avgust 2024
letnik 73

Gradbeni vestnik

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

162 MODELIRANJE POVEZANEGA ZIDOVJA Z NUMERIČNIM 3D-MODELOM

Gradbeni vestnik

Izdajatelj:
Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS),
Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana,
telefon 01 52 40 200
v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (IZS MSG),**
ob podpori **Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, Fakultete za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo Univerze v Mariboru in Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:
ZDGITS: **prof. dr. Matjaž Mikoš, predsednik**
izr. prof. dr. Andrej Kryžanowski
Dušan Jukić
IZS MSG: **dr. Rok Cajzek**
mag. Jernej Nučič
Tina Bučić
UL FGG: **izr. prof. dr. Matija Gams**
UM FGPA: **prof. dr. Miroslav Premrov**
ZAG: **doc. dr. Aleš Žnidarič**

Uredniški odbor:

Lektor: **Jan Grabnar**

Lektorica angleških povzetkov:
Romana Hudin

Tajnica: **Eva Okorn**

Oblikovalska zasnova: **Agencija GIG**

Tehnično urejanje, prelom in tisk:
Kočevski tisk

Naklada: 400 tiskanih izvodov
3000 naročnikov elektronske verzije

Podatki o objavah v reviji so navedeni v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA (The Int. Construction Database) ter na **www.zveza-dgits.si**

Letno izide 12 številk. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 25,50 EUR; za študente in upokojence 10,50 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 188,50 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 88,00 EUR.
V ceni je vštet DDV.
Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
SI56 0201 7001 5398 955

Slika na naslovnici:
izdelava jeklene konstrukcije mosta na Špici v Celju,
foto: arhiv Ponting, d. o. o.

Glasilo Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije in **Matične sekcije gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije.**
UDK-UDC 05 : 625; tiskana izdaja ISSN 0017-2774;
spletna izdaja ISSN 2536-4332.
Ljubljana, avgust 2024, letnik 73, str. 161-184

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

Gradbeni vestnik 70 let

VSEBINA CONTENTS

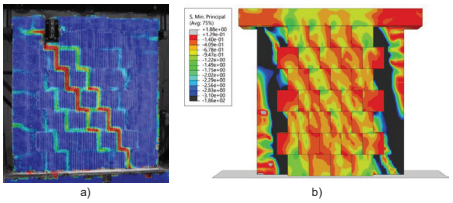
ČLANKI PAPERS

Nemanja Krtinić, univ. dipl. inž. grad.
izr. prof. Matija Gams, univ. dipl. inž. grad.
doc. dr. Marko Marinković, univ. dipl. inž. grad.

162

MODELIRANJE POVEZANEGA ZIDOVJA Z NUMERIČNIM 3D-MODELOM

NUMERICAL MODELLING OF CONFINED MASONRY BY A 3D MICRO MODEL



a) b)

FOTOREPORTAŽI Z GRADBIŠČA

Inženirski biro Ponting, d. o. o.

173

NEKAJ IZJEMNIH, A NEREALIZIRANIH IDEJNIH ZASNOV MOSTOV INŽENIRSKEGA BIROJA PONTING

Sandi Stanič, univ. dipl. inž. grad. (Projekt, d. d.)

180

GRADNJA NOVEGA LOGISTIČNEGA CENTRA DHL NA BRNIKU

OBVESTILA ZDGITS

184

ZADNJI PRIPRAVLJALNI SEMINAR IN IZPITNI ROK ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2024

NOVI DIPLOMANTI

Eva Okorn

KOLEDAR PRIREDITEV

Eva Okorn

Nemanja Krtinić, univ. dipl. inž. grad.
nemanja.krtinic@fgg.uni-lj.si

izr. prof. Matija Gams, univ. dipl. inž. grad.
matija.gams@fgg.uni-lj.si
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

doc. dr. Marko Marinković, univ. dipl. inž. grad.
mmarinkovic@grf.bg.ac.rs
Univerza v Beogradu, Fakulteta za gradbeništvo, Bulevar kralja
Aleksandra 73, 11000 Beograd

Znanstveni članek
UDK/UDC: 519.6:624.042.7

MODELIRANJE POVEZANEGA ZIDOVJA Z NUMERIČNIM 3D-MODELOM
NUMERICAL MODELLING OF CONFINED MASONRY BY A 3D MICRO MODEL

Povzetek
Z naprednim numeričnim modelom smo raziskovali potresni odziv sodobnega povezanega zidovja iz votlakov z velikimi luknjami za toplotno izolacijo, ki je zlepljeno s poliuretanskim lepilom namesto z malto. Razvoj numeričnega modela je temeljil na eksperimentalnih rezultatih dveh testov zidov pri ciklični strižni obtežbi s konstantno tlačno obremenitvijo, za modeliranje pa smo uporabili program Abaqus. Razviti 3D-model je dobro napovedal globalni odziv v obliki potisne krivulje sila-pomik ter razvoj in vrsto poškodb v zidovju in v zidnih vezeh. Ker so bile navpične zidne vezi tanjše od zidovja, so se na stiku zidovja in vezi pojavile posebne poškodbe. Tudi te poškodbe je model uspešno reproduciral.

Ključne besede: povezano zidovje, numerično modeliranje, potresna odpornost, opečni votlak, PU-lepilo

Summary
This article presents an investigation into seismic resistance of modern confined masonry built from hollow clay blocks with large holes for thermal insulation, which is glued by polyurethane glue instead of mortar. Based on the results of two experimental tests from cyclic shear tests a detailed micro numerical model based on the finite element method was developed in the Abaqus software. The developed model was able to accurately predict the global response of the walls in terms of a force-displacement pushover curve as well as the damage evolution and pattern in the masonry and in the tie-columns. Because the tie-columns were thinner than the masonry, special type of damage occurred at the contact between these two elements. This effect was also successfully reproduced by the model.

Key words: confined masonry, numerical modeling, seismic resistance, hollow clay block, PU glue

1 UVOD

Evropska zidarska industrija si prizadeva izboljšati toplotne karakteristike svojih proizvodov za zmanjšanje porabe energije za ogrevanje in hlajenje ter za izboljšanje bivalnega udobja. Ena izmed tehnologij, ki so jih razvili za ta namen, je uporaba poliuretanskega (PU) lepila, ki se v gradnji uporablja namesto malte. Ker je debelina takega stika praktično nič, se na ta način izognemo toplotnim izgubam skozi stike, tehnologija pa ima še druge prednosti, kot sta hitrejša gradnja in gradnja pri nižjih temperaturah. PU-lepilo se običajno uporablja le v naležnih regah, čelnih reg pa ne zapolni. Poleg uporabe novega veziva se izboljšujejo tudi karakteristike zidakov. Novi zidaki imajo pogosto večje luknje, v katerih je lahko toplotna izolacija, stene zidakov pa so debelejše, kot smo vajeni do sedaj [Gams, 2023]. Spremembe v materialih in tehnologiji gradnje kličejo po preverjanju obnašanja pri potresni obtežbi in v tem članku predstavljamo poskus modeliranja odziva takega zidovja z detajlnimi numeričnimi modeli, s katerimi bi lahko nadomestili drage eksperimente.

Kljub uporabi PU-lepila je natezna trdnost zidovja zanemarljiva [Gams, 2013] in strižna trdnost razmeroma nizka. Tlačna trdnost pa je, kot je običajno za zidane stavbe, dobra [Gams, 2023] in v splošnem neproblematična [Tomaževič, 1999]. Poleg tega je obravnavano zidovje in sodobno zidovje na sploh krhek material, ki ga moramo na potresnih območjih utrditi z navpičnimi vezmi oz. graditi v sistemu povezanega zidovja. S tem se zidovju bistveno poveča kapaciteta pomikov in disipacije energije, poveča pa se tudi nosilnost. Dodaten učinek vezi je, da učinkovito povežejo zidove in strope in tako zagotovijo t. i. škatlast odziv, v katerem pri prevzemu potresnih sil sodelujejo vsi zidovi [Tomaževič, 1997] in je ključen za dobro potresno obnašanje zidanih stavb.

Povezano zidovje se uporablja v Južni Ameriki, jugovzhodni Evropi, na Bližnjem vzhodu, v severni Afriki in vzhodni Aziji [Brzev, 2018], a med gradbenimi praksami na teh območjih obstajajo pomembne razlike. V regijah, kjer se gradijo stavbe brez toplotne izolacije, so zidovi pogosto zelo tanki. Tipično povezano zidovje npr. v Mehiki je pogosto debelo le 12,5 cm [Perez Gavilan, 2013]. V takem zidovju so navpične zidne vezi istih dimenzij, kot je debelina zidovja. Po Evrokodu 6 [SIST, 2006] je minimalna debelina nosilnega zidovja 24 cm, v Sloveniji pa nam nacionalni dodatek [SIST, 2009] dovoljuje gradnjo 19 cm debelega zidovja. Navpične zidne vezi pa vsaj po Evrokodih ne rabijo biti tako velike, saj je minimalna dimenzija navpičnih vezi po Evrokodu 8 [SIST, 2005] 15 cm. Z vidika nosilnosti in izvedbe je seveda najbolje, da so zidne vezi tako debele kot zid, a v primeru 38 cm debelih zidov, ki jih obravnavamo v tem prispevku, je uporaba takih dimenzij vprašljiva z vidika porabe materiala in tudi vpliva na odziv zidovja. Tako močne vezi bi verjetno imele pomemben vpliv na odziv zidovja, ki bi ga bilo treba še preučiti. Ne glede na to pa tako velike dimenzije vezi ne bi bile neobičajne, saj so vezi do dimenzij 37 x 37 cm na Kitajskem obravnavane kot standardne [Cai, 2018].

Praksa v Sloveniji je, da so navpične vezi v primeru tako debelih zidov (38 cm) tanjše, in to se je v različnih preiskavah pokazalo kot ustrezno. Preiskava povezanega zidovja iz porobetona na potresni mizi s tanjšimi vezmi od debeline zidov ni pokazala nobenih problemov [Tomaževič, 2012], prav tako to ni bilo problematično pri preiskavi modela dvonadstropne stavbe v naravnem merilu iz zidakov z nizko tlačno trdnostjo [Triller, 2018]. Eksperimentalne preiskave na zidovih, ki imajo navpične vezi dimenzij 25 x 25 cm in so torej 13 cm tanjše od debeline zidu, pa so pokazale določene težave, kot je podrobno opisano kasneje. Del zidu, ki ni bil podprt z navpično vezjo, se je namreč odluščil od preostalega dela zidu ([Gams, 2023],[Gams, 2024]). Ta pojav je bil nepričakovan in ga zato poskušamo simulirati z numeričnimi modeli.

