





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

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

spletna izdaja ISSN 2536-4332.

Ljubljana, september 2021, letnik 70, str. 185-212

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 (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: **prof. dr. Matjaž Mikoš, predsednik**
izr. **prof. dr. Andrej Kryžanowski**
Dušan Jukič
IZS MSG: **Jernej Mazij**
mag. Jernej Nučič
mag. Mojca Ravnikar Turk
UL FGG: **doc. dr. Matija Gams**
UM FGPA: /
ZAG: **doc. dr. Aleš Žnidarič**

Uredniški odbor:

izr. **prof. dr. Sebastjan Bratina, glavni in odgovorni urednik**
doc. dr. Milan Kuhta

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Romana Hudin

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

450 tiskanih izvodov
3000 naročnikov elektronske verzije

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

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

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

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
SI56020170015398955

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

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

Uredništvo

Vsebina • Contents

Članki • Papers

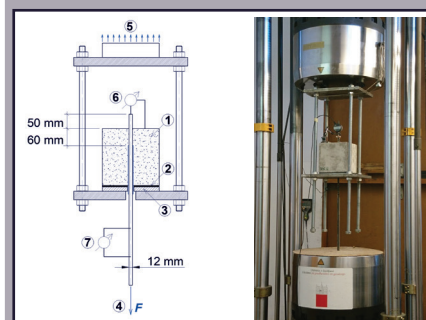
stran **186**

doc. dr. Drago Saje, univ. dipl. inž. grad.

doc. dr. Jože Lopatič, univ. dipl. inž. grad.

OBNAŠANJE STIKA MED BETONOM IN ARMATURNIMI PALICAMI IZ BAZALTNIH VLAKEN

**BOND BEHAVIOUR BETWEEN CONCRETE AND BASALT
FIBRE REINFORCED POLYMER BARS**



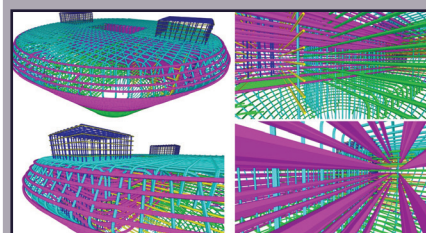
stran **197**

Tomaž Goričan, mag. inž. grad.

doc. dr. Milan Kuhta, univ. dipl. inž. grad.

UPORABNOST BIM MODELOV ZA IZDELAVO ARMATURNIH RISB KONSTRUKCIJSKIH ELEMENTOV MOSTOV

**USABILITY OF BIM MODELS FOR THE DESIGN OF
REINFORCEMENT DRAWINGS FOR BRIDGE
STRUCTURAL ELEMENTS**



Fotoreportaža z gradbišča

stran **209**

Ministrstvo za infrastrukturo, Direkcija RS za infrastrukturo

NADGRADNJA ŽELEZNIŠKE PROGE LJUBLJANA- JESENICE – DRŽAVNA MEJA



Obvestila ZDGITS

stran **212**

ZADNJI PRIPRAVLJALNI SEMINAR IN IZPITNI ROK ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2021

Novi diplomanti

Eva Okorn

Koledar prireditev

Eva Okorn

Slika na naslovnici: Poslovno skladiščni objekt Schrack v Spodnjih Hočah, Foto: Jan Kuhta

OBNAŠANJE STIKA MED BETONOM IN ARMATURNIMI PALICAMI IZ BAZALTNIH VLAKEN

BOND BEHAVIOUR BETWEEN CONCRETE AND BASALT FIBRE REINFORCED POLYMER BARS

doc. dr. Drago Saje, univ. dipl. inž. grad.

drago.saje@fgg.uni-lj.si

doc. dr. Jože Lopatič, univ. dipl. inž. grad.

joze.lopatic@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in
geodezijo,

Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 624.014.2:691.32

Povzetek | V članku obravnavamo obnašanje sidranja armaturnih palic iz bazaltnih vlaken v beton. Bazaltna armatura ima kot nekovinska armatura pred jekleno številne prednosti. Glavna prednost bazaltne armature je, da ta armatura ne korodira in je s tem primerna za uporabo v agresivnem okolju. Nekaj preostalih prednosti in pomanjkljivosti ter posebnosti na področju proizvodnje, regulative in uvajanja te armature v prakso podajamo v uvodnem razdelku.

Bazaltne armaturne palice so se med z vlakni ojačanimi polimernimi palicami, ki se že uporabljajo v praksi, pojavile kot zadnje, zato se pri njih še na številnih področjih kaže potreba po intenzivnem raziskovanju. Rezultati preiskav obnašanja stika med betonom in armaturo so podlaga za določanje potrebnih sidrnih in preklopnih dolžin armaturnih palic. Že pred leti (Saje, 2019) smo se lotili preiskovanja obnašanja stika med bazaltnimi armaturnimi palicami in betonom z izvlečnimi preizkusi. Med temi spremljamo sprijemno napetost in zdrs palice ter določamo sprijemno odpornost. V članku so predstavljeni rezultati lastnih preiskav obnašanja stika med bazaltnimi armaturnimi palicami premera 12 mm in dvema vrstama betona, betonom običajne in betonom visoke trdnosti. Preiskovane bazaltne armaturne palice so imele spiralni ovoj in peščeni posip. Za primerjavo za obe vrsti betona podajamo še rezultate izvedenih izvlečnih preiskav jeklene rebraste armature enakega premera. Ugotovili smo, da preizkušanci z bazaltno armaturo dosega jo približno 70 % sprijemne trdnosti preizkušancev z jekleno armaturo. Tako pri preizkušancih z bazaltno kakor tudi pri preizkušancih z jekleno armaturo pa se je pokazalo, da ima tlačna trdnost betona velik vpliv na sprijemno trdnost in potek zveze med sprijemno napetostjo in izmerjenim zdrsom.

Ključne besede: bazaltna armatura, jeklena armatura, izvlečni test, sprijemna trdnost, zdrs, beton visoke trdnosti

Summary | The article discusses the behaviour of anchorage of basalt fibre reinforcement bars in concrete. As a non-metallic reinforcement, basalt reinforcement has many advantages over steel. The main advantage of basalt reinforcement is that it does not corrode and is therefore suitable for use in aggressive environments. Some other advantages, disadvantages and peculiarities in fabrication, regulation and application of this reinforcement in practice are mentioned in the introductory section. Basalt reinforcement is one of the newest among fibre reinforced polymer reinforcements, which are already being used in practice and therefore still require intensive research in many areas. The

results of bond behaviour studies are the basis for determining the required anchorage and lap lengths of reinforcing bars. We started to investigate the bond behaviour between basalt rebars and concrete with pull-out tests years ago (Saje, 2019). In this process, we monitor the bond stress and slip of the bars and determine the bond strength. The article presents the results of the bond behaviour of basalt reinforcing bars with a diameter of 12 mm and two types of concrete, normal strength concrete and high strength concrete. The basalt reinforcement bars were helically wrapped and sand coated. For comparison, the results of pull-out tests with ribbed steel reinforcement of the same diameter in both types of concrete are also presented. It was found that the specimens with basalt reinforcement achieved about 70 % of the bond strength of specimens with steel reinforcement. However, it was also found that for both basalt and steel reinforced specimens, the compressive strength of the concrete has a great influence on the bond strength and on the relationship between the bond stress and the measured slip.

Key words: basalt rebars, steel rebars, pull-out test, bond strength, slip, high strength concrete

