

november 2022

letnik 71

Gradbeni vestnik

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



274

**NOV PRISTOP OCENJEVANJA NOSILNOSTI
VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ NA PODLAGI
NEPORUŠNE METODE Z DEFLEKTOMETROM
S PADAJOČO UTEŽJO (FWD)**

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 Jukič
IZS MSG: **mag. Gregor Ficko**
mag. Jernej Nučič
mag. Mojca Ravnikar 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 številčk. Letna naročnina
za individualne naročnike znaša 23,16 EUR;
za študente in upokoјence 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:
Brv čez reko Sočo v Solkanu,
foto: Peter Kante

**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, november 2022, letnik 71, str. 273-300

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

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

VSEBINA CONTENTS

ČLANKI PAPERS

Damjan Želodec, mag. inž. prom.
prof. dr. Bojan Žlender, univ. dipl. inž. grad.
izr. prof. dr. Marko Renčelj, univ. dipl. inž. grad.

NOV PRISTOP OCENJEVANJA NOSILNOSTI VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ NA PODLAGI NEPORUŠNE METODE Z DEFLEKTOMETROM S PADAJOČO UTEŽJO (FWD) A NEW APPROACH TO THE ASSESSMENT OF THE BEARING CAPACITY OF PAVEMENT STRUCTURES BASED ON NON-DESTRUCTIVE METHOD WITH A FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER (FWD)



POROČILO S STROKOVNEGA SREČANJA

mag. Smiljan JUVAN, univ. dipl. inž. grad.
33. MIŠIČEV VODARSKI DAN 2022



FOTOREPORTAŽI Z GRADBIŠČ

Luka Mozetič, DARS, d. d.
**GRADNJA TRETJE RAZVOJNE OSI NA ODSEKU
VELENJE-SLOVENJ GRADEC, SKLOP F - JENINA**



Danilo Malnar, CGP, d. d.
GRADNJA BRVI LOKA-KANDIJA



NOVI DIPLOMANTI

Eva Okorn

KOLENDAR PRIREDITEV

Eva Okorn

Damjan Želodec, mag. inž. prom.
damjan.zelodec@dri.si
DRI upravljanje investicij, d. o. o.,
Kotnikova ulica 40, 1000 Ljubljana



prof. dr. Bojan Žlender, univ. dipl. inž. grad.
bojan.zlender@um.si
Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno
inženirstvo in arhitekturo, Katedra za geotekniko,
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor



izr. prof. dr. Marko Renčelj, univ. dipl. inž. grad.
marko.rencelj@um.si
Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno
inženirstvo in arhitekturo, Katedra za prometne gradnje,
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor



Znanstveni članek
UDK 625.033.38:656.11(1-88)

NOV PRISTOP OCENJEVANJA NOSILNOSTI VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ NA PODLAGI NEPORUŠNE METODE Z DEFLEKTOMETROM S PADAJOČO UTEŽJO (FWD)

A NEW APPROACH TO THE ASSESSMENT OF THE BEARING CAPACITY OF PAVEMENT STRUCTURES BASED ON NON-DESTRUCTIVE METHOD WITH A FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER (FWD)

Povzetek

V večini razvitih držav po svetu imajo razvit monitoring stanja nosilnosti voziščnih konstrukcij za potrebe gospodarjenja s prometno infrastrukturo ali pa zgolj za pregled nad obstoječim stanjem. Z naraščanjem prometnih obremenitev se zvišujejo tudi zahteve po zagotavljanju ustrezne nosilnosti voziščnih konstrukcij. Le-te zagotovimo s pravilno izbiro materialov, vgrajenih v voziščne konstrukcije, in pogostostjo izvedbe meritev nosilnosti z ustrezno merilno opremo (sprotno odkrivanje slabo nosilnih mest). V ta namen se najpogosteje uporablja merilna oprema deflektometer s padajočo utežjo (FWD), ki z neporušno metodo meri podajnost voziščne konstrukcije. Surove podatke, ki jih dobimo z meritvami podajnosti (neposredno pod obremenilno ploščo in na različnih oddaljenostih od nje), lahko interpretiramo na različne načine. Pri tem imamo na voljo programska orodja za analize nosilnosti ali pa uporabimo zgolj surove podatke meritev podajnosti s terena. Na ta način z minimalnim številom vhodnih podatkov dobimo ustrezno oceno stanja voziščne konstrukcije. V okviru projektne naloge smo izvedli meritve podajnosti na izbranih odsekih različnih kategorij cest ter na podlagi surovih podatkov meritev podajnosti, naredili oceno stanja posameznih plasti v voziščni konstrukciji. Ocena stanja je bila zasnovana po metodologiji tujih avtorjev in je vključevala ocenjevalne lestvice, ki so bile narejene na osnovi irskih smernic in po »južnoafriški« metodologiji (v Južni Afriki razvita polmehanska in polempirična analitična tehnika za ocenjevanje strukturnega stanja vozišča) ter prilagojene na simulacijo prehoda obremenitve 50 kN na kolo. Ugotovljena so bila precejšna odstopanja pri vrednostih podajnosti za posamezni ocenjevalni razred in izbrani parameter kljub prilagoditvi na zahtevane osne obremenitve za državne ceste v Sloveniji. Po podrobni analizi obravnavanih metodologij je bilo ugotovljeno, da se določene vrednosti podajnosti posameznih parametrov znotraj ocenjevalne lestvice sicer lahko uporabijo v praksi, vendar bodo potrebne še dodatne prilagoditve. Noviteta prispevka je predstavitev novega pristopa ocenjevanja nosilnosti voziščnih konstrukcij po surovih podatkih meritev podajnosti in hkrati dopolnitev obstoječe metodologije, ki je trenutno v uporabi na državnem cestnem omrežju v upravljanju Direkcije RS za infrastrukturo.

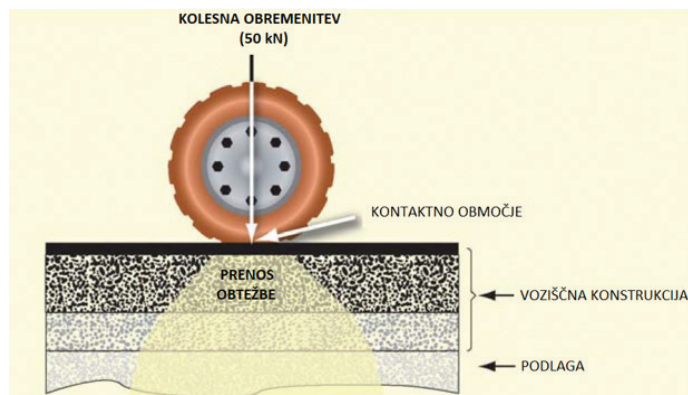
Ključne besede: podajnost, deflektometer s padajočo utežjo (FWD), neporušna metoda, parametri krivulj podajnosti, nosilnost, monitoring

Summary

Most developed countries in the world have developed monitoring of the bearing capacity of pavement structures for the purpose of pavement management system (PMS) or simply to get an overview of the existing situation. As traffic loads increase, so do the requirements to ensure adequate bearing capacity of pavement structures. Bearing capacity is ensured with correct choice of materials incorporated into the pavement structure and the frequency of bearing capacity measurements using suitable measuring equipment (detection of weak bearing capacity points). For the detection of weak bearing capacity points, the most commonly used measuring equipment is the Falling Weight Deflectometer (FWD), which measures the deflections in the pavement structure with a non-destructive method. The raw data obtained from the deflection measurements (directly under the load plate and at different distances from the load plate) can be interpreted in various ways. The raw measurement data can be interpreted using load analysis software tools or only the raw deflection measurement data from the field. In this way, an adequate assessment of the condition of the pavement structure can be made with a minimum number of inputs. As part of the project assignment, deflection measurements were carried out on selected sections of different road categories. Based on the raw deflection measurement data, an assessment of the condition of the individual layers in the pavement structure was made. The pavement condition assessment was based on the methodology of foreign authors. It included assessment scales based on Irish guidelines and the 'South African' methodology (a semi-mechanical and semi-empirical analytical method developed in South Africa to assess the structural condition of road pavements). The assessment scales were adjusted to simulate the passage of a load of 50 kN per wheel. Significant variations were found in the deflection values of the assessment scales for each assessment class and selected parameter. Despite the adaptation of the assessment scales to the required axle loads for national roads in Slovenia, they can be used only partially. After a thorough analysis of the methodologies considered, it was found that certain values for the deflections of individual parameters, within the assessment scale, can be used in practice, but further adjustments are needed. The novelty of the paper is the presentation of a new approach for the assessment of the bearing capacity of pavement structures using raw deflection measurement data. The new approach will complement the existing methodology currently in use on the national road network managed by the Slovenian Infrastructure Agency.

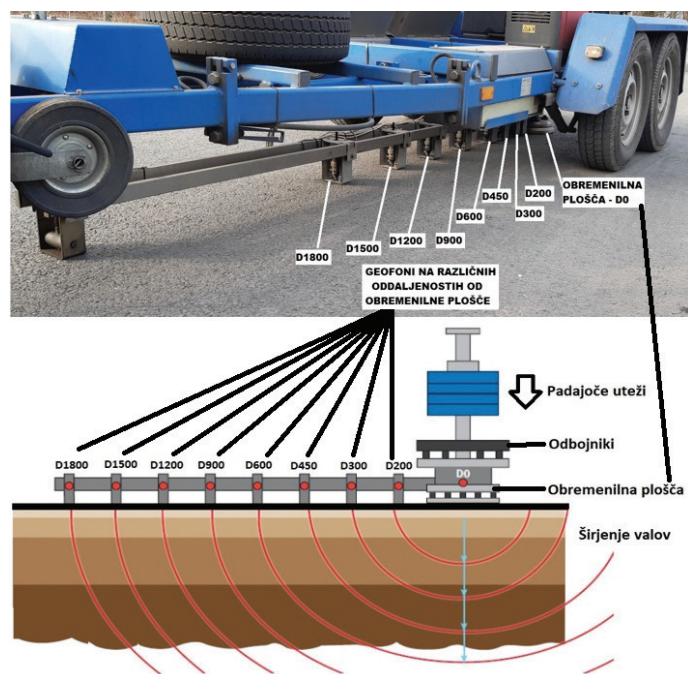
Key words: deflections, falling weight deflectometer (FWD), non-destructive method, deflection basin parameters, bearing capacity, monitoring

dinamično silo 50 kN (slika 2), ki povzroči, z upoštevanjem površine obremenilne plošče, napetost pod obremenilno ploščo 707 kN/m^2 . Izvedejo se trije udarci, kot merodajen podatek se vzame tretji udarec. FWD zabeleži podajnosti pri vsakem udarcu na vsakem od devetih geofonov, ki so locirani na različnih razdaljah od središča obremenilne plošče: 0 mm, 200 mm, 300 mm, 450 mm, 600 mm, 900 mm, 1200 mm, 1500 mm in 1800 mm. Operater naknadno izmeri še temperaturo vozišča in jo vnese v program za zajem podatkov meritev [Jamnik, 2000]. Meritve se lahko izvajajo na različnih razdaljah med eno in drugo merilno točko, razdalje se določijo glede na namen meritev (projektni ali mrežni nivo meritev) [Želodec, 2015].



Slika 2. Prikaz kolesnih obremenitev na voziščno konstrukcijo [SADC, 2022].

Shematski prikaz t. i. »širjenja vibracij«, ki nastanajo pri izvedbi meritev ter posledično zajema podajnosti pod geofonih, je prikazan na sliki 3.



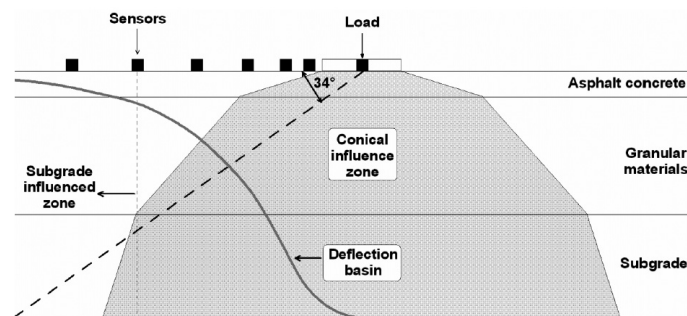
Slika 3. Shematski prikaz principa meritev podajnosti [Borecky, 2019].

3 METODE RAČUNANJA IN OCENJEVANJE STANJA NOSILNOSTI ASFALTNIH VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ NA PODLAGI NEPORUŠNE METODE

Z merilno aparaturo FWD lahko izvajamo meritve asfaltnih ali betonskih vozišč, ob zamenjavi obremenilne plošče tudi makadamskih/gramoznih voziščih. V nadaljevanju so predstavljene različne metodologije analize podatkov meritev na voziščnih konstrukcijah, ki so sestavljene iz vezanih (asfaltnih) plasti, nevezanih nosilnih plasti (v nadaljevanju: tampon) in posteljičce/nasipa (iz kamnitega materiala).

3.1 Meritve asfaltnih vozišč

Na asfaltnih voziščih deluje naprava po naslednjem principu: obtežba in posledično deformacija se v nižje ležeče plasti prenašata pod določenim kotom. V stroki se je uveljavilo Irwinovo pravilo, ki pravi, da je 95 % podajnosti, izmerjenih na površini, posledica deformacij v plasteh, ki ležijo pod linijo nagiba 34° od mesta vnosa obtežbe. Iz podajnosti najbolj oddaljenega geofona lahko tako ocenimo, kakšna je togost plasti na globini pribl. 150 mm–200 mm (ob predpostavki kota prenosa obtežbe 45°). Če med seboj odštejemo podajnosti, dobljene pod geofoni, na različnih oddaljenostih od obremenilne plošče, dobimo podatek o togosti posameznih plasti, vgrajenih v voziščno konstrukcijo. Iz podatka o podajnosti, neposredno pod obremenilno ploščo, ocenimo togost celotne voziščne konstrukcije. Princip delovanja je shematsko prikazan na sliki 4 [Jurgele, 2018].



