

# GRADBENI VESTNIK

marec 2020



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

Poština plačana pri pošti 1102 Ljubljana



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

UDK-UDC 05 : 625; tiskana izdaja ISSN 0017-2774;

spletna izdaja ISSN 2536-4332.

Ljubljana, marec 2020, letnik 69, str. 61-92

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, Fakultete za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo Univerze v Mariboru in Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**, predsednik  
**Dušan Jukić**  
**prof. dr. Matjaž Mikoš**  
IZS MSG: **Gorazd Humar**  
**Ana Brunčič**  
**dr. Branko Zadnik**  
UL FGG: **izr. prof. dr. Sebastjan Bratina**  
UM FGPA: **doc. dr. Milan Kuhta**

Glavni in odgovorni urednik:

**prof. dr. Janez Duhovnik**

Lektor:

**Jan Grabnar**

Lektorica angleških povzetkov:

**Romana Hudin**

Tajnica:

**Eva Okorn**

Oblikovalska zasnova:

**Mateja Goršič**

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

**Kočevski tisk**

Naklada:

**500 tiskanih izvodov**  
**3000 naročnikov elektronske verzije**

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

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

Letno izide 12 števil. Letna naročina za individualne naročnike znaša 23,16 EUR; za študente in upokojene 9,27 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 171,36 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je všteta DDV.

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

## 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

## Jubilej

stran 62

prof. dr. Janez Duhovnik

**DR. BRANKO ZADNIK, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD. – 70 LET**

## Članki • Papers

stran 63

dr. Meta KRŽAN, univ. dipl. inž. grad.

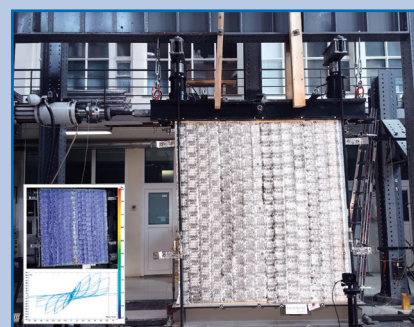
dr. Tomaž PAZLAR, univ. dipl. inž. grad.

Ivan GRAŠIČ, univ. dipl. inž. les.

dr. Boštjan BER, univ. dipl. inž. grad.

**PREISKAVE LESENIH OKVIRNIH STENSKIH PANELOV S  
CEMENTNO-IVERNIMI OBLOŽNIMI PLOŠČAMI**

EXPERIMENTAL STUDY OF THE BEHAVIOUR OF LIGHT-FRAME  
TIMBER WALL PANELS WITH CEMENT-PARTICLE-BOARD SHEATHING



stran 73

Kristina Klemen, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.

Petra Pergar, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.

Marko Fatur, univ. dipl. inž. grad.

dr. Bernarda Bevc Šekoranja, univ. dipl. inž. arh.

mag. Katarina Konda, univ. dipl. inž. arh.

**PROBLEMATIKA NAČRTOVANJA SONARAVNIH UKREPOV ZA CELO-  
VITO UPRAVLJANJE PADAVINSKIH VODA NA URBANIH OBMOČJIH**

THE ISSUES OF PLANNING NATURE-BASED SOLUTIONS FOR INTE-  
GRATED STORMWATER MANAGEMENT IN URBAN AREAS

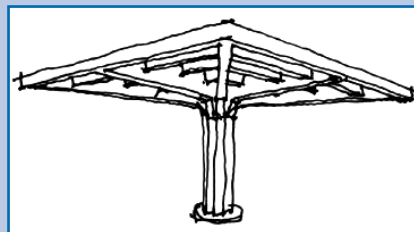


stran 82

doc. dr. Lara SLIVNIK, univ. dipl. inž. arh.

**ZGODOVINSKI PREGLED STREŠNIH KONSTRUKCIJ,  
PODPRTIH Z ENIM STEBROM**

HISTORICAL OVERVIEW OF ROOF STRUCTURES  
SUPPORTED BY ONE PILLAR



## Novi diplomanti

Eva Okorn

## Koledar prireditev

Eva Okorn

Slika na naslovnici: Nadgradnja železniške postaje Maribor, foto Simon Koležnik

## DR. BRANKO ZADNIK, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD. – 70 LET



V marcu 2020 je dr. Branko Zadnik, univerzitetni diplomirani inženir gradbeništva, projektant, revident, raziskovalec, direktor sektorja, docent, avtor knjig in člankov, društveni in zbornični funkcionar, praznoval sedemdesetletnico.

Rojen je bil v Dolgi vasi pri Kočevju. Gradbeno tehniško šolo v Ljubljani je končal leta 1969. Na oddelku za gradbeništvo fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo je diplomiral leta 1974, kjer je leta 1983 zaključil tudi magistrski študij z nalogo Dinamična analiza težnostnih pregrad. Leta 1991 je na Inštitutu za potresno inženirstvo in inženirsko seizmologijo v Skopju doktoriral z disertacijo Analiza stabilnosti betonskih težnostnih pregrad v primeru delovanja močnih potresov.

Od diplome do upokojitve leta 2015 je bil zaposlen v Inženirskem biroju Elektroprojekt (danes IBE, d. d.), kjer je kot projektant, raziskovalec in svetovalec deloval pri snovanju in izgradnji energetskih in industrijskih objektov, od leta 1998 pa tudi pri vodenju biroja. Sprva se je ukvarjal predvsem s konstruiranjem, statičnimi in dinamičnimi analizami gradbenih konstrukcij v hidroenergetiki, termoenergetiki in nuklearni energetiki, pri prenosu in transformaciji električne energije ter tudi v industriji. Svetovalno in organizacijsko delo ter vodenje projektov je opravljal v Sloveniji, na območju nekdanje Jugoslavije in v svetu. Od leta 1985 do upokojitve je vodil pri IBE Enoto za raziskave in razvoj, kjer je pridobil naziv razvojni svetnik. V začetku leta 1998 je prevzel funkcijo direktorja Sektorja za gradbeništvo, arhitekturo in geodezijo v IBE.

Težišče njegovega strokovnega dela je bilo snovanje elektroenergetskih objektov (hidroelektrarne, jedrska elektrarna) ter prenosa in transformacije električne energije. Sodeloval je pri izdelavi projektne dokumentacije, od študij

in idejnih projektov do projektov za izvedbo in izvedenih del, kjer je bil odgovorni vodja projekta oziroma odgovorni projektant za gradbene dele projektov. Posebno zahtevno je bilo delo v kriznih situacijah, ko je zaradi katastrofalnega žledenja večkrat prišlo do rušenja daljnovodov in jih je bilo treba čim prej obnoviti in ojačiti. Pri izgradnji jedrske elektrarne Krško je kot odgovorni projektant za gradbeni del projekta sodeloval pri snovanju objekta radiološke kontrolne točke in objekta kompaktiranja srednje- in nizkoradioaktivnih odpadkov. V sklopu rednih vzdrževalnih del je pri projektu oskrbe nuklearke s hladilno vodo opravljal dinamične analize cevovodov. Pri projektu druge jugoslovanske jedrske elektrarne Prevlaka pri Zagrebu je bil v skupini, ki je obravnavala problematiko temeljenja. Njegovi največji projekti so študija ločne pregrade Lonci na reki Komarnici z višino 165 m in težnostni pregradi Zlatica in Milunoviči na reki Morača z višino 53 m v Črni gori. V letih 1995 in 1996 je sodeloval pri pripravi Pravilnika o seizmološkem monitoringu velikih pregrad.

Bil je recenzent številnih projektov, študij in raziskav s področja energetike, industrije in varstva okolja.

Znanstveno, raziskovalno in razvojno delo je opravljal predvsem v ERR IBE. V letih od 1986 do 1993 je vodil raziskovalna projekta Račun konstrukcij pri potresni obtežbi – energetski objekti in Analiza kontakta med togimi konstrukcijami in tlemi pri potresni obtežbi. Med letoma 1998 in 2000 je sodeloval pri raziskovalnem projektu Določitev kriterijev kritičnosti daljnovodnih stebrov.

Kot docent za področje Potresno inženirstvo – energetski objekti je bil habilitiran na Univerzi v Ljubljani, FGG (1996–2011). Leta 2006 je izdal univerzitetni učbenik Fenomen žleda in njegov vpliv na objekte za prenos električne energije. Bil je somentor več diplomantom, sodeloval je pri pripravi študijskega programa za podiplomski študij dveh mladih raziskovalcev. Bil je mentor 11 pripravnikom v IBE. V IBE je sodeloval pri organizaciji in izvajanju posebnih internih izobraževalnih seminarjev za projektante.

Predaval je na številnih domačih in mednarodnih kongresih, konferencah, simpozijih in medobiskih univerz in inštitutov na Japonskem, v Italiji, Avstriji, Nemčiji in ZDA, kjer je poročal o svojih raziskavah in izkušnjah, dobljenih pri študiju stabilnosti betonskih težnostnih pregrad. Leta 2005 je bil kot predsednik matične sekcije gradbenih inženirjev pri Inženirski zbornici Slovenije vključen v organizacijo izobraževanja o novih evrokodih.

Veliko je objavljala tudi v dnevem ali periodičnem tisku z namenom popularizacije stroke

in znanosti v slovenskem prostoru. Njegovo raziskovalno delo je imelo odziv tudi v mednarodnem prostoru, kar je vidno iz citatov v tuji in domači literaturi.

Je dolgoletni član izdajateljskega sveta Gradbenega vestnika, v katerem je objavil več člankov, in član uredniških odborov ter recenzent drugih domačih in mednarodnih revij in publikacij. Je urednik, lektor, avtor dodatnega besedila in prevajalec Tehničnega slovarja za pregrade. Danes je pri ZRC SAZU član komisije za sestavo Slovenskega tehniškega slovarja.

Bil je eden od pobudnikov ustanovitve in prvi predsednik društva SLOCOLD – Slovenskega nacionalnega komiteja za velike pregrade. Je član Društva gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, ustanovni član Slovenskega društva za potresno inženirstvo, Slovenskega komiteja za mreže visokih napetosti in član tehniškega komiteja pri uradu za standardizacijo in meroslovje USM/TC11 – nadzemni vodi. Pri Gospodarski zbornici Slovenije, Združenje za inženiring, je bil član skupine za recenzijo osnutkov zakona o urejanju prostora in zakona o graditvi objektov.

V bivši Jugoslaviji je bil član Jugoslovanskega društva za velike pregrade, odbora za seizmiko pregrad in delovne skupine za gradbeništvo in delovne skupine za temeljenje daljnovodnih stebrov pri jugoslovanskem komiteju CIGRE.

V Inženirski zbornici Slovenije je bil član nadzornega odbora in njegov predsednik v času od 1998 do 2000. Bil je član upravnega odbora matične sekcije gradbenih inženirjev (2002–2004) in v letih 2004–2016 njegov predsednik. V ECCE je predstavljal MSG IZS tudi kot nacionalni delegat, pri Slovenskem inštitutu za standardizacijo pa je član Strokovnega sveta za splošno področje.

Pri Gospodarski zbornici Slovenije je bil član komisije za razvoj v Splošnem združenju gradbeništva in industrije gradbenega materiala Slovenije in član Sekcije za konzalting, inženiring, razvoj in projektiranje ter predsednik združenja za projektiranje.

Slavljenec je za svoje delo prejel pomembna priznanja. Leta 1991 je v enoti MORIS prejel priznanje za posebne namene v letih 1990–1991. Leta 2000 je postal zaslužni član Slovenskega nacionalnega komiteja – SLOKO CIGRE STK B2, leta 2001 častni član Slovenskega komiteja za velike pregrade – SLOCOLD in leta 2017 častni član Inženirske zbornice Slovenije.

Branku Zadniku se v imenu slovenskih gradbenikov zahvaljujem za opravljeno delo v gradbeni stroki in mu ob življenjskem jubileju želim še čim več dejavnih let!

prof. dr. Janez Duhovnik



# PREISKAVE LESENIH OKVIRNIH STENSKIH PANELOV S CEMENTNO- IVERNIMI OBLOŽNIMI PLOŠČAMI

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE BEHAVIOUR OF LIGHT-FRAME TIMBER WALL PANELS WITH CEMENT-PARTICLE- BOARD SHEATHING

**dr. Meta KRŽAN, univ. dipl. inž. grad.**

meta.krzan@zag.si

**dr. Tomaž PAZLAR, univ. dipl. inž. grad.**

tomaz.pazlar@zag.si

ZAG Ljubljana, Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana

**Ivan GRAŠIČ, univ. dipl. inž. les.**

ivan.grasic@jelovica.si

**dr. Boštjan BER, univ. dipl. inž. grad.**

bostjan.ber@jelovica.si

Jelovica hiše, d. o. o., Hrib 1, 4205 Preddvor

**Znanstveni članek**

UDK 620.176:624.011.1

**Povzetek** | V članku so predstavljeni rezultati eksperimentalnih preiskav študije obnašanja lesenih okvirnih stenskih panelov s cementno-ivernimi obložnimi ploščami pri horizontalnih obremenitvah. Posebnost predstavljene preiskave je uporaba cementno-ivernih plošč pri proizvodnji okvirnih stenskih panelov, saj njihovo obnašanje še ni dobro raziskano. Preiskave so bile izvedene v dveh fazah. Ker je za strižno obnašanje panela bistveno pritrjevanje obložnih plošč na leseni okvir, so se na manjših vzorcih najprej določile nosilnosti zvez s kovinskimi paličastimi sponkami ter analiziral vpliv debelin plošč in razmika med sponkami. Nadalje so bile zasnovane in izvedene monotone in ciklične strižne preiskave različnih izvedb stenskih panelov. Preskušani so bili trije osnovni tipi panelov, med drugim tudi panel z različnima debelinama obložnih plošč. Rezultati preiskave kažejo ugoden duktilen odziv sten pri strižnih obremenitvah ter potrjujejo, da nosilnost sten zaradi različnih debelin obložnih plošč ni dodatno zmanjšana, kot to pri izračunu nosilnosti predvideva SIST EN 1995-1-1.

Ključne besede: leseni okvirni stenski paneli, cementno-iverna plošča, strižni preskus, nosilnost sponke v eni strižni ravnini

**Summary** | The paper presents the results of an experimental study of the behaviour of light-frame-timber wall panels with cement-particle-board sheathing under seismic loading. The seismic behaviour of light-frame-timber panels with cement-particle sheathing has not yet been studied in detail. The experimental campaign consisted of two parts. Since the behaviour of the sheathing-to-framing connection is decisive for the shear behaviour of the panels, small specimens were first tested to analyse the lateral load-bearing capacity of the connection between cement-particle board and timber by staples (metal dowel-type fasteners) in dependence of board thickness and the distance between the staples. Furthermore, monotonic and cyclic racking tests of wall panels were conducted. Three types of wall panels were tested, one of them asymmetrical with different board thickness. The results showed ductile behaviour of the panels under lateral loading and proved that there is no additional reduction of the lateral load-bearing capacity due to asymmetry of the panel at different thicknesses of sheathing, as it is assumed in the SIST EN 1995-1-1 code provision.

Key words: Light-frame-timber wall panels, Cement-particle board, Racking test, Lateral load-bearing capacity of staples

## 1 • UVOD

Pri gradnji lesenih stavb so pri stanovanjskih objektih kot vertikalni nosilni elementi še vedno najbolj pogosti lahki leseni okvirni paneli, na potresno neogroženih območjih pa se lahko uporabljajo tudi za gradnjo objektov s petimi etažami in več (Thompson, 2013). Poleg nizke teže je njihova prednost predvsem njihova večnamenskost, in sicer dobra toplotna in zvočna izolativnost ter v določenih primerih tudi požarna odpornost. Leseni okvirni paneli so sestavljeni iz lesenega okvirja, katerega elementi so navadno zaradi procesa proizvodnje minimalno povezani (npr. z valovitimi sponkami) in služi za prenos vertikalnih obremenitev, na katerega so pritrjene obložne plošče, ki panelom zagotavljajo togost in strižno nosilnost. Slednji sta poleg dimenzij in vrste uporabljenih materialov odvisni predvsem od detajlov pritrjevanja obložnih plošč na leseni okvir (detajl vijachenega, žebljanega ali sponkanega stika) ter pritržitve panela v temelj oziroma stropno konstrukcijo ((Kuhta, 2008), (Casagrande, 2016)). Kot obložni material v današnjem času prevladujejo plošče iz velikih usmerjenih iveri (OSB-plošče) in mavčno-vlaknene plošče (MVP) – predvsem zaradi dobrih požarnih lastnosti je v velikem porastu uporaba slednjih.

Slovenski proizvajalec lesenih montažnih objektov Jelovica za izdelavo okvirnih stenskih panelov kot obložne plošče uporablja cementno-iverne plošče. Te imajo dobro požarno odpornost, a so v primerjavi z MVP manj krhke, hkrati pa tudi manj občutljive za vlago.

V literaturi najdemo rezultate eksperimentalnih preiskav in analizo obnašanja lesenih okvirnih panelov z MVP, OSB in drugimi obložnimi ploščami ((Gatto, 2002), (van de Lindt, 2004), (Dujčić, 2006), (Sartori, 2012), (Seim, 2016), (Branco, 2017), eksperimentalnih preiskav stikov omenjenih vrst plošč z lesom ((Fonseca, 2002), (Sartori, 2013), (Verdret, 2015), (Seim, 2016)) ter tudi eksperimentalne študije potresnega odziva objektov z lesenimi okvirnimi paneli ((Kessel, 2004), (Filiatroult, 2009), (Tomasi, 2015)). Ker je uporaba cementno-ivernih plošč pri izdelavi lesenih okvirnih panelov redka (tovrstne plošče vgrajuje le nekaj proizvajalcev v Evropi), v literaturi ni zaslediti eksperimentalnih preiskav tovrstnih panelov pri strižnih obremenitvah kot tudi ne preiskav obnašanja stika cementno-ivernih plošč z lesenim okvirjem.

Namen predstavljene raziskave je bil analizirati potresni odziv treh osnovnih tipov stenskih

panelov s cementno-ivernimi ploščami, ki se najpogosteje uporabljajo v praksi, in sicer panelov z različnimi debelinami obložnih plošč. Eno bistvenih vprašanj je bilo, ali pri porušitvi panelov pri strižnih cikličnih obremenitvah pride do krhke porušitve plošč ali do duktilnega odziva.

Za študij obnašanja panelov pri potresnih obremenitvah so bile zasnovane eksperimentalne preiskave, in sicer v dveh fazah. Ker je detajl pritrjevanja obložnih plošč na leseni okvir bistven za določitev strižne nosilnosti panela, je prva faza študije obsegala preiskave obnašanja različnih variacij detajlov pritrjevanja cementno-ivernih plošč na les s kovinskimi sponkami na posebej zasnovanih manjših preskušancih. V drugi fazi preiskav so bili za analizo obnašanja panelov izvedeni monotoni in ciklični strižni preskusi realnih stenskih panelov s tremi različnimi kombinacijami debelin obložnih plošč ter z detajlom pritrjevanja plošč s sponkami, ki se pri izdelavi panelov uporablja že vrsto let.

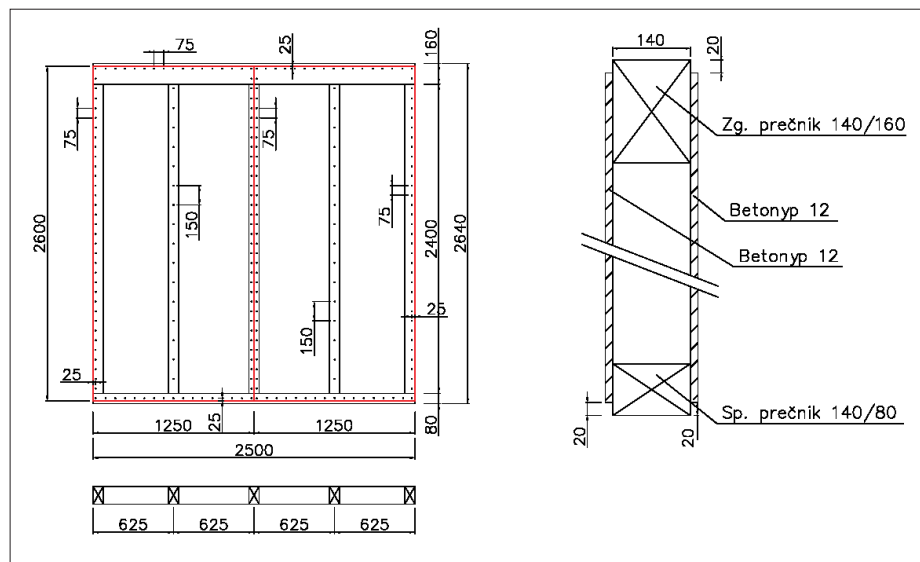
Predstavljena raziskovalna študija je bila v krajši različici predstavljena na 41. zborovanju gradbenih konstruktorjev Slovenije (Kržan, 2019), v članku pa so podani razširjeni rezultati preiskav.

liranega lesa trdnostnega razreda GL 24h. Mehanske karakteristike cementno-ivernih plošč, navedene na tehničnih listih proiz-

## 2 • OPIS PANELOV IN PREISKAV

### 2.1 Opis stenskih panelov in materialnih lastnosti osnovnih gradnikov

Dolžina oz. višina preskušanih panelov je bila  $l/h = 2500/2640$  mm. Leseni okvirji panelov so bili sestavljeni iz stebričkov dimenzij 140/80 mm na razdalji 625 mm, zgornjih prečk dimenzij 140/160 mm in spodnjih prečk dimenzij 140/80 mm. Trije osnovni preskušani tipi panelov (in malih preskušancev) so bili: panel B12-12, ki je imel na obeh straneh plošče debeline 12 mm in je prikazan na sliki 1, panel B16-16 s ploščami debeline 16 mm na obeh straneh in B12-16, ki je imel na eni strani ploščo debeline 12 mm in na drugi 16 mm. Za pritrjevanje plošč na leseni okvir so bile za plošče debeline 12 mm (B12) uporabljene sponke 1,53 x 11,25 x 45 mm, za plošče debeline 16 mm (B16) pa sponke 2,0 x 11,76 x 50 mm. Karakteristična natezna trdnost žice, iz katere so bile izdelane sponke, je bila  $f_{u,k} = 800$  MPa. Na krake uporabljenih sponk je bilo nanoseno termolepilo.



Slika 1 • Skica preskušanca B12-12 (iz delavniške dokumentacije Jelovice).

Leseni okvirji in v nadaljevanju opisani mali preskušanci so bili izdelani iz lepljenega lame-

vajalca, so naslednje: upogibna trdnost  $f_{m,k} = 9,0$  MPa, natezna trdnost  $f_{t,k} = 2,5$  MPa,



tlačna trdnost  $f_{c,k} = 11,5$  MPa, modul elastičnosti  $E_{m,mean} = 4500$  MPa. V laboratoriju ZAG so bile po standardu SIST EN 310:1996 (SIST, 1996) izvedene preiskave upogibne trdnosti vzorcev cementno-ivernih plošč. Za posamezno debelino plošče je bilo opravljenih 7 preskusov. Povprečna upogibna trdnost  $f_m$ , izračunana za B12, je 9,8 MPa (koeficient variacije 6,6%), za B16 pa 10,4 MPa (koeficient variacije 7,4%).

## 2.2 Preiskave strižnega obnašanja enostrižne zveze s sponkami (mali preskušanci)

Pri malih preskušancih smo za vsak tip preskušanca (B12-12, B12-16 in B16-16) preskusili 6 variacij detajla pritrjevanja, pri čemer smo spreminjali število sponk in razdaljo med njimi. Uporabili smo 3 sponke v eni vrsti in 3 sponke v dveh vrstah na medsebojnih vzdolžnih razdaljah 75, 50 in 37,5 mm. Plošči sta bili na obeh straneh vzorca na les pritrjeni s sponkami (skica vzorcev v preglednici 1), pri čemer sta bili

na eni strani dodatno zlepljeni, s čimer se je zagotovilo, da je pri preskusu prišlo do porušitve na izbrani oz. preiskovani strani vzorca. Med preiskavami so bili za variacije preskušancev B16-16 in B12-16 z eno vrsto sponk zaradi nateznih porušitev plošč izdelani dodatni vzorci s povečano širino plošč (400 mm namesto 200 mm). Za vsako variacijo preskušanca je bil narejen monotoni preskus ter vsaj en, v večini primerov pa dva ciklična preskusa. Skupaj je bilo izvedenih 24 monotoni preskusov ter 36 cikličnih preskusov. Opravljene preiskave na malih vzorcih s skico enega izmed preskušancev so zbrane v preglednici 1.

