





## Izdajatelj:

**Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS)**, Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Javne agencije za raziskovalno dejavnost RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani in Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

## Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**  
**prof. dr. Matjaž Mikoš**  
**Jakob Presečnik**  
**Dušan Jukič**  
 MSG IZS: **Gorazd Humar**  
**mag. Črtomir Remec**  
**doc. dr. Branko Zadnik**  
 FGG Ljubljana: **izr. prof. dr. Marijan Žura**  
 FG Maribor: **doc. dr. Milan Kuhta**  
 ZAG: **akad. prof. dr. Miha Tomažević**

## Glavni in odgovorni urednik:

**prof. dr. Janez Duhovnik**

## Lektor:

**Jan Grabnar**

## Lektorica angleških povzetkov:

**Darja Okorn**

## Tajnica:

**Eva Okorn**

## Oblikovalska zasnova:

**Mateja Goršič**

## Tehnično urejanje, prelom in tisk:

**Kočevski tisk**

## Naklada:

**3550 izvodov**

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

<http://www.zveza-dgits.si>

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 23,16 EUR; za študente in upokojenca 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 všteta DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:  
 SI56 0201 7001 5398 955

# Gradbeni vestnik • GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774  
 Ljubljana, april 2014, letnik 63, str. 81-108

## 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. Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavlja 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: janez.duhovnik@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

stran **82**

doc. dr. Franc Sinur, univ. dipl. inž. grad.

prof. dr. Darko Beg, univ. dipl. inž. grad.

### **TESTI NA VZDOLŽNO OJAČANIH NOSILCIH V OBMOČJU INTERAKCIJE STRIGA IN UPOGIBA**

TESTS ON STIFFENED PLATE GIRDERS SUBJECTED  
TO MOMENT – SHEAR INTERACTION

stran **94**

izr. prof. dr. Bojana Dolinar, univ. dipl. inž. geol.

### **SUSPENDIRANI SEDIMENTI V REKI DRAVI**

SUSPENDED SEDIMENTS IN THE DRAVA RIVER

stran **101**

mag. Matej Dobovšek, univ. dipl. inž. prom.

### **ODVIJANJE PROMETA NA REKONSTRUIRANEM KRŽIŠČU ULICE PARIŠKE KOMUNE IN LJUBLJANSKE ULICE V MARIBORU**

TRAFFIC PROGRESSION ANALYSIS IN RECONSTRUCTED  
INTERSECTION OF STREETS PARIŠKE KOMUNE AND LJUBLJANSKA  
IN THE CITY OF MARIBOR



## Vabilo

stran **100**

Skupščina ZDGITS

## Popravek

stran **100**

## Ponudba IZS

stran **108**

**KNJIGA LJUBLJANSKA INŽENIRSKA ZBORNICA 1919–44  
20 % spomladanski popust!**

## Novi diplomanti

Eva Okorn

## Koledar prireditev

Eva Okorn

Slika na naslovnici: Preskus polnostenskega nosilca (L=11,16 m, H=1,5 m)  
v laboratoriju UL FGG, foto Franc Sinur

# TESTI NA VZDOLŽNO OJAČANIH NOSILCIH V OBMOČJU INTERAKCIJE STRIGA IN UPOGIBA

## TESTS ON STIFFENED PLATE GIRDERS SUBJECTED TO MOMENT – SHEAR INTERACTION

doc. dr. Franc Sinur, univ. dipl. inž. grad.

franc.sinur@fgg.uni-lj.si

prof. dr. Darko Beg, univ. dipl. inž. grad.

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

Znanstveni članek

UDK 006.77:624.072.2

**Povzetek** | V prispevku je obravnavana interakcija upogibnega momenta in strižne sile v polnostenskih nosilcih. Za ta namen so bili opravljene štiri teste vzdolžno in prečno ojačanih polnostenskih nosilcev v naravni velikosti. V vzdolžni smeri je bila stojina v območju tlačene cone ojačena z odprtimi ali zaprtimi ojačitvami. V članku so predstavljeni rezultati meritve začetnih geometrijskih nepopolnosti panelov in zaostalih napetosti. Podrobno je analizirano globalno in lokalno obnašanje obravnavanih nosilcev v času obremenjevanja. Rezultati, pridobljeni na podlagi eksperimentalnih testov, so bili uporabljeni za ovrednotenje numeričnega modela, ki je bil uporabljen za obsežno parametrično študijo.

Ključne besede: tankostenski nosilci, vzdolžne ojačitve, testi, numerični model, interakcija moment–strig, SIST EN 1993-1-5

**Summary** | The results of four full-scale tests on plate girders stiffened with transverse and longitudinal stiffeners subjected to the interaction of high bending moment and shear force are presented and discussed. In longitudinal direction, the web was stiffened with open or closed stiffeners positioned in the compression zone. Detailed information on initial geometric imperfection and residual stresses are given. The experimental results were used to verify the numerical model. The resistance is compared with the reduced stress method and the effective width method given in EN 1993-1-5.

Key words: plated girders, longitudinal stiffeners, tests, numerical model, moment-shear interaction, EN 1993-1-5

### 1 • UVOD

Jeklene tankostenske nosilce običajno sestavljajo kompaktne pasnice in vitke stojine, ki so ojačene z nizom prečnih in vzdolžnih ojačitev. Nosilci se zaradi velike upogibne nosilnosti v veliki meri uporabljajo za premostitev velikih razdalj, najpogosteje v mostogradnji. Nadvmesnimi podporami kontinuiranega nosilca

je stojina nosilca podvržena velikim upogibnim momentom in strižnim silam. V primeru nespremenljive geometrije nosilca je območje nad podporo kritično mesto za določitev potrebnih dimenzij nosilca.

Računski model interakcije upogibnega momenta in prečne sile (v nadaljevanju M-V),

ki zajema postkritično nosilnost pločevine, je prvič predlagal Basler ((Basler, 1960), (Basler, 1961a), (Basler, 1961b)). Ob predpostavki, da je strižna nosilnost le funkcija stojine, je največja nosilnost dosežena v trenutku, ko v natezni diagonali, ki se formira v stojini, dosežemo napetost na meji tečenja. Strižna nosilnost stojine je neodvisna od upogibnega momenta, vse dokler lahko upogibni moment prevzame pasnici. Ko temu pogoju ni zadoščeno, je treba strižno nosilnost stojine



ustrezno zmanjšati. Model nosilnosti, ki ga je predlagal Basler, je bil razvit za vzdolžno neojačane nosilce. Kasnejši predlagani modeli nosilnosti so bili osnovani na Baslerjevem modelu, pri čemer so spreminjali postkritično strižno odpornost in interakcijski model. Modeli so opisani v (Herzog, 1974), (Porter, 1975), (Bergfelt, 1973), (Ostapenko, 1971), (Škaloud, 1972), (Höglund, 1971a), (Höglund, 1971b), (Höglund, 1973), (Fujii, 1971a) in (Fujii, 1971b). Le tri metode od predlaganih za določitev mejne nosilnosti so obravnavale tankostenske nosilce, ojačane z vzdolžnimi ojačitvami, vse preostale metode pa so bile razvite za vzdolžno neojačane nosilce.

V literaturi lahko zasledimo veliko število opravljenih testov na tankostenskih nosilcih. Večina testov je bila opravljena zunaj območja M-V-interakcije. Testi, ki so bili izvedeni znotraj M-V-interakcije, so zbrani v preglednici 1. Stojine nosilcev, na katerih sta teste izvedla Schueller in Ostapenko (Schueller, 1970), so bile ojačane z obojestransko vzdolžno ojačitvijo. Ojačitev je bila dimenzionirana tako, da je preprečevala globalni uklon celotnega panela. V (Evans, 1986) in (PWRI, 1987) so opisali teste na tankostenskih nosilcih, kjer je bila stojina ojačena z enostransko ojačitvijo v območju velikih tlačnih napetosti. Pri vseh petih testih so poleg lokalnega izbočenja opazili tudi globalno izbočenje panela, kar je posledica uklona vzdolžne ojačitve.

Test	a (mm)	h <sub>w</sub> (mm)	t <sub>w</sub> (mm)	b <sub>t</sub> (mm)	t <sub>t</sub> (mm)	M <sub>exp./M<sub>th.</sub></sub>	V <sub>exp./V<sub>th.</sub></sub>
Schueller & Ostapenko, 1970							
UG 5.2	1397	1217	3.02	254	19.20	1.05	1.05
UG 5.3	1778	1217	3.02	254	19.20	1.21	1.21
UG 5.4	2159	1217	4.65	254	19.20	1.19	1.19
UG 5.5	1016	1217	4.65	254	19.20	1.02	1.02
Evans, 1986							
PB1	750	1008	4.40	300	15.10	0.93	1.11
PA1	750	1008	3.83	300	15.10	1.03	1.03
Public Work Research Institute, 1987							
C-26	1000	1650	4.73	250	12.12	1.03	1.03
C-27	1000	1650	4.73	250	12.12	1.04	1.04
C-28	1000	1650	4.73	250	12.12	1.00	1.00

Preglednica 1 • Eksperimentalni testi na vzdolžno ojačanih nosilcih, ki so obremenjeni z velikim upogibnim momentom in prečno silo

Računski model M-V-interakcije, podan v SIST EN 1993-1-5 (CEN, 2006), je osnovan na Baslerjevem modelu. Na osnovi eksperimentalnih testov in numeričnih simulacij sta Veljković in Johansson (Veljković, 2001) preverila podani model in ugotovila, da je za vzdolžno neojačane nosilce ustrezen. Kljub temu da smo v literaturi zasledili teste na vzdolžno

ojačanih nosilcih, smo zaradi pomanjkljivosti podatkov, ki so potrebni za ovrednotenje numeričnega modela, opravili štiri teste na vzdolžno ojačanih polnostenskih nosilcih v območju M-V-interakcije. Z rezultati testov in numeričnimi simulacijami bomo lahko ocenili ustreznost predlaganega modela tudi za vzdolžno ojačane nosilce.

## 2 • TEST

Cilj testov je raziskati obnašanje vzdolžno ojačanih panelov, ki so obremenjeni z velikimi normalnimi in strižnimi napetostmi. Podrobni rezultati, ki smo jih pridobili med raziskavo, pa bodo nadalje uporabljeni za zasnovno in ovrednotenje numeričnega modela.

Testi so bili izvedeni na dveh nosilcih, ki sta bila ojačena s prečnimi in vzdolžnimi ojačitvami. Na vsakem nosilcu smo opravili dva testa. Nosilca sta imela različen osnovni prečni prerez; prvi je bil simetričen, drugi pa nesimetričen, kjer je bila natezna pasnica dvakrat večja od pasnice v tlaku z namenom povečanja območja tlačnih napetosti v vzdolžno ojačani stojini. Razmerje stranic panelov za vzdolžno ojačani stojini z odprtimi ojačitvami je bilo enako 1, za panela, ojačana z zaprtimi ojačitvami, pa 1,5. Vmesne prečne ojačitve, ki so nosilec ločile v več panelov, so bile dimenzionirane kot toge

prečne ojačitve, ki preprečujejo kakršnokoli interakcijo med sosednjima paneloma. Kriteriju nosilnosti in togosti, podanem v EN 1993-1-5, smo zadostili z uporabo računskega modela, ki je podan v (Johansson, 2007) in (Beg, 2010). Dolžina nosilca je bila določena tako, da smo v testnem panelu dobili ustrezen nivo prečne sile in upogibnega momenta. Upogibna togost vzdolžnih ojačitev je bila določena iz pogoja, da je strižna nosilnost vzdolžno ojačanega panela večja od strižne nosilnosti širšega podpanela. Pri vseh testih so bile vzdolžne ojačitve locirane v tlačenem delu stojine. Takšna pozicija ojačitve poveča strižno in upogibno nosilnost panela. Osnovni parametri testnih nosilcev so:

- Simetričen prerez, ojačan z odprto ojačitvijo (SO)  
 $h_w/t_w = 214, \alpha = 1,0, \gamma = 41,55$

- Simetričen prerez, ojačan z zaprto ojačitvijo (SC)

$$h_w/t_w = 214, \alpha = 1,5, \gamma = 95,76$$

- Nesimetričen prerez, ojačan z dvema odprtima ojačitvama (UO)

$$h_w/t_w = 300, \alpha = 1,0, \gamma = 52,12$$

- Nesimetričen prerez, ojačan z zaprto ojačitvijo (UC)

$$h_w/t_w = 300, \alpha = 1,5, \gamma = 137,1$$

Relativna togost vzdolžne ojačitve je bila določena z naslednjim izrazom:

$$\gamma = \frac{I_{st}}{I_p} \quad (1)$$

kjer  $I_p$  predstavlja vztrajnostni moment pločevine in  $I_{st}$  vztrajnostni moment ojačitve, upoštevajoč sodelujoči del stojine.

### 2.1 Opis testnih nosilcev

Nosilca dolžine 11,160 m in 11,325 m sta prikazana na sliki 1. Teste smo izvedli na štirih označenih panelih (SO, SC, UO, UC).

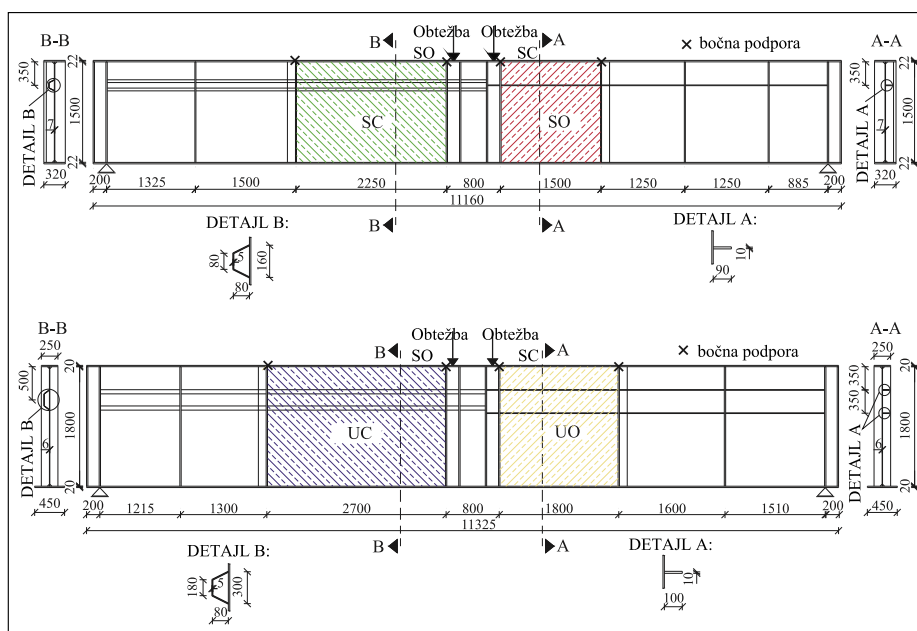
Višina simetričnega nosilca je bila 1544 mm, nesimetričnega pa 1840 mm. Debelina stojine simetričnega nosilca je bila v območju testnih panelov 7 mm, zunaj območja pa 8 mm. Vertikalni zvar med obema stojinama je bil izveden 120 mm od roba prečne ojačitve. Na obeh panelih (SO in SC) je bila vzdolžna ojačitev locirana v območju tlačnih napetosti. Težišče vzdolžne ojačitve je bilo oddaljeno 350 mm od notranjega roba tlačne pasnice. Pasnici nosilca dimenzij 320 × 22 mm sta bili kompaktni. Vmesne enostranske prečne ojačitve so bile dimenzij 120 × 15 mm. Na mestu vnosa koncentrirane sile in na mestu podpiranja je nosilec ojačen z dvostranskimi prečnimi ojačitvami dimenzij 156 × 20 mm. Z dodatnimi prečnimi ojačitvami na prostih robovih nosilca smo zagotovili ustrezno sidranje natezних diagonal.

Nesimetrični nosilec sestavljajo stojini debeline 6 mm in 7 mm, vzdolžni odprti ojačitvi 100 × 10 mm, pozicionirani v območju tlačnih napetosti 350 mm in 700 mm od roba pasnice, ter zaprta ojačitev debeline 5 mm, ki je prav tako locirana v območju tlačnih napetosti 500 mm od roba pasnice. Vmesne enostranske prečne ojačitve so dimenzij 122 × 20 mm. Pasnici sta prav tako kompaktni, dimenzij 250 × 20 mm in 450 × 20 mm. Da smo lahko izvedli dva neodvisna testa, smo osrednji del stojine med obema testnima paneloma ojačali s pločevino debeline 7 mm.

## 2.2 Material

Nosilci so bili izdelani iz osmih različnih pločevin z nominalno napetostjo tečenja 355 MPa. Za določitev dejanskih materialnih karakteristik smo iz vsake pločevine izdelali tri natezne epruvete v skladu s (CEN, 2004). Na dveh epruvetah smo izvedli standardni natezni test, na tretji pa modificiran natezni test, kjer smo dobili statične vrednosti napetosti tečenja. Statično napetost tečenja potrebujemo za numerično simulacijo testa. S tem izločimo morebiten vpliv hitrosti naraščanja deformacij na odziv nosilca. Da dobimo statični odziv, test opravljamo v korakih s postanki.

Modificirani natezni test je v elastičnem območju enak standardni proceduri. Ko dosežemo deformacijo, ki je enaka 2- do 5-kratni deformaciji na meji tečenja, ustavimo naraščanje deformacije in počakamo toliko časa, da se sila umiri. Običajno postanek traja 5 minut; v tem času se sila umiri. Test nadaljujemo s standardno hitrostjo in ga ponovno ustavimo, da odčitamo statično vrednost. To še nekajkrat ponovimo in tako dobimo



Slika 1 • Geometrija testnih nosilcev

Pločevina	$R_{p,0.2}$ Napetost tečenja (MPa)	$R_m$ Natezna trdnost (MPa)	$f_u/f_y$	Povprečna redukcija of $R_{p,0.2}$ (%)	Statična napetost tečenja (MPa)
5 mm	385	539	1,40	7,19	357
6 mm	405	539	1,33		376
7 mm	391	561	1,44		363
8 mm	399	552	1,38		371
10 mm	395	542	1,37		367
15 mm	369	520	1,41		342
20 mm	375	543	1,45		348
22 mm	354	536	1,52		328

Preglednica 2 • Rezultati natezних testov



Slika 2 • Pogled na testni nosilec v preizkuševalnem okvirju

statično krivuljo odziva napetost–deformacija. V preglednici 2 so zbrane mehanske lastnosti uporabljenih jeklenih pločevin na podlagi treh nateznih testov. Napetost na meji tečenja in natezna trdnost sta bili določeni na podlagi srednje vrednosti treh meritev. Statična vrednost meje tečenja pa je bila določena kot povprečna redukcija napetosti, določena z modificiranimi nateznimi testi. Za namen numeričnega modeliranja smo dejansko krivuljo napetost–deformacija opisali s poligonalno krivuljo.

### 2.3 Postopek preizkušanja

Testi so bili izvedeni kot tritočkovni upogibni testi (slika 2). Obe podpori sta omogočali prost zasuk kot tudi pomik v vzdolžni smeri nosilca. Silo smo vnašali s hidravličnim batom s kapaciteto 3000 kN, pri čemer smo nadzorovali vnos pomika. Zgornji tlačeni pas nosilca je bil bočno podprt tako, da je bila bočna zvrnitev popolnoma preprečena.

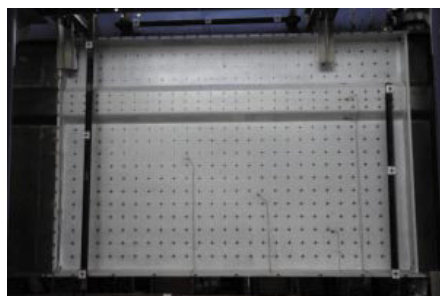
Nosilec smo najprej predobremenili do približno 15 % računsko predvidene nosilnosti. Predobremenitev je služila predvsem kontroli vseh testnih instrumentov. Po razbremenitvi je sledil test, ki smo ga izvajali v korakih. Hitrost obremenjevanja je bila omejena na 0,05 mm/s v elastičnem področju in 0,10 mm/s v plastičnem področju. V elastičnem področju je bil obtežni korak enak 5 mm, s postanki, ki so trajali 60 s, v plastičnem pa 10 mm, s postanki, ki so trajali vsaj 300 s.

