

# GRADBENI VESTNIK

december 2016



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

Poštnina 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; ISSN 0017-2774  
Ljubljana, december 2016, letnik 65, str. 265-292

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**  
**Mojca Ravnikar Turk**  
**dr. Branko Zadnik**  
UL FGG: **izr. prof. dr. Sebastjan Bratina**  
UM FGPA: **doc. dr. Milan Kuhta**  
ZAG: **doc. dr. Matija Gams**

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:

**Kočeovski tisk**

Naklada:

**960 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 naročnina za individualne naročnike znaša 23,16 EUR; za študente in upokoјence 9,27 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 171,36 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je vštēt 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 PO-VZETEK 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

## Voščilo

stran **266**

doc. dr. Andrej Kryžanovski, univ. dipl. inž. grad.  
**VOŠČILO PREDSEDNIKA ZDGITS**

## Članki • Papers

stran **267**

Marko Lavrenčič, mag. inž. grad.  
prof. dr. Boštjan Brank, univ. dipl. inž. grad.  
Iztok Šušteršič, univ. dipl. inž. grad.

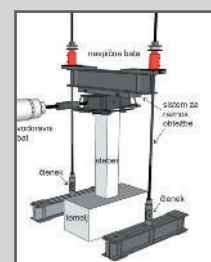
**PORUŠNI MEHANIZEM KRIŽNO LEPLJENIH LESENIH REBRASTIH PLOŠČ**  
FAILURE MECHANISM OF CROSS-LAMINATED TIMBER RIBBED PLATES



stran **277**

dr. Miha Kramar, univ. dipl. inž. grad.  
doc. dr. Matija Gams, univ. dipl. inž. grad.  
Andrej Anžlin, univ. dipl. inž. grad.  
prof. dr. Matjaž Dolšek, univ. dipl. inž. grad.

**CIKLIČNI PREIZKUSI ARMIRANOBETONSKIH STEBROV**  
CYCLIC TESTS OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS



## Poročila s strokovnih in znanstvenih srečanj

stran **286**

Miša Hrovat  
**VODNI DNEVI 2016**

stran **288**

mag. Smiljan JUVAN, univ. dipl. inž. grad.  
**27. MIŠIČEV VODARSKI DAN 2016**



## Obvestila ZDGITS

stran **290**

**PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE  
ZA GRADBENO STROKO V LETU 2017**

## Vsebina letnika 65/2016

stran **291**

## Novi diplomanti

Eva Okorn

## Koledar prireditev

Eva Okorn

Slika na naslovnici: 3. nagrada na fotografskem natečaju IZS 2016: JUTRO V PODGRADU  
(Daljnovid Beričevo – Krško), foto: Peter Jež

## VOŠČILO PREDSEDNIKA ZDGITS



Leto je naokoli in pravi čas za analizo prehojene poti, izpolnjenih obljub in želja, ki si jih ob novem letu zaželim ob iskrenem upanju za boljši jutri. Upanje umre zadnje, pravi ljudski rek, in to velja tudi za slovensko gradbeništvo. Kaj vse smo gradbeniki prestali v zadnjih desetletjih! Zaton in prestrukturiranje velikih gradbeniških konglomeratov ob osamosvojitvi v manjša, bolj fleksibilna podjetja, ki so se trudila preživeti v vse bolj zaostrenih tržnih razmerah. Vlaganja v prometno in energetska infrastrukturo so dolga leta ohranjala vitalnost gradbene dejavnosti. S pridružitvijo Evropski skupnosti smo bili deležni široke podpore razvojnim projektom in vse je kazalo, da lahko gre samo na boljše. Povsod optimizem, za poklicne pesimiste ni bilo posluha. Kaj in kje bi lahko šlo narobe, ni nihče niti pomislil. Pa je prišel tudi tisti dan, ko je vse obstalo, in največji dolg je bil izstavljen prav gradbeni dejavnosti. Nič ni tako, kot je bilo do pred kratkim. Od nekdanjega ponosnega gradbene dejavnosti je ostalo le še pogorišče, na katerem se z vse bolj agresivno tujo konkurenco spopadajo preživela slovenska gradbena podjetja. Velikih gradbenih konglomeratov ni več in veliko znanja se je porazgubilo. Vse manj je tudi zanimanja za študij gradbeništva. Kot da nadlog ni dovolj, se politika v zato najbolj neugodnem času loteva spremembe prostorske in gradbene zakonodaje. Ko naj bi bili naporji stroke usmerjeni v razvojne aktivnosti in pridobivanja ponovne veljave panoge, se mora ukvarjati s prepričevanjem o potrebnosti upoštevanja osnovnih načel trdnosti in trajnosti gradbenih objektov, saj zakonodajalca zanima zgolj videz objekta, fasade. Ko že govorimo o videzu in fasadah: energetska prenova stavb, ki je hvalevreden cilj evropske politike kot prispevek k zmanjšanju škodljivih emisij TPG, se postavlja kot možnost za oživitvev gradbene dejavnosti. Žal pa se omejuje zgolj na prenovo ovojnih stavb in se pri tem zanemarjajo pomembnosti doseganja njihove stabilnosti in potresne varnosti. Samo v Ljubljani je evidentiranih več kot 1000 objektov v javni uporabi, ki ne dosegajo zadostne potresne varnosti. S pravilno usmeritvijo področne zakonodaje bi lahko odprli pot tovrstnim investicijami, tudi s kvalitetnejšim pridobivanjem evropskih sredstev, in odprli pot oživitvi slovenskega gradbeništva. Ena dobrih stvari, ki se nam je dogodila v zadnjih letih, pa je dejstvo, da smo se slovenski gradbeniki v kriznih razmerah povezali v okviru ZORG in opozarjali javnost o vlogi gradbene dejavnosti in vplivu na nacionalno gospodarstvo. Tudi zahteve po spremembah in dopolnitvah predloga področne zakonodaje od zakonodajalca niso bile prezrte in zato upamo, da bomo korakoma dosegli zblížanja interesov s ciljem pripraviti konsistentno področno zakonodajo, tudi z namenom izboljšanja stanja slovenskega gradbeništva, da se bodo končno krivulje v gradbeništvu obrnile navzgor. Ob tej priložnosti mi dovolite, da vam zaželim, naj bo prihajajoče leto naklonjeno vašim prizadevanjem, in najpomembnejše, naj vas pri vsem spremljajo zdravje, veselje in sreča.

**doc. dr. Andrej Kryžanowski**  
predsednik ZDGITS

*Vsem bralcem, avtorjem in recenzentom Gradbenega vestnika želim  
vesele božične praznike in srečno ter zdravo novo leto 2017  
Izdajateljski svet in uredništvo*

# PORUŠNI MEHANIZEM KRIŽNO LEPLJENIH LESENIH REBRASTIH PLOŠČ

## FAILURE MECHANISM OF CROSS- LAMINATED TIMBER RIBBED PLATES

Marko Lavrenčič, mag. inž. grad.  
prof. dr. Boštjan Brank, univ. dipl. inž. grad.  
Iztok Šušteršič, univ. dipl. inž. grad.

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

Znanstveni članek

UDK 624.011.1:624.073.5-048.24

**Povzetek** | V delu opišemo, kako se razvijajo poškodbe v materialu (kako nastajajo in se širijo razpoke) pri eksperimentalni upogibni porušitvi križno lepljene lesene rebraste plošče. Nadalje pokažemo model za numerično simulacijo takšnega eksperimenta z nelinearno metodo končnih elementov, ki ga je mogoče uporabiti za izračun mejne nosilnosti in mejnega upogiba križno lepljene lesene rebraste plošče.

Ključne besede: križno lepljeni les, rebrasta križno lepljena plošča, mejna nosilnost, eksperiment, nelinearna metoda končnih elementov

**Summary** | The article deals with the progress of material failure (i.e. crack development and propagation) in an experiment related to the bending collapse of a cross laminated timber ribbed plate. Moreover, a model for numerical simulation of such an experiment by the nonlinear finite element method is presented, which can be used for the purpose of computation of the limit load and the limit displacement of a cross laminated timber ribbed plate. Key words: cross-laminated timber, ribbed cross-laminated timber plate, limit load, experiment, nonlinear finite element method

### 1 • UVOD

Križno lepljen les, ki se ga navadno označuje z X-lam ali CLT (po ang. izrazu cross laminated timber), se je pojavil v gradbeništvo pred približno 20 leti. Narejen je iz masivnih lesenih desk in lepila. CLT štejejo za kompozitni material, hkrati pa za ploskovni konstrukcijski element, saj se proizvaja izključno v obliki plošč (poimenovanih tudi panele). Deske so med seboj zlepljene tako, da nastane plošča z lihimi številom slojev, pri čemer so deske vsakega naslednjega sloja položene prečno glede na deske prejšnjega sloja. Zato CLT funkcionira kot ploskovni konstrukcijski element, torej kot stena, plošča ali ravna lupina, odvisno od njegove funkcije v objektu. Danes je CLT pomemben gradbeni proizvod in osnova za gradnjo večetažnih lesenih konstrukcij. Hitro naraščanje njegove porabe kaže, da gre za zelo atraktiven konstrukcijski element oziroma material. Več informacij o CLT je na voljo npr. v preglednem članku (Brandner, 2016).

Obnašanje CLT pri različnih pogojih in vplivih, v smislu materiala kot tudi konstrukcijskih sistemov, je še odprto raziskovalno področje, npr. (Brandner, 2016), kar vpliva na to, da izraba dobrih lastnosti CLT še ni optimalna. Iščejo se možnosti za učinkovitejše konstrukcijske

sisteme iz CLT, kar se raziskuje tudi v okviru evropskega projekta na temo rebrastih plošč CLT ((WoodWisdom-Net, 2015), (HCLTP, 2016)). Projekt koordinira Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, sodelujejo pa še podjetja CBD, Ledinek in Černivšek iz Slovenije, Stora-Enso in Dunajska tehniška univerza iz Avstrije ter inštitut MPA Univerze v Stuttgartu iz Nemčije. V tem članku prikazujemo nekaj rezultatov projekta, nekateri drugi so prikazani v ((Stanič, 2016 b), (Šušteršič, 2016)).

Namen članka je predvsem: (i) iz rezultatov eksperimentalnega testa razložiti porušni mehanizem pri upogibu rebraste plošče CLT in (ii) prikazati, kako je mogoče narediti numerično simulacijo omenjenega testa. Za numerično simulacijo smo uporabili komercialni računalniški program za analizo konstrukcij po metodi končnih elementov (Abaqus, 2016) in z njim opravili geometrijsko in materialno nelinearno analizo. Uporabili smo model za opis obnašanja materiala, ki je upošteval: a) ortotropno elastičnost (Reddy, 2004), b) Hashinove kriterije za začetek poškodb v materialu ((Hashin, 1980), (Hashin, 1981)) in c) parametre poškodovanosti za simulacijo mehčanja materiala po aktivaciji Hashinovih kriterijev (Abaqus, 2016).

V 2. poglavju povzamemo klasifikacijo razpok v lesu, saj so razpoke ključni del porušnega mehanizma obravnavanih rebrastih plošč CLT, ki jih opišemo v 3. poglavju, kot kažejo rezultati tipičnega eksperimentalnega testa na takšni plošči, ki so prikazani v 4. poglavju. V 5. poglavju

opišemo Hashinove kriterije za nastanek poškodb v prečno izotropnem materialu, uporabljen numerični model za simulacijo eksperimenta pa je prikazan v 6. poglavju. Predstavitvi rezultatov numeričnih analiz v 7. poglavju sledi zaključek.

## 2 • KLASIFIKACIJA RAZPOK V LESU

Les obravnavamo kot snov, ki ima v vsaki materialni točki tri glavne, ortogonalne materialne smeri (slika 1):  $L$  označuje smer vlaken,  $T$  gleda tangento na vlakna,  $R$  pa radialno na vlakna. Te oznake se uporabljajo tudi pri označevanju sistema širjenja razpoke, npr. (Qiu, 2014). Prva črka označuje smer normale na površino razpoke, druga pa smer širjenja razpoke. V lesu imamo 6 možnih sistemov širjenja razpok, ki so prikazani na sliki 2. Pri upogibu lesenih nosilcev se razpoka skoraj vedno širi v smeri vlaken (to sta sistema  $TL$  in  $RL$ ), pri čemer je pogosto kritičen sistem  $RL$  (Qiu, 2014); takšna razpoka nastane brez opozorila in se razširi hipno.

V povezavi z razpokami ločimo še tri osnovne lomne oblike materiala glede na obremenitev, ki razpoko povzroča (slika 3). Tako se lahko razpoka  $RL$  širi zaradi normalnih obremenitev (oblika I) ali pa zaradi strižnih obremenitev (obliki II in III). Vsak sistem razpoke in vsaka oblika sta povezana s specifično lomno energijo, ki predstavlja energijo, potrebno za nastanek enotske površine razpoke. Specifične lomne energije so konstante materiala in se lahko izmerijo s posebnimi testi, glej npr. (Frühmann, 2002).

## 3 • OPIS OBRAVNAVANE PLOŠČE

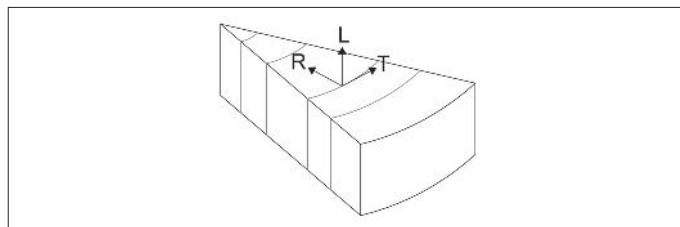
Prerez obravnavane rebraste plošče CLT je prikazan na sliki 4. Njena dolžina je 4 m, tako da plošča spominja na nosilec. Takšne plošče se v stavbi zložijo ena ob drugo in se ustrezno povežejo, npr. (Brandner, 2016), da tvorijo etažno ploščo, ki prenaša obtežbo pretežno v smeri reber.

Zgornji del obravnavane ploščne konstrukcije je 3-slojni križno lepljeni smrekov les (CLT), ki ga je proizvajalec Stora-Enso klasificiral kot C24 po aneksu K (ÖNORM, 2015); klasifikacija temelji na karakteristični upogibni natezni trdnosti osnovnega materiala (smrekovih desk). Spodnji del konstrukcije so tri rebra iz masivnega smrekovega lesa, ki lahko vsebujejo zobati spoj in ki jih je proizvajalec Stora-Enso prav tako klasificiral kot C24 (ÖNORM, 2009). CLT (označen zeleno na sliki 4) je bil proizveden v podjetju Stora-Enso. Rebra, ki jih je prav tako dobavil Stora-Enso, so bila prilepljena na CLT v podjetju Ledinek. Tam je v prototipni preši nastal vzorec rebraste plošče CLT s prerezom s slike 6, ki je bil nato testiran v MPA v Stuttgartu. Uporabljeno lepilo v CLT je bilo poliuretansko. Lepilo, ki se je uporabljalo v podjetju Ledinek, je bilo prav tako poliuretansko, proizvajalec Purbond, tip HB 110.

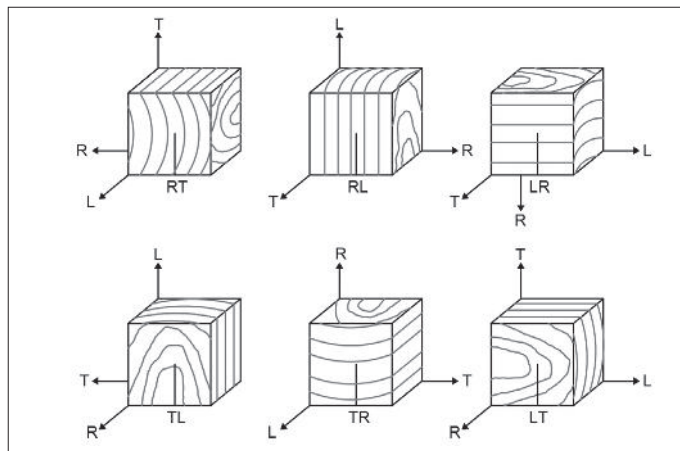
V podjetju Ledinek so se rebra lepila na dva načina: (a) na spodnji sloj 3-slojnega CLT (slika 6, levo), to so vzorci z oznakami 6.1.a, 6.1.b in 6.1.c, in (b) na spodnji sloj 2-slojnega CLT, pri čemer se je dolepil še tretji sloj CLT (slika 5, desno), to so vzorci 3.1.a, 3.1.b in 3.1.c. V nadaljevanju bomo podrobno obravnavali samo vzorec 6.1.a.

Pred lepljenjem reber sta bili izmerjeni hitrost valovanja v lesu in gostota lesa in na podlagi tega izračunani glavni elastični moduli (to so tisti v smeri  $L$ ) vseh reber in desk, ki so se potem lepile na CLT. S tem se je dobil t. i. dinamični elastični modul uporabljenega lesa v smeri vlaken  $E_d$ , za katerega se privzame, da je za 5 % višji od t. i. statičnega elastičnega modula  $E_s$  (Machek, 2001). Povprečje izmerjenih  $E_s$  za vse deske in rebra, ki so se uporabili v omenjenih šestih vzorcih rebrastih plošč CLT, je bilo 14,2 MPa (skupno število meritev je bilo 28). V (ÖNORM, 2009) sta za les C24 podani naslednji številki za karakteristično vrednost

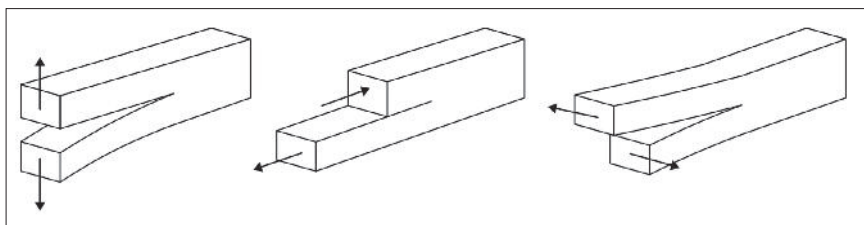
elastičnega modula (pri 5-% fraktili) in za povprečni elastični modul:  $E_{0,05} = 7,4$  MPa in  $E_{mean} = 11$  MPa. Iz tega sledi, da je koeficient variacije  $CV(E) = 0,20$  in da izmerjeni  $E_s$  ustreza 93-% fraktili za C24. Dolepljeni les in les reber je bil torej izredno kakovitefen za klasifikacijo C24 (glede na izmerjeni elastični modul bi lahko bil C40). Povprečje reber za 6.1.a je 16,8 Mpa (kar ustreza, glede na elastični modul, celo C50).



