja Lark,

konfiguracije	RMU_E [-]	RMU_A [-]	RMU_L [-]	$Err_{RMU,L}$ [%]	$Err_{RMU,A}$ [%]	t_L [s]	t_A [s]
K1	0,75	0,75	0,76	1,33	<u>0,00</u>	410,0	<u>19,0</u>
K2	1,07	1,09	0,95	8,92	<u>1,86</u>	447,0	<u>18,0</u>
K3	1,30	1,30	1,09	6,19	<u>0,00</u>	430,0	<u>18,0</u>
K4	0,74	0,76	0,76	<u>2,70</u>	<u>2,70</u>	404,0	<u>19,0</u>
K5	1,07	1,10	0,94	8,23	<u>2,80</u>	420,0	<u>19,0</u>
K6	1,30	1,29	1,09	16,15	<u>0,97</u>	430,0	<u>18,0</u>
K7	0,93	0,93	0,83	10,75	<u>0,00</u>	400,0	<u>19,0</u>
K8	1,03	1,04	0,91	11,60	<u>0,77</u>	405,0	<u>19,0</u>
K9	1,48	1,44	1,36	8,24	<u>2,70</u>	418,0	<u>18,0</u>
POVPR.				8,23	<u>1,33</u>	<u>418,2</u>	<u>18,6</u>

Preglednica 3. Napaka v RMU med eksperimentom in simulacijskima orodjema za analizirane konfiguracije prostorov. Podčrtani so relativne napake simulacije z manjšo ali enakovredno napako ter krajši izmed časov simuliranja.

4 DISKUSIJA IN SKLEP

S predstavljenimi eksperimenti in spektralnimi simulacijami sevalnega okolja celične pisarne smo preiskovali zanesljivost simulacijskih orodij ALFE in Larka pri 9 različnih konfiguracijah spektralnega okolja v razmerah jasnega neba in severni orientaciji zasteklitve. Interpretacija rezultatov, pridobljenih s to študijo, je ovrednotila točnost in uporabnost preiskovanih orodij v namene vrednotenja nevizualnih vidikov vpliva dnevne svetlobe pri spreminjanju lastnosti (obarvanosti zidu in presevnosti zasteklitve) notranjega grajenega okolja.

Rezultati opravljene študije so pokazali, da lahko s pomočjo obeh orodij vrednotimo sevalno okolje notranjega grajenega

ustvarja hemisfersko uniformno nebo, torej ne razlikuje med sevanjem direktne in difuzne komponente dnevne svetlobe, in za kreiranje neba uporabi povprečen spekter celega neba, ki ga določimo za vhodni podatek simulacije. Ker je bil v primeru izvedene analize uporabljen izmerjeni SPD neba pri jasnih hemisferskih pogojih, je posledično prihajalo do ujemanja rezultatov simulacij Larka z meritvami v primeru oranžne barve na vzhodni steni, saj ta predvsem odseva tople del spektra. Obratno se je pokazalo pri nevtralnemu sivi in modri barvi stene, v primeru katere je zaradi posploševanja hemisferskih pogojev prišlo do podcenjevanja vpliva severnega dela neba, proti kateremu je bila orientirana odprtina simuliranega pisarniškega prostora. Opisano odstopanje rezultatov simulacij s programskim orodjem Lark v primerjavi

z eksperimentom (in tudi rezultatov orodja ALFA) je do določene mere pričakovano in v skladu z opažanji [Balakrishnan, 2019]. Odstopanje oziroma napako orodja Lark je tako mogoče neposredno povezati z uporabljenim algoritmom za ustvarjanje neba (-gensky) ter zunanjimi pogoji, pri katerih je bil izmerjen uporabljeni SPD neba (jasno nebo). Izmed analiziranih konfiguracij pa izstopa konfiguracija K9 (SS barva vzhodne stene, DZ_m zasteklitev), kjer je z Larkom simuliran spekter skladen z eksperimentalno meritvijo ($RMSE_L = 0,18$, glej sliko 7). Ta rezultat je možno pripisati lastnostim zasteklitve, ki ima skoraj nično presevnost v toplem delu spektra (slika 2), s čimer zmanjša oziroma izniči predhodno opisano odstopanje programskega orodja Lark v delu spektra med 550 in 730 nm.

Presenetljivo, čeprav se pri simulacijah v ALFI primarno zanašamo na algoritem, ki računsko izvednoti hipotetično stanje neba za izbrani trenutek v letu na podlagi generičnega atmosferskega profila srednjih geografskih širin, smo pri uporabi ALFE izračunali dobro ujemanje med izmerjenim in simuliranim zunanjim spektrom. Še boljše ujemanje pa smo izračunali pri simulacijah sevanja v notranjem okolju, ki izkaže vestno upodabljanje spektra vseh analiziranih materialnih kombinacij ($RMSE_A$ med 0,05 in 0,08). V primerjavi z rezultati simulacij, izvedenih z Larkom ($RMSE_L$ med 0,06 in 0,18), simulacije z ALFO konsistentno izražajo večjo točnost v primerjavi z eksperimentalnimi meritvami. To se posledično odraža tudi v majhnih napakah pri vrednotenju nevizualnega vidika dnevne svetlobe (Err_{RMUL}), kjer povprečna relativna napaka znaša komaj 1,33 % z razliko od Larkovih simulacij (Err_{RMUL}), ki v povprečju izrazijo 8,23 % relativno napako v RMU.