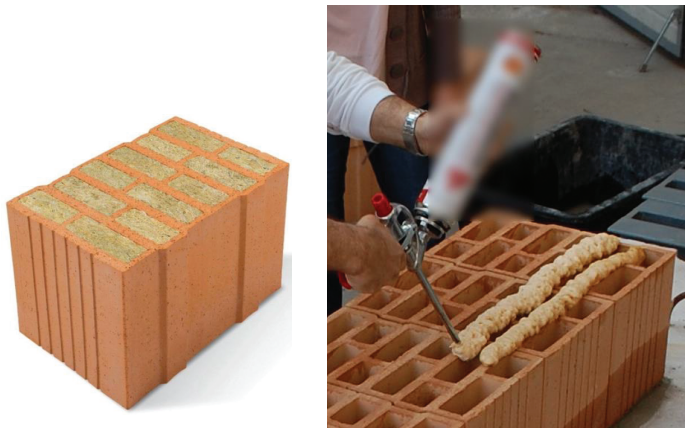
Eden izmed razlogov za omenjeni pojav je verjetno geometrija zidakov. Kot omenjeno, imajo zidaki večje luknje zaradi toplotne izolacije in posledično tudi večji delež votlin glede na volumen zidaka. Posamezna luknja v obravnavanem zidaku ima tako 6 % celotnega volumna zidaka, skupna količina votlin pa je 59 % celotnega volumna. Zgornja meja po standardu EC6 [SIST, 2006] za zidake skupine 2 je 2 % za posamezno luknjo in 55 % za skupno votlavost. Razvijalci so se zavestno odločili za tako geometrijo in oslabitev zidakov kompenzirali z debelejšimi zunanjimi in notranjimi stenami zidakov, ki so debele kar 12 mm. Standard EC6 [SIST, 2006] zahteva 8 mm debeline za zunanje stene in 5 mm za notranje.

Ker je zidovje zaradi svoje krhkosti zelo zahteven material za modeliranje, so numerični modeli razmeroma zahtevni. Posledično smo za simulacijo obnašanja manjšega eksperimentalnega modela povezanega zidu uporabili numerično orodje v programskem okolju Abaqus [Dessault systems, 2023], ki nam omogoča upoštevanje podrobnih detajlov in parametrov dejanskega modela. Namen pričujoče študije je pokazati, da je možno narediti numerični model, ki dobro opiše eksperimentalno izmerjeni odziv in je sposoben zaznati težave na stiku med zidno vezjo in zidovjem.

2 MATERIALI, PREIZKUŠANCI IN ODZIV NA POTRESNO OBTEŽBO

2.1 Materiali

Uporabljeni opečni votlaki so komercialni proizvod in imajo dimenzije dolžina x višina x debelina = 250 x 249 x 380 mm (slika 1(a)). Namenjeni so za gradnjo 38 cm debelih zidov z dobrimi izolacijskimi lastnostmi. Ker so zidaki namenjeni za gradnjo s poliuretanskim lepilom (slika 1(b)) ali pa tanko-



a) b)

Slika 1. *a) Zidak b) Nanašanje PU-lepila med gradnjo.*

slojne malte, imajo zidaki brušene naležne površine. Zidaki in zidovje iz takih zidakov so bili temeljito preizkušeni v delu [Gams, 2023], kjer so natančno opisani in predstavljeni rezultati teh preiskav. Povzetek rezultatov je zbran v preglednici 1.

standard. Po Evrokodu 6 naj bi bila začetna strižna trdnost 0,30 MPa, izmerjena pa je bila 0,13 MPa. Izmerjeni koeficient trenja pa je bil večji kot v standardu, saj standard navaja vrednost 0,4, izmerili pa smo 0,57.

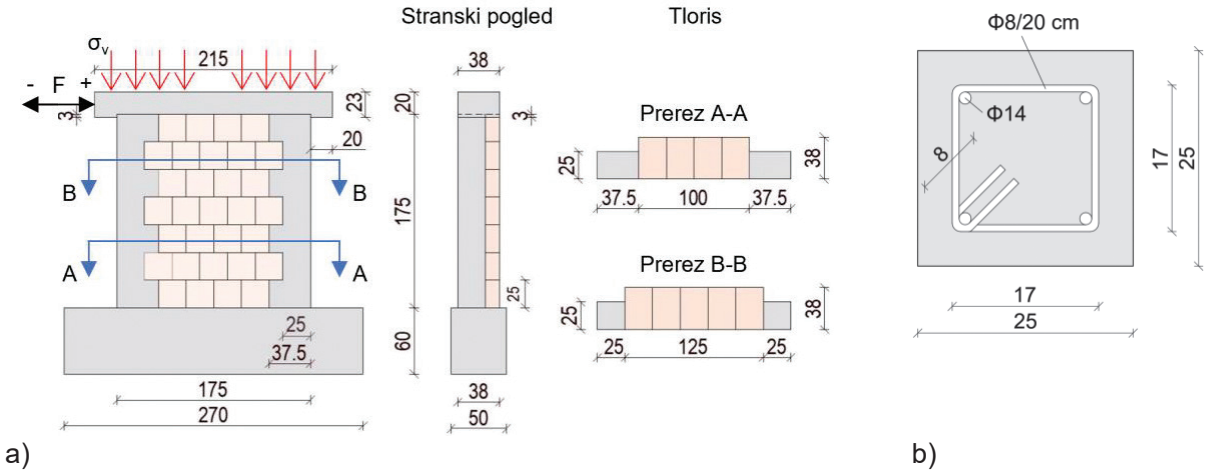
Material	Lastnost	Oznaka	Vrednost	Št. vzorcev (razpršenost)
Opečni votlaki	Srednja tlačna trdnost		10,5 MPa	17 (CoV=9%)
	Normalizirana srednja tlačna trdnost	f_b	13,1 MPa	
Podložna malta	Upogibna trdnost	$f_{x,1}$	5,6 MPa	15 (CoV=18.2%)
	Tlačna trdnost	f_m	11,4 MPa	30 (CoV=13%)
Zidovje (zlepljeno s PU lepilom)	Tlačna trdnost normalno na naležne rege	$f_{c,m}$	3,79 MPa	3 (CoV=7%)
	Modul elastičnosti normalno na naležne rege	E_m	2,2 GPa	3 (CoV=5%)
	Strižni modul ($0.4 \cdot E_m$)	G_m	0,88 GPa	
	Začetna strižna trdnost (srednja vrednost)	f_{v0}	0,13 MPa	6 (CoV=23%)
	Koeficient trenja	$\tan \alpha$	0,57	6 (R^2 = 0,76)
	Največja povprečna strižna napetost v zidu*	$f_{v,max}$	0,29 MPa	
	Natezna trdnost zidovja**	f_t	0,16 MPa	
Beton	Tlačna trdnost kock pri 28 dneh	$f_{c,c,28}$	32,5 MPa	6 (CoV=1,3 %)
Jeklo	Elastični modul	E_s	200 GPa	
	Napetost na meji elastičnosti (srednja vrednost)	f_y	551 MPa	4 (CoV=2 %)
	Natezna trdnost (srednja vrednost)	f_u	658 MPa	4 (CoV=1 %)

Preglednica 1. *Materialne karakteristike materialov. CoV = koeficient variacije,*$f_{v,max}$ je izvrednoten iz tlačno-strižnih testov neutrjenih zidov, **$f_{v,max}$ je izvrednotena iz tlačno-strižnih testov neutrjenih zidov z enačbo Turnška in Čačoviča [Turnšek, 1971].*

Testi materialnih karakteristik so dali vrednosti, ki so pričakovane za tako zidovje. Tlačna trdnost zidovja $f_{c,m}$ je podobna, kot bi jo dobili po enačbi iz Evrokoda 6 [SIST, 2006] za zidovje iz opečnih votlakov in tankoslojno malto, začetna strižna odpornost stikov je nekoliko manjša od vrednosti, ki jih navaja

2.2 Zidovi

Zidova, ki sta bila preizkušena v laboratoriju [Gams, 2023], sta bila dolga 175 cm, 195 cm visoka in debela 38 cm. Imela sta oznaki W7 in W8. Načrt zidov z označenimi merami je prikazan



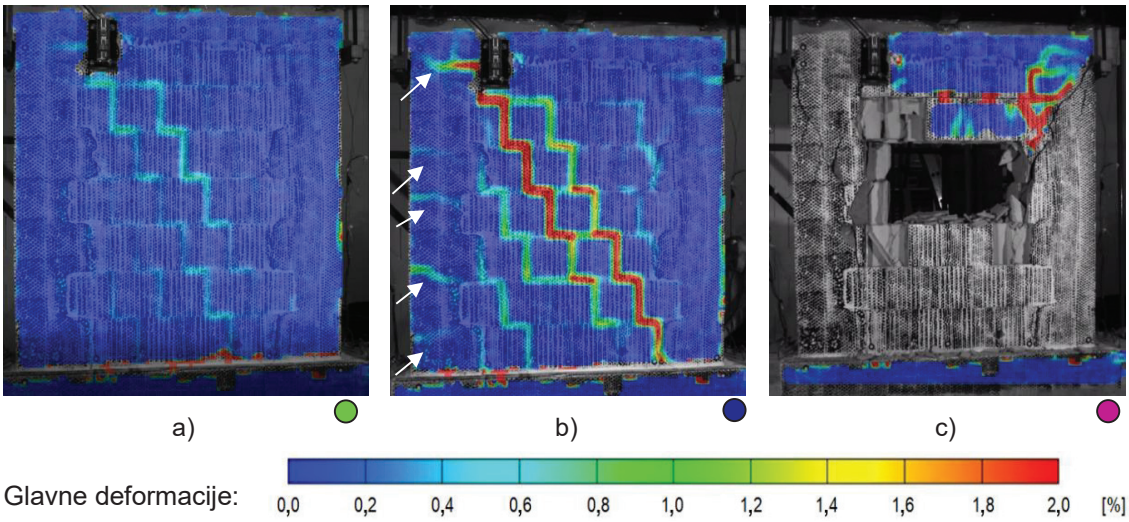
Slika 2. *a) Geometrija zidov in b) zidnih vezi. Vse dimenzije so v cm.*

na sliki 2. Preizkušena sta bila dva identična zidova, ki sta imela navpične vezi oz. sta bila zgrajena v tehnologiji povezanega zidovja. Dimenzije navpičnih vezi so bile 25 x 25 cm, delež armiranja v vzdolžni smeri pa 1 %, kar je spodnja meja po Evrokodu 8 [SIST, 2005]. Čeprav so bile dimenzije vezi razmeroma velike, so bile vezi še vedno tanjše od zidovja. Na eni strani so bile vezi poravnane z ravnino zidu, na drugi strani pa so bile za 13 cm ožje. V praksi se v ta prazni prostor namesti toplotna izolacija za preprečitev toplotnega mostu skozi beton vezi.

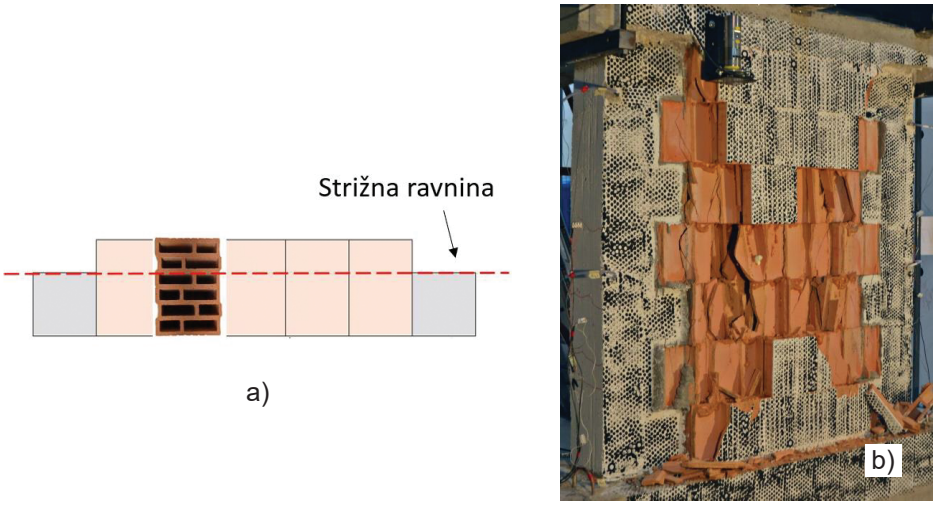
2.3 Preiskave potresnega obnašanja

Omenjena zidova sta bila preizkušena s cikličnim strižnim preizkusom v ravnini zidu, med katerim je bil zid obremenjen s konstantno tlačno obremenitvijo, ki ustreza 20 % karakteristične trdnosti zidovja f_k oz. 0,63 MPa na bruto prerez zidu (zid skupaj z vezema). Med preiskavo so bili preprečeni zasuki na zgornjem in spodnjem robu zidu (dvojno vpeti robni pogoji). V horizontalni smeri smo v ravnini zidu na zgornjem robu vnašali ciklično obtežbo, vodeno s pomiki. Pri vsakem nivoju obremenitve smo isti pomik nanesli trikrat v pozitivno smer in trikrat v negativno smer ter tako na standarden način [Tomaževič, 1999] simulirali potresno obtežbo. Poškodbe zidov pri treh različnih mejnih stanjih (MS) so prikazane na sliki 3.