Postavitev preskuševališča je prikazana na sliki 2 levo. Vzorci so bili členkasto vpeti v preskuševališče preko debelih pločevin in 4 vijakov M10. Obremenjevanje vzorcev s servohidravličnim batom je bilo izvedeno po ISO 16670:2003 (ISO, 2003). Pri monotoni preskusih je bilo obremenjevanje vodeno preko pomika hidravličnega bata, ki je naraščal s konstantno

hitrostjo 0,1 mm/s, pri cikličnih preskusih pa preko povprečnega pomika med ploščama in lesom v preiskovanem spoju, izračunanega iz pomikov štirih induktivnih merilnikov (po dva na vsaki strani preiskovanega stika). Amplitudni pomiki cikličnega obremenjevanja so se postopoma povečevali. Razen začetnih ciklov so bili izvedeni trije cikli posameznega amplitudnega pomika, njihova velikost pa je bila določena glede na rezultate monotoni preskusov, in sicer glede na doseženi mejni pomik, tj. pomik pri padcu sile na 80% nosilnosti.

## 2.3 Preiskave strižnega obnašanja stenskih panelov

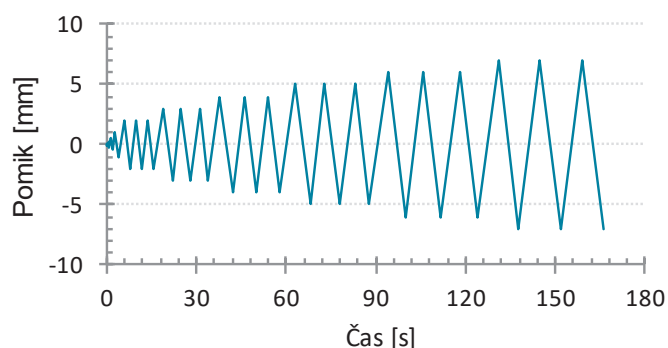
Za vsak tip stenskega elementa je bil izveden en monotoni kvazistatični strižni preskus po SIST EN 594:2011 (SIST, 2011) in dva kvazistatična ciklična strižna preskusa, skupaj torej 9 preskusov (shema preskušanja je podana v preglednici 2).

Na sliki 4 je prikazana postavitev strižnega preskusa panelov. Za preprečitev dvigo-

Ime preskusa	Preskusi	Število sponk	$s_0$ (mm)	Št. vrst	Skica preskušancev B12-12/r75 (označeni kombinaciji)
B12-12/v1/r37,5	M, 2xC	3	37,5	1	
B12-12/v1/r50	M, 2xC	3	50	1	
B12-12/v1/r75	M, 2xC	3	75	1	
B12-12/v2/r37,5	M, 2xC	2 x 3	37,5	2	
B12-12/v2/r50	M, 2xC	2 x 3	50	2	
B12-12/v2/r75	M, 2xC	2 x 3	75	2	
B16-16/v1/r37,5	M, C+ M*, 2xC*	3	37,5	1	
B16-16/v1/r50	M, C+ M*, 2xC*	3	50	1	
B16-16/v1/r75	M, C+ M*, 2xC*	3	75	1	
B16-16/v2/r37,5	M, 2xC	2 x 3	37,5	2	
B16-16/v2/r50	M, C	2 x 3	50	2	
B16-16/v2/r75	M, C	2 x 3	75	2	
B12-16/v1/r37,5	M, C+ M*, 1xC*	3	37,5	1	
B12-16/v1/r50	M, C+ M*, 2xC*	3	50	1	
B12-16/v1/r75	M, C+ M*, 2xC*	3	75	1	
B12-16/v2/r37,5	M, C	2 x 3	37,5	2	
B12-16/v2/r50	M, C	2 x 3	50	2	
B12-16/v2/r75	M, C	2 x 3	75	2	

Opomba: Oznake B12-12, B16-16 in B12-16 se nanašajo na debelino obložnih plošč na posamezni strani panela, v1 in v2 pomenita sponke v 1 oziroma v 2 vrstah, r37,5, r50 in r75 pomenijo sponke na razdalji 37,5 mm, 50 mm oziroma 75 mm, M in C pomenita monotono oziroma ciklično obremenjevanje,  $s_0$  pomeni razdaljo med sponkami, \* pomeni vzorce z večjo širino cementno-ivernih plošč.

Preglednica 1 • Shema preskušanja z opisom in skico preskušancev B12-12/r75.



Slika 2 • Preskuševališče z vzorcem (levo) in protokol obremenjevanja po ISO 16670:2003 (desno).

vanja je bil panel ob straneh s po dvema standardnima dvížnim kotnikoma Simpson Strong-Tie HTT22 (kraka 569 x 62 mm, debelina pločevine 2,8 mm, slika

na z 10 samovreznimi lesnimi vijaki 10 x 100 mm na enakomerni medsebojni razdalji preko pasnic jeklenega profila (slika 3 sredina). Vpetje panela spodaj je bilo

s 4 standardnimi strižnimi kotniki Simpson Strong-Tie AE116 (kraka 90 x 48 mm, debelina pločevine 3 mm), pritrjenimi v leseni okvir z 10 lesnimi samovreznimi vijaki 5 x 80 mm na medsebojno enakih razdaljah preko obložnih plošč z ene strani panela (slika 3 desno).

Na vrhu panela je bil na zgornjo prečko položen jekleni profil, preko katerega sta se z bati vnašali horizontalna in vertikalna obtežba. Vertikalna obtežba velikosti 25 kN/m se je vnašala z dvema batoma, nameščenima na jekleni nosilec nad krajnima stebričkoma okvirja. Jekleni nosilec je bil bočno podprt za preprečitev uklona panela izven ravnine.

Horizontalna obtežba bata se je v skladu z ISO 16670:2003 vnašala s kontroliranim povečevanjem horizontalnega pomika stene, merjenim z induktivnim merilnikom na vrhu panela (L1, slika 4), in sicer v obe smeri iz ravnovesne lege s postopnim večanjem amplitude pomika. Razen pri začetnih majhnih amplitudah so bili za

Oznaka preskušanca	Št. preskusov	Protokol obremenjevanja	Debelina plošče $t_1$ (mm)	Debelina plošče $t_2$ (mm)
B16-16/75x1	3	M, 2xC	16	16
B12-12/75x1	3	M, 2xC	12	12
B12-16/75x1	3	M*, 2xC	12	16

Opomba: Oznake B16-16, B12-12 in B12-16 se nanašajo na debelino obložnih plošč na posamezni strani panela, 75x1 pomeni sponke v eni vrsti na razdalji 75 mm, M in C pomenita monotono oziroma ciklično obremenjevanje, \* pomeni močnejše vpetje panela z delavniško izdelanima dvížnim kotnikoma ter strižnim kotnikoma ob strani panela.

Preglednica 2 • Shema strižnega preskušanja panelov.

3 levo) z vijakom M16 vpet v temeljni jekleni profil. Kotniki so bili na leseni okvir pritrjeni z 32 lesnimi samovreznimi vijaki CSA 5 x 80 mm. Za preprečitev zdrsa panela je bila spodnja prečka lesenega okvira panela s spodnje strani privijače-

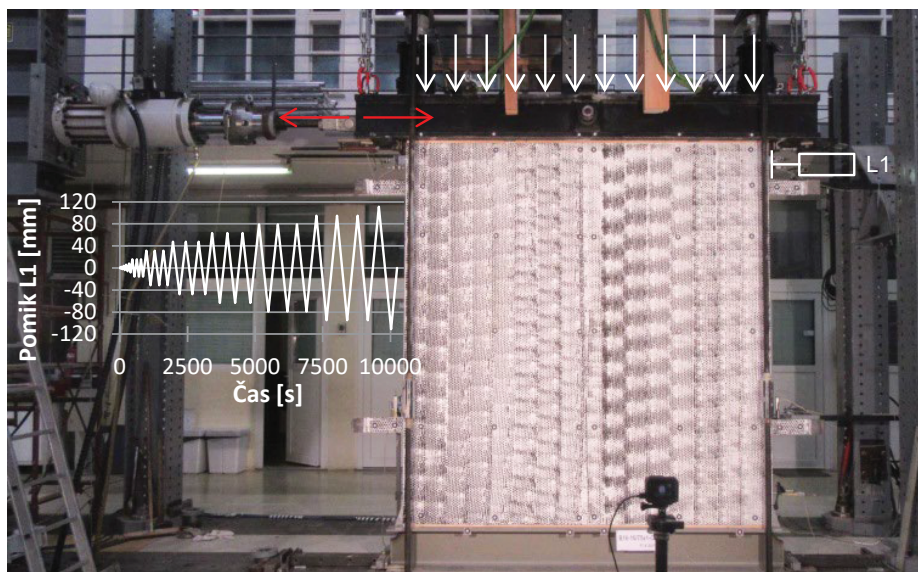
drugačno le pri testu B12-16/75x1/M, kjer sta bila za preprečevanje dviga uporabljena delavniško izdelana kotnika (kraka 500 x 10 mm, debelina pločevine 5 mm), privijačena v panel s 35 lesnimi samovreznimi vijaki CSA 5 x 80 mm, zdrs pa preprečen



Slika 3 • Detalj pritrditve preskušancev z dvížnimi kotniki (levo) in vijaknimi spoji spodnje prečke okvirja preko pasnice jeklenega profila (sredina), vpetje panela B12-16/75x1/M z močnejšima dvížnim kotnikoma ob straneh in strižnimi kotniki na enakomernih razdaljah vzdolž ene strani panela (desno).



posamezno amplitudo izvedeni trije cikli obremenjevanja. Hitrost obremenjevanja je bila v posameznih fazah preskusov konstantna in je znašala med 0,1 in 0,5 mm/s. Ciklični preskusi so se izvajali do porušitve vzorca oziroma do padca nosilnosti na 80 %. Pomiki panela so bili med preskusom merjeni s šestimi induktivnimi merilniki ter z optičnim merilnim sistemom. S slednjim so bili merjeni pomiki obložnih plošč ene strani panela, pomiki spodnjega in zgornjega jeklenega profila ter pomiki točk krajnih stebričkov lesenega okvirja.



Slika 4 • Postavitev strižnega preskusa panelov.

### 3 • REZULTATI PREISKAV IN DISKUSIJA

#### 3.1 Strižno obnašanje enostrižne zveze s sponkami (mali preskušanci)

Pri monotoni preskusih je za vse debeline plošč pri dveh vrstah sponk prišlo do porušitve plošče. Pri vzorcih B12-12 je v primeru ene vrste sponk prišlo do izvleka sponke iz lesa, pri vzorcih z vsaj eno ploščo debeline 16 mm (vzorci B12-16 in B16-16) pa v nekaj primerih tudi do porušitve plošče pri eni vrsti sponk (slika 5a). Slednje je kazalo na nižjo natezno trdnost plošče debeline 16 mm, ki najverjetneje izhaja iz vidne nehomogene sestave plošče po prerezu (zaradi tehnološkega procesa proizvodnje). Za preskušance B12-16 in B16-16 so bili zato za variante spojev v

Pri cikličnih preskusih so bile porušitve podobne, in sicer izvlek sponk iz lesa (slika 5b), v nekaterih primerih tudi pretrg posameznih sponk (slika 5c), pri čemer v nobenem primeru pri eni vrsti sponk (tudi za ožje vzorce preskušancev B12-16 in B16-16) ni prišlo do porušitve plošče. V nekaj primerih ni prišlo do porušitve plošče niti pri vzorcih z dvema vrstama sponk. Tipi porušitve so za posamezne variacije preskušancev in preskuse povzeti v nadaljevanju na diagramu na sliki 7.

Na diagramu na sliki 6 levo so prikazane sile bata v odvisnosti od relativnega pomika med ploščama in lesom za preskuse B12-12/v1

je podan tudi celoten histerezni odziv sila-pomik. Kot vidimo, gre v primeru izvleka sponk iz lesa za duktilno porušitev, medtem ko je porušitev plošče ožjih preskušancev na levem diagramu vidna kot hipen padec sile (bodisi še v »elastičnem« območju (B12-12/v1/r37,5) bodisi v plastičnem območju po že doseženi maksimalni nosilnosti).

Izračunane povprečne vrednosti bočne nosilnosti kovinskih paličastih veznih sredstev  $F_{v,m}$  so za posamezne vrste preskušancev B12-12 in B16-16 podane na sliki 7. Povprečna vrednost  $F_{v,m}$  za zvezo z eno sponko vseh cikličnih preskusov, kjer je bil kritičen spoj, je za ploščo debeline 12 mm in sponko 1,53 x 11,25 x 45 mm (zveza B12) enaka 1,14 kN, za ploščo debeline 16 mm in sponko 2,0 x 11,76 x 50 mm (zveza B16) pa 1,60 kN; za monotone preskuse sta vrednosti za zvezi B12 in B16

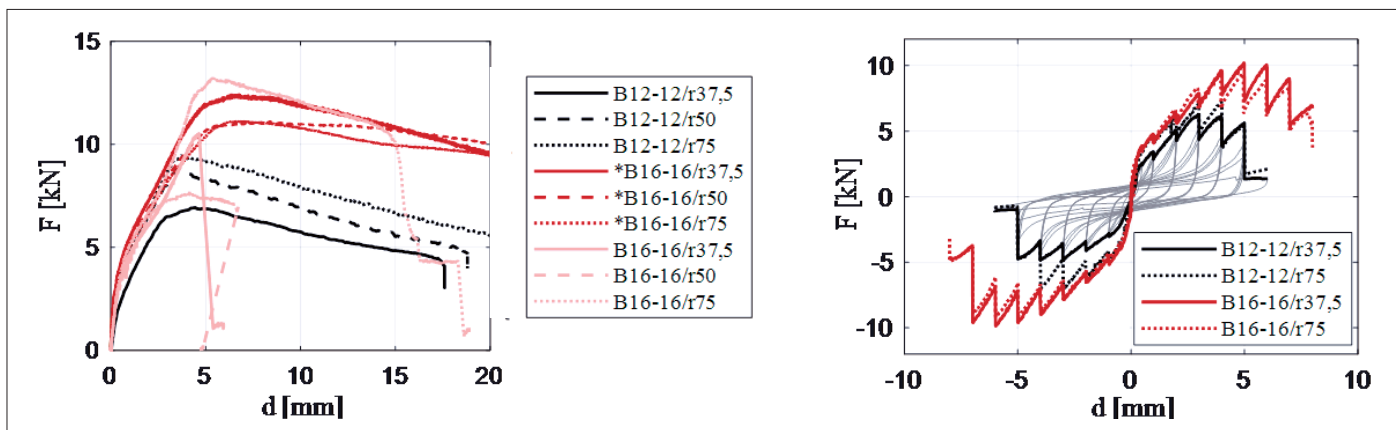


Slika 5 • Tipični porušni mehanizmi: a) porušitev plošče vzorca (B12-16/v1/r75/M); b) izvlek sponk (B12-12/v1/r37,5/C1); c) izvlek in pretrg sponk (B12-12/v2/r37,5/C1).

eni vrsti narejeni dodatni vzorci s povečano širino plošč (400 mm). Pri teh je tudi pri monotoni preskusih prišlo do porušitve z izvlekom sponk.

in B16-16/v1 (z eno vrsto sponk), medtem ko so na sliki 6 desno podane tipične ovojnice histerezni odzivov cikličnih preskusov enakih vzorcev. Za preskus B12-12/v1/r37,5

enaki 1,41 kN in 2,00 kN. Povprečna nosilnost je v primeru monotonega obremenjevanja približno 25 % višja v primerjavi s cikličnim obremenjevanjem.

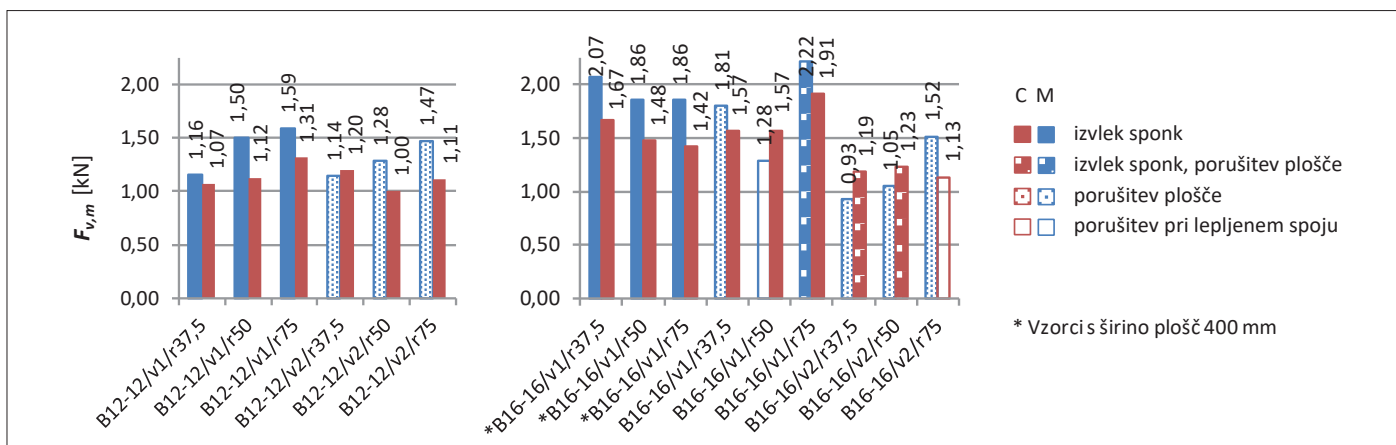


Slika 6 • Primerjava odziva sila-pomik preskušancev B12-12 in B16-16 z eno vrsto sponk: monotoni preskusi (levo), ciklični preskusi (tipične histerezne ovojnice in histerezni odziv, desno).

Karakteristična vrednost nosilnosti zveze z eno sponko  $F_{v,k}$  izračunana iz povprečnih vrednosti izvedenih eksperimentalnih preiskav  $F_{v,m}$  z upoštevanjem SIST EN 1990:2004

standardu za projektiranje lesenih konstrukcij SIST EN 1995-1-1:2005 (SIST, 2005). Standard glede na materialne in geometrijske karakteristike obeh spojenih elementov ter glede

Primerjava rezultatov (preglednica 3) je pokazala, da so karakteristične vrednosti, izračunane iz rezultatov cikličnih preiskav, za spoj B12 za 32% in za spoj B16 za 13%



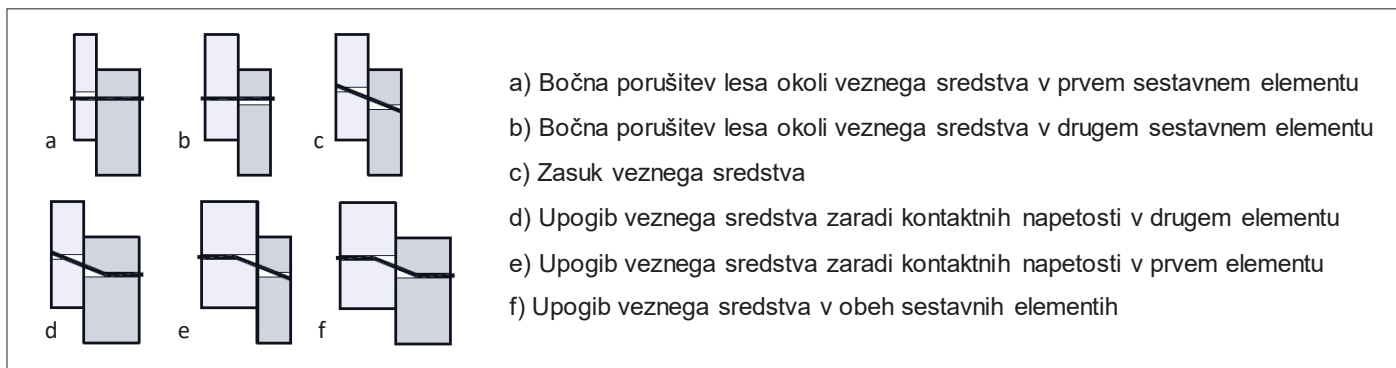
Slika 7 • Vrednosti povprečne bočne nosilnosti zveze cementno-iverne plošče z lesom s sponko ( $F_{v,m}$ ) za ploščo B12 (levo) in B16 (desno).

(SIST, 2004), je za spoj B12 enaka 0,899 kN, za spoj B16 pa 1,221 kN.

Za primerjavo sta bili za preskušano enostrizno zvezo lesna plošča-les izračunani tudi karakteristični vrednosti  $F_{v,Rk}$  po veljavnem

na dimenzije veznega sredstva predpisuje šest različnih načinov možne bočne porušitve (slika 8), izmed katerih karakteristično bočno nosilnost zveze ( $F_{v,Rk}$ ) predstavlja najbolj kritičen mehanizem.

višje od izračunanih po veljavnem standardu za projektiranje lesenih konstrukcij SIST EN 1995-1-1:2005 (SIST, 2005). Karakteristični računski nosilnosti posamezne zveze s sponko  $F_{v,Rk}$  znašata namreč 0,681 kN za B12 in



Slika 8 • Porušitveni kriteriji za določitev bočne nosilnosti enostrizne zveze po SIST EN 1995-1-1:2005 (po (Beg s sod., 2009)).



Zveza	$F_{v,m}$ (eksp.) (kN)	$F_{v,k}$ (eksp.) (kN)	$F_{v,Rk}$ (EC5) (kN)	$F_{v,k}$ (eksp.)/ $F_{v,Rk}$ (EC5)
B12, sponke 1,53 x 11,25 x 45 mm	1,137	0,899	0,681	1,32
B16, sponke 2,0 x 11,76 x 50 mm	1,603	1,221	1,038	1,13

Preglednica 3 • Primerjava eksperimentalnih rezultatov cikličnih preskusov (označenih z »eksp.«) in ocene nosilnosti po SIST EN 1995-1-1:2005 (označene z »EC5«).

1,038 kN za B16, pri čemer je po izračunih po standardu za preskušani zvezi B12 in B16 merodajen mehanizem zasuka veznega sredstva (na sliki 8 mehanizem c).

### 3.2 Strižno obnašanje stenskih panelov

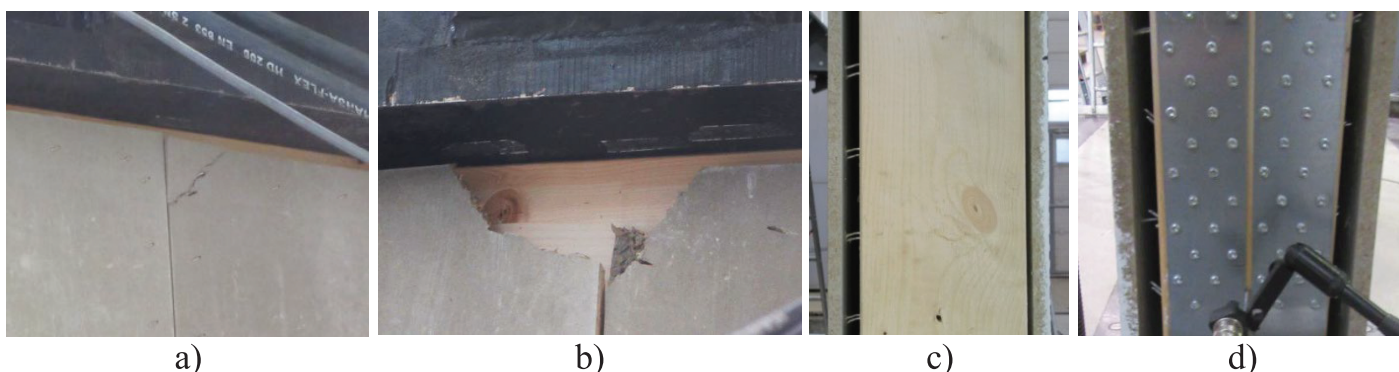
Pri strižnih preskusih panelov je s postopnim povečevanjem horizontalnega pomika in

bil evidentiran pri monotonih preskusih.