Slika 4. Raztros obtežbe v nižje ležeče plasti [Deblouis, 2010].

3.2 Ocena strukturne kapacitete voziščne konstrukcije glede na parameter D_0

Najenostavnejši način ocene strukturne kapacitete sta vrednotenje in primerjava temperaturno korigiranih glavnih podajnosti. Glavna (ali tudi maksimalna) podajnost je posedek neposredno pod mestom vnosa obtežbe. Izmed različnih načinov ocenjevanja strukturne kapacitete je ta način najpreprostejši in tudi najbolj robusten, saj zahteva le minimalno število vhodnih podatkov. Zaradi neupoštevanja lastnosti podlage je tudi najmanj natančen, še posebej pri voziščnih konstrukcijah z debelejšimi nosilnimi plastmi [Jurgele, 2018].

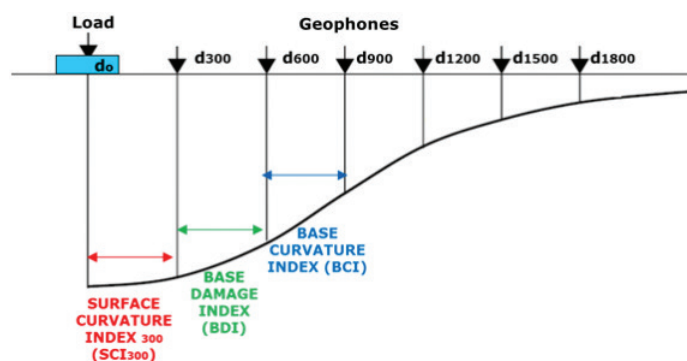
3.3 Meritve podajnosti in izračun vrednosti parametrov krivulj podajnosti

Rezultati meritev z merilno aparaturo FWD so izmerjene podajnosti na različnih oddaljenostih od obremenitve, ki simulira prehod kolesa tovornega vozila. Indeksi ukrivljenosti so izračunani kot razlike med izmerjenimi podajnosti na posameznih odmikih od mesta obtežbe. Dobljeni rezultat izraža le spremembo deformacije v območju med višjo in nižjo globino ter na določeni razdalji med mestom obtežbe in geofoni, ki so nameščeni na različnih oddaljenostih od obremenilne plošče.

Glavni kazalniki stanja vozišča oz. parametri krivulj podajnosti so [Jurgele, 2018]:

- stanje celotne voziščne konstrukcije ali posedek pod obremenilno ploščo (D_0),
- površinski indeks ukrivljenosti SCI_{200} oz. SCI_{300} (Surface Curvature Index), ki prikazuje razliko podajnosti v oddaljenosti 200 mm (oz. 300 mm) od mesta obtežbe in je kazalnik togosti asfaltnih plasti,
- indeks ukrivljenosti vmesnih plasti MLI/BDI ($D_{300}-D_{600}$, Middle Layer Index/Base Damage Index), ki prikazuje razliko podajnosti med geofoni D_{300} in D_{600} ter je kazalnik togosti nevezanih nosilnih plasti in posteljice,
- LLI/BCI ($D_{600}-D_{900}$, Lower Layer Indeks/Base Curvature Index), ki prikazuje razliko podajnosti med geofoni D_{600} in D_{900} ter je kazalnik togosti temeljnih tal/nasipa,
- podajnost pod geofonom D_{1800} , ki je kazalnik togosti podlage.

Na spodnji sliki (slika 5) lahko vidimo, kako se določijo zgoraj omenjeni površinski indeksi ukrivljenosti glede na različne oddaljenosti geofonov od obremenilne plošče.



Slika 5. Prikaz zajema podajnosti na različnih oddaljenostih od obremenilne plošče [Bateman, 2016].

V nadaljevanju so v preglednicah (preglednici 1 in 2) prikazani parametri krivulj podajnosti z opisi na osnovi irskih smernic. Slednji imajo za osnovo obtežbo 40 kN na kolo in je nižja kot v Sloveniji, kjer imamo obtežbo 50 kN na kolo. Navedeni preglednici prikazujeta podajnosti pod obremenilno ploščo (D_0) (stanje celotne voziščne konstrukcije), indeks SCI_{300} (stanje asfaltnih plasti) in D_{2100} (stanje podlage).

UPORABA FWD-ja NA DRŽAVNIH/REGIONALNIH CESTAH Opomba: Vse podajnosti so normalizirane na obtežbo 40 kN na kolo		
D_0 (μm)	SCI_{300} (D_0-D_{300}) (μm)	Opis
< 100	< 40	Zelo toga asfaltna plast
100 - 200	40 - 80	Toga asfaltna plast
200 - 350	80 - 140	Dokaj toga asfaltna plast - lahko zahtevamo asfaltno nadgradnjo, ki je odvisna od količine prometa.
350 - 500	140 - 200	Zmerno toga asfaltna plast - predvideva se asfaltna nadgradnja, ki je odvisna od količine prometa.
500 - 700	200 - 300	Zmerno toga do slaba asfaltna plast - zahteva se asfaltna nadgradnja (možnost tudi zamenjava zrnate plasti - tampona).
> 700	> 300	Slaba asfaltna plast - potrebna je zamenjava tampona ali rekonstrukcija.

Preglednica 1. Vrednosti parametrov D_0 in SCI_{300} z opisi na osnovi irskih smernic [TII, 2000].

UPORABA FWD-ja NA DRŽAVNIH/REGIONALNIH CESTAH Opomba: Vse podajnosti so normalizirane na obtežbo 40 kN na kolo	
D_9 ali D_{2100} – kriterij za stanje podlage (μm)	Opis
< 10	Zelo toga podlaga
10 – 20	Toga podlaga
20 – 30	Toga do zmerno močna podlaga
30 – 40	Zmerno močna do slaba podlaga
40 – 50	Slaba podlaga
> 50	Zelo slaba podlaga

Preglednica 2. Vrednosti parametra D_{2100} z opisom na osnovi irskih smernic [TII, 2000].

3.3.1 Metoda območja (metoda AREA)

Poleg zgoraj naštetih parametrov se lahko pri analizi stanja vozišča uporabi tudi metoda območja (metoda AREA). Metoda AREA (v nadaljevanju AREA) predstavlja normalizirano območje navpično prerezane krivulje podajnosti med mestom obremenitve in na različnih razdaljah od obremenitvene plošče. Izračun AREA, kjer so uporabljene vrednosti štirih geofonov, je prikazan v spodnji enačbi [Pierce, 2017]:

$$AREA_{900} = 6 * (1 + 2 * \frac{D_{300}}{D_0} + 2 * \frac{D_{600}}{D_0} + \frac{D_{900}}{D_0}) \text{ (mm)}, \quad (1)$$

kjer je D_0 podajnost pod obremenilno ploščo, D_{300} je podajnost, izmerjena na oddaljenosti 300 mm od mesta obremenitve oz. od centra obremenilne plošče, D_{600} je podajnost, izmerjena na oddaljenosti 600 mm od mesta obremenitve oz. od centra obremenilne plošče, D_{900} je podajnost, izmerjena na oddaljenosti 900 mm od mesta obremenitve oz. od centra obremenilne plošče.

izračunamo maksimalno vrednost $AREA$ [Pavement Interactive, 2022]:

$$maksAREA = 6 * (1 + 2 + 2 + 1) = 36 \text{ inč. ali } 915 \text{ mm} \quad (3)$$

Tipične vrednosti metode $AREA$ (konfiguracija s štirimi geofoni) in parametra D_0 (podajnost pod obremenilno ploščo) v mm in mikrometrih so prikazane v preglednicah (preglednici 3 in 4) v nadaljevanju [Pierce, 2017].

Tip vozišča	AREA vrednost (mm)	D_0 (μm)
Betonsko vozišče	740 - 810	250 - 500
Asfaltno vozišče, debelina ≥ 200 mm	530 - 760	500 - 1000
Asfaltno vozišče, debelina ≤ 200 mm	410 - 530	760 - 1200
Asfaltna tankoslojna prevleka	380 - 430	760 - 1200
Asfaltna tankoslojna prevleka (šibka)	300 - 380	1.000 - 1500

Preglednica 3. Tipične vrednosti parametra $AREA$ in D_0 [Pierce, 2017].

AREA vrednost	Maksimalna centralna podajnost D_0 (μm)	Splošni zaključki
Nizka	Nizka	Šibka voziščna konstrukcija / močna podlaga
Nizka	Visoka	Šibka voziščna konstrukcija / šibka podlaga
Visoka	Nizka	Močna voziščna konstrukcija / močna podlaga
Visoka	Visoka	Močna voziščna konstrukcija / šibka podlaga

Preglednica 4. Opisi parametra $AREA$ in D_0 [Pierce, 2017].

Najnižja vrednost $AREA$ ne more biti manjša od 11,1 inč. ali 280 mm (pojavi se takrat, kadar imajo vse plasti voziščne konstrukcije enak modul elastičnosti). Nizke vrednosti $AREA$ kažejo, da ni bistvene razlike med sestavo voziščne konstrukcije in osnovnim materialom v podlagi oz. nosilnostjo voziščne konstrukcije in podlage (kar sicer ni slabo, če je podlaga zelo toga, vendar se to redko dogaja). Kadar so moduli elastičnosti enaki (lahko izračunamo minimalno vrednost $AREA$), je razmerje med parametri D_{300} , D_{600} in D_{900} ter D_0 naslednje [Pavement Interactive, 2022]:

$$minAREA = 6 * (1 + 2 * (0,26) + 2 * (0,125) + 0,083) = 11,1 \text{ inč. ali } 280 \text{ mm} \quad (2)$$

Najvišja vrednost $AREA$ znaša 36 inč. ali 915 mm in se pojavi takrat, kadar so vse štiri izmerjene deformacije enake. Da so vse štiri izmerjene deformacije enake, bi morala biti voziščna konstrukcija zelo toga (betonska ali s cementom stabilizirana nosilna plast v voziščni konstrukciji) ali imeti zelo debelo asfaltno plast. To pomeni, da so vrednosti parametrov D_0 , D_{300} , D_{600} in D_{900} enake in lahko po enačbi (3)

3.4 Metoda krivinskih radijev (Radius of Curvature metoda - RoC)

Metoda krivinskih radijev (Radius of Curvature metoda - v nadaljevanju RoC) je bila razvita v Južni Afriki in prikazuje strukturalno stanje asfaltne in tamponske plasti. Zaradi bližine (200 mm) geofona do roba obremenilne plošče in s tem povezanih ter opaženih površinskih motenj/odstopanj je metoda RoC manj zanesljiva. Za izračun vrednosti po metodi RoC se uporablja naslednja enačba [Pierce, 2017]:

$$RoC = \frac{L^2}{2D_0(1 - \frac{D_{200}}{D_0})} \text{ (}\mu\text{m)}, \quad (4)$$

kjer je L - 200 mm in D_{200} je podajnost, izmerjena na oddaljenosti 200 mm od mesta obremenitve oz. od centra obremenilne plošče.

V preglednici 5 so povzete vrednosti posameznega parametra krivulj podajnosti z opisi strukturalnega stanja in tipa vozišča. Posebej so obravnavane vrednosti klasične (fleksibilne) voziščne konstrukcije, ki je sestavljena iz asfaltne in nevezane nosilne plasti, glede na obnašanje vozišča in števila prometnih obremenitev na njem (preglednica 6).

Tip vozišča	Ocena strukturnega stanja	Parametri krivulj podajnosti (Deflection Bowl Parameters)				
		D_0 (μm)	RoC (μm)	SCI/BLI (μm)	BDI/MLI (μm)	BCI/LLI (μm)
Vozišče z nevezano nosilno plastjo	Zadovoljivo stanje	< 500	> 100	< 200	< 100	< 50
	Opozorilno stanje	500 – 750	50 – 100	200 – 400	100 – 200	50 – 100
	Slabo stanje	> 750	< 50	> 400	> 200	> 100
Vozišče s cementno stabilizirano nosilno plastjo	Zadovoljivo stanje	< 200	> 150	< 100	< 50	< 40
	Opozorilno stanje	200 – 400	80 – 150	100 – 300	50 – 100	40 – 80
	Slabo stanje	> 400	< 80	> 300	> 100	> 80
Vozišče z bitumnom stabilizirano nosilno plastjo	Zadovoljivo stanje	< 400	> 250	< 200	< 100	< 50
	Opozorilno stanje	400 – 600	100 – 250	200 – 400	100 – 150	50 – 80
	Slabo stanje	> 600	< 100	> 400	> 150	> 80

Preglednica 5. Ocene vrednosti za parametre krivulj podajnosti (D_0 , BLI, MLI, LLI in RoC) za različne tipe voziščne konstrukcije pri simulaciji obremenitve 40 kN na kolo [Horak, 2008].

Obnašanje vozišča	Prometna obremenitev pri obtežbi 80 kN/os (v milijonih prehodov NOO 80 kN)	Maksimalna D_0 (mm)	SCI/BLI (mm)	MLI/BDI (mm)	LLI/BCI (mm)
Zelo togo	12 do 50	< 0,3	< 0,08	< 0,05	< 0,04
Togo	3 do 8	0,3 do 0,5	0,08 do 0,25	0,05 to 0,15	0,04 do 0,08
Fleksibilno	0,8 do 3	0,5 do 0,75	0,25 do 0,50	0,15 to 0,20	0,08 do 0,10
Zelo fleksibilno	< 0,8	> 0,75	> 0,5	> 0,20	> 0,10

Preglednica 6. Obnašanje voziščne konstrukcije (z nevezano nosilno plastjo iz zrnatega materiala) glede na prometne obremenitve pri simulaciji obremenitve 40 kN na kolo [Horak, 2008].

3.5 Izračun debelinskega indeksa (Structural Number - SN_{eff}) iz meritev podajnosti

Poznamo več metod za izračun debelinskega indeksa in nosilnosti podlage (kalifornijskega indeksa nosilnosti oz. California Bearing Ratio - CBR) neposredno iz izmerjenih vrednosti podajnosti, ki smo jih korigirali glede na izmerjeno temperaturo asfalta ob meritvah. Glede na zahtevane vhodne podatke jih delimo na [Jurgele, 2018]:

- metode, ki ne potrebujejo podatkov o debelini voziščne konstrukcije,
- metode, ki potrebujejo poznavanje skupne debeline plasti v voziščno konstrukcijo vgrajenih materialov.