### 2.4 Meritve

Med testom smo merili deformacije, pomike in silo v hidravličnem batu. Deformacije v pasnicah, prečnih ojačitvah in vzdolžnih ojačitvah smo merili z merilnimi lističi. Z uporabnimi merilniki smo spremljali razvoj vertikalnih in horizontalnih pomikov. Pomike zunaj ravnine smo z merilniki pomikov merili le v nekaj točkah. Za spremljanje razvoja pomikov celotnega polja smo uporabili fotogrametrično metodo. Pomike smo merili v točkah, označenih s križi (slika 3a). Oddaljenost točk v obeh smereh je enaka 100 mm. Za ta namen smo uporabili tri digitalne kamere, postavljene tako, da med seboj tvorijo kot vsaj 30° (slika 3b).

### 2.5 Začetne nepopolnosti

Začetne nepopolnosti imajo lahko velik vpliv na obnašanje in odpornost vitkih konstrukcijskih elementov, zato je pomembno pridobiti informacijo o dejanski začetni geometriji nosilca ter o razporeditvi zaostalih napetosti v prerezu. Tako smo določili globalne začetne nepopolnosti celotnega nosilca ter lokalne ne-

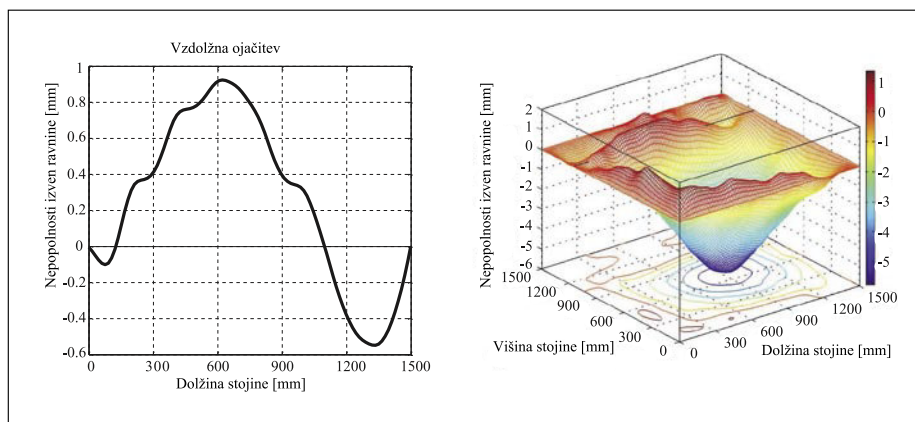


a) Panel, označen s križi



b) Pozicija digitalnih kamer Canon EOS 5D

Slika 3 • Priprava testnih panelov za merjenje deformacij zunaj ravnine s fotogrametrično metodo



Slika 4 • Izmerjene začetne nepopolnosti v panelu SO

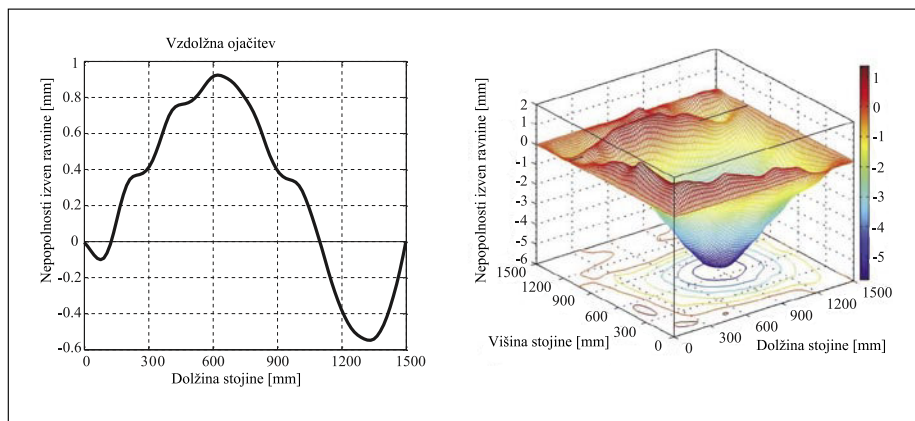
popolnosti v testnih panelih. Izmerili smo tudi zaostale napetosti v nesimetričnem nosilcu z metodo razreza. Meritve so bile opravljene v drugem panelu (od leve podpore), kjer so bile med testom prisotne le elastične deformacije.

#### 2.5.1 Geometrijske nepopolnosti panelov

V vseh štirih panelih so bile začetne nepopolnosti izmerjene v točkah z mrežo 100 × 100 mm. Koordinate točk so bile določene z digitalno linearno transformacijo.

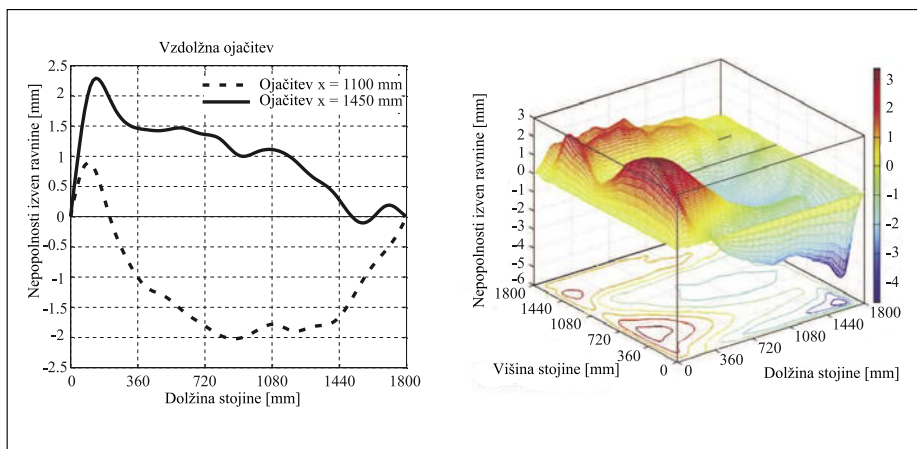
Z uporabo funkcije griddata v programu MATLAB (Matlab, 2007) smo podatke interpolirali na mrežo 10 × 10 mm.

Začetne nepopolnosti za panel SO so prikazane na sliki 4. Na levem diagramu so prikazane nepopolnosti vzdolž ojačitve. Največja amplituda nepopolnosti zunaj ravnine je 0,92 mm, kar predstavlja 24,5 % dovoljene tolerance, ki jo določa EN 1090-2 (CEN, 2008). V obeh podpanelih lahko opazimo nepopolnost v enem valu z največjo amplitudo 5,75 mm v širšem podpanelu. Na robovih in

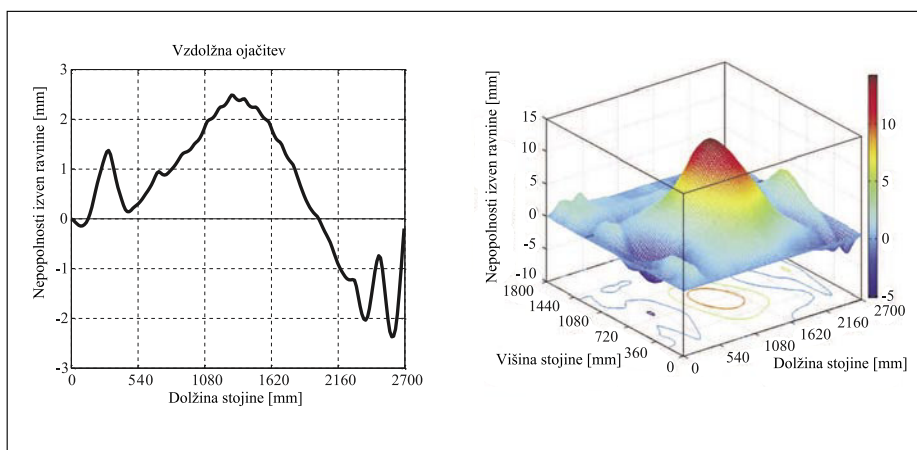


Slika 5 • Izmerjene začetne nepopolnosti v panelu SC





Slika 6 • Izmerjene začetne nepopolnosti v panelu UO



Slika 7 • Izmerjene začetne nepopolnosti v panelu UC

		Izmerjeno	Toleranca	0,8 × Toleranca	Izmerjeno/ Toleranca
SO	Ojačitev	0,92 mm	$a/400 = 3,75$ mm	3,00 mm	0,245
	Širši podpanel	- 5,75 mm	$b/100 = 11,5$ mm	9,20 mm	0,500
SC	Ojačitev	1,49 mm	$a/400 = 5,63$ mm	4,50 mm	0,164
	Širši podpanel	- 5,79 mm	$b/100 = 10,7$ mm	8,56 mm	0,537
	Ožji podpanel	1,85 mm	$b/100 = 2,70$ mm	2,16 mm	0,685
UO	Ojačitev	2,29 mm	$a/400 = 4,50$ mm	3,60 mm	0,509
	Širši podpanel	- 4,67 mm	$b/100 = 11,0$ mm	8,56 mm	0,425
	Ožji podpanel	2,51 mm	$b/100 = 3,50$ mm	2,80 mm	0,717
UC	Ojačitev	2,49 mm	$a/400 = 6,75$ mm	5,40 mm	0,369
	Širši podpanel	14,27 mm	$b/100 = 11,5$ mm	9,20 mm	1,241
	Ožji podpanel	- 3,08 mm	$b/100 = 3,50$ mm	2,80 mm	0,880

Preglednica 3 • Primerjava izmerjenih amplitud z dovoljenimi tolerancami iz EN 1090-2

v območju vzdolžne ojačitve so amplitude nepopolnosti relativno majhne.

Začetne nepopolnosti za panel SC so prikazane na sliki 5. Oblika nepopolnosti je povsem podobna obliki nepopolnosti v panelu SO z največjo amplitudo nepopolnosti 5,79 mm na sredini višine širšega podpanela. Največja amplituda nepopolnosti v ožjem podpanelu je 1,85 mm, izmerjena v levem zgornjem vogalu pločevine. Pločevina je v območju vzdolžne ojačitve bolj ali manj ravna. Na levem diagramu je prikazana nepopolnost vzdolžne ojačitve z največjo amplitudo nepopolnosti 1,49 mm.

Na sliki 6 je prikazana začetna geometrija panela UO, ki je ojačen z dvema odprtima vzdolžnima ojačitvama. V tem primeru opazimo največje amplitude nepopolnosti v območju prečnih ojačitev. V vzdolžni smeri lahko opazimo začetno nepopolnost v S-obliki z največjo in najmanjšo amplitudo 3,36 mm oz. -4,67 mm. Nepopolnosti vzdolžnih ojačitev sta prikazani na levem diagramu. Polna črta predstavlja obliko nepopolnosti zgornje ojačitve, prekinjena pa obliko nepopolnosti spodnje ojačitve. Največja amplituda nepopolnosti je 2,29 mm. V podpanelu je največja nepopolnost enaka 2,51 mm.

Geometrijske nepopolnosti panela UC so prikazane na sliki 7. V vseh prejšnjih primerih je bila geometrijska nepopolnost posledica izdelave nosilca. V tem panelu pa je nepopolnost tudi posledica predhodnega testa na panelu UO. Razvile so se plastične deformacije, ki ne dopuščajo povrnitve v prvotno stanje. Posledično so bile amplitude nepopolnosti bistveno večje kot v prejšnjih primerih. Največjo amplitudo nepopolnosti smo izmerili v širšem podpanelu, in sicer 14,27 mm. V ožjem podpanelu je bila amplituda enaka -3,08 mm. Vzdolžna ojačitev je ostala v času izvedbe testa na panelu UO bolj ali manj ravna. Izmerjena nepopolnost je imela amplitudo 2,49 mm.

V preglednici 3 je prikazana primerjava med izmerjenimi nepopolnostmi in tolerancami, ki jih podaja EN 1090-2. Za prve tri panele so amplitude nepopolnosti vedno pod dovoljenimi vrednostmi, medtem ko je v primeru panela UC začetna nepopolnost večja za 24 % glede na tolerance. Zaradi postkritične nosilnosti to nima večjega vpliva na odpornost podpanela.

## 2.5.2 Zaostale napetosti

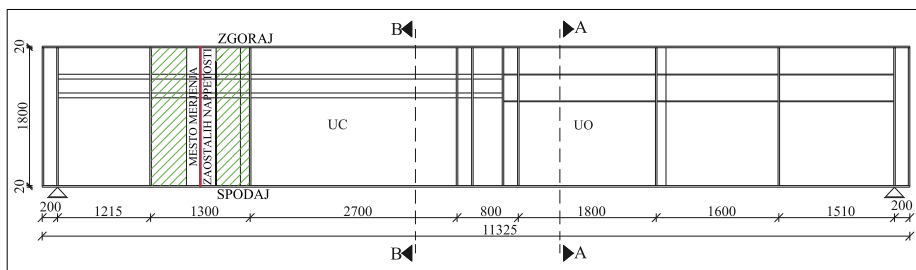
Posledica varjenja pločevin so zaostale napetosti in geometrijske nepopolnosti. Magnituda in razporeditev zaostalih napetosti po



prerezu polnostenskih nosilcev so odvisne od tehnologije varjenja in od togosti varjenih pločevin. Z večanjem vitkosti varjenih pločevin pričakujemo večje geometrijske nepopolnosti in manjše zaostale napetosti. V literaturi lahko zasledimo veliko rezultatov merjenja zaostalih napetosti za kompaktne varjene ali vročevaljane nosilce, medtem ko ni mogoče zaslediti rezultatov za ojačane polnostenske nosilce v naravni velikosti. Na delu nosilca (slika 8), ki ni bil izpostavljen velikim upogibnim obremenitvam, smo z metodo razreza določili zaostale napetosti po prerezu nesimetričnega nosilca. Merilni lističi deformacij so bili nameščeni na obe strani stojine in zgornje pasnice. Merili smo le vzdolžne zaostale napetosti, ki najbolj vplivajo na obnašanje nosilca. Pozicije merilnih lističev so razvidne s slike 9. Z abrazivnim vodnim razrezom smo nosilec najprej prerezali po višini, potem pa ob vsakem merilnem lističu še v vzdolžni smeri v dolžini 50 mm.

Potek zaostalih napetosti v stojini in pasnici nosilca je prikazan na sliki 10. Kot pričakovano – v območju zvarov lahko opazimo velike natezne napetosti, v preostalem delu pa manjše vrednosti tlačnih napetosti. Največja membranska napetost 246 MPa je bila izmerjena 15 mm od roba spodnje pasnice. Povprečne tlačne napetosti v ožjem podpanelu so enake 40,60 MPa, kar predstavlja 10,25 % izmerjene napetosti na meji tečenja. V širšem podpanelu pa so povprečne tlačne napetosti znašale 7,89 MPa, kar predstavlja 2 % izmerjene napetosti tečenja.

V pasnici smo natezne napetosti izmerili v območju zvara ( $x = 0$ ) kot tudi na prostem robu pločevine. Natezne zaostale napetosti na robu pločevine so posledica obdelave pločevine (rezanje). Največja membranska napetost v pasnici, določena z ekstrapolacijo izmerjenih napetosti, je na sredini pločevine znašala 38,55 MPa, kar predstavlja 10,23 % izmerjene napetosti tečenja. Zaostale napetosti v nosilcu so v primerjavi s standardnimi vročevaljanimi nosilci oz. kompaktnimi varjenimi nosilci relativno nizke. Razlog za tako nizke zaostale napetosti sta majhen vnos energije glede na celoten prezek nosilca (relativno majhen prezek zvarov) ter vitkost elementov. Slednji vpliva na to, ali bodo v konstrukcijskem elementu prisotne večje zaostale napetosti in manjše geometrijske nepopolnosti ali nasprotno. Iz rezultatov lahko opazimo, da so zaostale tlačne napetosti bistveno večje v primeru bolj kompaktnih prerezov (ožji podpanel) in manjše pri vitkih prerezih (širši podpanel). Ravno tako lahko



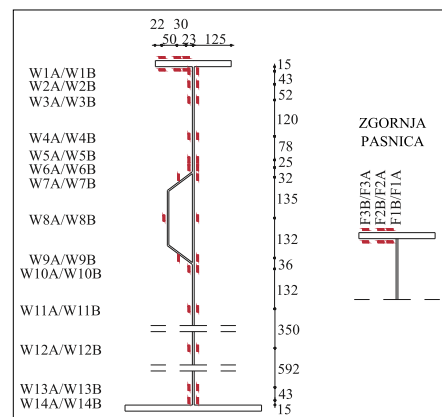
Slika 8 • Pozicija izvedbe meritve zaostalih napetosti v nesimetričnem prerezu

opazimo, da so geometrijske nepopolnosti večje v širšem podpanelu, ki je bistveno bolj vitek kot ožji podpanel.

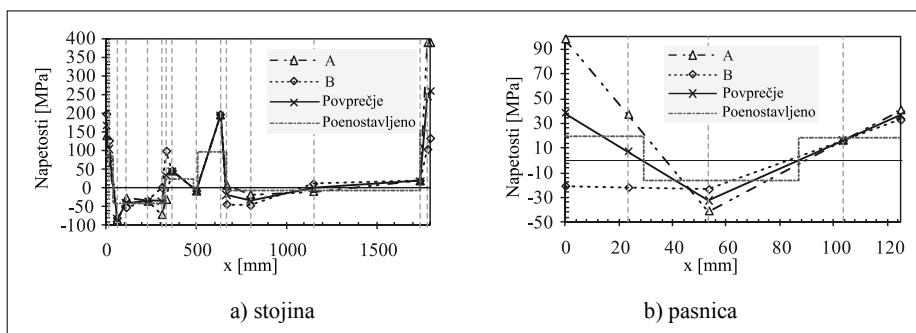
Zaključimo lahko, da togost pločevin vpliva na amplitudo zaostalih napetosti in geometrijskih nepopolnosti. Zaradi varjenja lahko v tankostenskih nosilcih pričakujemo relativno velike geometrijske nepopolnosti in manjše zaostale napetosti, ki nimajo bistvenega vpliva na obnašanje takšnih elementov (Sinur, 2010).