- V posameznih primerih je prišlo do poškodb spodnje ali zgornje prečke lesenega okvirja na mestu krajnih stebričkov, in sicer do vidnih razpok v smeri vlaken.

Evidentirani glavni porušni mehanizem z izvlekom sponk omogoča duktilne porušitve panelov, pri katerih je prišlo le do majhnih

nosilnosti in mejnih pomikov panelov ( $F_{max}$  in  $d_u$ ) so na krivuljah označene tudi točke, kjer je prišlo do prvih razpok na oblogah panelov ( $d_{cr}$ ). Na diagramu je vidno, da je pri preskusu B16-16/M po dosegu maksimalne strižne nosilnosti prišlo do hipne porušitve, in sicer zaradi pretrga dvižnih kotnikov (slika 10 desno). Vidno je tudi, da razpoke obložnih plošč na mestih strižnih kotnikov pri testu B12-16/M niso bistveno vplivale na odziv v primerjavi s testoma B12-12/M in B16-16/M. Tipična histerezna odziva cikličnih strižnih preskusov panelov B12-12 in B16-16 sta prikazana na sliki 11 levo, medtem ko je na sliki 11 desno podana primerjava histereznih ovojnic vseh šestih izvedenih cikličnih preskusov panelov.



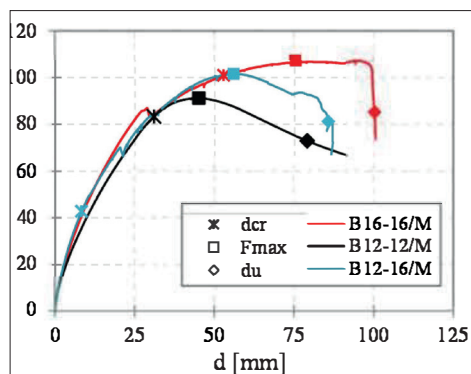
Slika 9 • a) Tipične razpoke obložnih plošč v vogalih pri horizontalnem pomiku 15 mm; b) Poškodovani vogal obložne plošče po koncu preskusa; c) izvlek sponk oziroma plošč panela (na panelu B12-16 večji izvlek plošče debeline 12 mm) in d) Pretrg sponk pri velikih horizontalnih pomikih (panel B16-16).

strižne obremenitve panela prišlo do naslednjih tipičnih poškodb panelov:

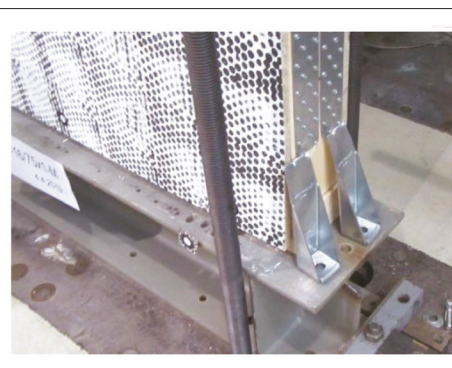
- Zelo tanke razpoke (širina razpoke  $d \leq 0,3$  mm) plošč v vogalih pri horizontalnih pomikih vrha panela do 15 mm (slika 9a), ki se nato z večanjem obremenitev in amplitude pomika širijo ( $d \leq 1,0$  mm) in v zadnji fazi preskusa na nekaterih mestih rezultirajo v odkrušenih vogalih obložnih plošč (slika 9b). Razen omenjenih razpok v vogalih ter razpok pri preskusu B12-16/75x1/M ob kotnikih zaradi vpetja panela preko obložnih plošč na ploščah ni prišlo do drugih razpok.
- Izvlek sponk. Najprej je bil viden v vogalnih delih panela, z večanjem pomika pa po celotni višini panela z vedno širšo »režo« med lesenim okvirjem in obložnimi ploščami. V primerih panelov B12-16 je bil izvlek večji na strani 12 mm obložne plošče (slika 9c).
- Pretrg sponk, kar se je zgodilo pri mejnih pomikih pri večini cikličnih preskusov; pri nekaterih preskusih le v vogalih plošč, pri nekaterih pa po celotni višini oziroma dolžini panela (slika 9d). Pretrg sponk ni

poškodb obložnih plošč v vogalih (slika 9a, b); z izjemo testa B12-16/75x1/M, pri katerem so zaradi vpetja panela preko obložnih plošč le-te počile na mestih vpetja s kotniki. Duktilna porušitev panelov je razvidna tudi

Rezultati strižne nosilnosti  $F_{max}$  mejnih pomikov  $d_u$  ter »elastične« togosti (med 10 % in 40 %  $F_{max}$  označena kot  $K_{10-40}$ ) monotonih in cikličnih preskusov so za posamezno vrsto panela zbrani na sliki 12, pri čemer so pri

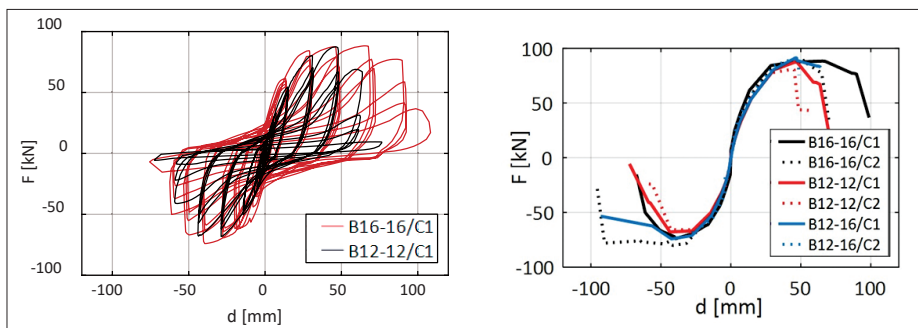


Slika 10 • Primerjava horizontalne sile v odvisnosti od pomika vrha panela monotonih strižnih preskusov (levo) ter pretrg dvižnih kotnikov pri preskusu B16-16/M (desno).

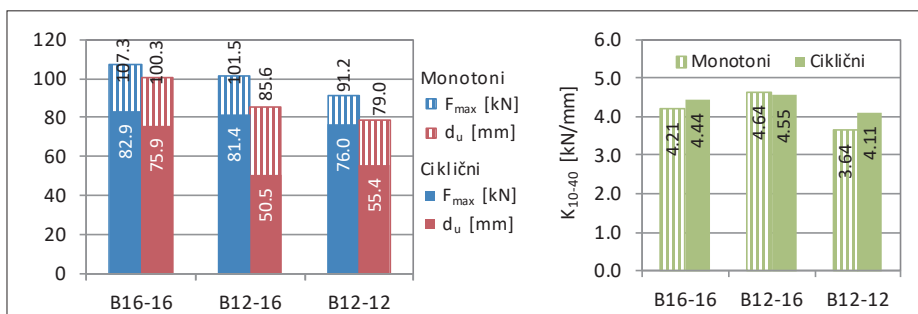


iz dobljenih tipičnih diagramov horizontalna sila–horizontalni pomik vrhov panelov. Na sliki 10 levo so prikazani rezultati monotonih strižnih preskusov; poleg točk maksimalne

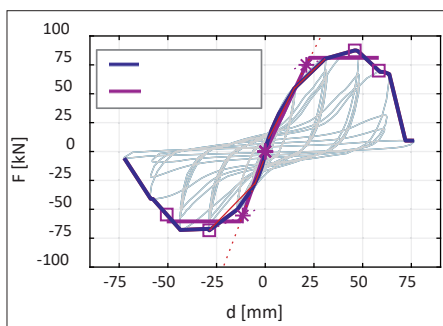
cikličnih preskusih za posamezen tipa panela upoštevani povprečni rezultati obremenjevanja v obeh smereh dveh cikličnih preskusov. Za primerjavo duktilnosti in efektivne togosti



Slika 11 • Primerjava rezultatov cikličnih strižnih preskusov: tipična histerezna odziva horizontalna sila-pomik panelov B12-12 in B16-16 (levo) ter primerjava histereznih ovojníc vseh cikličnih preskusov.



Slika 12 • Primerjava strižnih nosilnosti  $F_{max}$  in mejnih pomikov  $d_u$  pri monotoni in cikličnih preskusih (levo) ter »elastičnih« togostih  $K_{10-40}$  (desno), izračunanih iz rezultatov monotoni in cikličnih preskusov (za ciklične preskuse za posamezen tip panela prikazane povprečne vrednosti obeh smeri obremenjevanja dveh preskusov).



Slika 13 • Histerezna ovojnica in bilinearna idealizacija ovojnice (preskušane B12-12).

so bile histerezne ovojnice horizontalne sila v odvisnosti od pomika idealizirane v bilinearne krivulje (slika 13) po standardu SIST EN 12512:2002 (SIST, 2002), pri čemer je bil za izračun idealizirane horizontalne sile  $F_{id}$  dodatno privzet kriterij enakosti energije (enaka vložena energija histerezne ovojnice in idealizirane krivulje). Efektivne togosti  $K_{ef}$ , idealizirane sile  $F_{id}$  in duktilnosti panelov  $\mu$  so za monotone in ciklične strižne preskuse podane v preglednici 4 (za ciklične preskuse so podane povprečne vrednosti obeh smeri obremenjevanja), zaradi lažje primerjave z vrednostmi v literaturi so v preglednici podani

je povprečne idealizirane nosilnosti  $F_{id}$  je malenkost večje (16% in 10% pri monotoni oziroma cikličnih preskusih). Bolj očitno je zmanjšanje mejnih pomikov oziroma duktilnosti; mejni pomiki panelov B12-12 so pri cikličnih preskusih za 34% manjši v primerjavi s paneli B16-16, panelov B12-16 pa za 27% (slika 11). Medtem ko je velikost dosežene strižne nosilnosti panelov B12-16 približno linearna med doseženo nosilnostjo panelov B12-12 in B16-16, to pri deformacijski kapaciteti panelov B12-16 ni tako. Zanimivo je tudi, da se povprečne vrednosti togosti panelov v »elastičnem« območju pri cikličnih preskusih bistveno ne razlikujejo; povprečna togost  $K_{10-40}$  panelov B12-12 je za 7% manjša v primerjavi s paneli B16-16, povprečna togost  $K_{ef}$  pa samo za 2%. Povprečna togost  $K_{10-40}$  panelov B12-16 je bila pri cikličnih preskusih v povprečju celo višja od panelov B16-16, medtem ko sta bili povprečni togosti  $K_{ef}$  enaki. Razlog za višjo togost panelov B12-16 gre pripisati razpršenosti rezultatov, saj je koeficient variacije togosti  $K_{10-40}$  panelov B12-16 kar 24% v primerjavi s koeficientoma variacije 6% in 8% pri preskusih panelov B16-16 in B12-12. V skladu s teorijo obnašanja panelov pa je bila pri monotoni testih znatneje manjša efektivna

Preskus	$K_{ef}$ (kN/mm)	$K_{ef,i}/K_{ef,B12-12}$	$F_{id}$ (kN)	$F_{id,i}/F_{id,B12-12}$	$\Delta_u$ (%)	$\Delta_{u,i}/\Delta_{u,B12-12}$	$\mu$ (/)	$\mu_i/\mu_{B12-12}$
B16-16/75x1/M	4,53	1	98,5	1	3,80	1	4,62	1
B12-16/75x1/M	5,00	1,10	90,6	0,92	3,24	0,85	4,72	1,02
B12-12/75x1/M	3,90	0,86	82,8	0,84	2,99	0,79	3,72	0,81
B16-16/75x1/C1	5,42	1	75,3	1	3,03	1	5,21	1
B16-16/75x1/C2	4,68	1,00	78,2	0,94	3,26	0,73	4,86	0,76
B12-16/75x1/C1	4,09	1,00	75,0	0,94	2,25	0,66	3,76	0,67
B12-16/75x1/C2	6,00	1,00	69,6	0,94	1,93	0,66	3,89	0,67
B12-12/75x1/C1	4,18	0,98	70,8	0,90	2,74	0,66	3,29	0,67
B12-12/75x1/C2	4,95	0,98	66,8	0,90	1,84	0,66	3,49	0,67

Preglednica 4 • Idealizirani rezultati monotoni in cikličnih strižnih preskusov (povprečne vrednosti obeh smeri) ter primerjava povprečnih rezultatov panelov B12-12 in B12-16 s povprečnimi rezultati panelov B16-16 monotoni oziroma cikličnih preskusov.

tudi mejni zasuki panelov  $\Delta_u$  ( $d_u/h$ ). Duktilnost je izračunana kot razmerje med pomikom na meji elastičnosti  $d_e$  in mejnim pomikom  $d_u$  (80%  $F_{max}$ ) idealiziranega odziva panela. Vidimo, da se z uporabo tanjših plošč in manjših sponk zmanjša maksimalna nosilnost panela za 15% pri monotoni preskusih in za 8% pri cikličnih preskusih, zmanjšanje

togost panela B12-12 v primerjavi z B16-16 (za 14%), večjo togost vzorca B12-16 pri monotoni preskusu pa lahko smiselno razložimo z bolj togim vpetjem panela v temelj. Opravljene preiskave lesenih okvirnih stenskih panelov s cementno-ivernimi obložnimi ploščami potrjujejo, da je obnašanje tovrstnih panelov ob ustreznih detajlih primerljivo s

paneli z drugimi vrstami obložnih plošč. Za primerjavo so v preglednici 5 podani rezultati preiskav stenskih panelov z drugimi obložnimi ploščami, preskušanimi na podoben način. Vsi trije preskušani tipi stenskih panelov s cementno-ivernimi obložnimi ploščami so dosegli relativno visoko strižno nosilnost, v primeru panelov B16-16 tudi duktilnost. Slednja je tudi za panele B12-12 in B16-16 večja od duktilnosti lesenih okvirnih stenskih panelov z mavčno-vlaknenimi obložnimi ploščami.

Glede nesimetričnosti panela rezultati jasno kažejo, da strižno obnašanje panelov B12-16 ni slabše od panelov B12-12, kot bi to pričakovali glede na izračun nosilnosti panelov po SIST EN 1995-1-1. V slednjem je namreč za nesimetrične panele predvidena dodatna redukcija nosilnosti, in sicer naj bi se pri izračunu upoštevalo največ 75 % nosilnosti šibkejši strani (v preiskovanem primeru torej plošče B12) oziroma največ 50 % celotne nosilnosti panela. Redukcija je glede na primer preskusa panela z obložnimi ploščami OSB in MVP iz literature ((Sartori, 2012), preglednica 5) smiselna v

Literatura	Obložne plošče	$F_{max}$ (kN)	$d_u$ (mm)	$\Delta_u$ (%)	$\mu$ (/)
Gatto s sod., 2002	OSB*	37,4	91,4	3,72	/
	VP*	34,7	106,7	4,34	/
Dujić s sod., 2006	OSB	110,0	41,4	1,54	4,53
Sartori s sod., 2012	OSB	77,8	86,6	3,46	4,87
	MVP	48,3	27,6	1,10	3,37
	OSB-MVP	50,7	52,8	2,11	5,68
Seim s sod. 2016	OSB	79,9	75,2	2,95	2,95
	MVP	64,0	58,0	2,27	2,90

Opomba: Navedeni testi iz literature so bili izvedeni v skladu s podobnim protokolom obremenjevanja (ISO 16670 ali EN 12512) ter imajo razen vzorcev, označenih z \*, obložne plošče na obeh straneh stenskih panelov. Testi se razlikujejo v načinu idealizacije rezultatov, torej v preglednici navedene duktilnosti niso medsebojno neposredno primerljive. Preiskave so se nekoliko razlikovale tudi v nivoju vertikalne obremenitve stenskih panelov (20–30 kN/m). Pomen okrajšav: OSB – plošče iz velikih usmerjenih iveri, VP – vezane plošče, MVP – mavčno-vlaknene plošče.

Preglednica 5 • Rezultati podobnih cikličnih preiskav lahkih okvirnih stenskih panelov z drugimi vrstami obložnih plošč.

primeru obložnih plošč različnih materialov, predvsem kadar gre za kombinacijo bolj in manj togih oziroma krhkih materialov. Pri uporabi plošč in detajla pritrjevanja s podob-

nimi togostnimi karakteristikami pa je vsaj glede na predstavljene rezultate izvedenih testov v standardu opredeljena redukcija pretirana.

## 4 • SKLEP

Z opravljenimi preiskavami na malih preskušancih je bilo analizirano obnašanje enostrižne mehanske zveze masivnega lesa in cementno-iverni plošče s kovinskimi paličastimi sponkami. Ena izmed glavnih ugotovitev predstavljene 1. faze preiskav je, da je karakteristična bočna nosilnost preiskovane zveze za obe debelini plošč in tipa sponk, izračunana iz rezultatov cikličnih preskusov, večja od tiste, ki jo po izračunu predvideva trenutno veljavni SIST EN 1995-1-1, za debelino plošče 12 mm celo za več kot 30 %. Primerjava re-

zultatov monotoničnih in cikličnih preskusov kaže približno 25 % nižjo nosilnost zveze v primeru cikličnega obremenjevanja.

Preiskave panelov so pokazale, da je za v praksi največkrat uporabljene sestave panela (debelina obložnih plošč, dimenzije in razporeditev sponk) obnašanje panelov pri strižnih obremenitvah duktilno, pri čemer je glavni porušni mehanizem panela izvlek sponk (in plošč) iz lesa in ne porušitev plošč (plošče so bile poškodovane le v posameznih vogalih, kjer je zaradi koncentracij napetosti

prišlo do razpok). Preiskave potrjujejo tudi, da redukcija strižne nosilnosti panelov, kot jo predvideva izračun po SIST EN 1995-1-1 za panele z nesimetričnimi ploščami, za tovrstne panele ni utemeljena in potrebna.

Izvedene preiskave variacij detajla pritrjevanja bodo v nadaljnjem raziskovalnem delu služile za izboljšavo detajlov pritrjevanja obložnih plošč na leseni okvir in s tem večjo nosilnost panelov, hkrati pa bo poglobljena analiza rezultatov preskusov panelov omogočala nadaljnjo študijo nelinearnih parametrov obnašanja panelov pri cikličnem strižnem obremenjevanju, kot sta upadanje togosti, disipacija energije itd.

## 5 • ZAHVALA

Predstavljeno delo je bilo opravljeno v okviru projekta TIGR4smart in projekta št. C3330-19-952045 »Raziskovalci-2.1-ZAG-952045«, sofinancirana s strani Evropske unije iz sklada za regionalni razvoj ter ministrstva za izobraževanje, znanost in šport v okviru Operativnega programa za izvajanje Evropske kohezijske politike v obdobju 2014–2020.



## 6 • LITERATURA

- Beg, D., Pogačnik, A., Može, P., Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih, IZS, Ljubljana, 2009.
- Branco, J. M., Matos, F. T., Lourenço, P. B., Experimental In-Plane Evaluation of Light Timber Walls Panels. *Buildings* 7, 63, 2017.
- Casagrande, D., Rossi, S., Sartori, T., Tomasi, R., Proposal of an analytical procedure and a simplified numerical model for elastic response of single-storey timber shear-walls, *Construction and Building Materials*, Vol. 102, str. 1101–1112, 2016.
- Dujić, B., Aicher, S., Žarnić, R., Testing of wooden wall panels applying realistic boundary conditions, *Proceedings of the 9th World Conference on Timber Engineering*, Portland, Oregon, USA, str. 8., 2006.
- Filiatrault, A., Christovasilis, I. P., Wanitkorkul, A., van de Lindt, J. W., Experimental seismic response of a full-scale light-frame wood building, *Journal of structural engineering*, Vol. 136, Issue 3, str. 246–254, 2009.
- Fonseca, F. S., Rose, S. K., Campbell, S. H., Nail, wood screw, and staple fastener connections, CUREE Richmond, CA, 2002.
- Gatto, K., Uang, C. -M., Cyclic Response of Woodframe Shearwalls: Loading Protocol and Rate of Loading Effects, CUREE Publication No. W-13, Department of Structural Engineering University of California, San Diego, Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering, 2002.
- ISO, ISO 16670:2003 Timber structures - Joints made with mechanical fasteners - Quasi-static reversed-cyclic test method, 2003.
- Kessel, H., zur Kammer, T., Three-dimensional load-bearing behaviour of multi-storey timber frame buildings, *Proceedings of the 8th world conference on timber engineering*, str. 7–12, 2004.
- Kržan, M., Pazlar, T., Grašič, I., Ber, B., Preiskave lesenih okvirnih stenskih panelov s cementno ivernimi obložnimi ploščami, Zbornik 41. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije, SDGK, 7-8. 11. 2019, Bled, str. 197-204, 2019.
- Kuhta, M., Premrov, M., Influence of Fasteners Disposition on Behaviour of Timber-Framed Walls with Double Fibre-Plaster Coating Boards, *American Journal of Applied Sciences*, Vol. 5, Issue 1, str. 6, 2008.
- Sartori, T., Piazza, M., Tomasi, R., Grossi, P., Characterization of the mechanical behaviour of light-frame timber shear walls through full-scale tests, *World conference on timber engineering*, str. 8, 2012.
- Sartori, T., Tomasi, R., Experimental investigation on sheathing-to-framing connections in wood shear walls, *Engineering Structures*, Vol. 56, str. 2197–2205, 2013.
- Seim, W., Kramar, M., Pazlar, T., Vogt, T., OSB and GFB As Sheathing Materials for Timber-Framed Shear Walls: Comparative Study of Seismic Resistance, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 142, Issue 4, str. 14, 2016.
- SIST, SIST EN 594:2011 Lesene konstrukcije - Preskusni postopki - Natezna trdnost in togost lesenih stenskih okvirjev s ploščami (panelov), 2011.
- SIST, SIST EN 1995-1-1:2005, Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij - 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005.
- SIST, SIST EN 1990:2004, Evrokod - Osnove projektiranja konstrukcij, 2004.
- SIST, SIST EN 12512:2002 Lesene konstrukcije - Preskusni postopki - Ciklično preskušanje spojev z mehanskimi veznimi sredstvi, 2002.
- SIST, SIST EN 310:1996, Lesne plošče - Ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti, 1996.
- Thompson, D.S., WoodWorks—Design example: Five-story wood-frame structure over podium slab, STB Structural Engineers, Lake Forest, CA, 2013.
- Tomasi, R., Sartori, T., Casagrande, D., Piazza, M., Shaking Table Testing of a Full-Scale Prefabricated Three-Story Timber-Frame Building, *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 19, str. 505–534, 2015.
- van de Lindt, J. W., Evolution of Wood Shear Wall Testing, Modeling, and Reliability Analysis: Bibliography, *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, Vol. 9, str. 44–53, 2004.
- Verdet, Y., Faye, C., Elachachi, S.M., Le Magorou, L., Garcia, P., Experimental investigation on stapled and nailed connections in light timber frame walls, *Construction and Building Materials*, Vol. 91, str. 260–273, 2015.