Prve poškodbe v zidu so bile stopničaste po naležnih in čelnih regah (slika 3(a)), ki so se s povečevanjem vodoravne in strižne obremenitve vedno bolj odpirale. Kasneje so se pojavile vodoravne razpoke v zidnih vezeh, ki so bile razporejene po celi višini vezi (slika 3(b), bele puščice), del zidovja, ki ni bil podprt z vezjo, pa se je začel lomiti, kot je prikazano na sliki 4(a). Približno takrat je zid dosegel največjo odpornost, zamik zidu (vodoravni pomik na vrhu deljen z višino zidu) pa je bil približno 0,5 %. Lomljenje oz. prestrig tega dela zidu se je začel ob vezeh in postopoma napredoval proti središču zidu. Poškodbe zidu pri zamiku 1,3 % so prikazane na sliki 4(b). Proti koncu preizkusa se je osrednji del zidu popolna zdrobil in sredi zidu je nastala luknja, tako da sta vso navpično obtežbo prenašali le navpični

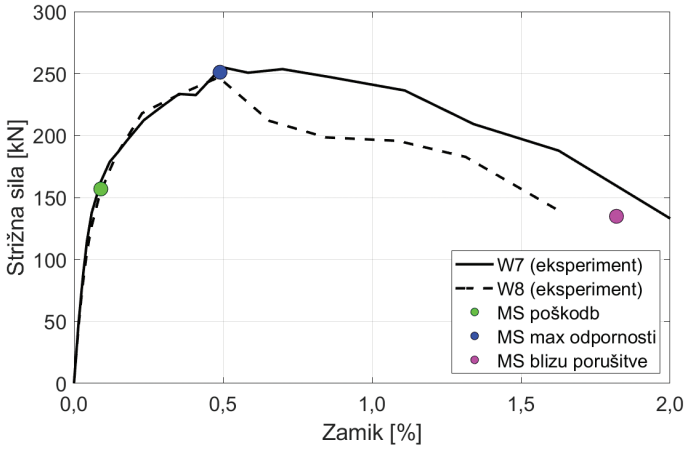


Slika 3. *Poškodbe zidu z oznako W8 z optičnimi meritvami: a) mejno stanje poškodb, b) mejno stanje največje odpornosti in c) stanje blizu porušitve. Rdeča barva prikazuje razpoke.*



Slika 4. *Tlorisni pogled na lomljenje zidu po strižni ravnini skozi stik zidne vezi in zidovja; b) drobljenje zidu pri zamiku 1,3 %.*

zidni vezi (slika 3(c)). Na sliki 5 sta prikazani ovojnici odziva v ravnini zidu za oba preizkušanca. Ovojnici sta krivulji, ki opisujeta največjo odpornost zidu (strižno silo) v odvisnosti od zamika zidu, pri čemer je zamik definiran kot vodoravni pomik deljen z višino zidu. Ovojnico za posamezen zid smo dobili s povprečenjem odziva za obe smeri obremenjevanja (pozitivna in negativna). Tudi mejna stanja smo določili najprej za vsak posamezen zid, zatem pa jih povprečili.



Slika 5. *Eksperimentalno izmerjena ovojnica odziva zidov W7 in W8 z označenimi mejnimi stanji (MS).*

3 PODROBNO NUMERIČNO 3D-MODELIRANJE

V tem poglavju so predstavljene numerične simulacije ravninskega odziva preizkušenih zidov s podrobnim (mikro) 3D-modelom na osnovi elementov v programu Abaqus [Dessault systems, 2023]. Da bi lahko v modelu zajeli prestrig zidovja, prikazan na sliki 4, smo zidove modelirali z upoštevanjem dejanske geometrije zidov v treh dimenzijah. Obtežba v modelu je bila enaka kot v eksperimentih, le vodoravna obtežba ni bila ciklična, temveč monotona. Luknje v zidakih smo modelirali tako, da smo prilagodili materialne karakteristike po priporočilih iz literature [Stavridis, 2010].

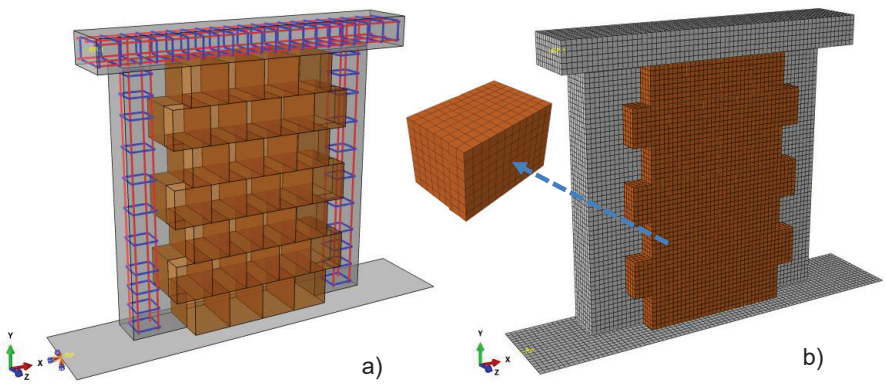
3.1 Geometrija in kontakti

Kot omenjeno, smo upoštevali dejansko geometrijo, kot je prikazano na sliki 6. Temelj in stik s tlemi smo upoštevali tako, da smo konstrukcijo togo vpeli v tla. Vodoravno in navpični zidni vezi ter zidovje smo modelirali z osem vozliščnimi 3D heksaedrskimi prostorskimi elementi z reducirano integracijo (C3D8R). Taki elementi so najbolj primerni za simulacije, ki se rešujejo s postopkom eksplicitne dinamične analize [Dessault systems, 2023]. Vzdolžno in prečno armaturo vezi smo modelirali s 3D linijskimi elementi z dvema vozliščema (T3D2) in jih vgradili v vezi s funkcijo »embed«, ki zagotovi enakost pomikov armaturnih palic in okoliškega betona. Količina in pozicija armature je bila enaka kot v eksperimentu. Navpične vezi so bile togo povezane v temeljno ploščo.

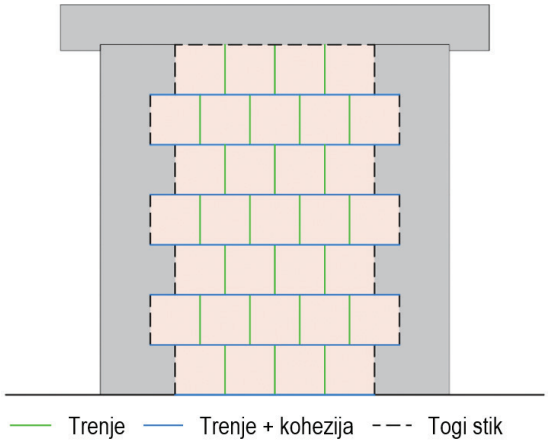
Obtežbo smo na model nanesli v treh korakih. Najprej smo zid obremenili z lastno težo, zatem smo na zgornjo površino nanesli tlačno obremenitev v obliki pritiska (0,63 MPa), v zadnjem koraku pa smo na vodoravni vezi vsilili vodoravni pomik, ki je deloval od leve proti desni. Lastno težo je program določil s statičnim izračunom, vertikalno obremenitev in vsiljeni pomik pa z eksplicitno dinamično analizo.

Na začetku simulacij smo morali narediti nekaj poskusnih izračunov, da smo določili ustrezen čas trajanja dinamične analize, da ne bi prišlo do dinamičnih učinkov, ki jih med eksperimenti ni bilo. Eksperimenti so bili namreč izvedeni razmeroma počasi. Ugotovili smo, da je za nanos navpične obtežbe dovolj 1,0 s, za vnos vodoravnih pomikov pa 12,5 s. S poskušanjem smo morali določiti tudi ustrezno velikost končnih elementov, ki je predstavljala kompromis med natančnostjo rezultatov in računskim časom, ter ustrezno rešitev zaradi odvisnosti rezultatov od velikosti mreže končnih elementov. Ta odvisnost je tipična za materiale z mehčanjem [Hillerborg, 1976]. Abaqus priporoča uporabo karakteristične dolžine končnega elementa, s katero se ustrezno opiše mehčanje v materialu na nivoju napetost-pomik. Na podlagi te analize smo za izbrano velikost končnega elementa z integracijo konstitucijskega zakona v obliki napetost-deformacija določili ustrezno krivuljo napetost-pomik. V vsakem koraku dinamične analize so bile upoštevane tudi geometrijske nelinearnosti.

Stike oz. kontakte med zidaki samimi in med zidaki in vezmi smo definirali z ustreznimi materialnimi zakoni stika, kot je prikazano na sliki 7. Suhi navpični stiki med zidaki so bili modelirani kot stiki, v katerih je le trenje s koeficientom 0,57 in v katerih je preprečeno, da bi se en zidak vtisnil v drugega. V teh stikih ni natezne odpornosti.



Slika 6. *Numerični 3D-model v programu Abaqus: a) geometrija in b) mreža končnih elementov.*



Slika 7. *Različni stiki v numeričnem modelu.*

jene v preteklosti [Gams, 2013] in so bile znane. Pri kalibraciji modela smo uporabili priporočene in izmerjene vrednosti, le togosti K_{nn}, K_{ss}, in K_{tt} smo zmanjšali za 20 % za boljše ujemanje z eksperimentom, kot je prikazano v preglednici 2.

Stik med zidovjem in vezmi je bil predpostavljen kot togi stik, saj je med betonom in zidovjem vzpostavljena močna vez po naknadnem betoniranju. Ti stiki so na sliki 7 prikazani s črno črtkano črto.