Zadnja izmed zgoraj naštetih metod je sestavni del smernic za načrtovanje voziščnih konstrukcij AASHTO (Guide for Design of Pavement Structures 1993). Te temeljijo na enakih principih dimenzioniranja voziščnih konstrukcij, kot so uporabljeni v slovenski tehnični specifikaciji TSC 06.520:2009 Projektiranje - Dimenzioniranje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij [TSC, 2009]. V našem primeru najpogosteje uporabljamo naslednjo metodo izračuna SN_{eff} enačba (5) [Jameson, 1993]:

$$SN_{eff} = 1,69 + \frac{842,8}{(D_0 - D_{1500})} + \frac{42,94}{D_{900}}, \quad (5)$$

kjer je D_0 podajnost pod obremenilno ploščo, D_{900} je podajnost, izmerjena na oddaljenosti 900 mm od mesta obremenitve oz. od centra obremenilne plošče, in D_{1500} je podajnost, izmerjena na oddaljenosti 1500 mm od mesta obremenitve oz. od centra obremenilne plošče.

3.6 Izračun vrednosti parametra CBR glede na vrednosti krivulj podajnosti

Pri izračunu parametra CBR si lahko pomagamo z grobimi podatki podajnosti in ga izračunamo na več načinov. V praksi se najpogosteje uporablja izračun CBR po metodi iz smernic za načrtovanje voziščnih konstrukcij AASHTO (v nadaljevanju: metoda AASHTO) in po avtorju metode Jamsona (v nadaljevanju: metoda Jameson). Obstajajo tudi druge metode izračunov, ki jih lahko uporabimo in prilagodimo.

a) Izračun CBR po metodi Jameson [Jameson, 1993]:

$$CBR_{subgrade} = 1836,54 * (D_{900})^{-1,018} (\%), \quad (6)$$

kjer je D_{900} podajnost, izmerjena na oddaljenosti 900 mm od mesta obremenitve oz. od centra obremenilne plošče, in $CBR_{subgrade}$ je kalifornijski indeks nosilnosti podlage v %.

b) Izračun CBR po metodi Roberts [Roberts, 2006]:

$$CBR_{subgrade} = 850 * (D_{900})^{-1} (\%), \quad (7)$$

kjer je D_{900} podajnost, izmerjena na oddaljenosti 900 mm od mesta obremenitve oz. od centra obremenilne plošče, in $CBR_{subgrade}$ je kalifornijski indeks nosilnosti podlage v %.

c) Izračun CBR po metodi AASHTO [AASHTO, 2022]:

$$Mr = \frac{0,24 * P}{\delta r * r} (\text{psi}), \quad (8)$$

$$CBR_{subgrade} = \frac{Mr}{1500} (\%), \quad (9)$$

kjer je Mr modul nosilnosti podlage (psi) ali pretvorjeno v bare (1 psi = 0,069 bara), P = magnituda obremenitve (9.000 lb ali 4082,3 kg), δr = izmerjena podajnost pri odmiku za radij (inčih) ali pretvorjeno v mm (1 inč = 25,4 mm) in r = radialni odmik (inči) ali pretvorjeno v mm (1 inč = 25,4 mm). Omenjeni izračuni CBR in dobljene vrednosti le-teh (na podlagi meritev podajnosti) se lahko razlikujejo od dejanskih izračunov v laboratoriju. Pri tem si pomagamo z vzporedno izvedbo porušnih raziskav, in sicer z vrtnami ali izkopji na terenu.

4 IZVEDBA MERITEV FWD NA IZBRANIH ODSEKIH

Meritve podajnosti z merilno aparaturo FWD temeljijo na neporušni metodi, kjer ne posegamo v strukturo voziščne konstrukcije, ampak zgolj s simuliranjem prehoda kolesne obremenitve 50 kN na kolo merimo podajnost voziščne konstrukcije. Na podlagi teoretičnih izhodišč, obrazloženih v predhodnih poglavjih, smo obravnavali cestne odseke različnih

kategorij. Izbrani odseki so bili analizirani na krajših razdaljah med posameznima merilnima točkama (projektna raven). Nekateri izbrani odseki so bili izmerjeni v smeri naraščajoče in padajoče vrednosti stacionaže, nekateri pa samo v smeri naraščajoče vrednosti stacionaže. V večini primerov je šlo za meritve podajnosti za potrebe obnov, rekonstrukcij ali preverbe stanja po izgradnji. Vsi obravnavani odseki so bili izmerjeni z dinamično obremenitvijo, ekvivalentno prehodu NOO 100 kN na merjenem mestu.

Sledijo si v naslednjem vrstnem redu:

- glavna cesta prvega reda (G1); Črnova-Arja vas, odsek 1262 (v naraščajoči in padajoči smeri stacionaže);
- glavna cesta drugega reda (G2); Ljubljana (Rudnik)-Škofljica, odsek 0215 (v naraščajoči in padajoči smeri stacionaže);
- regionalna cesta prvega reda (R1); Obvoznica Škofja Loka, odsek 1392 (v naraščajoči smeri stacionaže);
- regionalna cesta prvega reda (R2); Razdrto-Manče, odsek 0344 (v naraščajoči smeri stacionaže);
- regionalna cesta tretjega reda (R3); Spodnja Pohanca-Kapele, odsek 2204 (v naraščajoči in padajoči smeri stacionaže);
- občinska cesta (LC); Šikole-Stražgonjca-Zupančičeva ulica, odsek LC 165011 (v naraščajoči smeri stacionaže);
- občinska cesta (JP); Dobro Polje-Mošnje, odsek JP 849171 (v naraščajoči smeri stacionaže).

V preglednici 7 so zbrani rezultati meritev po različnih parametrih (D_0 , parametri podajnostne krivulje in ostali) kot povprečne vrednosti meritev na celotnem izbranem odseku in kot 85 % vrednosti meritev (»85 % kvantil«).

IVRC	IZVEDBA MERITVE	OPIS	D_0 (T) (μm)	SCI_{300} ($D_0 - D_{300}$) (μm)	BDI/MLI ($D_{300} - D_{600}$) (μm)	BCI/LLI ($D_{600} - D_{900}$) (μm)	D_{1800} (μm)	AREA (mm)	S_{Neff}	CBR (%) (JAMESON)	CBR (%) (AASHTO)
G1	G1-1a	Poprečna vrednost	248	59	70	39	30	587	8	9	7
	G1-1b	85% kvantil	423	120	131	70	51	686	12	14	14
	G1-2a	Poprečna vrednost	237	43	74	40	31	619	8	8	8
	G1-2b	85% kvantil	407	99	142	69	51	736	14	14	19
G2	G2-1a	Poprečna vrednost	366	84	110	61	46	570	5	5	5
	G2-1b	85% kvantil	479	128	155	81	64	631	6	8	7
	G2-2a	Poprečna vrednost	270	64	83	44	32	560	6	8	7
	G2-2b	85% kvantil	375	105	119	63	55	645	8	14	14
R1	R1-1a	Poprečna vrednost	175	65	55	23	15	456	9	17	20
	R1-1b	85% kvantil	243	84	76	35	28	514	11	23	39
R2	R2-1a	Poprečna vrednost	203	73	58	28	15	490	9	14	14
	R2-1b	85% kvantil	343	129	106	50	26	583	13	21	27

R3	R3-1a	Poprečna vrednost	204	45	45	30	37	650	10	7	6
	R3-1b	85% kvantil	380	103	103	60	52	749	17	11	8
	R3-2a	Poprečna vrednost	204	38	43	30	42	672	10	7	5
	R3-2b	85% kvantil	373	95	105	60	60	787	16	10	8
LC	LC-1a	Poprečna vrednost	479	112	154	79	51	552	4	5	5
	LC-1b	85% kvantil	660	158	217	117	80	620	5	10	10
JP	JP-1a	Poprečna vrednost	365	162	103	46	16	422	5	11	11
	JP-1b	85% kvantil	433	195	118	52	21	459	6	14	14

Pomen oznak:

1 – število ponazarja izvedbo meritev v naraščajoči smeri stacionaže

2 – število ponazarja izvedbo meritev v padajoči smeri stacionaže

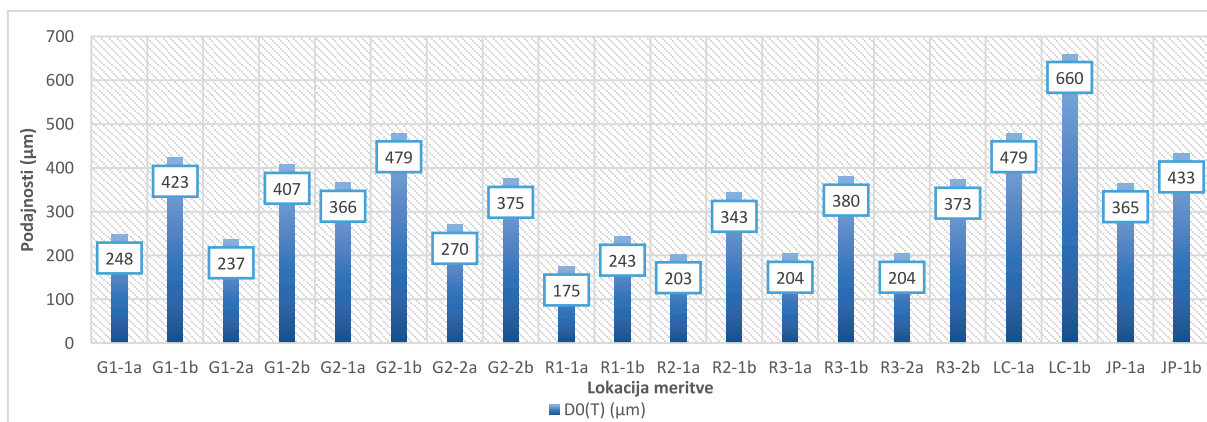
a – oznaka za povprečno vrednost rezultatov meritev

b – oznaka za 85% kvantil rezultatov meritev

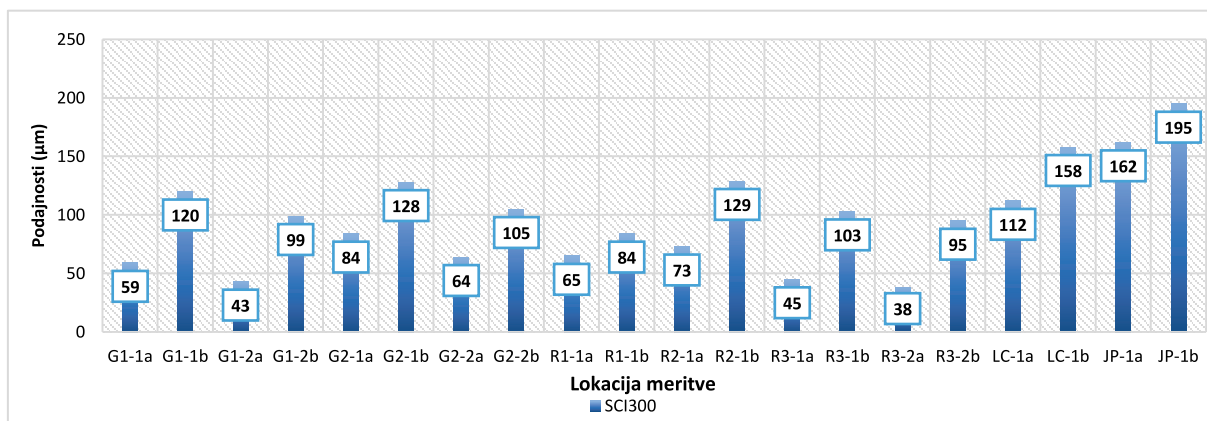
Preglednica 7. Povprečne vrednosti parametrov glede na posamezni odsek ceste.

Na slikah v nadaljevanju so prikazani rezultati meritev podajnosti pri simulaciji obremenitve 50 kN na kolo na izbranih odsekih za nekaj od zgoraj naštetih parametrov. Stanje celotne

voziščne konstrukcije je prikazano na sliki 6 s parametrom $D_0(T)$. Slika 7 prikazuje stanje voziščne konstrukcije po parametru SCI_{300} , iz katerega je razvidno stanje asfaltnih plasti.



Slika 6. Vrednosti podajnosti pod obremenilno ploščo $D_0(T)$ (μm) med posameznimi lokacijami meritev.



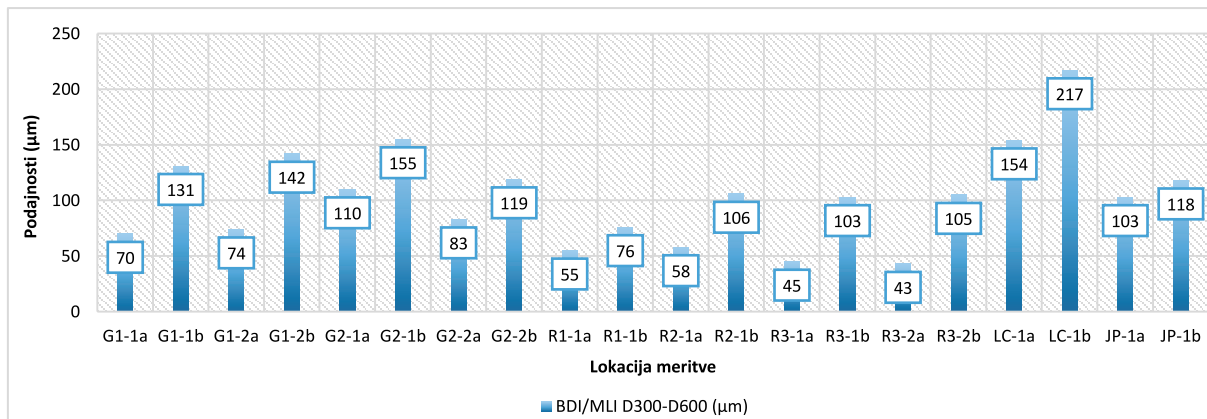
Slika 7. Vrednosti podajnosti po parametru SCI_{300} (μm) med posameznimi lokacijami meritev.