# PROBLEMATIKA NAČRTOVANJA SONARAVNIH UKREPOV ZA CELOVITO UPRAVLJANJE PADAVINSKIH VODA NA URBANIH OBMOČJIH

## THE ISSUES OF PLANNING NATURE- BASED SOLUTIONS FOR INTEGRATED STORMWATER MANAGEMENT IN URBAN AREAS

**Kristina Klemen, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.**

kristina.klemen@luz.si

**Petra Pergar, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.**

petra.pergar@luz.si

**Marko Fatur, univ. dipl. inž. grad.**

marko.fatur@luz.si

**dr. Bernarda Bevc Šekoranja, univ. dipl. inž. arh.**

bernarda.bevc@luz.si

LUZ, d. d., Verovškova ulica 64,

1000 Ljubljana

**mag. Katarina Konda, univ. dipl. inž. arh.**

katarina.konda@ljubljanas.si

Mestna občina Ljubljana, Mestni trg 1,

1000 Ljubljana

**Strokovni članek**

UDK 502/504:556.12

**Povzetek** | Obvladovanje poplavne ogroženosti urbanih območij s padavinskimi vodami zaradi svoje velike občutljivosti potrebuje celovito obravnavo z rešitvami, ki so zanesljive, enostavne, stroškovno učinkovite in trajnostne ter hkrati prispevajo h kakovosti bivanja, so privlačne in usklajene s potrebami prebivalcev. Prav sonaravne rešitve so take, saj omogočajo naravno kroženje vode v mestu in dajejo priložnost za vrnitev k naravnim izhodiščem rabe in urejanja voda. Z zagotavljanjem večnamenskosti in povezanosti urbanega prostora so v podporo ravnateljstvu med družbenimi, gospodarskimi in okoljskimi koristmi. Ker sta pravočasna rezervacija primerne prostora in ustrezna razmestitev dejavnosti prvi pogoj za umeščanje sonaravnih ureditev, je ključnega pomena obravnavanje in upoštevanje problematike že v zgodnjih fazah načrtovanja prostora. V ta namen je treba izdelati ustrezne strokovne podlage, ki slonijo na realno razpoložljivih in ustreznih podatkih ter interdisciplinarnem dopolnjevanju strokovnih izhodišč in znanj. Ob vedno večji javni dostopnosti prostorskih podatkov se namreč odpirajo nove možnosti na ravni strateškega in izvedbenega načrtovanja celovitega upravljanja padavinskih voda na urbanih območjih. Prispevek podaja pregled do sedaj identificiranih ključnih tematik, ki lahko pripomorejo k načrtovanju sonaravnih ukrepov v prihodnje: 1) interdisciplinarni pristop, 2) vključevanje zainteresiranih deležnikov, 3) razpoložljivost podatkov, 4) vključevanje v proces izdelave prostorskih aktov in 5) ustrezne strokovne podlage v zgodnjih fazah načrtovanja.

Ključne besede: urbana padavinska voda, sonaravne rešitve, trajnostno načrtovanje prostora, vključevanje zainteresiranih deležnikov, prostorski podatki

**Summary** | Due to its high sensitivity, flood risk management of urban areas with stormwaters requires comprehensive treatment with solutions that are reliable, simple, cost-effective, while contributing to the quality of life, are attractive and meet the needs of the population. It is these sustainable solutions that allow natural circulation of water in the city and provide the opportunity to return to the natural bases of water use and management. By ensuring the multifunctionality and connectivity of urban space, they support the balance between social, economic and environmental benefits.

Since the timely reservation of suitable space and proper placement of activities is a prerequisite for the placement of sustainable projects, it is crucial to address and take into account the issues at the earliest stages of spatial planning. To this end, it is necessary to establish appropriate assessment methods based on available and relevant data and the interdisciplinary complementarity of professional backgrounds and knowledge. The increasing public availability of spatial data is opening up new possibilities on the level of strategic and implementation planning of integrated stormwater management in urban areas. This paper provides an overview of key issues identified so far that can help in planning sustainable actions in the future: 1) interdisciplinary approach, 2) participation of interested stakeholders, 3) availability of data, 4) involvement in the spatial planning process, and 5) development of an appropriate assessment method from the earliest planning stages.

**Key words:** urban stormwater, nature-based solutions, sustainable urban planning, stakeholders participation, spatial data

## 1 • UVOD

Urbani prostor je zaradi omejitev razpoložljivega prostora posebej občutljiv. Poplavljanje urbaniziranih območij z urbnimi in zalednimi padavinskimi vodami je v Sloveniji v zadnjih letih ob obilnih padavinah pereč problem in hkrati tudi razvojni izziv. Pomanjkanje celovitega načrtovanja odvodnega sistema ter njegova pomanjkljiva urejenost in vzdrževanje se še posebej kažejo ob močnih nalivih, ki jih zaradi trenda podnebnih sprememb v prihodnosti lahko pričakujemo še več (ARSO, 2018). Obvladovanje poplavne ogroženosti urbanih območij s padavinskimi vodami zato potrebuje celovite rešitve, ki upoštevajo vse elemente prostora oz. okolja. To so rešitve, ki so zanesljive, stroškovno učinkovite in praviloma enostavne tako za vzpostavitev kot vzdrževanje, hkrati pa prispevajo h kakovosti bivanja v mestu. Rešitve morajo biti tudi privlačne in usklajene s potrebami prebivalcev.

Sonaravni ukrepi sledijo konceptu trajnostne padavinske verige (Dunnett, 2007), ki zagotavlja zajem in trajnostno obravnavo padavinske vode na celotnem poteku od trenutka, ko pade na grajeno površino (streha, tlakovana površina), do trenutka njene odvodnje ali ponikanja. Osnovno načelo trajnostne padavinske verige temelji na zajemu presežne vode in uporabi le-te za zalivanje rastlin ali ponovno uporabo v objektih, s čimer zmanjšamo tudi porabo pitne

vode. Trajnostna padavinska veriga je lahko sestavljena iz vrste členov, znotraj nje pa se lahko tvorijo tudi sekundarne verige. Sestavni



Slika 1 • Nabor primerov urbanih sonaravnih ukrepov za upravljanje padavinskih voda (prirejeno po (Kofinas, 2019)).



deli verige v urbanih območjih so ilustrativno prikazani na sliki 1: zelene in rjave strehe, prepustni tlaki, zasajeni zabojniki, odprti (tlakovani) ali zasajeni kanali oziroma jarki ter suhi

(večnamenske površine) in mokri zadrževalniki (bazeni). Sonaravne rešitve na ta način omogočajo naravno kroženje vode v mestu in dajejo priložnost za vrnitev k naravnim izhodiščem

rabe in urejanja voda ter z zagotavljanjem večnamenskosti in povezanosti urbanega prostora podpirajo ravnotežje med družbenimi, gospodarskimi in okoljskimi koristmi.

## 2 • INTERDISCIPLINARNI PRISTOP



Slika 2 • Interdisciplinarno dopolnjevanje strokovnih izhodišč in znanj pri načrtovanju sonaravnih rešitev urbane odvodnje.

Da smo lahko deležni številnih prepoznanih koristi, ki jih nudijo sonaravni ukrepi, jih moramo načrtovati v urbanem prostoru že v najzgodnejših oziroma strateških fazah načrtovanja prostora, ko se v prostoru še usklajujejo razni uporabniki oz. deležniki, saj je v izvedbenih fazah, ko so rešitve dokončne, pogosto že prepozno (Pitts, 2004). Hkrati je

treba že v začetnih fazah planiranja razvoja poselitve upoštevati tudi faze, ki se nanašajo na obratovanje, vzdrževanje, obnove in nadaljnji razvoj tako vzpostavljenih infrastrukturnih sistemov ((Klemenčič, 1997), (Pitts, 2004)). Vsekakor je to velik izziv, saj je prihodnost kompleksna in negotova (Bernini 2013), k negotovosti pa še dodatno prispevajo napove-

dane podnebne spremembe (Seto, 2014). Poleg tehničnega načrtovanja urbane infrastrukture je nujno treba pretehtati učinkovitost posamezne rešitve z vseh vidikov (okoljski, mikroklimatski, družbeni in ekonomski). To zahteva interdisciplinarni pristop, ki z inženirskim znanjem združuje vedo o oblikovanju objektov in prostora, prostorsko planiranje, ekologijo, informacijska znanja, ekonomijo in družbene vede.

Interdisciplinarno dopolnjevanje strokovnih izhodišč in znanj mora biti pri interdisciplinarnem načrtovanju sonaravnih rešitev urbane odvodnje vključeno od začetne faze prostorskega načrtovanja, pri tehničnem projektiranju in oblikovanju objektov sonaravne odvodnje in vse do gradnje in vzdrževanja. Pri vključevanju novih rešitev v prakso je posebnega pomena spremljanje dejanskih učinkov izvedenih rešitev, s čimer se lahko utemeljijo dejanski učinki ali po potrebi prilagodi praksa projektiranja. Šele na ta način bodo zagotovljene celovite rešitve.

V celotnem procesu moramo biti pozorni tudi na stroškovno učinkovitost rešitev, ki jo poleg celovitega načrtovanja zagotavljata primerno vzdrževanje in monitoring po končani gradnji. Analiza stroškovne učinkovitosti je poleg navedenega seveda tudi ključni element, na podlagi katerega se investitorji sploh odločijo za predlagane rešitve.

## 3 • VKLJUČEVANJE ZINTERESIRANIH DELEŽNIKOV

Upravljanje padavinske vode ni več osredotočeno zgolj na odgovornost javnih služb, zato je za uveljavitev uporabe sonaravnih ukrepov in zagotovitev dolgoročnega uspeha treba vključiti najširši spekter zainteresiranih strani in jih vključiti v postopek zagona sistema upravljanja kot tudi odločanja o končnih predlogih, ukrepih in rešitvah. Meek in Rhodes (Meek, 2014) v svojem prispevku definirata štiri ključne dimenzije, ki vplivajo na kompleksnost odločanja pri realizaciji projektov na področju javnih storitev: 1) negotovost financiranja, 2) sposobnosti vključenih javnih odločevalcev, 3) različno število vključenih deležnikov (angl. stakeholder variation) in 4) časovno načrtovanje izvedbe projekta (ang. project timeline). Definicija ključnih deležnikov in predvsem nji-

hovich zahtev po funkcionalnosti orodij/modelov/spletnih aplikacij/platform je izhodiščna naloga vseh raziskav na trenutno aktualnem področju razvoja različnih informacijsko-komunikacijskih rešitev za podporo odločanju. V evropski raziskavi Water4Cities\* je v slovenskem pilotnem primeru obravnavano celovito upravljanje padavinske vode v mestu z uporabo sonaravnih ukrepov odvodnje v ljubljanski urbani regiji. V raziskavi so bili identificirani ključni deležniki: predstavniki lokalnih skupnosti, prebivalci (tako potencialno ogroženi zaradi delovanja voda kot tudi siceršnja zainteresirana javnost), prostorski načrtovalci, krajinski arhitekti in projektanti konkretnih rešitev, ki le skupaj z ostalimi deležniki lahko sooblikujejo relevantne informacijske rešitve (Pergar, 2017).

Poseben pomen pri izzivu vključevanja zainteresiranih deležnikov ima vključevanje javnosti. Ker je eno od načel prostorske zakonodaje tudi vključevanje javnosti v postopke urejanja prostora, to predstavlja poseben izziv in obsega različne načine vključevanja zainteresiranih strani in javnosti: od aktivnega vključevanja in oblikovanja partnerstva z javnostjo pri skupnem iskanju ciljev, načrtovanju in izvajanju ukrepov do ozaveščanja in učenja javnosti. Sonaravni ukrepi so namreč pogosto umeščeni na zasebnih zemljiščih in vključujejo avtohtono rastlinje, zbiralnike za deževnico in prepustno tlakovanje, kar pogojuje, da prebivalci, poslovne osebe in drugi člani skupnosti prevzamejo odgovornost za eno ali več faz upravljanja sonaravnih ukrepov (WEF, 2014). Pri vključevanju javnosti za kompleksna strokovna področja lahko veliko pripomorejo novejša tehnike zbiranja, obdelave in vizualizacije podatkov (Rizou, 2018).

\* European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Staff Exchange programme under grant agreement number 734409.

## 4 • RAZPOLOŽLJIVOST PODATKOV

Učinkovit sistem upravljanja voda je eden od pomembnejših ciljev urbane skupnosti. Izhajati mora iz lokalnih potreb in problemov ter fizično-geografskih raznolikih značilnosti lokalnega okolja.

Na učinkovito uporabo koncepta celovitega upravljanja padavinskih voda na urbanih območjih vplivajo številne spremenljivke, kot so lokacija, izbira tehnike, oblikovanje, izgrad-

nja in vzdrževanje sonaravnih ukrepov. Najpomembnejši dejavnik, ki določa stroškovno učinkovitost, pa je umestitev ukrepa znotraj porečja, saj ta določa količino odтока in tako neposredno vpliva na pridobljene koristi ob danih stroških (Martin-Mikle, 2015).

Zato sta pomembna koraka k učinkovitemu upravljanju urbanih padavinskih voda analiza stanja okolja s prostorsko analizo značilnosti,

ki vplivajo na stanje obravnavanega območja, in modeliranje, ki pokaže učinkovitost načrtovanih rešitev. Oba koraka izvedemo tudi s pomočjo analize razpoložljivih prostorskih podatkov.

V zadnjih nekaj letih se je razpoložljivost javno dostopnih podatkov, zbranih z opazovanjem Zemlje, in javno dostopnih državnih podatkov na splošno bistveno povečala (Klein, 2017). V Sloveniji se je poleg podatkov o obstoječih omrežjih, zbranih v okviru Zbirnega katastra gospodarske javne infrastrukture (GURS), z vklju-

Podatek	Informacija	Opis uporabnosti	Vir
DMR	višinske točke terena, naklon	izračun naklona in površine območij, ki so predmet odvodnje in uporabljene za umestitev ukrepov	javni podatek
Raba	mreža tipov površin	izločitev neprimernih mest za umestitev ukrepov	javni podatek
tla (zemljina)	hidrološka klasifikacija tal	opredelitev sposobnosti ponikanja prisotne zemljine	ocena na osnovi javnih podatkov
(urbana) raba površin	trenutna raba, predvidena raba	določitev obodov objektov in neprepustnih površin za opredelitev primernih lokacij sonaravnih ukrepov	javni podatek
ceste	vrsta ceste, širina ceste	opredelitev primernih lokacij za nekatere sonaravne ukrepe, ki so vezani na območje ob cestah	javni podatek
površinska vodna telesa	rečna mreža	določitev varovalnega pasu, zunaj katerega so vezani nekateri sonaravni ukrepi z namenom zmanjšati medsebojen vpliv s površinskimi vodnimi telesi	javni podatek
javna gospodarska infra. za upravljanje voda	dimenzija, starost	opredelitev območij, kjer je potrebno večanje kapacitet infrastrukture za upravljanje padavinske vode	javni podatek
nivo podtalnice	globina podtalnice	opredelitev primernih umestitev sonaravnih ukrepov s ponikanjem	ocena na osnovi javnih podatkov
lastništvo zemljišč	javna površina, zasebna površina	opredelitev umestitve na zasebnem ali javnem zemljišču	javni podatek
meteorološki	temperatura zraka, vlažnost zraka, količina naliva	določitev vrste zasaditve, ocena pričakovanih nalivov	javni podatek
karte poplavne ogroženosti	obseg verjetnih poplav	določitev območij, ki so ogrožena s poplavami 500-, 100- in 10-letne povratne dobe	javni podatek za nekatera območja
poplavni dogodki	evidenca poplavnih dogodkov	evidentiranje območij, ki so že bila poplavljeni	javni podatki, zbrani z opazovanjem Zemlje

Preglednica 1 • Razpoložljivi javno dostopni prostorski podatki, ki v Sloveniji podpirajo načrtovanje sonaravnih ukrepov za celovito upravljanje padavinskih voda na urbanih območjih (Pergar, 2017).

čitvijo podatkov hidrografije in vodnih zemljišč v portal eVode občutno okrepila baza javno razpoložljivih podatkov za potrebe celovitega upravljanja voda nasploh kot tudi za potrebe načrtovanja sonaravnih ukrepov urbane odvodnje.

Že razpoložljivi prostorski podatki (preglednica 1) so še posebej dragoceni v začetku procesa načrtovanja sonaravnih ukrepov, saj brez dodatnih stroškov in zamudnega zbiranja podatkov že omogočajo izdelavo

nekaterih strokovnih podlag oziroma določitev ključnih manjkajočih podatkov, ki so lahko zbrani znotraj razumnih stroškov in časovnih okvirov.

## 5 • VKLJUČEVANJE V PROCES IZDELAVE PROSTORSKIH AKTOV

V dosednji praksi se potreba po izdelavi strokovnih podlag, ki obravnavajo ravnanje z vodami (urbanimi, zalednimi), običajno izkaže šele v poznih fazah izdelave prostorskih aktov na podlagi usmeritev nosilcev urejanja prostora. Vendar je v tej fazi, ko so namenska raba in razmestitev dejavnosti ter projektne rešitve že določene, prilagodljivost dokumentov že bistveno manjša kot v začetnih fazah.

Zakonsko podlago za zgodnejše vključevanje načrtovanja sonaravnih ukrepov za celovito upravljanje padavinskih voda na urbanih območjih že podaja Zakon o urejanju prostora (ZUreP-2) (Uradni list RS, št. 61/17), ki predpostavlja, da je prostorsko načrtovanje kontinuirana interdisciplinarna aktivnost, s katero se na način dogovarjanja in usklajevanja med udeleženci urejanja prostora na strateški ravni načrtuje prostorski razvoj, na izvedbeni ravni pa se načrtujejo prostorske ureditve in določa izvedbena regulacija prostora. Prostorsko načrtovanje se udejanja z izdelavo in pripravo prostorskih aktov, na izvedbeni ravni pa se načrtujejo prostorske

ureditve in določa izvedbena regulacija prostora (prostorski izvedbeni akti). ZUreP-2 tudi določa Občinski prostorski načrt kot prostorski akt, v katerem se skladno z regionalnim in občinskim prostorskim planom na izvedbeni ravni načrtujejo prostorske ureditve lokalnega pomena ter določajo namenska raba prostora in prostorski izvedbeni pogoji za umestitev načrtovanih posegov v prostor.

Načrtovanje in umeščanje sonaravnih ureditev se torej začne že v začetnem delu priprave prostorskih aktov. Za pripravo prostorskih aktov zakonodaja predpisuje izdelavo ustreznih strokovnih podlag, obenem pa se uporabijo tudi podatki iz prikaza stanja prostora ter drugi podatki, ki so pomembni za pripravo prostorskega akta, vključno s podatki nosilcev urejanja prostora. Praksa kaže, da se strokovne podlage za ukrepe za upravljanje padavinskih voda praviloma ne izdelujejo, v zadnjih letih zaradi striktnih podzakonskih predpisov beležimo le bistven porast izdelave hidravlično-hidroloških študij glede določitve razredov poplavno ogroženih območij.

Strokovne podlage, ki bi opredelile karakteristike območij primernih za ponikanje ali zadrževanje padavinskih voda, npr. rezultati modelov pričakovanih količin učinkovitih padavin, zmogljivost obstoječih kanalizacijskih sistemov za odvajanje padavinske vode, zelene urbane površine, raščeni teren ipd., bi predstavljale pomemben vhodni podatek za izdelavo prostorskih aktov. Na podlagi ustreznih strokovnih podlag bi namreč lahko prostorski razvoj načrtovali skladno z omejitvami in temu primerno načrtovali razporeditev dejavnosti (namenska raba prostora) in dodatne pogoje (prostorski izvedbeni pogoji, zelena infrastruktura itd.).

Če se strokovne podlage ne izdelajo, lahko pride do situacije, ko prostorski izvedbeni akti dopuščajo več, kot to dopušča prostor, oz. je investitor soočen z dodatnimi stroški svoje investicije, ko začne pripravljati projekt za gradnjo. Prostorski izvedbeni akti bi se morali nagibati tudi k temu, da podajajo verodostojno informacijo o stanju o prostoru, saj lahko v nasprotnem primeru uporabnik ne dobi vseh informacij, kar pomeni, da ne more pravilno oceniti tveganja.

## 6 • USTREZNE STROKOVNE PODLAGE

Kot opozarja Radinja s sodelavci (Radinja, 2017), sta načrtovanje in uporaba sonaravnih ukrepov v slovenski državni zakonodaji opredeljena le na načelni ravni, kar je premalo za njeno sistemsko uvajanje. Za razvoj celovite urbane odvodnje v Sloveniji je potrebno oblikovanje formalnih in neformalnih dokumentov (pravilnikov, predpisov, dobrih praks), na katere se bodo lahko oprli planerji in projektanti pri načrtovanju prostora.

Na nivoju tehničnega projektiranja posameznih ukrepov nam lahko zasilno služijo tudi tuji standardi in priročniki (standardi DWA-A in ATV, priročnik CIRIA), medtem ko zaradi lokalno in nacionalno specifičnih danosti in omejitev pri strateškem načrtovanju v slovenskem prostoru ni ustreznih mehanizmov za učinkovito in celovito ravnanje z vodo v urbanih območjih. Zato urbana odvod-

nja za zdaj ostaja brez celovite in strateške obravnave.

Za potrebe določitve ukrepov za trajnostno upravljanje voda je pomembna pravočasnost rezervacije primerne prostora in porazdelitve dejavnosti, ki bo omogočala umestitev sonaravnih ukrepov v prostor že v zgodnejših fazah načrtovanja prostora. Načrtovalci sonaravnih rešitev urbane odvodnje prepoznavamo naslednje prioritete vsebine strokovnih podlag v fazi prostorskega načrtovanja:

1) določitev območij, ki so na podlagi geološke strukture tal določena kot primerna za ponikanje padavinskih voda; pri tem so glavni kriteriji za conacijo primernosti naslednji: nagib, lokacije prepustnih/neprepustnih površin, oddaljenost od temeljev objektov, oddaljenost od površinskih vodnih teles in gladina podzemne vode;

- 2) vzpostavitev posplošenega modela na državni ravni, ki nas opozori na potrebnost ukrepov urbane odvodnje in s pomočjo katerega lahko na grobo ocenimo učinke sonaravnih ukrepov razpršenega zadrževanja in ponikanja padavinskih voda;
- 3) oblikovanje metode za določitev ustreznih stopnje izkoriščenosti zemljišč, namenjenih gradnji (faktor zelenih površin, faktor odprtih bivalnih površin, faktor pozidanosti in delež raščenege terena), ki bo lahko rezervirala zadostno površino primerne oblike za umestitev sonaravnih ukrepov; za smiselno umestitev in načrtovanje ukrepa, ki celovito rešuje urbano odvodnjo, je namreč potrebna dovolj velika neprekinjena površina na primernem delu obravnavanega območja, kar pa z dosedanjimi prakso pogosto ni zagotovljeno;
- 4) tehnična priporočila za izvedbo sonaravnih rešitev na mikro- in makroravni prostorskega načrtovanja, ki se jih vključuje kot PIP v izvedbene prostorske akte. Tako podrobna priporočila narekujejo izdelavo



hidrološko-hidravličnih modelov obstoječih in načrtovanih sistemov odvodnje na nivoju mest.

Takšne podlage bi pomenile pomemben korak razvoja prostorskega načrtovanja v smeri ce-

lovičnega načrtovanja prostora. Pri oblikovanju modelov je treba upoštevati številne prakse izdelave tovrstnih modelov v tujini (Kofinas, Laspidou, Mellios, Klemen, 2018), ob največji možni meri upoštevati že razpoložljive pro-

storske podatke (preglednica 1) in rezultate modelov na enostaven in razumljiv način predstaviti tudi zainteresirani javnosti, investitorjem in lastnikom zemljišč.

(Nezeys, 2013), da je treba nujno tudi ves čas spremljati in preverjati dejansko učinkovitost predlaganih ukrepov znotraj posameznih območij.