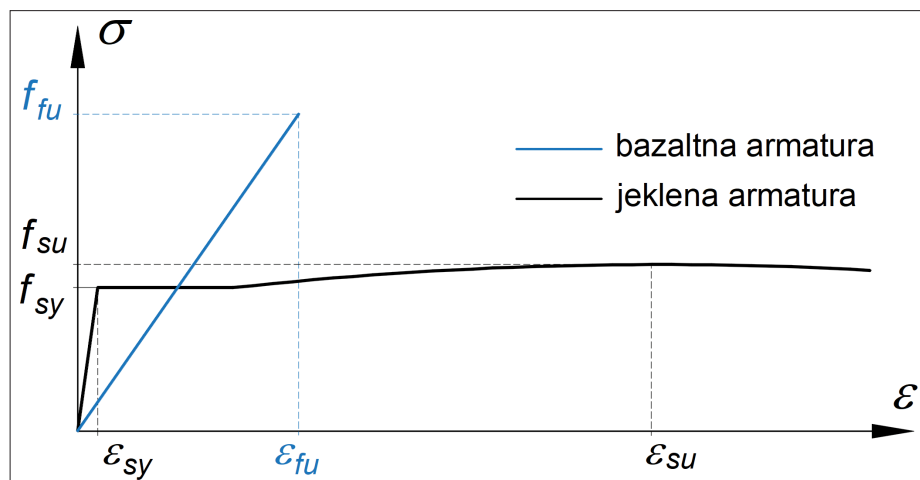
1 • UVOD

Agresivno okolje v splošnem predstavlja nevarnost za klasično armiranobetonske konstrukcije. V takem okolju sta zaradi večje možnosti pojava korozije jeklene armature lahko ogroženi tako trajnost kakor tudi nosilnost konstrukcij. V skrajnem primeru lahko to privede do odpadanja krovnege sloja betona in celo do popolne izgube nosilnosti elementa. V zadnjih desetletjih se raziskovalci po celem svetu precej ukvarjajo z alternativnimi vrstami nekovinske armature, ki ne korodira ((Cosenza, 2002), (Mazaheripour, 2013), (Yang, 2017), (Abedini, 2017), (Jabbar, 2018), (Kabashi, 2020), (Tarawneh, 2020), (Imjai, 2020)). Najpogosteje se za izdelavo korozijsko neobčutljivih armaturnih palic uporabljajo z različnimi vlakni ojačani polimeri (Fiber Reinforced Polymers – FRP). Zaradi časovnega sosledja razvoja materialov so bolj uveljavljene palice iz steklenih, karbonskih in aramidnih vlaken, palice iz bazaltnih vlaken pa so med novjšimi. Lastnosti teh palic in obnašanje z njimi armiranih nosilnih elementov so posledično manj raziskane. To se odraža tudi v podrobnejših priporočilih za projektiranje betonskih konstrukcij z vgrajeno nekovinsko armaturo ((ACI, 2015), (JSCE, 1997), (fib, 2013) ...), kjer v nasprotju z armaturo iz steklenih, karbonskih in aramidnih vlaken za armaturo iz bazaltnih vlaken konkretnih vrednosti parametrov, potrebnih za projektiranje, ni podanih. V splošnih modelnih predpisih fib MC 2010 za betonske konstrukcije (fib, 2013) je vsa armatura iz z vlakni ojačanih polimerov obravnavana kot nekovinska armatura v posebnem razdelku.

Poleg tega da bazaltna armatura ne korodira, ima še vrsto drugih ugodnih lastno-

sti: razmeroma dobro toplotno in požarno odpornost, elektromagnetno nevtralnost, ni nevarna za zdravje ljudi, ne absorbira jedrskega sevanja, ne vpija vode, je trajnostni material, prijazen do okolja in primeren za reciklažo. Ob tem so palice iz bazalta lahke in imajo visoko natezno trdnost, ki je odvisna od proizvodnega procesa, od vrste veziva, od deleža vlaken v palici, za razliko od jeklenih pa tudi od premera palice. Za palice različnih proizvajalcev so v literaturi navedene okvirne vrednosti natezne trdnosti med 900 MPa in 1400 MPa. Vrsta veziva in delež vlaken, ki sta spremenljiva parametra proizvodnje, ključno vplivata tudi na temperaturna razteznostna koeficienta bazaltna armature. Ta se, drugače kot pri jekleni armaturi, močno razlikujeta v vzdolžni in prečni smeri (ACI, 2015) pa tudi med

proizvodi. Na temperaturni razteznostni koeficient v vzdolžni smeri imajo prevladujoč vpliv lastnosti vlaken, v prečni smeri pa lastnosti veziva. Okvirne vrednosti temperaturnih razteznostnih koeficientov bazaltnih palic iz literature (Aydin, 2018) znašajo za vzdolžno smer $\alpha_{T,l} = 2 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ do $4 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ in $\alpha_{T,t} = 18 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ do $26 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ za prečno smer. Z vidika dimenzioniranja konstrukcij je pri uporabi bazaltnih palic tako kot tudi pri uporabi palic iz vseh ostalih z vlakni ojačanih polimerov treba nameniti povečano pozornost mejnim stanjem uporabnosti, saj ima takšna armatura v primerjavi z jekleno relativno nizek elastični modul (slika 1). Neustrezno dimenzionirani armiranobetonski elementi, s poudarkom le na mejnih stanjih nosilnosti, imajo posledično bistveno manjšo togost in s tem večje povese, večje pa so tudi širine razpok. Tako kot na natezno trdnost ima tudi na modul elastičnosti bazaltna armature ključen vpliv delež vlaken v palici, v literaturi pa je za modul elastičnosti



Slika 1 • Značilna delovna diagrama jeklene armature in armature iz bazaltnih vlaken.

mogoče najti vrednosti vse od 40 GPa do 70 GPa. Bazaltna armatura je v osnovi krhek material, saj se vse do porušitve obnaša linearno elastično (slika 1), kar je neugodno za projektiranje z njo armiranih betonskih konstrukcij na potresnih območjih. Se pa v zadnjem času že pojavljajo hibridne arma-

turne palice, ki naj bi združevale dobre lastnosti bazalta in jekla, visoko natezno trdnost bazalta in duktilnost jekla (Xiao, 2018). Poleg tega ciklične preiskave stičnega območja obnašanja z vlakni ojačanih polimernih palic in betona (Shen, 2020) kažejo precej boljše možnosti sipanja energije kot podobne

preiskave sidrnega območja jeklenih palic (Atavi-Fard, 2002). Predmet raziskav so tudi hibridne armaturne palice povsem brez jekla, ki v tlaku izkazujejo elastoplastični odziv (Teng, 2018). Nekovinska armatura se na podlagi dodatnih raziskav počasi širi tudi na konstrukcije na potresni območjih.

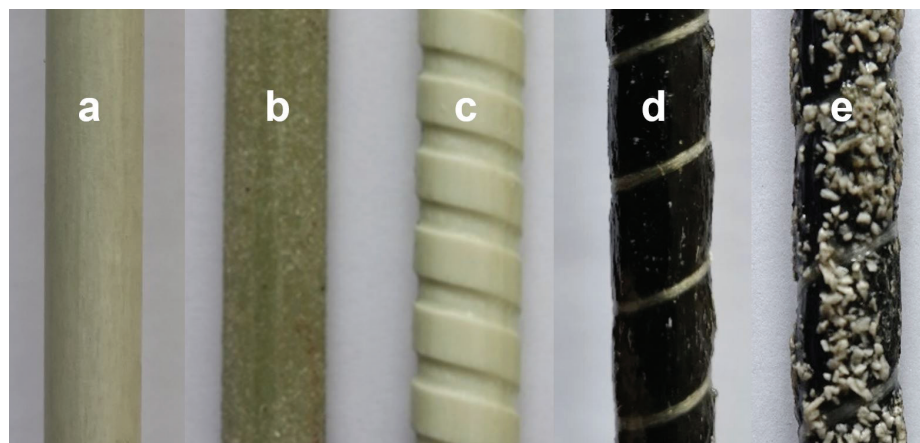
2 • MEHANIZEM SPRIJEMNOSTI

Za zagotavljanje ustrezne nosilnosti armirano-betonskih elementov v natezno obremenjena območja vstavljamo armaturne palice, saj beton slabo prenaša natege. Da pri tem dosežemo privzeto sodelovanje obeh materialov, morajo biti armaturne palice v betonu ustrezno zasidrane. Le tako se lahko prenašajo sile iz armature v beton in obratno, kar je predpogoj za formiranje ustreznih nosilnih mehanizmov.

Med dejavniki, ki pomembno vplivajo na sprijemno trdnost med armaturno palico in betonom, je površinska obdelava palice. To velja tako za kovinske kakor tudi nekovinske armaturne palice. Pri kovinskih palicah se zaradi boljše sprijemnosti uporablja le rebrosta armatura, gladka armatura pa se v skladu z veljavnimi predpisi lahko vgradi le kot konstruktivna oz. nenosilna.

Pri nekovinski armaturi iz z vlakni ojačanih polimerov proizvajalci ponujajo palice z različnimi oblikami prečnega prereza in različnimi obdelavami površin. Glede oblike prečnega prereza se na tržišču pojavljajo palice krožnega, ovalnega in kvadratnega prereza, vse v polni ali votli izvedbi, ter palice Y-prereza, daleč najpogostejše, pri bazaltnih palicah pa tudi edine so polne palice krožnega prereza (Emparanza, 2017). Poleg tega da so palice lahko gladke ali rebroste, so lahko ali pa ne v obeh primerih obdelane še s peščenim posipom za izboljšanje sprijemnosti. Med rebroste uvrščamo tiste površine palic, ki jim v končni strjeni obliki mehansko vrežejo ali vtisnejo spiralne utore in imajo s tem res izrazita rebra, do manj izrazitih rebrostitih površin pa lahko pridemo tudi s sprotnim spiralnim ovijanjem snopa vzdolžnih vlaken in polimernega vezi-va med formiranjem palice. Prevladujoče so palice s spiralnim ovojem in peščenim posipom, ki naj bi nudile največjo sprijemnost z betonom (Emparanza, 2017). Nekaj primerov izgleda površine nekovinskih armaturnih palic prikazuje slika 2.

Za razliko od jeklene armature je v splošnem nekovinska armatura tako glede standardi-



Slika 2 • Primeri površinske obdelave palic iz z vlakni ojačanih polimeri; gladka (a), gladka s posipom (b), z vrezanimi rebri (c), s spiralnim ovojem (d), s spiralnim ovojem in peščenim posipom (e). Fotografiji (b) in (c) sta iz vira (Mazaheripour, 2013).

zacije proizvodnje kot tudi glede zahtevanih lastnosti palic za uporabo v konstruktivne namene še zelo slabo regulirana ((Kampmann, 2019), (Emparanza, 2017)). Če pa je kakšen primeren dokument na voljo, npr. standard ACI 440.6M-08(17) (ACI, 2017), pa v njem praviloma ne najdemo konkretnih podrobnejših specifikacij za bazaltno armaturo, ki je, kot smo že zapisali, med armaturo iz z vlakni ojačanih polimeri ena najnovejših.