## 2.6 Rezultati testov

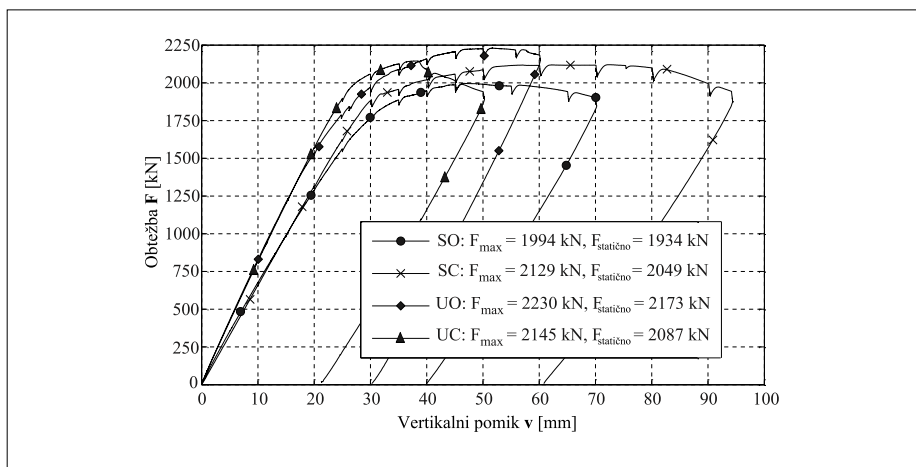
Na sliki 11 so prikazane krivulje sila–pomik za vse štiri opravljene teste. Največjo nosilnost je izkazoval nesimetričen nosilec, ojačan z dvema



Slika 9 • Pozicije merilnih lističev deformacij



Slika 10 • Izmerjene zaostale napetosti



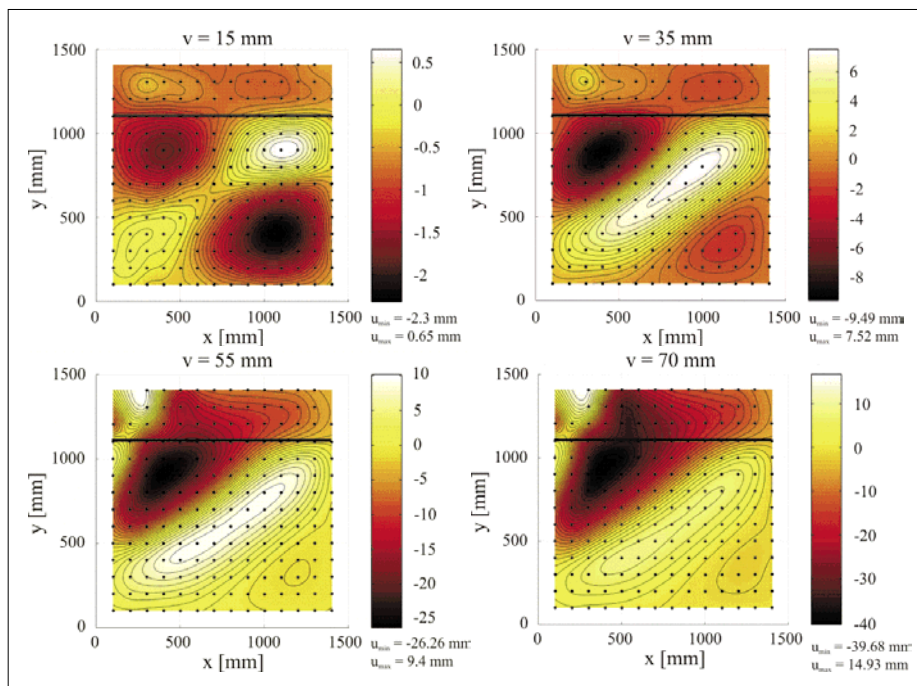
Slika 11 • Krivulje sila–pomik za opravljene teste

odprtima ojačitvama, najmanjšo pa simetričen nosilec, ojačan z eno odprto ojačitvijo. Vsi nosilci so izkazovali linerno-elastičen odziv do visokega nivoja obtežbe. Potem ko je bila zaznana največja nosilnost, je z večanjem pomikov odpornost nosilcev počasi padala. Pri obeh testih na simetričnem nosilcu (SO in SC) in pri testu na nesimetričnem nosilcu UO je padec sile z večanjem pomika majhen. Izkaže se, da lahko takšni nosilci izkazujejo relativno velik plato plastičnih deformacij. Pri drugem testu (UC) na nesimetričnem nosilcu pa lahko opazimo nenaden padec sile, ki je posledica izgube lokalne stabilnosti vzdolžne ojačitve. Ojačitev je bila na meji med 3. in 4. razredom kompaktnosti. Vitkost vzdolžne ojačitve pa vpliva tudi na dolžino plastičnega platoja, ki je v tem primeru bistveno manjša kot v preostalih treh.

### 2.6.1 Obnašanje testnih panelov

Na sliki 12 so prikazani pomiki zunaj ravnine za testni panel SO. Pri vertikalnem pomiku  $v = 5$  mm, kjer je strižna sila v panelu približno enaka elastični kritični sili širšega podpanela ( $F_{cr} = 603$  kN), lahko opazimo tipično strižno izbočenje širšega podpanela. V ožjem podpanelu pa zaradi normalnih tlačnih napetosti, ki so posledica upogibnega momenta, opazimo lokalno izbočenje pločevine, ki je seveda bistveno manj izrazito. Z večanjem obremenitve se oblika izbočenja bistveno ne spreminja, večajo pa se amplitude izbočenja. Spremembo oblike izbočenja lahko opazimo v območju, ko globalni odziv prehaja iz elastičnega območja v plastično, tj. pri vertikalnem pomiku  $v = 35$  mm (slika 11). V tej točki opazimo prehod iz lokalnega izbočenja v globalno, kar pomeni, da pričnejo naraščati tudi pomiki zunaj ravnine na mestu vzdolžne ojačitve. Pri vertikalnem pomiku  $v = 55$  mm je nosilnost nosilca izčrpana in opazimo, da se lokalno izbočenje pločevine razširi čez celoten panel in meja med obema podpaneloma skorajda izgine. Po doseženi največji nosilnosti, pri vertikalnem pomiku  $v = 70$  mm, se oblika izbočenja bolj ali manj ohranja, velikost amplitude pa se veča.

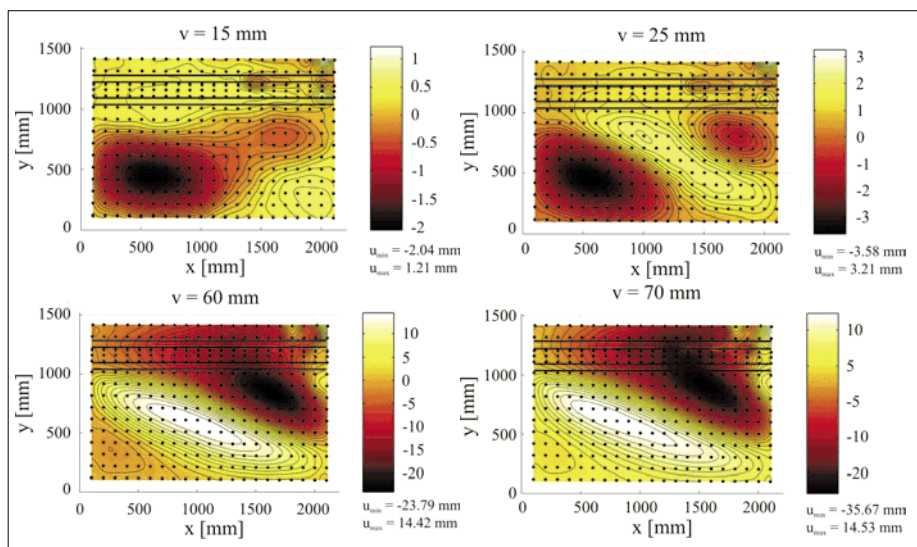
Na naslednji sliki (13) je prikazan razvoj pomikov zunaj ravnine za panel SC. Pri vertikalnem pomiku  $v = 15$  mm, ko je strižna sila še nekoliko manjša od elastične kritične sile večjega podpanela ( $F_{cr} = 591$  kN), že opazimo prve znake strižnega izbočenja v širšem podpanelu. Ko obremenitve v panelu presežejo elastično kritično silo, pričnejo pomiki zunaj ravnine močno naraščati, oblika pa se popolnoma približa značilni strižni izbočitveni obliki



Slika 12 • Razvoj pomikov zunaj ravnine, panel SO

z diagonalno orientacijo valov ( $v = 25$  mm). V elastičnem območju se pomiki zunaj ravnine vzdolž ojačitve bistveno ne spreminjajo. Prav tako ni opaziti lokalnega uklona v ožjem podpanelu zaradi prisotnosti tlačnih napetosti. To je tudi pričakovano, saj je vitkost podpanela  $h_{w1}/t_w = 270/7 = 38,75$  in razmerje napetosti na robovih enako  $\psi = \sigma_{min}/\sigma_{max} = 0,64$ , kar podpanel uvršča v 3. razred kompaktnosti. Z večanjem obremenitev in s približevanjem največji odpornosti nosilca  $v = 60$ – $70$  mm je vzdolžna ojačitev podvržena vse večji tlačni

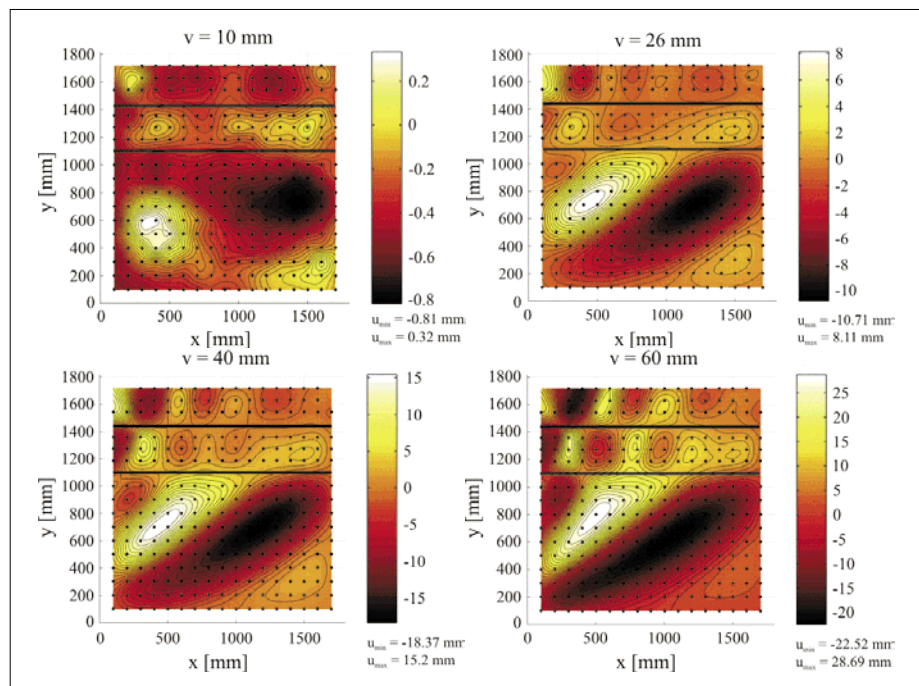
sili, ki je posledica upogibnega momenta v nosilcu. Zaradi večanja sekundarnih vplivov se vzdolžna ojačitev ukloni, kar privede do globalnega izbočenja panela ( $v = 70$  mm). Z večanjem vertikalnega pomika se odpornost nosilca postopoma manjša, medtem ko se amplituda izbočenja povečuje, oblika pa se ohranja. Panel SC izkazuje 5,6 % večjo nosilnost kot panel SO, kljub temu da je računaska nosilnost v skladu z EN 1993-1-5 manjša. Razlog za to je vpliv velike torzijske togosti, ki jo izkazuje zaprta vzdolžna ojačitev.



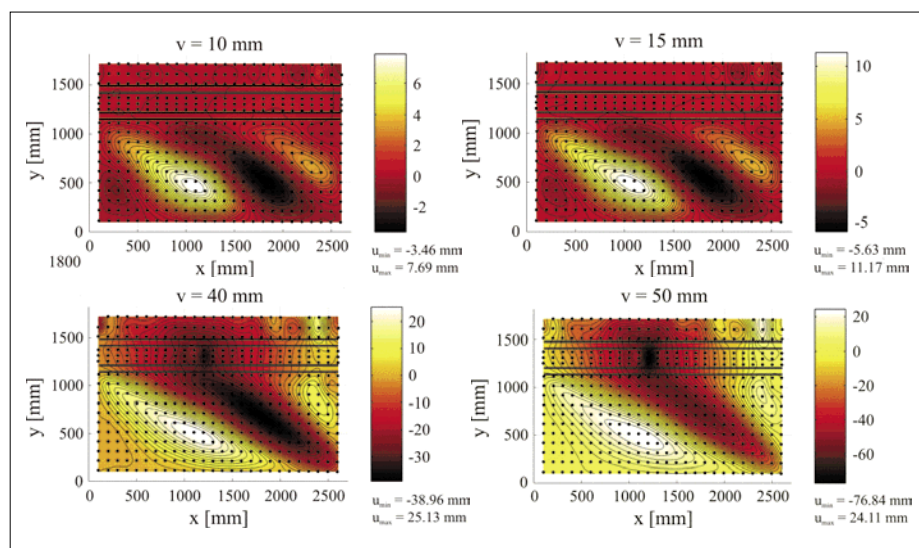
Slika 13 • Razvoj pomikov zunaj ravnine, panel SC

Naslednja dva testa sta bila izvedena na nesimetričnem nosilcu. Rezultati izmerjenih pomikov zunaj ravnine za panel UO pri različnih nivojih obtežbe so prikazani na sliki 14. Deformacija stojine pri sili, manjši od kritične sile ( $F_{cr} = 398$  kN)  $v = 10$  mm, je zelo neizrazita. Z večanjem strižne in posledično upogibne obremenitve v panelu,  $v = 26$  mm, se širši podpanel značilno izboči zaradi strižne obremenitve, pri čemer se v diagonalni smeri formira natezno polje. V obeh ožjih podpanelih pa je izbočnje pretežno lokalno in je posledica normalnih tlačnih napetosti zaradi upogibnega momenta. Amplituda izmenjujočih se valov se z oddaljevanjem od najbolj obremenjenega roba nosilca zmanjšuje. Z večanjem obremenitve se oblika izbočenja ohranja, povečujejo pa se amplitude. Oblika izbočenja se ohranja tudi po doseženi največji odpornosti nosilca. V primerjavi s prejšnjima testoma v tem primeru globalne nestabilnosti vzdolžnih ojačitev ni zaznati in za mejno stanje nosilnosti ni kritična globalna nosilnost panela, ampak nosilnost podpanela. Test potrjuje, da je bila upogibna togost vzdolžnih ojačitev zadostna, da globalni uklon ni bil kritičen za dosego mejne odpornosti nosilca. Glavni razlog, da ni prišlo do globalnega izbočenja panela, je nivo osne sile, kateri je bila izpostavljena spodnja ojačitev, ki predstavlja mejo med strižno izbočitvijo in izbočitvijo zaradi normalnih napetosti. V tem primeru je bila osna sila bistveno manjša kot v primeru panelov SC in SO.

V vseh treh testih v začetnem stanju obremenjevanja, ko je sila manjša od kritične sile, ni bilo zaznati izrazitega izbočenja pločevine. Drugače je bilo pri zadnjem testu, kjer je izrazito strižno izbočenje opazno že pri majhnem nivoju obtežbe ( $v = 10$  mm), glej sliko 15, ko je obremenitev v panelu nižja od elastične kritične sile ( $F_{cr} = 326$  kN). Razlog za takšno obnašanje se skriva v začetni nepopolnosti, ki je posledica predhodnega testa na panelu UO. Zaradi nepovratnih plastičnih deformacij v območju panela UO se nosilec ni povrnil v prvotno, začetno stanje. Stojina širšega podpanela se izboči v treh diagonalnih valovih z največjo amplitudo v območju najmanjšega upogibnega momenta. Do sile 1900 kN ni opaziti večjih deformacij vzdolžne ojačitve. Pri vertikalnem pomiku  $v = 40$  mm pa se zaradi velikih obremenitev in lokalne vitkosti vzdolžne ojačitve (4. razred kompaktnosti) pojavi lokalni uklon, kar posledično privede do globalnega uklona ojačitve in panela. Lokalno izbočenje se pojavi ravno na mestu, kjer se natezno polje sidra v vzdolžno ojačitev. Kombinacija sid-



Slika 14 • Razvoj pomikov zunaj ravnine, panel UO



Slika 15 • Razvoj pomikov zunaj ravnine, panel UC

ranja nateznega polja in velika osna tlačna sila v ojačitvi zaradi upogibnega momenta povzročita tipično porušitev panela, ki se v začetku odraža z lokalnim uklonom ojačitve, ki mu hipno sledi globalni uklon ojačitve in posledično panela. Posledica hipnega lokalnega in nato globalnega uklona ojačitve je lepo razvidna iz krivulje sila–pomik, kjer pride do padca odpornosti nosilca. Do te točke je bil uklon podpanelov neodvisen, ločen. V širšem panelu smo lahko opazili tipično izbočenje, značilno za strižno obremenjene panele, medtem ko smo v ožjem

podpanelu lahko opazili tipično izbočenje za tlačno obremenjene pločevine. Ko je vzdolžna ojačitev popustila, se je izbočenje formiralo preko celotnega panela z največjo amplitudo na mestu vzdolžne ojačitve ( $v = 50$  mm). Že v zgornjem opisu smo omenili, da je bil ločen pojav izbočenja zaradi striga v širšem panelu in upogibnega momenta v ožjem panelu opazen le v primeru testa UO. V vseh drugih testih pa je prisotno izbočenje zaradi interakcije, ki se odraža v kombinaciji strižnega izbočenja v večjem panelu in upogibnega uklona vzdolžne ojačitve.



### 3 • NUMERIČNE SIMULACIJE

#### 3.1 MKE-modeliranje

##### 3.1.1 Numerični model

Nelinearna analiza z metodo končnih elementov je bila opravljena v programu ABAQUS (Simulia, 2011). V analizi je bila upoštevana teorija velikih deformacij. Da bi lahko numerično opisali fenomene, značilne za tanke pločevine, je treba nosilec modelirati s ploskovnimi oziroma 3D-končnimi elementi. Ker je debelina pločevin majhna v primerjavi z dolžino in ker napetosti pravokotno na pločevino niso prisotne,

smo model nosilca modelirali s ploskovnimi S4R- in končnimi S3R-elementi. Za opis celotnega odziva nosilca, tudi po doseženi največji odpornosti, smo za reševanje statičnega ravnotežja uporabili metodo ločne dolžine. Konvergenčna študija potrebne gostote mreže je bila narejena na fiktivnem nosilcu višine  $h_w = 2000$  mm. Velikosti končnih elementov, ki smo jih upoštevali v analizi, so bile  $h_w/80 \approx 25$  mm,  $h_w/40 \approx 50$  mm,  $h_w/26 \approx 75$  mm,  $h_w/20 \approx 100$  mm,  $h_w/13 \approx$

150 mm in  $h_w/10 \approx 200$  mm. Glede na izvedeno študijo (Sinur, 2011) smo pri vseh numeričnih simulacijah uporabili velikost elementov, enako  $h_w/40$ .

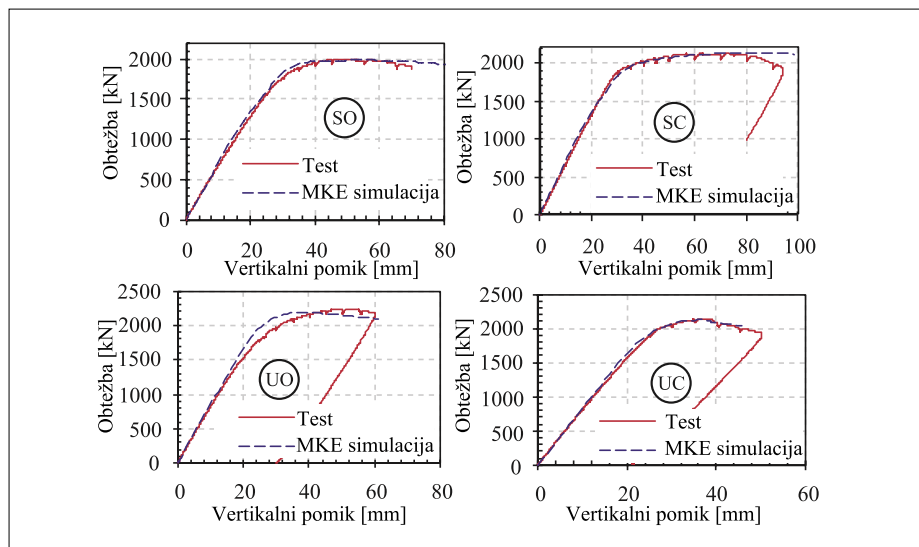
V simulaciji testov smo upoštevali dejansko izmerjeno geometrijo nosilca in debeline pločevin, ki so zbrane v preglednici 4. V vertikalni smeri smo nosilec podprli na mestu notranjih prečnih ojačitev na obeh koncih nosilca. Horizontalno smo nosilec podprli na mestu vnosa sile. Nosilec je bil bočno podprt na mestih, kot je prikazano na slikah 1 in 2. Obtežba je bila na nosilec vnesena preko tega telesa, ki je predstavljal glavo hidravličnega bata.