Na sliki 8 je po parametru $BDI/MLI (D_{300}-D_{600})$ vidno stanje nevezane nosilne plasti in posteljice.

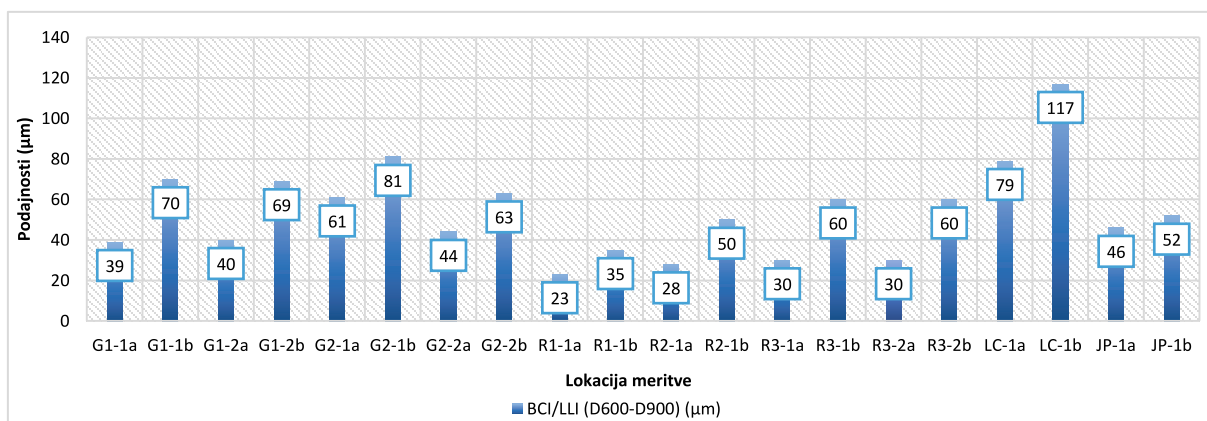
Poleg stanja asfaltnih plasti in nevezanih plasti se velikokrat uporablja podatek o stanju temeljnih tal oz. nasipa (slika 9). To je parameter $BCI/LLI (D_{600}-D_{900})$.

Slika 10 prikazuje stanje podlage po parametru D_{1800} .

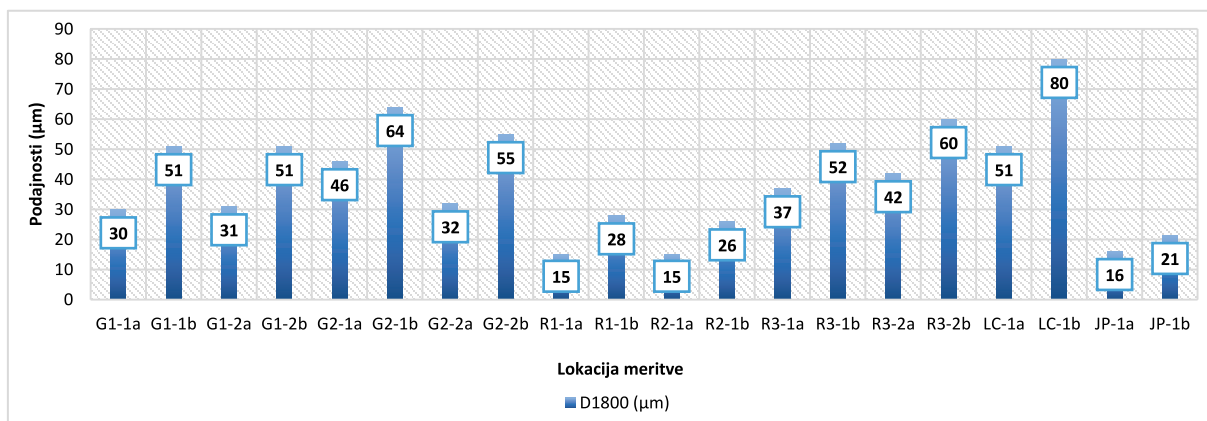
Poleg ostalih parametrov krivulje podajnosti smo zajeli še stanje voziščne konstrukcije in podlage. To opisujeta parametra $AREA (mm)$ in $D_0(T) (\mu m)$, ki sta prikazana na sliki 11.



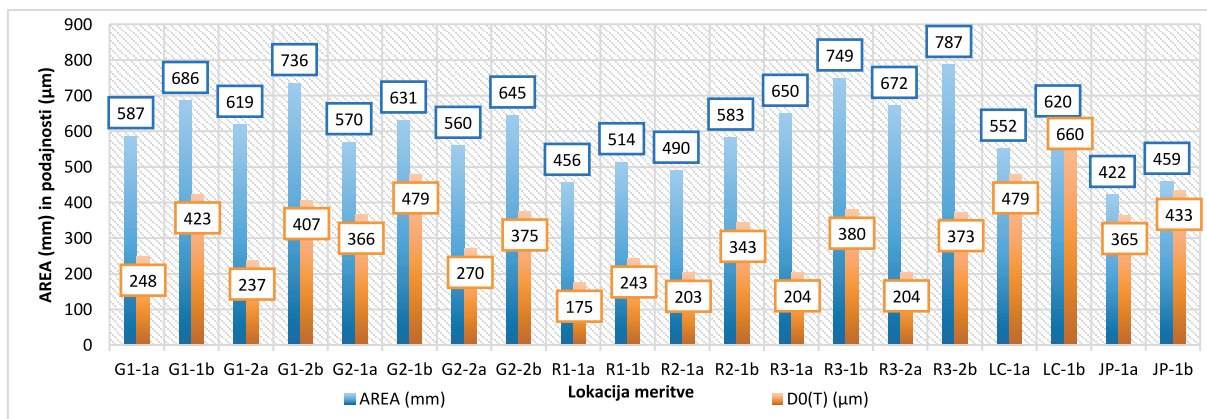
Slika 8. Vrednosti podajnosti po parametru $BDI/MLI (D_{300}-D_{600})$ (µm) med posameznimi lokacijami meritev.



Slika 9. Vrednosti podajnosti po parametru $BCI/LLI (D_{600}-D_{900})$ (µm) med posameznimi lokacijami meritev.



Slika 10. Vrednosti podajnosti po parametru D_{1800} (µm) med posameznimi lokacijami meritev.



Slika 11. Vrednosti podajnosti po parametru $D_0(T)$ (μm) in AREA (mm) med posameznimi lokacijami meritev.

5 PREDLOG NOVEGA PRISTOPA OCENJEVANJA STANJA VOZIŠČ GLEDE NA NOSILNOST

V praksi se uporabljajo različni načini interpretacije meritev podajnosti, bodisi s posebnimi programskimi orodji ali z neposredno uporabo surovih podatkov meritev. V Sloveniji za

analize nosilnosti uporabljamo programsko orodje ELMOD (Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design – določitev elastičnih modulov plasti in dimenzioniranje nadgradnje). Uporaben je na fleksibilnih voziščnih konstrukcijah, kjer nimamo togih plasti oz. ga lahko izjemoma uporabimo tudi na poltogh voziščnih konstrukcijah (s posebno obravnavo). Podatka, ki ju dobimo v interpretacijo, sta preostala življenjska doba (PŽD) in potrebna debelina ojačitve (za doseganje planirane

Razlika med simuliranjem obtežbe 50 kN in 70 kN na kolo (sredina vzletno pristajalne steze)									
Geofoni	DO	D200	D300	D450	D600	D900	D1200	D1500	D1800
Povprečna vrednost podajnosti	29 %	30 %	30 %	30 %	30 %	31 %	32 %	32 %	33 %
85 % vrednosti podajnosti	31 %	31 %	32 %	32 %	32 %	33 %	34 %	34 %	35 %
Razlika med simuliranjem obtežbe 50 kN in 70 kN na kolo (desna robna stran vzletno pristajalne steze)									
Geofoni	DO	D200	D300	D450	D600	D900	D1200	D1500	D1800
Povprečna vrednost podajnosti	30 %	31 %	31 %	31 %	31 %	32 %	33 %	33 %	33 %
85 % vrednosti podajnosti	31 %	31 %	32 %	32 %	32 %	33 %	34 %	35 %	36 %
Razlika med simuliranjem obtežbe 50 kN in 70 kN na kolo (leva robna stran vzletno pristajalne steze)									
Geofoni	DO	D200	D300	D450	D600	D900	D1200	D1500	D1800
Povprečna vrednost podajnosti	30 %	30 %	30 %	31 %	31 %	31 %	32 %	32 %	32 %
85 % vrednosti podajnosti	31 %	31 %	31 %	32 %	32 %	33 %	34 %	33 %	33 %
Vrednosti podajnosti pri razliki simuliranja prehoda 20 kN na kolo									
Geofoni	DO	D200	D300	D450	D600	D900	D1200	D1500	D1800
Povprečna vrednost podajnosti	30 %	30 %	30 %	31 %	31 %	32 %	32 %	33 %	33 %
85 % vrednosti podajnosti	30 %	31 %	31 %	31 %	31 %	32 %	32 %	33 %	33 %
Vrednosti podajnosti pri razliki 10 kN									
Geofoni	DO	D200	D300	D450	D600	D900	D1200	D1500	D1800
Povprečna vrednost podajnosti	15 %	15 %	15 %	15 %	15 %	16 %	16 %	16 %	16 %
85 % vrednosti podajnosti	15 %	15 %	15 %	15 %	16 %	16 %	16 %	16 %	17 %

Preglednica 8. Razlike med surovimi podatki meritev podajnosti pri simulaciji obtežbe 50 kN in 70 kN na kolo na vzletno-pristajalni stezi na letališču Maribor.

življenjske dobe vozišča 20 let) za vsako merilno točko. Ker na izračun obeh parametrov vpliva veliko dejavnikov (debeline posameznih plasti, prometne obremenitve, temperatura asfalta itd.) lahko pride do odstopanj pri interpretaciji z ostalimi kazalniki.

Z namenom priprave novega načina interpretacije dobljenih rezultatov meritev nosilnosti smo v članku predstavili izvedeno raziskavo uporabnosti surovih podatkov meritev podajnosti (parametrov krivulj podajnosti) na izbranih odsekih glavnih, regionalnih ter tudi občinskih cest. Pri tem smo uporabili literaturo tujih avtorjev, ki so svoje ugotovitve strnili v različnih raziskavah ([Horak, 2008], [Til, 2000]) in naredili nove ocenjevalne lestvice nosilnosti z opisi stanj v voziščno konstrukcijo vgrajenih plasti ali celotne voziščne konstrukcije. Slednje smo

Po analizi surovih podatkov meritev podajnosti, izmerjenih na vzletno-pristajalni stezi na letališču Maribor, je bilo ugotovljeno, da je med simulacijo prehoda obremenitve 50 kN in 70 kN na kolo razlika v podajnostih 30 %. Če to razliko razdelimo na manjše vrednosti (na simulacijo kolesne obremenitve 10 kN na kolo), ugotovimo, da moramo vrednosti parametrov z opisi v preglednicah za simulacijo obremenitev 40 kN na kolo povečati vrednosti za 15 % (preglednica 8). Omenjene povečane vrednosti in meje za posamezno strukturno stanje so zajete v preglednicah v nadaljevanju (preglednice 9–11).

V preglednici 9 so prikazani razredi z opisi parametrov (obstoječimi in predlaganimi) in vrednostmi za celotno voziščno konstrukcijo ter asfaltno plast (D_0 in D_{300}), prilagojenimi na simulirano obremenitev 50 kN na kolo.

D_0 (μm)	$SCI_{300}(D_0 - D_{300})$ (μm)	Opis parametrov	Nov predlog opisa parametrov
< 115	< 46	Zelo toga asfaltna plast	Zelo dobro stanje vozišča
115 - 230	46 - 92	Toga asfaltna plast	Dobro stanje vozišča
230 - 405	92 - 161	Dokaj toga asfaltna plast - lahko zahtevamo asfaltno nadgradnjo, ki je odvisna od količine prometa.	Zadovoljivo stanje vozišča
405 - 575	161 - 230	Zmerno toga asfaltna plast - predvideva se asfaltna nadgradnja, ki je odvisna od količine prometa.	Mejno stanja vozišča
575 - 805	230 - 345	Zmerno toga do slaba asfaltna plast - zahteva se asfaltna nadgradnja (možnost tudi zamenjava zrnate plasti - tampona).	Slabo stanje vozišča
> 805	> 345	Slaba asfaltna plast (potrebna je zamenjava tampona ali rekonstrukcija).	Zelo slabo stanje vozišča

Preglednica 9. Lestvica in opis parametrov D_0 in D_{300} pri simulaciji obremenitve, enakovredni 50 kN na kolo.

uporabili v raziskavi in jih uporabili v naših primerih. Pojavila se je težava neposredne primerjave/uporabe različnih lestvic - v tujini so lestvice prilagojene dinamični obremenitvi, primerljivi obremenitvi voziščne konstrukcije z obtežbo 40 kN na kolo, v Sloveniji pa s 50 kN na kolo. V našem primeru smo torej morali lestvice parametrov, ki so jih obravnavali tuji avtorji, prilagoditi na obremenitev, ki jo uporabljamo v Sloveniji.

Pri prilagoditvi parametrov smo si pomagali z rezultati meritev na letališču Maribor, kjer smo s tremi različnimi obtežbami (50 kN, 70 kN in 120 kN na kolo) merili podajnost vzletno-pristajalne steze z merilno aparaturo FWD. Voziščna konstrukcija vzletno-pristajalne steze je sestavljena iz asfaltna plasti debeline 16 cm in nevezane nosilne plasti debeline 40 cm, kar predstavlja približek debelinam voziščnih konstrukcij (po banki cestnih podatkov se debeline asfaltnih plasti v povprečju gibljejo med 10 cm in 14 cm, debeline nevezanih nosilnih plasti pa med 30 cm in 40 cm) na državnem cestnem omrežju [Kovačič, 2020]. S tem smo zadostili pogoju, da gre za skoraj klasično voziščno konstrukcijo (fleksibilna voziščna konstrukcija) in da imamo zadostno število meritev (skupaj je bila narejena 101 meritev podajnosti na treh različnih mestih, in sicer na sredini, desni in levi strani vzletno-pristajalne steze).