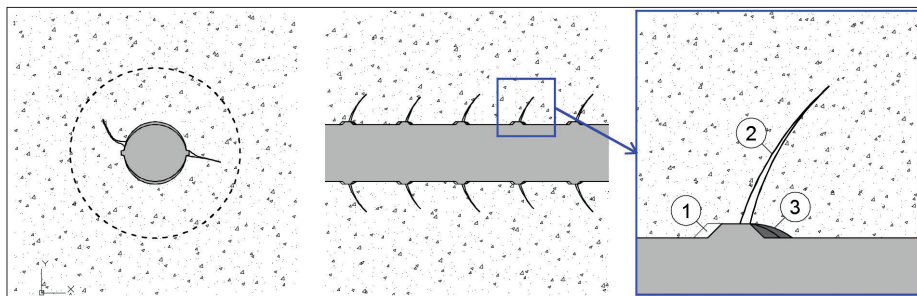
Pri poskusu izvleka rebroste armaturne palice iz betona se v sidrnem področju aktivirajo trije mehanizmi sprijemnosti: adhezija, trenje in zaklinjanje reber palice v okoliški beton. Adhezija se pojavi na začetku, ko je raven obremenitve še nizka. Po prvem zdrsu palice je adhezija premagana. Takoj za tem se akti-

se pri rebrosti jekleni armaturni palici v beton prenese največji del sile. V nasprotju s tem je ta delež pri spiralno oviti bazaltni rebrosti armaturi po pričakovanju manjši, saj so rebra manj izrazita (slika 3). Rebra »sodčkaste« oblike zasedajo praktično celotno dolžino palic, beton pa zapolni le blago nakazane spiralne utore.

Po začetnem zdrsu se začnejo v betonu postopoma pojavljati poškodbe. Rebra armaturne palice se naslonijo na beton. Zaradi obremenitve se v betonu ob koncih reber zlasti pri jekleni armaturi lahko pojavijo prečne mikrorazpoke. Zdrsi palice se povečujejo. Z nadaljnjim povečevanjem obremenitve se tlačna nosilnost betona na stiku z rebri izčrpa. Ob tem pride do drobljenja betona in



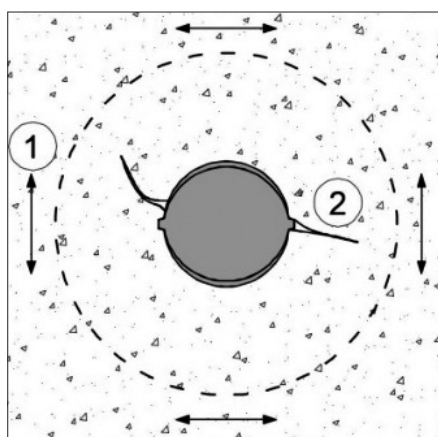
Slika 3 • Primerjava videza površine jeklene rebroste armature (levo) in armature iz bazaltnih vlaken s spiralnim ovojem in peščenim posipom (desno).



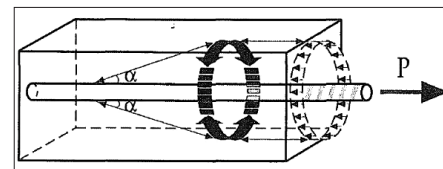
Slika 4 • Shematični prikaz možnega rušenja stika med rebriamo armaturno palico in betonom (1 – zdrav, 2 – mikrorazpoka, 3 – območje zdrobljenega betona).

zaklinjanja palice v okoliški beton (slika 4), kar povzroči povečanje tlačnih napetosti v razporah pod kotom α (slika 5), ki se uravnotežijo z obročnimi nateznimi napetostmi in vzdolžnimi tlačnimi napetostmi v betonu (slika 5). Pri tem se od plašča armaturnih palic navzven lahko pojavijo radialne vzdolžne cepilne razpoke (sliki 5 in 6). V tej fazi je sidranje zagotovljeno preko mehanizma tlačnih razpor, ki jih podpira intakten zunanji betonski obroč. V splošnem se sidranje lahko poruši z napredovanjem cepljenja betona proti zunanosti ali s popolnim izvlekom palice. V primeru cepilne porušitve so praviloma dosežene manjše sidrne nosilnosti kot v primeru porušitev z izvlekom (Tepfers, 1973). Do cepilnih porušitev stika lahko pride tako pri jeklenih kakor tudi pri rebriatih palicah iz z vlakni ojačanimi polimeri. Pri izvlečnih preizkušancih je tak način porušitve pričakovan pri palicah večjih

premerov, kjer imamo opravka z razmeroma velikimi silami glede na dimenzije betonskega dela preizkušanca. V primeru pojava cepilne



Slika 6 • Nastanek prvih razpok (2) zaradi obročnih nateznih napetosti (1).



Slika 5 • Razporeditev sil, ki jih obremenjena armaturna palica prenaša na beton (Tepfers, 1973).

odpovedi preizkušancev se rezultati praviloma zavržejo, preiščejo pa se dodatni preizkušanci s povečanimi dimenzijami betonskega dela preizkušanca (ACI, 2012). Standard ISO 10406-1 pa podaja preizkušane, pri katerem je za preprečitev cepilne porušitve v razmeroma majhno kokco vgrajena še spiralna armatura (ISO, 2015).

Kot smo že omenili, je za gladke palice značilna slabša sprijemnost z betonom, saj se sile v beton prenašajo le preko adhezije in trenja med armaturno palico in okoliškim betonom. Oba mehanizma izkazujeta relativno majhno odpornost proti izvleku, zato se gladka armatura za zagotavljanje odpornosti nosilnih elementov dandanes ne uporablja. Pri jekleni armaturi je takšna uporaba gladkih palic formalno preprečena z določili standardov za projektiranje betonskih konstrukcij iz družine Evrokod 2, pri nekovinskih palicah pa uporabo gladkih palic preprečujejo npr. določila sicer redkih obstoječih standardov za proizvode, kot je standard ACI 440.6M-08(17) (ACI, 2017).

3 • EKSPERIMENTALNE PREISKAVE

3.1 Lastnosti uporabljenih materialov in sestava betonskih mešanic

V okviru raziskovalnega dela smo pripravili dve recepturi mešanic betona: recepturo betona običajne trdnosti z oznako NSC-1630 in recepturo betona visoke trdnosti z oznako HSC-1600. Zrnavostno strukturo agregata smo pri obeh mešanicah ohranjali enako (preglednica 1). Uporabili smo prani drobljeni apnenčev agregat z maksimalnim zrnem 16 mm iz Kresnic in mivko iz Moravč. Za doseganje višje trdnosti smo zmanjšali vodocementno razmerje, za doseganje ustrezne konsistence svežega betona (razlez razreda F2) pa smo dodali superplastifikator naftalenskega tipa. Poleg tega smo del cementa pri betonu visoke trdnosti nadomestili z mikrosilikom.

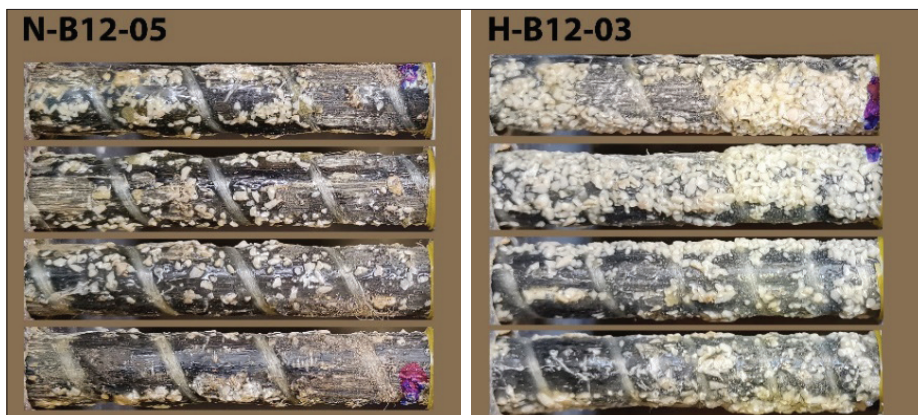
Pri izvlečnem testu smo uporabili 100 cm dolge armaturne palice iz bazaltnih vlaken

in polimernega veziva proizvajalca Deutsche Basalt Faser (DBF). Palice krožnega prečnega prereza so imele nazivni premer 12 mm, zanje pa proizvajalec navaja natezno trdnost 1000

MPa in modul elastičnosti 62 GPa. Iz podatkov proizvajalca palic izhaja še volumski delež bazaltnih vlaken v palici, ki je znašal 77%. Površina palic je bila spiralno ovita, ob tem pa je bil nanesen še peščeni posip. Intenzivnost posipa se je med posameznimi preizkušanci precej razlikovala, poleg tega pa je bila tudi geometrija palic zaradi spiralnega ovitja, ki

Oznaka betonske mešanice		NSC 1630	HSC 1600
Agregat (kg/m ³)	0/2 (mivka)	264	285
	0/4	790	853
	4/8	263	284
	8/16	439	474
Cement CEM II/A-M (LL-S) 42,5 R (kg/m ³)		400	360
Mikrosilika (kg/m ³)		0	40
Vodovezivno razmerje		0,52	0,36
Prostorninska masa (kg/m ³) *		2364	2449

Opomba: * Srednja vrednost izmerjenih prostorninskih mas preizkušancev za določitev tlačne trdnosti betona. Preglednica 1 • Sestava betonskih mešanic.