Test	Stojina			Zgornja pasnica		Spodnja pasnica		Zgornja pasnica			
	$h_w$ (mm)	$t_w$ (mm)	a (mm)	$b_{t1}$ (mm)	$t_{t1}$ (mm)	$b_{t2}$ (mm)	$t_{t2}$ (mm)	$H_{s1}$ (mm)	$h_{s1}$ (mm)	$b_{s1}$ (mm)	$t_{s1}$ (mm)
SO	1498	7,18	1498,2	320,9	22,29	318,7	22,28	/	/	90	9,8
SC	1498	7,18	2246,3	320,9	22,29	318,7	22,28	160,5	80,9	80	5,06
UO	1798	5,9	1797,5	249,5	20,01	451,2	20,01	/	/	100,1	10,23
UC	1798	5,9	2699,1	249,5	20,01	451,2	20,01	296,4	177,0	81,3	5,06

Preglednica 4 • Dejanske dimenzije pločevin testnih nosilcev

PANEL	TEST $F_{test}$ (kN)	ABAQUS $F_{num}$ (kN)	$F_{test}/F_{num}$
SO	1934	1991	0,971
SC	2049	2134	0,960
UO	2173	2186	0,994
UC	2087	2125	0,982

Preglednica 5 • Mejna nosilnost



Slika 16 • Krivulja sila-pomik: primerjava numerične simulacije s testi

##### 3.1.2 Začetne nepopolnosti

Začetne nepopolnosti lahko močno vplivajo na obnašanje in odpornost elementov, kjer so prisotni problemi stabilnosti. Najpomembnejše začetne nepopolnosti v pločevinastih elementih so geometrijske nepopolnosti in zaostale napetosti. Za verifikacijo numeričnega modela smo modelirali le geometrijske začetne nepopolnosti, saj je predhodna študija vpliva zaostalih napetosti pokazala, da je vpliv na odziv in odpornost nosilca zanemarljiv. V primeru, da v modelu upoštevamo tudi izmerjene zaostale napetosti, se nosilnost pri različnih nosilcih zmanjša za največ 0,7 %. Zato smo v numeričnih simulacijah upoštevali le geometrijske nepopolnosti. V testnem panelu smo upoštevali izmerjene nepopolnosti, v drugih panelih pa nepopolnosti v skladu s SIST EN 1993-1-5. Za ta namen smo v programu MATLAB zapisali kodo, s katero smo lahko poljubno spreminjali začetne nepopolnosti (globalne, lokalne in kombinacije le-teh), ki smo jih nato upoštevali v analizi.

##### 3.1.3 Materialni model

Konstruksijsko jeklo smo modelirali kot elastoplastičen material, ki predstavlja statične vrednosti nateznih testov. Za uporabo v MKE-modelu smo nominalno izmerjen diagram napetosti-deformacije prevedli v prave



Cauchyjeve napetosti in logaritmične deformacije. Za elastični modul in koeficient prečne kontrakcije smo privzeli nominalne vrednosti, in sicer  $E = 210000$  MPa in  $\nu = 0,3$ .

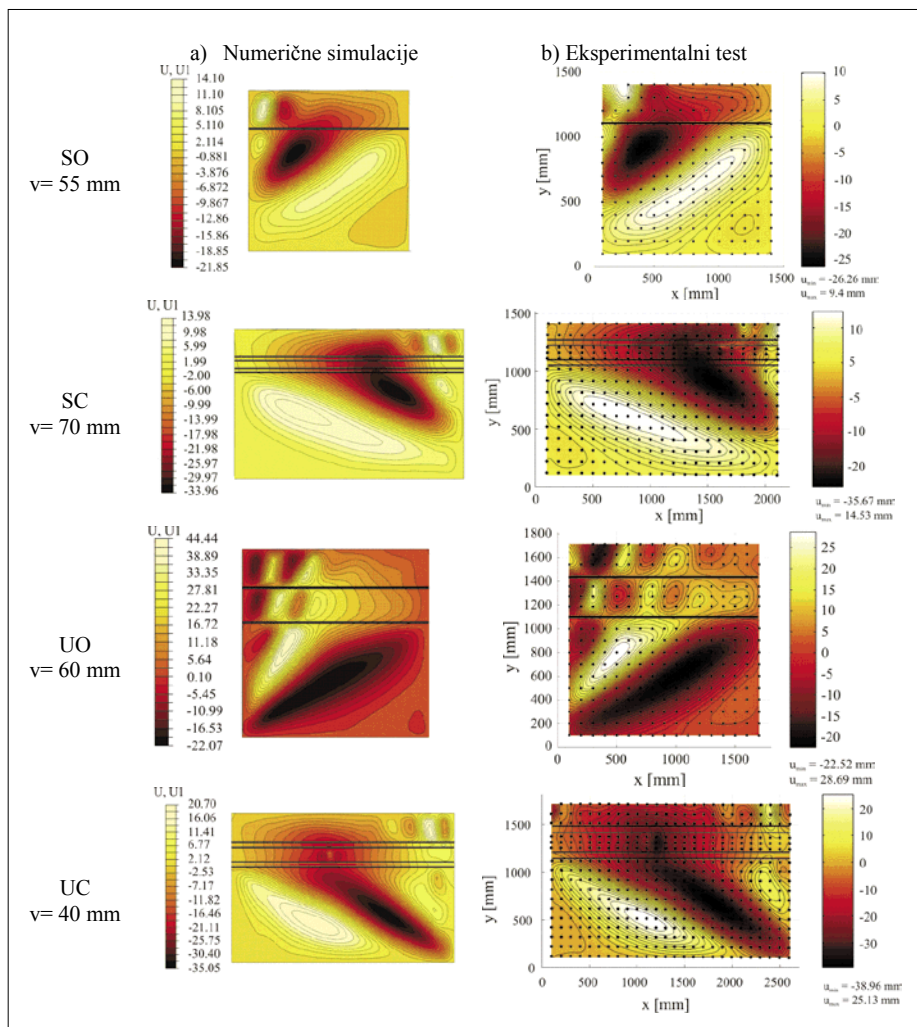
### 3.2 Rezultati numerične analize

#### 3.2.1 Nosilnost

Na sliki 16 je prikazana primerjava odziva numeričnih simulacij in testov preko krivulj sila–pomik. Rečemo lahko, da so numerično dobljeni odzivi zelo podobni odzivom, ki smo jih izmerili pri testu. Le pri testu UO lahko opazimo, da je začetna togost pri numeričnem modelu nekoliko večja kot v testu, medtem ko v vseh drugih primerih krivulja dobro sledi odzivu iz testa. Prav tako so primerljive mejne nosilnosti, ki jih dobimo z numeričnimi simulacijami. V preglednici 5 so zbrane nosilnosti, ki kažejo na to, da je odstopanje v območju od 0,6 % do 4,1 %. Največje odstopanje je bilo zabeleženo v primeru testa SC, najmanjše pa za test UO. Pri numeričnem testu UC lahko opazimo enak fenomen kot v testu, kjer zaradi lokalnega uklona vzdolžne ojačitve pride do hipnega padca sile. Razlika je le v tem, da se to zgodi pri nekoliko manjšem vertikalnem pomiku kot v testu.

#### 3.2.2 Izbočenje panelov

Primerjave deformiranih oblik panelov pri največjih obremenitvah so prikazane na sliki 17. Izkaže se, da so porušne oblike, dobljene z numeričnimi simulacijami, povsem podobne oblikam, ki smo jih izmerili med testom. To velja za vse štiri teste. Če rezultate primerjamo nekoliko bolj podrobno, lahko podamo naslednje zaključke: pri panelih SO, SC in UC je absolutna razlika v največji izmerjeni amplitudi izbočenja v območju 20 %, kar je precej odličen rezultat za tako občutljiv parameter, kot je pomik panela zunaj ravnine. Za panel UO pa je razlika pri največji amplitudi bistveno večja in znaša 54,9 %. Glavni razlog za to je, da prikazujemo pomike zunaj ravnine pri



Slika 17 • Pomiki zunaj ravnine na platoju, blizu največje nosilnosti

enakem vertikalnem pomiku. Primer testa UO pa se je pokazal za edinega, kjer smo največjo odpornost dosegli pri bistveno nižjem vertikalnem pomiku kot pri testu in so pomiki zunaj ravnine v primeru numerične simulacije prikazani v območju, kjer je že močno prisoten padec sile.

Z opisanim numeričnim modelom lahko dobro opišemo obnašanje tankostenskih ojačanih

nosilcev. Model smo ovrednotili s stališča nosilnosti, togosti in porušnega mehanizma. V vseh primerih lahko zaključimo, da so rezultati numerične simulacije zadovoljivi, predlagani numerični model pa se lahko uporabi za obsežno parametrično študijo, s katero nadomestimo zahtevne in drage eksperimentalne teste.

uklona ojačanega panela. M-V-interakcija se upošteva z interakcijsko enačbo le takrat, kadar je upogibna obremenitev  $M_{Ed}$  večja od upogibne nosilnosti pasnic  $M_{f,Rd}$  in kadar je strižna obremenitev  $V_{Ed}$  večja od 50 % strižne nosilnosti stojine  $V_{bw,Rd}$ . Enačba za kontrolo interakcije se glasi:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \left(2 \cdot \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} - 1\right)^2 \leq 1,0 \quad (2)$$

## 4 • PRIMERJAVA DOBLJENE ODPORNOSTI S STANDARDOM

### 4.1 EN 1993-1-5

Rezultate testov smo primerjali s karakteristično nosilnostjo, ki jo določimo z uporabo metode sodelujoče širine in metodo reduciranih napetosti, ki jih podaja standard za pločevinaste konstrukcije SIST EN 1993-

1-5. V primeru metode sodelujočih širin se strižna nosilnost in upogibna nosilnost nosilca določita neodvisno. Metoda je osnovana na računu sodelujočih karakteristik prereza, pri čemer ustrezno upoštevamo redukcije zaradi lokalnega uklona podpanelov in globalnega

kjer je  $M_{pl,Rd}$  plastična upogibna odpornost prereza.

Z metodo reduciranih napetosti se določi globalna vitkost panela, pri čemer je ta odvisna od dejanskega napetostnega stanja zaradi strižne sile in upogibnega momenta v panelu. Izračunana vitkost se uporabi za določitev brezdimenzionalne strižne in upogibne nosilnosti. Z uporabo te metode je nosilnost določena na bruto prerezu, in to le v enem koraku. Vendar pa je v večini primerov predlagana metoda konservativna, še posebno takrat, kadar ena izmed vitkosti (globalna ali lokalna) prevladuje nad drugo (Beg, 2012).

#### 4.2 Primerjava

V preglednici 6 so zbrane nosilnosti, ki so določene z uporabo zgoraj opisanih metod in s testi. Izkaže se, da so računске nosilnosti v vseh primerih nižje od nosilnosti, določene s testi. Po metodi sodelujočih širin je nosilnost v povprečju za 14 % nižja, po metodi reduciranih napetosti pa za 17 % glede na teste. Z metodo sodelujočih širin dobimo bolj konsistentne rezultate kot z metodo reduciranih napetosti, saj je razlika v nosilnosti od 7 % do 20 % s standardno deviacijo 5 % v prvem primeru in

od 3 % do 30 % s standardno deviacijo 13 % v drugem primeru.

Interakcijska enačba, ki temelji na metodi sodelujočih širin, podani v SIST EN 1993-1-5, se je izkazala za primerno tudi v primeru vzdolžno ojačanih pločevin, saj v vseh štirih primerih dobimo varne rezultate, ki bistveno ne odstopajo od testnih vrednosti. Seveda pa interakcija ni nujno primerna za nosilce, kjer je kritični podpanel za določitev strižne nosilnosti izpostavljen tlačnim napetostim zaradi upogibnega momenta. Vsi demonstrirani primeri so

bili ojačeni z vzdolžnimi ojačitvami v tlačnem delu stojine, pri čemer je bila togost teh ojačitev bistveno večja od potrebne togosti, ki zagotavlja, da je lokalna strižna nosilnost kritičnega podpanela enaka globalni strižni nosilnosti ojačanega panela. Na ta način je bil širši podpanel, ki je bil merodajen za strižno nosilnost, izpostavljen nateznim napetostim, ki pa vplivajo ugodno in povečajo nosilnost. Z metodo sodelujočih širin pa tega ugodnega vpliva ne moremo zajeti, zato je dejanska nosilnost nekoliko večja.

PANEL	TEST $F_{test}$ (kN)	EWM $F_{ewm}$ (kN)	$F_{ewm}/F_{test}$	RSM $F_{rsm}$ (kN)	$F_{rsm}/F_{test}$
SO	1934	1792	0,93	1778	0,92
SC	2049	1782	0,87	1982	0,97
UO	2173	1746	0,80	1600	0,74
UC	2087	1770	0,85	1464	0,70
		Povprečje:	0,86	Povprečje:	0,83
		St. dev.:	0,05	St. dev.:	0,13

Preglednica 6 • Nosilnost panela

## 5 • SKLEPI

Da bi lahko ustrezno raziskali obnašanje vzdolžno ojačanih polnostenskih nosilcev, ki so podvrženi velikim upogibnim momentom in strižnim silam, smo opravili štiri teste v naravni velikosti. Pri tem so bile prečne ojačitve dimenzionirane kot toge, s čimer je bila preprečena interakcija med paneli. Testi SO, SC in UO so izkazovali dolg plato plastičnega tečenja in zato padec sile šele pri zelo velikih pomikih. Drugačno obnašanje smo opazili pri testu UC, ki je bil ojačen z vzdolžno ojačitvijo v 4. razredu kompaktnosti, ki je predstavljala glavni razlog za pričujoče obnašanje, kjer je bilo lokalno izbočenje ojačitve vzrok za nenaden padec nosilnosti. Zaradi tega se odsvetuje uporaba elementov v 4. razredu kompaktnosti, ki služijo kot ojačitve osnovnega konstrukcijskega elementa.

V vseh primerih se je najprej zaradi strižnih napetosti pojavilo izbočenje v širšem pod-

panelu, nato je sledilo lokalno izbočenje v ožjih podpanelih kot posledica tlačnih obremenitev. Na koncu je v primeru testov SO, SC in UC sledil globalni uklon vzdolžne ojačitve, s tem pa globalno izbočenje panela. Globalno izbočenje se ni razširilo preko celotnega panela le v primeru testa UO, in sicer zaradi bistveno manjše osne sile v spodnji ojačitvi, na robu širšega podpanela.

Pri ovrednotenju računске nosilnosti po SIST EN 1993-1-5 sta se v obravnavanih primerih obe metodi izkazali za konservativni, vendar je bila primerjava narejena le za obravnavane štiri teste. Kot že rečeno, so nosilnosti v primeru metode efektivnih širin manjše zaradi ugodnega delovanja nateznih napetosti, ki se razvijejo v kritičnem panelu, ki določa strižno nosilnost nosilca, sama metoda pa tega ne upošteva. Najbolj neugodne situacije bi dobili v primeru, kadar bi bil kritičen panel

obremenjen s tlačnimi napetostmi (vzdolžna ojačitev na sredini panela). V primeru metode reduciranih napetosti pa so vrednosti lahko bistveno bolj konservativne kot v obravnavanem primeru, saj najšibkejši člen narekuje mejno nosilnost celotnega nosilca, hkrati pa metoda ne omogoča prerazporeditve napetosti. Tako z enakim redukcijskim faktorjem, ki ga določimo za ojačano stojino panela, omejimo tudi napetosti v pasnici in s tem bistveno zmanjšamo nosilnost v primerjavi z metodo sodelujočih širin.

Ključni rezultat raziskave je seveda tudi ovrednotenje numeričnega modela, ki je uporabljen za nadaljnje parametrične študije, na podlagi katerih bosta določena nov interakcijski model nosilnosti kot tudi delni varnostni faktor za izbrani model nosilnosti, da bo konstrukcija zagotavljala zadostno varnost v izbrani življenjski dobi. S predlaganim numeričnim modelom smo uspešno ponovili teste in s primerjavo rezultatov pokazali, da je model primeren za nadaljnjo parametrično študijo.

## 6 • LITERATURA

- Basler, K., Mueller, J. A.; Thurlimann, B.; and Yen, B. T., Web buckling tests on welded plate girders, Welding research council, Bulletin No 64, New York, 1960.
- Basler, K., Strength of plate girders under combined bending and shear, Journal of Structural Division, ASCE, 87, 1961a.
- Basler, K., Strength of plate girders in shear, Journal of the Structural Division, ASCE, 87, 151–180, 1961b.
- Beg, D., Kuhlmann, U., Davaine, L., Braun, B., Eurocode 3: Design of Steel Structures, Part 1-5-Design of Plated Structures, 1st. ed., Ernst & Sohn Wiley Company, 2010.
- Beg, D., Design of plated structures according to EN 1993-1-5 with the emphasis on longitudinal compression, Stahlbau, 81, 304–314, 2012.
- Bergfelt, A., Plate girders with slender webs – survey and a modified calculation method. Summary in English of the Report nr. II.2.2, Nordiske Forskningsdager for Stalkonstruktjoner, 1973.
- CEN, Metallic materials - Tensile testing - Part 1: Method of test at ambient temperature, in: EN 10002-1, European Committee for Standardisation, Brussels, 2004.
- CEN, Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-5: Plated structural elements, EN 1993-1-5, European Committee for Standardisation, Brussels, 2006.
- CEN, Execution of steel structures and aluminium structures - Part 2: Technical requirements for steel structures, in: EN 1090-2, European Committee for Standardisation, Brussels, 2008.
- Evans, H.R., An approach by full-scale testing of new design procedures for steel girders subjected to shear and bending, in: Proceedings of the Institute of Civil Engineers, 175–189, 1986.
- Fujii, T., A comparison between theoretical values and experimental results for the ultimate shear strength of plate girders, in: Proceedings of Colloquium on design of plate and box girders for ultimate strength, IABSE, London, 161–172, 1971a.
- Fujii, T., Fukumoto, Y., Nishino, F., Okumura, T., Research works on ultimate strength of plate girders and Japanese provisions on plate girder design, Proceedings of Colloquium on design of plate and box girders for ultimate strength, IABSE, London, 21–48, 1971b.
- Herzog, M., Die Traglast unversteifer und versteifer, dünnwandiger Blechträger unter reinem Schub und Schub mit Biegung nach Versuchen, Bauingenieur, 1974.
- Höglund, T., Behaviour and strength of the web of thin plate I-girders (in Swedish), Bulletin No.93 of the Division of Building Statics and Structural Engineering, The Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 13–30, 1971a.
- Höglund, T., Simply supported thin plate I-girders without web stiffeners subjected to distributed transverse load, in: Proceedings of Colloquium on design of plate and box girders for ultimate strength, IABSE, London, 85–98, 1971b.
- Höglund, T., Design of thin-plate I Girders in Shear and Bending, in: Bulletin No.94 of the Division of Building Statics and Structural Engineering, The Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 13–30, 1973.
- Johansson, B., Maquoi, R., Sedlacek, G., Müller, C., Beg, D., Commentary and worked examples to EN 1993-1-5 “Plated Structural Elements”, JRC Scientific and Technical Reports, 2007.
- MATLAB, MathWorks, Natick, Massachusetts USA, 2007.
- Ostapenko, A., Chern, C., Ultimate strength of longitudinally stiffened plate girders under combined loads, IABSE Proceedings: Design of plate and box girders for ultimate strength, London, 1971.
- Porter, D.M., Rockey, K.C., Evans, H.R., The Collapse Behaviour of Plate Girders Loaded in Shear, Structural Engineering, 53, 313–325, 1975.
- PWRI, Public Works Research Institute, Report of load resistance tests on plate girders, Technical Report No. 2533, 1987.
- Schueller, W., Ostapenko, A., Tests on transversally stiffened and on longitudinally stiffened unsymmetrical plate girders., Welding research council, 156, 1970.
- SIMULIA, Abaqus Online Documentation: Version 6.11-3, Deassault Systemes, 2011.
- Sinur, F., Beg, D., Imperfection Sensitivity Analysis of Longitudinally Stiffened Plated Girders Subjected to Bending – Shear Interaction, Stability and Ductility of Steel Structures, Rio de Janeiro, Brazil, 787–794, 2010.
- Sinur, F., Behaviour of longitudinally stiffened plated girders subjected to bending-shear interaction, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, University of Ljubljana, Ljubljana, povzeto po: <http://eprints.fgg.uni-lj.si/id/eprint/1023>, 2011.
- Škaloud, M., Rockey, K.C., The Ultimate Load Behaviour of Plate Girders Loaded in Shear, The Structural Engineer, 50, 29–47, 1972.
- Veljkovic, M., Johansson, B., Design for buckling of plates due to direct stress, Nordic Steel Construction Conference, Helsinki, Finland, 2001.