Poleg zgoraj omenjenih kazalnikov smo prilagodili tudi lestvico z opisi parametrov za stanje podlage. V spodnji preglednici (preglednica 10) so navedene vrednosti, ki so jih tuji avtorji navajali za parameter D_{2100} (D_{2100} je podajnost, izmerjena na oddaljenosti 2100 mm od mesta obremenitve oz. od centra

D_0 ali D_{1800}	Opis parametrov	Nov predlog opisa parametrov
< 10	Zelo toga podlaga	Zelo dobro stanje podlage
10 - 20	Toga podlaga	Dobro stanje podlage
20 - 30	Toga do zmerno močna podlaga	Zadovoljivo stanje podlage
30 - 40	Zmerno močna do slaba podlaga	Mejno stanje podlage
40 - 50	Slaba podlaga	Slabo stanje podlage
> 50	Zelo slaba podlaga	Zelo slabo stanje podlage

Preglednica 10. Lestvica in opis parametra D_{1800} pri simulaciji obremenitve 50 kN na kolo.

obremenilne plošče) [TII, 2000]. Zaradi različne oddaljenosti geofonov od obremenilne plošče (naš geofon je lociran na oddaljenosti 1800 mm, na osnovi irskih smernic pa je lociran na oddaljenosti 2100 mm od obremenilne plošče) in spremembe simulacije prenosa obtežbe s 40 kN na 50 kN na kolo se vrednosti parametrov primerjalne lestvice irskih smernic in v našem primeru ne spreminjajo (na podlagi linearnega padanja vrednosti podajnosti pri izvedbi meritve). S tem smo ohranili enake vrednosti, kot jih imajo tuji avtorji v svoji primerjalni lestvici.

Narejena je bila tudi prilagoditev lestvice s parametri na podlagi »južnoafriške« metodologije. Glede na tip vozišča lestvico sestavljajo po tri strukturalna stanja s po petimi različnimi parametri. Primerjava je imela poudarek na fleksibilni voziščni konstrukciji (vozišče s tamponsko plastjo). Preračun vrednosti

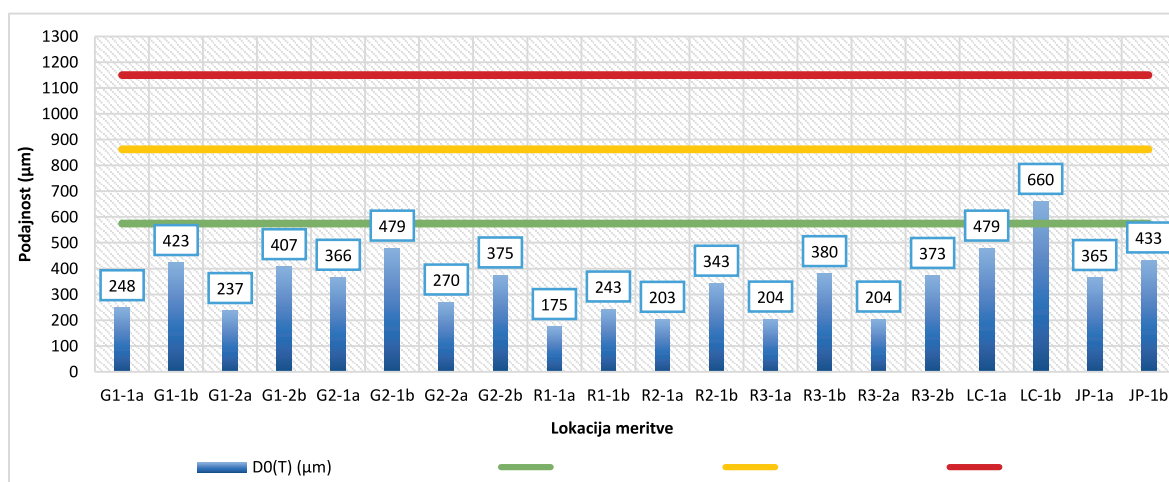
parametrov je bil narejen na enak način kot na primeru irskih smernic. S tem smo spremenili meje za oceno strukturalnega stanja po posameznem tipu vozišča.

Na slikah v nadaljevanju primerjamo obravnavane parametre med merjenimi odseki. Vidna so vsa tri strukturalna stanja vozišča glede na posamezni parameter za izbrano lokacijo meritve. Za lažjo predstavo smo jih obarvali z barvami od zelene do rdeče. Z zeleno je označeno zadovoljivo, rumeno opozorilno in z rdečo slabo stanje (meje so določene glede na preglednico 11).

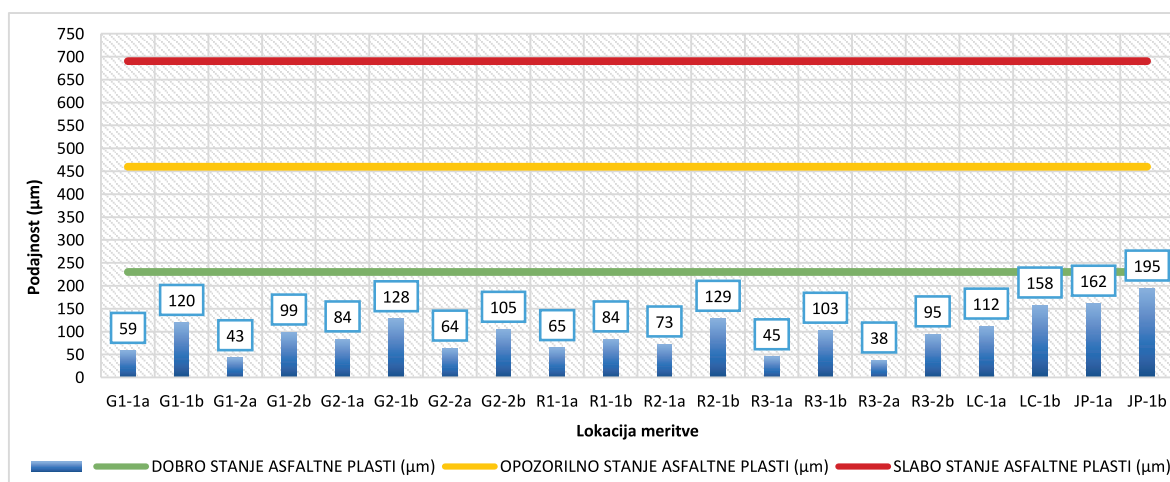
Primerjava je bila narejena tudi na podlagi prilagojene lestvice z opisi parametrov na osnovi irskih smernic. Vse vrednosti parametrov za posamezno lokacijo meritve so prikazane v nadaljevanju. Prav tako smo jih označili od zelene do rdeče barve, in sicer od zelo dobrega stanja do zelo slabega stanja.

Tip vozišča	Ocena strukturalnega stanja	Parametri krivulj podajnosti (Deflection Bowl Parameters)				
		D_0 (μm)	RoC (μm)	SCI/BLI (μm)	BDI/MLI (μm)	BCI/LLI (μm)
Vozišče z nevezano nosilno pastjo	Zadovoljivo stanje	< 575	> 115	< 230	< 115	< 57,5
	Opozorilno stanje	575 – 862,5	57,5 – 115	230 – 460	115 – 230	57,5 – 115
	Slabo stanje	> 862,5	< 57,5	> 460	> 230	> 115
Vozišče s cementno stabilizirano nosilno plastjo	Zadovoljivo stanje	< 230	> 172,5	< 115	< 57,5	< 46
	Opozorilno stanje	230 – 460	92 – 172,5	115 – 345	57,5 – 115	46 – 92
	Slabo stanje	> 460	< 92	> 345	> 115	> 92
Vozišče z bitumnom stabilizirano nosilno plastjo	Zadovoljivo stanje	< 460	> 287,5	< 230	< 115	< 57,5
	Opozorilno stanje	460 – 690	115 – 287,5	230 – 460	115 – 172,5	57,5 – 92
	Slabo stanje	> 690	< 115	> 460	> 172,5	> 92

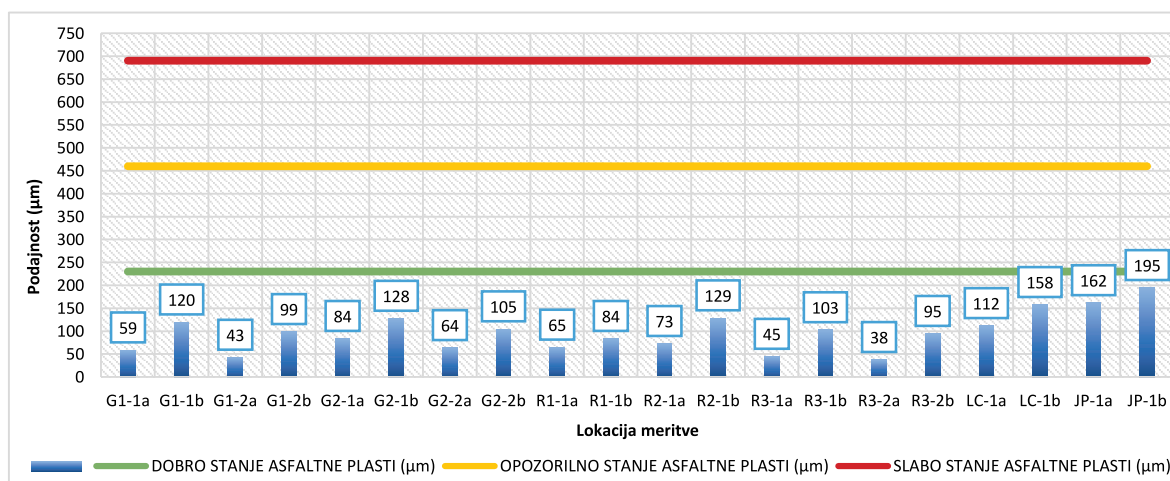
Preglednica 11. Ocene vrednosti za parametre krivulj podajnosti (D_0 , BLI , MLI , LLI in RoC) za različne tipe voziščne konstrukcije, prilagojene na simulacijo obremenitve 50 kN na kolo.



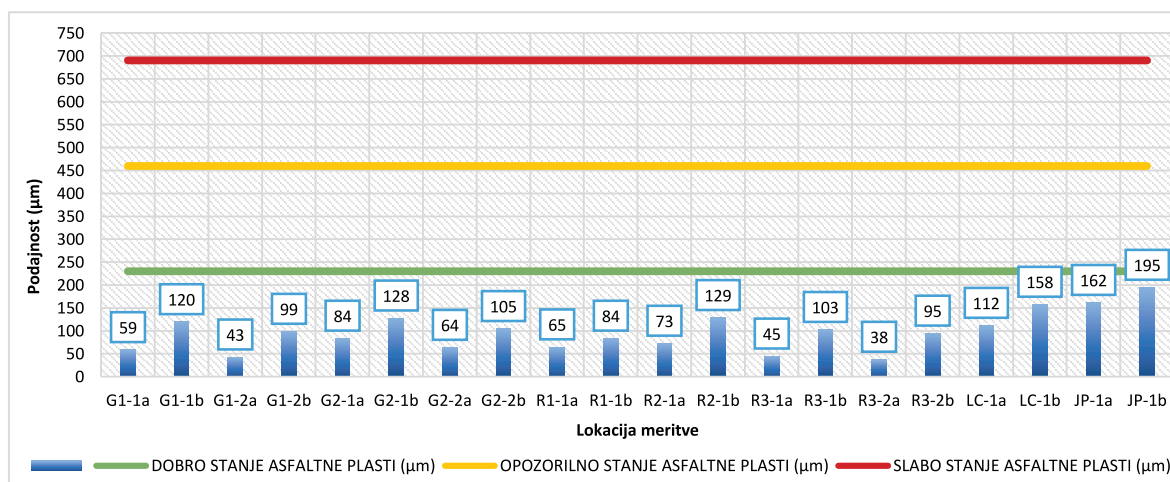
Slika 12. Vrednosti podajnosti za parameter $D_0(T)$ (μm) med posameznimi lokacijami meritev za opise stanja pri simulaciji obremenitve 50 kN na kolo.



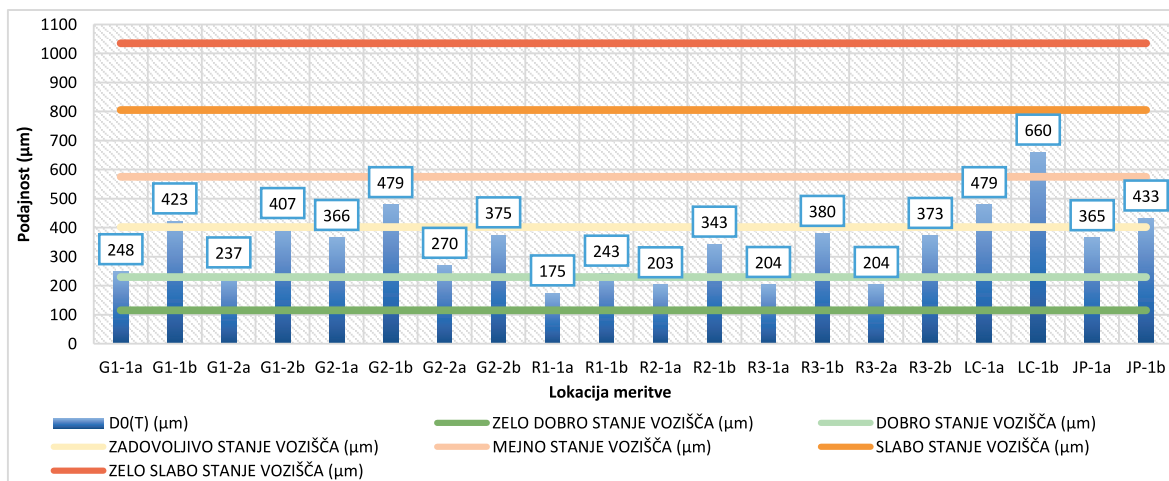
Slika 13. Vrednosti podajnosti za parameter SCI_{300} (µm) med posameznimi lokacijami meritev za opise stanja pri simulaciji obremenitve 50 kN na kolo.