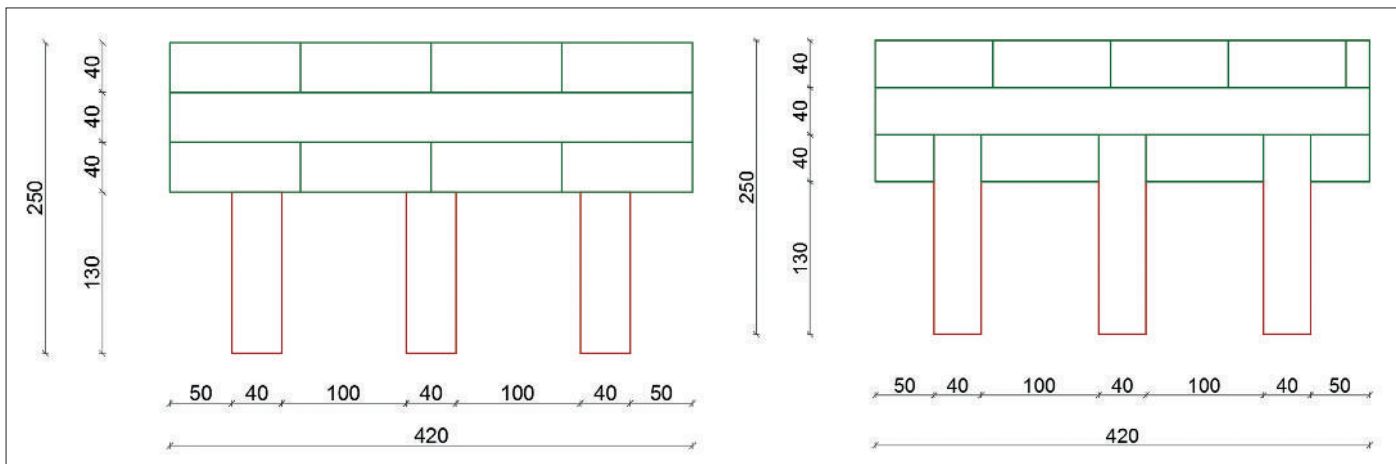
Slika 1 • Oznaka smeri v lesu glede na lesna vlakna



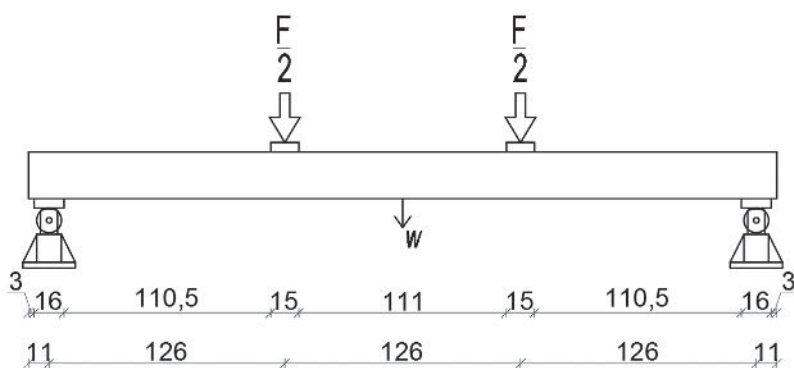
Slika 2 • Sistemi širjenja razpok v lesu



Slika 3 • Osnovne lomne oblike (I, II in III; od leve proti desni)



Slika 4 • Prereza obravnavanih CLT-plošč z rebri (mere so v mm). Na 3-slojni CLT so dolepljena samo rebra (levo). Skupaj z rebri je na 2-slojni CLT dolepljen tudi spodnji sloj CLT (desno)



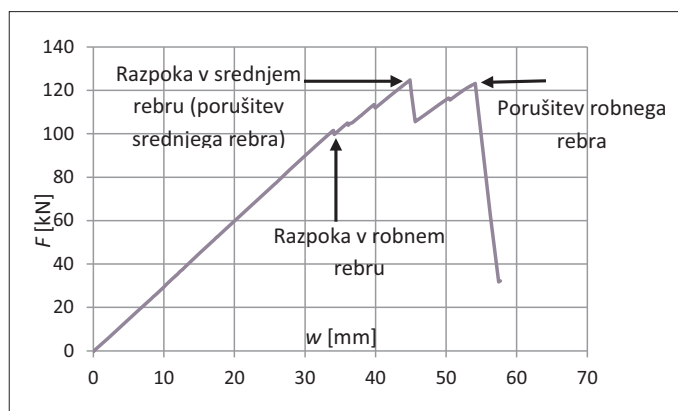
Slika 5 • Plošča med testom (levo); lokacija podpor in vnosa obtežbe (desno); mere so v cm

## 4 • REZULTATI EKSPERIMENTA

Izveden je bil upogibni test v skladu z (EN, 2012). Konfiguracija testa je razvidna s slike 5; hitrost vsiljevanja pomikov bata je bila 6 mm/min. V tem poglavju razložimo rezultate poročila MPA (Zisi, 2016) za vzorec 6.1.a. Odnos med silo  $F$  in navpičnim pomikom na sredi razpona  $w$  (slika 5) je podan na sliki 6, kjer so označene tudi poškodbe, ki so se pri določeni sili zgodile.

Pri sili 101,6 kN se je pojavila razpoka mešanega sistema  $RL-TL$  oblike II (slika 8) v najbolj togem robnem rebri z oznako 45/9, slika 7 (levo), kar je povzročilo manjši padec v diagramu sila–pomik. Razširila se je hipno in rebro razklala po višini, vendar je upogibna togost plošče zaradi tega le malo padla. Podobna poškodba se je očitno zgodila še dvakrat, preden je bila dosežena največja sila, kar kažeta dva manjša skoka v diagramu na sliki 6 med  $F = 101,6$  kN in  $F = 124,8$  kN. Lahko da je šlo za hipno dodatno širjenje že obstoječe razpoke v robnem rebri ali pa za hipen nastanek novih razpok v katerem od reber – vizualno tega ni bilo mogoče preveriti. Pri doseženi največji sili 124,8 kN se je pojavila zelo izrazita in dolga razpoka v srednjem rebri (sistema  $RL-TL$  in oblik II in III), ki je rebro praktično vzdolžno diagonalno prepolevila, s čimer je postalo nenosilno, slika 7 (sredina), kar je povzročilo občuten padec v diagramu sila–pomik. Plošča je bila po tej poškodbi še zmeraj zmožna prevzemati silo do velikosti 123,2 kN pri pomiku 54,1 mm, ko je popustil zobati spoj v robnem, že prej poškodovanem rebri. Pri tem je nastala razpoka sistema  $LT-LR$  oblike I po zobatem spoju, poleg tega pa se je rebro še delno odtrgalo od CLT po lepljenem stiku, slika 7 (desno), tako da se je ploščna konstrukcija popolnoma porušila, kot je razvidno s slike 6.

Očitno je, da pri upogibni porušitvi rebraste plošče CLT ključno vlogo odigrajo razpoke v rebrih v smeri vlaken, ki so mešanega tipa  $RL-TL$ . Očitno je tudi, da je vrstni red takšnih razpok naključen in odvisen od naključnih dejavnikov, kot so že obstoječe razpoke v lesu (ki so nastale med sušenjem lesa), grče, lega deske pri razrezu debela (ki se kaže v orientaciji letnic v rebrih) in lega eventualnega zobatega spoja. Del rebraste plošče CLT ostane praktično nepoškodovan, prav tako tudi lepilo (razen pri končni porušitvi). Plošča praktično ponovno doseže mejno nosilnost, tudi ko funkcionira brez srednjega rebra. To kaže, da tri rebra prispevajo k postopnosti porušitve konstrukcije, ki bi bila mnogo bolj krhka, če bi imela le dve rebri.



Slika 6 • Vnesena sila v odvisnosti od pomika na sredini



Slika 7 • Fotografije razpok (Zisi, 2016): v robnem rebri (levo), v srednjem rebri (sredina), v robnem rebri ob porušitvi plošče (desno)



Slika 8 • Razpoki sistema  $RL-TL$  v vzorcu 3.1.c. za obliki I in II



## 5 • HASHINOVI KRITERIJI ZA NASTANEK POŠKODB

Hashin ((Hashin, 1980), (Hashin, 1981)) je izpeljal dva kriterija za nastanek razpok v materialu z usmerjenimi vlakni. Namenjena sta bila za umetne kompozitne materiale, ki so izotropni v ravnini, prečni na vlakna. Takšne so npr. poliestrske smole, ojačane z ravnimi steklenimi vlakni, npr. (Brank, 1998). Označimo smer vlaken z  $x_1$ , dve ortogonalni smeri prečno na vlakna pa z  $x_2$  in  $x_3$  (slika 9). Prečno izotropen material je tisti, katerega obnašanje je v ravnini, prečni na  $x_1$ , enako v vseh smereh. Če torej  $x_2$  in  $x_3$  poljubno zasukamo okoli  $x_1$  v  $\bar{x}_2$  in  $\bar{x}_3$ , je obnašanje materiala v smereh  $x_1, x_2$  in  $x_3$  enako kot v smereh  $x_1, \bar{x}_2$  in  $\bar{x}_3$ . Ilustracija ortotropije, prečne izotropije in izotropije je podana na sliki 10. Za 3-dimenzionalno napetostno stanje se lahko kriterija za nastanek razpok napišeta tako:

$$\left(\frac{\hat{\sigma}_{11}}{\sigma_A^+}\right)^2 + \frac{\hat{\sigma}_{12}^2 + \hat{\sigma}_{13}^2}{\tau_A^2} \geq 1, \quad \text{če } \hat{\sigma}_{11} \geq 0 \quad (1)$$

$$\left(\frac{\hat{\sigma}_{22} + \hat{\sigma}_{33}}{\sigma_T^+}\right)^2 + \frac{\hat{\sigma}_{23}^2 - \hat{\sigma}_{22}\hat{\sigma}_{33}}{\tau_T^2} + \frac{\hat{\sigma}_{12}^2 + \hat{\sigma}_{13}^2}{\tau_A^2} \geq 1, \quad \text{če } \hat{\sigma}_{nn} \geq 0 \quad (2)$$

kjer so  $\hat{\sigma}_{11}$ ,  $\hat{\sigma}_{22}$  in  $\hat{\sigma}_{nn}$  normalne napetosti v smereh  $x_1, x_2$  in  $x_n$ , glej sliko 9 (desno),  $\sigma_A^+$  in  $\sigma_T^+$  sta natezni trdnosti v smeri vlaken in prečno na vlakna,  $\tau_T$  in  $\tau_A$  pa sta strižni trdnosti pri strigu prečno na vlakna in pri strigu v smeri vlaken. Kriterij (1) je povezan z razpoko, prečno na vlakna, tj. s sistemoma  $x_1, x_2$  in  $x_1, x_3$ , slika 9 (levo). Kriterij (2) pa je povezan z razpoko v smeri vlaken, tj. s sistemom  $x_2, x_3$ , slika 9 (desno). V nadaljevanju bomo Hashinova kriterija (1) in (2) uporabili za les. Poleg kriterijev za nastanek razpok (Hashin, 1980, 1981) predlaga še kriterija za nastanek poškodb v tlaku, ki pa za les nista preveč pomembna, saj razpoke mnogo bolj vplivajo na obnašanje lesene konstrukcije kot tlačne poškodbe. Za 3-dimenzionalno napetostno stanje se ju lahko napišeta tako:

$$\hat{\sigma}_{11} \geq -\sigma_A^-, \quad \text{če } \hat{\sigma}_{11} < 0 \quad (3)$$

$$\left(\frac{\hat{\sigma}_{22}}{2\tau_T}\right)^2 + \left[\left(\frac{\sigma_T^-}{2\tau_T}\right)^2 - 1\right] \frac{\hat{\sigma}_{22}}{\sigma_T^-} + \left(\frac{\hat{\sigma}_{12}}{\tau_A}\right)^2 \geq 1, \quad \text{če } \hat{\sigma}_{nn} < 0 \quad (4)$$

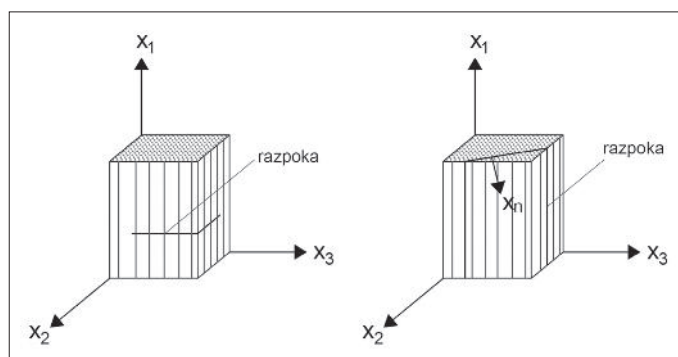
kjer je  $\sigma_A^-$  tlačna trdnost v smeri vlaken,  $\sigma_T^-$  pa tlačna trdnost v smeri prečno na vlakna.

Ko je v materialni točki izpolnjena vsaj ena od enačb (1) in (2), je to znak za začetek razpoke. Med širjenjem razpoke se sprošča specifična

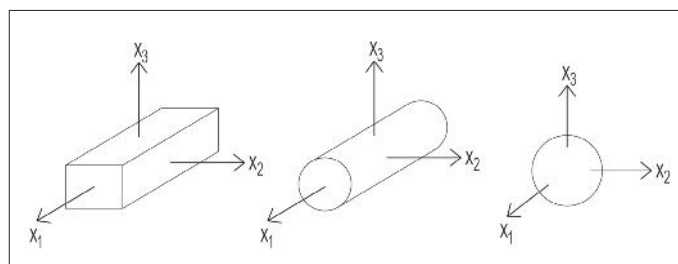
lomna energija  $G_p$ , ki je karakteristika materiala in je eksperimentalno izmerljiva. Odvisna je od sistema širjenja razpoke in od lomne oblike. Če se Hashinova kriterija (1) in (2) uporabita za les, lahko razpoko prečno na vlakna (slika 9 levo) povežemo z lomnima energijama sistemov  $LT$  in  $LR$ , razpoko vzdolž vlaken (slika 9 desno) pa z lomnima energijama sistemov  $TL$  in  $RL$ . Vrednosti omenjenih so podane za smreko v preglednici 1.

Sistem razpoke	Oblika I (J/m <sup>2</sup> )	Oblika II (J/m <sup>2</sup> )	Oblika III (J/m <sup>2</sup> )
RL	180	680	1300
TL	230	-	3160

Preglednica 1 • Specifične lomne energije  $G_p$  za smreko (Frühmann, 2002)



Slika 9 • Levo: razpoka, povezana s kriterijem (1); desno: razpoka, povezana s kriterijem (2)



Slika 10 • Ilustracija ortotropije (levo), prečne izotropije (sredina) in izotropije (desno)

## 6 • NUMERIČNI MODEL

Zaradi simetrije problema smo modelirali le polovico ploščne konstrukcije, pri čemer smo v simetrijski ravnini uporabili simetrijske robne pogoje. Uporabili smo končne elemente 3d-shell, ki so navzven kot končni elementi 3d, vendar uporabljajo enačbe teorije lupin. Njihova Abaqusova oznaka je SC8R (gre za element z 8 vozlišči, 1 integracijsko točko po srednji ploskvi in 5 integracijskimi točkami po

debelini). Mreža končnih elementov, ki zajema tudi podporno ploščico in ploščico, preko katere se nanaša enakomerni pritisk, je prikazana na sliki 11. Obe ploščici sta bili modelirani kot jekleni z elastičnim modulom 210 GPa in Poissonovim količnikom 0,3. Opravljena je bila nelinearna analiza s sledenjem ravnotežni poti po metodi krožnega loka (Stanić, 2016a).

### 6.1 Konstante ortotropnega materiala

Za opis elastičnega obnašanja lesa je bil uporabljen ortotropni materialni model (Reddy, 2004). Glavne ortogonalne materialne osi so:  $x_1$  (ta ima smer vlaken),  $x_3$  (ta gleda v smeri debeline sloja CLT in rebra) in  $x_2$  (ta je določena tako, da tvorijo  $x_1, x_2$  in  $x_3$  desno sučni koordinatni sistem). Os  $x_1$  sovпада z  $L$ , osi  $x_2$  in  $x_3$  pa približno s  $T$  in  $R$ , glej sliko 12. Abaqus (2016) za SC8R uporablja kondenzirane konstitutivne enačbe 3d (ker zanemari normalne napetosti v smeri debeline, npr. (Brank, 1997)), ki imajo 6 neodvisnih konstant:  $E_1, E_2, G_{12}, \nu_{12}, G_{13}$  in  $G_{23}$ . Za sloje CLT so bile uporabljene srednje vrednosti elastičnih in strižnih modulov za CLT kvalitete C24 iz (ÖNORM, 2015), preglednica 2, ter Poissonov količnik  $\nu_{21} = 0,02$ . Za rebra smo uporabili razmerja med moduli, ki jih za mehki les C24 podaja (ÖNORM, 2009), preglednica 3. Module vsakega rebra smo dobili z množenjem teh razmerij z izmerjenim statičnim elastičnim modulom  $E_s$ , ki je bil za robni rebr 19725 in 16119 MPa ter za srednje rebro 14523 MPa. Uporabljen Poissonov količnik za rebra je bil enak sistemu za sloje CLT.

$E_1$ (MPa)	$E_2$ (MPa)	$G_{12}$ (MPa)	$G_{13}$ (MPa)	$G_{23}$ (MPa)
11000	450	690	690	65

Preglednica 2 • Elastični in strižni moduli za sloje CLT 24 (ÖNORM, 2015)

$E_2/E_1$	$G_{12}/E_1$	$G_{13}/E_1$
37/11000	69/11000	69/11000

Preglednica 3 • Razmerja modulov za mehki les C24 (ÖNORM, 2009).  $G_{23} = G_{12}/10$  (ÖNORM, 2015)

### 6.2 Hashinovi kriteriji in uporabljene trdnosti

Za začetek odpovedi materiala v integracijski točki končnega elementa so bili uporabljeni Hashinovi kriteriji za ravninsko napetostno stanje, ki so na razpolago v (Abaqus, 2016) za SC8R. Dobijo se, če se v kriterije 3d (1)–(4) vstavi  $\sigma_{33} = \sigma_{13} = \sigma_{23} = 0$ . Abaqusovi Hashinovi kriteriji so torej ravninski in pri lupinastih končnih elementih ne upoštevajo prečnih strižnih napetosti, čeprav so te pri lupinah na voljo; verjetno zato, ker jih je pri slojevitih ploščah zelo težko dovolj natančno izračunati (Brank, 2000).

Za trdnosti reber smo upoštevali (ÖNORM, 2009). Les reber je bil sicer klasificiran kot C24, ker pa so se izmerjeni elastični moduli  $E_s$  izkazali za boljše, smo za trdnost reber privzeli povprečne trdnosti za les C40 ob upoštevanju koeficienta variacije  $CV = 0,25$  (Brandner, 2016). Za trdnosti slojev CLT smo uporabili (ÖNORM, 2015). Ob upoštevanju enakega koeficienta variacije smo privzeli povprečne vrednosti za C24. Uporabljene trdnosti so podane v preglednici 4, kjer velja:  $f_m$  je upogibna trdnost v smeri vlaken,  $f_{i,90}$  je natezna trdnost prečno na vlakna,  $f_{c,0}$  in  $f_{c,90}$  sta tlačni trdnosti v smeri vlaken in pravokotno na vlakna,  $f_v$  in  $f_r$  pa sta strižni trdnosti pri strigu v smeri vlaken in pri strigu prečno na vlakna.