Slika 7 • Primeri skrajnih količin nanosov peščenega posipa in spremenljive geometrije palice v območju vzpostavitve stika. Preizkušane N-B12-05 (levo) in H-B12-03 (desno).

povzroča blage žlebove, precej različna vzdolž njihove dolžine. Slika 7 prikazuje dva skrajna primera količine peščenega posipa na območju vzpostavitve stika z betonom. Pri tem so za vsak preizkušane združene po štiri fotografije površin, ki so posnete pri zaporednih zasukih preizkušanca za 90°. Da smo dobili možnost primerjave rezultatov, smo izvlečne teste opravljali tudi na enakih preizkušancih z vgrajenimi jeklenimi rebkastimi armaturnimi palicami enakega premera (12 mm) in z nazivno mejo elastičnosti 500 MPa. Glede na uporabljeni dve različni mešanici betona (beton običajne in beton visoke trdnosti) in dve vrsti armature (bazaltna in jeklena) smo torej imeli štiri serije preizkušancev z enakimi parametri. Oznake preizkušancev vsebujejo podatek o vrsti betonske mešanice (N – beton običajne trdnosti, H – beton visoke trdnosti), vrsti armature (S – jeklo, B – bazalt) in nazivnem premeru palice v mm, na koncu pa še zaporedno številko preizkušanca v seriji.

3.2 Priprava preizkušancev

Preizkušane za izvlečni test je sestavljen iz betonske kocke z robom 200 mm in armaturne palice, ki kocko prebada v sredini (sliki 8 in 9). Uporabili smo večcelični leseni kalup (slika 8), v katerega smo s strani vstavili horizontalne armaturne palice in z vrhne strani naknadno vgradili beton, kar pomeni, da so bile armaturne palice orientirane pravokotno na smer betoniranja. Za zgostitev betona smo uporabili vibracijsko iglo. Za vsako mešanico betona smo pripravili po pet izvlečnih preizkušancev z bazaltno armaturo in štiri izvlečne preizkušance z jekleno armaturo. Dodatno smo za preizkus tlačne trdnosti betona izdelali še kocke z robom 150 mm, in sicer 6 iz betona običajne trdnosti ter 4 iz betona visoke trdnosti. Vse preizkušance smo po enem dnevu

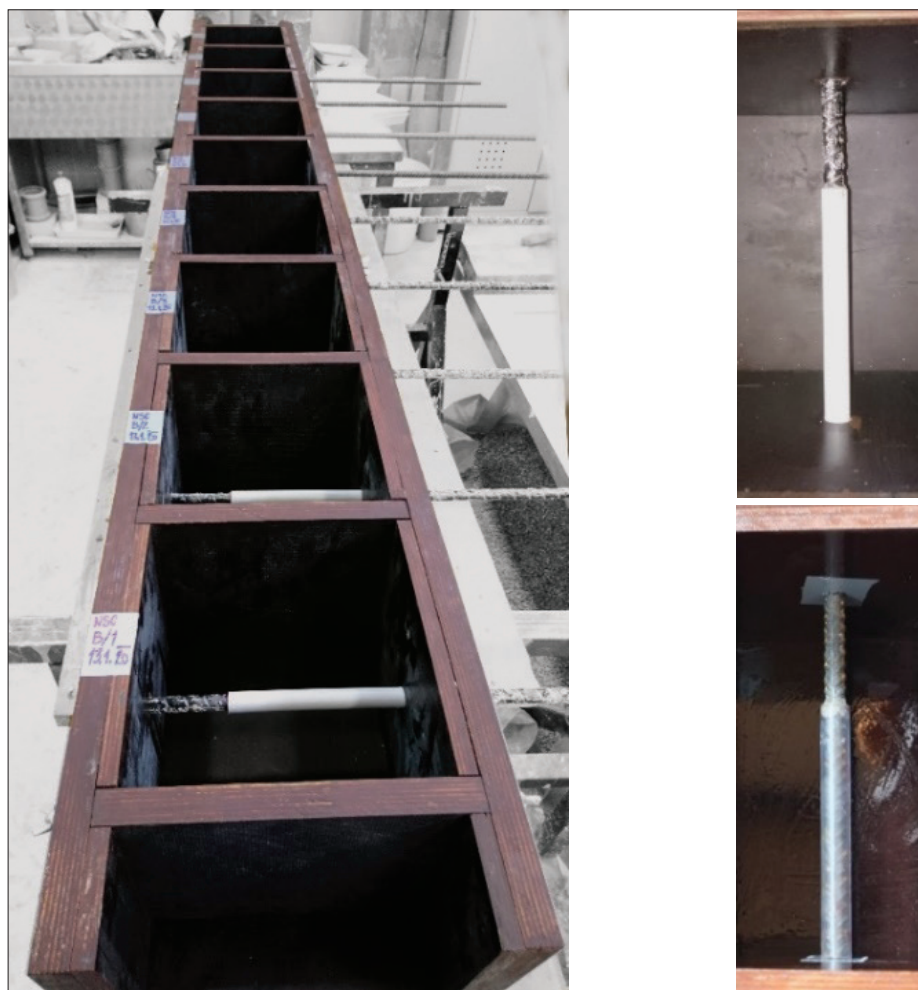
razkalupili in jih do starosti 28 dni, ko smo opravljali izvlečne in tlačne preizkuse, negovali v vodi pri temperaturi $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$.

Zaradi majhne odpornosti bazaltne armature proti pritisku v smeri prečno na vlakna smo za zagotovitev ustreznega vpetja palice v čeljust

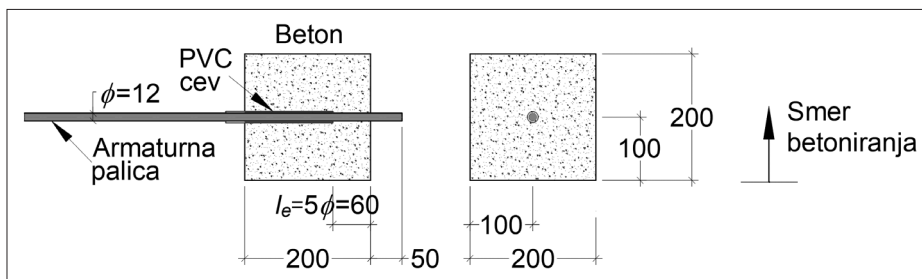
preizkuševalnega stroja palico na mesu vpetja ustrezno obdali z jekleno cevjo, vmesni prostor pa zalili z epoksidnim lepilom Sikadur-52 Injektion Tip N. Jeklena cev z zunanjim premerom 18 mm in debelino stene 2 mm je bila pri tem dolga 50ϕ oziroma 600 mm.

3.3 Izvedba preiskav

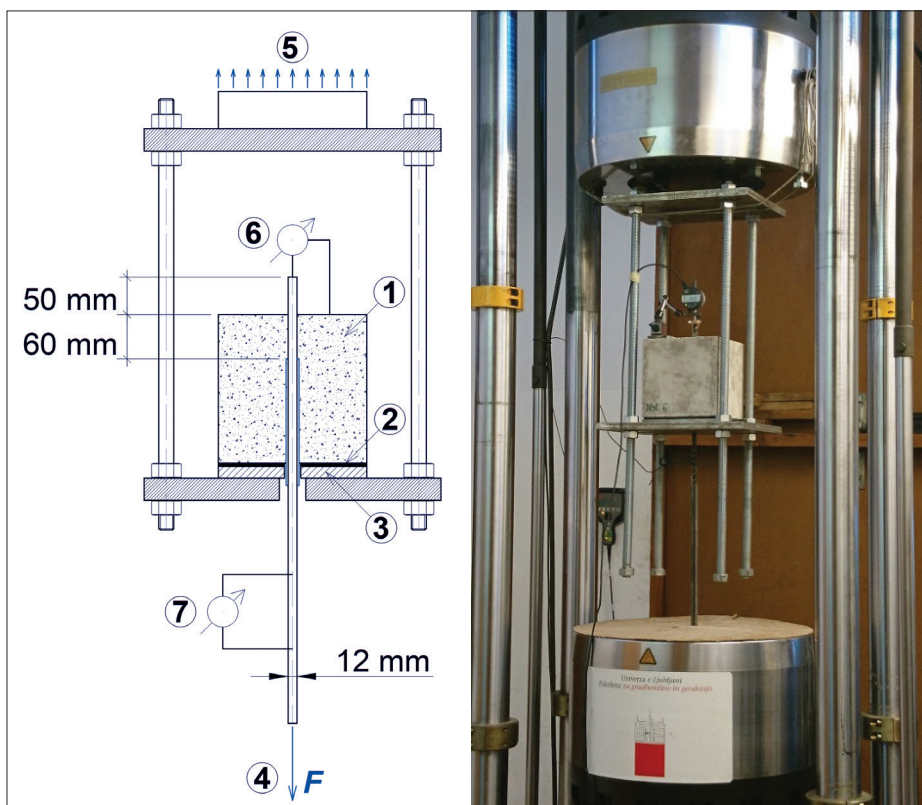
Izvlačne preizkuse smo opravili s pomočjo elektrohidravlične preizkuševalne naprave Instron 1345 kapacitete ± 1000 kN, preizkušanci pa so bili skladni s standardom SIST EN 10080 (SIST, 2005), ki v osnovi obravnava jekleno armaturo, konkretno uporabljene dimenzije pri tem veljajo za palice premera do 20 mm. Takšno obliko preizkušancev (kocka z robom 200 mm in objeto dolžino palice $l_e = 5\phi$) je smiselno obdržati tudi zaradi primerjave med rezultati jeklene in rezultati armature iz z vlakni ojačanimi polimeri. V literaturi je mogoče pogosto zaslediti rezultate preiskav stičnega območja na takšnih ali vsaj približno takšnih preizkušancih ((Baena, 2009), (Wang, 2019),