Šele s tako oblikovano strokovno podlago in ustreznim predpisom, ki jasno definira usmeritve in pravila načrtovanja odvodnje, ponikanja in zadrževanja padavinskih voda v mestih lahko pričakujemo večje premike v smeri

## 7 • PRIMERI DOBRE PRAKSE

V nadaljevanju podajamo tri primere dobre prakse. Prvi je iz tujine in zajema coniranje mesta Pariz za potrebe ponikanja in zadrževanja padavinskih voda. Druga dva primera temeljita na izvedenih projektih avtorjev tega prispevka, kjer so bili na podlagi obstoječih in novo pridobljenih prostorskih podatkov ter z združevanjem interdisciplinarnega strokovnega znanja v kombinacijami s tujimi priporočili in standardi v prostor umeščeni sonaravni ukrepi za potrebe urbane odvodnje na strateški in izvedbeni ravni. Z Občine Log - Dragomer imamo primer strateškega programskega dokumenta, ki je na osnovi poplavnih razmer, opredeljenih v Poplavni študiji, s prostorsko analizo podal predloge optimalnih umestitev sonaravnih gradbenih ukrepov glede na stanje v prostoru in s tem izhodišča za soočanje s problematiko upravljanja voda in za izvajanje ukrepov v pristojnosti lokalne skupnosti ter hkrati tudi dokument za usklajevanje nalog in pristojnosti z državno ravno upravljanja voda. Primer projektiranja podajamo za Mestno občino Ljubljana, kako na izvedbeni ravni načrtuje sonaravne ukrepe za odvodnjo novih urbanih prometnih površin.

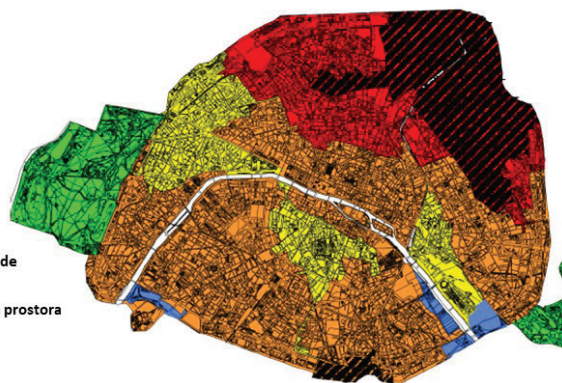
### 7.1 Primer dobre prakse strateškega načrtovanja: Pariz

Podobno kot številna mesta po svetu se tudi v Parizu spoprijemajo s težavami v primeru obilnejših padavin, ki poleg preobremenitev obstoječega sistema kanalizacijskega sistema predstavlja tudi močno onesnaženje reke Sene zaradi prelivanja iz mešanega kanalizacijskega sistema. Zato so za širše mestno območje sprejeli predpis (Zonage, 2018), ki zajema določitev območij, znotraj katerih je treba ponikati oziroma zadržati predpisano količino padavin. Določitev območij temelji na hidravlični študiji, ki je zajemala analizo povečanih pretokov v sistemu v primeru večjih nalivov ter zmanjšanje volumnov začetnega naliva. Poleg določitve območij predpis zajema tudi referenčno količino padavin, ki naj jo projektanti upoštevajo, ter enostavna navodila za upoštevanje pravil v primeru novogradenj

ali širitev obstoječe pozidave. Na podlagi tako določenega in formalnopravno sprejetega dokumenta se sedaj od izdelovalcev prostorskih aktov in projektantov lahko tudi zahteva oblikovanje rešitev za upravljanje padavinskih voda.

#### Predlagano zmanjšanje odtoka referenčnih 16 mm padavin za:

- 30% (prepovedano ponikanje v primeru onesnaženih tal)
- 55% (infiltracija in regeneracija)
- 80% (infiltracija in regeneracija)
- 100% (infiltracija in regeneracija)
- Območje zadrževanja 10 letne poplavne vode pred vtokom v mešan sistem
- Območja posamične obravnave obvodnega prostora



Slika 3 • Izsek iz strokovne podlage, ki je bila osnova za določitev območij z različnimi zahtevami glede ponikanja (prirejeno po: (Nezeys, 2013)).

Priporočila za oblikovanje rešitev so vezana tako na zelene strehe in deževne vrtove kot tudi na ureditve za zmanjšanje odtoka iz vozišč s ponikanjem, zadrževanjem in čiščenjem padavinske vode. Zavedajo pa se

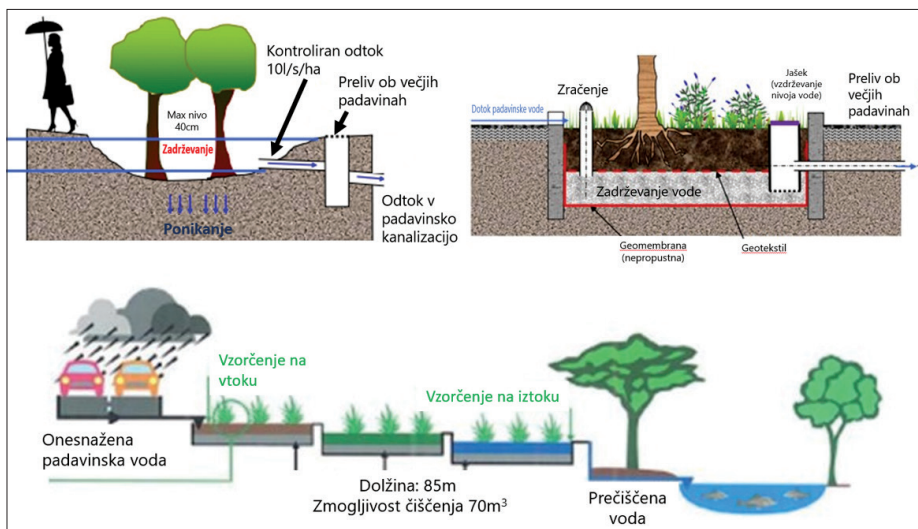
realizacije večjega števila ukrepov zelene infrastrukture. Takšnih predpisov trenutno v Sloveniji nimamo. Pri oblikovanju predpisa je treba poleg izsledkov hidravlične študije upoštevati ostale značilnosti prostora in poselitve

#### Zmanjšanje odtoka referenčnih 16 mm padavin za:

- 30%
- 55%
- 80%



Slika 4 • Izsek iz grafičnega dela usmeritev za izdelovalce prostorskih aktov in projektante (prirejeno po: (Zonage, 2018)).



Slika 5 • Izsek iz tekstualnega dela usmeritev za izdelovalce prostorskih aktov in projektante (prirejeno po: (Zonage, 2018)).

na obravnavanem območju. Za slednje pa je nujna vključitev interdisciplinarne skupine strokovnjakov. Opisani primer lahko štejemo za nujno potrebno strokovno podlago (poglavje 6), in sicer določitev tehničnih priporočil za izvedbo sonaravnih rešitev na mikro- in makroravni prostorskega načrtovanja, ki je podprta s hidrološko-hidravličnim modelom.

## 7.2 Primer dobre prakse strateškega načrtovanja: občina Log - Dragomer

Občina Log - Dragomer se je odločila za oblikovanje Programa celovitega lokalnega upravljanja voda in vodnega prostora občine Log - Dragomer (LUZ, 2017b), saj so njene potrebe presegle obseg varstva pred škodljivim delovanjem voda v načrtih upravljanja voda na državnem nivoju in iz njega izhajajočih ukrepov. Na podlagi rezultatov poplavne študije in opozoril občanov se je lokalna skupnost zavzela, da celovito in vključevalno pristopi k pripravi strateškega programskega dokumenta, ki bo podal izhodišča za soočanje s problematiko upravljanja voda in za izvajanje ukrepov v pristojnosti lokalne skupnosti. Skladno z dejstvom, da je za upravljanje voda pristojna država z načrti upravljanja povodij, se program za celovito upravljanje voda osredotoča na lokalno raven in svoje občinske pristojnosti.

Za potrebe prostorske analize ustreznosti različnih sonaravnih gradbenih ukrepov upravljanja padavinskih voda je bil najprej vzpostavljen podatkovni model celotne infrastrukture, na katero je vezano upravljanje padavinskih voda (LUZ, 2016), ter sloji GIS-podatkov, ki so bili uporabljeni v prostorski analizi: DMR (LIDAR e-vode, Ministrstvo za okolje in prostor,

2015), tipi površin (OPN občine Log - Dragomer – predlog, Domplan, d. d., Kaliopa, d.o.o., 2012), tla (Poročilo o izdelavi kart nevarnosti pred plazovi, podori ter erozijo za celotno občino Log - Dragomer, GECKO, d.o.o., 2015), raba površin (Kataster stavb, GIS Občina Log - Dragomer, 2016), ceste (Cestno

ki so bili pridobljeni z vključitvijo javnosti preko organizacije dveh delavnic z občani ter terenskega ogleda.

Prostorska analiza je podala predloge optimalne umestitve sonaravnih gradbenih ukrepov glede na stanje v prostoru. Sonaravni gradbeni (npr. izvedba usedalnikov oz. zaščitnih objektov na koritih, gradnja prelivnega zadrževalnega bazena, vzpostavitve odprtega obcestnega jarka) in negradbeni ukrepi (npr. izdelava izobraževalnega materiala, vključitev vsebine Programa v Občinski prostorski načrt in Odlok o odvajanju in čiščenju komunalne in padavinske odpadne vode na območju občine Log - Dragomer, izboljšanje in dopolnitev javnih državnih evidenc hidrologije) so namenjeni izvajanju na več ravneh – od posameznika oziroma posameznega objekta prek ulice oziroma soseške do območja celotne občine s potencialnim vplivom prek meja občine. Program je bil oblikovan v zavedanju, da je uspešnost ukrepov na lokalni ravni v veliki meri vezana na predhodne postopke izobraževanja javnosti in vključevanja vseh deležnikov oziroma udeležencev v postopke priprave dokumenta.



Slika 6 • Primer predloga gradbenih ukrepov na enem od območij, določenih na podlagi rezultatov Programa (levo), priprava katerega je temeljila na vključitvi javnosti (desno zgoraj) in ukrepih, ki izhajajo iz lokalnih značilnosti, npr. barjanski jarek (desno spodaj), (LUZ, 2017b).

omrežje z Banko cestnih podatkov, GIS Občina Log - Dragomer, 2016), vodotoki (Atlas voda, Ministrstvo za okolje in prostor, 2016; Zbirni kataster vodotokov, vodne infrastrukture ter infrastrukture za odvajanje odpadnih padavinskih in komunalnih voda, 2016), nivo podtalnice (Karte ogroženosti, GECKO, d.o.o., 2016), lastništvo zemljišč (Lastništvo, GIS Občina Log - Dragomer, 2016). V prostorsko analizo so bili vključeni tudi predlogi javnosti,

Predlogi optimalnih umestitev sonaravnih gradbenih ukrepov dajejo prijemljivo osnovo na strateški ravni za načrtovanje učinkovite urbane odvodnje na izvedbeni ravni. Naslednji koraki zahtevajo modeliranje vpliva načrtovanih ukrepov na poplavne razmere in dimenzioniranje ukrepov. Opisani primer lahko štejemo za nujno potrebno strokovno podlago (poglavje 6), in sicer določitev območij, primernih za različne ukrepe zelene infrastrukture na strateški ravni.



### 7.3 Primer dobre prakse projektiranja: parkirišče P+R Stanežiče

V Ljubljani se na območju opuščene gramoznice v Stanežičah pri projektu za pridobitev gradbenega dovoljenja in izvedbo

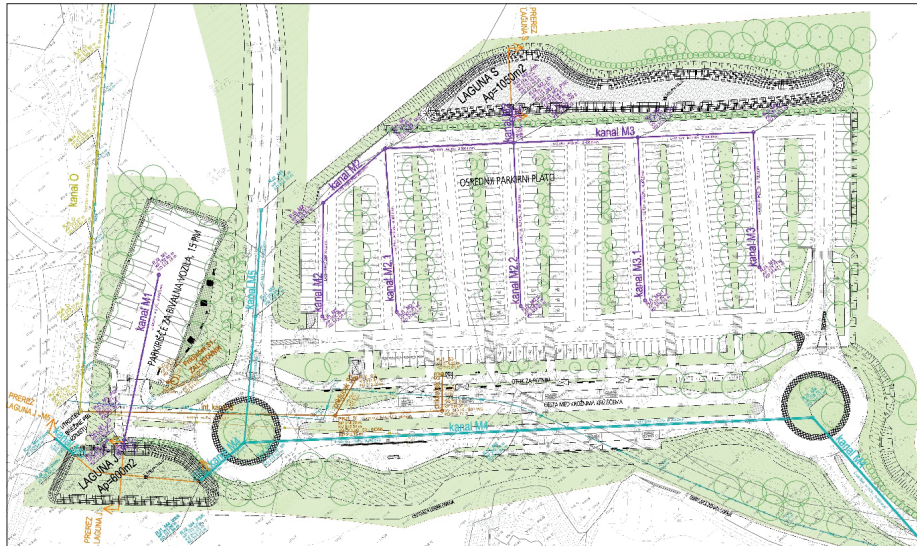
(LUZ, 2017a) načrtuje izgradnja zbirnega središča P+R, namenjenega parkiranju vozil, preusmerjanju voznikov osebnih avtomobilov na javni potniški promet ter celostni oskrbi potnikov. Poleg drevesne in grmovne zasa-

ditve zelenih površin zbirnega središča smo zeleno infrastrukturo vzpostavili tudi za namen odvodnje novih tlakovanih prometnih površin. Na osnovi dobrih ponikovalnih sposobnosti prisotnega peščenega proda in globokega nivoja podtalnice smo odvodnjo, namesto z izgradnjo novega javnega odvodnega kanala z izlivom v vodotok, predvideli s sonaravno rešitvijo dveh travnatih suhih zadrževalnikov (ponikovalnih lagun). Tako bosta kljub novim urbanim neprepustnim površinam še vedno omogočeni vračanje vode v vodni krog in napajanje podtalnice.

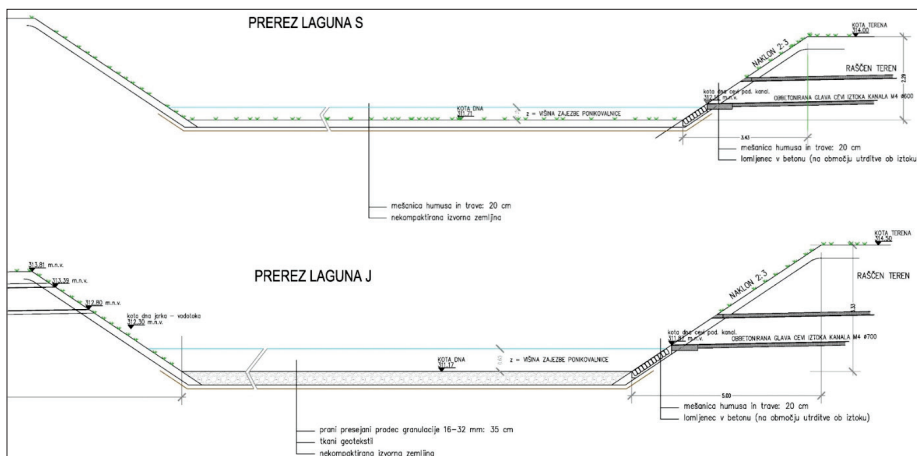
Osnovne lastnosti ponikanja so bile za idejno fazo načrtovanja ocenjene na podlagi javno dostopnih podatkov, za fazo projektiranja pa so bili natančni podatki o kapaciteti ponikanja pridobljeni z nalivalnim preizkusom v okviru geomehanskih raziskav.

Severna laguna (Laguna S) površine  $A_p = 1050 \text{ m}^2$  je z upoštevanim faktorjem ponikanja  $k_f = 5,3 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$  dimenzionirana za zadrževanje in ponikanje pretoka  $Q = 334,6 \text{ l/s}$  s celotnega parkirišča površine  $A = 1,4 \text{ ha}$ . Južna laguna (Laguna J) površine  $A_p = 600 \text{ m}^2$  je z upoštevanim faktorjem ponikanja  $k_f = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$  dimenzionirana za zadrževanje in ponikanje pretoka  $Q = 566,9 \text{ l/s}$  s celotnih prispevnih površin cest in parkirišča za bivalna vozila v skupni površini  $A = 2,24 \text{ ha}$ .

Pred ponikanjem se voda s parkirnih površin očisti v peskolovu in lovilcu olj, voda s cestnih površin pa pri njihovi majhni obremenjenosti samo preko peskolova. Zaradi občutljivosti podtalnice za onesaženje z olji pa je tudi po izvedbi potrebna posebna pozornost pri vzdrževanju in obratovanju lovilca olj. Projektne rešitve je nastala ob želji in znanju projektantov po drugačni rešitvi, ob zadostnem razpoložljivem prostoru in ob razumevanju naročnika. Brez zgoraj navedenih pogojev realizacija ne bi bila možna.



Slika 7 • Načrtovane rešitve sonaravne odvodnje preko dveh travnatih suhih zadrževalnikov pri projektu Parkirišče P+R Stanežiče (LUZ, 2017a).



Slika 8 • Prezeta načrtovane izvedbe travnatih suhih zadrževalnikov Laguna S in Laguna J v projektu Parkirišče P+R Stanežiče (LUZ, 2017a).

## 8 • SKLEP

V zadnjih 20 letih so bili izvedeni mnogi projekti, ki so veliko prispevali k razvoju in uveljavitvi celovitega upravljanja padavinske vode s sonaravnimi ukrepi po svetu in v Evropi (npr. (Matos Silva, 2016)), nekateri pristopi in ukrepi so bili izvedeni tudi v Sloveniji. Te izkušnje in praksa nakazujejo, da lahko tudi v sedanjih razmerah v času prenove sistema upravljanja voda na državnem oz. regional-

nem nivoju presežemo slabosti zatečenega slovenskega sistema upravljanja voda s celovitim pristopom pri upravljanju voda, ki mora postati obveza in ne samo dobra volja investitorjev. Pri tem igra pomembno vlogo prav pravočasnost rezervacije primerne prostora in porazdelitve dejavnosti, ki bo omogočala umestitev sonaravnih ukrepov v prostor že v začetnih fazah načrtovanja prostora. S

celovitim upravljanjem padavinske vode z načrtovanjem sonaravnih rešitev na urbanih območjih se odpira pot naprej v smeri načel trajnosti, vključenosti in usklajenosti.



## 9 • SKLEP

Prispevek je bil prvotno objavljen v zborniku Mišičevi vodarski dnevi 2018. Prispevek smo nekoliko preoblikovali in dodali primer dobre prakse iz Pariza. Pri prevodu vsebin iz francoščine nam je pomagala študentka Jade-Kalinja Poret iz Francije, ki je bila v našem podjetju na strokovni praksi.

## 10 • LITERATURA

- ARSO, Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja: sintezno poročilo - del 1. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, avtorji besedila Renato Bertalanci et al., urednica Mojca Dolinar, Ljubljana, 2018.
- ATV-A 128E, Standards for the Dimensioning and Design of Stormwater Structures in Combined Sewers, 1992.
- Bernini, A., Franchini, M., A rapid model for delimiting flooded areas. *Water Resour. Manage* 27 (10), 3825–3846, 2013.
- CIRIA, The SuDS Manual., Construction Industry Research and Information Association, Department of Environment Food and Rural Affairs, 888 str., London, 2015.
- Dunnett, N., Clayden, A., Rain gardens: managing water sustainably in the garden and designed landscape. Timber, Portland, Or., London, 2007.
- DWA-A 100E, Guidelines of Integrated Urban Drainage (IUD), 2006.
- DWA-A 138E, Planning, construction and operation of facilities for the percolation of precipitation water, 2005.
- DWA-A 153E, Recommended Actions for Dealing with Stormwater, 2007.
- Klein, T., Nilsson, M., Persson, A., Hansson, B., From Open Data to Open Analyses - New Opportunities for Environmental Applications? *Environments* 2017, 4, 32, 2017.
- Klemenčič, T., Komunalno gospodarstvo. Ljubljana, Svetovalni center, 511 str., 1997.
- Kofinas, D., Laspidou, C., Mellios, N., Klemen, K., D3.1: Best practices on urban water management systems, Holistic Surface Water and Groundwater Management for Sustainable Cities (Water4Cities), Project no. 734409, nepubliciran - interni dokument projekta, 2018.
- Kofinas, D., Pergar, P., Klemen, K., Rizou, S., Spiliotopoulos, M., Papadopoulou, C., Ritsos, P., Mellios, N., Datsika, E., Polajnar, A., Kenda, K., Senozetnik, M., Laspidou, C. D3.2: Urban water optimization methodological framework, Holistic Surface Water and Groundwater Management for Sustainable Cities (Water4Cities), Project no. 734409, nepubliciran - interni dokument projekta, 2019.
- LUZ, Ljubljanski urbanistični zavod, d. d., Parkirišče P+R Stanežiče, PGD, št. proj. 7989. naročnik Mestna občina Ljubljana, 2017a.
- LUZ, Ljubljanski urbanistični zavod, d. d., Program celovitega lokalnega upravljanja z vodo in vodnim prostorom Občine Log – Dragomer, št. proj. 8010, naročnik Občina Log – Dragomer, <http://log-dragomer.si/strokovne-podlage.html>, 2017b.
- LUZ, Ljubljanski urbanistični zavod, d. d., Zbirni kataster vodotokov, vodne infrastrukture ter infrastrukture za odvajanje odpadnih padavinskih in komunalnih voda za potrebe oblikovanja programa celovitega lokalnega upravljanja z vodo in vodnim prostorom v občini Log – Dragomer, št. proj. 8010, naročnik Občina Log – Dragomer, 2016.
- Martin-Mikle, C. J., de Beurs, K. M., Julian, J. P., Mayer, P. M., Identifying priority sites for low impact development (LID) in a mixed-use watershed, *Landscape and Urban Planning*, Volume 140, str. 29-41, 2015.
- Matos Silva, M., Pedro Costa, J., Flood Adaptation Measures Applicable in the Design of Urban Public Spaces: Proposal for a Conceptual Framework, *Water*, 8(7), 284, 2016.
- Meek, J., Rhodes, M. L., Decision making in complex public service systems: Features and dynamics, *E:CO* 16:1, 24-41, 2014.
- Nezeys, A., Un zonage pluvial pour Paris: reintegrer les eaux pluviales dans le grand cycle l'eau (A Rainwater Zoning for Paris: reinstate urban stormwater into the great water cycle). *Novatech*. 2013.
- Pergar, P., Klemen, K., Kofinas D., Mellios, N. D2.1: Analysis of stakeholder requirements. Holistic Surface Water and Groundwater Management for Sustainable Cities (Water4Cities), Project no. 734409. nepubliciran - interni dokument projekta, 2017.
- Pitts, A., Planning and Design Strategies for Sustainability and Profit: Pragmatic sustainable design on building and urban scales, Great Britan, Architectural Press, 244 str., 2004.
- Radinja, M., Banovec, P., Atanasova, N., Standardi na področju razpršenih ukrepov zadrževanja in ponikanja padavinskih voda na urbanih območjih, *Ekolist*, december 2017.
- Rizou, S., Kofinas, D., Kenda, K., Senozetnik, M., Ramantas, K., Ritsos, P., Pergar, P., Mellios, N. D2.3: technical specifications and system architecture, Holistic Surface Water and Groundwater Management for Sustainable Cities (Water4Cities), Project no. 734409. nepubliciran - interni dokument projekta, 2018.
- Seto, K. C., Dhakal, S., Bigio, A., Blanco, H., Delgado, G. C., Dewar, D., Huang, L., Inaba, A., Kansal, A., Lwasa, S., McMahon, J. E., Müller, D. B., Murakami, J., Nagendra, H. and Ramaswami, A., Human Settlements, Infrastructure and Spatial Planning, *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA 923-1000 str., 2014.
- Zonage d'assainissement de la ville de Paris, Reglement, <https://www.paris.fr/pages/le-plan-parispluie-5618>, 2018.