$f_m$ ( $\sigma_A^*$ )	$f_{i,90}$ ( $\sigma_T^*$ )	$f_{c,0}$ ( $\sigma_A^*$ )	$f_{c,90}$ ( $\sigma_T^*$ )	$f_v$ ( $\tau_A$ )	$f_r$ ( $\tau_T$ )	$f_{i,0}^{CLT}$ ( $\sigma_A^*$ )	$f_{i,90}^{CLT}$ ( $\sigma_T^*$ )	$f_{c,0}^{CLT}$ ( $\sigma_A^*$ )	$f_{c,90}^{CLT}$ ( $\sigma_T^*$ )	$f_v^{CLT}$ ( $\tau_A$ )	$f_r^{CLT}$ ( $\tau_T$ )
67,94	0,68	44,16	4,93	6,79	6,79	23,78	0,68	35,67	5,10	3,91	1,19

Preglednica 4 • Uporabljene trdnosti; enote so Mpa. V oklepajih so navedene oznake iz (1)–(4)

### 6.3 Mehčanje materiala

Abaqus (2016) razpoko modelira z mehčanjem materiala. Ta se v obravnavani integracijski točki začne, če je izpolnjen vsaj eden od kriterijev (1) in (2). Izpolnitev vsaj enega od kriterijev (3) in (4) pa je znak za začetek mehčanja zaradi tlačnih poškodb. Mehčanje vodijo trije parametri,  $d_f, d_m$  in  $d_s$ , ki med analizo naraščajo od 0 proti 1 in tako kažejo stopnjo poškodovanosti materiala. Z njimi se zmanjšajo začetne vrednosti elastičnih in strižnega modula ter Poissonovih količnikov po naslednjih pravilih:  $E_1 \rightarrow (1 - d_f)E_1, \nu_{21} \rightarrow (1 - d_f)\nu_{21}, E_2 \rightarrow (1 - d_m)E_2, \nu_{12} \rightarrow (1 - d_m)\nu_{12}, G_{12} \rightarrow (1 - d_s)G_{12}$ . Očitno je  $d_f$  povezan s poškodbami vlaken,  $d_m$  pa s poškodbami prečno na vlakna. Če gornje izraze vstavimo v matriko, ki povezuje ravninske specifične deformacije z ravninskimi napetostmi pri ortotropnem materialu (Reddy, 2004), dobimo:

$$C_D = \frac{1}{D} \begin{bmatrix} (1 - d_f)E_1 & (1 - d_f)(1 - d_m)\nu_{21}E_1 & 0 \\ (1 - d_f)(1 - d_m)\nu_{12}E_2 & (1 - d_m)E_2 & 0 \\ 0 & 0 & (1 - d_s)G_{12}D \end{bmatrix}$$

$$D = 1 - (1 - d_f)(1 - d_m)\nu_{12}\nu_{21} \quad (6)$$

Matrika  $C_D$  povezuje napetosti  $\sigma = (\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12})^T$  z deformacijami  $\varepsilon = (\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, 2\varepsilon_{12})^T$ , torej  $\sigma = C_D \varepsilon$ . Če so parametri poškodovanosti različni od 0, matrika  $C_D$  zmanjša togost materiala obravnavane točke. Napetosti, ki se uporabijo v kriterijih (1)–(4), se dodatno povečajo zaradi zmanjšanja površine nepoškodovanega materiala kot

$$\hat{\sigma} = M\sigma, \quad \hat{\sigma} = [\hat{\sigma}_{11}, \hat{\sigma}_{22}, \hat{\sigma}_{12}]^T,$$

$$M = \text{Diag} \left[ (1 - d_f)^{-1}, (1 - d_m)^{-1}, (1 - d_s)^{-1} \right] \quad (7)$$

Parametri poškodovanosti iz (6) se razlikujejo za natezne in tlačne poškodbe, saj velja

$$d_f = \begin{cases} d_f^t & \text{če } \hat{\sigma}_{11} \geq 0 \\ d_f^c & \text{če } \hat{\sigma}_{11} < 0 \end{cases}, \quad d_m = \begin{cases} d_m^t & \text{če } \hat{\sigma}_{22} \geq 0 \\ d_m^c & \text{če } \hat{\sigma}_{22} < 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$d_s = 1 - (1 - d_f^t)(1 - d_f^c)(1 - d_m^t)(1 - d_m^c)$$

Pri tem je  $d_f^t = d_1$  povezan s kriterijem (1),  $d_m^t = d_2$  s kriterijem (2),  $d_f^c = d_3$  s kriterijem (3) in  $d_m^c = d_4$  s kriterijem (4). Trenutno vrednost  $d_i, i = 1, \dots, 4$  se izračuna iz kohezijskega zakona za kriterij (i). Ta definira odnos med napetostmi v razpoki (za  $i = 1, 2$ ) ali »zmečkanini« (za  $i = 3, 4$ ) in razmikom te razpoke oziroma »zmečkanine«. Odnos, ki ga uporablja (Abaqus, 2016), je prikazan na sliki 15. Iz podobnosti trikotnikov lahko vidimo, da velja

$$d_i = \delta_{sq,i}^f (\delta_{sq,i}^f - \delta_{sq,i}^0) / (\delta_{sq,i}^f (\delta_{sq,i}^f - \delta_{sq,i}^0)) \quad (9)$$

kjer je  $\delta_{eq,i}$  trenutni razmik, pomen preostalih oznak iz (8) pa razviden s slike 13. Površina desnega trikotnika na sliki 13 je enaka lomni energiji  $G_f^{(i)}$ , povezani s kriterijem (i). Abaqus (2016) zahteva za vhodni podatek vsoto površin levega in desnega trikotnika na sliki 13. To vsoto bomo označili z  $G_f^{(i)}$ , torej  $G_f^{(i)} = A_{levo}^{(i)} + G_f^{(i)}$ .

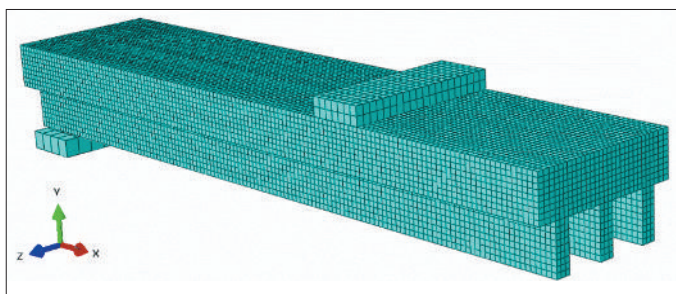
V integracijski točki se med analizo izračunajo specifične deformacije in napetosti, kohezijski zakon s slike 13 pa je podan kot odnos med napetostmi in razmikom (ki ima enote pomika). Zato se za vsak kriterij specifične deformacije »prevede« v razmik  $\delta_{eq,i}$ , napetosti pa v trakcije  $f_{eq,i}$

$$\begin{aligned} \text{za } i = 1: \quad & \delta_{eq,1} = L^C \sqrt{(\varepsilon_{11})^2 + \alpha \varepsilon_{12}^2}, \quad f_{eq,1} = ((\sigma_{11})\varepsilon_{11} + \sigma_{12}\varepsilon_{12}) / (\delta_{eq,1}/L^C), \\ \text{za } i = 2: \quad & \delta_{eq,2} = L^C \sqrt{(\varepsilon_{22})^2 + \varepsilon_{12}^2}, \quad f_{eq,2} = ((\sigma_{22})\varepsilon_{22} + \sigma_{12}\varepsilon_{12}) / (\delta_{eq,2}/L^C), \\ \text{za } i = 3: \quad & \delta_{eq,3} = L^C (-\varepsilon_{11}), \quad f_{eq,3} = ((-\sigma_{11})(-\varepsilon_{11})) / (\delta_{eq,3}/L^C), \\ \text{za } i = 4: \quad & \delta_{eq,4} = L^C \sqrt{(-\varepsilon_{22})^2 + \varepsilon_{12}^2}, \quad f_{eq,4} = ((-\sigma_{22})(-\varepsilon_{22}) + \sigma_{12}\varepsilon_{12}) / (\delta_{eq,4}/L^C) \end{aligned} \quad (10)$$

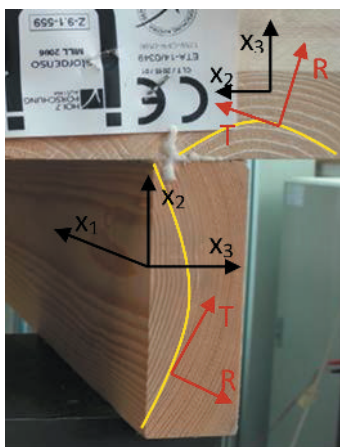
Pri tem se uporabi karakteristična dolžina končnega elementa  $L^C$ . Izračun  $f_{eq,i}$  je potreben samo do točke ( $\delta_{eq,i}^0, f_{eq,i}^0$ ), ki sovpada z izpolnitvijo Hashinovega kriterija (i). Do te točke je  $d_i = 0$ , od tod dalje pa se izračuna z (8). Vse opisano je potrebno, da rezultati analize pri mehčanju postanejo (v veliki mreži) neodvisni od mreže končnih elementov, npr. ((Ibrahimbegović, 2009), (Jukić, 2013)).

Za obravnavani primer ustreza vrednosti  $G_f^{(i)}$  specifična lomna energija za sistem LT ali LR, za obliko I ali II. Za norveško smreko so izmerili  $G_{f,LT,I} = 145 \text{ J/m}^2$  (Dourado, 2008). Vrednosti  $G_f^{(i)}$  ustrežna specifična lomna energija za sistem TL, za obliko I ali II (ter morda tudi za sistem RL, za obliko I ali II). Nekatere izmerjene vrednosti so (v  $\text{J/m}^2$ ):  $G_{f,TL,I} = 230$ ,  $G_{f,RL,I} = 180$ ,  $G_{f,RL,II} = 680$  za smreko (Frühmann, 2010),  $G_{f,TL,I} = 248\text{--}309$  za norveško smreko (Coureau, 2013) in  $G_{f,RL,I} = 260$  (Reiterer, 2000).

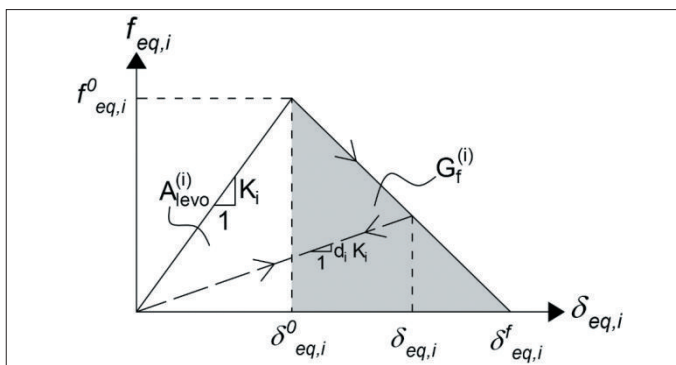
Pri analizi smo uporabili (v  $\text{J/m}^2$ )  $G_f^{(1)} = 1100$ , pri čemer je približna površina levega trikotnika ocenjena na  $A_{levo}^{(1)} \cong 850$  (ta površina se razlikuje od točke do točke) in tako  $G_f^{(1)} \cong 250$ . Nadalje smo uporabili (v  $\text{J/m}^2$ )  $G_f^{(2)} = 700$ , pri čemer je približna površina levega trikotnika  $A_{levo}^{(2)} \cong 2$ , iz česar sledi  $G_f^{(2)} \cong 698$ . Za tlačna kriterija (3) in (4) smo predpostavili  $G_f^{(3)} = G_f^{(4)} = 10000 \text{ J/m}^2$ .



Slika 11 • Mreža končnih elementov



Slika 12 • T, R in koordinate  $x_1, x_2, x_3$  v sloju CLT in rebro

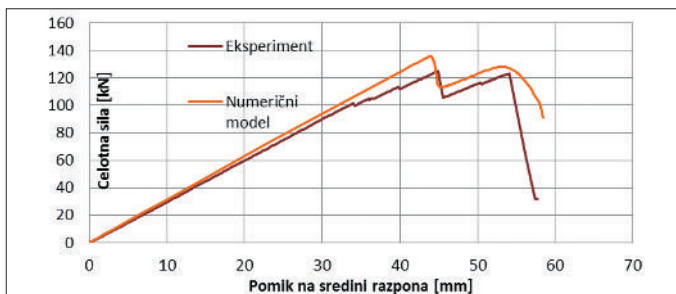


Slika 13 • Kohezijski zakon v razpoki

## 7 • REZULTATI NUMERIČNIH ANALIZ

Za uporabljene trdnosti (preglednica 4) in lomne energije (glej prejšnje poglavje) smo izračunali odziv, ki je zelo podoben tistemu, ki se zgodi v eksperimentu (slika 14). Po odповedi robnega rebra (A na sliki 14) obtežbo prevzameja srednje in drugo robno rebro (B na sliki 14), ki nato odповesta praktično hkrati (C na sliki 14).

Na sliki 15 so vidna mesta poškodb, ki se dobro ujemajo z razpokami pri eksperimentu. Prikazane so strižne poškodbe  $d_s$  (6) (slika 15, A in D), natezne poškodbe prečno na vlakna  $d_m$ , glej (2) in sliko 15 B, ter natezne poškodbe v smeri vlaken  $d_f$ , glej (1) in sliko 15 C. Na sliki 15 C se vidi, da se poškodba v robnem rebro razširi v smeri podpore, kot se je to zgodilo pri eksperimentu.



Slika 14 • Primerjava odziva sila–pomik za eksperiment in numerični model

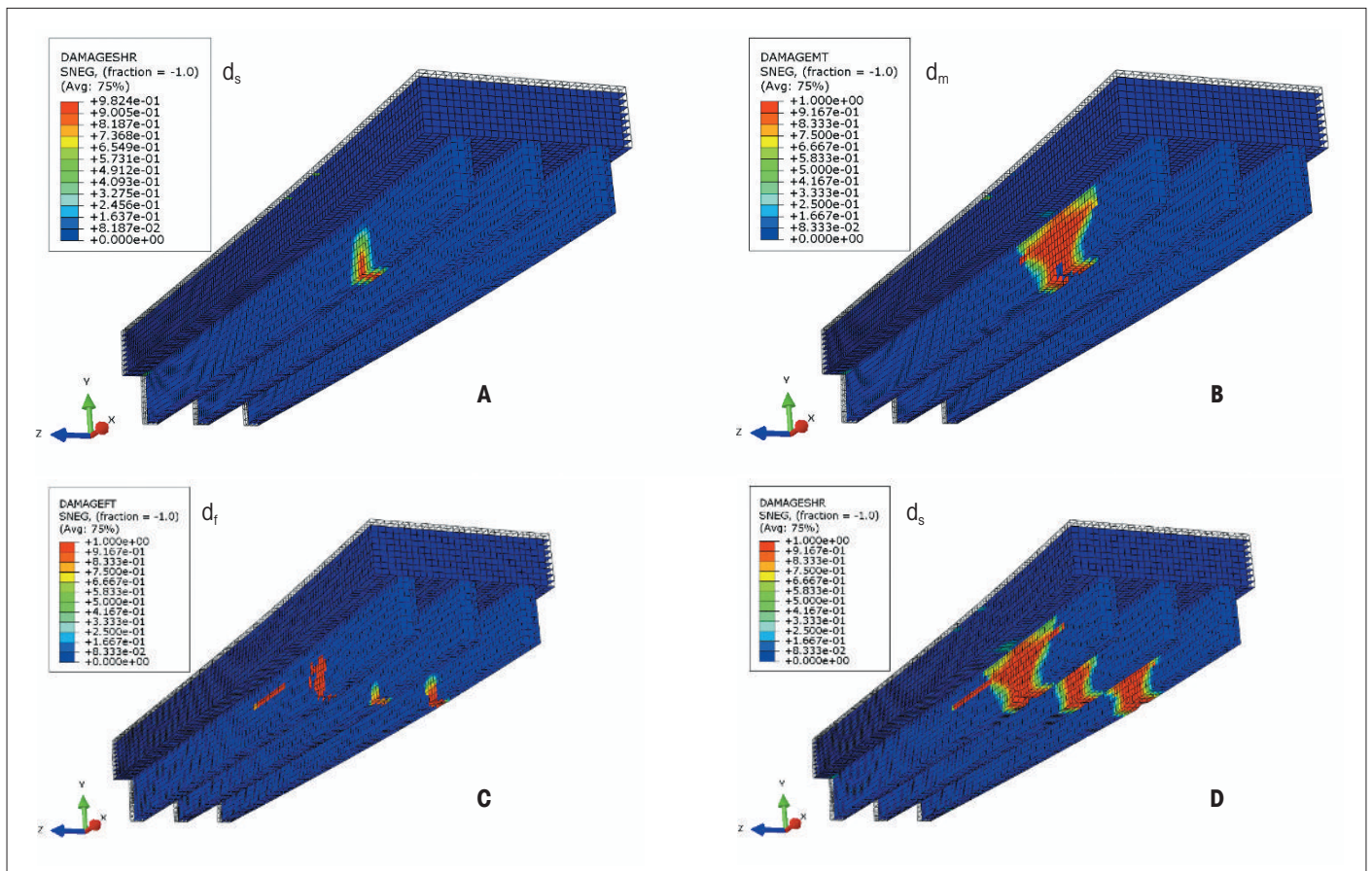
Na sliki 16 (levo) so prikazani rezultati analiz, ki smo jih dobili, če smo spreminjali trdnosti in/ali lomne energije. Vidi se precejšen raztros rezultatov, ki ga primerjamo z raztrosom eksperimentalnih rezultatov eksperimenta za 6 praktično enakih vzorcev (slika 16 desno), ki je kljub enotni klasifikaciji lesa kot C24 izjemno velika.

## 7 • ZAKLJUČEK

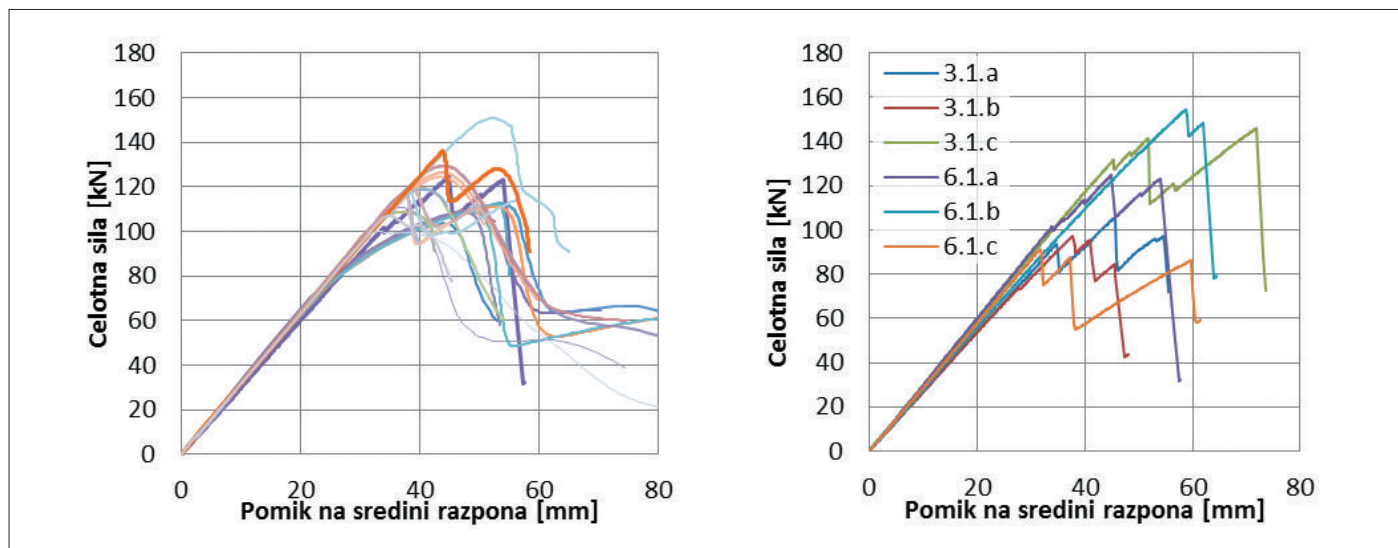
Lesene križno lepljene rebraste plošče so konstrukcijski element, za katerega lahko pričakujemo, da se bo v bližnji prihodnosti proizvajal serijsko z ustreznimi prešami (prototip takšne preše že imajo v podjetju Ledinek). Kot kažejo eksperimenti, na mejno nosilnost takšnih plošč bistveno vplivajo velike razpoke v smeri vlaken v rebrih, ki pa nastanejo v nekem zaporedju, tako da ima plošča še precejšnjo rezervno nosilnost pri nastanku prve večje vzdolžne razpoke v enem od reber. V obravnavanem primeru je bila mejna nosilnost skoraj za 23 % večja od obtežbe, pri kateri je bila večja razpoka. Mehanizem upogibne porušitve obravnavane plošče CLT z rebri je bil praktično enak kot pri lesenem nosilcu. Možne so različne variacije rebrastih plošč CLT glede na debelino in število slojev CLT, debelino reber, višino reber in razdalje med rebri. V članku smo prikazali primer, ko je bila križno lepljena plošča trislojna, debelina sloja je bila 4 cm, razmerje med debelino, širino in osno razdaljo reber pa je bilo

40/130/140 oziroma 0,29/0,93/1. V primeru večjih odstopanj od tega razmerja je mogoče pričakovati tudi spremembe porušnega mehanizma, kar bo preverjeno z nadaljnjimi eksperimentalnimi testi.

Kar se tiče numeričnih simulacij, se je izkazalo, da se s Hashinovi kriteriji nastanka poškodb (skupaj s pripadajočo formulacijo mehčanja poškodovanega materiala) lahko izvede porušna analiza upogibnih lesenih konstrukcijskih elementov. Kljub temu jih ne priporočamo preveč za takšno uporabo, ker so izredno občutljivi za (relativno) majhne spremembe trdnosti, lomne energije in nanos obtežbe. Če pa jih že uporabljamo, jih moramo z veliko previdnostjo ter z zadostnim razumevanjem njihovega fizikalnega ozadja in numerične implementacije. Primernejše se zdijo metode za simulacijo nastanka in širjenja razpok v materialu, npr. (Dujc, 2013), ki pa so za lesene konstrukcijske elemente še slabo razvite.



Slika 15 • Slike poškodb v rebrih



Slika 16 • Raztros rezultatov numeričnih modelov (levo) in eksperimentov (desno)

## 8 • ZAHVALA

Prikazano delo sta finančno omogočila evropska iniciativa Wood-Wisdom-Net Plus ter Ministrstvo za znanost, visoko šolstvo in šport Republike Slovenije. Avtorji se zahvaljujemo dr. Nikolu Zisi in Jaku

Brezočniku, ki sta opravila eksperiment, ter Sari Piculin, ki je naredila prve numerične analize.

## 9 • LITERATURA

Abaqus Manuals, Dassault Systemes, 2016.

Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G., Thiel, A., Cross laminated timber (CLT): overview and development, *Eur. J. Wood Prod.*, 74:331–351, 2016.

Brank, B., Makarovič, M., On non-linear response of polyester tanks: comparison of experimental and numerical results, *Advanced Multilayered and Fibre-Reinforced Composites*, ur. Y. M. Haddad, Kluwer 497–508, 1998.

Brank, B., Perić, D., Damjanić, F. B., On large deformations of thin elasto-plastic shells: implementation of a finite rotation model for quadrilateral shell element, *Int. J. for Numerical Methods in Engineering*, 40:689–726, 1997.

Brank, B., Carrera, E., Multilayered shell finite element with interlaminar continuous shear stresses: A refinement of the Reissner-Mindlin formulation, *Int. J. for Numerical Methods in Engineering*, 48:843–874, 2000.

EN 408:2010+A1:2012 – Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties, 2012.

Coureau, J.-L., Morel, S., Dourado, N., Cohesive zone model and quasibrittle failure of wood: A new light on the adapted specimen geometries for fracture tests, *Engineering Fracture Mechanics*, 109:328–340, 2013.

Dourado, N., Morel, S., de Moura, M. F. S. F., Valentin, G., Morais, J., Comparison of fracture properties of two wood species through cohesive crack simulations, *Composites: Part A*, 39:415–427, 2008.

Dujc, J., Brank, B., Ibrahimbegović, A., Stress-hybrid quadrilateral finite element with embedded strong discontinuity for failure analysis of plane stress solids, *Int. J. for Numerical Methods in Engineering*, 94:1075–1098, 2003.

Frühmann, K., Reiterer, A., Tschegg, E. K., Stanzl-Tschegg, S. S., Fracture characteristics of wood under mode I, mode II and mode III loading, *Philosophical Magazine A*, 82:3289–3298, 2002.

Hashin, Z., Failure Criteria for Unidirectional Fiber Composites, *Journal of Applied Mechanics*, 47:329–334, 1980.

- Hashin, Z., Fatigue Failure Criteria for Unidirectional Fiber Composites, *Journal of Applied Mechanics*, 48:846–852, 1981.
- HCLTP-Hybrid cross laminated timber plates, [www.hclpt.com](http://www.hclpt.com), 2016.
- Ibrahimbegović, A., *Nonlinear solid mechanics*, Springer, 2009.
- Jukić, M., Brank, B., Ibrahimbegović, A., Embedded discontinuity finite element formulation for failure analysis of planar reinforced concrete beams and frames, *Engineering Structures*, 50:115–125, 2013.
- Machek, L., Millitz, H., Sierra-Alvarez, R., The use of an acoustic technique to assess wood decay in laboratory soil-bed tests, *Wood Science and Technology*, 34:467–472, 2001.
- ÖNORM B 1995-1-1: Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings – National specifications for the implementation of ÖNORM EN 1995-1-1, national comments and national supplements, 2015.
- ÖNORM EN 338:2009-10 Structural timber – Strength classes, 2009.
- Reddy, J. N., *Mechanics of laminated composite plates and shells: theory and analysis*, CRC press, 2004.
- Qiu, L. P., Zhu, E. C., van de Kuilen, J. W. G., Modeling crack propagation in wood by extended finite element method, *Eur. J. Wood Prod.*, 72:273–283, 2014.
- Stanić, A., Brank, B., Korelc, J., On path-following methods for structural failure problems, *Comput Mech*, 58:281–306, 2016a.
- Stanić, A., Hudobivnik, B., Brank, B., Economic-design optimization of cross laminated timber plates with ribs, *Composite Structures*, 154:527–537, 2016b.
- Schmidt, J., Kaliske, M., Models for numerical failure analysis of wooden structures, *Engineering structures*, 31:571–579, 2009.
- Šušteršič, I., Brank, B., Dujčič, B., Brezočnik, J., Gavrič, I., Aicher, S., Dill-Langer, G., Winter, W., Fadai, A., Demschnier, T., Ledinek, G., Hybrid cross-laminated timber plates (HCLTP) – numerical optimisation modelling and experimental tests, *Zbornik WCTE 2016*, W. Eberhardsteiner in ost., TUV, 2016.
- Reiterer, A., Stanzi-Tschegg, S. E., Tschegg, E. K., Mode I fracture and acoustic emission of softwood and hardwood, *Wood Science and Technology*, 34:417–430, 2000.
- Zisi, N., Aicher, S., Dill-Langer, G., Testing of specimen 6.1.a, Internal HCLTP report, MPA, 2016.
- WoodWisdom-Net Newsletter, stran 21, [www.woodwisdom.net](http://www.woodwisdom.net), 2015.

# CIKLIČNI PREIZKUSI ARMIRANOBETONSKIH STEBROV

## CYCLIC TESTS OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS

**dr. Miha Kramar, univ. dipl. inž. grad.**

**doc. dr. Matija Gams, univ. dipl. inž. grad.**

**Andrej Anžlin, univ. dipl. inž. grad.**

Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva ulica 12  
1000 Ljubljana

**prof. dr. Matjaž Dolšek, univ. dipl. inž. grad.**

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

**Znanstveni članek**

624.012.35:624.042.7

**Povzetek** | V članku so prikazane eksperimentalne preiskave potresne odpornosti armiranobetonskih stebrov, ki so bile opravljene na Zavodu za gradbeništvo Slovenije (ZAG) z namenom, da se določi vpliv negotovosti oz. razpršenosti materialnih karakteristik in izvedbe na potresni odziv stebrov. Da bi zajeli kar se da veliko virov negotovosti, smo naročili izdelavo 12 stebrov, ki so jih izdelala tri različna podjetja na podlagi istega načrta in nominalno enakih materialov. Poleg materialnih karakteristik smo analizirali vpliv preklopa vzdolžne armature na potresni odziv stebrov. Stebre smo preizkusili s ciklično horizontalno obtežbo, ki smo jo povečevali do porušitve. Raziskave so pokazale, da so med proizvajalci v resnici velike razlike, ki pa so opazne predvsem pri odzivu stebrov po doseženi največji nosilnosti. Največji vpliv na duktilnost ima izvedba armaturnega detajla stremen. Z raziskavo smo potrdili tudi nekatere že znane odvisnosti in opazili, da bi lahko bil pomemben parameter potresne odpornosti tudi lokacija prvega stremena nad temeljem.

**Ključne besede:** armiranobetonski steber, potresni odziv, negotovosti, nosilnost, duktilnost, stremenska armatura

**Summary** | The paper presents an experimental study of seismic resistance of reinforced concrete columns for the purpose of analysing the influence of uncertainty of material characteristics and uncertainty in manufacture. In order to cover all of the considered sources of uncertainty, 12 columns were manufactured in three different companies. The same plan and nominally the same materials were used in the production of the columns. In addition to the material characteristics, the influence of lapping of longitudinal reinforcement on the seismic response of columns was analysed as well. The columns were tested with cyclic horizontal load, which was increased until collapse. The research has shown that there are big differences in the manufacture of the columns, which is observed in the seismic response after reaching the maximum capacity. The biggest influence on the ductility can be attributed to the detailing of the stirrups. The research has also confirmed some already well-known dependences and demonstrated that one of important parameters of the seismic resistance of columns might be the location of the first stirrup above the foundation.

**Keywords:** reinforced concrete column, seismic response, uncertainty, strength, ductility, stirrups

## 1 • UVOD

V skladu s standardom Evrokod 8 (SIST, 2005b) se konstrukcije projektirajo na ciljno potresno nevarnost. Postopki izračuna so deterministični, negotovost vhodnih podatkov in ustrezna zanesljivost v smislu preseganja mejnih stanj pa se upoštevata z vpeljavo različnih projektnih dejavnikov (npr. (Žižmond, 2015)), kamor uvrščamo tudi varnostne dejavnike za mehanske lastnosti materiala. Na prvi pogled se zdi, da je proces razvoja projektiranja pravzaprav končan, vendar hitro lahko uvidimo, da je postopek projektiranja potresno odpornih konstrukcij precej poenostavljen in ne omogoča pridobivanja informacij, s katerimi bi

lahko informirali lastnike o potencialnih izgubah zaradi potresov, ki se lahko pojavijo v predvideni dobi uporabnosti objekta. Kvalitetne informacije o potresnem tveganju bi lahko pridobili že v fazi projektiranja, vendar bi morali uporabiti bolj napredne metode projektiranja (npr. (Lazar Sinković, 2016)), s katerimi eksplicitno simuliramo poškodovanost med potresi, pri čemer, vsaj približno, upoštevamo vpliv negotovosti pri modeliranju in gradnji. Da bi čim bolj natančno upoštevali vpliv negotovosti pri gradnji in vpliv slučajnosti mehanskih lastnosti materiala, smo v okviru temeljnega raziskovalnega projekta Načrtovanje kon-

strukcij na sprejemljivo potresno tveganje z uporabo nelinearnih metod analize (ARRS J2-5461), pri katerem sodelujeta Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo ter Zavod za gradbeništvo Slovenije, opravili serijo eksperimentalnih preiskav na armiranobetonskih stebrih. Preizkusili smo 12 stebrov z značilnim upogibnim obnašanjem. Stebre smo naročili pri treh različnih proizvajalcih. Vsak proizvajalec je izdelal štiri stebre na osnovi enakih načrtov in predpisanega materiala, vendar smo zahtevali, da se beton in jeklo dobavita od različnih ponudnikov na trgu.

V članku so prikazani zasnova eksperimentov, preizkuševališče in merska mesta na preizkušancih. Opisani so glavni rezultati cikličnih preizkusov na stebrih. V zadnjem delu članka so podane ugotovitve raziskave.

## 2 • PROGRAM PREISKAV, PREIZKUŠANCI IN MATERIALI

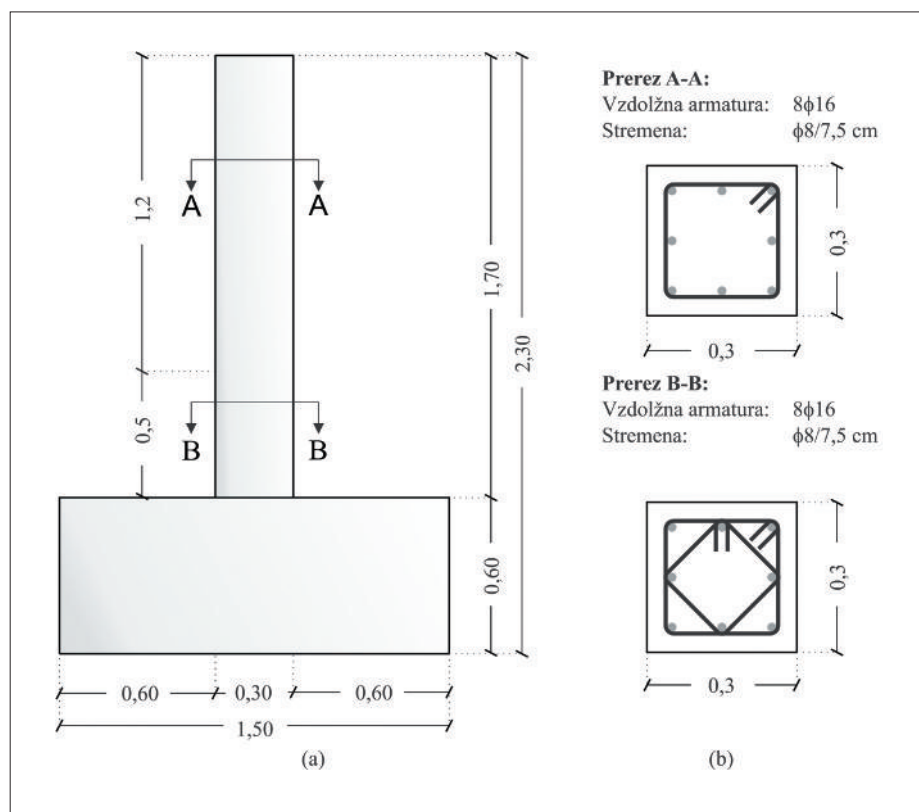
### 2.1 Preizkušanci/izhodišča

Stebre smo načrtovali tako, da dimenzijsko in po nosilnosti ustrezajo tipičnemu steburu v armiranobetonski okvirni konstrukciji. V ta namen smo izbrali stebre z naslednjimi lastnostmi:

- Konzolni steber višine 1,7 m (kar je ekvivalentno obojestransko vpetemu steburu višine 3,4 m)
  - Prečni prezek stebra 30 cm × 30 cm
  - Vzdolžna armatura 8φ16, kar ustreza stopnji armiranja 0,018 (1,8 %)
  - Oblika stremen in razdalja med stremeni ustrezata srednji stopnji duktilnosti oz. DCM po Evrokodu 8 (SIST, 2005b) (slika 1)
  - Beton C30/37
  - Armatura S 500
  - Projektna normirana osna sila v steburu je enaka 0,3 (pripadajoča tlačna osna sila za izbrani prezek in razred betona je 540 kN)
- Osnovne dimenzije in armatura preizkušancev so prikazani na sliki 1.

### 2.2 Matrika preizkušanja

V okviru raziskovalne naloge smo si zadali cilj, da empirično ugotovimo, kakšna sta vpliv negotovosti gradnje in vpliv slučajnosti mehanskih lastnosti materiala na odziv oz. kapaciteto stebrov pri potresni obtežbi. Zato smo naročili izdelavo stebrov pri treh različnih izvajalcih oz. proizvajalcih armiranobetonskih konstrukcijskih elementov. Vsi izvajalci so dobili identične risbe za izdelavo in identične



Slika 1 • Vzdolžni prezek stebra (a) in pripadajoča prečna prereza s prikazom armature (b)

specifikacije uporabljenih materialov, vendar so morali materiale (armaturo in beton) pridobiti od različnih dobaviteljev. Vsak proizvajalec je izdelal 4 stebre. Skupno smo tako preizkusili

12 stebrov. Poleg proizvajalcev in dobaviteljev materiala so se stebri razlikovali še po načinu sidranja vzdolžne armature v temelj. Preklop vzdolžne armature v kritičnih conah po stan-



dardu Evrokod 8 (SIST, 2005b) ni dovoljen. Kljub temu se v praksi pogosto izvajajo, predvsem na stiku stebra s temeljem. V raziskavi smo želeli ugotoviti, kakšen je vpliv tega armaturnega detajla na potresni odziv stebrov. V ta namen smo pri polovici stebrov vzdolžno armaturo sidrali v temelj, pri drugi polovici pa smo v skladu s standardom Evrokod 2 (SIST, 2005a) izvedli preklop vzdolžne armature ob vpetju na dolžini 75 cm. Celotna matrika preizkušanja je prikazana v preglednici 1.

### 2.3 Izmerjene lastnosti materialov

Čeprav so deklarirane karakteristike dobavljenih materialov (betona in armature) enake, se dejanske lastnosti materialov lahko precej razlikujejo. Dejanske lastnosti materialov smo določili s standardnimi enoosnimi preizkusi v laboratoriju ZAG. Tlačno trdnost betona smo določili v skladu s standardom SIST EN 12390-3:2009 (SIST, 2009), lastnosti armature pa smo določili po standardu SIST EN ISO 6892-1:2010 (SIST, 2010). Rezultati vseh preizkusov so zbrani v preglednicah 2 in 3.

Steber	Proizvajalec	Dobavitelj armature	Dobavitelj betona	Preklop
SU-A-1	P1	A1	B1	DA
SU-A-2	P1	A1	B1	DA
SU-A-3	P1	A1	B2	DA
SU-A-4	P1	A1	B2	DA
SU-B-1	P2	A3	B3	DA
SU-B-2	P2	A3	B3	NE
SU-B-3	P2	A4	B3	NE
SU-B-4	P2	A4	B3	DA
SU-C-1	P3	A6	B4	NE
SU-C-2	P3	A5	B6	NE
SU-C-3	P3	A6	B5	NE
SU-C-4	P3	A5	B5	NE

Preglednica 1 • Matrika preizkušenih upogibnih stebrov

Oznaka armature	$\phi$ (mm)	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)	$f_u/f_y$	$\epsilon_y$ (%)	$\epsilon_u$ (%)	$\epsilon_{rupt}$ (%)	$E_s$ (GPa)
A1	16	597,7	689,7	1,15	0,31	6,67	10,4	192
A3	16	545,0	646,3	1,19	0,27	9,62	14,5	198
A4	16	525,0	638,0	1,22	0,26	12,17	20,0	201
A5	16	552,7	642,7	1,16	0,27	9,60	13,0	202
A6	16	543,0	628,7	1,17	0,26	8,63	11,4	207
srednja vrednost	16	552,7	649,1	1,18	0,27	9,34	13,9	200

- $\phi$  ... premer armature  
 $f_y$  ... meja elastičnosti  
 $f_u$  ... natezna trdnost  
 $\epsilon_y$  ... deformacija na meji tečenja  
 $\epsilon_u$  ... mejna deformacija  
 $\epsilon_{rupt}$  ... deformacija pri pretrgu armature  
 $E_s$  ... elastični modul armature

Preglednica 2 • Mehanske lastnosti vzdolžne armature

Vzorec	B1	B2	B3	B4	B5	B6	srednja vrednost
$f_{cm}$ (MPa)	55,9	37,8	32,4	33,0	51,1	33,6	40,6

$f_{cm}$  ... srednja tlačna trdnost betona po 28 dneh

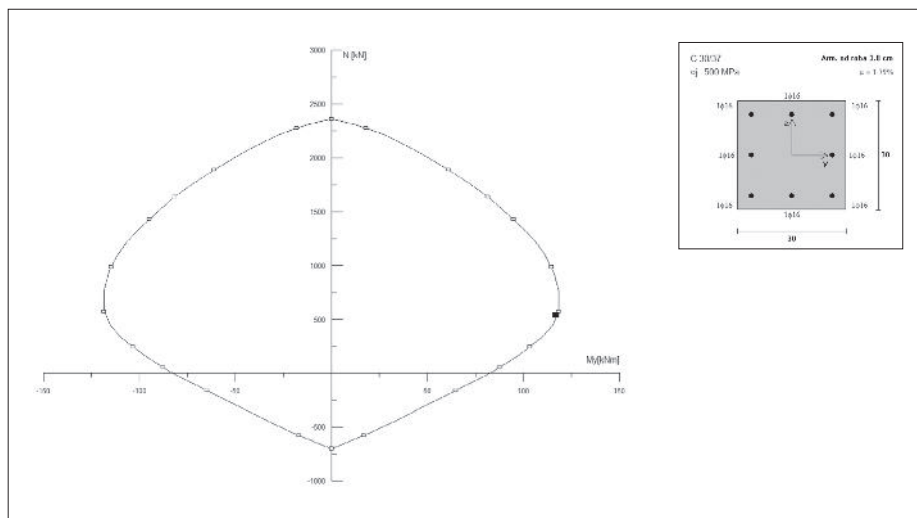
Preglednica 3 • Srednja tlačna trdnost betona (valj 30 x 15 cm) izmerjena po 28 dneh

## 2.4 Račun nosilnosti stebrov

Nosilnost stebrov smo ocenili z analizo prereza, saj se glede na vitkost preizkušancev predvideva upogibna porušitev z razvojem plastičnega členka ob vpetju. Uporabili smo računski model prereza, sestavljenega iz lamel oz. vlaken (t. i. »fiber section«), ki jim pripišemo zveze med napetostjo in deformacijo. V konstitucijskem diagramu betona smo upoštevali povečanje nosilnosti in duktilnosti betona zaradi objeta betonskega prereza s stremeni, kot predlaga Mander (Mander, 1988), za armaturo pa smo predpostavili diagram, ki upošteva področje tečenja in utrjevanja (Chang, 1994). Pri betonu smo upoštevali srednjo tlačno trdnost po Evrokodu 2 (SIST, 2005a) ( $f_{cm} = 38 \text{ MPa}$ ), pri jeklu pa smo srednje vrednosti meje elastičnosti in natezne trdnosti določili po priporočilih Evrokoda 8-2 (SIST, 2006) ( $f_{ym} = 575 \text{ MPa}$ ,  $f_{um} = 690 \text{ MPa}$ ). Vrednosti, ki smo jih uporabili v računu, nekoliko odstopajo od srednjih vrednosti, ki smo jih izmerili (glej preglednici 2 in 3). Rezultat računske analize je krivulja odvisnosti upogibne odpornosti (momenta) od ukrivljenosti prereza do mejnega stanja, ko je presežena tlačna trdnost objetega betona. Vse analize smo opravili v programu OpenSees (Open-

Sees, 2016). Na podlagi privzetega modela in vhodnih podatkov smo upogibno nosilnost prereza (pri tlačni sili 540 kN) ocenili na ca. **160 kNm**. Ekvivalentna vodoravna sila v batu (ob upoštevanju prijemališča sile na višini 1,85 m) znaša **86 kN**. Ker želimo kasneje določiti tudi faktor dodane nosilnosti stebrov, s programom DIAS (DIAS-P,

1993) izračunamo projektno nosilnost stebra ob upoštevanju projektnih karakteristik materiala in poenostavljenih diagramov napetost–deformacija. Pri izbrani stopnji tlačne obremenitve znaša projektna nosilnost prereza **117 kNm**, kar je ekvivalentno sili v batu **63 kN**. Interakcijski diagram prereza je prikazan na sliki 2.