Slika 8 • Večcelični kalup, pripravljen za vgradnjo betona (levo), preprečitev sprjemnosti na delu bazaltne palice (desno zgoraj) in jeklene palice (desno spodaj).



Slika 9 • Dimenzije preizkušancev (mm) za izvlečne preiskave.



Slika 10 • Shematični prikaz izvlečnega testa (levo), izvedba preizkusa (desno).

(Solyom, 2020)), saj ti v grobem ustrezajo tudi osnovni različici izvlečnega preizkušanca po standardu ACI-440.3R-12 (ACI, 2012). Največji standard ISO 10406-1:2015 (ISO, 2015) za preiskave izvleka nekovinske armature navaja preizkušance v obliki kocke z robom 100 mm za palice premera do 17 mm oziroma z robom 150 mm pri večjih premerih palice, objeta dolžina palice z betonom l_e pa je 4ϕ . Okoli osnovne palice je treba namestiti spiralno armaturo, ki prepreči morebitno cepilno porušitev razmeroma majhne kocke. Morda je tudi to razlog, da v literaturi redko najdemo rezultate preiskav na takšnih preizkušancih.

Na sliki 9 so prikazane dimenzije preizkušanca za izvlečni test za armaturno palico premera 12 mm. Objetje z betonom je zagotovljeno le na dolžini $l_e = 5\phi$ na strani neobremenjenega konca palice, kar v danem

primeru znaša 6 cm. Na preostalih 14 cm je sprijemnost palice z betonom preprečena, kar smo dosegli s PVC-cevko.

Slika 10 prikazuje preizkušanelec (1) med preiskavo. Podprt je z gumeno podlago (2), ki stoji na dodatni jekleni plošči (3). Armaturna palica je vpet v spodnjo čeljust (4) preizkuševalnega stroja, podpora jeklena kletka pa je vpet v zgornjo čeljust (5). Spodnja in zgornja plošča kletke sta povezani s štirimi navojnimi palicami. Na zgornjem koncu armaturne palice smo z merilno urico z ločljivostjo 0,001 mm (6) merili zdrs oziroma uvlek armature, tj. relativni pomik neobremenjenega konca palice glede na zgornjo ploskev betonskega preizkušanca. Na armaturno palico smo namestili ekstenzometer (7), s katerim smo spremljali njeno specifično deformacijo. Spodnji bat preizkuševalnega stroja, v

katerega je bila vpeta armaturna palica, je imel nastavljen hod 50 mm. Preizkus poteka z enakomernim spuščanjem spodnjega bata s hitrostjo 0,01 mm/s, s čimer natezno obremenjujemo palico. Vodenje eksperimenta preko pomika nam je omogočalo spremljanje obnašanja stika tudi po doseženi največji sili. Preizkuse smo izvajali vse do izmerjenega uvleka palice na zgornji strani kocke v vrednosti približno 25 mm, razen v dveh primerih, ko je pri jeklenih palicah še pred izčrpanjem strižne odpornosti prišlo do natezne porušitve armaturne palice.

3.4 Eksperimentalni rezultati

S pomočjo preizkuševalnega stroja, ustrezne merilne opreme in programske opreme za zajem podatkov smo s hitrostjo dveh odčitkov na sekundo spremljali vrednost nanosene sile F , specifične deformacije palice in relativni pomik oziroma zdrs prostega konca armaturne palice glede na zgornjo konturno ploskev betona s.

Pri določitvi sprijemne napetosti smo upoštevali predpostavko o enakomerni porazdelitvi napetosti vzdolž sidrne dolžine. S tem je sprijemna napetost τ definirana kot količnik med silo F in nazivno ploščino plašča palice na sidrni dolžini l_e :

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot \phi \cdot l_e}, \quad (1)$$

sprijemna trdnost τ_{\max} pa je določena kot napetost pri največji doseženi sili F_{\max} med preiskavo posameznega preizkušanca:

$$\tau_{\max} = \frac{F_{\max}}{\pi \cdot \phi \cdot l_e}. \quad (2)$$

Pri tem je ϕ nazivni premer palice, ki v primeru obravnavanih palic znaša 12 mm.

V preglednici 2 za posamezne preizkušance podajamo vrednosti izmerjenih sprijemnih trdnosti τ_{\max} njim pripadajočih zdrsov na prostem koncu palice $s(\tau_{\max})$ in sprijemne napetosti τ_0 , izračunane po izrazu (1), pri zadnji sili pred prvim zabeleženim zdrsom ($s > 0$) na prostem koncu palice. Poleg tega sta za vsako serijo preizkušancev z enako vrsto armature in enako betonsko mešanico podana srednja vrednost sprijemne trdnosti $\bar{\tau}_{\max}$ in pripadajoči koeficient variacije sprijemne trdnosti $KV_{\tau_{\max}}$. Za obe vrsti betonov pa sta podani še srednji vrednosti njihovih tlačnih trdnosti \bar{f}_c , določeni na kockah z robom 15 cm, na dan izvlečnih preiskav, tj. pri starosti betona 28 dni.

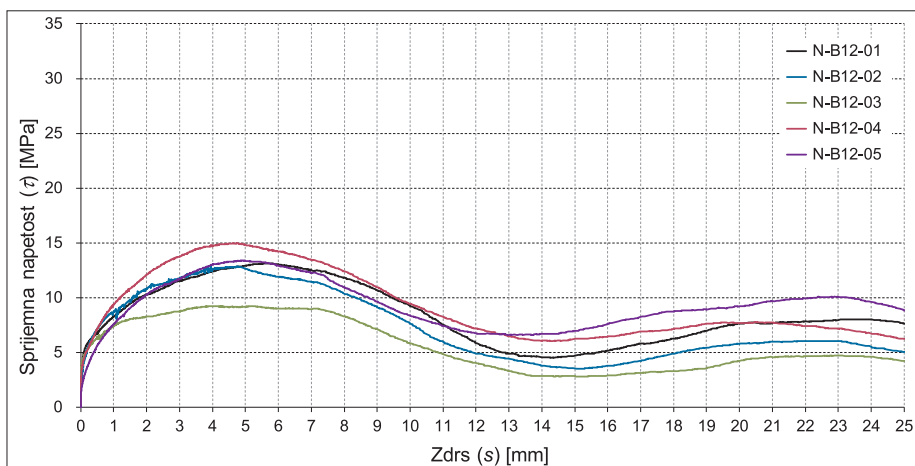
Na slikah 11 do 14 so prikazane izmerjene veze med sprijemno napetostjo in zdrsom na prostem koncu armaturne palice, ki so na posamezni sliki zbrane za serije preizkušanc

Mešanica betona	\bar{f}_c (MPa)	Preizkušanci z jekleno armaturo						Preizkušanci z bazaltno armaturo					
		Oznaka	τ_{max} (MPa)	$s(\tau_{max})$ (mm)	$\bar{\tau}_{max}$ (MPa)	$KV_{\tau_{max}}$ (%)	$\bar{s}(\tau_{max})$ (mm)	Oznaka	τ_{max} (MPa)	$s(\tau_{max})$ (mm)	$\bar{\tau}_{max}$ (MPa)	$KV_{\tau_{max}}$ (%)	$\bar{s}(\tau_{max})$ (mm)
NSC1630	60,9	N-S12-01	22,6	0,80				N-B12-01	13,1	5,43			
		N-S12-02	19,1	0,82				N-B12-02	12,8	4,73			
		N-S12-03	16,8	0,84	18,7	15,0	0,77	N-B12-03	9,2	3,95	12,7	16,6	4,72
		N-S12-04	16,4	0,62				N-B12-04	15,0	4,62			
								N-B12-05	13,4	4,86			
HSC1600	80,1	H-S12-01	31,1	1,03				H-B12-01	21,8	1,56			
		H-S12-02	32,2*	0,47*				H-B12-02	25,7	1,66			
		H-S12-03	31,3	1,07	31,2**	2,2	1,05**	H-B12-03	24,5	1,70	23,3	8,5	2,40
		H-S12-04	32,6*	0,63*				H-B12-04	23,5	3,06			
								H-B12-05	20,8	4,03			