Spektralna sestava dnevne svetlobe se nenehno spreminja v odvisnosti od časa v dnevu in letu ter stanja neba. Sočasno na spektralne lastnosti notranjega okolja bistveno vpliva tudi orientacija odprtini, saj je s tem definirano, s katerega dela neba primarno prejemamo dnevno svetlobo v prostor. Zaradi omenjenih lastnosti osvetljevanja z dnevno svetlobo ter poznanih in v uvodu opisanih različnih načinov ustvarjanja hemisferskih pogojev v orodju Lark smo se v predstavljeni študiji omejili na analizo zgolj severno orientiranega pisarniškega prostora. S tem smo omejili vpliv direktne komponente sončnega sevanja pri uporabljenih pogojih jasnega neba, ki bi lahko bistveno vplivala na rezultate simulacij z orodjem Lark. Kljub temu je mogoče večino odstopanj med eksperimentalno izmerjenim in v Larku simuliranimi spektri pripisati ravno načinu ustvarjanja zunanjih hemisferskih pogojev, ki so bili v študiji določeni na podlagi izmerjenega SPD. Ravno zato je uporaba Larka za simuliranje spektralne sestave notranjega okolja bolj delikatna, saj zahteva pri uporabniku veliko več znanja pri nastavitvi simulacij (predvsem določitvi lastnosti neba) ter pazljivost pri interpretaciji rezultatov. Omenjeno višjo kompleksnost pri zasnovi Larkovih simulacij so za omejitve izpostavili tudi [Pierson, 2021a]. Ne glede na rezultate pričujoče študije pa lahko na podlagi ugotovitev naše predhodne študije [Potočnik, 2019] kot tudi študije Pierson in sod. [Pierson, 2021a] zaključimo, da je Lark zanesljiv pri oblačnih razmerah. Glede na rezultate pa lahko predvidevamo, da bi simulacije v orodju Lark v razmerah jasnega neba in pri prostoru z vzhodno, južno ali zahodno orientiranim oknom v času, kadar bi sonce posijalo v prostor, precenjevale količino modre komponente dnevne svetlobe.

Kot glavni zaključek opravljene študije lahko poudarimo, da so rezultati pokazali, da so simulacijsko določeni spektri tako v primeru Larka kot ALFE ob severni orientaciji prostora opoldne natančni. Vendar bi bilo treba vrednotenje točnosti simulacij v ostalih vremenskih pogojih še dodatno raziskati. Če je algoritem ustvarjanja atmosferskih pogojev v ALFI sposoben dobre reprezentacije svetlobnih pogojev v vseh vremenskih razmerah in časovnih trenutkih, bi se lahko tako pridobljeni izračuni uporabili za časovno odvisno, podnebno pogojeno modeliranje nevizualnih vidikov dnevne svetlobe, kar pa pri trenutni zasnovi modeliranja stanja neba v orodju Lark ne moremo trditi. Prehod iz analize nevizualnih vplivov dnevne svetlobe v točki v času (t. i. point-in-time analysis) v časovno in podnebno odvisno analizo pa je ključen naslednji korak na področju ocenjevanja nevizualnih oz. cikadinskih vplivov svetlobe, saj je le tako možno oceniti časovno pogojeno izpostavljenost uporabnikov, ki je v primeru nevizualne zaznave ključna.

5 ZAHVALA

Raziskovalni program št. P2-0158 je sofinancirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna. Avtorja se zahvalujeta Tiziani Poli in Juanu Diegu Blancu Cadeni iz Politehnike v Milanu za pomoč pri določitvi spektralnih odsevnosti materialov ter Rudiju Hajdinjaku iz podjetja Reflex, d. o. o., za vzorce zasteklitev.

6 LITERATURA

Acosta, I., Leslie, R. P., Figueiro, M. G., Analysis of circadian stimulus allowed by daylighting in hospital rooms. Lighting Research & Technology, 49(1), 49–61, <https://doi.org/10.1177/1477153515592948>, 2017.

Almemo, Radiation Probes Almemo for various spectral ranges - Ahlborn Meß- und Regelungstechnik, spletna stran proizvajalca - https://www.ahlborn.com/en_UK/products/radiation-probes-for-various-spectral-ranges#technik, datum vpogleda 20. 2. 2020, 2020.

Andersen, M., Gochenour, S. J., Lockley, S. W., Modelling 'non-visual' effects of daylighting in a residential environment, Building and Environment, 70 (Supplement C), 138–149, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.018>, 2013.

Balakrishnan, P., Jakubiec, J. A., Spectral Rendering with Daylight: A Comparison of Two Spectral Daylight Simulation Platforms, 16th IBPSA Conference, 2-4 september, 2019 1191–1198, <https://doi.org/10.26868/25222708.2019.211158>, 2019.

Berson, D. M., Dunn, F. A., Takao, M., Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock, Science, 295(5557), 1070–1073, <https://doi.org/10.1126/science.1067262>, 2002.

Berson, D. M., Strange vision: Ganglion cells as circadian photoreceptors, Trends in Neurosciences, 26(4), 314–320, [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(03\)00130-9](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(03)00130-9), 2003.

BLACK-Comet, UV-VIS Concave Grating Spectrometers, spletna stran <https://www.stellarnet.us/spectrometers/black-comet>

-comet-uv-vis-concave-grating-spectrometers/, datum vpogleda 24. 4. 2020, 2020.

Brembilla, E., Mardaljevic, J., Climate-Based Daylight Modeling for compliance verification: Benchmarking multiple state-of-the-art methods, *Building and Environment*, 158, 151-164, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.051>, 2019.

Cajochen, C., Münch, M., Kriebel, S., Kräuchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P., Orgül, S., Wirz-Justice, A., High Sensitivity of Human Melatonin, Alertness, Thermoregulation, and Heart Rate to Short Wavelength Light, *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 90(3), 1311-1316, <https://doi.org/10.1210/jc.2004-0957>, 2005.

CIE S 026/E:2018, System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light, CIE Central Bureau, 2018.

Crowley, S. J., Eastman, C. I., Phase advancing human circadian rhythms with morning bright light, afternoon melatonin, and gradually shifted sleep: can we reduce morning bright-light duration?, *Sleep Medicine*, 16(2), 288-297, <https://doi.org/10.1016/J.SLEEP.2014.12.004>, 2015.

Czeisler, C. A., Gooley, J. J., Sleep and Circadian Rhythms in Humans. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, 72, 579-597, <https://doi.org/10.1101/sqb.2007.72.064>, 2007.