# SUSPENDIRANI SEDIMENTI V REKI DRAVI

## SUSPENDED SEDIMENTS IN THE DRAVA RIVER

izr. prof. dr. Bojana Dolinar, univ. dipl. inž. geol.

bojana.dolinar@um.si

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo

Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

Znanstveni članek

UDK 556.536(282.241)

**Povzetek** | V članku je prikazana preiskava soodvisnosti med terensko merjenimi koncentracijami suspendiranih snovi v reki Dravi ob pomoči optičnih merilnikov in z laboratorijsko določenimi količinami tistega deleža suspendiranih snovi, ki se lahko v mirujoči vodi posedejo. V ta namen je bilo v obdobju enega leta neposredno ob optičnih merilnikih odvzetih 90 vzorcev vode ter istočasno izmerjene temperature in pH-vrednosti vode. V laboratoriju so bili določeni mikrobiološki parametri vode, ki so vključevali določitev količin fitoplanktona, zooplanktona, bakterij, gliv in organskega drobirja. Preiskani sta bili mineralna in kemična sestava usedlin, pri 15 vzorcih pa opravljene tudi preiskave zrnivosti. Rezultati so pokazali, da se lahko na osnovi terensko merjenih koncentracij suspendiranih snovi z optičnimi merilniki zelo dobro oceni delež zrn, ki se v mirujoči vodi posedejo, prav tako pa njihovo velikost. Navedeno velja v primeru, ko so količine fitoplanktona in organskega drobirja v vodi majhne.

Ključne besede: hidrologija, rečni sedimenti, vsebnost suspendiranih snovi, zrnavostna sestava, reka Drava

**Summary** | The paper deals with the investigated correlation between the concentrations of suspended solids in the river Drava measured by optical sensors and laboratory determined quantities of suspended solids which may settle in the standing water. For this purpose, in the period of one year, 90 samples of water were taken directly at the optical sensors. At the same time, the temperatures and the pH values of water were measured. The microbiological parameters of water, which included the determination of the quantities of phytoplankton, zooplankton, bacteria, fungi, and organic debris have been investigated in the laboratory as well as mineralogical and chemical compositions of the sediments and their grain size distribution. The results showed that the field measured concentrations of suspended solids by optical sensors are very usable for the assessment of those quantities of suspended solids which can settle in the standing water as well as for their grain size distribution. This applies if the amount of phytoplankton and organic debris in the water is small.

Key words: hydrology, fluvial sediments, content of suspended solids, particle size distribution, Drava River

### 1 • UVOD

Vsebnost suspendiranih snovi v vodi se lahko določa neposredno iz odvzetih vzorcev, ki se analizirajo v laboratoriju, ali posredno iz

podatkov različnih merilnikov, ki oddajajo in sprejemajo mehansko ali elektromagnetno valovanje. Med slednje se uvrščajo tudi optični

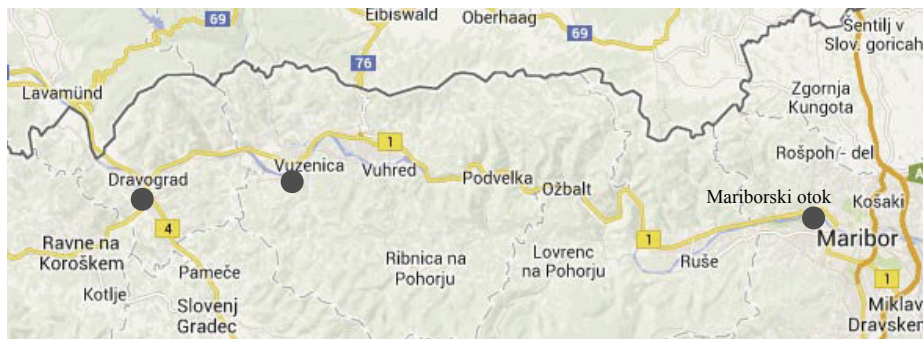
merilniki, pri katerih senzorji bodisi izmerijo del vidne svetlobe, ki se prepusti skozi vodo v ravni smeri med virom svetlobe in sprejemnikom, ali pa izmerijo del vidne ali infrardeče svetlobe, ki se odbojno sipa (običajno pod kotom 90° glede na vir svetlobe) do sprejemnika odbite svetlobe (Mikoš, 2012b). V obeh primerih se



na tak način določi bodisi motnost vode ali pa koncentracija suspendiranih snovi. Vendar je slednja količina lahko samo ocenjena, kajti suspendirani delci so v različnih vodah zelo različni tako po sestavi kot velikosti, kar vse vpliva na sipanje, presevanje in absorbiranje svetlobe in posledično na rezultate meritev. Splošno veljavno razmerje med koncentracijami suspendiranih snovi, določenimi z optičnimi senzorji, in dejanskimi koncentracijami teh snovi tako ne obstaja, lahko pa se določi za posamezno merilno mesto ((Davies-Colley, 2001), (Susfalk, 2008), (Williamson, 2011), (Mikoš, 2012b), (Al-Yaseri, 2013), (Landers, 2013)).

Leta 2012 so bili na reki Dravi nameščeni trije optični merilniki SOLITAX različice ts-line sc, ki omogočajo meritve motnosti v razponu 0,001–4000 FNU oziroma koncentracije suspendiranih snovi od 0,001–50 g/l. Po podatkih proizvajalca je natančnost meritev motnosti < 1 % in koncentracije suspendiranih snovi < 5 %. Podatki se zajemajo samodejno v petminutnih časovnih presledkih. Rezultati meritev so izraženi kot TSS-koncentracije (total suspended solids concentrations) v mg/l. Optični merilniki so locirani neposredno ob hidroelektrarnah Dravograd, Vuzenica in Mariborski otok (slika 1). Kalibracijo merilnikov so izvedli proizvajalci opreme ob pomoči standardizirane suspenzije, zato merjene TSS-koncentracije ne ustrezajo dejanskim v reki Dravi.

V tem času je na reki Dravi v fazi načrtovanja črpalna hidroelektrarna Kozjak s strojnico ob Šturmovem grabnu in z vtočno-iztočnim objektom v akumulacijskem bazenu hidroelektrarne Fala. Zgornji akumulacijski bazen je predviden na približno 700 m višjem Kolarjevem vrhu (slika 2). Suspendirani delci, ki so v vodi reke Drave, se bodo v času mirovanja vode v akumulacijskem bazenu usedali na dno, količina usedlin pa bo odvisna od režima obratovanja črpalne hidroelektrarne in koncentracije ter velikosti in sestave suspendiranih snovi v vodi v času njenega črpanja iz reke Drave. Osnovni cilj opisane raziskave je bil zato ugo-



Slika 1 • Lokacije optičnih merilnikov na reki Dravi

toviti, ali lahko podatki optičnih merilnikov ob omenjenih elektrarnah služijo za oceno količin tistih suspendiranih snovi v vodi, ki se lahko v času njenega mirovanja posedejo. V okviru raziskav so bili poleg omenjene soodvis-

nosti analizirani tudi različni dejavniki, ki lahko vplivajo na rezultate optičnih merilnikov, kot so velikost suspendiranih delcev, vsebnost organskega drobirja, fitoplanktona, zooplanktona, mikrobov, pH-vrednost in temperatura vode.



Slika 2 • Sklica umestitve strojnice in zgornjega akumulacijskega jezera v prostor (povzeto po: [www.dem.si](http://www.dem.si))

## 2 • METODE PREISKAV

Z namenom zajeti čim bolj raznolike razmere tako pri vsebnosti erodiranih materialov kot pojavljanju različnih organizmov v vodi so odvzeti vzorci potekali eno leto, od avgusta 2012 do julija 2013. Skupno je

bilo na treh lokacijah odvzetih 90 vzorcev vode ter istočasno izmerjena temperatura zraka in vode, določena pH-vrednost, barva in vonj vode ter opisane vidne nečistoče na gladini reke. Vzorci vode so bili odvzeti

neposredno ob optičnih merilnikih v globinah 4–5 m.

### 2.1 Določitev količine usedlin v laboratoriju

Ker je bila za potrebe omenjene študije zanimiva predvsem primerjava med podatki terenskih meritev TSS-koncentracij in količino suspendiranih snovi, ki se v mirujoči vodi posedejo, je bila temu prilagojena tudi v na-

daljevanju opisana laboratorijska preiskava. Pri izbranem postopku, ki ni standardiziran, je bila usedlina izločena iz 20 l vode, sprva z odlivanjem in v končni fazi z izhlapevanjem vode. Na tak način je bila pridobljena večja količina usedlin, kar je omogočilo preiskave njene zrnivosti ter mineralne in kemične sestave. Količina usedlin je v tekstu označena kot  $c_{sed}$  (mg/l).

Čas, potreben za posedanje delcev, je bil izbran glede na izračunane hitrosti  $v$  (m/s) tonjenja le-teh s pomočjo Stokesove enačbe (1), kjer sta  $\gamma_s$  in  $\gamma_{WT}$  prostorninski teži zrn in vode,  $D$  (m) je premer kroglastih zrn in  $\eta_T$  viskoznost vode pri izbrani temperaturi.

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_{WT}}{18 \cdot \eta_T} \cdot D^2 \quad (\text{m/s}) \quad (1)$$

V izračunu so bile upoštevane povprečna prostorninska teža zrn  $\gamma_s = 27 \text{ kN/m}^3$  (glede na gostoto in zastopanost posameznih mineralov v sestavi), prostorninska teža vode pri temperaturi  $20^\circ \text{C}$   $\gamma_{W20} = 9,98 \text{ kN/m}^3$  in dinamična viskoznost vode pri enaki temperaturi  $\eta_{20} = 1,005 \times 10^{-3} \text{ Pas}$ . Izračunani so pokazali, da se v petih dneh, v posodi višine 0,3 m, posedejo vsa zrna  $\geq 0,0008 \text{ mm}$ . Treba pa je poudariti, da se v praksi zrna,  $< 0,001 \text{ mm}$ , zelo težko posedejo, razen v primeru, ko pride do kosmičenja (Mikoš, 2012a).

## 2.2 Zrnovost usedlin

Porazdelitev velikosti zrn je bila preiskana v Geološkem zavodu Slovenije z uporabo laserskega merilnika Analysette 22"/Nano Tec made by FRITZSCH GmbH - Manufacturers of Laboratory Instruments, Germany. Skupno je bilo z vseh treh lokacij preiskanih 15 vzorcev usedlin, ki so bili izbrani pri različnih motnostih vode ter količinah mikroorganizmov in organskega drobirja (preglednica 1).

## 2.3 Mineralna in kemična sestava sedimentov

Mineralna sestava usedlin je bila določena na vzorcu, izločenem iz vode reke Drave z območja Šturmovskega grabna. Preiskana je bila v Geološkem zavodu Slovenije z rentgenskim difraktometrom z žarkovjem  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda = 0,15418 \text{ nm}$ ) pri napetosti 40 kV in toku 20 mA ob uporabi nikljevega filtra, proporcionalnega števca in grafičnega monokromatorja. Za pregledno določitev mineralne sestave je bil uporabljen celotni uprašeni vzorec. Pri vrednotenju količin posameznih mineralov v zemljinah so bili uporabljeni podatki kemične analize, izdelane v referenčnem laboratoriju

Sample	TSS (mg/l)	$c_{sed}$ (mg/l)	Org. drobir (no./ml)	Fitoplan. (CFU/ml)	Zooplan. (no./ml)	Bakterije (CFU/ml)	Glive (CFU/ml)
D1	585	260,0	80.000	100.000	1	1.000.000	1000
D2	41	18,5	7000	10.000	0	3000	0
D3	8	3,9	200	< 600	4	500.000	800
D4	41	27,9	20.000	20.000	1	2000	0
D5	33	15,4	20.000	50.000	1	3000	0
V1	45	24,0	1000	< 600	2	1000	100
V2	72	30,9	8000	< 600	2	1000	100
V3	30	18,4	5000	15.000	1	50.000	5000
V4	6	21,0	2500	800	20	10.000.000	10.000
V5	16	9,4	2500	15.000	2	500.000	500
MO1	78	42,6	13.000	70.000	1	10.000	100
MO2	149	77,6	30.000	80.000	3	10.000	100
MO3	753	363,0	100.000	80.000	1	100.000	10.000
MO4	10	6,8	2000	< 600	2	500.000	500
MO5	32	16,5	30.000	10.000	0	2000	0

D – lokacija HE Dravograd, V – HE Vuzenica, MO – HE Mariborski otok

Preglednica 1 • Oznake vzorcev, TSS-koncentracije, določene na terenu z optičnimi senzori,  $c_{sed}$ , določene v laboratoriju, organski drobir, fitoplankton, zooplankton, bakterije in glive

ACME Analytical Laboratories v Vancouvru. Za kvalitativno in kvantitativno določitev glavnih elementov je bila uporabljena ICP-ES-metoda, za določitev slednjih elementov pa ICP-MS-metoda.

Za pregled mikroskopskih delcev velikosti nad  $20 \mu\text{m}$  istega vzorca je bil uporabljen optični mikroskop, za submikroskopske delce pa vrstični elektronski mikroskop z energijsko disperzijskim spektrom (SEM/EDS). Pri tej vrsti naprave nastanejo pri interakciji izostrenega snopa elektronov, ki se premika po vzorcu in atomih v vzorcu, različni signali, kot so sekundarni elektroni (SE), povratno sipani elektroni (BSE) in RTG-žarki, ki dajejo različne informacije o vzorcu. Vzorec je bil nalepljen na grafični trak in napršen z zlatom.

## 2.4 Mikrobiološke analize

Mikrobiološke preiskave, ki jih je opravil Inštitut za uporabno ekologijo Maribor, so

obsegale določitev fitoplanktona, zooplanktona, bakterij, gliv in organskega drobirja v vseh 90 vzorcih vode. Za določevanje fitoplanktona, zooplanktona in organskega drobirja sta bila uporabljena binokularna mikroskopa CETI in Leica. Pri mikroskopiranju je bil 1 ml vzorca vode opazovan pri 100-, 400- in 1000-kratni povečavi. Za štetje je bila uporabljena abundančna komora proizvajalca Paul Marienfeld GmbH & Co KG. Določevanje alg in modro zelenih cepljivk je potekalo tudi z biodetektorji ALGAE-BARTTM. Za določanje skupnega števila bakterij so bila uporabljena različna gojišča: potopne ploščice VWR Prolabo Total Count in tekstilne podlage RIDA®COUNT Total, za določanje skupnega števila gliv pa potopne ploščice VWR Prolabo Yeast/Mold in tekstilne podlage RIDA®COUNT Yeast/ Mold.

### 3 • REZULTATI

#### 3.1 Vpliv mikrobioloških parametrov vode na terensko merjene TSS-koncentracije

Količine različnih mikroorganizmov in organskega drobirja v vodi so se celo leto spreminjale, kar je razumljivo, saj na njihovo pojavljanje vplivajo številni dejavniki iz okolja. Količine fitoplanktona so se na vseh treh merilnih mestih gibale med > 600 in 100.000 CFU/ml (Colony Forming Units v 1 ml vode). Gostota zooplanktona, ki se izraža s številom osebkov v določenem volumnu vode (št./ml), je bila med 0 in 30 št./ml, gostota bakterij med 100 in 10.000.000 CFU/ml in gliv med 0 in 10.000 CFU/ml. Količina organskega drobirja se je spreminjala med 100 in 100.000 št./ml.

Iz podatkov mikrobioloških preiskav je bilo ugotovljeno, da med količinami zooplanktona, bakterij in gliv v vodi ter terensko merjenimi TSS-koncentracijami ni opazne soodvisnosti. Prav nasprotno pa bi lahko bil vpliv fitoplanktona in organskega drobirja večji. S slike 3 je razvidno, da njune količine v splošnem naraščajo z večanjem TSS-koncentracij.

#### 3.2 Razmerje med terensko merjenimi koncentracijami suspendiranih snovi (TSS) in laboratorijsko določenimi količinami usedlin $c_{sed}$

Koncentracije suspendiranih snovi v vodi, določene z optičnimi merilniki na terenu, so dosegle največ 753 mg/l (HE Mariborski otok), večina vrednosti je bila manjša od 40 mg/l.

Primerjava rezultatov terensko merjenih TSS (mg/l) in laboratorijsko določenih  $c_{sed}$  (mg/l) je pokazala, da sta spremenljivki na vseh treh merilnih mestih linearno soodvisni, kar je bilo tudi pričakovati. V študiji zbrani podatki so pokazali za posamezne lokacije naslednja razmerja:

HPP Dravograd  
 $c_{sed} = 0,40 \cdot TSS$  (mg/l) (1)

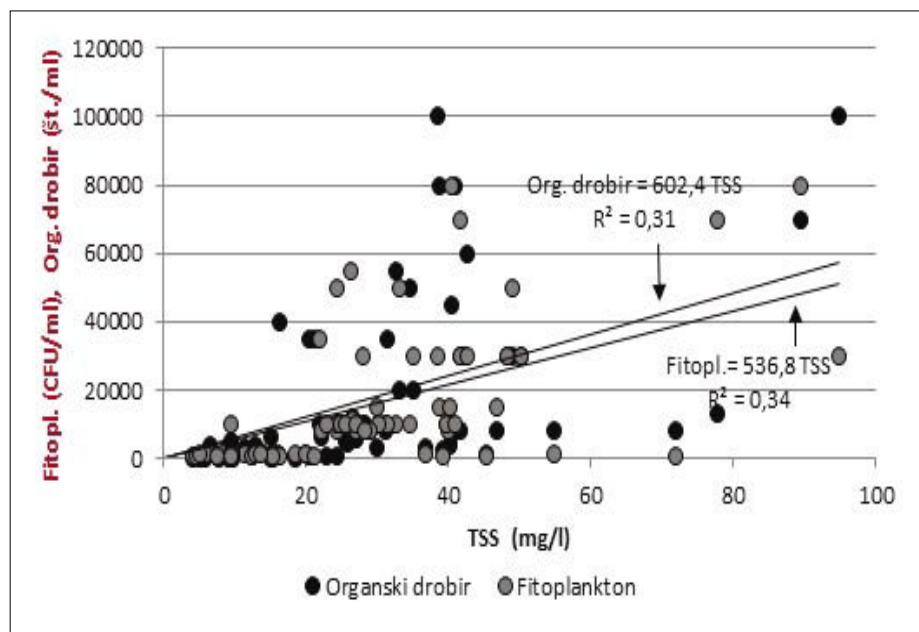
HPP Vuzenica  
 $c_{sed} = 0,57 \cdot TSS$  (mg/l) (2)

HPP Mariborski otok  
 $c_{sed} = 0,49 \cdot TSS$  (mg/l) (3)

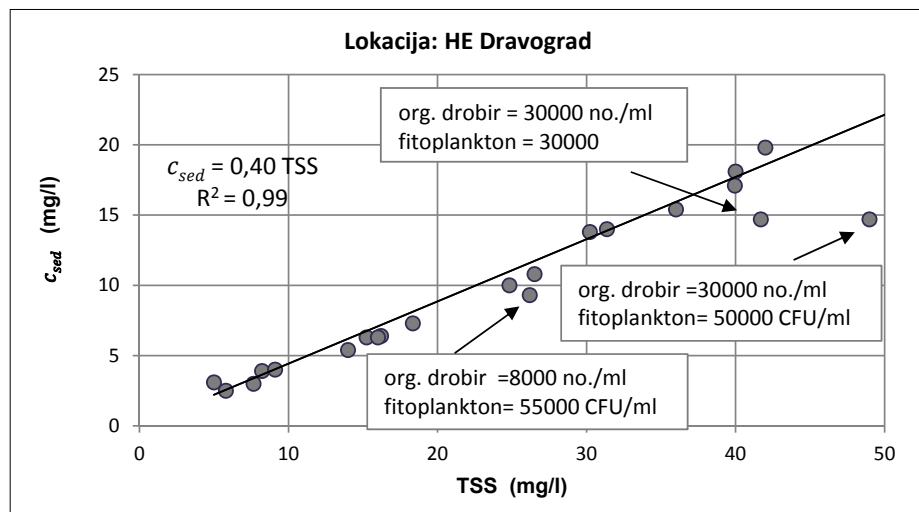
Primer za lokacijo HE Dravograd je prikazan na sliki 4, s katere je jasno razvidna dobra korelacija med večino merjenih vrednosti, prav tako tudi, da se odstopanja pojavijo v primerih, ko je bila v vodi zabeležena večja

količina fitoplanktona in organskega drobirja. V omenjenih primerih so terensko določene koncentracije suspendiranega materiala pri vseh vzorcih višje od pričakovanih glede na  $c_{sed}$ . Povprečna količina fitoplanktona je bila pri vzorcih, ki izkazujejo dobro soodvisnost med  $c_{sed}$  in TSS 7100 CFU/ml ter organskim drobirjem, 8370 št./ml, odstopanja pa so se pojavila v primerih, ko je bila skupna količina teh delcev preko 50.000 CFU/ml. Vpliva fitoplanktona in organskega drobirja na terensko

merjeno koncentracijo suspendiranih snovi ni bilo mogoče številčno ovrednotiti. Razlogov za to je več: a) nemogoče je bilo ločiti vpliv fitoplanktona od vpliva organskega drobirja, ker sta se oba pojavljala v vzorcih vode v povečanih količinah istočasno; b) vrsta, velikost in oblika fitoplanktona in organskega drobirja se v različnih razmerah spreminjajo, kar vse vpliva na izmerjeno TSS-koncentracijo; c) številčna določitev mikroorganizmov in njihovih odmrlih ostankov poteka na zelo majhnih vzorcih, ki niso vedno reprezentativni; d) izbrani postopek določanja fitoplanktona ne omogoča določitve točnega števila teh planktonskih organizmov ali njihovih kolonij.