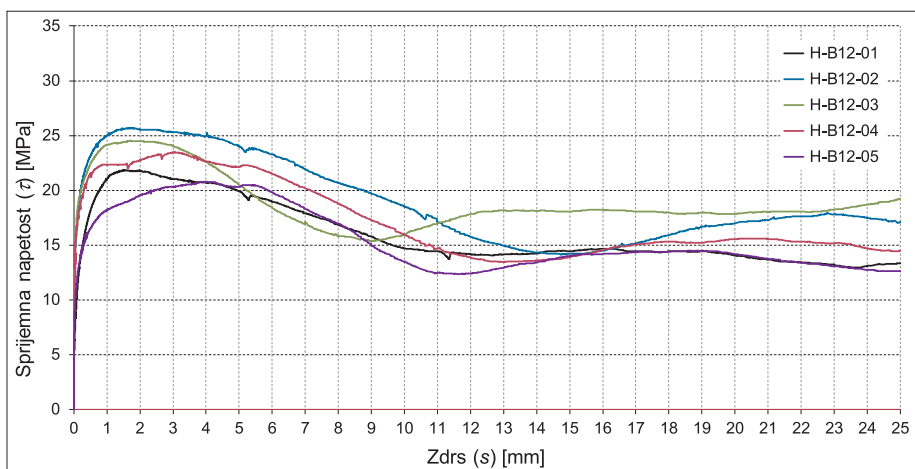
Opomba: * Pred izčrpanjem strižne odpornosti je prišlo do natezne porušitve armaturne palice.

** Srednja vrednost sprijemne trdnosti in zdrsa, izračunana na podlagi vrednosti za preizkušanca H-S12-01 in H-S12-3.

Preglednica 2 • Izvleček rezultatov eksperimentalnih preiskav.



Slika 11 • Sprijemna napetost v odvisnosti od zdrsa za preizkušance serije N-B iz betona običajne trdnosti (mešanica NSC 1630) in bazaltno armature.



Slika 12 • Sprijemna napetost v odvisnosti od zdrsa za preizkušance serije H-B iz betona visoke trdnosti (mešanica HSC 1600) in bazaltno armature.

cev iz betona enake trdnosti in enake vrste armature. Na sliki 15 so prikazane zveze med srednjo vrednostjo sprijemne napetosti preizkušancev posamezne serije in zdrsom na prostem koncu palice za vse štiri serije preizkušancev z enakimi parametri. Srednje vrednosti sprijemne napetosti so pri tem določene z upoštevanjem interpoliranih vrednosti sprijemne napetosti posameznih preizkušancev pri vnaprej izbranih vrednostih zdrsa.

3.5 Analiza rezultatov

Iz podatkov v preglednici 2 je razvidno, da znaša srednja vrednost sprijemne trdnosti med bazaltno armaturo in betonom približno 68 % sprijemne trdnosti med jekleno armaturo in primerljivim betonom pri betonih običajne trdnosti. Pri betonih visoke trdnosti pa je ta delež približno 73 %. Opazimo lahko izrazit vpliv tlačne trdnosti betona na sprijemno trdnost. Preizkušanci iz betona visoke trdnosti in jeklene armature (serija H-S) so dosegli 1,7-krat tolikšno srednjo vrednost sprijemne trdnosti kot preizkušanci iz betona običajne trdnosti z enako vrsto armature (serija N-S). Še večja razlika v sprijemnih trdnostih pa je v primeru uporabe bazaltno armature, kjer so preizkušanci iz betona visoke trdnosti (serija H-B) dosegli približno 1,8-krat tolikšno srednjo vrednost sprijemne trdnosti kot preizkušanci iz betona običajne trdnosti z enako vrsto armature (serija N-B). Srednja tlačna trdnost betona visoke trdnosti pa je bila pri tem le približno 1,3-krat tolikšna kot srednja tlačna trdnost običajnega betona.

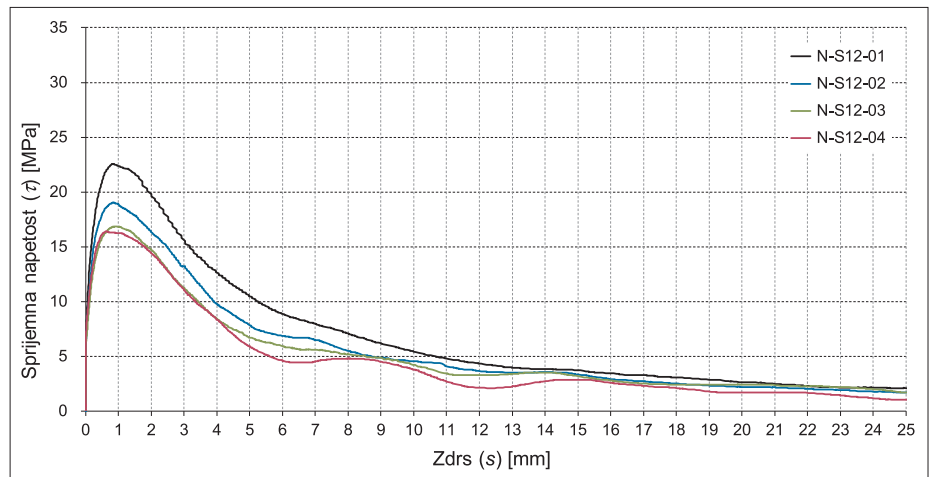
V preglednici 2 podani koeficienti variacije $KV_{\tau_{\max}}$ sprijemnih trdnosti za posamezne serije pri obeh vrstah armature v primeru betona običajne trdnosti kažejo na bistveno večjo razpršenost sprijemnih trdnosti kot v primeru betona visoke trdnosti. Poleg tega pa lahko ugotovimo, da je pri bazaltni armaturi tako v primeru betona običajne kakor tudi v primeru betona visoke trdnosti opazna večja razpršenost rezultatov sprijemnih trdnosti kot pri jekleni armaturi. Domnevamo, da je neenakomeren peščeni posip po plašču armature palice (slika 7) eden od možnih razlogov za to. Poleg tega pa se tudi osnovna geometrija blago rebraste površine preiskanih bazaltnih palic med posameznimi spiralnimi ovoji vzdolž njihove dolžine opazno spreminja. Vpliv osnovne geometrije površine palic je do neke mere možno zajeti z ustreznimi parametri, kot sta razdalja med rebri oziroma spiralnimi ovoji in relativna ploščina rebra ((Baena, 2009), (Solyom, 2020)). Odstopanje dejanske geometrije in učinkovitost peščenega posipa pa sta manj raziskana vpliva in za zdaj v literaturi še ni zaslediti ustreznih postopkov za njuno ovrednotenje (Osama, 2021). Vplivu spremenljive geometrije površine in intenzivnosti posipa nameravamo posvetiti večjo pozornost v nadaljnjih raziskavah.

Tudi groba vizualna primerjava izmerjenih zvez med sprijemno napetostjo in zdrsom na prostem koncu palice, združenih po serijah na slikah 11 do 14, kaže pri bazaltni armaturi v nasprotju z jekleno na večji raztros vseh merodajnih parametrov obnašanja stika, od začetne sprijemne napetosti na račun adhezije, sprijemne trdnosti in njej pripadajočega zdrsa pa vse do same oblike izmerjenih zvez.

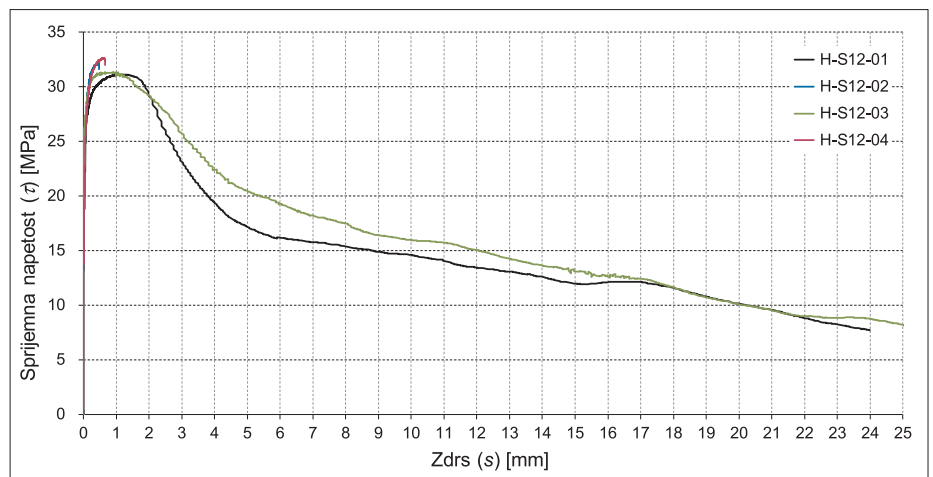
Srednjo vrednost zdrsa pri doseženi sprijemni trdnosti $\bar{s}(\tau_{\max})$ lahko skupaj s srednjo vrednostjo sprijemne trdnosti štejemo za merilo togosti stika med armaturno palico in betonom. V nadaljevanju so za primerjavo podane sekantne togosti ($K_{\tau} = \bar{\tau}_{\max} / \bar{s}(\tau_{\max})$) za posamezne serije preizkušancev z enako vrsto betona in armature:

- Serija N-B: ($K_{\tau} = \bar{\tau}_{\max} / \bar{s}(\tau_{\max}) = 12,7 / 4,72 = 2,7$ MPa/mm,
- Serija H-B: ($K_{\tau} = \bar{\tau}_{\max} / \bar{s}(\tau_{\max}) = 23,3 / 2,40 = 9,7$ MPa/mm,
- Serija N-S: ($K_{\tau} = \bar{\tau}_{\max} / \bar{s}(\tau_{\max}) = 18,7 / 0,77 = 24,3$ MPa/mm,
- Serija H-S: ($K_{\tau} = \bar{\tau}_{\max} / \bar{s}(\tau_{\max}) = 31,2 / 1,05 = 29,7$ MPa/mm.