# ZGODOVINSKI PREGLED STREŠNIH KONSTRUKCIJ, PODPRTIH Z ENIM STEBROM

## HISTORICAL OVERVIEW OF ROOF STRUCTURES SUPPORTED BY ONE PILLAR

doc. dr. Lara SLIVNIK, univ. dipl. inž. arh.

lara.slivnik@fa.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo,

Zoisova 12, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 624.19:72(091)

**Povzetek** | Prispevek podaja zgodovinski pregled strešnih konstrukcij, ki so podprte samo z enim stebrom. Arhitekti in umetnostni zgodovinarji za takšne objekte uporabljamo izraza gobasta in dežnikasta konstrukcija, med gradbenimi inženirji ta dva izraza nista uveljavljena. Predstavljeni so začetki takšnih konstrukcij (gobaste plošče), razvoj gradnje v 20. stoletju (stožčaste plošče, ki so podprte na vrhu, dežnikaste strehe iz hiperboličnih paraboloidov ...) in današnje stanje. Poudarek je na armiranobetonskih konstrukcijah, ki so jih načrtovali in zgradili po različnih delih zahodnega sveta do leta 1960. Omenjenih je nekaj arhitekturno najbolj zanimivih konstrukcij, podprtih z enim stebrom, zgrajenih po letu 1960 v tujini. Podrobneje so obravnavane konstrukcije, ki so jih v Ljubljani načrtovali arhitekti Marko Šlajmer, Milan Mihelič in Edvard Ravnikar. Zgodovinski pregled se konča s konstrukcijami, ki so jih zgradili z drugimi gradivi po letu 1970. Rezultati prispevka so podani v treh preglednicah, v katerih so obravnavani objekti analizirani po več kriterijih (avtor, čas, lokacija, parametri strehe, parametri stebra, število elementov). V diskusiji so primerjane podobnosti in razlike med analiziranimi objekti. V zaključku je podana razlaga izrazov, ki jih uporabljamo v slovenščini.

Ključne besede: dežnikasta streha, dežnikasta konstrukcija, gobasta streha, gobasta konstrukcija

**Summary** | This paper gives a historical overview of roof structures supported by only one pillar. Architects and art historians use the terms mushroom and umbrella for such objects, while civil engineers use the terms mushroom structure, umbrella structure and hyperbolic paraboloid. A brief historical overview of the development of reinforced concrete roof structures supported by only one pillar is described. It starts with the first three mushroom slab constructions in the world built from 1906 to 1908. Then it continues with several roof structures, supported by only one pillar, which were built across different parts of the western world before 1960. Some of the architecturally most interesting structures supported by a single pillar and built after 1960 abroad are mentioned. Further on, structures designed by architects Marko Šlajmer, Milan Mihelič and Edvard Ravnikar and built in Ljubljana are described. The historical overview ends with the structures built after 1970. The results of the paper are presented in three tables in which the roof structures supported by one pillar are analyzed according to several criteria (author, time, location, roof parameters, pillar parameters, number of elements). The discussion compares the similarities and differences between the analyzed objects. In conclusion, the terms used in Slovene language for such structures are explained.

Key words: umbrella roof, umbrella structure, mushroom roof, mushroom structure

## 1 • UVOD

Strešnih konstrukcij, ki so podprte samo z enim stebrom, danes gradbeni inženirji ne načrtujejo in arhitektom se jih v celoti odsvetuje. A v šestdesetih letih dvajsetega stoletja ni bilo tako: v Sloveniji in v svetu so jih zgradili veliko, rasle so kot gobe po dežju. V članku je opisan zgodovinski pregled zgodnjega razvoja strešnih konstrukcij, podprtih z enim stebrom, in uporaba terminologije.

Strešno konstrukcijo, ki je podprta z enim samim stebrom, najdemo v literaturi pod

različnimi imeni, a žal izrazi niso natančno definirani. Vedno gre za streho, ki je podprta z enim samim stebrom, ta pa se razširi v temelj. Zaradi oblike, ki je podobna gobi oziroma dežniku, raziskovalci v angleščini uporabljajo termina »mushroom« oziroma »umbrella«.

Slovenska terminologija na tem področju ni določena. Med slovenskimi gradbenimi inženirji sta v uporabi izraza konzolna konstrukcija ali vutasta konstrukcija, saj gre za odebelitev konstrukcije na mestih (vuta), kjer se zaradi

točkovnosti podpore pojavljajo izrazite strižne napetosti, zaradi sistema konzole pa izraziti upogibni momenti. Največkrat sestavlja streho stožčasta plošča, ki je na vrhu stožca podprta s stebrom, ali pa gre za strehe, sestavljene iz več hiperboličnih paraboloidov, ki so prav tako podprte s stebrom. Med arhitekti in umetnostnimi zgodovinarji v Sloveniji sta uveljavljena izraza gobasta in dežnikasta konstrukcija (Bernik, 2004), pri čemer besedni zvezi nista natančno določeni in se nanašata predvsem na obliko objekta oziroma strehe (Slivnik, 2019), zato pri branju literature s tega področja večkrat pride do nejasnosti ali celo zamenjav.

## 2 • STREŠNE KONSTRUKCIJE, PODPRTE Z ENIM STEBROM

### 2.1 Začetki: gobasta plošča

Predhodnik strešne konstrukcije, ki je podprta le na sredini plošče, je vutasta oziroma gobasta plošča. Ker se pri velikih obtežbah na betonski plošči lahko pojavi problem preboja plošče, je plošča nad stebri odebeljena (ojačana) in jo poimenujemo gobasta plošča. Celoten konstrukcijski stik stebra in plošče je največkrat izdelan iz armiranega betona in je lahko uporabljen kot zanimiv arhitekturni detajl. Morda najbolj znan primer gobaste plošče v Ljubljani je stropna konstrukcija v dveh etažah garaže pod Trgom republike.

Prvi opisi, preizkusi in izvedbe gobastih plošč segajo v začetek dvajsetega stoletja. Skoraj sočasno so jih predstavili trije inovativni inženirji: Turner v Minneapolisu, Loleit v Moskvi in Maillart v Zürichu (Kierdorf, 2006). Ameriški inženir Claude A. P. Turner je patentiral »mushroom system construction« leta 1905 in zgradil prvo gobasto ploščo leta 1906. Ruski inženir Artur Ferdinandovič Loleit je leta 1907 zgradil eksperimentalno gobasto ploščo, v kateri je del betona, ki ni bil nad stebri, nadomestil s steklenimi strešniki, metodo pa predstavil šele na predavanju leta 1912. Švicarski inženir Robert Maillart je leta 1908 eksperimentalno zgradil strop brez nosilcev, ki je podprt s stebri z razširjenimi kapiteli, leto dni pozneje je sistem patentiral, ter leta 1910 s tem konstrukcijskim sistemom zgradil skladišče Giesshübel v Zürichu. Vsi trije inženirji so vsak na svoj inovativni način načrtovali in zgradili plošče brez nosilcev in podprto z gobasto razširjenimi stebri. Stebri so s ploščo združeni v enoten konstrukcijski element, v gobasto ploščo, ki imajo značilne konstrukcijske, gradbene ter arhitekturne lastnosti.

### 2.2 Idefonso Sánchez del Río Pisón, 1929: Paraguas de hormigón armado

Španski inženir, inovator in podjetnik Idefonso Sánchez del Río Pisón (1898–1980) je v poznih dvajsetih letih dvajsetega stoletja zgradil prvo strešno konstrukcijo v obliki dežnika iz armiranega betona. Zaradi funkcionalnosti konstrukcije, ki je bila podprta samo z enim stebrom, je kasneje zasnoval in zgradil več podobnih objektov v mnogih krajih v španski Kneževini Asturiji (Cassinello, 2011). Vsem je skupna streha v oblika stožca, ki je v točki vrha podprta z enim stebrom. Sánchez del Río je te armiranobetonske konstrukcije poimenoval »el paraguas«, kar v španščini pomeni »dežnik«, zato jih tudi v angleščino prevajajo iz »paraguas de hormigón armado« v »reinforced concrete umbrellas«, torej »armiranobetonski dežnik«.

Prvo strešno konstrukcijo obravnavanega tipa je Idefonso Sánchez del Río Pisón zgradil okoli leta 1929 v naselju Corredoria pri Oviedu (Villa García, 2005). Streha ima obliko stožca s premerom 8 metrov in je postavljena na 2,2 metra visok steber, zato po obliki spominja na dežnik. Zgradili so jo ob vodnjaku, ki so ga uporabljali za pranje perila. V istem letu ali morda leto kasneje je v Oviedu zasnoval podobno, a večjo strešno konstrukcijo s premerom 12 metrov in prav tako v obliki stožca (Sánchez del Río Pisón, 1931), ki danes daje ime trgu, na katerem stoji: Plaza del Paraguas. Oba dežnika sta sestavljena po istem načelu: temelj in steber, iz katerega se razširi več radialno postavljenih konzol (20 v Corredoriji oziroma 24 v Oviedu) in koncentričnih obročev (1 v Corredoriji oziroma 2 v Oviedu), na ka-

tere so lahko postavljene strešne plošče. Vsi elementi so narejeni iz armiranega betona, le strešne plošče so iz lahkega, 1 centimeter debelega vlaknastega cementa. Prav zaradi lahke strehe nekateri avtorji konstrukcije primerjajo s senčniki (Cassinello, 2011). Dežniki iz armiranega betona, ki jih je načrtoval Idefonso Sánchez del Río Pisón, so bili inovativno zasnovani in poceni, zato so jih zgradili tudi po drugih asturijskih krajih.

V mestu Cíaño je Idefonso Sánchez del Río Pisón leta 1935 zgradil prvo drugače zasnovano strešno konstrukcijo, narejeno samo iz armiranega betona (Cassinello, 2011). Streha je ovalna in skoraj ravna, izdelana iz desetih radialno postavljenih konzol različnih dolžin (od 3 do 7 metrov) in je ekscentrično postavljena na steber krožnega florisa, ki je ob stiku s streho najširši.

### 2.3 Franjo Dėdek, 1933: Nadstrešnica

Najverjetneje je bil slovenski gradbeni inženir Franjo Dėdek (1866–1939) tisti, ki je v Sloveniji zasnoval prvo armiranobetonsko strešno konstrukcijo, ki je bila podprta z le enim stebrom. Zgradilo jo je Gradbeno podjetje ing. Franja Dėdka v Ljubljani ob Celovski cesti, v bližini sedeža gradbenega podjetja in hkrati v bližini Dėdkovega doma leta 1933. Točni podatki o konstrukciji so zelo verjetno izgubljeni, prav tako ni znano, ali so konstrukcijo kako poimenovali.

Armiranobetonska konstrukcija je bila sestavljena iz strehe kvadratnega florisa, stebra in temelja (Slivnik, 2018). Vidni del konstrukcije je bil sestavljen iz osemkotnega stebra, v katerega je sidranih 8 konzol (štiri so segale od stebra do vogalov strehe, štiri pa od stebra do sredine stranic strehe) ter iz nosilcev, ki so bili postavljeni na konzole in so podpirali streho dimenzij 10 × 10 m in so bili vzporedni



s stranicami strehe. Streha je bila skoraj ravna, imela je le majhen naklon od stebra proti kapnim delom strehe, ter je bila prekrita s kosi pločevine.

Franjo Dėdek je bil očitno ponosen na dosežek, saj so risbo konstrukcije od leta 1933 uporabljali kot oglas za usluge Gradbenega podjetja ing. Franja Dėdka. Najprej je nadstrešnica služila kot poskusna konstrukcija, nato je postala nadstrešek za popravilo avtomobilov, nazadnje je služila kot nadstrešnica nad majhnim parkiriščem. Konstrukcija je bila v mnogih pogledih edinstvena, saj je več kot 85 let kljubovala času in prostoru. Porušena je bila konec leta 2019.

#### 2.4 Arne Jacobsen, 1936–1938:

##### Paddehatten

Danski arhitekt in oblikovalec Arne Jacobsen (1902–1971), predstavnik funkcionalizma, je svetovno slavo dosegel z oblikovanjem stolov. Na začetku kariere leta 1936 je načrtoval majhno bencinsko črpalko v pristaniškem mestu Skovshoved blizu Københavna na Danskem. Zgradba je sestavljena iz dveh objektov, ki ju povezuje enotna trodelna ravna streha. Nad delom s črpalko je streha ovalne oblike in dimenzij 6,4×9,6 metra, streha nad blagajniško hišico je pravokotna in meri 9,6×14,4 metra, povezuje ju 3,2×4,8 metra velika površina. Ovalna armiranobetonska streha je izredno tanka in ravna ter podprta s 4,5 metra visokim in v prerezu okroglim stebrom, ki se ob stiku vutasto oziroma gobasto razširi. Zaradi te oblike je zgradba dobila ime Paddehat, kar v danščini pomeni goba (Skovshoved, 2018).

Zgradba Paddehatten z izredno lepo zaobljeno streho nad kapjo in brez vidnih konzol je eden najzgodnejših primerov strehe, ki je podprta le z enim stebrom. Inovativno načrtovanje in uporaba armiranega betona sta omogočila drugačno izvedbo povezave stebra s streho od dotlej splošno uporabljenih. Prav zato je bencinska črpalka Arneja Jacobsena danes ovrednotena kot primer pomembne arhitekturne dediščine danskega funkcionalizma in hkrati tudi lepo obnovljena.

#### 2.5 Frank Lloyd Wright, 1936–1939:

##### Dendriform columns

Ameriški arhitekt Frank Lloyd Wright (1867–1959) je stebre, ki se kot krošnje dreves razširijo v stropno konstrukcijo, prvič uporabil pri zasnovi poslovne stavbe Capital Journal v mestu Salem v Oregonu leta 1932, a stavbe niso nikoli zgradili.

Podobno konstrukcijsko zasnovo stebrov je uporabil tudi v načrtu za poslovno stavbo

podjetja Johnson Wax v mestu Racine, Wisconsin, ki so jo zgradili med letoma 1936 in 1939. Zasnova stebrov v celotni stavbi je inovativna: arhitekt se je zgledoval po iz lesa izdelanih starodavnih minojskih stebrih, ki imajo najmanjši premer ob vzhodu in se z višino širijo. Zaradi posebne oblike je Wright takšen stebel poimenoval »dendriform column« ali »dendriforms« oziroma drevesu podoben stebel. V celotni poslovni stavbi podjetja Johnson Wax so trije različni tipi takšnih stebrov. Vsi so narejeni iz armiranega betona in se ne razlikujejo v osnovni ideji stebra. Najzanimivejši je tip stebra v klimatiziranem pisarniškem prostoru, kjer kar 54 visokih in vitkih stebrov okroglega tlorisa tvori gozd. Posamezni stebel meri v višino 8,5 metra in ima tik nad tlemi premer le 23 cm, a se gobasto razširi do 550 centimetrov na mestu, kjer podpira stekleno stropno ploščo (Hoppen, 1997). Posebnost stebrov je še, da so votli in imajo le 9 cm debelo steno, zato so jih med načrtovanjem arhitekti poimenovali »calyx«, kar v botaniki pomeni »cvetna čašica« (Lipman, 2003).

Zaradi pomembnega prispevka pri razvoju arhitekture je poslovna stavba podjetja Johnson Wax od leta 1976 vključena na seznam nacionalnih zgodovinskih znamenitosti Združenih držav Amerike, National Historic Landmark.

#### 2.6 Fernand Aimond, 1933 in pozneje: Paraboide hyperbolique

Francoski gradbeni inženir Fernand Aimond (1902–1984) je v tridesetih letih prejšnjega stoletja v Franciji načrtoval in zgradil več stavb z različnimi oblikami streh. Večinoma so te stavbe uporabljali za hangarje ali letališke delavnice. Njihove strehe so bile dvojno ukrivljene v obliki hiperboličnih paraboloidov. Zato so jih lahko naredili kot tanko lupino iz armiranega betona, kjer je potrebna le mrežna armatura, saj imajo tako oblikovane konstrukcije majhne notranje napetosti. Konstrukcije je Aimond zaradi oblike strehe poimenoval »paraboide hyperbolique« oziroma hiperbolični paraboloid, »hypar« ali preprosto samo HP. Mnoge od teh konstrukcij so bile sestavljene v vrsto streh, kjer je bila vsaka posamezna strešna konstrukcija podprta le z enim stebrom – te so poimenovali »parapluie« (Aimond, 1936) oziroma dežnik.

Prvo streho v obliki hiperboličnega paraboloida je Fernand Aimond načrtoval kot hangar za letala na letališču med mestoma Cuers in Pierrefe v francoski regiji Provansa-Alpe-Azur na obala v letih 1933–1936 (Espion, 2016). Aimond je uporabil 30 hiperboličnih parabo-

loidov v obliki sedla. Vsako izmed sedel je v tlorisu merilo 12×7 metrov in bilo debeline 3 centimetre ter bilo podprto z enim stebrom na sredini strehe.

Kasneje so po načrtih Fernanda Aimonda postavili še več strešnih konstrukcij, ki so podprte samo z enim stebrom (Espion, 2016). Za delavnice v Šoli za pomorske mehanike v Rochefortu je leta 1936 načrtoval 14 nagnjenih strešnih konstrukcij, kjer je vsaka posamezna sestavljena iz štirih hiperboličnih paraboloidov. Velikost posamezne konkavne strehe, ki je bila podprta z enim stebrom, je merila 14,6×13,7 metra, z debelino betona od 4 do 5 centimetrov. Med letoma 1934 in 1937 je načrtoval hangar med krajema Lanvéoc in Poulmic, med letoma 1937 in 1939 pa še dva hangarja pri kraju Châteaudun. Pri vseh treh je uporabil enako zasnovo: vsak hangar je bil narejen iz 8 dežnikov dimenzij 36×36 metrov debeline 5 centimetrov s skupno dolžino 171,5 in širino 88,5 metra.

Teoretično delo Fernanda Aimonda je bilo več let pozabljeno. Leta 1936 je Fernand Aimond objavil članek (Aimond, 1936), v katerem je natančno izračunal armiranobetonske lupine z obliko hiperboličnega paraboloida. To je bil prvi objavljeni izračun s skico konstrukcije, kjer je streha sestavljena iz več hiperboličnih paraboloidov, ki so konzolno podprti z enim stebrom. Šele v zadnjem času Aimonda raziskovalci zgodovine gradnje postavljajo na primerno mesto v zgodovini (Espion, 2016). Zaradi objavljenega teoretičnega dela na področju hiperboličnih paraboloidov ter gradnje teh konstrukcij po Franciji danes Fernanda Aimonda vedno bolj priznavamo za očeta tankih armiranobetonskih lupin, podprtih z enim stebrom.

#### 2.7 Giorgio Baroni, 1936 in pozneje: Ombrello

Italijanski gradbeni inženir Giorgio Baroni (1907–1968) je vzporedno s Fernandom Aimondom raziskoval in razvijal armiranobetonske lupine v obliki hiperboličnih paraboloidov. Raziskave (Baroni, 2019) kažejo, da je Baroni že leta 1934 raziskoval tanke lupine in leta 1936 patentiral lupinaste strešne konstrukcije v obliki hiperboličnih paraboloidov (Baroni, 1937). Načrtoval je skladišče v bližini mesta Tresigallo pri Ferrari v deželi Emilija-Romanja, Italija, ki so ga zgradili v letih 1939–1940. Konstrukcija je narejena iz armiranega betona in sestavljena iz 18 enakih enot. Vsaka enota ima temelj, 12 metrov visok stebel kvadratne oblike in streho, ki je v tlorisu

prav tako kvadratna. Posamezna streha ima stranico dolgo 10 metrov, njena debelina je samo 4 centimetre. Najvišja točka strehe je nad stebrom. Strehe v obliki dežnikov so med seboj povezane vzdolž vodoravnih robov in tako tvorijo neprekinjen sistem (Currà, 2018).

Giorgio Baroni je po drugi svetovni vojni nadaljeval proučevanje tankih armiranobetonskih lupin, patentiral konstrukcijo tipa dežnik z enim stebrom (Baroni, 1949) in sodeloval pri načrtovanju nadstreškov tržnic z različnimi arhitekti. Eden izmed rezultatov tega sodelovanja je osem nadstrešnih enot v mestu Caserta v italijanski pokrajini Kampanija, ki so jih zgradili leta 1947. Vsaka izmed streh je v florisu velika skoraj 16×16 metrov, debela le 3 centimetre in postavljena na 14 metrov visok steber (Currà, 2018).

### 2.8 Amancio Williams, 1939, 1948–1953, 1966: Bóveda Cáscara

Tudi argentinski arhitekt Amancio Williams (1913–1989) je delal preizkuse s tankimi armiranobetonskimi konstrukcijami. Tik pred drugo svetovno vojno, leta 1939, je začel projekt »Bóveda Cáscara«, Lupinasti obok, v katerem je preizkušal minimalno debelino armiranobetonske strešne konstrukcije v obliki dežnika in ga razvijal tudi po drugi svetovni vojni, v letih 1948–1953 (Rian, 2014).

Njegova zamisel o lupinasti armiranobetonski strehi temelji na dveh osnovnih idejah: da mora streha stati le na enem stebru in da mora biti takšna streha sposobna podpirati tudi izredne obremenitve (Hernandez, 2019). Rezultat je bila tanka armiranobetonska lupina oz. lupinasti obok: betonska konstrukcija z debelino strehe le 5 centimetrov in v obliki konkavnega kvadrata, torej so bile stranice strehe višje od osrednje točke, kjer se streha stika s stebrom. Steber je zato votel, da lahko skozenj teče deževnica. Williams je zapisal, da tanka lupinasta streha minimalne debeline ponuja le malo odpornosti proti vetru (Williams, 2019).

Svojih teoretičnih dognanj praktično skoraj ni preizkusil. Njegovega projekta za tri bol-

nišnice v mestu Curuzú-Cuatiá, v provinci Corrientes v Argentini, ki ga je načrtoval v letih 1948–1953, niso zgradili. Šele leta 1966 so za razstavo Exposición Rural v Buenos Airesu zgradili začasen paviljon Bunge y Born (Williams, 2019). Paviljon je bil narejen iz dveh diagonalno postavljenih lupinastih armiranobetonskih streh, ki sta imeli stranico 8 m, in je bila vsaka postavljena na 15 metrov visokem stebru okroglega florisu.

### 2.9 Felix Candela, 1953–1968: Hypar

V Španiji rojeni mehiški arhitekt Felix Candela je nadaljeval delo Fernanda Amonda, Giorgia Baronija in Amancia Williamsa. V petnajstih letih, med 1953. in 1968., je načrtoval, testiral in izdelal veliko streh v obliki hiperboličnih paraboloidov, ki so podprte samo z osrednjim stebrom. Prototip je bila konkavna streha, sestavljena iz štirih hiperboličnih površin z vsemi robovi v isti horizontalni ravnini, dimenzij 10×10 m in z lupino, ki je na najtanjšem mestu ob robu merila 4 cm. Felix Candela jo je poimenoval »hypar«, kot okrajšava za hiperbolični paraboloid oziroma zaradi poteka sil v konstrukciji »inverted umbrella« (Faber, 1963). V naslednjih letih so z različnimi tipi streh, ki pa so bile vse podprte le na sredini, prekrili več kot 280 000 m<sup>2</sup> industrijskih površin samo v Ciudadu de Mexico. V petnajstih letih je Felix Candela strehe iz hiperboličnih paraboloidov razvil do najmanjših inženirskih podrobnosti in se z njimi približal umetniški popolnosti.

### 2.10 Razmah po letu 1960 in zaton po letu 1970

V začetku šestdesetih let je sledil velik razmah gradnje armiranobetonskih strešnih konstrukcij, podprtih samo z enim stebrom. Takšne konstrukcije so bile zgrajene hitro in poceni, velikokrat tudi kot prefabricirani elementi. Mnogi arhitekti v zahodnem svetu so tudi javne stavbe načrtovali kot konstrukcije, podprte le z enim stebrom.

Rusko-izraelski arhitekt Alfred (Al) Mansfeld (1912–2004) in avstrijsko-izraelski inženir Eliyahu Traum (1924) sta skupaj načrtovala

Izraelski muzej v Jeruzalemu (1959–1960). Madžarsko-ameriški arhitekt in oblikovalec Marcel Breuer je izdelal načrte za knjižnico Hunter College (1960) v New Yorku (danes umetniška galerija kolidža Lehman). Ameriški arhitekt Louis Kahn je projektiral tovarno Olivetti-Underwood v Harrisburgu, Pensilvanija (1966–1970), ki je sestavljena iz 72 enot. Angleški arhitekt J. Seymour Harris je načrtoval Queensgate Market Hall (1968–1970) v Huddersfieldu, Združeno kraljestvo.