Slika 2 • Interakcijski diagram prereza (izračunan s programom DIAS). Črna pika označuje nosilnost pri izbrani stopnji tlačne obremenitve

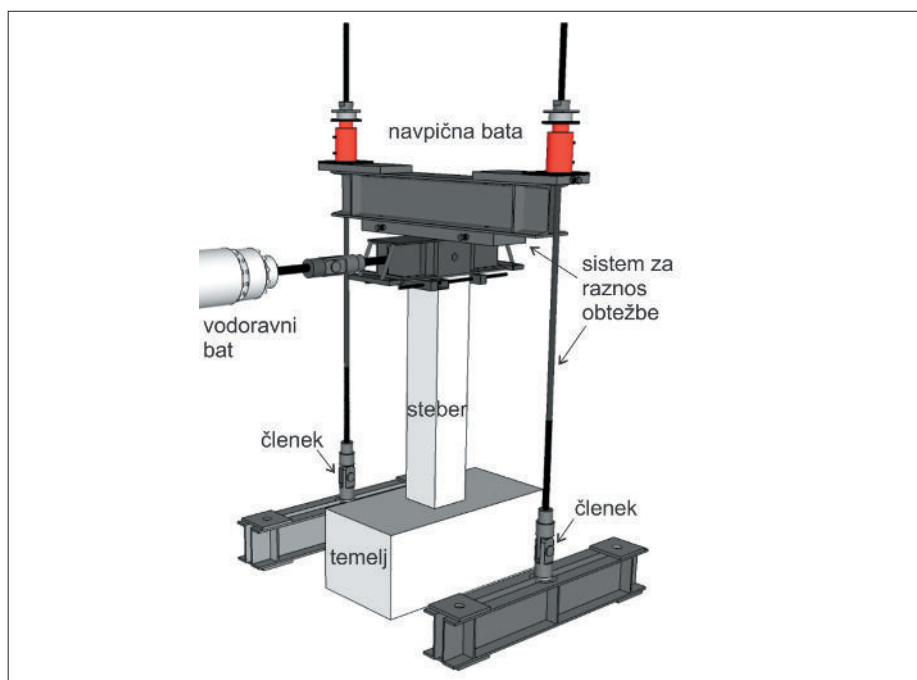
## 3 • ZASNOVA PREISKAV

### 3.1 Preizkuševališče

Za preiskave stebrov je bilo postavljeno preizkuševališče iz jeklenega okvirja, ki je služil kot opora za hidravlični bat, s katerim smo na steber vnašali vodoravno obtežbo (slika 3). Vnos vodoravne sile na steber je potekal preko jeklenega nosilca, pritrjenega na vrhu stebra. Prijemališče vodoravne sile je bilo na višini 1,85 m. Za vnos navpične sile na steber je bila na stebri nameščena še dodatna jeklena konstrukcija, na kateri sta bila postavljena dva manjša hidravlična bata (slika 3), ki sta bila z jeklenimi palicami povezana s temeljem. Priključek teh palic v temelj je bil členkast, kar je zagotavljalo konstantno tlačno silo v stebri. Temelj preizkušancev je bil predimenzioniran in zasnovan tako, da smo ga z vijaki lahko pritrčili na tla temelja v laboratoriju.

### 3.2 Meritve in zajemanje podatkov

Med preiskavami smo beležili vodoravno silo oz. obremenitev na steber ter tlačno silo v stebri. Hkrati smo z induktivnim merilnikom



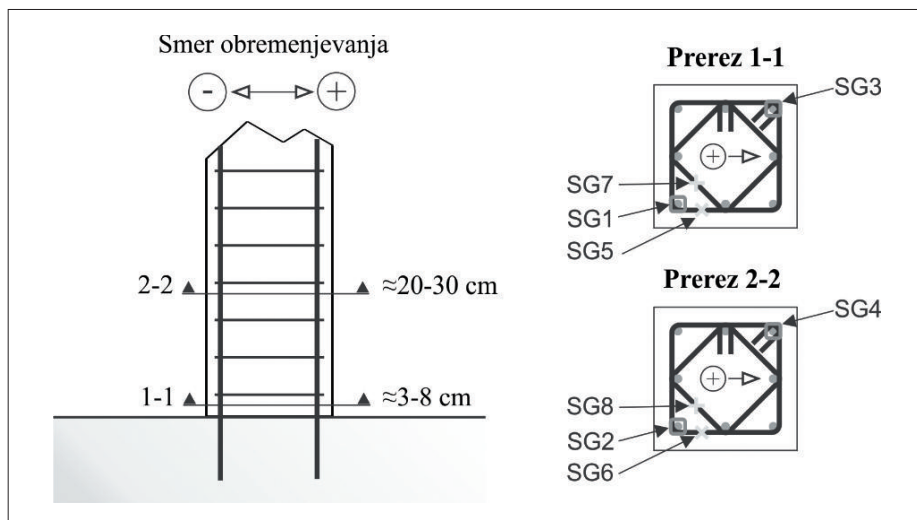
Slika 3 • Shema preizkuševališča

merili vodoravni pomik na vrhu stebra (tj. na višini 1,5 m od vpetja). Stebri so bili opremljeni tudi z merilnimi lističi za merjenje deformacij v armaturnih palicah (lokacije lističev so prikazane na sliki 4). Pomike oz. deformacije na celotni površini stebra smo dodatno merili z optičnim sistemom GOM.

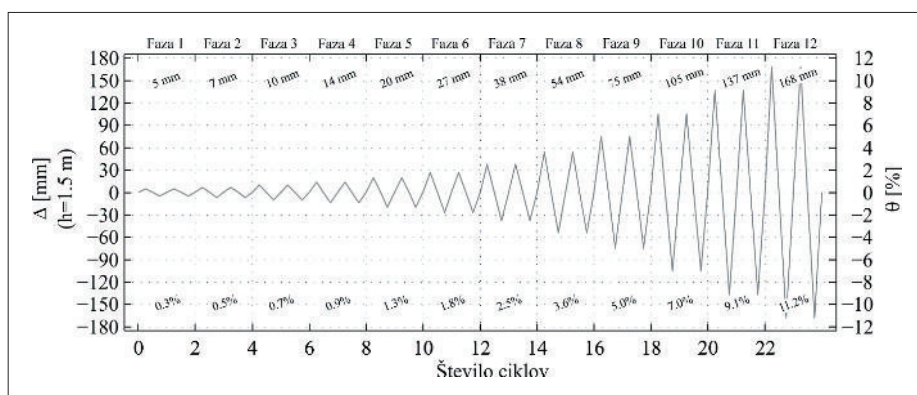
### 3.3 Postopek preizkušanja

Stebre smo najprej obremenili s tlačno silo velikosti 540 kN, ki smo jo vzdrževali na enaki vrednosti pri celotnem preizkusu. Sledilo je ciklično obremenjevanje v vodoravni smeri, s čimer smo simulirali potresno obtežbo. V cikličnem testu smo spreminjali (kontrolirali) pomik na vrhu stebra po protokolu, ki ga predlaga FEMA 461 (FEMA, 2007). Protokol je sestavljen iz več faz. V vsaki fazi sta dva zaporedna cikla z enakim nivojem amplitude. V začetnih fazah (do ocenjenega mejnega stanja preizkušanca  $\Delta_m$ ) se amplituda povečuje s faktorjem 1,4. V nadaljevanju amplitudo povečujemo za vrednost  $0,3 \Delta_m$ , dokler ne dosežemo porušitve. Tako približno simuliramo potres oziroma njegov vpliv na betonske stebre, saj je protokol izdelan na podlagi študij potresnega vzbujanja in zajame njegove ključne karakteristike (število ciklov do porušitve, razmerje med močnimi in šibkejšimi sunki ipd.).

Na sliki 5 je prikazano spreminjanje vodoravnega pomika oz. zasuka po ciklih. Enak protokol smo uporabili pri vseh preizkusih.



Slika 4 • Lokacije merilnih lističev na vzdolžni armaturi in stremenih



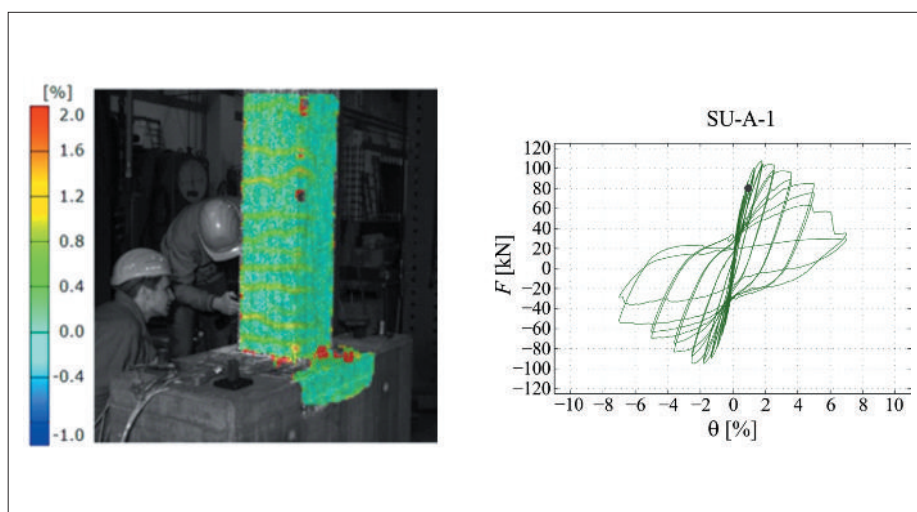
Slika 5 • Protokol obremenjevanja

## 4 • REZULTATI PREISKAV IN GLAVNE UGOTOVITVE

### 4.1 Ciklični odziv stebrov – opažanja

Na sliki 6 je prikazan tipičen ciklični odziv stebra do porušitve (histereza predstavlja krivuljo odvisnosti med vodoravno silo in zasukom stebra). Po predvidevanjih je bilo obnašanje stebrov izrazito upogibno. V 1. in 2. fazi ( $\theta \leq 0,5\%$ ) je bil odziv stebrov večinoma elastičen. V 3. oz. 4. fazi ( $\theta = 0,7-0,9\%$ ) so se na površini stebrov pojavile prve razpoke in posledično se je zmanjšala tudi togost. To stanje je za steber SU-A-1 prikazano na sliki 6.

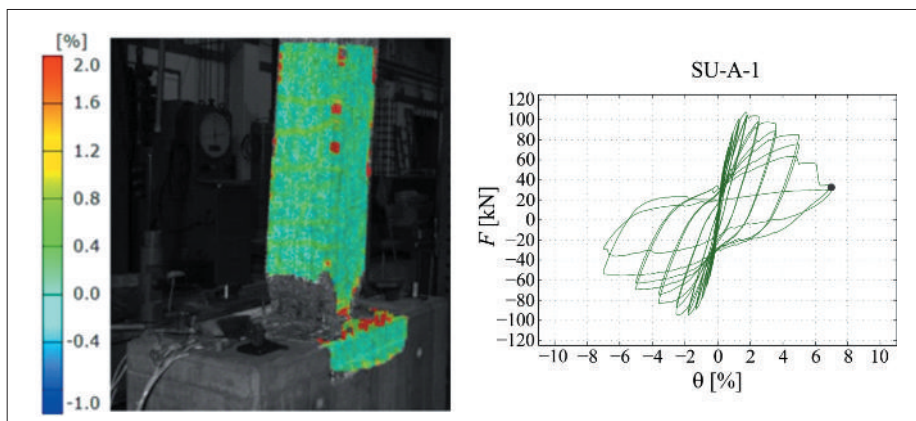
Med 5. in 6. fazo ( $\theta = 1,3-1,8\%$ ) se je začela plastificirati armatura, kar smo zaznali iz merilnih lističev. V 7. oz. 8. fazi ( $\theta = 2,5-3,6\%$ ) se je zunanji (neobjeti) beton ob vpetju začel luščiti. Tik pred tem smo običajno izmerili največjo nosilnost stebra. Sledili so uklon vzdolžne armature, padanje



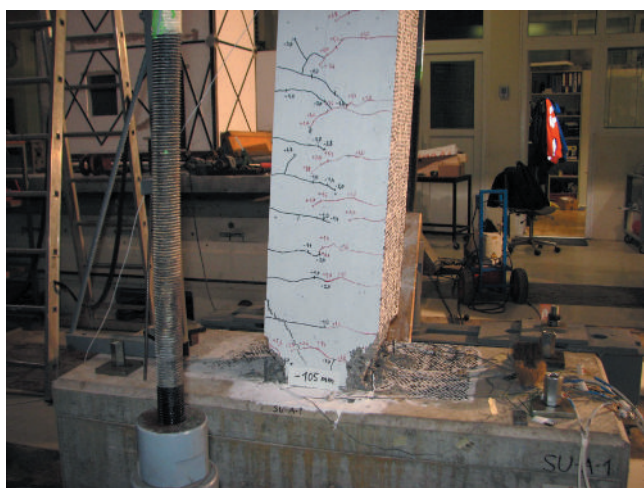
Slika 6 • Steber SU-A-1 v mejnem stanju razpokanosti. Levo so rezultati optičnega sistema (barvna skala prikazuje največje glavne deformacije), desno pa je to stanje prikazano na histerezi

nosilnosti, odpiranje stremen in ne nazadnje pretrg posameznih vzdolžnih palic. Porušeni stebri pri 7 % zasuka je prikazan na slikah 7 in 8.

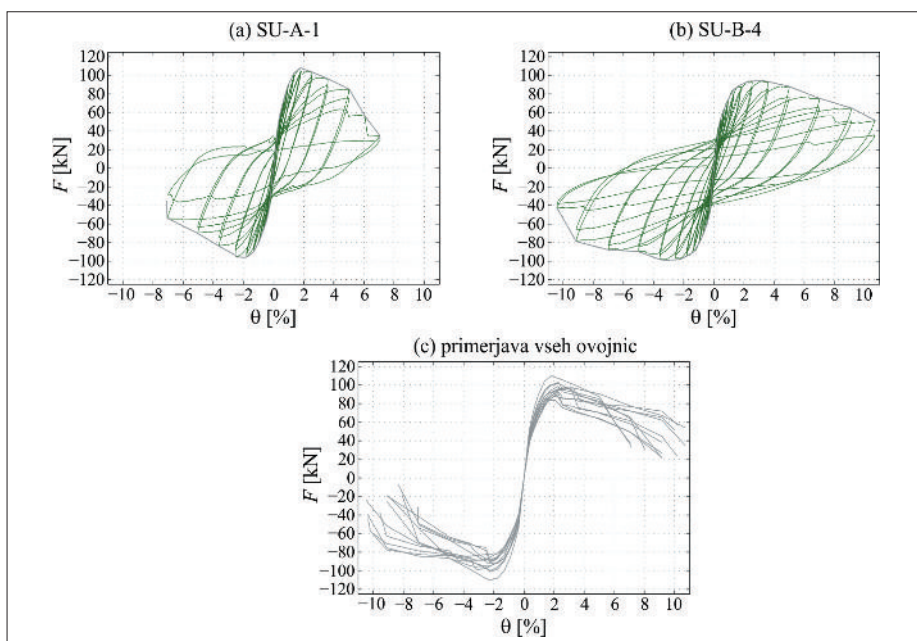
Na sliki 9 so prikazane ovojnice odzivov vseh stebrov. Vidimo, da so razlike v nosilnostih relativno majhne (največja razlika v izmerjeni nosilnosti znaša 20 %), rezultati pa se precej razlikujejo v t. i. postkritičnem območju (tj. po doseženi največji nosilnosti). Razlika je predvsem v velikosti mejne deformacije oz. duktilnosti, ki je posledica izvedbe detajlov armature (glej poglavje 4.4). Mejni zasuk pri 20-% padcu nosilnosti tako variira med 3,5 % in 7,2 %, amplitudni zasuk faze ob pretrgu palice pa med 6,6 in 10,7 %.



Slika 7 • Porušeni stebri SU-A-1. Levo so rezultati optičnega sistema (barvna skala prikazuje največje glavne deformacije), desno pa je to stanje prikazano na histerezi



Slika 8 • Pogled na stebri SU-A-1 pri 7-% zasuku (levo) in pogled na vpetje z vidno pretrganimi armaturnimi palicami (desno)



Slika 9 • Značilen histerezni (vodoravna sila-zasuk) odziv stebra z nizko duktilnostjo (a) in z visoko duktilnostjo (b). Primerjava vseh ovojnic odziva je na sliki (c)

#### 4.2 Primerjava dejanske in računske nosilnosti

V preglednici 4 sta prikazana največja izmerjena sila v batu v obeh smereh obremenjevanja ( $F_{max}$ ,  $F_{max}^+$ ) in povprečne nosilnosti v obeh smereh ( $F_{max}$ ). Podana so tudi odstopanja izmerjenih vrednosti od srednje računske nosilnosti, ki smo jo ocenili v poglavju 2.4. Vidimo, da smo z računskim postopkom razmeroma dobro ocenili največjo nosilnost stebrov, saj odstopanje od izmerjenih vrednosti v povprečju znaša 12 %. Če pa izmerjene vrednosti primerjamo z računsko projektno nosilnostjo stebra, ugotovimo, da faktor dodatne nosilnosti v povprečju znaša 1,5.

### 4.3 Vpliv materialnih karakteristik

Na podlagi zbranih rezultatov smo preverili povezanost med materialnimi karakteristikami in odzivom stebrov z linearno regresijsko analizo. Velikost linearne povezanosti smo ocenili s Pearsonovim koeficientom korelacije (Benjamin, 1970). Rezultati so potrdili nekatere pričakovane povezave med spremenljivkami. Tako je bila npr. potrjena zmerna povezanost med mejno deformacijo armature  $\varepsilon_u$  in mejnim zasukom stebra  $\theta_{u,0.65}$  (slika 10) ter povezanost med mejo elastičnosti armature  $f_y$  in nosilnostjo stebra  $F_{max}$  (slika 11).

\* $\theta_{u,0.65}$  predstavlja zasuk pri 65 % preostale nosilnosti (oz. zasuk pri 35-% padcu nosilnosti). To količino smo izbrali zato, ker predstavlja zasuk v območju, ko je že močno presežena nosilnost stebra in kjer pridejo do izraza detajli, povezani z duktilnostjo. Po drugi strani je to največji zasuk, ki ga še lahko odčitamo v vseh histerezah.

### 4.4 Vpliv stremen

Čeprav so bile risbe stebrov v vseh primerih enake, pa je le en proizvajalec, ki je izdelal 4 stebre, natančno upošteval navodila (in predpise: Evrokod 8 (SIST, 2005b)) in stremena zaključil s kljukami pod kotom 135° (slika 12a). V vseh drugih primerih (8 stebrov) so bila stremena zaključena s kljukami pod kotom 90° (slika 12b).

Poleg detajla stremen s kljukami so se stebri razlikovali tudi glede na dejansko razdaljo med stremeni in glede na položaj stremen po višini. Na sliki 13 so označene razdalje med stremeni ( $s_0$ ,  $s_1$ ,  $s_2$ ) v kritičnem območju stebra, ki smo jih izmerili za vsak steber posebej po opravljenem eksperimentu. Vrednosti teh razdalj so navedene v poročilu (Anžlin, 2016).