3.2 Materialni modeli

3.2.1 Beton

Za modeliranje betona smo uporabili Abaqusov konstitutivni model betona oz. t. i. Concrete Damage Plasticity (CDP). Ta model je zelo znan in se pogosto uporablja za modeliranje obnašanja betona in drugih krhkih materialov pri monotoni ali

Lastnost	Oznaka	Vrednost	Vir
Togost normalno na naležno površino	K_{nn}	23,13 MPa/mm	Izračunano
Strižna togost stika	K_{ss}, K_{tt}	9,64 MPa/mm	Izračunano
Natezna trdnost stika	t_n	0,12 MPa	Iz literature [Marinković, 2022]
Strižna trdnost stika	t_s, t_t	0,097 MPa	Izmerjeno
Energija loma tipa I	G_n	0,001 N/mm	Kalibrirano
Energija loma tipa II	G_s, G_t	0,5 N/mm	Izmerjeno
Koeficient trenja	$\tan\alpha$	0,57	Izmerjeno

Preglednica 2. *Parametri stika v naležnih regah uporabljeni v analizah.*

Stiki v naležnih regah, ki so bili zlepljeni s PU-lepilom (modra črta na sliki 7), so bili definirani kot stiki s trenjem in kohezijo. Zaradi zanemarljive debeline PU-lepila v regah je bil ta stik definiran neposredno med posameznimi zidaki. Preden pride do poškodb, ima stik linearno obnašanje, togosti stika v natezni in strižnih smereh pa so neodvisne. Ko je dosežena nosilnost v natezni ali strižni smeri, se v stiku začne degradacija, ki lahko vodi do eventualne porušitve. Elastični togosti v normalni (K_{nn}) in strižnih smereh (K_{ss} and K_{tt}) smo določili po priporočilih Nazira in Dhanasekarja [Nazir, 2014] z enačbama:

$$K_{nn} = \frac{E_b E_m}{E_b(h_u+t_j)-E_m h_u}\,, \tag{1}$$

$$K_{ss} = K_{tt} = \frac{K_{nn}}{2(1+\nu)}\,, \tag{2}$$

kjer je E_b elastični modul zidaka (predpostavljen kot $300 \cdot f_{bk}$ po priporočilih Kaushika s sod. [Kaushik, 2007]), h_u je višina zidaka, t_j debelina stika in ν Poissonov količnik zidakov (predpostavljen 0,2).

Največjo natezno trdnost stika, t_n, smo prav tako ocenili na podlagi priporočil iz literature [Marinković, 2022]. Največji strižni trdnosti, t_s in t_t, pa smo dobili iz testov stika [Gams, 2023]. Ko je dosežen kriterij poškodb, enačbe za poškodovanost opišejo, kako hitro stik degradira. Ta kriterij je definiran na podlagi energije loma za porušitev tipa I (G_n) in tipa II (G_s and G_t). Vrednosti energije loma za tak stik so bile eksperimentalno izmerjene v preteklosti [Gams, 2013] in so bile znane. Pri kalibraciji modela smo uporabili priporočene in izmerjene vrednosti, le togosti K_{nn}, K_{ss}, in K_{tt} smo zmanjšali za 20 % za boljše ujemanje z eksperimentom, kot je prikazano v preglednici 2.

Stik med zidovjem in vezmi je bil predpostavljen kot togi stik, saj je med betonom in zidovjem vzpostavljena močna vez po naknadnem betoniranju. Ti stiki so na sliki 7 prikazani s črno črtkano črto.

3.2 Materialni modeli

3.2.1 Beton

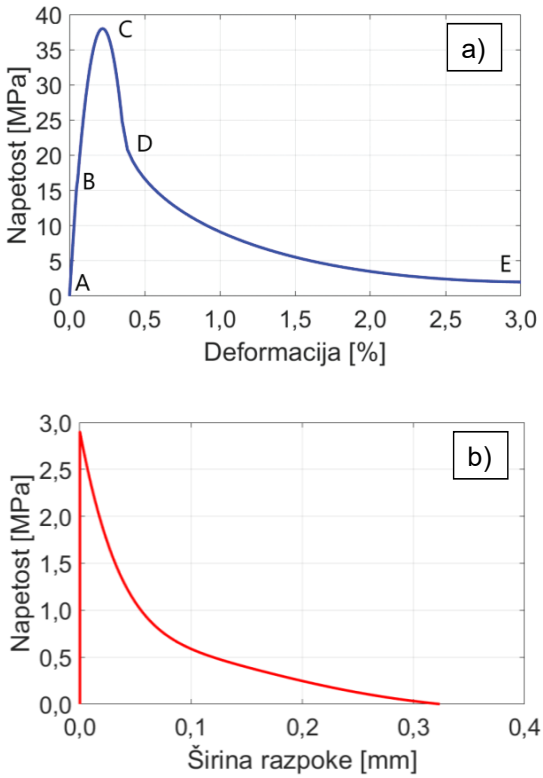
Za modeliranje betona smo uporabili Abaqusov konstitutivni model betona oz. t. i. Concrete Damage Plasticity (CDP). Ta model je zelo znan in se pogosto uporablja za modeliranje obnašanja betona in drugih krhkih materialov pri monotoni ali ciklični obremenitvi. Model upošteva plastičnost in poškodovanost materiala.

Elastični odziv betona je linearen in izotropičen in ga določata elastični modul in Poissonov količnik. Modul elastičnosti smo privzeli iz Evrokoda 2 [SIST, 2005] za trdnostni razred C 30/37, Poissonov količnik pa 0,2. Za definicijo plastičnega obnašanja moramo ločeno podati krivulji napetosti v odvisnosti od deformacije za tlak in za nateg ter podatke o razvoju plastičnosti (preglednica 3). Krivulja odnosa med napetostjo in deformacijo v tlaku (slika 8(a)) je bila prevzeta po modelu Evrokoda 2 [SIST, 2005] do deformacije 0,35 %, od tam do porušitve pri 3 % pa po priporočilih literature [Pavlović, 2013]. Za opis odziva betona v nategu (slika 8(b)) pa je bil definiran odnos med širino razpoke, u_c, in natezno napetostjo, σ_t, po Hordijkovi enačbi [Hordijk, 1991]. Pri izračunu smo kritično dolžino razpoke določili na podlagi energije loma. Oblike funkcije tečenja in plastičnega potenciala nismo spreminjali, parametre zanje pa vzeli iz priporočil v literaturi (glej npr. ([Marinković, 2022], [Pavlović, 2013]). Za model poškodovanosti, ki opisuje degradacijo togosti, smo uporabili enačbe Leeja in Fenvesa [Lee, 1998]. Opis enačb in parametrov nelinearnega obnašanja betona presega obseg tega dela.

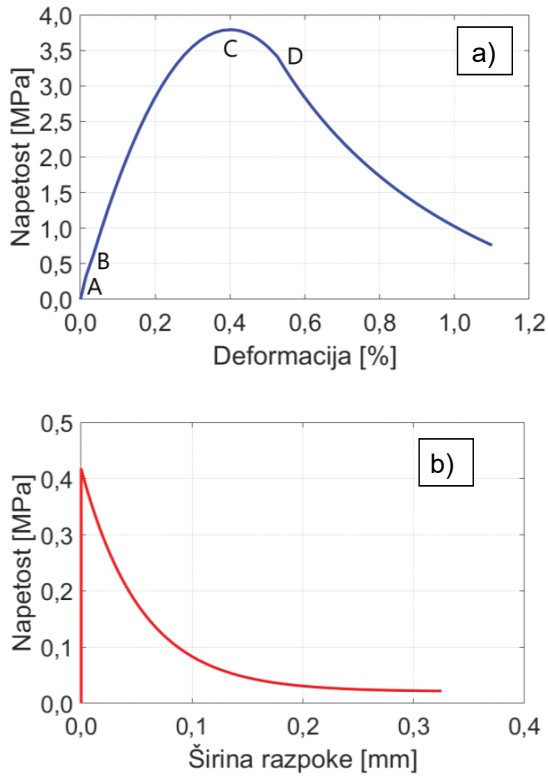
Ker v CDP-modelu ločeno upoštevamo beton in jeklo, model ne upošteva zdrsa armature in mozničnega učinka armaturnih palic. Pomiki v vozliščih končnih elementov armature so enaki pomikom betona.

Lastnost	Oznaka	Vrednost	Vir
Srednja vrednost elastičnega modula	E_{cm}	33 GPa	EC 2 [SIST, 2005]
Tlačna trdnost (točka C na sliki 8(a))	f_{cm}	38,0 MPa	EC 2 [SIST, 2005]
Mejna elastična deformacija betona (točka B na sliki 8(a))	$\varepsilon_{c,el}$	0,0461 %	Izračunano
Tlačna trdnost na meji elastičnosti (točka B na sliki 8(a))	$f_{c,el} = 0{,}4\ f_{cm}$	15,2 MPa	Izračunano
Deformacija pri največji trdnosti (točka C na sliki 8(a))	$\varepsilon_{c,1}$	0,22 %	EC 2 [SIST, 2005]
Deformacija v tlaku pri prehodu v zadnji del krivulje (točka D na sliki 8(a))	$\varepsilon_{c,uD}$	0,35 %	EC 2 [SIST, 2005]
Tlačna trdnost pri prehodu v zadnji del krivulje (točka D na sliki 8(a))	$f_{c,uD}$	24,86 MPa	Izračunano
Tlačna trdnost pri porušitvi (točka E na sliki 8(a))	$\varepsilon_{c,uE}$	3,0 %	Kalibrirano
Sr. vred. natezne trdnosti	f_{ctm}	2,9 MPa	EC 2 [SIST, 2005]

Preglednica 3. *Materialni parametri za beton.*



Slika 8. *Konstitutivni zakon betona: a) napetost-defomacija v tlaku z označenimi karakterističnimi točkami in b) napetost-pomik v nategu.*



Slika 9. *Konstitutivni zakon zidovja: a) napetost-deformacija v tlaku in b) napetost-pomik v nategu.*

3.2.2 Zidovje

Ker je CDP najbolj primeren materialni model za modeliranje krhkih materialov v Abaqusu, smo z njim modelirali tudi zidovje. Natezna trdnost zidovja je bila predpostavljena kot 11 % tlačne trdnosti, kar je bilo ugotovljeno na podlagi kalibracij in primerljivih študij iz literature [Marinković, 2022]. Krivulje napetost-deformacija v tlaku (slika 9(a)) in nategu (slika 9(b)) smo določili na podlagi priporočil Stavridisa in Shinga [Stavridis, 2010] in modifikacije Marinkovića in Butenwega [Marinković, 2022] za zadnji del te krivulje. Natezne deformacije smo določili po priporočilih Lopez Almanse s sod. [López Almansa, 2014].

Model plastičnosti in obliko krivulj razvoja poškodb v zidovju smo predpostavili enako kot v betonu. Vrednosti parametrov za modeliranje zidovja so zbrane v preglednici 4.

Lastnost	Oznaka	Vrednost	Vir
Elastični modul zidovja	E_m K_{nn}	2 200 MPa	Izmerjeno
Tlačna trdnost (točka C na sliki 9(a))	f_m	3,79 MPa	Izmerjeno
Deformacija na meji elastičnosti (točka B na sliki 9(a))	$\varepsilon_{m,el}$ K_{nn}	0,015 %	Kalibrirano
Deformacija pri največji odpornosti (točka C na sliki 9(a))	ε_1	0,40 %	Kalibrirano
Napetosti pri padcu na 90% f'_m (točka D na sliki 9(a))	σ_D	3,41 MPa	Kalibrirano
Deformacija pri padcu na 90 % f'_m (točka D na sliki 9(a))	ε_2	0,53 %	Kalibrirano
Natezna trdnost	f'_{mt}	0,417 MPa	Izračunano
Deformacija pri največji odpornosti v nategu	$\varepsilon_{m,cr}$	0,019 %	Izračunano

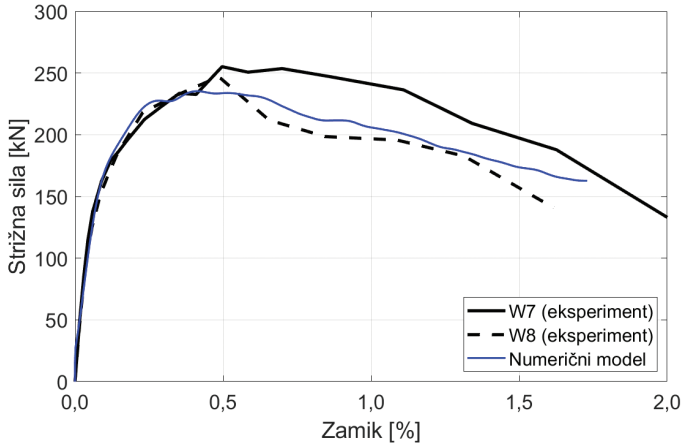
Preglednica 4. *Materialni parametri zidovja.*

3.2.3 Jeklo

Za armaturno jeklo smo predpostavili bilinearni model, v katerem smo upoštevali izmerjene karakteristike [Gams, 2023], kjer je modul elastičnosti E_s=200 GPa, Poissonov količnik ν_s=0,3, meja tečenja f_y=551 MPa, natezna trdnost f_u=658 MPa in porušna deformacija ε_u=10 %.