Razvoju armiranobetonskih strešnih konstrukcij, podprtih z enim stebrom, je sledil razvoj podobnih jeklenih strešnih konstrukcij. V svetu je najbolj znana konstrukcija, ki jo je v Torinu načrtoval italijanski inženir in arhitekt Pier Luigi Nervi, Palazzo del Lavoro (1961).

Ene izmed zadnjih armiranobetonskih strešnih konstrukcij, ki so podprte z enim stebrom, so zgradili po načrtih Idefonsa Sánchesa del Ria Pisóna v letih 1971–1972 v asturijskem mestu Pola de Siero (Cassinello, 2011). A do danes so tri izmed štirih hiperboličnih paraboloidov že porušili. Idefonso Sánchez del Rio Pisón je tako hkrati začetnik in eden izmed zadnjih snovalcev strešnih konstrukcij, podprtih z enim stebrom. Njegovi dežniki so od konca dvajsetih let dvajsetega stoletja postali ena od značilnih konstrukcij v mnogih asturijskih mestih: v Oviedu, Olloniegu, Corredorii, Lugonesu, Cíañu in Pola de Sieru.

Po letu 1970 se je ta razmah ustavil, saj so ugotovili, da so strešne konstrukcije, podprte z enim stebrom, potresno izredno problematične. Ker so torzijsko podajne konstrukcije, je zanje izjemno težko zagotoviti ustrezno potresno varnost in primeren potresni odziv, saj velika masa v zgornjem delu konstrukcije neugodno vpliva na potresno varnost. Problematična je preveritev izračuna tlačne nosilnosti podpornega stebra, še posebej ob upoštevanju najneugodnejše kombinacije osne sile in upogibnega momenta, ter tudi vpetje stebra v temelje. Tudi nesimetrična obtežba, ki povzroči večje upogibne momente v stebru, je neugodna.

konstrukcije, podprte z enim stebrom, nehali graditi.

### 3.1 Marko Šlajmer, 1960: Paviljon Jurček

Arhitekt Marko Šlajmer in gradbeni inženir Ivo Vodopivec sta na Gospodarskem razstavišču v Ljubljani leta 1960 načrtovala paviljon, ki so ga zaradi oblike poimenovali Jurček (Šlajmer, 1960). To je bila prva strešna konstrukcija, podprta z enim

## 3 • LJUBLJANSKE STREŠNE KONSTRUKCIJE, PODPRTE Z ENIM STEBROM

Med letoma 1960 in 1970 so strešne konstrukcije, podprte samo z enim stebrom, gradili po vsem svetu in hkrati tudi v Sloveniji (Slivnik, 2009). V Ljubljani so v šestdesetih letih zgradili več različnih tipov strešnih konstrukcij, podprtih z enim stebrom. Na

skupno sedmih lokacijah so zgradili več kot 100 takšnih streh. Vsaj štirje tipi so konstrukcijsko inovativni in arhitekturno zanimivi ter zato vredni ohranitve za naslednje rodove. Kasneje so postali predpisi o potresno odporni gradnji zahtevnejši, zato so strešne

stebrom v Sloveniji, ki je imela tudi fasado. Zgradili so jo le v petih mesecih. Ima enotno armiranobetonsko konstrukcijo s temeljem, 6 metrov visokim stebrom in streho krožnega florisa s premerom 27 metrov. Fasada je bila narejena kot viseča fasada iz prefabriciranih elementov iz stekla v aluminijastih profilih (Ravnikar, 2000), danes je že prenovljena. Lahka in nenosilna viseča fasada paviljona Jurček je bila pomembna novost v slovenski arhitekturi.

### 3.2 Milan Mihelič, 1965–1967: Hala C

Na Gospodarskem razstavišču sta arhitekt Milan Mihelič in gradbeni konstruktor Jože Jaklič v letih 1965–1967 zasnovala Halo C, ki bi morala biti sestavljena iz 26 enakih enot, a so zgradili le dvorano iz 4 enot. Ena izmed idej prilagodljive konstrukcije je bila prav organska širitev v skladu s programskimi in funkcionalnimi zahtevami razstavišča (Bernik, 1980). Posamezna enota je sestavljena iz temelja, 6 m visokega stebra in osemkotne strehe s premerom 22 metrov.

### 3.3 Milan Mihelič, 1967–1968: bencinska črpalka Petrol na Tivolski cesti

Milan Mihelič in Jože Jaklič sta med letoma 1967 in 1968 na Tivolski cesti v Ljub-

ljani oblikovala bencinsko črpalko Petrol. Armiranobetonsko konstrukcijo nadstrešnice sestavljajo temelj, 7 metrov visok steber, ki se razširi v konzole, in kvadratna streha dimenzij 19,2×19,2 metra. Konzole, ki podpirajo streho, so izredno inovativne oblike in mejijo na kiparsko oblikovanje (NN, 1970). Danes je nadstrešnica zapuščena in skoraj skrita med številnimi novjšimi zgradbami.

### 3.4 Edvard Ravnikar, 1968–1969: bencinska črpalka Petrol na Tivolski cesti

Tudi eden najpomembnejših slovenskih arhitektov druge polovice dvajsetega stoletja Edvard Ravnikar je skupaj s strojnim inženirjem Ervinom Prelogom v letih 1968–1969 zasnoval bencinsko črpalko. Zgradili so jo nasproti predhodno opisane Miheličeve in je sestavljena iz treh identičnih armiranobetonskih enot. Vsaka enota ima v florisu 3×3 metre velik temelj višine 70 centimetrov in 3 metre visok steber osemkotnega florisa, ki se gobasto razširi in kvadratno streho s stranico 19 metrov (NN, 1970).

### 3.5 Še trije tipi strešnih konstrukcij, podprtih le z enim stebrom

Okoli leta 1970 so v Ljubljani zgradili še nekaj nadstrešnic, ki jih podpira le en steber.

Šest enakih elementov so postavili ob Celovški ulici, le 50 metrov od zgoraj opisane Dėdkove, in imajo 5 metrov visoke osemkotne stebre, na katere so vpete konzole, ki gredo do vogalov kvadratne strehe s stranico 10 metrov.

Šest nadstreškov bencinske črpalke na Duncjski cesti ima armiranobetonsko konstrukcijo: vsak izmed stebrov je šestkoten in visok 5 metrov, šestkotno streho s premerom 8,6 metra (in stranico 4,3 metra) podpira šest konzol, ki gredo od stebra do vogalov strehe. Enako konstrukcijo štirih nadstreškov bencinske črpalke so postavili vsaj še v Mariboru.

Tudi nadstrešnice na glavni železniški postaji v Ljubljani so zgrajene kot posamezne strehe, podprte z enim stebrom: skupaj je 84 armiranobetonskih strešnih konstrukcij, ki pokrivajo več kot 7400 m<sup>2</sup>. Nadstreški so postavljeni v treh vrstah, vsaka je daljša od 260 metrov in sestavljena iz 28 streh, od katerih vsaka stoji na 3,5 metra visokem steburu in je zasnovana kot hiperbolični paraboloid s stranico 9,4×9,4 metra.

## 4 • STREŠNE KONSTRUKCIJE, PODPRTE Z ENIM STEBROM, PO LETU 1970

V Sloveniji so po potresu v Furlaniji in na Bovškem leta 1976 predpise za potresno odporno gradnjo iz leta 1963 analizirali in začeli pripravljati nove. Danes vemo, da so strešne konstrukcije, podprte z enim stebrom, potresno izredno problematične. Sodijo namreč v skupino konstrukcij tipa obrnjeno nihalo oziroma med konzolne konstrukcije, ki so torzijsko podajne konstrukcije. Za takšne konstrukcije je izjemno težko zagotoviti ustrezno potresno varnost in primeren potresni odziv, saj velika masa v zgornjem delu konstrukcije neugodno vpliva na potresno varnost. Evrokodovi predpisi posebej poudarjajo tudi izogibanje konstrukcijam, kjer je potresna odpornost odvisna le od enega samega elementa. In v primeru strešne konstrukcije, ki je podprta samo z enim stebrom, je to podporni steber. Pri strešnih konstrukcijah, podprtih le z enim stebrom, je problematična preveritev izračuna tlačne nosilnosti podpornega stebra, še posebej ob upoštevanju najneugodnejše kombinacije osne sile in upogibnega momenta, ter tudi vpetje stebra v temelje (Slak, 2005). Neugodna je tudi nesimetrična obtežba, ki povzroči večje upogibne momente v steburu. Že

nekateri snovalci prvih realizacij so opozorili na nevarnost prevrnitve ob vodoravni obtežbi.

### 4.1 Strešne konstrukcije, podprte z enim stebrom, iz novih gradiv

Po letu 1970 strešne konstrukcije, ki so podprte z osrednjim stebrom, postanejo konstrukcijsko neprimerne, a ideja nikoli povsem ne utone v pozabo. Arhitekti skupaj z gradbenimi inženirji zasnujejo strešne konstrukcije iz novih gradiv in s stabilnejšo konstrukcijsko zasnovo.

Zelo zanimiv je opus nemškega arhitekta in konstruktorja Freia Otta (1925–2015). Strešne konstrukcije obravnavanega tipa je raziskoval že v petdesetih letih dvajsetega stoletja. Prve tri strešne konstrukcije, vsako izmed njih podprto s stebrom, je načrtoval za Zvezno vrtnarsko razstavo v Kasslu že leta 1955 in jih poimenoval Drei Pilze, tri gobe. V šestdesetih letih je raziskoval konstrukcije v obliki dežnikov in rezultat, pet dežnikov z jekleno konstrukcijo in med njo napeto membrano, predstavljal na Zvezni vrtnarski razstavi v Kölnu leta 1971. Zasnoval je tudi zanimive premične strehe v obliki dežnikov za turnejo glasbene skupine Pink Floyd leta 1977.

Urugvajski inženir in arhitekt Eladio Dieste je leta 1976 zasnoval bencinsko črpalko s streho v obliki razprtih ptičjih kril v urugvajskem mestu Salto. Streha je zasnovana kot tanka lupina, a narejena iz opek.

Med pomembnejšimi stavbami, ki so vredne omembe, je tudi letališki terminal v Stuttgartu (1991), delo skupine arhitektov Von Gerkan, Marg+Partner. Posamezna konstrukcija je sestavljena iz štirih jeklenih stebrov, združenih v enega, in ki se kot veje drevesa razširijo nato v konstrukcijo strehe.

V zadnjih dvajsetih letih so v biroju Norman Foster+Partners načrtovali več kot 200 bencinskih črpalok družbe Repsol. Prefabricirane in z enim stebrom podprte strehe so postavili po celotnem ozemlju Španije.

Na prelomu stoletja so arhitekti preizkušali različne materiale: Santiago Calatrava uporabi jeklo za strešno konstrukcijo postaje Oriente v Lizboni (1998) in z njo imitira gozd, Thomas Herzog lepljeni les za streho in jeklo za steber pri EXPO strehi v Hannoveru (2000), Shigeru Ban kot osnovno gradivo za Paviljon Vasarely v Aix-en-Provence (2006) uporabi karton, Zaha Hadid uporabi jeklo skupaj s tkanino za začasni Lilas Pavilion, Serpentine Gallery (2007) v Londonu. Nemški arhitekt in nekdanji študent Frei Otta, Mahmoud Bodo Rasch, idejo premičnih streh svojega mentorja nadgrajuje in izpopolnjuje.



Zasnjuje več strešnih konstrukcij, ki se po potrebi odprejo ali zaprejo kot dežniki: na ploščadi pred mošejo Al Hussein v Kairu v Egiptu (2000), kjer je velikost posameznega

odprtega dežnika 16×16 m, pred hotelom d'Angleterre v Lausanni, Švica (2002), kraljevi terminal v Džidahu, Savdska Arabija (2008), z dežniki velikosti 29×29 m in pred Prerokovo



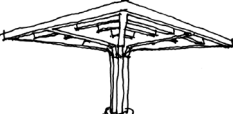
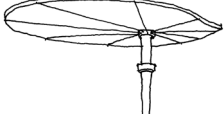


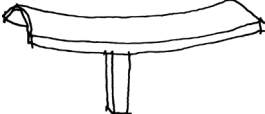
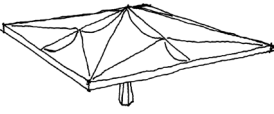

mošejo v Medini, Savdska Arabija (2011), kjer zgradijo 250 takšnih dežnikov v velikosti 26×26 m. Strehe teh dežnikov so iz različnih tkanin, stebri so največkrat jekleni.



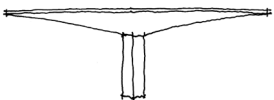
## 5 • REZULTATI

Ob zanimanju za konzolne konstrukcije se je odprlo vprašanje, kako so se posamezne strešne konstrukcije, ki so podprte z enim stebrom, razvijale in kdo so bili njihovi snovalci. Nekateri v preglednicah komentirani parametri (oblika konstrukcije,

raster postavitve, fasada) se nanašajo predvsem na arhitekturni vidik, dimenzije posameznih elementov zanimajo gradbene inženirje, poimenovanje posameznih konstrukcij bi moralo zanimati umetnostne zgodovinarje.

Preglednica 1 je razširjen in poglobljen prikaz dvanajstih objektov, ki so opisani v besedilu. Gre za najstarejše strešne konstrukcije, ki so podprte z enim stebrom. Pri vsakem objektu so zapisani avtor in lokacija postavitve konstrukcije, leto načrtovanja, skica objekta, oblika strehe z dimenzijami razpona in debelino strešne konstrukcije, oblika stebra z višino ter število enakih

Avtor Lokacija	Leto načrtovanja	Skica	Oblika strehe	Dimenzije strehe	Debelina strehe	Oblika stebra	Višina stebra	Število elementov in raster
Idefonso Sánchez del Río Pisón: Corredoria	1929		20-kotnik stožec	$r = 4 \text{ m}$	plošče 1 cm	šestkotnik	$h=2,2\text{m}$	1 /
Idefonso Sánchez del Río Pisón: Oviedo	1930		24-kotnik stožec	$r = 6 \text{ m}$	plošče 1 cm	krog	$h=3,5\text{m}$	1 /
Franjo Dėdek: Ljubljana	1933		kvadrat piramida	10×10 m	?	osemkotnik	$h=6 \text{ m}$	1 /
Idefonso Sánchez del Río Pisón: Ciaño	1935		10-kotnik ravna	$r_1=3 \text{ m}$ $r_2=7 \text{ m}$	?	krog, se širi z višino	$h=4\text{m}$	1 /
Arne Jacobsen: Skovshoved	1936		oval nagnjena	$r_1=9,6 \text{ m}$ $r_2=6,4 \text{ m}$	?	krog	$h=5 \text{ m}$	1 /
Frank Lloyd Wright: Racine	1936		krog ravna	$r=5,5$	?	vozel krog, se širi z višino	$h=8,5\text{m}$	54 6×10
Fernand Aimond: Cuers/Pierrefeu	1933		pravokotnik sedlo	12×7 m	3 cm	kvadrat	?	30 6×5
Fernand Aimond: Lanvéoc/Poulmic in 2× Châteaudon	1934		16 hiperboličnih paraboloidov	36×36 m	5 cm	?	?	8 4×2
Fernand Aimond: Rochefort	1936		pravokotnik obrnjena piramida	14,6× 13,7 m	4-5 cm	kvadrat, se oži z višino	?	56 ?

Giorgio Baroni: Tresigallo	1939		kvadrat piramida	10×10 m	4 cm	kvadrat, se vutasto razširi	h=12 m	18 3×6
Amancio Williams	1939		kvadrat obrnjena piramida	?	5 cm	votel krog	?	1
Felix Candela: Mexiko City	1953		4 hiperbolični paraboloidi	10×10 m	4 cm	kvadrat		1

Preglednica 1 • Parametri dvanajstih strešnih konstrukcij, ki so podprte z enim stebrom.



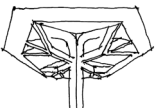

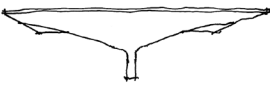
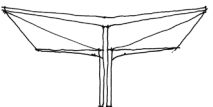


elementov, ki sestavljajo konstrukcijo, in njihova razporeditev v mrežo (raster).

V preglednici 2 je kronološko nanizanih osem konstrukcij iz Ljubljane. Podane so osnovne informacije o objektu (avtor, ime

konstrukcije, čas gradnje in lokacija) ter skica tega objekta z zbranimi podatki o razponu strešne konstrukcije in višini podpornega stebra, opisani so oblika strehe, število enakih enot in njihova razporeditev.

V zadnjem stolpcu so zbrana poimenovanja strešne konstrukcije v slovenski strokovni literaturi.

V preglednici 3 je zbranih vseh osem avtorjev, ki so bili pionirji načrtovanja strešnih

Avtor Ime konstrukcije Čas gradnje	Lokacija	skica	širina×dolžina×višina oblika strehe število	poimenovanje konstrukcije v literaturi
Franjo Dėdek: nadstrešek 1933	Celovška cesta 38, Ljubljana		10×10×6 kvadrat 1	ni opisa
Marko Šlajmer: Paviljon Jurček 1960	Dunajska cesta 18, Ljubljana		r=13,5; h=6 krog 1	gobasta konstrukcija
Milan Mihelič: Hala C 1965-67	Dunajska cesta 18, Ljubljana		22×22×6 osemkočnik 4 v liniji	dežnikasta konstrukcija; gobasta streha
Milan Mihelič: bencinska črpalka 1967-68	Tivolska cesta 46, Ljubljana		19,2×19,2×7,1 kvadrat 1	gobasta konstrukcija
Edvard Ravnikar: bencinska črpalka 1968-69	Tivolska cesta 43, Ljubljana		19×19×5,8 kvadrat 3 v liniji	gobasta konstrukcija
nadstrešek 1969-70	Celovška cesta 42b, Ljubljana		10×10×5 kvadrat 6 v liniji	ni opisa
bencinska črpalka okoli 1970	Dunajska cesta 70, Ljubljana		4,3×4,3×5 šestkočnik 6 v 2 linijah	ni opisa
nadstreški na železniški postaji okoli 1970	Trg OF 9, Ljubljana		9,4×9,4×3,5 kvadrat 84 v 3 ločenih linijah	ni opisa


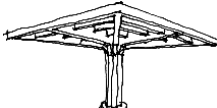




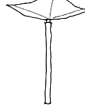

Preglednica 2 • Kronološki razvoj opisanih strešnih konstrukcij, podprtih z enim stebrom in zgrajenih v Ljubljani.

konstrukcij, podprtih le z enim stebrom. Podane so osnovne informacije o objektu: avtor, ime objekta, čas nastanka, lokacija in skica konstrukcije. V zadnjem stolpcu je zapisano prvotno poimenovanje oblike

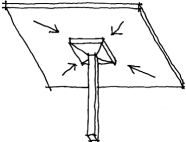
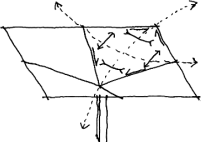
konstrukcije v originalnem jeziku in njegov prevod v slovenščino.

Preglednica 4 prikazuje dva načina transformacije obtežb preko strešne konstrukcije v steber. V prvem stolpcu so zbrana različna

poimenovanja konstrukcije v slovenščini, sledijo skica konstrukcije, konstrukcijski sistem in delovanje sil v konstrukciji.

Avtor Ime Čas nastanka	Lokacija	Skica	Prvotno poimenovanje oblike/ prevod
Ildefonso Sánchez del Río Pisón: El paraguas 1929-35	več lokacij, Asturija, Španija		el paraguas/dežnik
Franjo Dždek: nadstrešek 1933	Celovška cesta, Ljubljana, Slovenija		nadstrešnica
Arne Jacobsen: Paddehatten 1936	Skovshoved Havn, Charlottenlund, Danska		paddehatten/goba
Frank Lloyd Wright: Johnson Wax Building 1936-39	Howe St., Racine, Wisconsin, ZDA		dendriform column/drevesu podoben steber, calyx, lily-pad/cvetna čašica
Fernand Aimond: letališki hangarji 1933-39	več lokacij, Francija		parapluie/dežnik, paraboloid hyperbolique/hiperbolični paraboloid
Giorgio Baroni: skladišče 1939-40	Via del mare, Tresigallo, Italija		ombrello/dežnik
Amancio Williams: preizkusi 1939 in kasneje	Argentina		bóveda cáscara/ armiranobetonska lupina
Felix Candela: prototip in skladišča 1953-68	več lokacij, Mehika		HP/hypar/ hiperbolični paraboloid, paraguas invertidos/ obrnjen dežnik

Preglednica 3 • Kronološki razvoj poimenovanja strešnih konstrukcij, podprtih z enim stebrom.

Ime	Skica	Konstrukcijski sistem	Delovanje sil v konstrukciji
goba, gobasta konstrukcija, vuta, vutasta konstrukcija		plošča-brana, dvosmerni raznos	strig in zvoj pravokotno na ploščo, upogib in strig vzdolžno na ploščo
dežnik, dežnikasta konstrukcija, hiperbolični paraboloid		membrana-lupina, napetosti se razvijejo v membran- ski ploskvi	natężne in strižne napetosti delu- jejo na membranski ploskvi

Preglednica 4 • Transformacija obtežb preko strešne konstrukcije v steber.



## 6 • DISKUSIJA

Izpostavljeni parametri (oblika in dimenzije strehe, debelina strehe, višina stebra in njegova florisna oblika, število posameznih elementov, ki so združeni v enoten objekt, in raster postavitve objekta) se nanašajo tako na gradbenoinženirski kot tudi arhitekturnooblikovni in umetnostnozgodovinski vidik. Diskusija je namenjena boljšemu poznavanju in razumevanju zgodovine konstrukcij ter v premislek o uporabi oblik in dimenzij v novih materialih ali drugačnih tehnikah gradnje. Danes je projektiranje strešnih konstrukcij, podprtih le z enim stebrom, v splošnem prepovedano na potresnih področjih, kamor sodi tudi celotna Slovenija.

Vemo, da so strešne konstrukcije, podprte le z enim stebrom, izredno problematične pri vodoravnih obtežbah. Na to je prvi opozoril eden izmed prvih snovalcev takšnih konstrukcij, Amancio Williams (Williams, 2019).

V prispevku opisane strešne konstrukcije, ki so podprte le z enim stebrom, so večinoma zgrajene iz armiranega betona. Pred drugo svetovno vojno je bil armirani beton razmeroma novo gradivo, v katerem so gradbeni inženirji in arhitekti preizkušali nove konstrukcijske možnosti in nove oblikovne forme. Z uporabo armiranega betona je bilo možno povezati streho in nosilni stebel preko razširitve z vuto. Odločitev o uporabi konstrukcije z enim stebrom je bila racionalna, saj gre največkrat za bencinske črpalke, pisarniške prostore, letališke hangarje, industrijske hale in podobno, torej za objekte, ki zahtevajo kar največ odprtega prostora. Šele po letu 1960 so začeli uporabljati tudi druga gradiva, najprej jeklo. Nato so zgradili tudi strehe z enim stebrom, pri katerih so uporabili različne tkanine, lepljen les in papir oziroma karton.

Prve strešne konstrukcije, ki so podprte z enim stebrom, so bile povsem unikatne – to so nadstreški v Asturiji in v Ljubljani ter bencinska črpalka na Danskem. Veliko število enakih elementov so uporabili pri gradnji pisarniških prostorov Johnson Wax v Združenih državah Amerike, letaliških hangarjev v Franciji in tovarniških skladišč v Italiji. Ugotovili so, da je s ponovno uporabo opažev mogoče izdelati več enakih elementov armiranobetonske strešne konstrukcije, in gradnja je postala bolj ekonomična. Čeprav so stavbe sestavili iz več enakih strešnih konstrukcij, podprtih z enim stebrom, je bila vsaka izmed teh konstrukcij

ločena od sosednjih in tako deluje kot samostojna konstrukcija.