Slika 3 • Količine fitoplanktona (CFU/ml) in organskega drobirja (št./ml) v odvisnosti od terensko merjenih koncentracij TSS (mg/l)



Slika 4 • Razmerje med laboratorijsko določeno količino sedimentiranega materiala  $c_{sed}$  (mg/l) in terensko merjeno TSS-koncentracijo (mg/l) na lokaciji HE Dravograd



### 3.3 Zrnovost usedlin

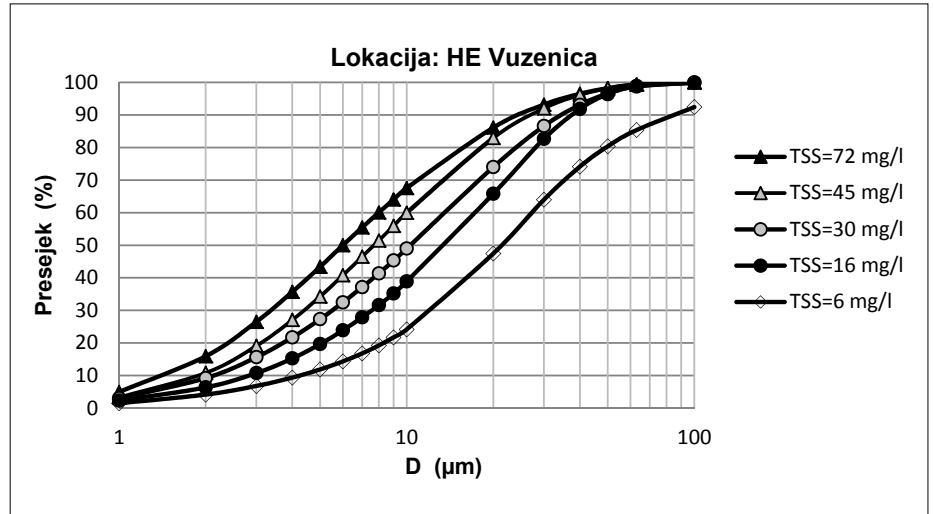
Na sliki 5 so prikazane krivulje zrnovosti sedimentiranega materiala, izločenega iz vode na merilnem mestu HE Vuzenica. Označene so tudi povprečne koncentracije suspendiranih snovi, merjene z optičnimi senzorji v času odvzemov vzorcev. Iz primerjave teh vrednosti je jasno razvidna soodvisnost med porazdelitvijo velikosti zrn usedlin in TSS-koncentracijami. Slednje še bolj nazorno kaže slika 6, na kateri je omenjena soodvisnost prikazana za deleže zrn, < 2, 10 in 30  $\mu\text{m}$ . Vendar pa je treba poudariti, da prikazana razmerja veljajo le za vzorce usedlin, izločene iz vode z manjšo vsebnostjo fitoplanktona in organskega drobirja (preglednica 1). Kadar je teh organskih primesi veliko, terensko izmerjene TSS-koncentracije izkazujejo previsoko vsebnost usedljivih snovi glede na laboratorijsko določeno in posledično tudi napačno porazdelitev velikosti zrn.

### 3.4 Mineralna sestava

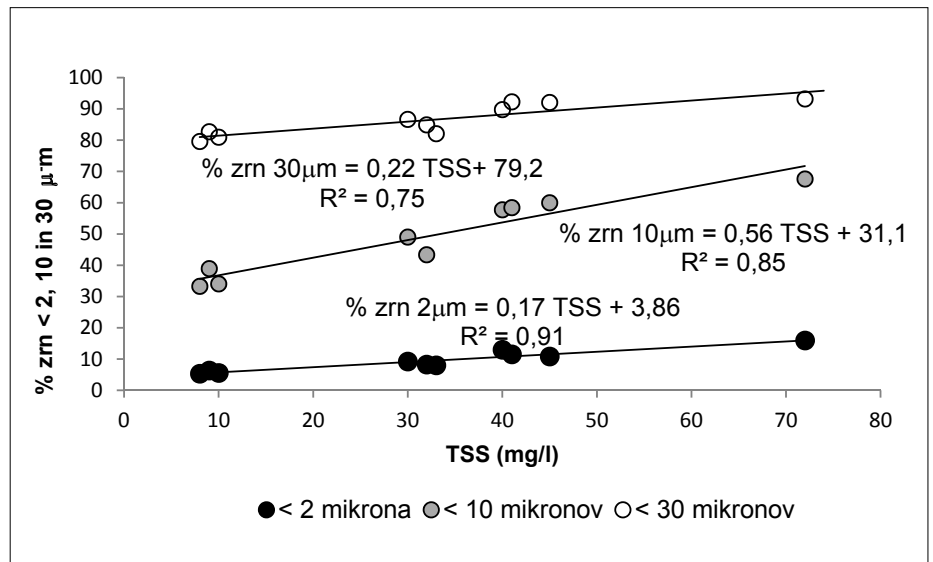
Z rentgensko analizo in kemično sestavo vzorca je bila določena naslednja kvalitativna in kvantitativna mineralna sestava sedimentiranega materiala: muskovit/illit (41 %), klorit (14 %), kremen (15 %), plagioklaz (8 %), kalцит (9 %) in dolomit (13 %).

Optičnomikroskopska preiskava, s katero so bili pregledani predvsem delci, > 20  $\mu\text{m}$ , je pokazala, da prevladujejo zrna muskovita, biotita, kremenca in glinencev. Med neprosojnimi minerali je bilo mogoče prepoznati limonit (goethit) in sledove hematita. Redkeje so se pojavljali karbonati in klorit. V zelo majhnih količinah je bilo opaziti zrna klinozoisita, v sledovih pa še turmalin, stavorlit, cirkon in rutil ter ostanke organskega detritusa. Na sliki 7 je prikazan igličast skupek z ujetim zrcem kalčita.

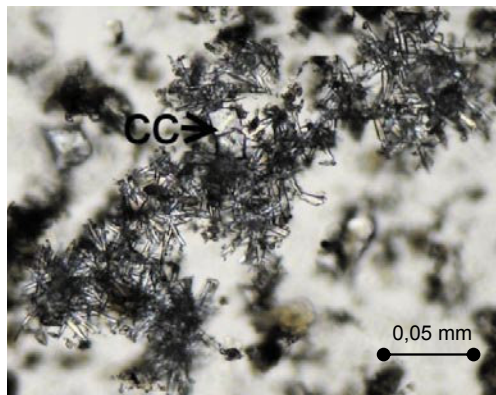
Slika 8 prikazuje posnetke usedlin, preiskane z vrstičnim elektronskim mikroskopom. Ob pomoči sekundarnih elektronov (SE), ki dajejo sliko površine vzorca, in povratno sipanih elektronov (BSE), ki dajejo sliko relativne kemijske sestave vzorca, so bile določene naslednje mineralne faze: illit/muskovit, plagioklaz, klorit, kremen, kalцит, amfibol, titanit in zelene alge.



Slika 5 • Zrnovost sedimentiranega materiala z lokacije HE Vuzenica in pripadajoče TSS-koncentracije

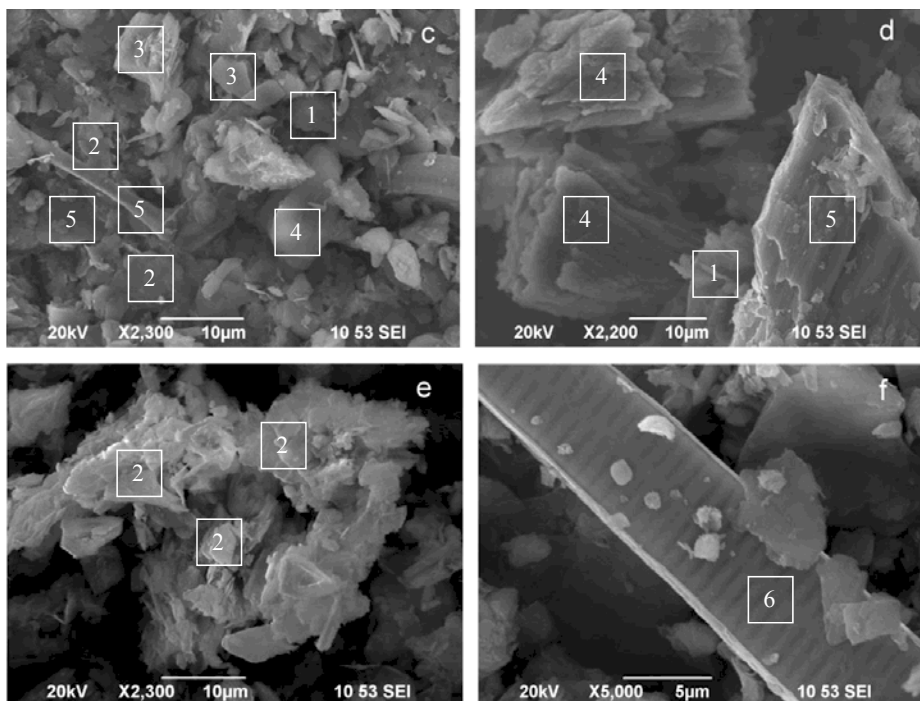


Slika 6 • Odstotki zrn, < 2, 10 in 30  $\mu\text{m}$ , v odvisnosti od TSS (mg/l)



Slika 7 • Igličast skupek, ki spominja na celulozo z ujetim zrcem kalčita (cc), II N





Slika 8 • SEM-posnetki delcev sedimentiranega materiala: 1 – klorit, 2 – biotit/klorit, 3 – kremen, 4 – kalcit, 5 – amfibol, 6 – zelena alga

#### 4 • ZAKLJUČKI

V članku so prikazani rezultati preiskave, katere namen je bil ugotoviti možnost uporabe terensko merjenih TSS-koncentracij za določitev količin in zrnastostne sestave fiste-ga dela suspendiranih snovi v reki Dravi, ki se lahko v mirujoči vodi posedejo. Iskanje omenjene soodvisnosti je bilo izvedeno za potrebe napovedovanja količin usedlin na dnu akumulacijskega bazena načrtovane črpalne hidroelektrarne Kozjak. V bazen bo črpana voda iz reke Drave, predvideno mesto črpanja pa je med HE Vuzenica in HE Mariborski otok, kjer sta nameščena dva optična merilnika od treh za kontinuirano spremljanje koncentracij suspendiranih snovi v reki Dravi.

Za določitev količin suspendiranega materiala, ki se lahko posede, so bili uporabljeni vzorci, ki

so vsebovali 20 l vode. S tem je bila zagotovljena večja verjetnost, da je vzorec dejansko reprezentativen, hkrati pa je bilo pridobljenega tudi dovolj materiala za nadaljnje mineraloške in kemične preiskave ter določitve zrnastosti. Iz rezultatov preiskav je mogoče povzeti naslednje zaključke:

- Koncentracije suspendiranih snovi, določene posredno z optičnimi merilniki, omogočajo, ob upoštevanju podanih korekcijskih faktorjev, dobro oceno količin tistih suspendiranih snovi, ki se lahko v mirujoči vodi posedejo.
- Zgornja trditev velja, kadar so v vodi manjše količine fitoplanktona in organskega drobirja. Pri povečanem deležu teh delcev pa posredno določene koncentracije suspendiranih snovi izkazujejo višje vrednosti

od pričakovanih glede na laboratorijsko preiskane. Vpliva zooplanktona, bakterij in gliv na rezultate terensko določenih koncentracij suspendiranih snovi ni bilo opaziti.

- Na osnovi terensko določenih koncentracij suspendiranih snovi je mogoče oceniti zrnastost posedlega materiala, vendar le v primerih, ko je vsebnost fitoplanktona in organskega drobirja v vodi nizka.

Ker je vsebnost suspendiranih snovi močno odvisna od lokalnih razmer, veljajo podana razmerja le za mesta neposredno ob optičnih merilnikih in jih ni mogoče posplošiti na celoten odsek reke Drave med Dravogradom in Mariborom. Prav tako je treba upoštevati, da se lahko v drugačnih razmerah, kot so bile v času vzorčenja (npr. ob visokih pretokih vode, veliki vsebnosti suspendiranih snovi), podane soodvisnosti spremenijo, zato je vedno treba rezultate optičnih merilnikov ves čas preverjati s podatki laboratorijskih analiz.

#### 5 • ZAHVALA

Raziskave, ki so prikazane v članku in so del širše študije z naslovom *Sedimenti v akumu-*

*laciji ČHE Kozjak*, so financirale Dravske elektrarne Maribor, d. o. o. Omenjenemu podjetju

se avtorica članka lepo zahvaljuje, prav tako za pomoč pri pridobivanju podatkov.

## 6 • LITERATURA

- Al-Yaseri, I., Morgan, S., Retzlaff, W., Using Turbidity to Determine Total Suspended Solids in Storm-Water Runoff from Green Roofs. *Journal of Environ. Eng.* 139, 6, 822–828, 2013.
- Davies-Colley, R. J., Smith, D. G., Turbidity, suspended sediment, and water clarity: a review. *Journal of the American Water Resources Association* 37, 1085–1101, 2001.
- Landers, M. N., Sturm, T. W., Hysteresis in suspended sediment to turbidity relations due to changing particle size distributions. *Water Resour. Res.*, 49, 2013.
- Mikoš, M., Kalnost v rekah kot del erozijsko-sedimentacijskega kroga/Suspended loads in rivers as a part of the erosion and sedimentation cycle. *Gradbeni vestnik*, 61, 6, 129–136, 2012a.
- Mikoš, M., Metode terenskih meritev suspendiranih sedimentov v rekah/Methods of field measurements of suspended sediments in rivers. *Gradbeni vestnik*, 61, 7, 151–158, 2012b.
- Susfalk, R. B., Fitzgerald, B., Knust, A. M., Characterization of Turbidity and Total Suspended Solids in the Upper Carson River, Nevada. Desert Research Institute, Nevada, DHS Publication št. 41242, 2008.
- Williamson, T. N., Crawford, C. G., Estimation of Suspended-Sediment Concentration From Total Suspended Solids and Turbidity Data for Kentucky, 1978–1995. *Journal of the American Water Resources Association* 47, 4, 739–49, 2011, povzeto po <http://www.dem.si/slo/razvojnemoznostidem/crpalnadenadravi>, Projekt ČHE Kozjak, januar 2014.

### ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE

vabi člane na

#### REDNO SKUPŠČINO,

ki bo v četrtek, 22. maja 2014, s pričetkom ob 13.00 uri, v prostorih gostilne Livada, Hladnikova cesta 15, Ljubljana.

Predsednik ZDGITS  
doc. dr. Andrej Kryžanowski, univ. dipl. inž. grad.

#### Popravek

V marčni številki *Gradbenega vestnika* (str. 54) v članku *Bočni pritisk vijaka na pločevino v spojih z enim vijakom* na koncu prvega stavka v poglavju 2 *Zasnova testa in program testiranja* pomotoma ni bil naveden citat (Remic, 2011), na strani 70 v poglavju 9 *Literatura* pa navedek Remic, N., *Bočni pritiski v preklonih vijačenih spojih iz mehkih konstrukcijskih jekel*, diplomska naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 68 str., 2011. Prvi avtor članka se Nacetu Remicu, univ. dipl. inž. grad., opravičuje zaradi neljube in nenamerne napake.

# ODVIJANJE PROMETA NA REKONSTRUIRANEM KRIŽIŠČU ULICE PARIŠKE KOMUNE IN LJUBLJANSKE ULICE V MARIBORU

## TRAFFIC PROGRESSION ANALYSIS IN RECONSTRUCTED INTERSECTION OF STREETS PARIŠKE KOMUNE AND LJUBLJANSKA IN THE CITY OF MARIBOR

mag. Matej Dobovšek, univ. dipl. inž. prom.

matej.dobovsek@lineal.si

Lineal, d. o. o., Jezdarska ulica 3, SI-2000 Maribor

Strokovni članek

UDK 625.739(497.4)

**Povzetek** | Konec novembra 2013 je bilo v promet predano rekonstruirano križišče Ulice pariške komune in Ljubljanske ulice v Mariboru. Prvotno načrtovano semaforizirano križišče se je zaradi nasprotovanja okoliških stanovalcev zgradilo kot enopasovno krožno križišče. Kljub opozorilom, da krožno križišče kapacitetno ni ustrezno in bo povzročilo zakonsko neustrezne zamude in kolone. Članek retrospektivno povzema in analizira dogodke, ki so se zgodili v povezavi z rekonstrukcijo danega križišča, ter podaja rezultate prometnega monitoringa, ki je bil opravljen nekaj dni po odprtju križišča.

Ključne besede: rekonstrukcija, semaforizirano križišče, krožno križišče

**Summary** | At the end of November 2013 the reconstructed intersection of two streets (Ulica Pariške komune and Ljubljanska ulica) in the city of Maribor was opened for traffic. The originally planned intersection with traffic lights was built, due to public opposition, as a one-lane roundabout despite warnings that a one-lane roundabout is not adequate in terms of capacity and will cause legally inappropriate delays and queues. The paper retrospectively summarizes and analyzes the events which occurred in connection with the reconstruction of the intersection. It also specifies the results of traffic monitoring which has been carried out a few days after the opening of the intersection.

Key words: reconstruction, intersection with traffic lights, roundabout

### 1 • UVOD

V začetku leta 2013 je podjetje Lineal, d. o. o., začelo aktivnosti izdelave načrtov za rekonstrukcijo križišča Ulice pariške komune in Ljubljanske ceste v Mariboru. Gre za eno izmed najbolj prometno obremenjenih križišč v mestu Maribor, ki ga v času delovnega dne prevozi več kot 25.000 vozil. Vzrok velikih prometnih obremenitev izhaja iz njegove

geoprometne lokacije v mestnem omrežju. Predstavlja namreč najbolj atraktivno povezavo v/iz smeri središča mesta in UKC iz/ v smeri glavne mestne vpadnice – Titove ceste. V neposredni bližini križišča je več izobraževalnih institucij, poleg tega gosta poselitev prebivalstva, kar ima za posledico večje število pešcev in kolesarjev.

Do leta 2010 je bilo križišče semaforizirano, a zaradi neustrezne geometrije križišča (prekratek pas za levo iz smeri centra in po en pas za naravnost na obeh glavnih prometnih smereh) ni funkcioniralo optimalno. Leta 2010 so se trajno okvarile zastarele semaforne naprave. Rešitev iz nastale situacije je bila preoblikovanje križišča v začasno (montažno) krožno križišče. Začasna rešitev je izboljšala prometno funkcioniranje križišča, ni pa zagotovila potrebne prometne kapacitete križišča. Večina voznikov je začasno krožno križišče

dobro sprejela, saj so se zamude in kolone zmanjšale glede na staro ureditev s semaforji. A problematičen je ostal čas prometnih konic, predvsem popoldanske konice, ko območje križišča v eni uri prevozi več kot 3000 vozil! Obdobje prometnih konic namreč pomeni merodajno obdobje, na podlagi katerega je treba dimenzionirati, tj. definirati tip in geometrijo določenega križišča.