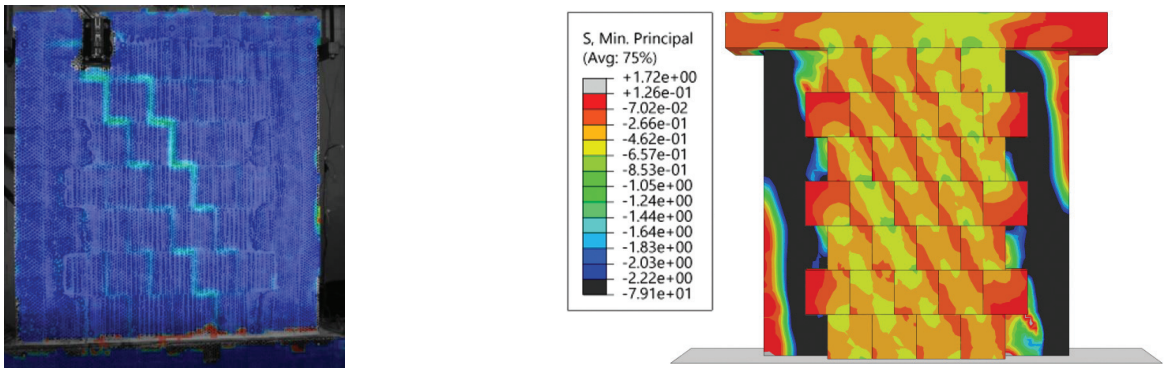
3.3 Validacija numeričnega modela

Validacijo računskega modela izvedemo s primerjavo rezultatov numerične simulacije in eksperimentov. Glavna primerjava in kontrola je primerjava globalnega odziva zidov v obliki horizontalne strižne sile v odvisnosti od pripadajočega horizontalnega zamika zidu (slika 10). Računska simulacija nam poda razmeroma dober rezultat, saj ima krivulja zelo podobno začetno togost. Največja nosilnost z računom se razmeroma dobro ujema z eksperimenti, saj je odstopanje le 7,1 % za zid W7 in 3,7 % za zid W8. Tudi deformacija, pri kateri je dosežena največja odpornost, je zelo podobna. V simulaciji je bila 0,44 %, v eksperimentu pa je bila približno 0,5 %. Računski odziv po doseženi največji nosilnosti je razmeroma dober, če ga primerjamo s povprečnim odzivom obeh zidov.



Slika 10. *Primerjava rezultatov numerične simulacije in izmerjenega eksperimentalnega odziva.*

Na sliki 11 primerjamo odziv zidu pri mejnem stanju poškodovanosti. Za odziv med eksperimentom prikazujemo glavne deformacije, ki smo jih izmerili z optičnim sistemom [Gams, 2023], za odziv numerične simulacije pa glavne tlačne napetosti. Primerjava teh slik pokaže, da se sila v zidovju prenaša preko t. i. tlačnih diagonal, za katere je značilno, da se razvije



a) b)

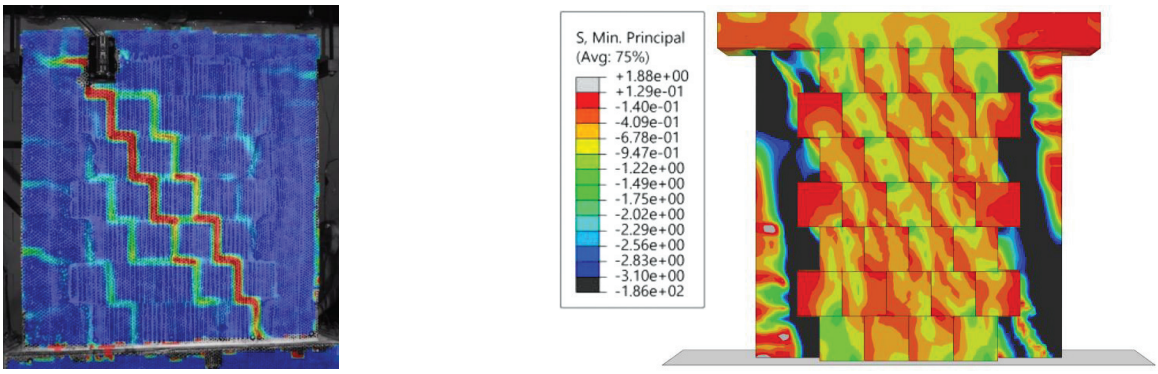
Slika 11. *Primerjava odziva med eksperimentom in simulacijo pri mejnem stanju poškodb: a) merjene razpoke v preizkušancu, b) računske napetosti v zidu.*

več vzporednih poševnih razpok, ki stopničasto potekajo po regah. Širina posamezne diagonale je približno polovica dolžine zidaka, diagonale so razmeroma pravilno porazdeljene po celotnem zidu. Iz napetosti v navpičnih vezeh na sliki 11(b) lahko vidimo, da se v njih razvije podoben sistem prenosa obtežb – po diagonali. Kljub temu na vogalih v vezeh že prihaja do nateznih napetosti (levi spodnji in desni zgornji vogal), ki nakazujeta skorajšnji začetek razpok.

Na sliki 12 naredimo podobno primerjavo pri mejnem stanju največje nosilnosti. Ponovno so na levi prikazane glavne deformacije med eksperimentom, na desni pa glavne tlačne napetosti z numerično simulacijo. V desni polovici zidovja so v numerični simulaciji (slika 12(b)) še vedno vidne tlačne diagonale, v levem spodnjem vogalu pa so diagonale združene v večje območje, ki je močno tlačno obremenjeno. Tudi na sliki deformacij (slika 12(a)) je vidno, da je levi spodnji vogal bolj poškodovan kot desni zgornji. Odziv v navpičnih vezeh se je prav tako spremenil, saj so se v vezeh pojavile mnoge vodoravne razpoke, ki nakazujejo upogibno obnašanje vezi. Rezultati dodatno kažejo, da nikjer ni celoten prerez vezi v tlaku ali nategu, temveč je obnašanje upogibno.

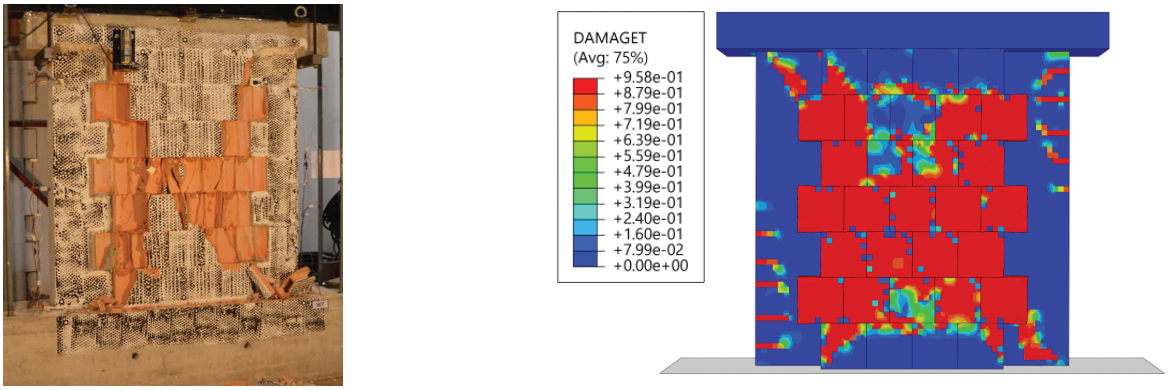
Kot omenjeno, je posebnost obravnavanega zidovja v tem, da se na stiku betona in zidovja pojavijo poškodbe v zidovju in da prihaja do prestriga dela zidovja. Iz eksperimenta vemo, da se to zgodi že pri zamiku zidu za 0,5 % in da se ta del zidovja pri zamiku zidu 1,3 % že skoraj v celoti poruši. Na sliki 13(a) je slika zidu oz. poškodb med eksperimentom pri 1,3 % etažnega horizontalnega zamika, na sliki 13(b) pa je slika poškodb v zidu iz numerične simulacije. Kot vidimo, je ujemanje poškodb zelo dobro.

Poleg poškodb v zidu dobimo z numerično simulacijo tudi dobro napoved poškodb v zidnih vezeh. Na sliki 14(a) so prikazane glavne deformacije v zidu iz eksperimenta pri horizontalnem etažnem zamiku zidu za 1,3 %, na sliki 14(b) pa napoved poškodb v vezeh računskega modela. Numerična simulacija dobro napove (vodoravne) upogibne razpoke v levem spodnjem in desnem zgornjem vogalu, ki jih lepo vidimo tudi med eksperimentom (slika 14(a)). Model napove strižno porušitev tudi v desnem spodnjem vogalu, ki pa je med eksperimentom nismo opazili.



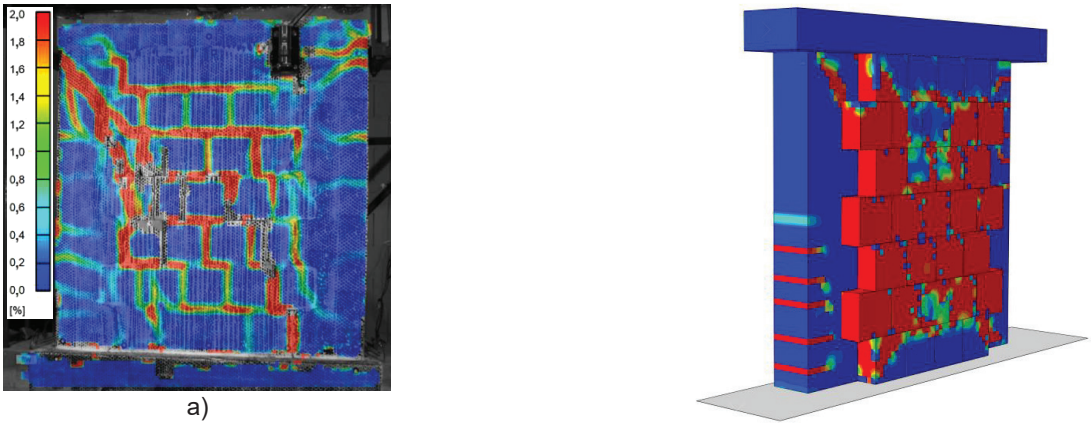
a) b)

Slika 12. *Primerjava odziva med eksperimentom in simulacijo pri mejnem stanju največje odpornosti: a) razpoke v preizkušancu, b) računske največje tlačne napetosti v zidu.*



a) b)

Slika 13. *Primerjava poškodb med eksperimentom in simulacijo pri etažnem horizontalnem zamiku zidu 1,3 %: a) odpadanje prestriženega dela zidakov, b) računske poškodbe v zidu (rdeči deli so popolnoma uničeni).*



a) b)

Slika 14. *Primerjava poškodb v zidnih vezeh med eksperimentom in simulacijo pri 1,3 % zamika: a) razpoke v preizkušancu z optičnimi meritvami (rdeče in tople barve predstavljajo razpoke), b) simulirane računske poškodbe.*

4 SKLEP

V prispevku smo predstavili modeliranje sodobnega povezanega zidovja s podrobnim modelom iz končnih 3D-elementov. Rezultate smo primerjali z obstoječimi eksperimentalnimi preiskavami dveh zidov. Ugotovili smo, da lahko s predstavljenim pristopom napovemo globalni odziv v ravnini zidu v obliki potisne krivulje odnosa med horizontalno silo in pripadajočim etažnim pomikom, saj se eksperimentalni in numerični rezultati zelo dobro ujemajo. Simulacija je pokazala manj kot 6 % napako pri izračunu začetne togosti, največje nosilnosti in pomika pri največji nosilnosti. Prav tako lahko ugotovimo, da je bil uporabljeni način modeliranja uspešen pri modeliranju lokalnih poškodb. Vzorec razpok med eksperimentom in simulacijo je bil podoben, prav tako pa smo lahko simulirali pojav, v katerem so vezi odstrigle del zidovja. Predstavljeni model je zmogljiv in natančen ter bistveno cenejši od eksperimentov. V prihodnje ga bomo lahko uporabili za parametrične študije, v katerih bomo analizirali vpliv velikosti vezi in količine armature na odziv sodobnih povezanih zidov.