Zanimivo je, kdo je strešne konstrukcije, ki so podprte z enim stebrom, načrtoval. Ildefonso Sánchez del Río Pisón, Fernand Aimond in Giorgio Baroni so bili gradbeni inženirji, Arne Jacobsen, Frank Lloyd Wright, Amancio Williams in Félix Candela arhitekti. Kdo je načrtoval nadstrešnico v Ljubljani, ni natančno znano: morda je bil to gradbeni inženir Franjo Dždek, a morda tudi kdo drug – gradbeni inženir ali arhitekt. Gradbeni inženirji so zgradili večje število enakih strešnih konstrukcij, ki so podprte le z enim stebrom: Ildefonso Sánchez del Río Pisón je variral premer dežnikov, ki jih je gradil po Asturiji; Fernand Aimond je načrtoval vsaj štiri različne tipe z enim stebrom podprtih hiperboličnih paraboloidov; Giorgio Baroni je konstrukcijo zgradil in patentiral, a je bilo njegovo delo zaradi začetka druge svetovne vojne prekinjeno ter ga je lahko nadaljeval šele leta 1949. Vsak izmed arhitektov je strešne konstrukcije, ki so podprte le z enim stebrom, uporabil le enkrat: Arne Jacobsen kot nadstrešek nad bencinsko črpalko, Frank Lloyd Wright je drevesom podobne stebre zasnoval za poslovno stavbo v Salemu in nato idejo realiziral v Racinu, Amancio Williams je na realizacijo svojih preizkušancev čakal četrto stoletje. Félix Candela je arhitekt z veliko inženirskega znanja, ki je proučil dela predhodnikov, jih nadgradil s prototipi in testiranjem.

V začetku so strešne konstrukcije, ki so podprte z enim stebrom, gradili brez fasade, torej so bile povsem odprte in so služile le za zavetje pred padavinami: perice in prodajalke mleka v Asturiji so bile varne pred pogostim dežjem, prav tako kot vozniki, ki jih je varovala nadstrešnica na bencinski črpalci Skovshoved. Če je stavba sestavljena iz več strešnih konstrukcij, je vsaka izmed teh konstrukcij ločena od sosednjih in tako deluje kot samostojna konstrukcija.

S sestavljanjem posameznih strešnih konstrukcij, ki so podprte le z enim stebrom, v večje celote so načrtovali tudi fasadni ovoj, ki je omogočil uporabo objektov za pisarne, letališke hangarje, delavnice in tovarniška skladišča. V teh primerih so zidovi konstrukcijsko ločeni od strešne konstrukcije. Le dve izmed osmih strešnih konstrukcij, zgrajenih v Ljubljani, imata fasado. V vseh primerih mora biti fasada izdelana kot nenosilna fasada.

Fasada Paviljona Jurček na Gospodarskem razstavišču je sestavljena iz lahkih elementov (stekla in aluminija), ki so pritrjeni na strešno konstrukcijo; prav tako so tudi senčni elementi Hale C obešeni na konstrukcijo strehe.

Oblike strešne konstrukcije, ki so podprte le z enim stebrom, so povsem različne. V florisu so ovalne, okrogle, mnogokotne, pravokotne ali kvadratne. Tretja dimenzija je izbočena ali vbočena, zato so strehe konkavne ali konveksne oblike, lahko pa so tudi ravne ali samo nagnjene na eno kap. Nagnjena na eno kap je Jacobsenova nadstrešnica. Fernand Aimond je za delavnice v Šoli za pomorske mehanike v Rochefortu uporabil streho, ki ima robove oziroma kapi strehe višje od sredine strehe oziroma priključka s stebrom, torej je konkavne oblike.

Mnogi izmed obravnavanih objektov, ki imajo robove strehe višje od osrednjega stebra, imajo znotraj vsakega stebra cev za odvodnjavanje. Streha, ki jo je preizkušal Amancio Williams, je konkavne oblike. V Ljubljani je prva takšna stavba Paviljon Jurček, ki ga je načrtoval arhitekt Marko Šlajmer.

Obravnavane strešne konstrukcije, ki so podprte le z enim stebrom, so stožčaste in piramidaste oblike, oblike hiperboličnih paraboloidov ali streh, sestavljenih iz več različnih oblik hiperboličnih paraboloidov. Te strehe, torej sestavljene iz več različno velikih in različno oblikovanih hiperboličnih paraboloidov, je uporabil Fernand Aimond v hangarjih na letališču med naseljema Lanvéoc in Poulmic ter v dveh pri letališču ob mestu Châteaudon.

Prve strešne konstrukcije, ki so jih zgradili v Asturiji, so bile krite s strešnimi ploščami iz lahkega vlaknastega cementa debeline 1 centimeter. Vse naslednje konstrukcije so bile narejene iz armiranega betona. Debeline strešne konstrukcije so se zmanjševale, najtanjša lupina je debela le 3 centimetre in ima obliko sedla ter meri 12×7 metrov.

Strešna konstrukcija, ki je nad podpornim stebrom, je lahko dveh osnovnih oblik. Prva možnost je, da so v stebel vpete vidne konzole, ki nosijo konstrukcijo strehe. Druga možnost je, da te konzole niso vidne oziroma je konstrukcija projektirana tako, da konzol ni.

Prav tako kot strehe se po florisni obliki razlikujejo tudi stebri. Raziskani stebri so v florisu okrogli, osemkotni, šestkotni ali kvadratni. Stebri, ki sta jih načrtovala Frank Lloyd Wright v Wisconsinu in preizkušanci Amancia Williamsa, so v prerezu votli. Po višini so stebri lahko enakomerni, torej je prerez po celotni

višini enak, lahko se steber z oddaljenostjo od temelja oži ali širi. Primer širitve stebra z oddaljenostjo od temelja, torej steber, ki se zgleduje po minojkih stebrih, so uporabili Ildefonso Sánchez del Río Pisón v Cíañu, Frank Lloyd Wright v Racinu in Fernand Aimond v delavnica v Rochefortu. A največkrat se steber šele tik pod vrhom, ob stiku s strešno konstrukcijo, vutasto (oziroma gobasto) razširi.

Takšne konstrukcije je mogoče izdelati iz montažnih elementov, lahko pa so povsem unikatne. Ponovitev večjega števila enakih elementov omogoča prefabrikacijo, zato je gradnja bolj ekonomična. Veliko število enakih elementov so uporabili pri gradnji zgradbe Johnson Wax, letaliških hangarjev, industrijskih hal v Mehiki, pri Miheličevem Paviljonu C in tudi pri nadstrešnicah ljubljanske železniške postaje. A po drugi strani je kar nekaj stavb povsem unikatnih, med njimi tudi najstarejša nadstrešnica v Ljubljani, Jacobsenova bencinska črpalka in Štajmerjev Paviljon Jurček. Miheličevo opuščeno bencinsko črpalko lahko celo štejejo za unikatni kiparski izdelek!

Poimenovanje strešnih konstrukcij, podprtih z enim stebrom, v literaturi in dokumentih, najdenih na svetovnem spletu, ni jasno določeno. Ob nastanku konstrukcije je vsak izmed snovalcev konstrukcijo poimenoval po obliki iz že poznane sveta, ki ga je spominjala na predmete ali rastline: dežnik, goba, drevesu podoben steber, cvetna čašica, lupina. V angleščini se pojavljajo oblike streh pod različnimi imeni (dendriform, calyx, lily-pad, mushroom, hyperbolic paraboloid, hypar, HP, umbrella), zato arhitekti, umetnostni

zgodovinarji in laiki pogosto te konstrukcije opisujejo z neustreznimi in tudi nepravilnimi izrazi. Tudi uporabniki so konstrukcijo poimenovali po že znanih oblikah: dežnik ali goba. Raziskovalci se večkrat znajdemo v težavah, ko ob opisih ene konstrukcije naletimo na več različnih poimenovanj. Primer objekta, kjer je poimenovanje največkrat nedorečeno, je Palazzo del Lavoro v Torinu, ki je v literaturi obravnavan kot dežnik ali kot goba ali pa so se različni avtorji podrobnejšemu imenovanju celo rajši izognili; morda je do nedefiniranosti prišlo prav zaradi uporabe materiala, saj je Nervi zasnoval streho, ki je podprta z jeklenimi radialnimi konzolami in je tako prva pomembnejša strešna konstrukcija (podprta le z enim stebrom), ki ni bila narejena samo iz armiranega betona.

Tudi v slovenski strokovni literaturi izrazi niso enoznačni. Slovenski umetnostni zgodovinarji in arhitekti uporabljamo besedni zvezi gobasta konstrukcija in dežnikasta konstrukcija, a razlikovanje med obema je večkrat nejasno in zgodilo se je, da je isti avtor za streho istega objekta v eni knjigi uporabil dva izraza: gobasta streha ((Bernik, 2004), str. 360) in dežnikasta konstrukcija ((Bernik, 2004), str. 318). V slovenščini govorimo o strešni konstrukciji, ki je podprta samo z enim stebrom in ima ali obliko gobe ali dežnika. In kakšna je razlika med obliko gobe in dežnika? Goba kot gozdni sadež je nadzemni del glive, sestavljena je iz beta in klobuka. Dežnik je primer prednapete membrane z vsiljenimi napetostmi ((Salvadori, 1979), str. 110) in je sestavljen iz ročaja, naper in membrane. Razlika med obe-

ma je v tem, da dežnik ima napere, medtem ko jih goba nima.

Gradbeni inženirji obeh besednih zvez, gobasta konstrukcija in dežnikasta konstrukcija, ne uporabljajo. Bolj sta jim domača izraza konzolna konstrukcija ali vutasta konstrukcija. V slovenskem prevodu knjige Konstrukcije v arhitekturi (Salvadori, 1979) je dežnikasta streha definirana kot streha, sestavljena iz štirih (običajno enakih) hiperboličnih paraboloidov, kjer so »zunanje robne grede nategnjene z rezultanto strižnih napetosti in nateg se v vsaki izmed njih uravnovesi z nategom iz sosednjega odseka. Streha je notranje uravnovešena in robne grede so natezne vezi.« Lupina deloma nosi »tudi težo zunanjih, vodoravnih robnih gred, zato je lupina deloma tudi upogibno obremenjena.« ((Salvadori, 1979), str. 133)

Razlika med streho v obliki dežnika in dežnikasto streho je očitna: streha v obliki dežnika bi bila sestavljena iz stebra, (radialnih) nosilcev in strešne ploskve (podobno kot dežnik); dežnikasta streha pa je streha, ki je sestavljena iz hiperboličnih paraboloidov, njeni robovi so običajno celo višji od sredinskega dela. A laičnemu opazovalcu se zdi, da dežnikasta streha dežniku sploh ni podobna.

In če gremo po analogiji: streha v obliki gobe je sestavljena samo iz stebra in strešne ploskve (torej je brez nosilcev), medtem ko je gobasta streha, podobno kot gobasta plošča, takšna streha, ki se vutasto razširi iz stebra. Laiki običajno ne prepoznajo razlike med dežnikasto streho in streho v obliki gobe, saj sta obe brez vidnih nosilcev, zato večkrat pride do zamenjav in napačnega poimenovanja.

2011), (Villa García, 2005), (Espion, 2016), (Currá, 2018)) ter vedno večje zanimanje za delo inženirjev konstruktorjev, razkrivajo nove poglede na začetke razvoja strešnih konstrukcij, ki so podprte z enim samim stebrom. Vendar se vsak izmed raziskovalcev osredotoči le na opus posameznega konstruktorja. Širša primerjava posameznih konstrukcij in njihovih lastnosti nam pokaže, kdo, kje, kdaj, kako in zakaj so gradili takšne konstrukcije. Prav je, da poznamo zgodovino razvoja konstrukcij in jo razumemo. Iz poznavanja konstrukcij in jo preteklosti se lahko marsičesa naučimo.

Strešne konstrukcije, podprte samo z enim stebrom, so načrtovali tako gradbeni inženirji kot arhitekti. Arhitekti so gradili manjše in unikatne objekte, gradbeni inženirji preizkušali večje razpone in zgradili več enakih enot. Vsi, še posebej pa Fernand Aimond, Giorgio

## 7 • ZAKLJUČEK

V arhitekturalni in umetnostnozgodovinski strokovni literaturi so strešne konstrukcije, ki so podprte le z enim stebrom, poimenovane z različnimi imeni: v angleščini dendriform, calyx, lily-pad, mushroom, hyperbolic paraboloid, hypar, HP ali umbrella, v španščini paraguas in bóveda cáscara, v danščini paddehatten, v italijanščini ombrello, največkrat so ta imena objektom oziroma konstrukcijam dali kar njihovi snovalci: arhitekti ali gradbeni inženirji. Slovenski prostor je manj inovativen, v umetnostnozgodovinski in arhitekturalni strokovni literaturi so omenjani izrazi gobasta streha, streha v obliki gobe in gobasta konstrukcija ter dežnikasta streha, streha v obliki dežnika in dežnikasta konstrukcija (včasih tudi z dodani-

mi pridevniki); pri tem pa razlika med izrazi ni bila vedno jasna in enolično določena. Problem je predvsem pri poimenovanju dežnikaste strehe, ki je že v angleščini definirana kot streha, ki po notranjih napetostih sicer deluje kot dežnik, a dežniku ni podobna in pravzaprav spominja na gobo. Arhitekti vidimo razliko med izrazoma goba in dežnik v tem, kako se obtežba prenaša preko strešnega dela konstrukcije v vutasti steber. Pri gobasti strehi je prenos obtežbe iz vsake točke strešne konstrukcije direktno na podporni steber, prenos obtežbe pri dežnikasti strehi pa je indirektno in poteka preko (vidnih ali nevidnih) konzol.

V zadnjih letih objavljene številne raziskave na področju zgodovine konstrukcij ((Cassinello,

Baroni in Amancio Williams, so s svojim prispevkom k uveljavitvi strešnih konstrukcij, podprtih z enim stebrom, tlakovali pot Félixu Candeli. Po letu 1960 je sledil velik razmah strešnih konstrukcij, ki so podprte samo z enim stebrom, ki je trajal 10 let, vse do leta

1970. V sedemdesetih letih dvajsetega stoletja strehe, podprte z enim stebrom, postanejo zaradi šibke odpornosti na horizontalne sile neprimerne za vsa potresna področja, tudi za celotno ozemlje Slovenije. Danes se jih arhitektom popolnoma odsvetuje, saj njihova

zasnova ni v skladu z zasnovo varne konstrukcije. Tudi gradbeni inženirji jih ne načrtujejo, saj se je treba izogibati konstrukcijam, pri katerih je odpornost celotne konstrukcije odvisna od odpornosti enega samega elementa.

## 8 • LITERATURA

- Aimond, F., Etude statique des voiles minces en paraboloides hyperboliques travaillant sans flexion. IABSE Proceedings 4, str. 1–112, 1936.
- Baroni, G., Copertura in cemento armato e relativo procedimento di fabbricazione. Italijanski patent n° 346696, 2. marec 1937.
- Baroni, G., Tetto o simile a superfici degradanti doppiamente rigate, particolarmente in cemento armato e relativo procedimento di fabbricazione. Italijanski patent n° 450290, 12. julij 1949.
- Baroni, <https://formfindinglab.wordpress.com/2018/09/27/out-of-his-shell-giorgio-baroni-an-early-designer-of-hyperbolic-paraboloid-shells/> (dostop 26.5.2019)
- Bernik, S., Arhitekt Milan Mihelič / Milan Mihelič Architect, Arhitekturni muzej, 1980.
- Bernik, S., Slovenska arhitektura dvajsetega stoletja / Slovene Architecture of the Twentieth Century. Mestna galerija, 2004.
- Cassinello, P., Revuelta Pol B.: Ildefonso Sanchez del Rio Pison. El Ingenio de un Legado (exposición). Fundación Juanelo Turriano, 2011.
- Currà, E., Russo, M., Reinforced concrete in Italy through the works of two generations of engineers: Mario and Giorgio Baroni. I. Wouters (ur.), S. van de Voorde (ur.), I. Bertels (ur.), B. Espion (ur.), K. de Jonge (ur.), D. Zastavni (ur.). 6th International Congress on Construction History (6ICCH 2018), July 9-13, 2018, Brussels, Belgium, str. 509-517, 2018.
- Espion, B., Pioneering hypar thin shell concrete roofs in the 1930s, Beton-und Stahlbetonbau, letnik 111, št. 3, str. 159-165, 2016.
- Faber, C., Candela: the shell builder. Reinhold Publishing Corporation, 1963.
- Hernandez, F., Beyond Modernist Masters: Contemporary Architecture in Latin America. Birkhauser Verlag AG, 2009.
- Hoppen, D.W., The Seven Ages of Frank Lloyd Wright: The Creative Process. Dover Publications, 1997.
- Kierdorf, A., Early mushroom slab construction in Switzerland, Russia and the U.S.A.: A study in parallel technological development. Proceedings Second ICCH Cambridge, str. 1793-1808, 2006.
- Lipman, J., "Frank Lloyd Wright and the Johnson Wax Buildings," Dover Publications; 2003.
- NN, Bencinski servis Petrol Ljubljana. Sinteza 17, str. 36-39, 1970.
- Ravnikar, V., Zorec, M., Gregorič, T., Koselj, N., Evidenca in valorizacija objektov slovenske moderne arhitekture med leti 1945-70: aplikativna raziskava. UL- Fakulteta za arhitekturo, 2000.
- Rian, I.M., Sassone, M., Tree-inspired dendriforms and fractal-like branching structures in architecture: A brief historical overview. Frontiers of Architectural Research, letnik 3, št. 3, str. 298–323, 2014.
- Salvadori, M.G., Heller, R., Konstrukcije v arhitekturi. Državna založba Slovenije, 1979.
- Sánchez del Río Pisón, I., Un paraguas de hormigón armado en Oviedo o el ojo clínico del ingeniero. Revista de Obras Públicas, št. 2578, str. 302-5, 1931.
- Skovshoved, [https://en.wikipedia.org/wiki/Skovshoved\\_Petrol\\_Station](https://en.wikipedia.org/wiki/Skovshoved_Petrol_Station), povzeto 29. 9. 2018.
- Slak, T., Kilar, V., Potresno odporna gradnja in zasnova konstrukcij v arhitekturi. UL- Fakulteta za arhitekturo, 2005.
- Slivnik, L., An Overview of Mushroom Structures in Slovene Structuralism. Proceedings Third ICCH, Cottbus, Germany, str. 1339-1346, 2009.
- Slivnik, L., Strešna konstrukcija, podprta samo z enim stebrom. V: J. Lopatič (ur.), P. Može, (ur.), V. Markelj (ur.). 40. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije, Bled, 19.-20. 11. 2018. Ljubljana: Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev. str. 271-280, 2018.
- Slivnik, L., The distinction between mushroom and umbrella structures in Slovene architecture. 3rd World Multidisciplinary Civil Engineering, Architecture, Urban Planning Symposium (WMCAUS 2018), 18-22 June 2018, Prague, Czech Republic, (IOP conference series, ISSN 1757-899X, Materials science and engineering, vol. 471). Bristol: IOP. vol. 471, str. 1-10, 2019.
- Štajmer, M., Gospodarsko razstavišče v Ljubljani. Arhitekt 5, str. 65-70, 1960.
- Villa García, L. M., Los paraguas de hormigón armado del Principado de Asturias. V: S. Huerta (ur.), Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Cádiz, 27-29 enero 2005. Madrid: I. Juan de Herrera, SEHC, Arquitectos de Cádiz, COAAT Cádiz. str. 1077-89, 2005.
- Williams, <https://alchetron.com/Amancio-Williams>, povzeto 29. 5. 2019.



# NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI,  
FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

## I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

**Sanes Mehič**, Načrtovanje sodobnih konstrukcijskih sklopov iz pretežno naravnih materialov v pogledu prehoda toplote in vlage, mentor izr. prof. dr. Roman Kunič, somentorica doc. dr. Mateja Dovjak; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=114356>

**Vid Pristavec**, Spremljanje vlažnosti v kompozitih z mineralnim vezivom, mentorica prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor prof. dr. Zvonko Jagličič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=114358>

**Jaka Cerar**, Skupno podatkovno okolje za načrtovanje v gradbeništvu, mentor prof. dr. Žiga Turk, somentor asist. dr. Robert Klinc; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=114249>

## II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

**Blaž Jeraj**, Eksperimentalna analiza vplivov soli na učinkovitost izboljšanja morskih glin z apnom za gradnjo nasipov, mentorica izr. prof. dr. Ana Petkovšek, somentorica asist. dr. Jasna Smolar; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=114237>

**Gašper Šmid**, Analiza karakterističnih nosilnih elementov stavbe za zdravstveno oskrbo v različnih projektnih stanjih, mentor izr. prof. dr. Tomaž Hozjan, somentor izr. prof. dr. Sebastjan Bratina; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=114248>

**Tim Mikuletič**, Filtracijske lastnosti morskega mulja z in brez kemijskih dodatkov, mentorica izr. prof. dr. Ana Petkovšek, somentorica asist. dr. Jasna Smolar; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=114238>

## II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM STAVBARSTVO

**Nives Šelekar**, Vpliv stopnje prezračevanja na kakovost notranjega zraka v izobraževalnih ustanovah in pisarnah, mentorica doc. dr. Mateja Dovjak, somentor doc. dr. Matjaž Prek; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=114250>

**Blaž Hribar**, Vpliv zasnove transparentnega stavbnega ovoja na energijsko bilanco stavbe ter kvaliteto notranjega toplotnega in svetlobnega okolja, mentor doc. dr. Mitja Košir; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=114236>

## III. STOPNJA – DOKTORSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

**Nina Zupan**, Modeliranje metamaterialov s poenoteno večnivojsko metodo, mentor prof. dr. Jože Korelc; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=114251>

Rubriko ureja • Eva Okorn, [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net)

# KOLEDAR PRIREDITEV

**12.-14.5.2020**

**2020 International Symposium on Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering**

Perth, Avstralija  
[www.slopestability2020.com/](http://www.slopestability2020.com/)

**18.-21.5.2020**

**ICCUE 2020 - 7th International Conference on Civil and Urban Engineering**

Dunaj, Avstrija  
[www.iccue.org/](http://www.iccue.org/)

**11.-13.6.2020**

**ICCSTE'20 - 5th International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering**

Niagarski slapovi, Kanada  
<https://iccste.com/>

**15.-18.6.2020**

**Deep Mixing Conference 2020**

Gdansk, Poljska  
[www.dfi.org/dfieventlp.asp?13330](http://www.dfi.org/dfieventlp.asp?13330)

**16.-18.6.2020**

**"Structural Faults + Repair-2020" & "European Bridge Conference-2020"**

Edinburg, Škotska  
[www.structuralfaultsandrepair.com/](http://www.structuralfaultsandrepair.com/)

**22.-27.6.2020**

**EURO-MED-SEC-3 – 3rd European and Mediterranean Structural Engineering and Construction Conference**

Limassol, Ciper  
[www.isec-society.org/EURO\\_MED\\_SEC\\_03/](http://www.isec-society.org/EURO_MED_SEC_03/)

**28.-30.6.2020**

**ICSCER 2020 - 4th International Conference on Structure and Civil Engineering Research**

Budimpešta, Madžarska  
[www.icscer.org/](http://www.icscer.org/)

**7.-9.7.2020**

**UPADSD 2020 – Urban Planning & Architectural Design for Sustainable Development – 5th Edition**

Rim, Italija  
<http://bit.ly/UPADSD-2020>

**18.-20.10.2020**

**ICSECT'20 - 5th International conference on Structural Engineering and Concrete Technology**

Lizbona, Portugalska  
<https://icsect.com/>

**7.-11.9.2020**

**6th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization**

Budimpešta, Madžarska  
[www.isc6-budapest.com/](http://www.isc6-budapest.com/)

**2.-6.11.2020**

**5th World Landslide Forum**

Kjoto, Japonska  
<http://wlf5.iplhq.org/>

**13.-17.6.2021**

**11th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar**

Valletta, Malta  
[www.iwagpr2021.eu/](http://www.iwagpr2021.eu/)

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