Daysim, spletna stran

<http://daysim.ning.com/main/index>, datum vpogleda 18. 3. 2019.

Dovjak, M., Kuček, A., Creating Healthy and Sustainable Buildings. Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-19412-3>, 2019.

Emde, C., Buras-Schnell, R., Kylling, A., Mayer, B., Gasteiger, J., Hamann, U., Kylling, J., Richter, B., Pause, C., Dowling, T., Bugliaro, L., The libRadtran software package for radiative transfer calculations (version 2.0.1), *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1647-1672, <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1647-2016>, 2016.

Emens, J. S., Burgess, H. J., Effect of light and melatonin and other melatonin receptor agonists on human circadian physiology, *Sleep Medicine Clinics* 10(4), 435-453, <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2015.08.001>, 2015.

Eržen, J., Košir, M., Dinamične metrike za oceno dnevne osvetljenosti in njihova uporaba pri analizi učilnic v slovenskih osnovnih šolah, *Gradbeni Vestnik*, 65, 2016.

Ewing, P. H., Haymaker, J., Edelstein, E. A., Simulating Circadian Light: Multi-Dimensional Illuminance Analysis, 2017, 2363 - 2371. <https://doi.org/10.26868/25222708-2017.660>, 2017.

Figueiro, M. G., Steverson, B., Heerwagen, J., Kampschroer, K., Hunter, C. M., Gonzales, K., Plitnick, B., Rea, M. S., The impact of daytime light exposures on sleep and mood in office workers, *Sleep Health*, 3(3), 204-215, <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2017.03.005>, 2017.

Foster, R. G., Fundamentals of circadian entrainment by light, *Lighting Research & Technology*, 53(5), 377-393, <https://doi.org/10.1177/14771535211014792>, 2021.

Gkaintatzi-Masouti, M., van Duijnhoven, J., Aarts, M. P. J., Review of spectral lighting simulation tools for non-image-forming effects of light, *Journal of Physics: Conference Series*, 2042 012122, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2042/1/012122>, 2021.

IES, Illuminating Engineering Society, Light and Human Health: An Overview of the Impact of Optical Radiation on Visual, Circadian, Neuroendocrine, and Neurobehavioral Responses, Light and Human Health: An Overview of the Impact of Optical Radiation on Visual, Circadian, Neuroendocrine, and Neurobehavioral Responses, 28, 2018.

Inanici, M., Brennan, M., Clark, E., Spectral Daylighting Simulations: Computing Circadian Light, 2015, 1103-1109, 2015.

Inanici, M., Price L. L., Lark Spectral Lighting, spletna stran programskega orodja - http://faculty.washington.edu/inanici/Lark/Lark_home_page.html, datum vpogleda: 1.5. 2020, 2015.

ISO, ISO/CIE 11664-1:2019, Colorimetry- Part1: CIE Standard Colorimetric Observers, International Organization for Standardization, 2019.

Jamrozik, A., Clements, N., Hasan, S. S., Zhao, J., Zhang, R., Campanella, C., Loftness, V., Porter, P., Ly, S., Wang, S., Bauer, B., Access to daylight and view in an office improves cognitive performance and satisfaction and reduces eyestrain: A controlled crossover study, *Building and Environment*, 165, 106379, 1-13, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106379>, 2019.

Knoop, M., Stefani, O., Bueno, B., Matusiak, B., Hobday, R., Wirz-Justice, A., Martiny, K., Kantermann, T., Aarts, M., Zemmouri, N., Appelt, S., Norton, B., Daylight: What makes the difference?, *Lighting Research & Technology*, 52, 423-442, <https://doi.org/10.1177/1477153519869758>, 2019.

Konis, K., A novel circadian daylight metric for building design and evaluation, *Building and Environment*, 113(Supplement C), 22-38, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.025>

LBL, Lawrence Berkley Laboratory, Optics - spletna stran programskega orodja Optics - <https://windows.lbl.gov/tools/optics/software-download>, datum vpogleda 15. 11. 2021, 2021.

LLC Sollemma ALFA, spletna stran programskega orodja Adaptive Lighting for Alertness - <https://www.sollemma.com/Alfa.html>, dostopano 15. 3. 2021, 2021.

Lok, R., Koningsveld, M. J., Gordijn, M. C. M., Beersma, D. G. M., Hut, R. A., Daytime melatonin and light independently affect human alertness and body temperature. *Journal of Pineal Research*, 67(1), e12583. <https://doi.org/10.1111/jpi.12583>, 2019.

Lucas, R. J., Peirson, S. N., Berson, D. M., Brown, T. M., Cooper, H. M., Czeisler, C. A., Figueiro, M. G., Gamlin, P. D., Lockley, S. W., O'Hagan, J. B., Price, L. L. A., Provencio, I., Skene, D. J., Brainard, G. C., Measuring and using light in the melanopsin age.

Trends in Neurosciences, 37(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.10.004>, 2014.

Mardaljevic, J., Andersen, M., Roy, N., Christoffersen, J., A framework for predicting the non-visual effects of daylight – Part II: The simulation model, *Lighting research and Technology*, 46(4), 388–406. <https://doi.org/10.1177/1477153513491873>, 2013.

Milosavljevic, N., How Does Light Regulate Mood and Behavioral State?, *Clocks & Sleep*, 1(3), 319–331. <https://doi.org/10.3390/clockssleep1030027>, 2019.

Pierson, C., Aarts, M. P. J., Andersen, M., Validation of spectral simulation tools for the prediction of indoor daylight exposure, *IBPSA Building Simulation Conference*, Belgija, September 1–3, 1–8, 2021a.

Pierson, C., Gkaintatzi-Masouti, M., Aarts, M. P. J., Andersen, M., Validation of spectral simulation tools for the prediction of indoor electric light exposure, *CIE X048:2021*, 52–62, 2021b.