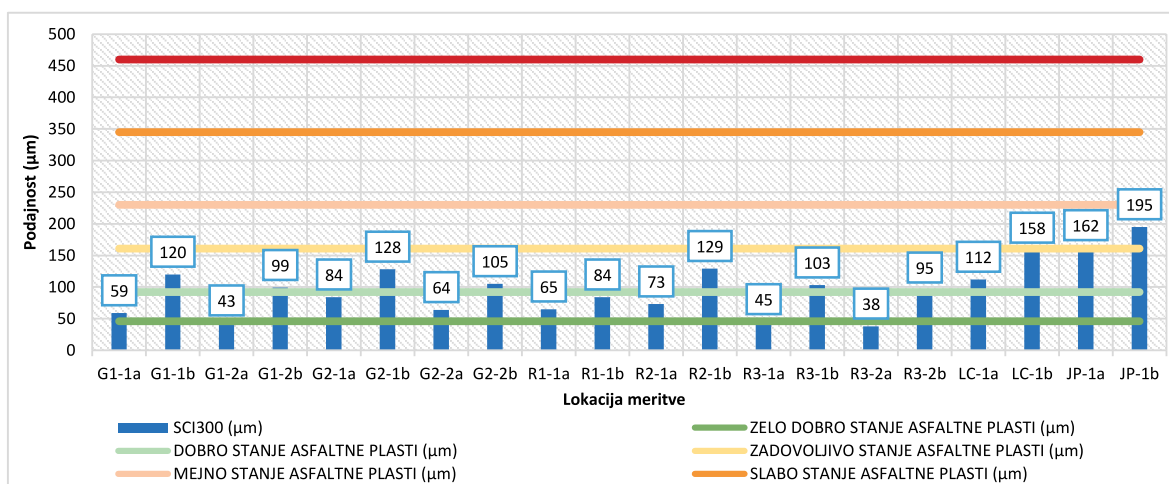
Slika 14. Vrednosti podajnosti za parameter $BDI/MLI (D_{300}-D_{600})$ (µm) med posameznimi lokacijami meritev za opise stanja pri simulaciji obremenitve 50 kN na kolo.



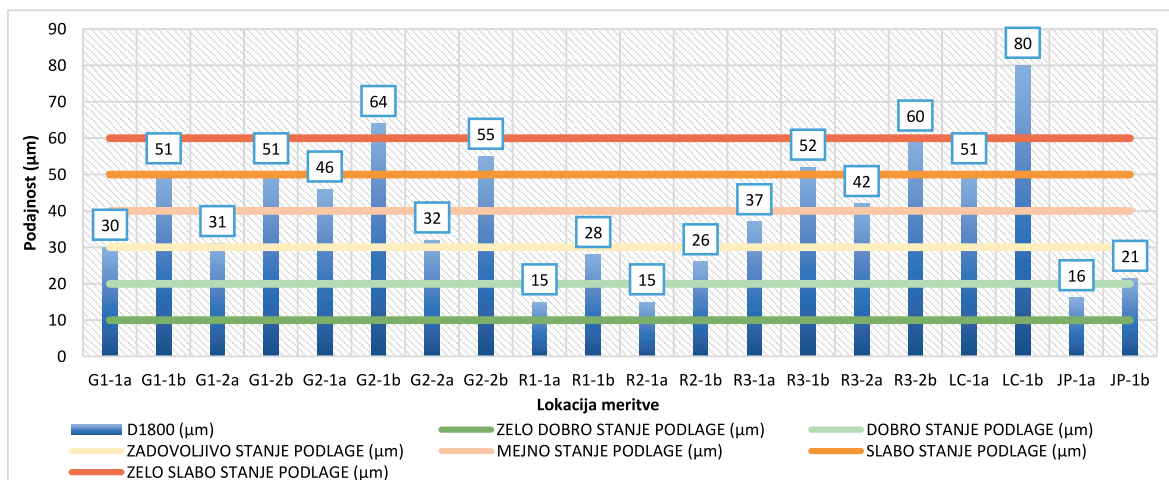
Slika 15. Vrednosti podajnosti za parameter $BCI/LLI (D_{600}-D_{900})$ (µm) med posameznimi lokacijami meritev za opise stanja pri simulaciji obremenitve 50 kN na kolo.



Slika 16. Vrednosti podajnosti za parameter $D_0(T)$ (μm) na osnovi irskih smernic med posameznimi lokacijami meritev za opise pri simulaciji obremenitve 50 kN na kolo.



Slika 17. Vrednosti podajnosti za parameter SCI_{300} (μm) na osnovi irskih smernic med posameznimi lokacijami meritev za opise pri simulaciji obremenitve 50 kN na kolo.



Slika 18. Vrednosti podajnosti za parameter D_{1800} (μm) med posameznimi lokacijami meritev za opise pri simulaciji obremenitve 50 kN na kolo.

Pri interpretaciji meritev podajnosti je treba pojasniti, da višje vrednosti parametrov predstavljajo slabše stanje voziščne konstrukcije in obratno. Po uporabi »južnoafriške« metodologije prihaja do precejšnjega odstopanja pri vrednostih podajnosti v primerjavi z meritvami, ki smo jih dobili na naših obravnavanih odsekih (slike 12–15). Meje parametrov po »južnoafriški« metodologiji so zastavljene previsoko. Po naših izkušnjah meritev podajnosti je parameter $D_0(T)$ (μm) z opisom zadovoljivo stanje bolj primeren za opis slabo stanje. Ocenjujemo, da je omenjena metodologija primernejša za uporabo na cestah, ki je dimenzionirana za manjše prometne obremenitve (regionalno turistične in lokalne ceste, javne poti, gradbiščne ceste itd.). Sledila je obravna podatkov meritev podajnosti po posameznih parametrih na osnovi irskih smernic. Primerjalna lestvica z razredi posameznih parametrov prikazuje približek rezultatom meritev, ki jih dobivamo v praksi oz. na terenu (slike 16–18). Vrednosti podajnosti za parameter D_{1800} (μm) se v veliki meri ujemajo z našim trenutnim vrednotenjem, tako da ne bo potrebnih večjih sprememb. Po pregledu vrednosti podajnosti po parametru $D_0(T)$ (μm) bomo morali meje posameznih razredov prestaviti višje, saj so trenutne vrednosti podajnosti bolj primerne za avtoceste, kjer je drugačna sestava voziščne konstrukcije.

6 SKLEP

Vse več upravljavcev prometne infrastrukture uporablja neporušne metode za preverjanje oz. ocenjevanje stanja nosilnosti voziščnih konstrukcij. Pri tem je govor o letališki infrastrukturi ter cestni infrastrukturi (javne ceste različnih kategorij). Vsaka od naštetih infrastruktur ima svoje specifičnosti zaradi različnih vgrajenih materialov v voziščne konstrukcije (beton, bitumen ali cement v stabilizirani nosilni plasti, reciklirani materiali, lomljeni kamen) in potrebuje posebno obravnavo. V raziskavo smo zajeli različne odseke cest, na katerih izvajamo meritve na mrežnem in občasno tudi projektnem nivoju. Za omenjene ceste nimamo ocenjevalne lestvice stanja voziščne konstrukcije po surovih podatkih podajnostih, kar včasih predstavlja oteženo delo pri interpretaciji rezultatov meritev. V ta namen smo v raziskavi uporabili dva pristopa ocenjevanja stanja voziščnih konstrukcij, in sicer na osnovi irskih smernic in po »južnoafriški« metodologiji. Prvo smo prilagodili ocenjevalno lestvico, ki temelji po »južnoafriški« metodologiji (preglednica 10) in prikazuje oceno stanja vozišča pri simulaciji obremenitve 50 kN kolo. Ugotovljeno je bilo, da vrednosti podajnosti po posameznem razredu dosegajo opise stanja vozišča za kategorijo cest z nižjimi prometnimi obremenitvami (regionalne ceste tretjega reda ali turistične ceste) ali ceste v upravljanju občin (lokalne ceste in javne poti). Sledila je prilagoditev ocenjevalne lestvice, ki temelji na osnovi irskih smernic, na simuliranje prometne obremenitve 50 kN na kolo. Vrednosti podajnosti, ki so zajete v preglednicah 8 in 9, predstavljajo približek vrednostim podajnosti, ki jih dobimo pri meritvah nosilnosti v Sloveniji na omrežju državnih cest. Po primerjavi obeh ocenjevalnih lestvic po vrednostih podajnosti za posamezni opisani razred je bilo ugotovljeno, da bi lahko z ustrezno prilagoditvijo obe lestvici združili v eno. S tem bi dobili eno primerjalno lestvico za več parametrov in imeli več kazalnikov stanja voziščne konstrukcije ter širšo uporabnost.

Poleg pokazateljev stanja voziščne konstrukcije po surovih podatkih podajnosti smo v preglednici 7 prikazali še parameter $AREA$ (mm), debelinski indeks SN_{eff} in kalifornijski indeks nosilnosti CBR (%) (v nadaljevanju: CBR) po metodi Jameson in AASHTO. Parameter $AREA$ je skupaj z vrednostmi DO (μm) zajet v preglednici 3 in odraža stanje med voziščno konstrukcijo in podlago. Če pogledamo tipične vrednosti za oba parametra v preglednici 3, lahko ugotovimo, da so meje vrednosti podajnosti po parametru DO (μm) za asfaltna (za debelejša od 200 mm) in betonska vozišča precej visoke. Ostale tri vrste tipov vozišč iz preglednice 3 pa bi lahko uporabili na malo prometnih cestah, kjer imamo šibke voziščne konstrukcije.

Debelinski indeks SN_{eff} in CBR (%) sta namenjena za preveritev obstoječega stanja voziščne konstrukcije. Po pregledu meritev je vidno, da so tam, kjer imamo togo podlago, vrednosti indeksa CBR (%) visoke in obratno, pri vmesnih rezultatih pa lahko pride do večjih odstopanj. V našem primeru sta bila omenjena indikatorja izračunana zgolj za predstavitev možnosti uporabe surovih podatkov meritev podajnosti. Oba indikatorja običajno interpretiramo skupaj s porušnimi preiskavami (razkopi in vrtinami) in z rezultati laboratorijskih testov.

Nadaljnje bomo naredili dodatne raziskave z meritvami nosilnosti na odsekih, ki bodo predmet rekonstrukcij, novogradenj in obnov. S tem bomo zadostili pogoju o dovolj kakovostnih vhodnih podatkih glede vgrajenih materialov in debelinah plasti, številu meritev in zelene voziščne konstrukcije (t. i. testno polje). Ostale odseke bomo izbrali glede na geografsko lego, kategorijo ceste in glede na prometne obremenitve.

Natančneje bo treba razdelati tudi posamezne razrede z opisi in podajnostmi znotraj ocenjevalnih lestvic ter narediti primerjavo med ostalimi kazalniki stanja voziščnih konstrukcij (izračunanimi moduli elastičnosti posameznih plasti in posledično tudi PŽD).

7 LITERATURA

AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures, Spletna stran portala AASHTO Structure, Strategic Plan and More – <https://habib00ugm.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf>, American Association of State Highway and Transportation Officials, datum vpogleda 1. 11. 2022, 2022.

Borecky, V., Haburaj, F., Artagan, S. S., & Routil, L. Analysis of GPR and FWD data dependency based on road test field surveys. *Materials Evaluation*, 77(2), 214–225, 2019.

Bateman, D., Carswell, I., Caudwell, L., James, D., Ferne, B., Meitei, B., Jones, C., Practical verification of the theory behind long-life asphalt pavements, 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Prague, 2016.

Deblois, K., Bilodeau, J. P., Doré, G. Use of falling weight deflectionometer time history data for the analysis of seasonal variation in pavement response. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37, 1224–1231. 10.1139/L10-069, 2010

Horak, E., Benchmarking the structural condition of flexible pavements with deflection bowl parameters, *Journal of the South African Institution of Civil Engineers*, 50, 1-9, 2008.

Jameson, G., Development of procedures to predict structural number and subgrade strength from falling weight deflectometer deflections. ARRB Transport Research, Vermont, South Victoria, 1993.

Jamnik, J., Lipoglavšek, B., Bajec, J., Marinko, B., Cezar, J., Žmavc, J., Podgoršek, F., Stock, T., Prosen, J., Meritve nosilnosti voziščnih konstrukcij z deflektometrom s padajočo utežjo (FWD – Falling Weight Deflectometer) kot osnova za dimenzioniranje obstoječih voziščnih konstrukcij, Razvojno raziskovalni projekt, Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste (DRSC), 2000.

Jurgele, M., Želodec, D., Deflektometer s padajočo utežjo – princip delovanja in primeri uporabe v praksi, 14. Slovenski kongres o prometu in prometni infrastrukturi, Portorož, 2018.

Kovačič, B., Želodec, D., Doler, D. Prototype of the Runway Monitoring Process at Smaller Airports: Edvard Rusjan Airport Maribor, *Processes*, 8(12). doi: 10.3390/pr8121689, 2020.

Pavement Interactive, Spletna stran portala Pavement Interactive - <https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-management/pavement-evaluation/fwd-area-parameter/>, Pavement Interactive - free online knowledge base for the paving industry, datum vpogleda 1. 11. 2022, 2022.

Pierce, L., Bruinsma, J., Smith, K. D., Wade, M., Chatti, K., Vandenbossche, J., Using Falling Weight Deflectometer Data With Mechanistic-Empirical Design and Analysis, Volume III: Guidelines for Deflection Testing, Analysis, and Interpretation, Final Report October 2006–December 2010, Federal Highway Administration, 2017.