5 ZAHVALA

Raziskave financira Slovenska agencija za raziskave in inovacije (ARIS) v sklopu raziskovalnega programa Potresno inženirstvo (P2-0185).

6 LITERATURA

Brzev, S., Mitra, K., Earthquake-Resistant Confined Masonry Construction, NICEE, 2018.

Cai, G., Su, Q., Tsavdaridis, K., Degee, H., Simplified Density Indexes of Walls and Tie-Columns for Confined Masonry Buildings in Seismic Zones, Journal of Earthquake Engineering, 24(3), 447–469, https://doi.org/10.1080/13632469.2018.1453396, 2018.

Dessault system, Abaqus/Explicit FEA, Vélizy-Villacoublay, France, 2023.

Gams, M., Bohinc, U., Tomaževič, M., Experimental tests and constitutive laws for unit-mortar interfaces, Proceedings of the Vienna Congress on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics 13, Dunaj, 28.-30. avgust, 1–10, 2013.

Gams, M., Triller, P., Jäger, A., In-plane seismic behaviour of urm and confined masonry built from vertically perforated blocks and polyurethane glue, Structures, 58, 105528, https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105528, 2023.

Gams, M., Triller, P., Tomaževič, M., Jäger, A., Test of three-storey confined masonry structure built from clay blocks and PU glue, Journal of Building Engineering, 91, 109696, https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109696, 2024.

Hillerborg, A., Modéer, M., Petersson, P.E., Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and finite elements, Cement and Concrete Research, 6, 773–781, https://doi.org/10.1016/0008-8846(76)90007-7, 1976.

Hordijk, D. A., Local Approach to Fatigue of Concrete, doktorska disertacija, Delft University of Technology, 1991.

Kaushik, H. B., Rai, D. C., Jain, S. K., Stress-Strain Characteristics of Clay Brick Masonry under Uniaxial Compression, Journal of Materials in Civil Engineering, 19, 728–739, https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:9(728), 2007.

Lee, J., Fenves, G. L., Plastic-Damage Model for Cyclic Loading of Concrete Structures, Journal of Engineering Mechanics, 124, 892–900, https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(1998)124:8(892), 1998.

López Almansa, F., Alfarah, B., Oller Martínez, S. H., Numerical simulation of RC frame testing with damaged plasticity

model, Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology: a joint event of the 15th European Conference on Earthquake Engineering & 34 General Assembly of the European Seismological Commission: 24-29 August 2014, ICEC - Istanbul, Turkey, European Association for Earthquake Engineering, 1–12, 2014.

Marinković, M., Butenweg, C., Numerical analysis of the in-plane behaviour of decoupled masonry infilled RC frames, Engineering Structures, 272, https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114959, 2022.

Nazir, S., Dhanasekar, M., A non-linear interface element model for thin layer high adhesive mortared masonry, Computers & Structures, 144, 23–39. https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2014.07.023, 2014.

Pavlović, M., Resistance of bolted shear connectors in prefabricated steel-concrete composite decks, doktorska disertacija, Fakulteta za gradbeništvo, Univerza v Beogradu, 2013.

Perez Gavilan, J. J., Flores, L., Alcocer, S., An Experimental Study of Confined Masonry Walls with Varying Aspect Ratios, Earthquake Spectra, 31, 945–968, https://doi.org/10.1193/090712EQS284M, 2013.

SIST, SIST EN 1992-1-1:2005, Evrokod 2, Projektiranje betonskih konstrukcij–Del 1–1, Splošna pravila in pravila za stavbe, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2005.

SIST, SIST EN 1996-1-1:2006, Evrokod 6: Projektiranje zidanih konstrukcij - 1-1. del: Splošna pravila za armirano in nearmirano zidovje, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2006.

SIST, Evrokod 8 – Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2005.

SIST, SIST EN 1998-1:2005/A101:2009, Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe - Nacionalni dodatek Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2009.

Stavridis, A., Shing, P. B., Finite-Element Modeling of Nonlinear Behavior of Masonry-Infilled RC Frames, Journal of Structural Engineering, 136, 285–296. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.116, 2010.

Tomaževič, M., Earthquake-resistant design of masonry buildings, Imperial College Press, 1999.

Tomaževič, M., Gams, M., Shaking table study and modelling of seismic behaviour of confined AAC masonry buildings, Bulletin of Earthquake Engineering, 10, 863–893, https://doi.org/10.1007/s10518-011-9331-x, 2012.

Tomaževič, M., Klemenc, I., Seismic behavior of confined masonry walls, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 26, 1059–1071, https://doi.org/10.1002/(SICI)-1096-9845(199710)26:10<1059::AID-EQE694>3.0.CO;2-M, 1997.

Triller, P., Tomaževič, M., Gams, M., Seismic behaviour of masonry buildings built of low compressive strength units, Bulletin of Earthquake Engineering, 16, 6191–6219, 2018.

Turnšek V., Čačovič F., Some experimental results on the strength of brick masonry walls, in: Proceedings of 2nd Int. Bric-Mason. Conf. Presented at the 2nd Int. Brick-Mason. Conf., Br. Ceram. Res. Assoc., Stoke-on-Trent, 149–156, 1971.

FOTOREPORTAŽA
NEKAJ IZJEMNIH, A NEREALIZIRANIH IDEJNIH ZASNOV MOSTOV INŽENIRSKEGA BIROJA PONTING

Predstavljenih je nekaj nerealiziranih idejnih zasnov cestnih ter peš in kolesarskih mostov Inženirskega biroja Ponting, d. o. o., iz Maribora z natečajev ali neposredno za naročnika. Večina jih ne bo nikoli realiziranih, mogoče pa bodo kot ideja služili bodočim projektantom za nove realizacije.

Projekti so avtorstvo Pontingove skupine (dr. Viktor Markelj, Dušan Rožič, Rok Mlakar, Jernej Maher in Simon Sever) z zunanjimi sodelavci Korpnik produkcija (Turistična brv Celje), Arhimedia (Most čez Muro pri Gradcu), Peter Gabrijelčič in Maša Čelebić (Huzarska brv), IGS Ingenieure in KRP Arhitektur GmbH (Moldauhafenbrücke), Jakobsson Pusterla AB (Pyttebron), KRP Architektur GmbH (Landesgartenschau Rottweil).

TURISTIČNA BRV CELJE

Lokacija: Celje
Naročnik: Mestna občina Celje
Izdelana projektna dokumentacija: IDZ, PGD, PZI
Trajanje projekta: 2017–2022

Objekt Turistična brv Celje je zasnovan kot viseča konstrukcija z enim razponom dolžine 505,0 m ter skupno dolžina nosilne konstrukcije – kablov 527,0 m. Niveleta mostu poteka ca. 100 m nad dolino. Svetla širina pohodne površine v karakterističnem prečnem prerezu brvi znaša 1,20 m. Nosilen sistem v vzdolžni smeri predstavljajo štirje kabli dimenzij LC 80 mm. Nosilni kabli so preko dveh masivnih AB-blokov direktno sidrani v hribinsko osnovo s pomočjo prednapetih sider. Predvideno je sidranje z 2x34 sidri.

Slika 1. *Pogled na turistično brv iz doline gorvodno od mostu Polule.*

Za turistično brv Celje je že bilo pridobljeno gradbeno dovoljenje, izdelana celotna projektna dokumentacija za izvedbo (PZI), izveden je bil razpis za prvo fazo projekta – izgradnja gozdnih poti do izhodišč – in pridobljena večina potrebnih sredstev. Naročnik MO Celje je leta 2022 projekt turistične brvi ustavil.

Slika 2. *Pogled na brv s kolesarske steze Celje–Laško.*

MOST ZA KOLESARJE IN PEŠCE GRADEC

Lokacija: Gradec, Avstrija
Naročnik: Dežela Štajerska, Urad deželne vlade, Oddelek za promet in gradbeništvo
Izdelana projektna dokumentacija: natečajni elaborat
Trajanje projekta: 2023

Udobno čez Muro – most in njegovi dostopi so zasnovani ob upoštevanju urbanističnih potreb in njihovih funkcionalnih zahtev. Udobno, učinkovito in predvsem varno prečkanje reke Mure je vodilo zasnove, oblikovanje se temu prilagaja in podreja, poudarja praktičnost in daje mostu njegov edinstveni značaj.

Slika 3. *Vzdolžna perspektiva mostu.*

Slika 4. *Na mostu ob sončnem zahodu.*

Most je zasnovan kot kontinuirna, 3-razponska, semiintegralna, armiranobetonska okvirna konstrukcija, prednapeta masivna plošča – kontinuirni nosilec s spremenljivo konstrukcijsko višino (0,85 m - 1,35 m), L/V = 28. Razponi mostu so enaki kot pri sosednjem avtocestnem mostu in znašajo 31,0 m + 38,0 m + 31,0 m, skupna dolžina prekladne konstrukcije pa znaša 101,2 m. Prečni profil mostu se proti sredini mostu enostransko razširi od 6,95 m do 9,55 m, s čimer se na mostu ob izdatno dimenzioniranih kolesarskih površinah ustvari dodaten prostor za počitek pešcev in kolesarjev nad sredino struge reke, kjer so tudi najlepši razgledi na revitalizirana rečna nabrežja.

NOVA BRV ČEZ MARIBORSKI OTOK – HUZARSKA BRV

Lokacija: Mariborski otok, Maribor
Naročnik: Mestna občina Maribor v sodelovanju z ZAPS in IZS
Izdelana projektna dokumentacija: natečajni elaborat
Osvojene nagrade: 2. enakovredna nagrada, prva nagrada ni bila podeljena
Trajanje projekta: 2022

Bodoča brv na izjemni lokaciji ima namen povezati poti na obeh bregovih in vzpostaviti krožno kolesarsko in peš promenado. Tak obroč, še posebej z atraktivno premostitvijo, bi pomenil dvig kvalitete bivanja prebivalcev, hkrati pa bi bil generator novih priložnosti tudi v turizmu.