Potočnik, J., Cadena, J. D. B., Košir, M., Poli, T., Occupant perception of spectral light content variations due to glazing type and internal finish, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 296 012033, 1–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012033>, 2019.

Potočnik, J., Košir, M., Influence of commercial glazing and wall colours on the resulting non-visual daylight conditions of an office, *Building and Environment*, 171, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106627>, 2020a.

Potočnik, J., Košir, M., Dovjak, M., Colour preference in relation to personal determinants and implications for indoor circadian luminous environment, *Indoor and Built Environment*, 31(1), 121–138. <https://doi.org/10.1177/1420326X20977609>, 2020b.

Potočnik, J., Košir, M., Influence of geometrical and optical building parameters on the circadian daylighting of an office, *Journal of Building Engineering*, 42, 102402. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102402>, 2021.

RADSITE, spletna stran programskega orodja Radiance - <https://www.radiance-online.org/about/detailed-description.html>, datum vpogleda 2. 1. 2021, 2021.

Rahman, S. A., St. Hilaire, M. A., Lockley, S. W., The effects of spectral tuning of evening ambient light on melatonin suppression, alertness and sleep, *Physiology & Behavior*, 177, 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.05.002>, 2017.

Rea, M. S., Figueiro, M. G., Bierman, A., Hamner, R., Modeling the spectral sensitivity of the human circadian system, *Lighting Research & Technology*, 44(4), 386–396. <https://doi.org/10.1177/1477153511430474>, 2012.

REFLEX, spletna stran proizvajalca REFLEX - <http://www.reflex.si/si/>, datum vpogleda 5. 1. 2022, 2022.

Relux, spletna stran - <https://reluxnet.relux.com/en/>, datum vpogleda 5. 1. 2022, 2022.

Rhino 6, spletna stran programskega orodja - <https://www.rhino3d.com/6>, datum vpogleda 6. 10. 2020, 2020.

Safranek, S., Collier, J. M., Wilkerson, A., Davis, R. G., Energy impact of human health and wellness lighting recommendations for office and classroom applications, *Energy and Buildings*, 226, 110365. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2020.110365>, 2020.

Sahin, L., Wood, B. M., Plitnick, B., Figueiro, M. G., Daytime light exposure: Effects on biomarkers, measures of alertness, and performance, *Behavioural Brain Research*, 274, 176–185. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2014.08.017>, 2014.

Siraji, M. A., Kalavally, V., Schaefer, A., Haque, S., Effects of Daytime Electric Light Exposure on Human Alertness and Higher Cognitive Functions: A Systematic Review, *Frontiers in Psychology*, 12, 1–17. <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2021.765750>, 2022.

SIST, SIST EN 410:2011, *Steklo v gradbeništvu - Določevanje svetlobnih in sončnih karakteristik stekla*, Slovenski Inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2011.

Straif, K., Baan, R., Grosse, Y., Secretan, B., El Ghissassi, F., Bouvard, V., Altieri, A., Benbrahim-Tallaa, L., Coglian, V., Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting, *The lancet oncology*, 8(12), 1065–1066. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(07\)70373-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(07)70373-X), 2007.

Vaz, N. A., Inanici, M., Syncing with the Sky: Daylight-Driven Circadian Lighting Design, *LEUKOS*, 17(3), 291–309. <https://doi.org/10.1080/15502724.2020.1785310>, 2020.

Velux, Daylight visualizer, spletna stran programa - <https://www.velux.com/what-we-do/digital-tools/daylightvisualizer?consent=preferences,statistics,marketing&reforiginal=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>, datum vpogleda 5. 1. 2022, 2022.

Wahl, S., Engelhardt, M., Schaupp, P., Lappe, C., Ivanov, I. V., The inner clock—Blue light sets the human rhythm, *Journal of Biophotonics*, 12(12). <https://doi.org/10.1002/jbio.201900102>, 2019.

Walker, W. H., Walton, J. C., DeVries, A. C., Nelson, R. J. Circadian rhythm disruption and mental health. *Translational Psychiatry*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41398-020-0694-0>, 2020.

32. MIŠIČEV VODARSKI DAN 2021

Strokovni posvet slovenskih vodarjev – Mišičev dan, ki ga že dvaintrideset let organizira VGB Maribor, d. o. o., in VGP Drava Ptuj, d. o. o., v sodelovanju z MOP in DRSV, je bil že drugo leto zaradi omejitev ob epidemiji kovida, izveden v okrnjeni obliki brez fizičnega druženja.

Organizator je razpisal naslednje teme posveta, ki so po mnenju organizatorjev pomembne pri upravljanju voda in načrtovanju posegov v vodno okolje in vodni režim in vredne širše strokovne razprave:

1 Problematika sedimentacije v rečnih zaježitvah

Vsaka zaježitev v rečni strugi vpliva na transport sedimenta s posledico odlaganja v zaježitvenem prostoru. Akumulacijski prostor se zmanjšuje, omejena je raba vode in vodnega prostora. Spremenjene so razmere vodnega habitata, spreminja se kvaliteta vode.

Kakšna je dinamika zaprojevanja in zamuljevanja energijskih akumulacij in visokovodnih zadrževalnikov? Kako podaljšati življenjsko dobo akumulacij in kakšni so načini ravnanja s sedimenti? Primeri dobre prakse v slovenskem vodarstvu in energetiki in kakšni so problemi pri usklajevanju hidrotehničnih in ekoloških vidikov?

2 Hidrološke podlage – pomen sistemske verifikacije hidroloških količin

Hidrološke količine se v praksi izračunavajo na osnovi meritev pretokov vodomernih postaj ali s pomočjo hidroloških modelov na osnovi merjenih padavin in karakteristik porečij. Izračunani pretoki predstavljajo pomembno osnovo za hidravlične izračune, dimenzioniranje in načrtovanje vodnih ureditev. Treba bi bilo določiti način institucionalnega certificiranja izračunanih hidroloških količin s poenotenjem računskih parametrov in metod. Kakšno je vključevanje vpliva podnebnih sprememb v hidroloških izračunih in ali se te upoštevajo pri načrtovanju vodnih ureditev?