Preizkušane	$F_{max}^-$ (kN)	$F_{max}^+$ (kN)	$F_{max}$ (kN)	$\delta_1$ (%)*	$\delta_2$ (%)**
SU-A-1	-95,2	107,6	101,4	18	61
SU-A-2	-113,8	100	106,9	24	70
SU-A-3	-102,9	95,8	99,35	16	58
SU-A-4	-104,3	86,1	95,2	11	51
SU-B-1	-87,5	99	93,25	8	48
SU-B-2	-93,4	94,1	93,75	9	49
SU-B-3	-91,5	89,8	90,65	5	44
SU-B-4	-98,9	94	96,45	12	53
SU-C-1	-92,8	88	90,4	5	43
SU-C-2	-92,1	86,5	89,3	4	42
SU-C-3	-101,9	95,2	98,55	15	56
SU-C-4	-95,2	107,6	101,4	18	61
Sr. vrednost	-97,5	95,3	96,4	12,1	53,0
Std. deviacija	7,2	7,3	5,3	6,2	8,4

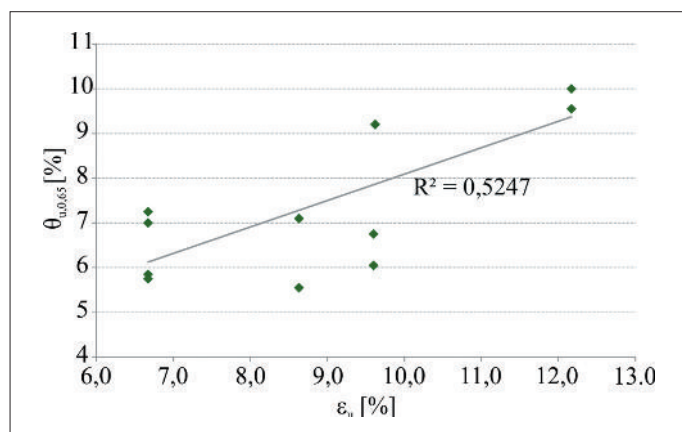
Preglednica 4 • Največja izmerjena sila v batu ( $F_{max}$ ) ter odstopanje od srednje računске ( $\delta_1$ ) in projektnе nosilnosti ( $\delta_2$ )

$$\delta_1 = \left( \frac{F_{max}}{F_{rat,max}} - 1 \right) \times 100; F_{rat,max} = 94 \text{ kN}$$

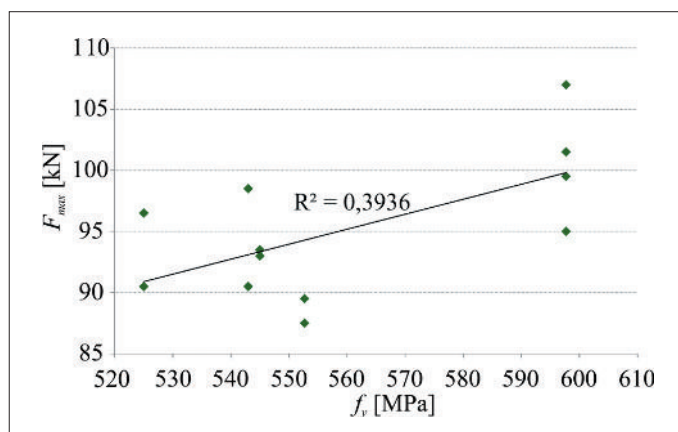
$$\delta_2 = \left( \frac{F_{max}}{F_d} - 1 \right) \times 100; F_d = 63 \text{ kN}$$

V nadaljevanju smo želeli ugotoviti korelacijo med razdaljo  $s_1$  in mejnim zasukom  $\theta_{u,0.65}$ . Poleg tega smo preučevali vpliv lokacije prvega stremena v stebri, pri čemer smo upoštevali, da je prvo streme lahko postavljeno tudi v temelju. V tem primeru je razdalja prvega

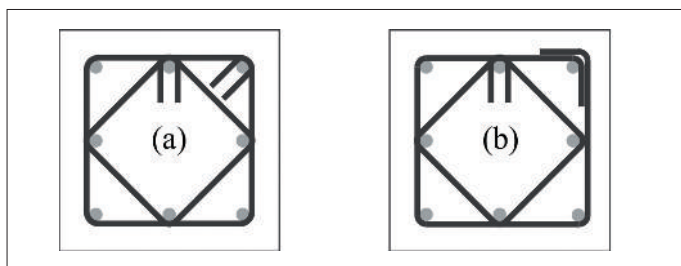
stremena glede na zgornjo koto temelja ( $s_0$ , slika 13 desno) negativna. Povezanost  $s_0$  in  $s_1$  z  $\theta_{u,0.65}$  smo ponovno preverili z linearno regresijsko analizo, v kateri smo stopnjo linearne povezanosti ocenili s Pearsonovim koeficientom korelacije.



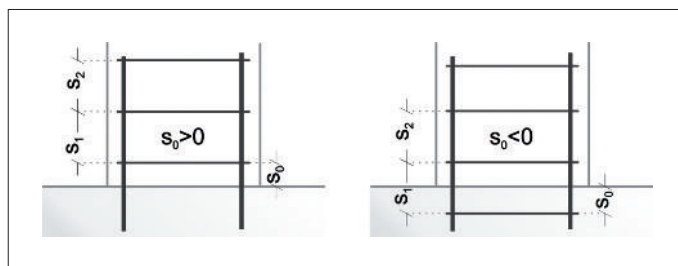
Slika 10 • Linearna povezanost med mejno deformacijo armature in mejnim zasukom stebra



Slika 11 • Linearna povezanost med mejo elastičnosti armature in največjo nosilnostjo stebra



Slika 12 • Varianti izvedenih detajlov stremen s kljukami

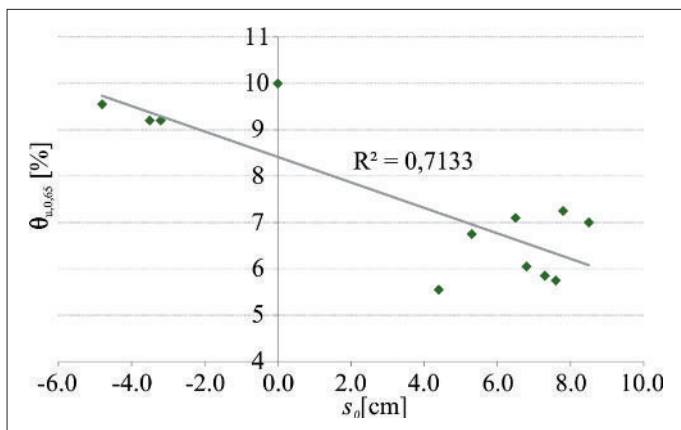


Slika 13 • Razdalje med stremeni

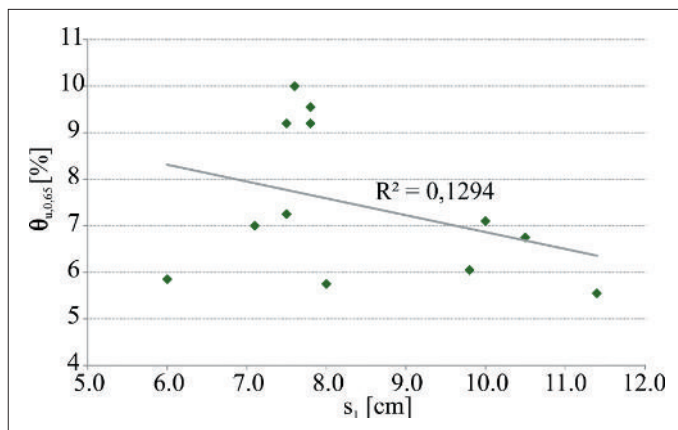
Rezultati so potrdili negativno korelacijo med razdaljami  $s_0$ ,  $s_1$  in mejnim zasukom  $\theta_{u,0.65}$ . Pri tem smo ugotovili, da je povezava najmočnejša pri razdalji  $s_0$  (slika 14). Iz tega sledi, da na mejni zasuk stebra ne vplivajo le stremena nad zgornjo koto temelja, temveč tudi stremena, ki so pod vpetjem stebra. Ugotovitve je zanimiva, vendar moramo biti pri

podajanju zaključkov previdni. Stebri z negativnimi vrednostmi  $s_0$  imajo namreč hkrati stremena zaključena s kljukami pod kotom  $135^\circ$ , kar je tudi lahko razlog za povečano duktilnost, kot smo pokazali v nadaljevanju (slika 16). Korelacija med mejnim zasukom in razdaljo  $s_1$  je majhna (slika 15), kar je verjetno posledica

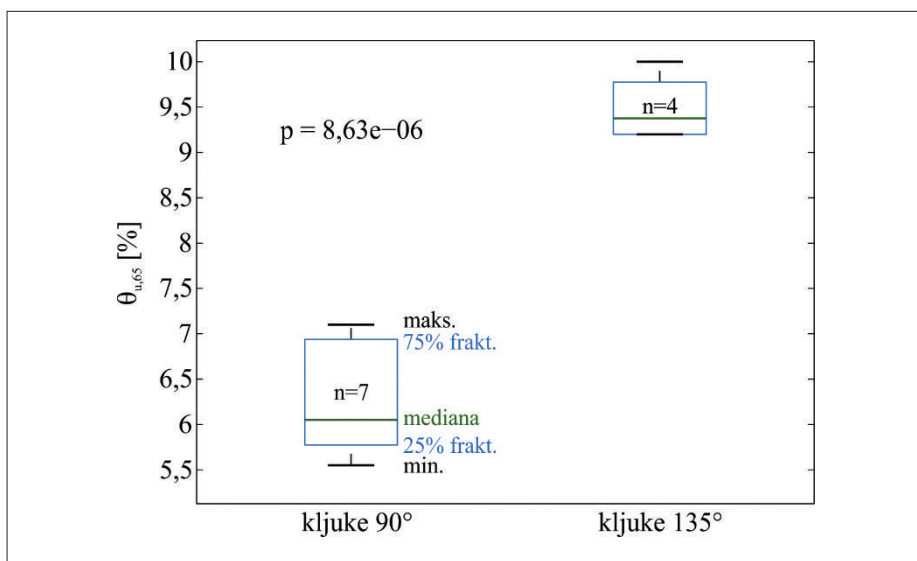
precej kratkih razdalj med stremeni v vseh primerih. Podobno kot v zgornjem primeru smo želeli ugotoviti stopnjo povezanosti med detajli kljuk in duktilnostjo stebrov. Detajlov številčno ne moremo ovrednotiti, zato smo povezanost preverili z analizo variance (metoda ANOVA). V ta namen smo stebre razdelili v 2 skupini



Slika 14 • Izmerjeni mejni zasuki stebrov in linearna povezanost mere  $s_0$  z mejnim zasukom stebra (močna povezanost)



Slika 15 • Izmerjeni mejni zasuki stebrov in linearna povezanost mere  $s_1$  z mejnim zasukom stebra (šibka povezanost)



Slika 16 • Mejni zasuk stebrov v odvisnosti od detajla kljuk. Moder pravokotnik prikazuje interval med 25%- in 75% fraktilo, zelena črta je mediana, črni črti sta ekstremni točki

glede na izvedbo detajla (slika 12). Rezultat analize je parameter  $p$ , ki predstavlja verjetnost, da so skupine le naključni vzorci populacije. Majhna vrednost  $p$  torej določa značilno korelacijo (tj. majhno verjetnost, da je korelacija naključna). Kot je prikazano na sliki 16, rezultati kažejo značilno korelacijo med mejnim zasukom in izvedbo detajla.

#### 4.5 Vpliv preklopa vzdolžne armature

Enako kot v primeru detajlov kljuk stremen smo z analizo variance želeli preveriti povezavo med preklpom vzdolžne armature ter nosilnostjo in duktilnostjo stebrov. V tem primeru so rezultati presenetljivi, saj preizkusi niso potrdili zmanjšanja nosilnosti stebrov zaradi izvedbe preklopa vzdolžne armature po standardu Evrokod 8 (SIST, 2005b). Prav tako nismo zaznali zmanjšanja duktilnosti zaradi preklopa armature v primerjavi s stebri z neprekinjeno vzdolžno armaturo.

## 5 • SKLEP

Opravili smo preiskavo potresnega odziva 12 armiranobetonskih stebrov, ki so jih izdelala tri različna podjetja na podlagi istega načrta in nominalno enakih materialov. Z raziskavo smo kvantificirali vpliv negotovosti/nedoslednosti pri gradnji in vpliv slučajnosti mehanskih lastnosti materiala na nosilnost in mejni zasuk armiranobetonskih stebrov.

Razlike v nosilnost obravnavanih stebrov so bile sorazmerno majhne (koeficient variacije 5,5 %). Največja razlika v odstotkih izmerjenih nosilnosti znaša 20 %. Ne glede na razlike v izmerjeni nosilnosti stebrov je bila računsko določena nosilnost na osnovi ocenjenih srednjih vrednosti mehanskih lastnosti materiala

za približno 12 % manjša v primerjavi z nosilnostjo, ki smo jo izmerili v eksperimentih. Na podlagi teh podatkov bi lahko sklepali, da je račun nosilnosti na nivoju analize prereza bolj na varni strani.

Raziskave so pokazale, da so med proizvajalci v resnici velike razlike, ki pa so opazne šele v odzivu stebrov po doseženi največji nosilnosti – razlika v odstotkih med največjim in najmanjšim zasukom na meji porušitve znaša 60 %. Izkaže se, da ima izvedba armaturnega detajla stremen največji vpliv na mejni zasuk stebrov. Ker so deformacije v postkritičnem območju dovoljene v primeru močnih potresov, lahko porušitev objekta preprečimo le z ust-

rezno načrtovanim mejnim zasukom pri stanju blizu porušitve, kar pa se pri konvencionalnem projektiranju eksplicitno ne preverja. Dovolj je, da projektant dokazuje nosilnost elementov. Ravno zaradi tega je še toliko bolj pomembno, da se na gradbišču opravi ustrezen nadzor, ki preverja ustreznost armaturnih detajlov (npr. izvedba kljuk pod kotom 135°), ki imajo bistven vpliv na mejni zasuk pri stanju blizu porušitve. Z raziskavo smo potrdili nekatere znane odvisnosti (npr. nosilnosti od kvalitete jekla) ter opazili, da bi lahko bil pomemben parameter potresne odpornosti tudi lokacija prvega stremena nad temeljem. Rezultati kažejo, da imajo najboljše postkritični odziv stebri, pri katerih je prvo streme vgrajeno čim bližje temelju oz. celo v temelj. Ker pa je bilo število vzorcev v raziskavi majhno, bi morali za dokončno potrditev te trditve opraviti dodatne preiskave.

## 6 • ZAHVALA

Prispevek je del raziskovalnega projekta Načrtovanje konstrukcij na sprejemljivo po-

tresno tveganje z uporabo nelinearnih metod analize (J2-5461), ki ga financira Javna agen-

cija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije. Za podporo se iskreno zahvaljujemo.

## 7 • LITERATURA

- Anžlin, A., Lajkovič, G., Gams, M., Kramar, M., Poročilo o preizkusih armiranobetonskih stebrov za ARRS projekt J2-5461, poročilo P 970/13-610-1, Zavod za gradbeništvo Slovenije, Ljubljana, 2016.
- Benjamin, J., Cornell, C., Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers, McGraw-Hill, New York, 1970.
- SIST, SIST EN 1992-1-1, Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe, SIST, Ljubljana, 2005a.
- SIST, SIST EN 1998-1, Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, SIST, Ljubljana, 2005b.
- SIST, SIST EN 1998-2, Evrokod 8: Projektiranje konstrukcij na potresnih območjih – 2.del: Mostovi, SIST, Ljubljana, 2006.
- Chang, G., Mander, J., Seismic Energy Based Fatigue Damage Analysis of Bridge Columns: Part I – Evaluation of Seismic Capacity, NCEER Technical Report 94-0006, University of Buffalo, Buffalo, 1994.
- DIAS-P, Program za dimenzioniranje armiranobetonskih prerezov, FGG, IKPIR, Ljubljana, 1993.
- FEMA, FEMA 461, Interim Protocols for Determining Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components through Laboratory Testing, Applied Technology Council, Redwood City, California, 2007.
- Lazar Sinković, N., Brozovič, M., Dolšek, M., Risk-based seismic design for collapse safety, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 45, No. 9, pp. 1451-1471, 2016.
- Mander, J., Priestley, M., Park, P., Theoretical stress-strain model for confined concrete, ASCE J Struct Eng, Vol. 114, No. 8, pp. 1804-1826, 1988.
- OpenSees, Open System for Earthquake Engineering Simulation, <http://opensees.berkeley.edu/>, pridobljeno 14. 6. 2016, 2016.
- SIST, SIST EN 12390-3:2009, Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens, SIST, Ljubljana, 2009.
- SIST, SIST EN ISO 6892-1:2010, Kovinski materiali – Natezni preskus – 1. del: Metoda preskušanja pri sobni temperaturi, SIST, Ljubljana, 2010.
- Žižmond, J., Dolšek, M., Evaluation of factors influencing the earthquake-resistant design of reinforced concrete frames according to Eurocode 8, Structure and Infrastructure Engineering, vol. 12, No. 10, pp. 1323–1341, 2015.



## SLOVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠČITO VODA

# VODNI DNEVI 2016

Slovensko društvo za zaščito voda je že 22. leto zapored organiziralo mednarodni strokovni simpozij Vodni dnevi, ki je potekal 13. in 14. oktobra v kongresnem centru Olimia v Podčetrtku. Osrednji temi letošnjega strokovnega posveta sta bili voda in meritve, ki se izvajajo na področju oskrbe s pitno vodo, odvajanja in čiščenja odpadne vode, upravljanja voda in širšega varstva ter spremljanja vodnega okolja. Domači in tuji predavatelji iz vrst raziskovalnih institucij, državnih organov, univerz in upravljavcev čistilnih naprav so o pomenu in namenu meritev, njihove smiselne rabe ter ukrepov in izboljšav spregovorili tudi na okroglih mizah in v razpravah, ki so sledile predavanjem. Simpozij je tako poleg rešitev in odgovorov na vprašanja, zakaj so meritve potrebne, kako vrednotiti rezultate meritev in monitoringa stanja voda, ponudil tudi smernice, kako za izboljšanje stanja v prihodnje ustrezno ukrepati, obenem pa začrtal nadaljnje delo društva in strokovnjakov, ki se ukvarjajo z zaščito voda.

Na simpoziju, ki je obsegal pet tematskih sklopov, so bili predstavljeni številni praktični primeri uporabe rezultatov meritev za spremembo vodenja procesov priprave pitne vode, odvajanja in čiščenja odpadne vode, kot tudi odločitev pri ravnanju z vodami. **Najpomembnejše je bilo vprašanje, ali so izvedeni ukrepi zaščitni in varovanja vodnega okolja in pitnih voda rezultat kakovostnih meritev.**

### Obratovalni monitoring in 'onesnaževalec plača'

Predstavniki EWA, DWA in ARSO so si bili v svojih predstavvah enotni, da se letno izvede

kar precejšnje število meritev. Evropskemu in nemškemu združenju za vodo ter Agenciji RS za okolje je skupna vsestranska zaščita voda ob uveljavljeni, dokaj strogi zakonodaji, vendar pa ne delijo enotnega prepričanja, da izvedene meritve (razen pri rednem obratovalnem monitoringu velikih sistemov) ustrezajo oziroma odražajo dejansko stanje. Upravljalci čistilnih naprav so namreč opozorili, da meritve obratovalnega monitoringa nujno ne odražajo pravega stanja, saj imajo same meritve določene posledice, kot so obiski inšpekcije ter plačevanje višje okoljske dajatve in višje cene čiščenja odpadne vode. Probleme je zaznati zlasti pri manjših upravljalcih, kjer lahko prihaja do konflikta interesov zaradi majhnega števila meritev na leto. Kot plačnik storitev lahko namreč onesnaževalec, ki je v neposrednem pogodbenem odnosu s svojim pooblaščenim izvajalcem monitoringa, nanj izvaja določene pritiske in pogojuje izvedbo meritev v času, ko so razmere za vzorčenje zanj optimalne. Zaradi predolgih birokratskih postopkov, povezanih z javnimi razpisi, tudi ni smiselno, da bi se ARSO kot javni skrbnik okolja pojavil v vlogi organa, ki bi odredil odmerjanje vzorčenj in izvedbo monitoringa, pač pa bi bilo več nadzora pričakovati s strani inšpekcijskih služb. Te bi morali v prvi vrsti kadrovske okrepiti, hkrati pa inšpektorje usmeriti tudi v inšpekcijski nadzor z odvzemanjem vzorcev odpadne vode, kar danes pri nas še ni redna praksa. Kazni za morebitno onesnaženje bi tako v celoti poravnal onesnaževalec, in ne komunalna podjetja oziroma končni uporabniki v gospodinjstvih. Urediti bi morali torej okrepitev inšpekcijskega nadzora na vseh področjih upravljanja z vodami in odločno ukrepati ob ugotovljenih nepravilnostih.