Slika 5. *Situacijski prikaz mostu.*

Konstrukcija Huzarske brvi po tipologiji spada med viseče konstrukcije z zakrivljeno osjo. Dolžina konstrukcije znaša 312 m merjeno po zakrivljeni osi, celotna širina konstrukcije znaša 5,40 m, uporabna širina pa 4,00 m.

Pilon je postavljen na notranjo stran zakrivljenosti grede, lega pilona pa je izbrana tako, da bi gradnja povzročila najmanj možne škode na naravno občutljivem območju. Pilon dviguje nosilni kabel 50 m nad niveleto, celotna višina pilona nad temeljem pa znaša 59 m.

Največji most takega tipa (Mono-cable Suspenion Bridge) je leta 2020 odprt Hemei Bridge na Kitajskem z nosilnim razponom 217 m. Most Huzarska brv z razponom 312 m bi precej prekosil trenutnega rekorderja.

Slika 6. *3D-prikaz konstrukcije mostu.*

Slika 7. *Na mostu – perspektiva uporabnika.*

MOST MOLDAUHAFENBRÜCKE

Lokacija: Hamburg, Nemčija
Izdelana projektna dokumentacija: natečajni elaborat
Trajanje projekta: 2022

Most tvori transparenten pristaniški portal, v prostor pristanišča Grasbrook je umeščen naravno, brez pretiranih konstruktivnih gest in tako ustvarja reprezentativno prečkanje, ponuja dodane rekreacijske površine in površine za počitek ter uporabniku ponuja edinstvene poglede na vedute hamburškega pristanišča.

Slika 8. *Pogled na most z morske gladine.*

Slika 9. *Koncept razsvetljave mostu.*

Most skupne dolžine 137 m prečka kanal Moldauhafen v treh razponih 38,5 m + 58 m + 38,5 m, tlorisno se nad obema stebroma asimetrično razširi od 19,00 m do 21,45 m oziroma 24,50 m.

Most je zasnovan kot semiintegralna jeklena okvirna konstrukcija. Jeklena prekladna konstrukcija je sestavljena iz dveh vzporednih votlih škatlastih glavnih nosilcev, prečnih nosilcev, stranskih konzolnih nosilcev, ortotropne krovne plošče in zunanjih robnih nosilcev. Konstrukcijska višina glavnih vzdolžnih nosilcev se spreminja od 1,45 m do 2,60 m.

Nagnjeni, vutasto oblikovani stebri zmanjšujejo statično dolžino karakterističnega razpona, hkrati pa odpirajo plovni profil okrog pod mostom.

POHODNIŠKI MOST DESERT ROCK SKY BRIDGE

Lokacija: Savdska Arabija
Izdelana projektna dokumentacija: idejna zasnova
Trajanje projekta: 2023

Pohodniški most znotraj turističnega kompleksa na bližnjem vzhodu. Za potencialnega izvajalca Freyssinet je bila brv zasnovana kot viseči most z enim razponom 120,0 m. Nosilna konstrukcija je sestavljena iz dveh glavnih kablov FLC 80 mm in jeklenih okvirjev, ki so pritrjeni na glavna kabla na razdalji 3,50 m. Za prečno stabilnost sta predvidena dva kabla FLC 36 mm. Glavni kabli so sidrani v skalo z zemeljskimi sidri nosilnosti 700 kN. Pohodna površina je predvidena iz lesenih elementov s protidrsno obdelavo.

Slika 10. *Vzdolžna perspektiva mostu.*

Slika 11. *Vstop na most – perspektiva uporabnika.*

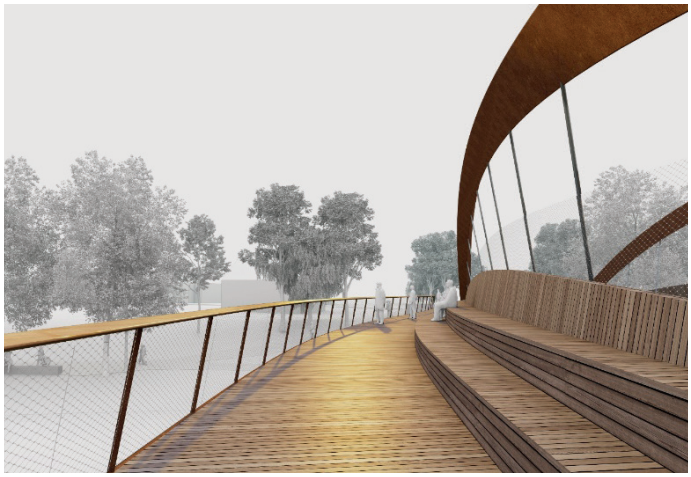
MOST PYTTEBRON

Lokacija: Ängelholm, Švedska
Izdelana projektna dokumentacija: natečajni elaborat
Trajanje projekta: 2021

Most Pyttebron je del pomembne prometne povezave med središčem Ängelholma in rekreacijskim območjem vzdolž obeh bregov reke Rönne z možnostmi prostočasnih dejavnosti in naravnimi vrednotami.

Most je podprt z dvema vzporednima, rahlo zamaknjenima poševnima lokoma, ki prebadata prekladno konstrukcijo in se opirata v temelje v obeh rečnih bregovih. Takšna zasnova kljub večjemu razponu omogoča nizek profil mostu nad niveleto in s tem omejeno pojavnost v izrazito naravnem okolju. Temelji mostu so odmaknjeni od roba reke in postavljeni vzporedno z njenimi brežinami, kar omogoča vodenje sprehajalnih poti vzdolž obeh strani reke in s tem enostaven prehod pod mostom in čezenj.

Slika 12. *Pogled na most iz ptičje perspektive.*



Slika 13. *Na mostu – površine za pešce in kolesarje.*

Celotna dolžina mostu je 66 m, razpon lokov pa znaša 58 m. Višina obeh je 8,5 m. Navzven nagnjena loka imata enakostranični trikotni presek s stranico 80 cm, vzdolžni nosilci prekladne konstrukcije so zrakotesno zaprte jeklene škatle dimenzij 80 x 100 cm. Med vzdolžnimi nosilci je 25–30 cm debela betonska vozišča plošča (za motorna vozila), ki je na rastru 4,0 m podprta s prečnimi nosilci. Loki in nosilci so izdelani iz corten jekla v kvaliteti S355, kar jekleni konstrukciji zagotavlja dolgotrajno zaščito.

MOST LANDESGARTENSCHAU ROTTWEIL 2028

Lokacija: Rottweil, Nemčija
Izdelana projektna dokumentacija: natečajni elaborat
Osvojene nagrade: priznanje
Trajanje projekta: 2024

Most v območju revitalizacije in vrtne razstave v Rottweilu preko številnih železniških tirov in reke Neckar povezuje dve izredno kontrastni območji; staro zgodovinsko mestno jedro na eni strani in zeleno, naravno rekreacijsko območje na drugi.

Glavna jeklena konstrukcija mostu je v konceptu kontrastnosti premoščenih ovir razdeljena na dva razpona in dve funkcionalno različni izvedbi prečnega prereza. Konstruktivni razponi znašajo 88 m in 72 m, skupna dolžina mostu med osema upornikov pa je 160 m. Vizualno so razponi nekoliko zmanjšani s središčno oporo v obliki črke V, statično pa konstrukcija predstavlja dvorazponski most.

Slika 14. *Pogled na most, staro mestno jedro v ozadju.*

Slika 15. *Perspektiva z obrežja reke Neckar.*

V zahodnem razponu je prečni prerez zasnovan kot korito, v vzhodnem razponu kot nosilec, ki leži pod pohodno površino. Jekleno prekladno konstrukcijo vedno sestavljata dva vzporedna jeklena škatlasta nosilca, ki sta med seboj prečno povezana s prečnimi nosilci na rastru 8 m. Konstruktivna sprememba prečnih prerezov (korita/nosilec) se izvede v območju centralne V-podpore. Voziščna krovna konstrukcija je zasnovana kot sovprežna (les-beton) in je sestavljena iz montažnih križno lepljenih lesenih plošč (CLT-plošče) in 10 cm do 15 cm debele pohodne površine iz armiranega betona.

Avtor fotoreportaže: Inženirski biro Ponting, d. o. o.

FOTOREPORTAŽA
GRADNJA NOVEGA LOGISTIČNEGA CENTRA DHL NA BRNIKU

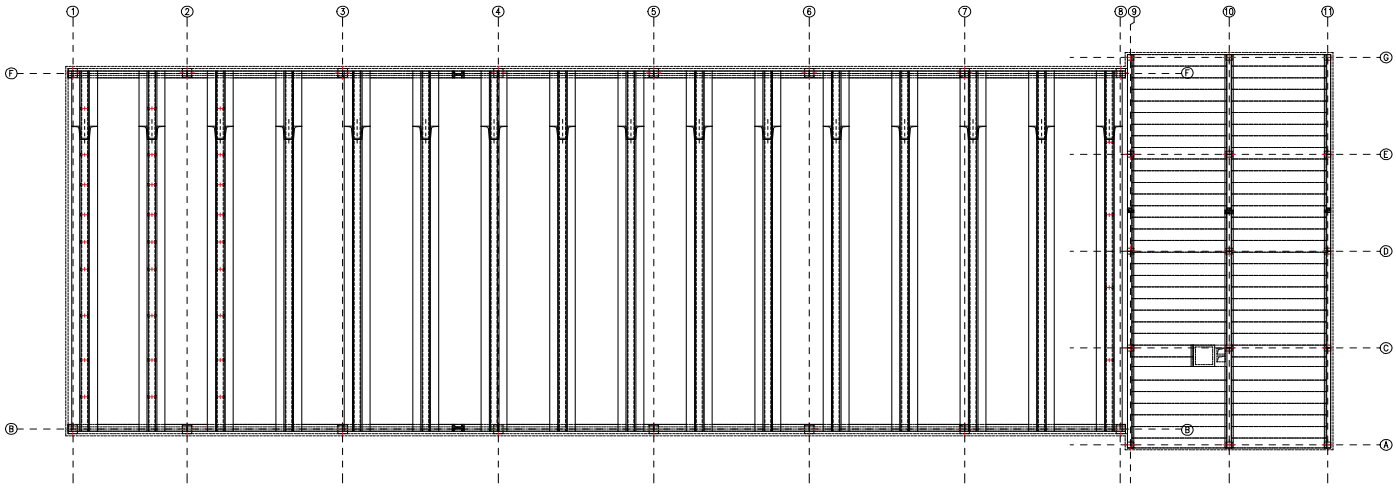
Slika 1. *Montažna AB-konstrukcija logističnega centa DHL na Brniku.*

Lokacija: Letališče Jožeta Pučnika Ljubljana, Brnik
Investitor: DHL Ekspres (Slovenija), d. o. o.
Projektant arhitekture: Štajerski inženiring, d. o. o.
Projektant gradbenih konstrukcij (klasični del): Štajerski inženiring, d. o. o.
Projektant gradbenih konstrukcij (montažni del): PRO-CONCRETE, d. o. o.
Izvajalec: GIC GRADNJE, d. o. o. (glavni izvajalec), PRO-CONCRETE, d. o. o. (dobavitelj montažne konstrukcije)

V začetku maja 2024 se je na Brniku pričela gradnja novega logističnega centra podjetja DHL Ekspres (Slovenija), d. o. o. Z novim centrom bo podjetje okrepilo operativne zmogljivosti in poudarilo zavezanost k trajnostnemu razvoju in digitalnemu poslovanju, saj gre za ogljično nevtralni objekt. Investiror se je odločil glavno nosilno konstrukcijo izvesti iz montažnih AB-elementov brez vmesnih podpor v objektu. Objekt je pravokotne tlorisne oblike dimenzij 122,2 x 41,0 m in dilatirano razdeljen na skladiščni in upravni del.