3 Izvajanje projektov varstva pred poplavami

Poteka priprava projektov in njihova izvedba na porečju Meže z Mislinjo, ptujske Drave, ki so financirani iz kohezijskih sredstev, v zaključni fazi načrtovanja sta projekta zagotavljanja poplavne varnosti Ljubljane in Železnikov. V kakšni fazi so posamezni projekti, kakšne so izkušnje pri njihovem izvajanju?

4 Aktualni projekti s področja upravljanja in urejanja voda

Pregled projektov in izvedba raziskav s področja vodarstva sta stalnici MVD. Izmenjava informacij o aktivnosti, izkušenj in znanj je bistvo priprave prispevkov v zadnjem sklopu posveta.

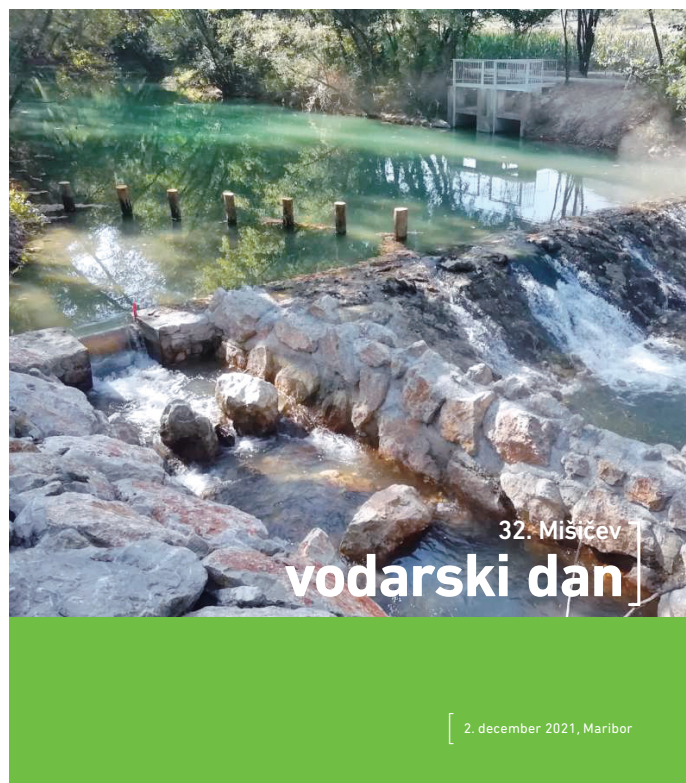
Na razpisane teme je prispelo 42 strokovnih prispevkov, ki so bili objavljeni v tiskanem zborniku v obsegu 341 strani. Zbornik je dostopen tudi na spletnih straneh organizatorjev posveta.

Glede na to, da ni bila opravljena strokovna diskusija, načrtuje organizator izvedbo diskusije na zelo aktualni prvi dve temi v okviru naslednjega, 33. Mišičevega vodarskega dne. Zaradi bojazni pred ponovnimi omejitvami ob kovidu bo izvedba posveta predvidoma že jeseni – v začetku oktobra. Želimo si in upamo, da bo srečanje po dveh letih potekalo »v živo«, kar daje posvetu in diskusiji večjo kakovost.

Predsednik Organizacijskega odbora MVD
mag. Smiljan JUVAN, univ. dipl. inž. grad.



[Z B O R N I K]





Slovensko združenje za trajnostno gradnjo

GBC Slovenija – Tehnični in zakonodajni vidiki zunanjega toplotnega ovoja in OVE

V Ljubljani, 18. marca 2022: Slovensko združenje za trajnostno gradnjo GBC Slovenija je v februarju organiziralo dvodnevno strokovno srečanje, namenjeno predstavnikom inženirske in arhitekturne stroke s področja gradbeništva in urejanja prostora, upravnikom večstanovanjskih stavb ter drugim strokovnjakom, ki so upravljavsko, okoljsko ali ekonomsko vpeti v trajnostno gradnjo. Tokrat so se posvetili tehničnim in zakonodajnim vidikom zunanjega toplotnega ovoja ter obnovljivim virom energije. Predavatelji so izpostavili pomembnost energijsko učinkovitih stavb in certificiranja fasadnih sistemov, predstavili prednosti trajnostnih izolacijskih materialov, zrakotesne izvedbe ovoja ter rešitve za izboljšanje energetske učinkovitosti ter toplotnega in zvočnega udobja vseh vrst stavb. Posvetili so se tudi požarni zaščiti objektov, ki ima lahko velik vpliv na življenje, zdravje in bivalno udobje ljudi v stavbah ali okoli njih.

Predavanja na to temo so prispevali predstavniki podjetij **JUB**, **Knauf Insulation**, **Wienerberger** in **Xella porobeton**, pravna strokovnjakinja iz **Odvetniške pisarne Čuk Orel** pa je podrobno predstavila nacionalne strateške načrte in veljavno zakonodajo na področju energetske prenove stavb. O izdelavi načrtov celovite ali delne energetske sanacije javnih objektov ter smiselnosti meritev je predavanje prispevala predstavnica **Energetske agencije za Podravje** (Energap), o pristopih k energetski prenovi stavb kulturne dediščine pa konservatorska svetovalka **Zavoda za varstvo kulturne dediščine**. Slovenski okoljski javni sklad **Eko sklad** je predstavil razpisane ukrepe za leto 2022, namenjene starejšim večstanovanjskim in poslovnim stavbam ter občanom, občinam in gospodarstvu, predstavnik **Zbornice za poslovanje z nepremičninami pri GZS** pa izpostavil najpomembnejše spremembe stanovanjskega zakona na področju upravljanja večstanovanjskih stavb. O prednostih toplotnih črpalk in sončnih elektrarn sta udeleženci seznanila predstavnika družbe **Kronoterm** in **Agencije za prestrukturiranje energetike**, v okviru energetske prenove stavb pa je **Obirno-podjetniška zbornica Slovenije** opozorila tudi na pomembnost izbire usposobljenih in certificiranih

izvajalcev, ki pri gradnji ali prenovi stavb zagotavljajo kakovostno in strokovno ustrezno tehnično izvedbo fasaderskih del. Izobraževanje je potekalo prek spletne aplikacije Zoom, projektantom in arhitektom iz vrst IZS in ZAPS pa sta zbornici za strokovno izpopolnjevanje dodelili kreditne točke.