### Primerjava rezultatov meritev med uporabniki je stimulatívna

Povzročitelj obremenitve mora za potrebe varovanja okolja obvezno izvajati obratovalni monitoring in o njem poročati na ARSO. Kako pri nas poteka obratovalni monitoring odpadnih voda in kako spremljajo podatke o emisijah snovi v vode, je udeležencem predstavila Neva Čopi. A obratovalni monitoring bi moral biti v Sloveniji ne le obveznost, pač pa tudi priložnost. V Nemčiji že vrsto let stimulirajo usposabljanja in izobraževanje na področju komunalnih dejavnosti. Kot je povedala Héléne Opitz iz DWA (*Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.*), v ta namen organizirajo tako imenovane »povezovalne sošeske«, kjer se udeleženci večkrat letno sestanejo in se poglobljeno dogovarjajo o tekočem delu, prav tako pa imajo zelo dodelano izobraževanje za vse vrste komunalnih storitev. Organizacije, ki težijo k izboljšanju stanja pod zakonskimi vrednostmi, so nagrajene, kršitelji pa ustrezno sankcionirani. Primerjava rezultatov meritev med institucijami in uporabniki je zato zelo dobra motivacija za delo in za izboljšave na področju meritev.

Károly Kovács, predsednik Evropskega združenja za vodo EWA (*European Water Association*), je opozoril, da je voda resda človekova pravica, a je njena cena pravzaprav politično vprašanje. Za boljše preglednost bi morali za potrebe tako odločitvenih organov kot tudi uporabnikov najprej zagotoviti primerljivost zbranih podatkov, saj so lahko določene meritve tudi zavajajoče. Investicije v komunalno infrastrukturo bi morale temeljiti na dinamični primerjavi stroškov, normiranih na sedanjo vrednost, kar pomeni, da bi







na javnih razpisih zmagali tisti izdelki in storitve, ki so dolgoročno najugodnejši za naročnika, niso pa nujno tudi cenovno najnižji. Kovács je opozoril tudi na dejstvo, da Evropa beleži premalo vlaganj v komunalno infrastrukturo, zato je ponekod zastaranost sistemov, ki jih bo tudi zelo težko obnoviti, že dosegla alarmantno stanje.

#### **Meritve so nepogrešljiv del procesa oskrbe s pitno vodo**

Meritve so nepogrešljiv del procesa oskrbe s pitno vodo, pridobivanje in obdelava podatkov pa sta osnova za večjo varnost oskrbe s pitno vodo. Varnost oskrbe s pitno vodo je tudi zaradi izvajanja velikega števila meritev višja kot pred desetletji, kljub dodatnim tveganjem, ki so se od tlej pojavila v prostoru zaradi širjenja urbanizacije in drugih antropogenih vplivov na okolje. Verodostojni podatki so izjemnega pomena za strokovno utemeljene odločitve ter izvedbo učinkovitih ukrepov za optimalno vodenje vodovodnih sistemov.

Veliko število meritev še ne pomeni nujno večje varnosti in najbolj optimalnega načina upravljanja vodovodnega sistema. Tehnike in tehnologije danes omogočajo pridobivanje velikega števila podatkov, njihov obseg pa že prerašča količino, ki smo jo sposobni obdelati. Zbiranje pravih podatkov torej ni dovolj. Za zanesljivost ugotovitev in za pravilnost odločitev je poleg pravih podatkov nujna tudi njihova pravilna in strokovna obdelava. Podatki so namenjeni različnim strokovnim javnostim, v prvi vrsti upravljavcu vodovodnega sistema, strokovnjakom, pristojnim ministrstvom, nadzornim institucijam in splošni javnosti. Zbirke podatkov niso dovolj izkoriščene in omogočajo bistveno širše analize, kot jih trenutno pri nas izvajamo. Odprto ostaja vprašanje o dostopnosti podatkov, ki morajo biti v neobdelani obliki

dostopni strokovni javnosti. Splošna javnost ima tudi pravico do dostopa obdelanih podatkov, torej poročil v poljudni in razumljivi obliki. V vseh segmentih je pomembno ozaveščanje in izobraževanje družbe o pomenu zaščite voda, ki bo zagotavljalo spremembo odnosa do vode, pri tem pa mora temeljiti na strokovnih podlagah. Vsak državljan se mora zavedati, da je voda naše javno dobro, ki jo delimo z vsemi živimi bitji na planetu, zato moramo z njo tudi ravnati bolj odgovorno.

#### **Upravljanje površinskih in podzemnih voda**

Strokovnjaki so na simpoziju opozorili, da je treba večjo pozornost usmeriti na vzroke, ne le na stanje voda, ki ga spremljamo z meritvami in njihovo analizo. Tako so prav kraške reke velik izziv za upravljavce, rešitve pa bi morali najti v upravljanju voda v porečjih. Za kraške vodne vire bi morali tako namesto splošnega izvajati specifični monitoring. Indeks izkoriščanja voda v povprečni vrednosti kot pokazatelj stanja meritev v rekah je namreč res videti izjemno ugoden, a hkrati smo pričar, da je v SV delu Slovenije že precej kritičen. Zato bi morali nekaterim območjem posvetiti posebno pozornost in jih tudi posebej obravnavati, kar pa državni načrt ne predvideva.

Kakovost vodnih virov je rezultanta dogajanj na kopnem. Neprimerna raba prostora je zato pomemben dejavnik, ki zmanjšuje kakovost vodnih virov in njihovo samočistilno sposobnost. Zaradi hidromorfološke spremenjenosti je zato vprašljiva gradnja malih hidroelektrarn na manjših rekah. Voda je resda obnovljiv naravni vir, vendar so lahko tovrstne pregrade v nasprotju z zagotavljanjem dobrega ekološkega stanja tekočih voda. Zato v Slovenskem društvu za zaščito voda pozivajo vse državne organe, ki

bedijo nad upravljanjem voda, da upoštevajo tudi trajne spremembe rečnih sistemov.

Pri upravljanju voda so sodelujoči predavatelji in razpravljavci opozorili, da koncentracije snovi v vodah niso najpomembnejši podatek za analitike, pač pa je pomemben tudi zadrževalni čas. To posebej velja za težko razgradljiva onesnaževala, katerih koncentracije so lahko izjemno nizke (mikroonesnaževala), vplivi na okolje pa trenutno nezamemarljivi. Med taka onesnaževala štejemo na primer mikro in nanoplastiko, težke kovine in tudi motilce endokrinega sistema (»hormonske motilce«), o katerih žal nimamo dovolj znanj, vemo pa, da lahko pomembno vplivajo na zdravje ljudi in ves preostali živi svet.

Po mnenju strokovnjakov bo treba doseči tudi upravljanje voda po porečjih, kjer mora stroka kar najbolj poznati ne le površinske vode, temveč tudi dinamiko in povezave s podzemnimi vodami, s spremljanjem in poznavanjem porečja pa predvideti tudi učinkovite in hitre ukrepe ob poplavih.

#### **Čiščenje in odvajanje odpadnih komunalnih in industrijskih voda**

Mikroplastiki kot onesnaževalcu vodnih okolij stroka posveča več pozornosti šele zadnjih deset let. Sprva se je največ raziskav opravljalo na področju prisotnosti mikroplastike na morju, šele kasneje pa tudi v celinskih vodah. Čeprav se potrošniki že zelo dobro zavedajo posledic odlaganja plastičnih odpadkov v okolje, so tu še drugi viri plastike, za katere pa večina uporabnikov sploh ne ve, da obstajajo, kot je na primer mikroplastika v kozmetičnih izdelkih. Ta po uporabi potuje v kanalizacijo in na čistilno napravo, ki pa je ne odstrani iz okolja, kar so pojdile raziskave. Del mikroplastike se zadrži v

odvečnem blatu čistilnih naprav, deloma pa se skupaj s prečiščenimi odpadnimi vodami sprosti v vodotoke, kjer na različne načine ogroža vodni ekosistem. Zato v Slovenskem društvu za zaščito voda kot enega izmed ukrepov glede reševanja prisotnosti mikroplastike v komunalni odpadni vodi predlagajo prepoved uporabe mikroplastike v kozmetičnih izdelkih in ponovno uporabo naravnih materialov, kar so že storile nekatere zvezne države v ZDA. Slovenija naj zato Evropski Uniji prva predlaga prepoved prodaje izdelkov, ki vsebujejo mikroplastiko v kozmetiki.

Na temo meritev in nadzora na kanalizacijskem sistemu v Slovenskem društvu za zaščito voda opozarjajo, da je velik del čistilnih naprav načrtovanih na podlagi nekaj meritev obstoječega kanalskega sistema v Sloveniji oziroma na podlagi predpostavk. Po letih obratovanja je zato potrebno razmisliti o reprojektiranju obstoječih čistilnih naprav s poudarkom na stroškovni racionalizaciji in optimizaciji procesa čiščenja, kar pa vključuje kakovostne meritve sestave odpadne vode, ki priteka na čistilno napravo, poznavanje razmer na kanalizacijskem omrežju in poznavanje hidroloških razmer na prispevnem območju.

Nova evropska zakonodaja uvaja tudi novo uredbo IED o emisijah iz industrije, ki zamenjuje direktivo IPPC pri pridobitvi celovitega okoljevarstvenega dovoljenja. Tako bodo morali zavezanci za svoje obrate poleg odpadnih vod redno izvajati tudi obratovalni monitoring stanja

tal in podzemne vode ter spremljati tehnološke parametre pri obremenitvah, koncentracijah in zadrževanih časih, kar pa zahteva poznavanje strokovnih področij, kot so kemija okolja, ocena tveganja za kemikalije, hidrogeologija in pedologija. Pri tem pa je bilo tudi jasno opozorjeno, da je treba čim prej pristopiti k spremembi veljavne zakonodaje.

#### Zaključek simpozija

Samo na podlagi dobrega sodelovanja in izmenjave izkušenj med državnimi organi, upravljavci in onesnaževalci, lahko pridemo do pravih rešitev, saj je vsem skupni cilj zaščita voda, zato smo si v Slovenskem društvu za zaščito voda na podlagi izvedenega simpozija zadali spodaj zapisane naloge.

Nekateri naši strokovnjaki so izrazili dvome o pravilnosti vzorčenja vode, saj lahko neustrezen odvzem vzorca (časovno pogojen s strani onesnaževalca in s tem prilagojen) pomembno vpliva na rezultate meritev in tako daje lažno sliko o izvedenem monitoringu. Pomembna ugotovitev simpozija je bila tudi ta, da je za dejansko varovanje voda čas za ukrepanje na podlagi analiz obratovalnega monitoringa za preteklo leto občutno predlog zato je še toliko bolj pomembno, da se uvede mehanizem dejanske kontrole na terenu. **Slovensko društvo za zaščito voda bo tako Ministrstvu za okolje in prostor ter ARSO pozvalo, naj v prihodnje poveča pozornost pravilnosti vzorčenja odpadne vode in obdelavi**

**podatkov, ki sta danes preveč pogojena zgolj z zbiranjem vzorcev in njihovo analizo. Le nenapovedani in naključni inšpekcijski ogledi z vzorčenjem in analiziranjem odpadne vode onesnaževalca nam bodo dali jasno sliko o emisijah snovi ter primerjavo z monitoringom. Na podlagi preokračanja se morajo jasno uvesti sankcije z ustreznimi kaznimi.**

Udeleženci simpozija pogrešajo večjo izmenjavo izkušenj med strokovnjaki na področju priprave pitne vode, odvajanja in čiščenja odpadne vode. **Slovensko društvo za zaščito voda bo zato z namenom izmenjave izkušenj in povečanju znanja v naslednjih letih posvetilo več pozornosti organiziranju tako imenovanih »povezovalnih sosesk« še z drugimi zainteresiranimi institucijami.**

Izsledki raziskav kažejo na jasno prisotnost mikroplastike v odpadnih vodah, ki se na čistilnih napravah odstranijo le do določene stopnje. **Slovensko društvo za zaščito voda bo predlagalo EU in EWA prepoved prodaje kozmetičnih izdelkov, ki vsebujejo mikroplastiko v kozmetiki.**

Slovensko društvo za zaščito voda sočasno tudi poziva stroko, naj aktivno sodeluje pri ozaveščanju pomena in načina zaščite slovenskih voda.

Predavanja so na voljo v arhivu zbornika 2016 na povezavi:

<http://vodnidnevi.si/index.php/si/vodni-dnevi/arhiv-zbornikov>

Miša Hrovat

## 27. MIŠIČEV VODARSKI DAN 2016

V Mariboru je 7. decembra 2016 potekal 27. Mišičev vodarski dan. Celodnevni dogodek organizirata Vodnogospodarski biro Maribor, d.o.o., in DRAVA Vodnogospodarsko podjetje Ptuj, d.o.o., v sodelovanju z ministrstvom za okolje in prostor ter pod pokroviteljstvom Mestne občine Maribor.

Posveta se je udeležilo več kot 250 strokovnjakov s področja upravljanja, urejanja in varstva voda. Teme posveta so bile:

- I. Upravljanje voda
- II. Gradnja objektov vodne infrastrukture – načrti in financiranje
- III. Aktualni projekti s področja upravljanja voda

Zbrane udeležence je v uvodnem nagovoru pozdravila ministrica za okolje in prostor Irena Majcen, ki je v nagovoru poudarila, da je bilo na MOP pri upravljanju voda precej delovno leto, v katerem je bilo izvedenih kar nekaj aktivnosti, ki bodo zelo pozitivno pripomogle k bolj aktivnemu in izvedbeno naravnemu upravljanju vode. »*Novi organ v sestavi Direkcije RS za vode polno deluje že eno leto in se med drugim pospešeno ukvarja s prijavo projektov na področju voda, ki bodo financirani s kohezijskimi sredstvi. Po zelo kompleksni*



Slika 1 • Udeleženci 27. Mišičevega vodarskega dne v dvorani Narodnega doma Maribor



Slika 2 • Nagovor ministrice za okolje in prostor Irene Majcen

*pripravi in obsežnem usklajevanju smo sprejeli Načrt upravljanja voda za obdobje 2016–2021 oziroma NUV II, ki opredeljuje cilje doseganja dobrega stanja tako površinskih kot podzemnih voda. V zaključni fazi je tudi Načrt upravljanja morskoga okolja za obdobje 2016–2021 in zaključujemo pripravo Načrta zmanjševanja poplavalne ogroženosti, kjer smo prvič do sedaj v sodelovanju z občinami pripravili nabor 200 protipoplavnih investicij. V javni obravnavi je prvi javni predlog določitve vodnih zemljišč in povsem nova hidrografija.«*

Direktor DRSV Tomaž Prohinar je v nadaljevanju predstavil ključne aktivnosti prvega leta delovanja DRSV, ki je organizirana tako, da je opravljanje nekaterih upravnih nalog varstva voda, urejanja voda in odločanja o rabi voda ter upravljanja vodnih in priobalnih zemljišč organizirano v izpostavah po povodjih, porečjih in območjih. Z ustanovitvijo DRSV in združitvijo nalog s področja upravljanja voda in v okviru ene institucije so doseženi sinergijski učinki, saj so zdaj znotraj ene institucije zbrane službe in stroka, ki so doslej delovale v več različnih organih in institucijah. DRSV v slabem letu delovanja izpolnjuje pozitivne učinke pri upravljanju voda kot tudi pripravi normativnih aktov, ki omogočajo poenostavitve in hitrejšo poslovanje, za stranke pa zmanjšanje administrativnih ovir. V sodelovanju z MOP je bil pripravljen Pravilnik o metodologiji za določanje vrednosti vodnih in priobalnih zemljišč in višine nadomestil v postopkih pridobivanja, razpolaganja in obremenjevanja s stavbnimi pravicami. Gre za administrativno razbremenitev, znatno se bodo pospešili postopki razpolaganja in pridobivanja vodnih zemljišč, stranke pa bodo z objavo načrta tudi seznanjene o stanju njihovih vlog. Posebno pozornost DRSV namenja zmanjševanju zaostankov v postopkih podeljevanja vodnih pravic, pri čemer je opazen trend upadanja zaostankov. V polnem zagonu so kohezijski projekti za zmanjšanje poplavalne ogroženosti, opravljajo se vzdrževalna in investicijska dela na vodotokih.

Posamezni predavatelji z MOP in DRSV so predstavili rezultate priprave strokovnih dokumen-



Slika 3 • Direktor Direkcije za vode RS Tomaž Prohinar

tov in podlag za omogočanje učinkovitejšega upravljanja voda, varovanja voda in varstva pred škodljivim delovanjem voda. Podani so bili tudi kritični prispevki zaradi reorganizacijskih poskusov in zanemarjanja hudournišva kot pomembnega dela urejanja voda v povirjih.

Glede na finančno zanemarjeno dejavnost vodarstva v Sloveniji v zadnjih 25 letih so bile z zanimanjem spremljane predstavitve načrtovanega črpanja kohezijskih sredstev v finančni perspektivi 2014–2020 ter projektov meddržavnega sodelovanja FRISCO na mejnih rekah med Slovenijo in Hrvaško. Podani so bili tudi kritični prispevki o slabem upravljanju in vzdrževanju objektov, financiranih in izgrajenih s pomočjo kohezijskih skladov, ter o premajhni fleksibilnosti pri pripravi kohezijskih projektov s področja sanitarne hidrotehnike.

Največje število prejetih referatov je bilo namenjenih predstavitvi aktualnih projektov s področja upravljanja in urejanja voda, kar predstavlja kontinuiteto in osnovni namen vsakoletnega posveta. Na iniciativo posameznih udeležencev je organizacijski odbor pripravil naslednje zaključke oziroma razmišljanja o aktualni problematiki:

1. Nenehno zniževanje finančnih sredstev za redno in investicijsko vzdrževanje ter upravljanje voda ni dopustno. Od nujno potrebnih 25 mio. €, kar predstavlja 2 % od vrednosti izgrajene vodne infrastrukture, je bilo po podatkih DRSV v letu 2016 zagotovljenih samo 16,55 mio. € ali 66,2 % potrebnih sredstev. Ob tem je treba poudariti, da v sredstva za izvedbo rednih vzdrževalnih del ne smemo uvrščati sredstev za opravljanje interventnih del in odpravo posledic po neurjih. Končno je treba sredstva vodnega sklada usmeriti v investicije načrtov urejanja voda.

2. Ne moremo sprejeti dejstva, da se številni izgrajeni objekti vodne infrastrukture, kot so npr. akumulacija Pernica, akumulacija Pristava, visokovodni nasipi na Dravi in drugi, zgrajeni s finančnimi sredstvi iz kohezijskih skladov 2008–2015, ne predajo v upravljanje, kar pomeni, da tudi ni zagotovljeno njihovo vzdrževanje, kot je predvideno s projekti obratovanja in vzdrževanja.



Slika 4 • Dekan FGG Ljubljana prof. dr. Matjaž Mikoš

To pomeni, da bodo ti objekti predčasno propadli, povečana pa so tveganja varnosti in stabilnosti ter morebitnega vračanja EU-sredstev, če so bili ti grajeni iz evropskih skladov.

3. Po podatkih sodelavcev državnih institucij Slovenija v tekoči finančni perspektivi 2016–2020 pri izvedbi kohezijskih projektov za zagotovitev poplavalne in erozijske varnosti po realnem scenariju računa na 300 mio. € in po optimističnem scenariju na 480 mio. €. Glede na dolgotrajnost postopkov, ki zajemajo pripravo prostorskih, ekonomskih in projektnih načrtov, pozivamo vse pristojne institucije (MOP, DRSV ...) k bolj učinkovitemu delu, k ponovni preučitvi izvedljivosti podanih prioritet in k ponovni umestitvi projektov z višjo stopnjo pripravljenosti dokumentacije, saj je vprašljivo, ali je vse projekte sploh mogoče realizirati do leta 2020.