Opazno je veliko zmanjšanje sekantne togosti stika pri preizkušancih z bazaltno armaturo v primerjavi s preizkušancem z jekleno arma-

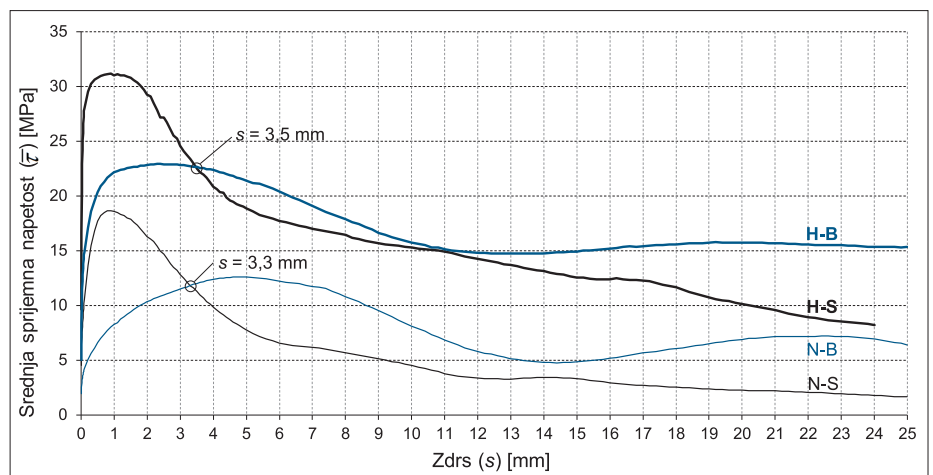


Slika 13 • Sprijemna napetost v odvisnosti od zdrsa za preizkušance serije N-S iz betona običajne trdnosti (mešanica NSC 1630) in jeklene armature.



Opomba: Pri preizkušancih H-S12-02 in H-S12-04 je prišlo do natezne porušitve palice zunaj območja sidranja pred doseženo strižno odpornostjo stika.

Slika 14 • Sprijemna napetost v odvisnosti od zdrsa za preizkušance serije H-S iz betona visoke trdnosti (mešanica HSC 1600) in jeklene armature.

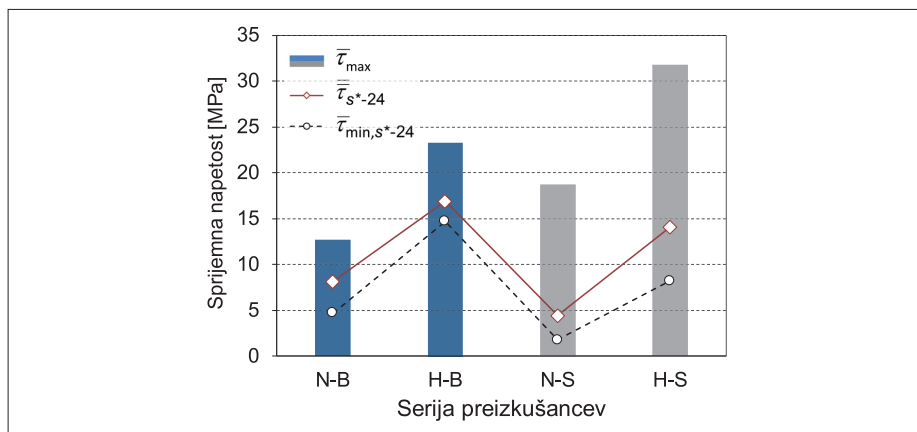


Opomba: Pri seriji H-S je krivulja določena le na podlagi vrednosti za preizkušanca H-S12-01 in H-S12-03.

Slika 15 • Srednje vrednosti sprijemne napetosti za seriji po petih preizkušancih z bazaltno armaturo (B) in seriji po štirih preizkušancih z jekleno armaturo (S) v odvisnosti od zdrsa na prostem koncu palice za betona običajne (N) in visoke trdnosti (H).

turo pri enaki vrsti betona. Pri betonu običajne trdnosti je razmerje pripadajočih togosti $2,7/24,3=0,11$, pri betonu visoke trdnosti pa $9,7/29,7=0,33$. Tudi na sekantno togost stika pomembno vpliva tlačna trdnost, zlasti pri bazaltni armaturi. Pri betonu visoke trdnosti s približno 1,3-krat večjo srednjo vrednostjo tlačne trdnosti kot pri betonu običajne trdnosti smo pri jekleni armaturi dobili 1,25-krat večjo sekantno togost, pri bazaltni armaturi pa kar 3,6-krat večjo sekantno togost kot pri betonu običajne trdnosti. Globalno obnašanje stika posamezne serije preizkušancev je zvezami med njihovimi srednjimi vrednostmi sprijemne napetosti in zdrsom prikazano na sliki 15. S slike je razvidno, da je v območju velikih zdrsov pri preizkušancih z bazaltnimi palicami delež preostale sprijemne napetosti v primerjavi s sprijemnimi trdnostmi pri obeh vrstah betona precej večji kot pri preizkušancih z jekleno armaturo. Pri preizkušancih z jekleno armaturo sprijemna napetost po doseženi sprijemni trdnosti v grobem monotono pada, pri preizkušancih z bazaltno armaturo pa se izmenjujejo lokalni ekstremi. Od zdrsa, pri katerem pade srednja vrednost sprijemne napetosti serije preizkušancev z jekleno armaturo pod srednjo vrednost sprijemne napetosti preizkušancev z bazaltno armaturo, za betone običajne trdnosti je to pri $s^* = 3,3$ mm, za betone visoke trdnosti pa pri $s^* = 3,5$ mm, do zdrsa 24 mm znašajo srednje vrednosti srednjih sprijemnih napetosti preizkušancev serije $\bar{\tau}_{s^*,24}$:

- Serija N-B: $\bar{\tau}_{s^*,24}=8,1$ MPa, kar je 64 % pripadajoče sprijemne trdnosti,
- Serija H-B: $\bar{\tau}_{s^*,24}=16,9$ MPa, kar je 73 % pripadajoče sprijemne trdnosti,



Slika 16 • Značilne vrednosti sprijemnih napetosti po serijah preizkušancev z enakimi parametri.

- Serija N-S: $\bar{\tau}_{s^*,24}=4,4$ MPa, kar je 24 % pripadajoče sprijemne trdnosti,
- Serija H-S: $\bar{\tau}_{s^*,24}=14,1$ MPa, kar je 44 % pripadajoče sprijemne trdnosti.

Za ista območja zdrsa (od $s = s^*$ do $s = 24$ mm) so določene minimalne vrednosti srednjih sprijemnih napetosti serije preizkušancev $\bar{\tau}_{min,s^*,24}$ naslednje:

- Serija N-B: $\bar{\tau}_{min,s^*,24}=4,7$ MPa, kar je 37 % pripadajoče sprijemne trdnosti,
- Serija H-B: $\bar{\tau}_{min,s^*,24}=14,7$ MPa, kar je 63 % pripadajoče sprijemne trdnosti,
- Serija N-S: $\bar{\tau}_{min,s^*,24}=1,8$ MPa, kar je 10 % pripadajoče sprijemne trdnosti,
- Serija H-S: $\bar{\tau}_{min,s^*,24}=8,2$ MPa, kar je 26 % pripadajoče sprijemne trdnosti.

Na sliki 16 so za serije preizkušancev z enakimi parametri zbrane značilne vrednosti sprijemnih napetosti. Podane so srednje vrednosti sprijemnih trdnosti $\bar{\tau}_{max}$ srednja vrednost sred-

njih trdnosti preizkušancev posamezne serije $\bar{\tau}_{s^*,24}$, določena na podlagi srednjih vrednosti sprijemnih napetosti serije preizkušancev za ekvidistantne točke zdrsa ($\Delta s=0,1$ mm) med $s = s^*$ in $s = 24$ mm in za to isto območje še najmanjša srednja sprijemna napetost serije $\bar{\tau}_{min,s^*,24}$. Kot že omenjeno, smo s s^* označili zdrsa, pri katerem srednja vrednost sprijemne napetosti preizkušancev serije z jekleno armaturo pade pod srednjo trdnost serije preizkušancev z bazaltno armaturo in enakim betonom.