Še predhodno je bila leta 2005 izdelana idejna zasnova križišča, ki je predvidevala dvopasovno krožno križišče premera 50 m. A dana rešitev ni bila skladna, sicer dve leti kasneje izdanimi navodili DRSC, ki so odredjala, da mora biti dvopasovno krožno križišče z dvopasovnimi uvozi in izvozi minimalnega premera vsaj 70 m. Tudi OPPN iz leta 2012 »cestne navezave med Ljubljansko in Nasipno ulico« je predvideval dvopasovno krožno križišče, a predvideno križišče ne zadošča pogoju minimalnega premera 70 m in zahtevi po zunajnivojskem prečkanju pešcev v primeru dvopasovnih uvozov/izvozov. V obeh navedenih primerih ni bila izdelana skladna prometna študija, ki bi analizirala potek prometa po rekonstrukciji križišča.

V skladu z zakonodajo in procesom cestnega načrtovanja predstavlja prometna študija oz. kapacitetna analiza križišča osnovno izhodišče. Ker je v neposredni bližini več križišč, je seveda treba prometno analizirati širše vplivno območje. Tako je bil v sklopu načrtovanja prometno analiziran celoten odsek Ulice pariške komunne v dolžini 900 metrov, od križišča s Titovo cesto do križišča z Gorkega ulico. Izdelana je bila



Slika 1 • Primerjava stare in nove geometrije semaforiziranega križišča (izsek iz programskega orodja Synchro)

mikrosimulacija poteka prometa, s katero lahko neposredno primerjamo učinkovitost prometnega omrežja ob različnih variantah ureditve križišč ter medsebojni vpliv križišč (poseganje kolon do sosednjega križišča ipd.).

Rezultati prometne študije so potrdili kapacitetno neustreznost enopasovnega krožnega križišča kot trajne prometne rešitve. Neustrezne zamude in kolone so bile izračunane že v izhodiščnem letu 2013, torej takoj po odprtju križišča. Kot ustrezni rešitvi sta se izkazali dvopasovno krožno križišče s spiralnim potekom, ali geometrijsko nadgrajeno semaforizirano križišče. A dvopasovno (turbo) krožno križišče je pomenilo zgolj teoretično rešitev. Vzrok sta bila prostorska omejitve ter veliko število pešcev in kolesarjev na danem območju, ki bi morali v tem primeru križišče prečkati zunajnivojsko (v več podhodih).

Optimalna rešitev je bilo tako izbrano semaforizirano križišče. Semaforizirano križišče z občutno nadgrajeno geometrijo glede na staro semaforizirano križišče, ki je bilo v uporabi do leta 2010. Projektna rešitev je predvidevala podaljšanje obstoječega pasu za leve in še dodaten pas za leve iz smeri središča mesta, dodan pas za naravnost iz smeri dvorane Tabor ter dva prometna pasova v Ulici pariške komunne na celotnem odseku med Ljubljansko in Titovo cesto. Semaforizacija križišča bi omogočala tudi koordinacijo s sosednjimi križišči (predvsem tistim na Titovi cesti), kar bi še dodatno pripomoglo k optimalnejšemu poteku prometa.

Naročnik, Mestna občina Maribor, je potrdil predlagano rešitev in v avgustu 2013 je izbrani izvajalec pričel gradbena dela v sklopu rekonstrukcije križišča.

## 2 • ZAPLET

Ob zaprtju cest oz. vzpostavitvi gradbišča je sledil upor okoljskih stanovalcev. Glavni razlog je bila informacija, da se bo križišče semaforiziralo in ne rekonstruiralo v krožno križišče. Ogorčenje ljudi se je najprej zgodilo na družabnem omrežju Facebook, kjer je novico o nameravani rekonstrukciji križišča objavil župan Andrej Fištravec. Ta je nato sklical javno tribuno, na kateri je ljudi povprašal za mnenje, in naletel na odločno nasprotovanje semaforiziranemu križišču. Osrednji del javne tribune je bila detajlna predstavitev projekta od Lineala. Podrobno so bili opisani predvidene rešitve in argumenti, zakaj enopasovno krožno križišče ni ustrezna rešitev na tako prometno obremenjeni cesti. Prikazane so bile simulacije



Slika 2 • Javna tribuna o ureditvi križišča z Ulico pariške komunne in Ljubljansko cesto





Slika 3 • Primerjava tipične situacije poteka prometa – enopasovno krožišče (zgoraj); nadgrajena geometrija semaforiziranega križišča (spodaj) v času popoldanske konice leta 2013 (izsek iz programskega orodja Synchro)

poteka prometa za več časovnih presekov in projektna rešitev semaforiziranega križišča, ki je posebno pozornost namenjala tudi ureditvi površin za pešce, kolesarje, javni promet in tudi invalide ter slepe in slabovidne.

Zbrana javnost je bila gluha za vse argumente, ki smo jih podali. Za prikazane simulacije poteka prometa je občinstvo trdilo, da so prirejene oz. da prometa na danem območju ni toliko. Rešitev, ki predvideva postavitev

semaforjev, je bila osumljena klientelizma s proizvajalcem semaforske opreme.

Križišče s semaforjem se je od zbrane javnosti proglasilo za smrtno nevarno z vidika poteka prometa in kot rešitev, ki bo občutno bolj onesnaževala okolje z izpušnimi plini kot krožno križišče. Vsakdo z vozniškim izpitom med zbrano publiko je brez samokritike zavzel vlogo projektanta križišča.

S sociološkega vidika je treba vzroke za nasprotovanje javnosti, da se križišče semaforizira, verjetno iskati v treh dejstvih. Prvo dejstvo predstavlja vsebina že predhodno omenjene projektne dokumentacije (leta 2005 in 2012), ki je predvidevala (sicer v skladu z normativi neustrezno) dvopasovno krožno križišče. Javnost se je z dano vsebino seznanila v postopkih javnih razgrnitev in sprejela rešitev s krožnim prometom kot edino in dokončno. Drugo dejstvo je poletni čas gradbenih del. V času poletnih počitnic so namreč prometne obremenitve na danem odseku manjše kot običajno. Za mesto Maribor je tudi sicer značilno, da se realne prometne obremenitve vzpostavijo v jesenskem času, z začetkom študijskega leta. Tretji, najizrazitejši razlog pa nedvomno izhaja iz afere radarji, ki se je v mestu zgodila jeseni 2012. Množičen upor proti postavitvi radarjev v semaforiziranih križiščih je v kolektivni zavesti gotovo stigmatiziral semaforizacijo križišč v smislu povezave s skritimi interesi in klientelizmom.

Ob koncu javne tribune je župan oznanil, da ustavlja projekt izgradnje semaforiziranega križišča. Kot razlog je navedel nestrinjanje lokalnih prebivalcev z rešitvijo, ki predvideva semaforje. Strokovni argumenti so bili zlahka preslišani. O posledicah tovrstne odločitve, ki je ogrozila tudi že pridobljena evropska finančna sredstva, se je razmišljalo šele v naslednjih dneh (tednih).

### 3 • RAZPLET

Mestna občina Maribor je v dneh po javni tribuni pripravila novo projektno nalogo, ki je predvideva izdelavo projektne dokumentacije za ureditev krožnega križišča. Ker so bila za gradnjo koriščena tudi evropska (državna) sredstva, je bilo treba spremeniti (prilagoditi) tudi dokument identifikacije investicijskega

projekta (DIIP). Gradbena dela so se lahko nadaljevala šele po izdelani novi projektne dokumentaciji, približno en mesec po ustavitvi prvotne gradnje. 22. novembra 2013 je bila rekonstrukcija križišča dokončana in krožno križišče predano v promet. Glede na strateško geoprometno lokacijo

križišča v mestnem omrežju so se prometni tokovi po skoraj štirimesečni zapori križišča zelo hitro preusmerili nazaj v križišče. Že v prvih dneh funkcioniranja krožnega križišča pa so se pokazale težave v poteku prometa. Kmalu je postalo jasno, da krožno križišče v času prometnih konic ne more zagotavljati tekočega prometa. Napovedi iz izdelanih prometnih simulacij, ki so nakazovale občutne kolone in zamude, so se začele uresničevati že v prvem tednu funkcioniranja križišča!

## 4 • PROMETNI MONITORING IN PRIMERJAVA Z REZULTATI PROMETNE ŠTUDIJE

Po prvih opažanjih je bil opravljen tudi celovit prometni monitoring. Izvedlo se je klasično videosnemanje poteka prometa v konični uri in tudi prevoz križišča z merodajno napravo, ki poleg videoposnetka meri tudi čas vožnje (zamude) in hitrost vozila. Meritve so bile opravljene v četrtek, 5. 12. 2013, med 15. in 16. uro. V nadaljevanju so podani fotografije tipičnega poteka prometa in rezultati meritev. Vsak priključek se je v času popoldanske konice prevozil 3-krat (razen najmanj problematičnega priključka iz smeri Nova vas, ki se je prevozil 2-krat), s čimer smo pridobili merodajen povprečen čas vožnje oz. povprečne zamude.

Za lažje razumevanje bodo ključni elementi omrežja razdeljeni v pet območij (slika 5), pri čemer bo prikazano in opisano odvijanje prometa na posameznem območju, in sicer:

- Območje 1 – priključek iz smeri središča mesta oz. UKC
- Območje 2 – priključek iz smeri dvorane Tabor (Poljane)
- Območje 3 – priključek iz smeri Titove ceste
- Območje 4 – priključek iz smeri Nova vas
- Območje 5 – stičišče Ulice pariške komune in Titove ceste

*Območje 1 (priključek iz smeri središča mesta oz. UKC)*

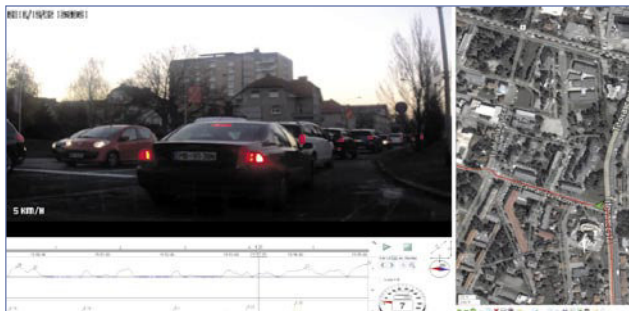
Na danem priključku je bila zabeležena največja povprečna zamuda, ki znaša 90 s (nivo uslug F). Veliko večino časa kolona sega do prvega križišča s Silihovo ulico (125 m), občasno pa celo dlje, od še naslednjega križišča z Jezdarsko ulico (250 m). Potek prometa je v najboljšem primeru enak, kot je bil v času montažnega krožnega križišča.

*Območje 2 – priključek iz smeri dvorane Tabor (Poljane)*

Povprečna zamuda iz dane smeri znaša 69 s (nivo uslug E). Povprečna kolona sega do sosednjega križišča z Žitno ulico (165 m). Zaznati je odvijanje prometa v intervalih, saj je bila razlika med vrednostjo največje in najmanjše zamude kar 105 s. Iz dane prometne smeri je bila zabeležena tudi največja posamezna zamuda v času meritev, ki znaša 135 s (2 min., 15 s). Omenjeno je gotovo pogojeno s dinamiko prometa na dveh (predhodnih) sosednjih križiščih, ki sta regulirani s semaforji. Krožno križišče seveda ne omogoča sinhronizacije s sosednjimi semaforiziranimi križišči.

*Območje 3 – priključek iz smeri Titove ceste*  
Odsek Ulice pariške komune je prometno najbolj obremenjen (preko 25.000 vozil/delovnik). Vzrok je povezava s Titovo cesto, ki predstavlja glavno mestno vpadnico. Zaradi enopasovnega uvoza (in tudi izvoza) v krožno križišče nastajajo neustrezne kolone in zamude. Povprečna zamuda iz smeri Titove ceste znaša 87 s, kar predstavlja neustrezen nivo uslug F. Na območju danega priključka sta najbolj kritični dve situaciji, ki se dogajata v času popoldanske konice. Prva je poseganje kolon vse do Titove ceste, kar povzroči, da vozila obstanejo na območju križišča na Titovi cesti. Druga situacija pa je občasno poseganje kolon v nasprotni smeri, torej od Titove ceste pa vse do območja krožnega križišča, kar povzroči občasno popolno ustavitev prometa (blokada) v krožnem toku križišča. Dodaten prometni pas na izvozu v smeri Titove ceste, kot ga je predvidevala rešitev s semaforiziranim križiščem, bi to eliminiral.

*Območje 4 – priključek iz smeri Nova vas*  
Kot je predvidevala tudi izdelana simulacija prometa, dani priključek funkcionira najbolje. Vzrok so relativno majhne prometne obremenitve glede na druge smeri. Povprečna zamuda je 54 s (nivo uslug D). A promet tudi na danem priključku ne poteka brez opaznih zastojev, občasno je zaznati kolone v dolžine ca. 110 m.



Slika 4 • Izsek iz programskega orodja za analizo časa in hitrosti vožnje (videovožnje, lokacija, analiza hitrosti in pospeškov)



Slika 5 • Prikaz analitičnih območij za potrebe opisa poteka prometa



Slika 6 • Zastoji pri priključku iz smeri centra; primerjava poteka prometa pred rekonstrukcijo križišča (zgoraj) in po njej (spodaj)

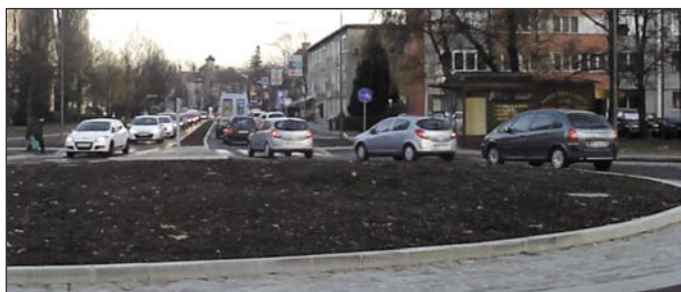




Slika 7 • Kolona vozil iz smeri dvorane Tabor



Slika 10 • Kolone (zgoraj) in nezmožnost uvoza v Ulico pariške komune s Titove ceste (spodaj) – vozila obtičijo na območju zelo prometnega križišča



Slika 8 • Kolona vozil iz smeri Titove ceste (leva stran slike) in tudi v nasprotni smeri (desna stran slike)



Slika 9 • Kolona vozil iz smeri Nova vas



Slika 11 • Izračunani nivoji uslug za varianto krožnega križišča (popoldanska konica, 2013)

### Območje 5 – stičišče Ulice pariške komune in Titove ceste

Kot že omenjeno predhodno, dobršen del popoldanske konice kolona v Ulici pariške komune sega od novozgrajenega krožnega križišča pa vse do Titove ceste. To povzroči občasni prometni kaos na območju semaforiziranega križišča na Titovi cesti, saj stoječa vozila blokirajo druga vozila, ki imajo sicer zeleno signalno fazo.

Povprečna zamuda na vseh priključkih znaša 77 s, kar sicer (komajda) predstavlja nivo uslug E. Nivo uslug E predstavlja povprečna zamuda med 55 in 80 sekundami. A križišče je v skladu s strokovnimi normativi kapacitetno neustrezno že, če ima vsaj ena pro-

metna smer nivo uslug F. V danem primeru pa imata kar dva priključka v novozgrajeno krožno križišče neustrezne zamude, tj. nivo uslug F.

V primeru še obširnejših meritev v sklopu prometnega monitoringa (večjega števila voženj ob različnih dnevih med tednom) bi pridobili še bolj merodajne rezultate. Dnevne prometne obremenitve na vsakem omrežju namreč niso nikoli povsem enake, temveč se gibajo glede na empirične raziskave v razponu vsaj +/- 10 %. A glede na prometno dogajanje in velike konične obremenitve v križišču bi tudi dodatne meritve zelo verjetno podale primerljive rezultate.

Omenjeno nakazuje tudi primerjava med izmerjenimi nivoji uslug v realnem okolju in izračunanimi v prometni študiji. Odstopanja so minimalna in pogojena z dnevnimi nihanjem prometa ter omejenim analiziranim območjem analize. Primerjava rezultatov prometne študije in meritev iz realnega okolja tako dokazuje, da sodobno prometno modeliranje v procesu načrtovanja zelo realno simulira prometno dogajanje po izgradnji. Brez tovrstnih analiz bi namreč gradili prometnice in predvsem križišča »po občutku«. Glede na zelo velike stroške, ki nastanejo ob izgradnji in rekonstrukciji prometnic, si seveda napačnih prometno poddimenzioniranih rešitev ne moremo privoščiti.

		meritve iz realnega okolja		prometna študija
		zamuda (s)	nivo uslug	nivo uslug
iz smeri središča mesta	vožnja #1	152	F	
	vožnja #2	60	E	
	vožnja #3	58	E	
	<b>povprečje</b>	<b>90</b>	<b>F</b>	<b>E</b>
iz smeri dvorane Tabor	vožnja #1	43	D	
	vožnja #2	135	F	
	vožnja #3	30	C	
	<b>povprečje</b>	<b>69</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
iz smeri Nova vas	vožnja #1	72	E	
	vožnja #2	37	D	
	<b>povprečje</b>	<b>54</b>	<b>D</b>	<b>D</b>
iz smeri Titova cesta	vožnja #1	70	E	
	vožnja #2	85	F	
	vožnja #3	107	F	
	<b>povprečje</b>	<b>87</b>	<b>F</b>	<b>E</b>
<b>vse smeri</b>	<b>povprečje</b>	<b>77</b>	<b>E</b>	<b>E</b>

Preglednica 1 • Prikaz izmerjenih zamud in nivojev uslug iz realnega okolja po prometnih smereh in na nivoju križišča ter primerjava z rezultati iz prometne študije

## 5 • SKLEP

Mesto Maribor je znano kot vodilno s krožnimi križišči. S turbokrožiščem na Titovi cesti je bila orana ledina pri projektiranju in izgradnji tovrstnih križišč v Sloveniji, leta 2006 je na bilo na Glavnem trgu nameščeno prvo montažno krožno križišče v državi, na zahodni obvoznici pa eden prvih parov krožnih križišč (dumb bell) v sklopu zunajnivojskega križanja. Sedaj smo dobili tudi prvo »facebook« krožno križišče. Križišče, katerega prometni režim je na koncu določila laična javnost in ne stroka. Javnost, ki ob besedi semafor žal najprej pomisli na klientelizem in skrite interese. Zakonske osnove za projektiranje križišč so jasne. Križišče se mora projektirati za dobo 20 let in mora v tem času zagotavljati ustrezne nivoje uslug poteka prometa. Rekonstrukcija križišča v vrednosti več kot 650.000 evrov, ki prometno »pregori« že takoj po otvoritvi, ne more biti upravičljiva po nobenih kriterijih, ne prometnih, še manj ekonomskih. Krožna križišča so seveda pretočna in varna prometna rešitev, a ne vedno in ne povsod. Urbanistično bolj vsečne rešitve, kar krožno križišče vsekakor je, lahko s kapacitetnimi

»odpustki« predvidimo v mestih jedrih, nikakor pa ne na glavni mestni prometnici z več kot 25.000 vozili na dan. Od predstavnika Mariborske kolesarske mreže, ki je bil naprej za semaforizacijo križišča, kasneje pa za izgradnjo krožnega prometa, je bil podan predlog, da bi se kolesarji v krožnem križišču vodili na vozišču, torej neposredno z drugim motoriziranim prometom. V križišču, ki ga prevozi preko 3000 vozil v eni uri! Omenjeno je povsem z nasprotju s prometnovarnostnimi kriteriji, ki definirajo način izvedbe kolesarske površine glede na količino motornega prometa.