Da slabo izolirane stavbe pomenijo izgubo energije in denarja za stroške obratovanja, zlasti ogrevanja in hlajenja in imajo zelo visok ogljični odtis, je uvodoma izpostavil predsednik UO GBC Slovenija **dr. Iztok Kamenski**: »Danes je energijsko potratnih kar 75 % stavb, po ocenah pa jih bo v letu 2050 od obstoječih v funkciji še vedno 80 %, kar bo vodilo tudi do znatnih stroškov energije za njihovo obratovanje. Stavbe, ki energijo koristijo predvsem za ogrevanje in hlajenje, so že zdaj odgovorne za 36 % evropskih emisij CO₂. V EU smo se z zelenim dogovorom zavezali doseči podnebno nevtralnost Evrope do leta 2050, do leta 2030 pa naj bi izpuste zmanjšali za 55 % v primerjavi z letom 1990. Ker stavbe porabijo skoraj polovico vse energije in surovin, so ključne za doseganje cilja zmanj-



šanja emisij toplogrednih plinov. Gradbeni sektor zato nosi veliko odgovornost za trajnostne izboljšave pri gradnji stavb. Da bi uresničili evropske zaveze, bi morali v EU do leta 2030 korenito obnoviti kar 35 milijonov stavb, torej podvojiti letno število energetskih prenov obstoječega stavbnega fonda. Že od začetka leta 2021 velja, da bi morala biti vsaka novogradnja v Evropi skoraj ničenergijska stavba, a se letno stavbni fond obnovi le za 0,6 %, novih, skoraj ničenergijskih objektov pa je letno v povprečju le 0,2 %.

Nacionalni načrti in zakonodaja

Slovenija si je ambiciozne cilje na področju energetske učinkovitosti stavb že določila v različnih dokumentih. Celoviti nacionalni energetski in podnebni načrt Republike Slovenije (**NEPN**), ki je bil sprejet februarja 2020 in bo že v letu 2023 deležen prenove, zasleduje cilj zmanjšanja emisij toplogrednih plinov v stavbah za vsaj 70 % glede na leto 2005, pri čemer naj bi delež obnovljivih virov energije (OVE) v rabi energije v stavbah predstavljal vsaj 2/3. Cilj glede energetske učinkovitosti stavb za javni sektor je določen celo v zakonu, in sicer **Zakonu o učinkoviti rabi energije, ZURE**. To je prvi zakon, ki se je v celoti posvetil energetske učinkovitosti stavb in izhaja iz energetskega zakona, ki je do leta 2020 celovito urejal obsežno področje energetike. Marca 2021 je država sprejela še en pomemben strateški dokument - **Dolgoročno strategijo energetske prenove stavb do leta 2050**, ki določa, da mora biti do leta 2050 energetsko prenovljenih 74 % enostanovanjskih in 91 % večstanovanjskih stavb. Pri tem se ocenjuje, da se bo končna raba energije zmanjšala za 45 %, emisije CO₂ pa za skoraj 75 % glede na leto 2005. Izjemno ambiciozni cilji nam kažejo usmeritev za prihodnost, vendar se zdi, da jih ne bo enostavno doseči, saj se zatika tako pri novih, skoraj ničenergijskih stavbah, kot tudi pri energetski prenovi obstoječega fonda stavb. Regulativa naslavlja zahtevo, da morajo biti vse nove stavbe, tako javne kot zasebne, **skoraj ničenergijske** (sNES), torej stavbe z zelo visoko energetsko učinkovitostjo oz. zelo majhno količino potrebne energije za delovanje, pri čemer je potrebna energija v zelo veliki meri proizvedena iz OVE. Ta definicija pa se nanaša tudi na gradbeno tehnične predpise, ki določajo minimalne zahteve glede največjih dovoljenih potreb za ogrevanje, hlajenje oz. klimatizacijo, pripravo tople vode in razsvetljavo v stavbi. Glede tega je še vedno v veljavi **Pravilnik o učinkoviti rabi energije** (PURES), čeprav je bil v decembru 2021 sprejet novi GZ-1. Ta je še vedno zelo pomemben, saj dopolnjuje zakonodajo in vsebinsko določa tehnične zahteve za učinkovito rabo energije v stavbah ter metodologijo za izračun energijskih lastnosti stavbe. Glavne izzive pri energetske učinkovitosti stavb predstavlja odločanje o načinu in obsegu prenove posameznih vrst stavb ter o virih njenega financiranja.

Slabo izolirane stavbe so energijsko potratne

V slabo izoliranih stavbah se uporabniki spoprijemajo s težavami, kot so temperaturna nihanja v prostoru, vlaga in čezmerni hrup, ki močno vplivajo na kakovost bivanja. Tudi alge, plesni in zbledeli barvni odtenki ter poškodbe na fasadi objektom po nepotrebnem znižujejo vrednost. Energijsko učinkovitost stavbe znižujejo še toplotni mostovi, ki slabšajo pogoje bivanja. Neprimerni materiali ali neustrezna izvedba lahko privedejo do pospešenega propadanja fasade ter dodatnih stroškov za sanacijo, saj dotrajana fasada ne opravlja več svojih osnovnih

funkcionalnosti. Fasadni ovoj lahko tako predstavlja od 30 do 50 % izgube energije, z energijsko potratnimi stavbami pa narašča tudi obremenjevanje okolja s prevelikimi izpusti toplogrednih plinov. Skupni dejavnik, ki omogoča čezmerno ohlajanje ali pregrevanje stavb z visoko porabo energije in nizko ravno toplotnega udobja, je ovoj stavbe z nezadostno toplotno izolativnostjo.