Roberts, J., Michel, N., Paine, D. STEP: A New Estimation of Flexible Pavement Configuration & Remaining Structural Life, *Road and Transport Research* Vol. 15 No. 4, 2006.

SADC, Guideline on Low-Volume Sealed Roads, Spletna stran portala gTKP - <https://www.gtkp.com/assets/uploads/20100103-131139-9347-SADC%20Guideline-Part2.pdf>, The Global Transport Knowledge Partnership (gTKP), datum vpogleda 1. 11. 2022, 2022.

TII, Guidelines for the Use of the Falling Weight Deflectometer in Ireland, Transport Infrastructure Ireland, 2000.

TSC 06.520:2009, Projektiranje dimenzioniranje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij, Ljubljana: Ministrstvo za promet, Direkcija republike Slovenije za ceste, 2009.

Želodec, D., Jurgele, M., Poročilo o meritvah podajnosti in analizah nosilnosti voziščnih konstrukcij na omrežju avtocest, Poročilo projektne ravni meritev, Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji (DARS), d. d., 2015.

Želodec, D., Poročilo o meritvah podajnosti in analizah nosilnosti voziščnih konstrukcij na omrežju državnih cest v upravljanju DRSI, Redno letno poročilo meritev mrežne ravni, Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo (DRSI), 2020.

33. MIŠIČEV VODARSKI DAN – izzivi za vodarsko stroko

Mišičev vodarski dan je priložnost za predstavitev strokovnih spoznanj, projektov in praktičnih primerov izvedbe na področju urejanja in upravljanja voda.

Organizatorji si prizadevamo, da z izborom tematike sledimo aktualnim dogajanjem in stanju na področju vodarstva. Poskušamo izpostaviti probleme in strokovne nedorečenosti kot izhodišča za pripravo referatov in v pričakovanju izboljšanja stanja v vodarstvu.

Tudi letošnje razpisane teme so bile namenjene prikazu stanja in problematike, ki bi jo morali strokovno obvladovati pri celostnem načrtovanju urejanja in upravljanja voda. V skladu z evropskimi direktivami smo v Sloveniji izdelali Načrte upravljanja voda za porečje Donave in Jadranskega morja in jih tudi periodično noveliramo. Izdelana je načelna strategija upravljanja na nivoju celotne države. Nesprejemljivo pa je, da nimamo z načelnimi usmeritvami usklajenih in izdelanih podrobnejših načrtov upravljanja po posameznih porečjih.

Druga razpisana tema je bila namenjena pomanjkanju regulative oziroma **tehničnih smernic za načrtovanje urejanja vodotokov**. Januarja 2022 so bile objavljene Splošne smernice s področja upravljanja voda. V prilogi 6 so podane usmeritve za načrtovanje ureditev na vodnih in priobalnih zemljiščih z vidika preprečevanja poslabšanja ekološkega stanja. Še vedno pa ni izdelanih tehničnih smernic ali normativov, ki bi načrtovalcem določale enotne kriterije in načine izvajanja posegov v vodni režim in vodno okolje.

Tretja tema posveta je podajala izhodišča za razmišljanje o **problematiki kvalitete vode in sedimentov v slovenskih rekah**. Pri urejanju in vzdrževanju strug vodotokov je običajno potrebno odstranjevanje naplavin, pri širitvah struge so potrebni izkopi zemljin, kar je v primeru onesnaženosti sedimentov zahtevna naloga, povezana z velikimi stroški. Rezultati monitoringa kvalitete vode v slovenskih rekah ne nakazujejo doseganja ciljev v NUV. Kaj so razlogi za slabo mikrobiološko stanje vode reke Drave in nekaterih drugih rek kljub izgrajenosti komunalnih čistilnih naprav na porečju?

Četrta tema s predstavitvijo **aktualnih projektov s področja upravljanja in urejanja voda** je stalnica Mišičevih vodarskih dni. Izmenjava informacij o aktivnostih, izkušnjah in znanjih je predstavljala bistvo priprave prispevkov v zadnjem sklopu posveta.

Na razpisane teme smo prejeli 22 strokovnih prispevkov, ki so objavljeni v tiskanem zborniku in na spletni strani organizatorja.

Posveta, ki so ga poleg organizatorjev VGB MARIBOR, d. o. o., in VGP DRAVA Ptuj, d. o. o., soorganizirali MOP, DRSV in IZS, se je udeležilo 278 udeležencev, svečani nagovor je podal minister za okolje in prostor g. Uroš Brežan.



Slika 1. Svečan nagovor ministra za okolje in prostor – g. Uroš Brežan.



Slika 2. Udeleženci 33. Mišičevega vodarskega dne v dvorani Narodnega doma v Mariboru.

Na predvečer Mišičevega vodarskega dne je bila organizirana okrogla miza na temo **Hidrološke podlage – pomen sistemske verifikacije hidroloških količin**. Organizator je ocenil, da

je na temo, ki je bila sicer predmet lanskega posveta, smiselno izvesti poglobljeno diskusijo. Okrogle mize se je udeležilo 30 vabljenih strokovnjakov, ki se ukvarjajo s hidrologijo.



Slika 3. Uvodni govor predsednika organizacijskega odbora MVD – mag. Smiljan Juvan.

Letošnje leto je nazorno pokazalo, kakšni vodni ekstremi postajajo tudi kot posledica podnebnih sprememb, neustrezne rabe prostora in posegov v vodni režim naša vsakdanjost. V veliki meri je možno z umnim upravljanjem voda posledice vodnih ekstremov omiliti, kar je pomembna naloga in odgovornost vodarjev. Na Mišičevih dnevih poskušamo izpostaviti najaktualnejše probleme, z upanjem, da bomo aktivnosti usmerili v pravo smer.

In to sta poslanstvo in namen našega vsakoletnega posveta in strokovnega druženja.

**Predsednik organizacijskega odbora MVD
mag. Smiljan Juvan, univ. dipl. inž. grad.**

FOTOREPORTAŽA GRADNJA TRETJE RAZVOJNE OSI NA ODSEKU VELENJE- SLOVENJ GRADEC, SKLOP F - JENINA



Slika 1. Pogled vzdolž gradbišča viadukta Jenina, september 2022 (Foto: DARS, d. d.).

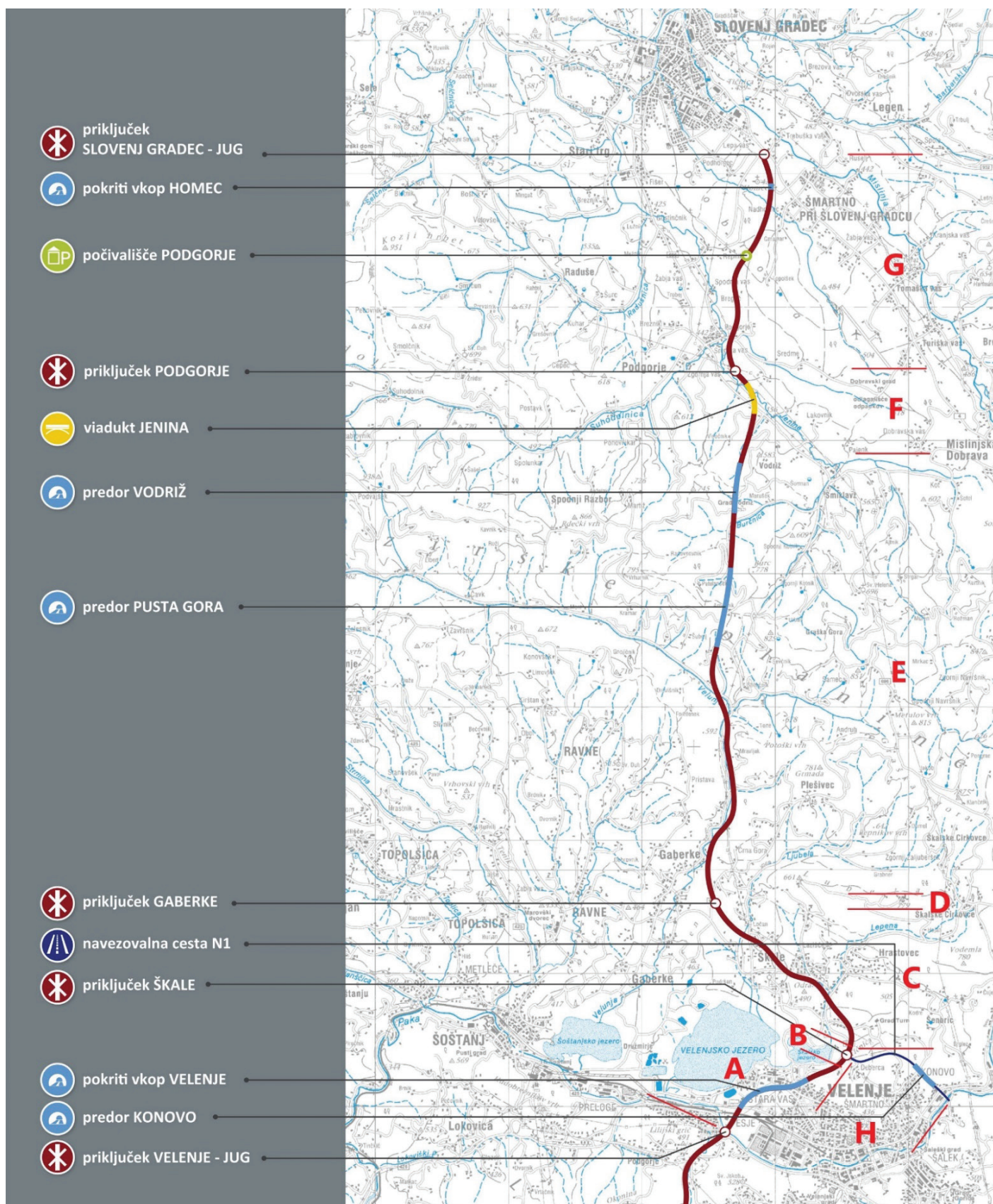
Lokacija: Podgorje pri Slovenj Gradcu

Investitor: Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji (DARS, d. d.)

Projektant: JV LINEAL, d. o. o., + BPI, d. o. o., + IRGO CONSULTING, d. o. o.

Izvajalec: J. V. POMGRAD, d. d., + GORENJSKA GRADBENA DRUŽBA, d. d., + GARNOL, d. o. o., + VOC Celje, d. o. o.

Pogodbena vrednost: 37.389.469,62 EUR brez DDV



Slika 2. Prikaz poteka trase tretje razvojne osi med Velenjem in Slovenj Gradcem s prikazanimi sklopi, DARS, d. d.

Sklop F - Jenina je prvi sklop tretje razvojne osi na odseku od priključka Velenje jug do priključka Slovenj Gradec jug, na katerem so se pričela dela na koroškem delu tretje razvojne osi. Po podpisu pogodbe je izvajalec dela pričel v avgustu 2021.

V okviru sklopa F - Jenina hitra cesta poteka od km 12+370,0 do km 13+521,0. Začetek območja se začne z globokim vkopom na severni strani predora Vodriž (op. predhodni sklop E - Velunja). Predvidena je izvedba zavarovanja vkopne brežine z opornimi konstrukcijami. Trasa hitre ceste v vkopu poteka v spustu z naklonom 5,12 % in preide na viadukt Visočnik. Na levi strani na začetku viadukta Visočnik je načrtovana podporna konstrukcija. Trasa v nadaljevanju poteka v globokem vkopu pod kmetijo Visočnik, zato je na levi strani predvidena oporna konstrukcija. Pred priključkom Podgorje (op. sklop G - Podgorje je zadnji sklop od osmih med Velenjem in Slovenj Gradcem) hitra cesta z viaduktom Jenina prečka dolino Jenine na višini povprečno 15 m. Pod viaduktom je predvidena regulacija potoka Jenina. Preko potoka Jenina je v okviru navezave priključka Podgorje do obstoječe regionalne ceste načrtovan tudi most Jenina.



Slika 3. Dela v delavnici, narivni postaji, viadukta Jenina, september 2022 (Foto: DARS, d. d.).

Na sklopu F - Jenina se izvajajo trije premostitveni objekti, viadukta Jenina in Visočnik ter most Jenina, ter več podpornih in opornih konstrukcij. Viadukt Jenina sestavljata dva objekta, dolžina levega objekta znaša 477,30 m, desnega pa 474,18 m. Gradnja se izvaja po sistemu postopnega narivanja. Temeljenje objekta je globoko na pilotih premera 150 cm. Viadukt Visočnik prav tako sestavljata dva objekta, dolžina levega objekta znaša 288,50 m, desnega pa 255,20 m. Gradnja se izvaja na odru, polje za poljem. Temeljenje objekta je pri nekaterih podporah globoko na pilotih premera 120 cm, pri ostalih pa plitvo na temeljnih blazinah z zaščito izkopov z vodnjaki. Most Jenina se nahaja na priključku Podgorje in prečka manjši potok Jenina. Dolžina mostu je 8,60 m. Največja oporna konstrukcija na sklopu je 10-OK-40. Gre za sidrano branasto konstrukcijo iz vertikalnih slopov in horizontalnih gred v treh etažah. Višina konstrukcije presega 33 m.



Slika 4. Armatura temeljne blazine stebra viadukta Jenina, julij 2022 (Foto: DARS, d. d.).



Slika 5. Armatura temelja delavnice viadukta Jenina, avgust 2022 (Foto: DARS, d. d.).



Slika 6. Pogled vzdolž gradbišča viadukta Višočnik, september 2022 (Foto: DARS, d. d.).



Slika 7. Podkonstrukcija 1. in 2. polja viadukta Višočnik, september 2022 (Foto: DARS, d. d.).



Slika 8. Stabilizacija brežine s sidranjem delnih prstanov za izvedbo plitvega temelja stebra viadukta Višočnik, april 2022 (Foto: DARS, d. d.).



Slika 9. Izvedba krajnih opornikov mosta Jenina, marec 2022 (Foto: DARS, d. d.).