Skladiščni del je v celoti pritlične izvedbe, kjer glavno vertikalno nosilno konstrukcijo predstavljajo montažni AB-stebri 90 x 90 cm, ki so montirani na klasične AB-temelje. Stebri so postavljeni v vzdolžnem rastru 11,0 + 6 x 15,0 m ter prečnem rastru 36,75 m. Strešna konstrukcija je zasnovana iz AB montažnih prednapetih »wing« nosilcev dimenzij b/h = 250/140 cm, ki so postavljeni v medsebojnem rastru 6,5–6,6 m in premagujejo celoten prečni razpon objekta (37,18 m). Omenjeni nosilci slonijo na AB montažnih prednapetih I-nosilcih b/h = 70/115 cm, ki se preko sider naslanjajo na prej omenjene stebre.

Upravni del objekta je tlorisno manjši v primerjavi s skladiščnim delom. Višinsko pa je razdeljen na pritličje in nadstropje. Glavno vertikalno nosilno konstrukcijo predstavljajo montažni AB-stebri, medetažno ploščo in strešno konstrukcijo predstavljajo montažne votle PVP-plošče. V sredini objekta je klasično izvedeno AB stopniščno in dvigalno jedro.



Slika 2. *Tloris strešne konstrukcije. Leva stran prikazuje skladiščni del z »wing« nosilci, desna pa upravni del z PVP-ploščami.*

Izbrana montažna gradnje tovrstnih objektov omogoča hitrejšo, kakovestnejšo in enostavnejšo gradnjo. Montažna AB-konstrukcija, ki je izvedena v proizvodnjih prostorih, dosega višjo kvaliteto, saj dela potekajo pod kontrolirano atmosfero ter višjo kontrolo samih osnovnih zahtev (geometrija, kvaliteta in vgradnja betona ter armature, zaščitnih slojev ...). Vzporedno pa izvedba elementov v proizvodjni pomeni, da lahko dela potekajo vzporedno, kar na samem gradbišču pomeni manj delavne sile in opreme ter krajši čas gradnje. Pri obravnavanem objektu pa izvedba takšnih elementov na gradbišču sploh ni mogoča.

Velik izziv je bil tudi prevoz »wing« nosilcev, saj je skupna dolžina kamiona s prikolico dosegala skoraj 50 metrov, skupna masa enega nosilca pa je znašala 47,5 tone. Nosilci so bili na gradbišče pripeljani z izrednimi prevozi s spremstvom.

Slika 3. *Prednapeti »wing« nosilec in kompozicija za izredni prevoz.*

Montaža AB-konstrukcije skladiščnega dela objekta je bila izvedena s pomočjo avtodvigal. Zaradi bližine letališča smo bili omejeni z višino dviga teleskopa, kar je omejilo našo višino pri montaži. Da bi se izognili preseganju dovoljene višine, smo uporabili dve 130-tonski dvigali, kar je tudi omogočilo natančno usklajevanje in varno postavitev teh ključnih elementov.

Slika 4. *Prednapeti »wing« nosilec, pripravljen za izredni prevoz.*

Slika 5. *Postavitev stebrov in »wing« nosilcev.*

Slika 6. *Montaža »wing« nosilcev s pomočjo dveh avtodvigal.*

Slika 7. *Glavna nosilna konstrukcija skladiščnega dela objekta.*

Slika 8. *Montaža nosilne konstrukcije upravnega dela objekta.*

Po montaži glavne nosilne konstrukcije skladiščnega dela objekta je bila izvedena še montaža nosilne konstrukcije upravnega dela objekta, ki vključuje montažne stebre, nosilce in PVP-plošče.

Slika 9. *Zaključena gradnja montažne konstrukcije skladišča in upravnega dela objekta (avgust, 2024).*

Po zaključku montaže je sledil temeljit pregled vseh veznih elementov, da je bila zagotovljena varnost konstrukcije. Prednost montaže prefabriciranih hal je v manjšem številu delavcev, saj pogosto zadostujejo le dva monterja in upravljavec avtodvigala.

Slika 10. *Vizualizacija novega logističnega centra DHL na Brniku.*

Avtor fotoreportaže: Sandi Stanič, univ. dipl. inž. grad. (Projekt, d. d.)

ZADNJI PRIPRAVLJALNI SEMINAR IN IZPITNI ROK ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2024

SEMINAR	IZPIT
14. - 16. 10. 2024	19. 11. do 26. 11. 2024

A. PRIPRAVLJALNI SEMINARJI:

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

Telefon: (01) 52-40-200; e-naslov: gradb.zveza@siol.net; gradbeni.vestnik@siol.net.

Uradne ure: od ponedeljka do četrtka od 09.00 do 14.00 ure; v petek ni uradnih ur za stranke!

Pripravljalni seminar bo za:

1. **Pooblaščene inženirje gradbene stroke**
2. **Vodje del za področje gradbene stroke**

Predavanja bodo iz naslednjih predmetov izpitnega programa:

1. **Predpisi s področja graditve objektov, urejanja prostora, arhitekturne in inženirske dejavnosti, zborničnega sistema ter osnov varstva okolja in splošnega upravnega postopka**
2. **Investicijski procesi in vodenje projektov**
3. **Varstvo zdravja in življenja ljudi ter varstvo okolja pri graditvi objektov**
4. **Področni predpisi in standardizacija s področja graditve objektov**

Cena za udeležbo na tridnevnem seminarju skupaj z učnim gradivom znaša 757,00 EUR z DDV. V ceni so všteti tudi odmori za kavo.

Seminar obsega uvodno predavanje predsednika izpitne komisije pri IZS ter 5 predavanj iz predmetov izpitnega programa. Predavali bodo pooblaščeni strokovnjaki IZS, ki so pri IZS člani izpitne komisije za opravljanje strokovnih izpitov.

Kandidati lahko poslušajo zgolj posamezno predavanje v okviru seminarja, cena za obisk posameznega predavanja je 151,40 EUR z DDV.

Seminar bo predvidoma potekal v predavalnici, v primeru višje sile bo izveden kot video konferenca. Vabilo z urnikom in vsemi ustreznimi navodili prejme vsak udeleženec teden dni pred začetkom predavanj.

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

Prijavo je potrebno posredovati na e-naslov gradb.zveza@siol.net najmanj **7 dni pred začetkom** seminarja! Prijavni obrazec je objavljen na spletni strani ZDGITS (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 izpitih in izpitnih programih je mogoče dobiti na sedežu IZS (uradne ure: ponedeljek, sreda, četrtek in petek od 8.00 do 12.00 ure, torek od 12.00 do 16.00 ure), na spletni strani IZS (www.izs.si) ali 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).

NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

I. STOPNJA – VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Anej Krajnc, Zagotavljanje varnosti na gradbiščih s posebnim režimom, mentor doc. dr. Robert Klinc;
https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=159558

I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Mihajlo Babić, Projektiranje podpornega odra in opaža viadukta Škalsko jezero, mentor doc. dr. Jože Lopatič, somentor Boris Pogačar;
https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=159556

Maks Alič, Analiza normativov za betonska dela, mentor doc. dr. Robert Klinc, somentor doc. dr. Bojan Čas;
https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=159668

Ela Verdnik, Potencial uporabe BIM za zagotavljanje in kontrolo kakovosti v vseh fazah življenjskega cikla manj zahtevnih objektov, mentor doc. dr. Robert Klinc;
https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=159836

Žiga Krnc, Prometna analiza križišča regionalnih cest R1 215 in R3 750 v Prelesju pri Mokronogu, mentor izr. prof. dr. Marijan Žura, somentor asist. mag. Simon Detellbach;
https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=159669

III. STOPNJA – DOKTORSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRAJENO OKOLJE

Sudhanva Kusuma Chandrashekhara, Geometrically and materially nonlinear beam dynamics with strain localization, mentor prof. dr. Dejan Zupan;
https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=159721

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

I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Milana Kovačević, zaključek študija brez zaključnega dela.

Aljaž Goznik, zaključek študija brez zaključnega dela.

Iva Petrovič, zaključek študija brez zaključnega dela.

Amar Deljanin, zaključek študija brez zaključnega dela.

Zoja Šprah, zaključek študija brez zaključnega dela.

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

INTERDISCIPLINARNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA – SMER GRADBENIŠTVO

I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM

Nuša Goručan, zaključek študija brez zaključnega dela.

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

Gradbeni vestnik

KOLEDAR PRIREDITEV

16.-20.9.2024
30. Svetovni ITS kongres
Dubaj, Združeni Arabski Emirati
https://itsworldcongress.com

18.-20.9.2024
International Symposium of the Association of Structural Engineers of Serbia – ASES
Vrnjačka Banja, Srbija
https://dgks.grf.bg.ac.rs/index.php?lang=en

22.-25.9.2024
CDA Conference 2024 - Canadian Dam Association 2024 Annual Conference & Exhibition
Niagara Falls, Ontario, Kanada
https://cda.ca/events/2024/09/23/cda-conference-2024

23.-27.9.2024
IS-Grenoble 2024 — International Symposium on Geomechanics from Micro to Macro
Grenoble, Francija
https://is-grenoble2024.sciencesconf.org/

29.9.-3.10.2024
92nd ICOLD Annual Meeting and International Symposium
New Delhi, Indija
www.icold2024.org/#/home

8.-12.10.2024
EUROENGEO 2024 - 4th European Regional Conference of IAEG – Engineering Geology and Geotechnics: Building for the Future
Dubrovnik, Hrvaška
www.euroengeo2024.com

9.-11.10.2024
2024 Urbanism Next Europe Conference
Amsterdam, Nizozemska
www.urbanismnext.org/events/2024-urbanism-next-europe-conference

23.-25.10.2024
16. slovenski kongres o prometu in prometni infrastrukturi
Portorož, Slovenija
www.drc-zdruzenje.si/kongres/

3.-5.11.2024
CEES2024 — 1st International Conference on Civil and Environmental Engineering for Resilient, Smart and Sustainable Solutions
Al Khobar, Savdska Arabija
https://cees2024.org

7.-8.11.2024
45. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije
Portorož, Slovenija
www.sdgk.si

13.-14.11.2024
11. Dnevi gradbenega prava 2024
Laško, Slovenija
https://dgp.uradni-list.si

20.-22.11.2024
5th International Conference on Transportation Geotechnics 2024
Sydney, Avstralija
www.ictg2024.com.au

2.-5.12.2024
Deep Mixing 2024
Jokohama, Japonska
https://dm2024.info/

20.-22.03.2025
GCCSEE2025 - Global Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering
Berlin, Nemčija
https://imprintsconferences.com/conferences/GCCSEE2025

7.-13.4.2025
BAUMA 2025 - 34th Edition of the World's Leading Trade Fair for Construction Machinery, Building Material Machines, Mining Machines, Construction Vehicles and Construction
München, Nemčija
https://bauma.de/en/trade-fair/

10.-11.4.2025
15th International Conference on the Constructed Environment
Berlin, Nemčija
https://constructedenvironment.com/2025-conference

9.-15.5.2025
WTC 2025 — World Tunnel Congress
Stockholm, Švedska
www.wtc2025.se

21.-23.5.2025
DFI / EFFC Geotechnics Reimagined — International Conference on Deep Foundations and Ground Improvement
Brugge, Belgija
https://dfi-events.org/dfi-effc25/cfa.html

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