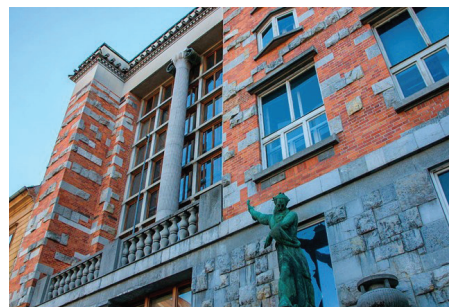
Ovoj je pri energetske učinkovitosti stavbe in njeni odpornosti tako ključen, ker ima velik vpliv na življenjsko dobo in dodano vrednost objekta. Vsak del ovoja stavbe sestoji iz enega ali več slojev materialov, ki morajo na objektu delovati kot usklajena celota. Ovoj stavbe mora zadostiti številnim funkcionalnim zahtevam, kot so mehanska stabilnost, vodotesnost in zraketesnost, ohranjanje toplote, preprečevanje kondenzacije, zvočna izolativnost in požarna zaščita, hkrati pa zagotavljati možnost vzdrževanja in obnove. Za večino teh funkcij obstajajo standardi, s katerimi proizvajalci dokazujejo nespremenljivost lastnosti vgrajenega izdelka ali sistema ter njihovo kakovost. Tako morajo vsi fasadni sistemi pridobiti **evropski ocenjevalni dokument (EAD)**, ki zelo natančno navaja, katere izolacijske obloge so lahko predmet ocenjevanj (to so EPS, kamena in mineralna volna ter druge izolacije naravnega izvora). Za fasadne sisteme lahko proizvajalec pridobi tudi **okoljsko deklaracijo proizvoda (EPD)**, ki predstavlja enotno merljiv vpliv na okolje v življenjskem ciklu proizvoda. Tako morajo biti tudi **kontaktne fasade (ETICS)** skladne z vsemi zakonskimi zahtevami in standardi ter morajo imeti na podlagi EAD izdelano evropsko tehnično oceno ETA.

Da bi tako v stavbah lahko dosegli bistveno nižjo porabo energije, večjo stopnjo toplotne izolacije, zaščito pred hrupom in varnost pred požari, je za ovoj stavbe treba uporabiti učinkovite, trajnostne in cenovno dostopne gradbene materiale, ki jih bo mogoče ponovno uporabiti ali reciklirati. Investitorji lahko za gradnjo ali prenovo javnih, poslovnih, individualnih ter večstanovanjskih objektov izkoristijo tudi spodbude **Eko sklada** skladno z aktualnimi javnimi pozivi, ki so objavljeni na njihovi spletni strani.

Obnovljivi viri energije

Slovenija bo morala za vstop v zeleno prihodnost zagotavljati potrebno energijo iz različnih obnovljivih virov, zlasti v segmentu električne energije in toplote. Usmeritev v večjo energijsko učinkovitost ovoja stavb in učinkovitejše ogrevalne sisteme, kot so npr. toplotne črpalke, ki se napajajo s precejšnjim deležem toplote iz okolja, bodisi iz zraka, vode ali zemlje, je vsekakor zelo dobrodošla. Te ponujajo rešitev za uravnotežene energetske potrebe pri pridobivanju toplote za ogrevanje stavb in segrevanje sanitarne vode čez vse leto. Za zeleno transformacijo energetike so pomembne tudi sončne elektrarne, ki nudijo porabnikom in gospodarstvu boljši dolgoročni nadzor nad stroški za energijo. Izziv bo v prihodnje predstavljal zlasti gradnja novih objektov z integracijo sončnih elektrarn v ovoje stavb, tako na strehe in fasade kot na transparentne dele, pri njihovem snovanju pa bodo imeli še posebej pomembno vlogo arhitekti in projektanti.

Povzetki predavanj so na voljo na spletni strani GBC Slovenija www.gbc-slovenia.si.



Fotografije: arhiv GBC Slovenija, Xella in Wienerberger



Kontakt: dr. Iztok Kamenski, predsednik UO GBC Slovenija, M: 041 716 845,

E: info@gbc-slovenia.si; W: www.gbc-slovenia.si

ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE

vabi na

REDNO SKUPŠČINO,

ki bo v četrtek, 19. maja 2022, ob 13.00 uri,
v prostorih Gostilne Livada, Hladnikova 15, Ljubljana.

Skupščina bo obravnavala in sprejemala:

1. Poročilo o delu ZDGITS v letu 2021
2. Poslovno poročilo ZDGITS za leto 2021 z bilanco stanja in izkazom poslovnega izida
3. Letni program in
4. Finančni načrt ZDGITS za leto 2022.

Predsednik ZDGITS

Izr. prof. dr. Andrej Kryžanowski, univ. dipl. inž. grad.

FOTOREPORTAŽA OBVOZNICA KIDRIČEVO – PODVOZ KIDRIČEVO S PRIKLJUČNIM KESONOM



Slika 1. Potiskanje podvoza (november 2021).

Lokacija: Trasa obvoznice je med glavno cesto G1-2/737 Šikole–Hajdina in regionalno cesto R2-432/1285 Majšperk–Kidričevo

Investitor: Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo (DRSI)

Projektant gradbenih konstrukcij podvoza Kidričevo s priključnim kesonom: MEGALIT inženirski biro, d. o. o.

Inženir: DRI upravljanje investicij, Družba za razvoj infrastrukture, d. o. o.

Izvajalec del na podvozu Kidričevo: Trgograd, d. o. o.