V času projektiranja križišča je bil tudi del strokovne komisije za tehnično urejanje prometa v MO Maribor proti izgradnji semaforiziranega križišča. Komisija je sestavljena iz 13 članov, za semaforizirano križišče se je opredelilo deset članov, trije pa so bili proti. Argumenti nasprotnikov semaforizacije so bili, da so semaforizirana križišča prometno (smrtno) nevarna. To je zelo radikalno stališče. Če je tako, bi morali čim prej na nacionalni ravni rekonstruirati vsa križišča s semaforji in brez

njih v krožna ter prepovedati načrtovanje semaforiziranih križišč. Zamislimo si funkcioniranje prometa, če bi bila križišča krožna na Celovski, Dunajski cesti v Ljubljani ali Ptujski, Tržaški cesti v Mariboru. Semaforizirana križišča so in bodo nujen del za funkcioniranje mestnega prometnega omrežja. Seveda pa morajo biti ustrezno geometrijsko in signalno dimenzionirana. In to je osnovna naloga prometne študije oz. kapacitetnih analiz križišča v začetnih fazah načrtovanja.

Zanimivo, a napačno je tudi pridobljeno mnenje vsakdanjih voznikov, ob vprašanju, zakaj zdaj v krožnem križišču nastajajo zamude in kolone. So namreč mnenja, da so vzrok za zamude in kolone preozki uvozni pasovi v krožišče oz. »dvignjen« sredinski pas med obema prometnima pasovoma pri priključkih iz smeri dvorane Tabor in Titove ceste.

Sredinska pasova sta v sklopu načrtovanja nastala kot posledica prevelikih obstoječih širin vozišča (površina pasu za leve zavijalce iz predhodne geometrije križišča). Preprečujeta nelegalno levo zavijanje v/iz smeri stranskih ulic, kar bi povzročilo še dodatne zastoje. Hkrati sredinska pasova služita namenu večje prometne varnosti in umirjanju prometa, a minimalno vplivata na kapaciteto krožišča. Kapaciteta križišča je namreč v





Slika 12 • Sredinski pas pri priključku iz smeri Titove ceste

največji meri pogojena s časovnimi oz. prostorskimi prazninami v krožnem toku križišča, ki o(ne)mogočajo uvoz vozila v krožno križišče. Gostejši ko je promet v krožnem toku križišča, manjše so časovne oz. prostorske praznine in težje oz. dlje časa potrebuje posamezno vozilo, da se vključi vanj. Daljši čas vključevanja posameznega vozila v krožni tok pa neposredno pomeni večje zamude in kolone na območju priključka. Točno to se dogaja v času koničnih ur v križišču Ulice pariške komune in Ljubljanske ceste.

Vozniki gotovo tudi drugače doživljajo zamude glede na tip križišča. V primeru neustreznih zamud je občutek zamud (čakanja) voznikov v semaforiziranih križiščih zelo verjetno daljši kot v primeru krožnega križišča, ko promet poteka po principu »spelji-zavri«. A izdelane simulacije prometa v sklopu prometne študije in opravljene meritve v realnem okolju podajajo objektivni rezultat. Zamude v krožnem križišču so (bodo) večje, kot bi bile v predlagani geometriji semaforiziranega križišča.

Krožno križišče je sedaj izgrajeno in bo v funkciji vrsto let. Res je, krožna geometrija omogoča relativno hitro in varno prečkanje pešcev in kolesarjev. A v članku podana dejstva ostajajo. Ena izmed redkih večjih investicij v občinsko cestno omrežje mesta Maribor v zadnjih letih je bila izgrajena prometno pod-

dimenzionirano. Zavedstvo, ker so to zahtevali okoliški prebivalci. Ali ti prebivalci zdaj vdihujejo manj onesnažen zrak, kot bi ga v primeru semaforja, kot so trdili na javni tribuni? Pri večini priključkov vozilo v koloni spelje in zavre vsaj 6-krat, preden prevozi križišče, v primeru semaforja bi glede na izdelane simulacije prometa največ 2-krat. Največ emisij motorno vozilo povzroči ravno ob speljevanju in pri majhnih hitrostih.

Ali bo uporaba osebnih vozil v Mariboru upadala, če bomo gradili prometno poddimenzionirana križišča? Ali sploh poznamo prometne navade in potrebe Mariborčanov? V nedavno izdelanem načrtu trajnostne mobilnosti za območje Maribora se je enostavno povzelo prometne navade iz »primerljivih mest«, Ljubljane in Gradca. Le kako lahko načrtujemo prometno prihodnost Maribora, če ne poznamo sedanjosti?

Začetni korak sodobnega načrtovanja prometnih ureditev in prometnih omrežij mora vedno predstavljati prometna študija s prometnim modelom. Sodobni prometni model mora v čim večji meri predstavljati odsev realnega sveta ter ob pomoči matematičnih (verjetnostnih) izrazov opisovati obstoječo in predvsem bodočo povezavo med družbenim okoljem in različnimi prometnimi sistemi, ki so (bodo) v okolju. Za izdelavo in razvoj celovitega multimodalnega prometnega modela

je treba različne zvrsti prometa obravnavati enakovredno.

Promet je dinamičen in živ pojem, ki se nenehno spreminja. Ne le količine prometa znotraj ene ure, dneva ali leta, temveč se spreminjajo tudi demografska, sociološka in ekonomska slika nekega območja, stopnja motorizacije, vozni redi javnega prometa, krmilni načrti semaforjskih ciklusov, geometrije križišč ... Vse naštetu vpliva na potek prometa in temu mora slediti tudi prometno modeliranje. Sodobne metode in orodja za prometno planiranje zajemajo vse merodajne vhodne podatke in jih spremenijo v različne vrste potovanj. Na ta način dobimo obstoječe in bodoče prometne obremenitve po vrsti prometa ter v odvisnosti od različnih predpostavk politike urejanja prometa (prometnih scenarijev).

Mesto Maribor zatorej nujno potrebuje ažuren prometni model, ki bo temeljil na realnih vhodnih podatkih in ki bo dejanske socioekonomske podatke pretvoril v potovanja prebivalcev. Ne samo na ravni osebnega prometa, temveč predvsem javnega in drugih vrst prometa. Le tako bomo dobili celosten vpogled obstoječega in bodočega poteka prometa v Mariboru in okolici. Tudi z vidika trajnostne mobilnosti. Brez omenjenega bo prometno načrtovanje v vseh oblikah vedno slonelo zgolj in samo na subjektivnih predpostavkah, ne le javnosti, ampak tudi stroke. Iz v članku opisanega primera ne dobre prakse se lahko naučimo vsi; upravljavci prometnega omrežja, projektanti in širša javnost. Medsebojno spoštovanje in sprejemanje različnih vidikov je osnova dobre komunikacije. Seznanitev javnosti s projektnimi rešitvami mora potekati na transparenten in pravočasen način. Ne šele, ko se prične gradnja. Zaradi posameznih medijsko izpostavljenih primerov slabe prakse v preteklosti je treba pridobiti v zadnjih letih izgubljeno zaupanje javnosti v strokovne rešitve. To je verjetno najtežji del naloge. Namen danega članka je korak tudi v to smer.

## 6 • VIRI

Povezave do vsebin YouTube (ključne besede: križišče z Ulico pariške komune)

Predstavitev vsebine prometne študije (januar 2013); povzeto po: <http://www.youtube.com/watch?v=q2f9jb7vSqY&feature=youtu.be>.

Javna tribuna: semaforji ali rondo v križišču Ulice pariške komune in Ljubljanske?, avgust 2013, povzeto po:

<http://www.youtube.com/watch?v=2X4-LX5LV9c>.

Prometni monitoring – odvijanje prometa po izgradnji krožnega križišča, december 2013, povzeto po:

<http://www.youtube.com/watch?v=MvIZriVFN4c>.

# KNJIGA LJUBLJANSKA INŽENIRSKA ZBORNICA 1919–44

## 20 % spomladanski popust!

V decembru je Inženirska zbornica Slovenije ob 100. obletnici delovanja pooblaščenih inženirjev na območju današnje Slovenije izdala prvo knjigo o Ljubljanski inženirski zbornici in njenih pooblaščenih inženirjih in arhitektih v Dravski in Primorski banovini Kraljevine SHS in pozneje Jugoslaviji. Avtor knjige je dr. Bogo Zupančič.

Knjiga prikaže, kako se je izgrajevala slovenska tehnična inteligenca in v kakšnih institucionalnih okvirih je delovala od prve povezave v Avstro-Ogrski leta 1913 do ustanovitve samostojne Ljubljanske inženirske zbornice leta 1919, razvoj zbornice in njen konec med drugo svetovno vojno.

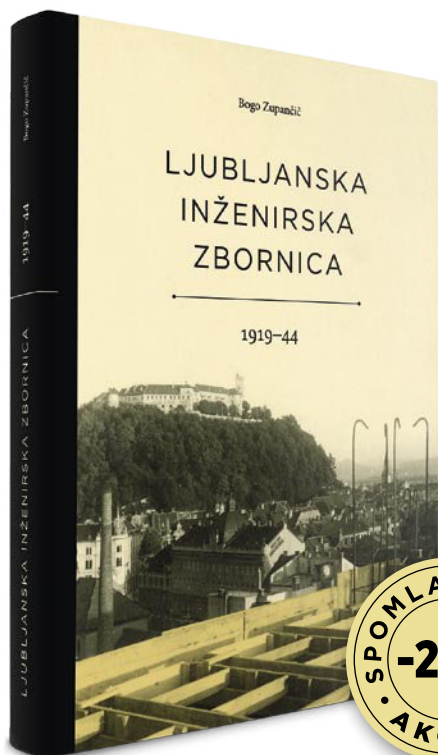
Iz knjige izvemo, kako je gradbena regulativa v Kraljevini Jugoslaviji iz začetka tridesetih let vplivala na gradbeniško dejavnost in urejenost nepremičninskega trga, ob čemer trčimo na vprašanje, kako so se inženirske stroke soočale z gospodarsko krizo, ki je najbolj uničujoče zaznamovala gradbeništvo leta 1934.

Iz knjige izhaja, da so bili pooblaščen inženirji in arhitekti, kot nosilci javnih pooblastil prisotni že v prejšnjem stoletju, in da so prav tako kot danes delovali v javnem interesu in skrbeli za varstvo grajenega okolja in tretjih oseb. Njihovo delovanje so urejala podobna pravila, kot ga urejajo danes.

Kot zanimivost naj navedemo, da so v knjigi objavljeni tudi sezname članov. Če so bili vaši predniki inženirji ali arhitekti, jih boste v knjigi lahko našli. Lahko jih poiščete v seznamu članov in pripravnikov za pooblaščen inženirje in arhitekta. Sezname so vzeti iz registra pooblaščenih inženirjev in arhitektov, ki ga hranimo na IZS.

**Knjigo lahko v času spomladanske akcije, ki traja do 31. 5. 2014, kupite po 20 % nižani ceni.**

Knjiga je namenjena ozaveščanju o vlogi inženirjev. Vabimo vas k nakupu knjige s ciljem promocije inženirskega poklica in dela.



Izšla je prva knjiga o Ljubljanski inženirski zbornici in njenih pooblaščenih inženirjih in arhitektih v Dravski in Primorski banovini Kraljevine SHS in pozneje Jugoslaviji.

#### SPECIFIKACIJA KNJIGE

Format: 230 x 310 mm  
Trde platnice, 128 strani  
146 fotografij  
Avtor dr. Bogo Zupančič

#### PONUDBA ZA NAKUP

1 knjiga = ~~25~~ 20 EUR  
2 do 5 knjig = 5% popust  
6 do 10 knjig = 10% popust  
več kot 10 knjig = 20% popust

DDV v višini 9,5% je že všteta v ceni. Knjige vam dostavimo po povzetju. Ob naročilu večjega števila izvodov je zaželeno, da jih prevzamete na IZS oz. se za način prevzema dogovorite osebno.

Knjiga je primerno darilo za vaše sodelavce in poslovne partnerje.



INŽENIRSKA ZBORNICA SLOVENIJE  
Jarška cesta 10/b, 1000 Ljubljana  
telefon: 01/547 33 37, e-naslov: petra.kavcic@izs.si  
www.izs.si

# NOVI DIPLOMANTI

## UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

### VISOKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Matjaž Strajnar**, Uporaba programa Plateia za načrtovanje cest in križišč, mentor doc. dr. Peter Lipar

**Jože Maver**, Reologija svežih samozgoščevalnih betonov in malt z enako razvito površino agregatnih zrn, mentorica izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor Andraž Hočevar

**Kristina Vodnjov**, Idejne rešitve ureditev križišč in priključkov v naseljih Prelog in Ihan, mentor doc. dr. Peter Lipar

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Jasmin Hercegovac**, Presoja uspešnosti urbanistično zasnovane obvoznice Rakek, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc

**Marko Andrejašič**, Analiza stanja veza 7 v Luki Koper s študijo možnosti poglobitve morskoga dna, mentor izr. prof. dr. Janko Logar

**Jure Blejec**, Upravičenost gradnje nove proge Zagreb–Maribor–Gradec, mentor prof. dr. Bogdan Zgonc, somentorica asist. Darja Šemrov

**Nina Movja**, Rekonstrukcija cestne mreže v manjših ruralnih naseljih – primer Dobrovo v Brdih, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc, somentor viš. pred. mag. Robert Rijavec

**Haris Alič**, Vpliv oglenenja na požarno odpornost lesenih stebrov, mentor doc. dr. Simon Schnabl, somentor prof. dr. Igor Planinc

**Miha Ambrožič**, Polno nosilni spoji v potresno odpornih stavbah, mentor prof. dr. Darko Beg, somentor asist. dr. Primož Može

**Nina Miličič**, Analiza potresne odpornosti gradu Grm glede na različne ravni poznavanja konstrukcije, mentor izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov, somentorica asist. Meta Kržan

**Tadej Dragan**, Novi pristopi pri analiziranju prometne varnosti, mentor izr. prof. dr. Marijan Žura, somentor viš. pred. mag. Jure Kostanjšek

**Mojca Gantar**, Metode zmanjševanja padavinskega odтока v urbani okolju, mentor izr. prof. dr. Jože Panjan, somentor asist. dr. Mario Krzyk

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ VODARSTVA IN KOMUNALNEGA INŽENIRSTVA

**Katja Žilavec**, Tehnologije priprave bazenske kopalne vode in ukrepi za zmanjševanje nastanka kloriranih stranskih produktov dezinfekcije (SPD) na primeru Term Sončni park Vivat, mentor prof. dr. Boris Kompare, somentor doc. dr. Darko Drev

**Andrej Hercog**, Rastlinska čistilna naprava Grborezi, mentor prof. dr. Boris Kompare, somentorja doc. dr. Darko Drev in doc. dr. Tjaša Griessler Bulc

**Neža Prosen**, Analiza vodnega in obvodnega prostora Ljubljanske Save, mentor prof. dr. Matjaž Mikoš

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM I. STOPNJE GRADBENIŠTVO (UN)

**Mihael Legen**, Požarna odpornost jeklene poslovne stavbe, mentor prof. dr. Darko Beg, somentor asist. dr. Franc Sinur

**Rok Frantar**, Napoved povečanja prometa zaradi izgradnje trgovskega centra Qlandia Kranj, mentor izr. prof. dr. Marijan Žura

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Gorazd Kovač**, Izdelava rudniškega jaška in presoja geomehanske stabilnosti, mentor izr. prof. dr. Stanislav Škrabl

### 2. STOPNJA, MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Benjamin Čoh**, Raziskava potenciala za izkoriščanje vetrne energije na območju Boč–Plešivec, mentorica doc. dr. Branka Trček, somentorica mag. Bernardka Jurič

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

### INTERDISCIPLINARNI UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA – SMER GRADBENIŠTVO

**Natalija Vindiš**, Predlogi SCCIC – ekonomskih ukrepov za vzpostavitev okoljske cone v Mestni občini Maribor, mentorja doc. dr. Branka Trček – FG in doc. dr. Dušan Jovanovič – EPF, somentor asist. mag. Marko Čelan

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

Vsem diplomantom čestitamo!

Skladno z dogovorom med ZDGITS in FGG-UL vsi diplomanti gradbenega oddelka Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani prejemaajo Gradbeni vestnik (12 števil) eno leto brezplačno. Vse, ki bodo želeli po prejemu 12. številke postati redni naročniki, prosimo, naj to čimprej sporočijo uredništvu na naslov: GRADBENI VESTNIK, Karlovska cesta 3, 1000 Ljubljana; telefon: (01) 52 40 200; faks: (01) 52 40 199; e-mail: [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net).

ZDGITS in Uredništvo Gradbenega vestnika



# KOLENDAR PRIREDITEV

13.5.2014

**ICE Flooding 2014 – Sustainable Flood Risk Management for Communities and Infrastructure**

London, Anglija  
[www.ice-conferences.com/ice-flooding-2014/](http://www.ice-conferences.com/ice-flooding-2014/)

1.-6.6.2014

**82nd ICOLD Annual Meeting**

Bali, Indonezija  
[www.icold2014bali.org/en/agenda.html](http://www.icold2014bali.org/en/agenda.html)

2.-6.6.2014

**3rd World Landslide Forum "Landslide risk mitigation: Constructing a safe geo-environment"**

Peking, Kitajska  
[www.wlf3.org](http://www.wlf3.org)

5.-6.6.2014

**Prvi srpski kongres o putevima**

Beograd, Srbija  
[www.kongresoputevima.rs](http://www.kongresoputevima.rs)

22.-24.6.2014

**IABSE Workshop "Exploring the Potential of Hybrid Structures for Sustainable Construction"**

Fribourg, Švica  
[www.iabse.org/hybrid2014](http://www.iabse.org/hybrid2014)

23.-27.6.2014

**10th International Symposium on Ecohydraulics**

Trondheim, Norveška  
[www.ntnu.edu/ecohydraulics2014](http://www.ntnu.edu/ecohydraulics2014)

30.6.-2.7.2014

**EURODYN 2014  
9th International Conference on Structural Dynamics**

Porto, Portugalska  
<http://paginas.fe.up.pt/~eurodyn2014/>

3.-5.7.2014

**International Scientific Conference »Contemporary Materials«**

Banja Luka, Republika srbska  
<http://savremenimaterijali.info/index.php?idsek=15>

16.-18.7.2014

**Footbridge 2014: Past, Present & Future**

London, Anglija  
[www.footbridge2014.com](http://www.footbridge2014.com)

24.-29.8.2014

**2ECEES  
2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology**

Istanbul, Turčija  
[www.2ecesistanbul.org](http://www.2ecesistanbul.org)

3.-5.9.2014

**37th IABSE Symposium Madrid 2014**

Madrid, Španija  
[www.iabse.org/Images/Conferences/Madrid/symposium\\_iabse2014.pdf](http://www.iabse.org/Images/Conferences/Madrid/symposium_iabse2014.pdf)

15.-19.9.2014

**IAEG XII Congress Engineering Geology for Society and Territory**

Torino, Italija  
[www.iaeg2014.com](http://www.iaeg2014.com)

17.-19.9.2014

**ECCPM 2014 – 10th European Conference on Product and Process Modelling**

Dunaj, Austrija  
<http://info.tuwien.ac.at/ecppm/>

23.-24.9.2014

**ISCD 2014 – 10th International Symposium on Cable Dynamics**

Kopenhagen, Danska  
[www.aimontefiore.org/iscd2014/](http://www.aimontefiore.org/iscd2014/)

1.-2.10.2014

**10th »CCC« Central European Congress on Concrete Engineering**

Liberec, Češka  
[www.cbsbeton.eu/ccc2014](http://www.cbsbeton.eu/ccc2014)

20.-22.10.2014

**EEBP7 – 7th International Symposium on Environmental Effects on Buildings and People – Actions, Influences, Interactions, Discomfort**

Krakov, Poljska  
<http://psiw.org.pl/eebp7>

6.-8.11.2014

**ASCE – International Conference on Sustainable Infrastructure 2014**

Long Beach, Kalifornija, ZDA  
<http://content.asce.org/conferences/icsi2014/index.html>

12.-17.4.2015

**7th World Water Forum**

Daegu-Gyeongbuk, Republika Koreja <http://worldwaterforum7.org/en>

13.-15.5.2015

**IABSE Conference Nara 2015**

Nara, Japonska  
[www.iabse.org/Nara2015](http://www.iabse.org/Nara2015)

25.-29.5.2015

**XVth IWRA World Water Congress**

Edinburgh, Škotska  
[www.worldwatercongress.com](http://www.worldwatercongress.com)

Rubriko ureja • **Eva Okorn**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net)