4. Z veliko zaskrbljenostjo spremljamo zmanjševanje vpisov na tehnične fakultete, še posebno na gradbene fakultete, kjer je število vpisov že nižje od 50 % glede na dolgoletno povprečje. Ta trend bo v kratkem privedel do kritičnega pomanjkanja teh kadrov v državi. Predlagamo, da se sprejmejo ukrepi za spremembo negativnih trendov.

5. Podnebne (klimatske) razmere se evidentno spreminjajo. V nekaj mesecih v letu 2016, na primer v Mariboru, so bile pri padavinah dosežene 10-, 25- in 50-letne povratne dobe. V ekspertnih skupinah je treba analizirati situacijo in podati nove smernice za načrtovalce in projektante, saj drugače novih projektov ni mogoče dovolj učinkovito načrtovati. Državo zato pozivamo, da skladno z opaženimi spremembami redno obnavlja vse obstoječe hidrološke študije, da se načrtovalcem na vseh nivojih zagotovijo ustrezni in enoviti vhodni podatki.

6. Civilne družbe opozarjajo, da je treba nameniti večji poudarek uvajanju sonaravnih rešitev pri vzdrževanju objektov vodne infrastrukture (košnja, odstranjevanje naplavin ...) in pri gradnji novih objektov.

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

**PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2017**

SEMINAR	IZPIT	
	Osnovni in dopolnilni	Revidiranje
13.–15. 02. 2017	28. in 29. 03. 2017	28. 03. 2017
03.–05. 04. 2017	30. in 31. 05. 2017	30. 05. 2017
09.–11. 10. 2017	28. in 29. 11. 2017	25. 10. 2017

**A. PRIPRAVLJALNI SEMINARJI:**

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

Telefon: (01) 52-40-200; Fax: (01) 52-40-199;

e-naslov: gradb.zveza@siol.net; gradbeni.vestnik@siol.net.

**Uradne ure:**

od ponedeljka do četrтка od 09.00 do 14.00 ure; v petek NI URADNIH UR za stranke!

Seminar vključuje **izpitne programe** za:

1. odgovorno projektiranje (osnovni in dopolnilni strokovni izpit)
2. odgovorno vodenje del (osnovni in dopolnilni strokovni izpit)
3. odgovorno vodenje posameznih del
4. Investicijski procesi in vodenje projektov (za kandidate, ki opravljajo dopolnilni strokovni izpit; predavanje se odvija v okviru rednih seminarjev).
5. Kandidati lahko poslušajo posamezna predavanja v okviru rednih seminarjev.

*(Vsi posamezni programi so dostopni na spletni strani IZS - MSG:*

*<http://www.izs.si>, v rubriki »Strokovni izpiti«)*

**Cena** za udeležbo na seminarju (za predavanje in literaturo) po izpitnih programih pod 1., 2. in 3. točko znaša 623,22 EUR z DDV, pod 4. točko pa 89,10 EUR z DDV. Cena za obisk posameznega predavanja (točka 5) je 89,10 EUR z DDV.

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

Prijavo je potrebno poslati organizatorju (ZDGITS) najmanj 14 dni pred pričetkom seminarja! Prijavni obrazec je mogoče dobiti na spletni strani ZDGITS ([www.zveza-dgits.si](http://www.zveza-dgits.si)).

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

**B. STROKOVNI IZPITI**

potekajo pri **Inženirski zbornici Slovenije (IZS), Jarška 10-B, 1000 Ljubljana**. Informacije o strokovnih izpiti in izpitnih programih je mogoče dobiti na spletni strani IZS ([www.izs.si](http://www.izs.si)), po telefonu (01) 547-33-19 (uradne ure: ponedeljek, sreda, četrtek, petek od 10.00 do 12.00 ure; v torek od 14.00 do 16.00 ure) ali osebno na sedežu IZS (uradne ure: ponedeljek, sreda, četrtek, petek od 08.00 do 12.00 ure; v torek od 12.00 do 16.00 ure).

# VSEBINA LETNIKA 65/2016

## Članki – Papers

Cvetković, M., Steinman, F., RAZVOJ NAPRAVE ZA OBDELAVO BALASTNIH VODA NA PLOVILIH S HIDRODINAMSKO KAVITACIJO, DEVELOPMENT OF A HYDRODYNAMIC CAVITATION SYSTEM FOR THE TREATMENT OF BALLAST WATER ON SHIPS, junij, stran 128.

Dolenc, T., Steinman, F., AMFIBIJSKA STAVBA ZA GRADNJO NA POPLAVNIH OBMOČJIH, AMPHIBIOUS BUILDING, AN EXAMPLE OF FLOOD-PROOF TECHNIQUE, maj, stran 102.

Eržen, J., Košir, M., DINAMIČNE METRIKE ZA OCENO DNEVNE OSVETLJENOSTI IN NJIHOVA UPORABA PRI ANALIZI UČILNIC V SLOVENSKIH OSNOVNIH ŠOLAH, DYNAMIC DAYLIGHTING METRICS AND ITS APPLICATION FOR THE EVALUATION OF CLASSROOMS IN SLOVENIAN PRIMARY SCHOOLS, februar, stran 41.

Glavinčič, M., Štrukelj, A., VPLIVI NA BETON MED VGRAJEVANJEM, INFLUENCES ON CONCRETE DURING CASTING, oktober, stran 214.

Grajfoner, B., Knez, B., Nekrep Perc, M., MOŽNOST GRADNJE SAMOZADOSTNE DRUŽINSKE HIŠE Z VIDIKA NORMATIVNE UREDITVE V SLOVENIJI, THE POSSIBILITY OF BUILDING OFF-GRID FAMILY HOUSE FROM THE PERSPECTIVE OF NORMATIVE REGULATION IN SLOVENIA, januar, stran 4.

Kilar, V., Azinović, B., Koren, D., KONCEPT TEMELJENJA PASIVNIH HIŠ NA POTRESNIH OBMOČJIH, FOUNDATION CONCEPT FOR PASSIVE HOUSES IN SEISMIC AREAS, marec, stran 69.

Klemenčič, T., Brank, B., POTRESNA ANALIZA JEKLENIH CILINDRIČNIH REZERVOARJEV, SEISMIC ANALYSIS OF STEEL CYLINDRICAL LIQUID STORAGE TANKS, avgust, stran 176.

Klinc, R., Peruš, I., Dolenc, M., Fajfar, P., SPLETNA VERZIJA PROGRAMA EAVEK, ONLINE VERSION OF THE PROGRAM EAVEK, januar, stran 10.

Kolbl, S., Stres, B., UPORABA BIOLOŠKIH ODPADKOV ZA PRIDOBIVANJE BIOPLINA, USAGE OF ORGANIC FRACTION OF BIOLOGICAL WASTE FOR BIOGAS PRODUCTION, september, stran 205.

Kramar, M., Gams, M., Anžlin, A., Dolšek, M., CIKLIČNI PREIZKUSI ARMIRANOBETONSKIH STEBROV, CYCLIC TESTS OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS, december, stran 277.

Kržan, M., Bosiljkov, V., EKSPERIMENTALNE PREISKAVE TROSLOJNIH KAMNITIH ZIDOV Z OMETI, EXPERIMENTAL TESTS OF THREE-LEAF STONE MASONRY WALLS WITH PLASTER, februar, stran 22.

Lavrenčič, M., Brank, B., Šušteršič, I., PORUŠNI MEHANIZEM KRIŽNO LEPLJENIH LESENIH REBRASTIH PLOŠČ, FAILURE MECHANISM OF CROSS-LAMINATED TIMBER RIBBED PLATES, december, stran 267.

Marinič, M., Kuhta, M., Šuman, N., PRIMERJAVA SISTEMOV MERIL TRAJNOSTNE PRENOVE POSLOVNIH STAVB, COMPARISON OF CRITERIA SYSTEMS FOR SUSTAINABLE REFURBISHMENT OF OFFICE BUILDINGS, avgust, stran 162.

Melink, T., Korelec, J., METODA STOHAŠTIČNIH KONČNIH ELEMENTOV V MODELIRANJU KONSTRUKCIJ, STOCHASTIC FINITE ELEMENT METHOD IN STRUCTURE MODELLING, maj, stran 109.

Perme, S., Maher, T., NOVA METODA ZA IZRAČUN KAPACITETE KROŽNEGA KRIŽIŠČA Z UPOŠTEVANJEM VPLIVA IZVOZNEGA TOKA, NEW METHOD FOR THE CALCULATION OF ROUND-ABOUT CAPACITY CONSIDERING EXITING FLOW IMPACT, november, stran 253.

Peroša, A., Zirnstein, E., KRITIKA SPREMENB ZAKONODAJE NA PODROČJU ODVAJANJA IN ČIŠČENJA KOMUNALNE ODPADNE VODE, CRITICAL REMARKS OF THE LEGISLATIVE CHANGES ON THE COLLECTION AND TREATMENT OF URBAN WASTE WATER, april, stran 90.

Tomažević, M., LABORATORIJ ZA KONSTRUKCIJE ZAG IN RAZISKAVE ZA POTRESNO ODPORNE ZIDANE STAVBE, LABORATORY FOR STRUCTURES AT ZAG AND RESEARCH FOR EARTHQUAKE RESISTANT MASONRY CONSTRUCTION, julij, stran 138.

Tomažević, M., NEKAJ PREMISLEKOV O LABORATORIJSKIH PREISKAVAH OBNAŠANJA ZIDOV IN ZIDANIH KONSTRUKCIJ PRI POTRESNI OBTEŽBI, SOME CONSIDERATIONS ON TESTING AND EXPERIMENTAL SIMULATION OF SEISMIC BEHAVIOUR OF MASONRY WALLS AND BUILDINGS, september, stran 186.

Török, T., Košir, M., Dovjak, M., CELOVITO OCENJEVANJE TRAJNOSTNIH VIDIKOV GRADNJE NA PRIMERU ENODRUŽINSKE HIŠE, HOLISTIC ASSESSMENT OF SUSTAINABILITY ASPECTS ON A CASE OF SINGLE FAMILY DETACHED HOUSE, november, stran 234.

Uršič, M., Dovjak, M., Kunič, R., ANALIZA ZVOČNE ZAŠČITE STAVBNIH OVOJEV GLEDE NA RAZLIČNE NIVOJE ZUNANJEGA HRUPA, ANALYSIS OF SOUND INSULATION OF EXTERNAL ENVELOPE CONSTRUCTIONS DEPENDENT ON DIFFERENT LEVELS OF EXTERNAL NOISE, april, stran 82.

Zorec, D., Žegarac Leskovar, V., Premrov, M., NOVA BRV ZA PEŠCE IN KOLESARJE NA MARI-BORSKI OTOK, NEW BRIDGE FOR PEDESTRIANS AND CYCLISTS TO MARIBOR ISLAND, marec, stran 59.

Žula, T., Kravanja, S., OPTIMIRANJE KONSTRUKCIJE JEKLENE HALE Z MINLP, MINLP OPTIMIZATION OF A SINGLE STOREY STEEL BUILDING STRUCTURE, junij, stran 118.

## Voščilo

Kryžanowski, A., VOŠČILO PREDSEDNIKA ZDGITS, december, stran 266.

## In memoriam

Stergar, B., PETER KOREN, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD., 1950-2016, marec, stran 58.

## Uveljavljeni slovenski inženirji

Lajovic, A., DR. OSKAR SMREKER IN BETONSKI ŽELEZNIŠKI PRAGOVI, oktober, stran 221.

## Nagrajeni gradbeniki

Zupan, D., Turk, G., Planinc, I., PROF. DR. MIRAN SAJE, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD., ZASLUŽNI PROFESOR UNIVERZE V LJUBLJANI, januar, stran 2.

## Mnenje

Duhovnik, J., Trdno, uporabno in lepo, januar, stran 3.

## Popravek, marec, stran 80.

## Poročila s strokovnih in znanstvenih srečanj

Hrovat, M., Vodni dnevi 2016, december, stran 286.

Juvan, S., 26. Mišičev vodarski dan 2015, februar, stran 54.

Juvan, S., 27. Mišičev vodarski dan 2016, december, stran 288.

Ravnikar Turk, M., Jovičić, V., Strokovno srečanje geotehnikov – 16. Šukljetovi dnevi, januar, stran 18.

Stergar, B., Trajnostno urejanje prostora in prometa, avgust, stran 183.

Širca, A., Kvaternik, K., 16. posvetovanje SLOCOLD, julij, stran 158.

#### Obvestila ZDGITS

Duhovnik, J., 15. seja Izdajateljskega sveta Gradbenega vestnika, januar, stran 20.

Vabilo na skupščino, april, stran 99.

Zadnji pripravljalni seminar in izpitni rok za strokovne izpite za gradbeno stroko v letu 2016, maj, stran 3 ovitka.

Pripravljalni seminarji in izpitni roki za strokovne izpite za Gradbeno stroko v letu 2017, november, stran 264.

Pripravljalni seminarji in izpitni roki za strokovne izpite za Gradbeno stroko v letu 2017, december, stran 290.

#### Novice iz ZDGITS

Duhovnik, J., Digitalni arhiv Gradbenega vestnika, oktober, stran 223.

#### Vabilo

16. posvetovanje SLOCOLD, april, stran 100.

#### Vabilo na strokovno srečanje

Prvo obvestilo – Drugi slovenski kongres o vodah, november, stran 261.

#### Vsebina letnika 65/2016

december, stran 291.

#### Navodila avtorjem za pripravo prispevkov

V vsaki številki, stran 2 ovitka.

#### Novi diplomanti

Okorn, E., januar, stran 3 ovitka; februar, stran 56; marec, stran 3 ovitka; april, stran 3 ovitka; junij, stran 136 in stran 3 ovitka; julij, stran 160 in stran 3 ovitka; avgust, stran 184 in stran 3 ovitka; september, stran 212 in stran 3 ovitka; oktober, strani 225 - 232 in stran 3 ovitka; november, stran 3 ovitka; december, stran 3 ovitka.

#### Koledar prireditev

Okorn, E., januar, stran 4 ovitka; februar, stran 3 ovitka; marec, stran 4 ovitka; april, stran 4 ovitka; maj, stran 4 ovitka; junij, stran 4 ovitka; julij, stran 4 ovitka; avgust, stran 4 ovitka; september, stran 4 ovitka; oktober, stran 4 ovitka; november, stran 4 ovitka; december, stran 4 ovitka.

#### Naslovnice

Gobec, P., Azilni dom na Woferlstrasse v Muenchenu (lesena montažna stavba slovenskega podjetja RIKO hiše), april.

Duhovnik, J., Krizi v gradbeništvu še ni videti konca, september.

Jež, P., 3. nagrada na fotografskem natečaju IZS 2016: JUTRO V PODGRADU (Daljnovid Beričevo – Krško), december.

Kante, P., Nova brv čez Vipavo v Mirnu, januar.

Korošec, M., 1. nagrada na fotografskem natečaju IZS 2016: V OBLAKIH (Viadukt Črni Kal), oktober.

Kvaternik, K., Prelivna polja HE Brežice, julij.

Lausegar, U., Severni portal predora Šten na obvoznici Škofja Loka, junij.

Pavlin, R., Gradnja hotela S1 na Bavarskem Dvoru v Ljubljani, avgust.

Rajšter, D., Gradnja Islamskega versko-kulturnega centra v Ljubljani, marec.

Rak, S., 2. nagrada na fotografskem natečaju IZS 2016: ČRNA LUKNJA (Termoelektrarna Trbovlje), november.

Rožič, D., Cestni nadvoz čez železnico v Grobelnem, februar.

Tivadar, S., AC Draženci – Gruškovje, sklop 1, Nadvoz 4-1, maj.

# NOVI DIPLOMANTI

## UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

### I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

**Ožbe Trušnovec**, Izračun vodne bilance z modelom SIMPEL, mentorica doc. dr. Mojca Šraj

### II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

**Nina Vogrič**, Korelacija med ultrazvočnimi meritvami in meritvami električne prevodnosti cementnih past v zgodnjem hidratacijskem obdobju, mentor prof. dr. Igor Planinc, somentor doc. dr. Gregor Trtnik

**Jan Ratej**, Požarna odpornost lesenih elementov iz križno lepljenih plošč, mentor doc. dr. Tomaž Hozjan

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

### I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Študij je zaključil z diplomskim izpitom:

**Jernej Divjak**

### II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

**Vasja Očko**, Predlog načrtovanja nove kolesarske povezave v sklopu razvoja trajnostne mobilnosti, mentor izr. prof. dr. Marko Renčelj

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

**BIM 4BUILD 2016**  
SILVER RECOGNITION FOR INNOVATION  
MEMBER OF CHAMBER OF COMMERCE AND INDUSTRY OF SLOVENIA

# 4BUILD

managing construction projects

## PROGRAMSKA REŠITEV ZA OBVLADOVANJE GRADBENO-INVESTICIJSKIH PROJEKTOV

WWW.4BUILD.EU

# KOLEDAR PRIREDITEV

**8.-10.1.2017**

**4th International Conference on Geological and Civil Engineering**

Penang, Malezija  
[www.icgce.org/index.htm](http://www.icgce.org/index.htm)

**19.-20.1.2017**

**PowerSkin Conference 2017**

München, Nemčija  
[www.powerskin.org/](http://www.powerskin.org/)

**6.-8.3.2017**

**11th High Performance concrete (11th HPC) and 2nd Concrete Innovation Conference (2nd CIC)**

Tromsø, Norveška  
[www.tekna.no/en/events/hpccic-tromso-2017-32076/](http://www.tekna.no/en/events/hpccic-tromso-2017-32076/)

**7.-9.3.2017**

**Smart Cities – Exhibition and Conference for South – East Europe**

Sofija, Bolgarija  
<http://viaexpo.com/en/pages/smart-cities>

**10.-12.3.2017**

**ICACE 2017 – International Conference on Architecture and Civil Engineering 2017**

Singapur, Singapur  
<http://icace.coreconferences.com/index.html>

**13.-15.3.2017**

**4th International Conference on Civil and Urban Engineering 2017**

Praga, Češka  
[www.iccue.org/](http://www.iccue.org/)

**15.-17.3.2017**

**WSCE 2017 – World Symposium on Civil Engineering 2017**

Hong Kong, Kitajska  
[www.iaeng.org/WSCE/WSCE2017/](http://www.iaeng.org/WSCE/WSCE2017/)

**19.-20.4.2017**

**2. slovenski kongres o vodah**

Podčetrtek, Slovenija  
[www.kongresvode2017.si/](http://www.kongresvode2017.si/)

**19.-21.4.2017**

**CoMS 2017: 1. mednarodna konferenca o gradbenih materialih za trajnostni razvoj**

Zadar, Hrvaška  
[www.grad.hr/coms/ocs/index.php/coms/coms2017](http://www.grad.hr/coms/ocs/index.php/coms/coms2017)

**25.-28.4.2017**

**International Exhibition for Construction Technology, Equipment, Machinery, Vehicles & Materials**

Hanoi, Vietnam  
<http://contechvietnam.com/en/>

**15.-18.5.2017**

**ICBEST Istanbul – International Conference on Building Envelope Systems and Technologies**

Istanbul, Turčija  
<http://icbestistanbul.com/>

**29.5.-2.6.2017**

**4. svetovni forum o zemeljskih plazovih**

Ljubljana, Slovenija  
[www.sloged.si/?page\\_id=716](http://www.sloged.si/?page_id=716)

**7.-9.6.2017**

**S.ARCH 2017 – the 4th International Conference on Architecture S.ARCH 2017**

Hong Kong, Kitajska  
<http://s-arch.net/>

**21.-23.6.2017**

**ICNF2017 – 3rd International Conference on Natural Fibers**

Braga, Portugalska  
[www.icnf2017.fibrenamics.com/](http://www.icnf2017.fibrenamics.com/)

**15.-19.7.2017**

**GeoMEast 2017 International Conference “Sustainable Civil Infrastructures: Innovative Infrastructure Geotechnology”**

Sharm El-Sheik, Egipt  
[www.geomeast2017.org/](http://www.geomeast2017.org/)

**5.-8.9.2017**

**ISPE-2017 – XI International Symposium on Permafrost Engineering**

Magadan, Rusija  
<http://mpi.ysn.ru/en/permafrost-engineering-symposiums>

**13.-15.9.2017**

**SMAR 2017 – 4th International Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures**

Zürich, Švica  
[www.smar2017.org/](http://www.smar2017.org/)

**2.-4.10.2017**

**3rd International Symposium on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete (UHPRFC)**

Montpellier, Francija  
[www.afgc.asso.fr/UHPRFC2017](http://www.afgc.asso.fr/UHPRFC2017)

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