V preteklem letu so se začela dela na obvoznici Kidričevo v dolžini pribl. 3,9 km. Nova obvoznica obsega izgradnjo nove obvozne ceste, ureditev šestih križišč, ureditev priključnih, servisnih in traktorskih cest, izgradnjo objektov (izgradnja podvoza pod industrijskim tirom s priključnim kesonom in črpališčem ter podhoda za živali), ureditev kolesarskih in peš poti, ureditev odvodnjevanja, postavitve oziroma zaščito tangiranih vodov gospodarske javne infrastrukture ter krajinsko ureditev območja obvoznice. Največji objekt na obvoznici predstavlja potisnjen podvoz Kidričevo s priključnim kesonom.



Slika 2. Postavljen opaz in betoniranje sten takta šest (september 2021).



Slika 3. Postavljanje podporne konstrukcije za prekladno konstrukcijo (oktober 2021).

Podvoz Kidričevo, ki poteka pod železniško progo, je zasnovan kot okvirna armiranobetonska konstrukcija svetlega razpona 13,93–14,52 m. Dolžina podvoza znaša 21,32 m, temeljen je na temeljni plošči. Podvoz se obojestransko nadaljuje v priključne kesone. Dolžina kesonov znaša na severni strani 67,77 m in na južni strani 68,08 m. Kesona sta zasnovana kot U-konstrukciji, temeljeni na temeljni plošči. Skupna dolžina objekta tako znaša 157,77 m. Podvoz s priključnim kesonom obsega prekladno konstrukcijo za železniški vlak (industrijski tir) ter prekladno konstrukcijo za cestni nadvoz. Debelina plošče prekladne konstrukcije za vlak znaša 105 cm, za cestni del pa 90 cm. Zidovi podvoza s priključnim kesonom so v debelini 40, 60 in 90 cm. Za konstrukcijo je uporabljen beton C30/37.



Slika 4. Armatura temeljne plošče (oktober 2021).



Slika 5. Zasip za kesonom z izkopnim materialom (februar 2022).

Nova obvoznica Kidričevo s podvozom bo bistveno spremenila sedanji prometni tok, saj bo prevzela večji del prometa, zlasti tovornega, in tako razbremenila ceste skozi okoliška naselja.

Avtor: Tomaž Goričan, mag. inž. grad. (DRI, d. o. o.)

NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

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

Simon Arčan, Hitra primerjalna analiza idejnih zasnov odseka 3. razvojne osi z BIM-orodji, mentor doc. dr. Matevž Dolenc, somentorja doc. dr. Robert Klinc in Jure Česnik;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=135676>

Peter Vidmar, Uporaba skupnega podatkovnega okolja v fazi izgradnje objekta, mentor prof. dr. Žiga Turk, somentor doc. dr. Robert Klinc;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=135674>

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO

Luka Končan, Variantne rešitve odvajanja in čiščenja odpadnih voda ter gradnje kanalizacijskega sistema naselij krajevne skupnosti Blagovna občine Šentjur pri Celju, mentor doc. dr. Mario Krzyk;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=135882>

Nejc Mandelj, Idejna zasnova vodovodnega omrežja za naselja Brezovica pri Borovnici, Niževce, Zabočevo, Dražica in Ohonica, mentorica doc. dr. Sabina Kolbl Repinc, somentor doc. dr. Gašper Rak;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=135878>

III. STOPNJA - DOKTORSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRAJENO OKOLJE

Martin Klun, Obnašanje zidanih nekonstrukcijskih elementov pri potresni obtežbi, mentor prof. dr. Vlatko Bosiljkov;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=135916>

NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

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

III. STOPNJA – DOKTORSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Mateja Držečnik, Eksperimentalna in numerična analiza leseno-steklenih I-nosilcev; mentor prof. dr. Miroslav Premrov, somentor prof. dr. Andrej Štrukelj;
<https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=81208>

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

23.-25.5.2022

CIVILMEET2022 – International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering
München, Nemčija
www.albedomeetings.com/2022/civilmeet

25.5.2022

Strokovni posvet Društva za ceste severovzhodne Slovenije – Mariborski prometni infrastrukturni izzivi do leta 2030
Maribor, Slovenija
www.dcm-svs.si

3.-5.6.2022

Global Conference on Civil Engineering
Oxford, Velika Britanija
www.ceconf.org

16.-18.6.2022

GSCAEE2022 – 2nd Global Summit on Civil, Architectural and Environmental Engineering
Kopenhagen, Danska
www.thescientistt.com/civil-structural-environmental-engineering/2022

27.-29.6.2022

IS-Cambridge 2022 — 10th International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground
Cambridge, Velika Britanija
www.is-cambridge2020.eng.cam.ac.uk/

5.-7.9.2022

17th Danube - European Conference on Geotechnical Engineering
Bukarešta, Romunija
<https://sites.google.com/view/17decgero/home>

12.-15.9.2022

EUROCK 2022 — Rock and Fracture Mechanics in Rock Engineering and Mining
Espoo, Finska
www.eurock2022.com

13.-17.9.2022

ICOSSAR 2021-2022, 13th International Conference on Structural Safety & Reliability
Spletna konferenca
www.icossar2021.org

15.-17.9.2022

ICSCE 2022 — 6th International Conference on Structural and Civil Engineering
Barcelona, Španija
www.icsce.org

28.-29.9.2022

4. gradbeno - prostorsko - okoljska konferenca
Ljubljana, Slovenija
<https://gradbeno-prostorsko-okoljska-konferenca.si/>

24.-26.10.2022

ICCEFA'22 - 3rd International Conference on Civil Engineering Fundamentals and Applications
Hibridna konferenca
<https://iccefa.com>

26.-28.10.2022

ICBSTS 2022 — 3rd International Conference on Building Science, Technology and Sustainability
Lizbona, Portugalska
www.icbsts.org

25.-28.6.2023

9ICEG - 9th International Congress on Environmental Geotechnics
Kreta, Grčija
www.iceg2022.org

17.-21.9.2023

12 ICG - 12th International Conference on Geosynthetics
Rim, Italija
www.12icg-roma.org

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