Pri gradnji sklopa F - Jenina bodo nastali presežki vezljive zemljine ter presežki nevezljive zemljine in kamnine. Vezljiva zemljina se bo trajno odlagala na lokaciji presežkov izkopnih materialov v Premogovniku Velenje, nevezljive zemljine in kamnine pa se bodo začasno odlagale na lokacijah v območju priključka Podgorje v sklopu G ter se po predhodni obdelavi (drobljenje) uporabile pri gradnji sklopa G. Pri gradnji predmetnega sklopa bo vgrajenega več kot 38.000 m³ cementnega betona in več kot 5100 ton armaturnega železa.

Izvedba sklopa F - Jenina bo omogočala dostop do napadnega mesta za izkop predora Vodriž s severne strani (predhodni sklop E - Velunja). Za ta čas gradnje bo trasa sklopa F služila za transportno pot.



Slika 10. Detajl ojačitve grede z armaturnim železom na mestu sidrišča oporne konstrukcije 10_OK-40.



Slika 11. Betoniranje vertikalnega slopa na zgornji etaži oporne konstrukcije 10_OK-40, september 2022 (Foto: DARS, d. d.).



Slika 12. Drobljenje izkopanega materiala pred transportom na začasno odlagališče v območju priključka Podgorje na sklopu G, september 2022 (Foto: DARS, d. d.).

Avtor: Luka Mozetič, DARS, d. d.

FOTOREPORTAŽA GRADNJA BRVI LOKA-KANDIJA



Slika 1. Povezana oba bregova reke Krke, začetek oktobra 2022 (foto: Danilo Malnar).

Lokacija: Loka-Kandija Novo mesto

Naročnik: Mestna občina Novo mesto

Projektant: JV Ponting inženirski biro, d. o. o., in Pipenbaher inženirji, d. o. o.

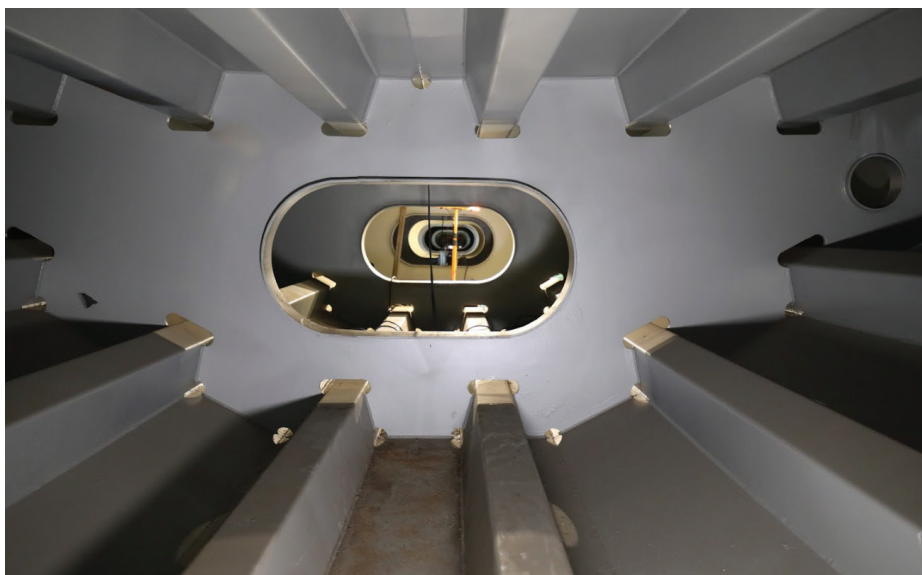
Inženir: Projekt, d. d.

Izvajalec: CGP, d. d.

Pogodbena vrednost gradbenih del: 2,15 mio. EUR brez DDV (objekt sofinancira Evropski kohezijski sklad)

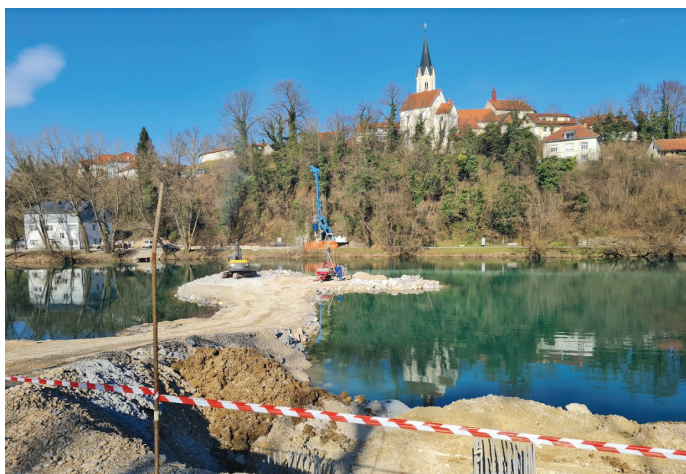
Most na kolesarski povezavi Loka-Kandija čez reko Krko je zasnovan kot kontinuirana okvirna konstrukcija preko dveh polj statičnih razponov 57,0 m. Njegova skupna dolžina do konca opornikov znaša 116,5 m. Prekladno konstrukcijo sestavlja nizek jekleni škatlasti nosilec širine 4,30 m in višine 1,50 m. Poteka v plitvi konveksni zaokrožitvi s temenom nad srednjo podporo. Na obeh koncih je škatlasti nosilec preko lončnih ležišč položen na krajna opornika, v sredini reke pa na hidrodinamično oblikovan steber eliptične oblike. Na tem mestu se most razširi v majhen trikotni trg s pogledom proti Kapitlju. Razširitev je izvedena s prečnimi konzolami, ki so navarjene na jekleno škatlasto konstrukcijo in so dolžin od 0,75 do 3,0 m. Skupna teža jeklene konstrukcije je 190 ton. Objekt je temeljen s 7 betonskimi piloti premera 120 cm in dolžine do 9 m.

Jekleni škatlasti nosilec je izveden iz pločevin debeline od 12 do 25 mm, s prečniki debeline 20 mm, ki so postavljeni na vzdolžnem razmaku 3,50 m. Za preprečevanje lokalnih uklonov pločevin so v notranjosti škatle izvedene trapezne ojačitve dimenzij 250/125/200 cm in debeline od 6 do 8 mm. Na jekleni pohodni konstrukciji se bo izvedla epoksidna protidrсна obloga ustrezne debeline.



Slika 2. Pogled v notranjost jeklenega škatlastega nosilca, oktober 2022 (foto: Karol Žužek).

Izvajalec je pripravljala dela pričel lani novembra. Dostop do srednje podpore se je omogočil z delovnim nasipom v reko Krko (slika 3). Tam so se najprej izvedle dodatne geološke raziskave. Na osnovi teh so se prilagodili načrti za temeljenje objekta srednjega stebra. Na začasnem nasipu so se vgradile jeklene zagatnice dolžine od 6 do 8 m, izvedla sta se razpiranje in izkop (slika 4). Pri tem je bilo treba zagotoviti črpanje vode iz grabbene jame. Pri izvedbi zahtevnih zemeljskih del se je ves čas zagotavljala zaščita naravnega okoliša.



Slika 3. Izvedba geotehničnih preiskav srednje podpore in pilotiranje, februar in marec 2022 (foto: Danilo Malnar).



Slika 4. Izvedba srednjega stebra, maj 2022 (foto: Danilo Malnar).

Vzporedno s pripravo temeljne konstrukcije objekta, izgradnje krajnih opornikov in stebra so se začele priprave za izvedbo jeklene štaklastega nosilca kot prekladne konstrukcije. Sestavljen je iz segmentov dolžine do 14 m in največje dvižne teže 41,4 tone. Segmenti so bili izdelani v proizvodnji v Dolenjih Ponikvah, osnovni jekleni material pa je bil dobavljen iz Makedonije. Na osnovi izbrane tehnologije montaže mostu so se pripravili detajlnejši izvedbeni načrti, nato je v mesecu juniju stekla proizvodnja.

Montaža jeklene prekladne konstrukcije se je pričela v avgustu (slika 5) in je bila zaključena oktobra (slika 11). Antikorozijska zaščita mostu je bila delno izvedena že v proizvodnji in delno na delovišču.



Slika 5. Montirani prvi trije segmenti in rečni promet med gradnjo (foto: Danilo Malnar).



Slika 6. Montaža prvih segmentov, avgust 2022 (foto: Karol Žužek).



Slika 7. Izreden prevoz segmentov dolžine 14 m na delovišče preko mestnega jedra na levi breg reke Krke, september 2022 (foto: Danilo Malnar).



Slika 8 in 9. Montaža segmentov z dvema 220-tonskima avtodvigaloma proti levemu bregu reke Krke, september 2022 (foto: Danilo Malnar).



Slika 10. Brv iz ptičje perspektive, september 2022 (foto: Ponting, d. d.).

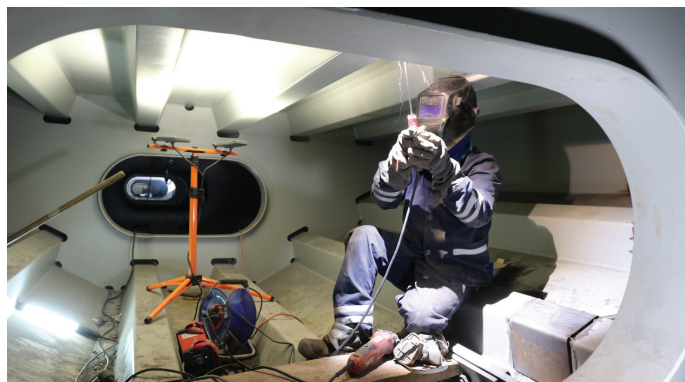


Slika 11. Montaža segmentov na desnem bregu reke Krke, začetek oktobra 2022 (foto: Danilo Malnar).

Jeklena škatlasta konstrukcija je velik izziv za izvajalca jeklene konstrukcije, ker je veliko varjenja v proizvodnji z razmeroma tankimi pločevinami. Ob sami montaži je bila potrebna velika pazljivost pri sestavljanju, da se je sledilo potrebni tehnološki liniji, da bo objekt na koncu dobil svojo pravo obliko.



Slika 12 in 13. Varjenje v mostni konstrukciji (foto: Karol Žužek).



Po izvedbi glavne mostne konstrukcije sledi še ureditev priključka na regionalno cesto in ureditev dostopnih ramp na Zupančičevem sprehajališču.

Avtor: Danilo Malnar, CGP, d. d.

NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

I. STOPNJA – VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Tilen Gorza, Inšpekcijski pregled križišča na državni cesti Petrovci - Martjanci in predlogi za izboljšanje prometne varnosti, mentor doc. dr. Peter Lipar, somentor viš. pred. dr. Robert Rijavec;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=142217>

Matej Gorenjc, Uporaba IKT pri organizaciji, upravljanju in nadzoru gradbišča, mentor prof. dr. Žiga Turk;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=142216>

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

Maruša Strmec, Predlog smernic za umirjanje prometa, mentor doc. dr. Peter Lipar, somentor viš. pred. dr. Robert Rijavec;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=141780>

Martina Rojko, Projektiranje lesenega razglednega stolpa na Javorniku nad Črnim Vrhom, mentor doc. dr. Jože Lopatič, somentorja doc. dr. Bojan Čas in Klara Pirmanšek;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=142315>

Miha Remec, Potresni odziv pravokotnih armiranobetonskih sten povezanih s ploščami, mentorica prof. dr. Tatjana Isaković, somentor asist. Antonio Janevski;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=141783>

Luka Naumovski, Nelinearna statična analiza večetažne stavbe iz križno lepljenega lesa, mentor doc. dr. Matija Gams, somentor Boris Azinovič;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=142314>

III. STOPNJA – DOKTORSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRAJENO OKOLJE

Barbara Fortuna, Računsko in eksperimentalno določanje nosilnosti lameliranih lepljenih nosilcev iz bukovega lesa, mentor izr. prof. dr. Simon Schnabl, somentor prof. dr. Goran Turk;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=142010>

NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

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

I. STOPNJA – VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Andrej Cvikl, Računska analiza jeklene strešne konstrukcije, mentor doc. dr. Tomaž Žula, somentorja asist. dr. Mateja Držečnik in doc. dr. Simon Šilih;
<https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=83247&lang=slv>

Dani Milošič, Tehnološki proces grajenja in terminsko planiranje rekonstrukcije ceste Zg. Ščavnica - Dražen vrh, mentor prof. dr. Uroš Klanšek;
<https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=83083>

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

6.-8.12.2022

2nd EAGE/SEG Workshop on Geophysical Aspects of Smart Cities
Hong Kong, Kitajska
<https://seg.org/SmartCityHongKong2022>

4.-6.4.2023

S.ARCH BERLIN – 10th International Conference on Architecture and Built Environment
Berlin, Nemčija
www.s-arch.net/s-arch-berlin

22.-23.5.2023

SMARTINCS'23 - Conference on Self-Healing, Multifunctional and Advanced Repair Technologies in Cementitious Systems
Gent, Belgija
<https://smartincs.ugent.be/index.php/conference>

29.-31.5.2023

15th International Conference Underground Construction Prague 2023
Praga, Češka
www.ucprague.com/

7.-9.6.2023

17DECGE – 17th Danube - European Conference on Geotechnical Engineering
Bukarešta, Romunija
<https://17decge.ro/>

25.-28.6.2023

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

26.-28.6.2023

NUMGE 2023 - 10th European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering
London, Anglija
www.issmge.org/events/numge-2023

20.-23.8.2023

INTER-NOISE 2023 — 52nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering
Čiba, Japonska
<https://internoise2023.org>

3.-6.9.2023

IS-PORTO 2023 - 8th International Symposium on Deformation Characteristics of Geomaterials
Porto, Portugalska
<https://web.fe.up.pt/~is-porto2023/>

17.-21.9.2023

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

28.-30.9.2023

11th International Conference on Auditorium Acoustics 2023
Atene, Crčija
<https://auditorium2023.org/>

14.-17.11.2023

WLF6 - 6th World Landslide Forum
Firence, Italija
<https://wlf6.org/>

20.-22.11.2023

CREST 2023 — 2nd International Conference on Construction Resources for Environmentally Sustainable Technologies
Fukuoka, Japonska
www.ic-crest.com

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