Razen pri dveh preizkušancih iz betona visoke trdnosti in jeklene armature, H-S12-02 in H-S12-04, kjer je pred odpovedjo stika prišlo do natezne porušitve palice zunaj območja betona, je pri vseh ostalih preizkušancih ne glede na vrsto armature in trdnost betona prišlo do identičnega načina porušitve stika, in sicer v obliki neposrednega gata izvleka palice.

in 1,8-krat tolikšne pri uporabi bazaltna armature.

- Preizkušanci iz obeh vrst betona in bazaltna armature dosejajo manjšo sprijemno trdnost kot preizkušanci iz enakega betona in jekleno armaturo. Tako pri preizkušancih iz betona običajne kakor tudi iz betona visoke trdnosti ter bazaltno armaturo je znašala srednja vrednost sprijemne trdnosti približno 70 % srednje vrednosti sprijemne trdnosti primerljivih preizkušancev z jekleno armaturo.
- Pri bazaltni armaturi smo tako v primeru betona običajne kakor tudi v primeru betona visoke trdnosti zabeležili večji raztros rezultatov sprijemnih trdnosti kot pri jekleni armaturi. Na sprijemno trdnost med armaturno palico in betonom močno vpliva površinska obdelava palice. Površinska

4 • SKLEP

Za spremljanje obnašanja stika med armaturo in betonom smo izvajali izvlečne preiskave. Te so zaradi svoje preprostosti in hkratne učinkovitosti mnogokrat uporabljene pri številnih raziskovalcih. Osnovne izvlečne preiskave so, kljub temu da napetostno stanje v preizkušancih odstopa od stanja v realnih konstrukcijskih elementih, primerne za ugotavljanje vpliva različnih parametrov na karakteristike stika, kot sta sprijemna trdnost in zveza med sprijemno napetostjo in zdrsom. V našem primeru sta bila ta parametra tlačna trdnost betona in vrsta uporabljene armature. Na podlagi rezultatov preizkušanja stika med bazaltno armaturo s spiralnim ovojem in peščenim posipom

oziroma rebrasto jekleno armaturo in betonom običajne oziroma visoke trdnosti lahko podamo naslednje zaključke:

- Tako pri preizkušancih z jekleno kakor tudi pri preizkušancih z bazaltno armaturo premera 12 mm ima tlačna trdnost betona pomemben vpliv na sprijemno trdnost med betonom in armaturo. Z razmeroma majhnim dvigom tlačne trdnosti, za faktor 1,3, se je sprijemnost med betonom in armaturo občutno izboljšala. Vrednosti sprijemne trdnosti preizkušancev iz betona visoke trdnosti so bile pri uporabi jeklene armature v povprečju približno 1,7-krat tolikšne kot pri preizkušancih iz običajnega betona

obdelava relativno novih bazaltnih palic pa tudi ostalih armaturnih palic iz z vlakni ojačanih polimerov za razliko od že dolgo uveljavljenih jeklenih še ni ustrezno regulirana s standardi. V našem primeru so imele uporabljene palice precej spremenljivo geometrijo sodčkastih reber in dokaj neenakomeren peščeni posip. Menimo, da je tudi to lahko eden izmed razlogov za večjo razpršenost vrednosti sprijemnih trdnosti pri preizkušancih z bazaltno armaturo glede na primerljive preizkušance z jekleno armaturo.

- Pri vseh preizkušancih z vgrajenimi palicami premera 12 mm, pri katerih smo dosegli porušitev stika med betonom in armaturo, smo zabeležili identičen način odpovedi, in sicer je šlo za osnovni izvek palice iz betona. Ker so za porušitev stika pri bazaltni armaturi potrebne relativno majhne sile v primerjavi s potrebnimi silami pri jekleni armaturi, lahko

tudi v splošnem pri izvlečnih preizkušancih z bazaltno armaturo pričakujemo zgolj izvek in ne razcepa okoliškega betona.

- Pri dveh preizkušancih iz betona visoke trdnosti z jekleno armaturo (serija H-S) je ob obremenjevanju prišlo do natezne porušitve armaturne palice zunaj območja betona, pred izčrpanjem sprijemne odpornosti stika. Ob natezni porušitvi sta preizkušanca dosegla sprijemno napetost, ki je bila večja od sprijemne trdnosti ostalih preizkušancev serije. Rezultati natezne porušene preizkušancev so prikazani le v zvezah med sprijemno napetostjo in zdrsom na prostem koncu, v povprečnih vrednostih te serije pa jih nismo upoštevali.
- Bazaltna armatura ima praviloma precej večjo natezno trdnost od jeklene, a je zaradi svojega linearno elastičnega obnašanja vse do porušitve tudi bolj krhka, kar je pri gradnji armiranobetonskih konstrukcij z

bazaltno armaturo, predvsem na potresnih območjih, neugodna lastnost. Tako kot številne tuje so tudi naše eksperimentalne preiskave pokazale, da bazaltna armatura za razliko od jeklene tudi po razmeroma velikem zdrsu še vedno zagotavlja relativno velik delež sprijemne trdnosti. Tu se morda kažejo možnosti za zagotavljanje globalne duktilnosti konstrukcij, armiranih z bazaltno armaturo.

Krhka in trdnjša bazaltna ter duktilna in šibkejša jeklena armatura se v mnogih pogledih lahko dopolnjujeta. Kombinacija obeh materialov, v smislu hibridne palice ali na način »bazaltna – vzdolžna, jeklena – stremenska«, bo predvidoma v prihodnosti tema številnih raziskav. Vsekakor pa bo imela armatura iz bazalta kot tudi vsa ostala armatura iz z vlakni ojačanih polimerov pomembnejšo vlogo pri novogradnjah in sanacijah objektov na območjih z agresivnim okoljem.

5 • LITERATURA

Abedini M., Akhlaghi E., Mehrmashhadi J., Mussa M. H., Ansari M., Momeni T., Evaluation of Concrete Structures Reinforced with Fiber Reinforced Polymers Bars: A Review, *Journal of Asian Scientific Research*, letnik 7, zvezek 5, strani 165-175, 2017.

Atavi-Fard M., Marzouk H., Bond behavior of high strength concrete under reversed pull-out cyclic loading, *Canadian Journal of Civil Engineering*, številka 29, strani 191-200, 2002.

ACI, ACI Committee 440, Guide Test Methods for Fiber - Reinforced Polymer (FRP) Composites for Reinforcing or Strengthening Concrete and Masonry Structures, ACI-440.3R-12, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA, 2012.

ACI, ACI Committee 440, Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars, ACI-440.1R-15, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA, 2015.

ACI, ACI Committee 440, Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete Reinforcement, ACI-440.6M-08(17), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA, 2017.

Aydin F., Experimental investigation of thermal expansion and concrete strength effects on FRP bars behavior embedded in concrete, *Construction and Building Materials*, številka 163, strani 1- 8, 2018.

Baena M., Torres L., Turon A., Barris C., Experimental study of bond behaviour between concrete and FRP bars using a pull-out test, *Composites: Part B*, številka 40, strani 784-797, 2009.

Cosenza E., Manfredi G., Realfonzo R., Development length of FRP straight rebars, *Composites Part B: Engineering*, letnik 33, zvezek 7, strani 493-504, ISSN 1359-8368, 2002.

Emparanza A.R., Kampmann R., De Caso y Basalo F., State-of-the-Practice of Global Manufacturing of FRP Rebar and Specifications, CAMX 2017 Proceedings, American Composites Manufacturers Association (ACMA) and Society for the Advancement of Material and Process Engineering (SAMPE), 2017.

fib, fib Model Code for Concrete Structures 2010, 2013.

Imjai T., Garcia R., Guadagnini M., Pilakoutas K., Strength Degradation in Curved Fiber-reinforced Polymer (FRP) Bars Used as Concrete Reinforcement, *Polymers*, številka 1653, 2020.

ISO, Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete — Test methods — Part 1: FRP bars and grids, ISO 10406-1:2015, 2015.

Jabbar S. A. A., Farid S. B. H., Replacement of steel rebars by GFRP rebars in the concrete structures, *Karbala International Journal of Modern Science*, letnik 4, strani 216-227, 2018.

JSCE, Japan Society of Civil Engineers, Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials, *Concrete Engineering Series* št. 23, 1997.

- Kabashi N., Avdyli B., Krasniqi E., Këpuska A., Comparative Approach to Flexural Behavior of Reinforced Beams with GFRP, CFRP, and Steel Bars, *Civil Engineering Journal*, letnik 6, zvezek 1, strani 50-59, 2020.
- Kampmann R., Rambo-Roddenberry M., Telikapalli S., Performance Evaluation, Material and Specification Development for Basalt Fiber Reinforced Polymer (BFRP) Reinforcing Bars Embedded in Concrete, Final report, naročnik Florida Department of Transportation (FDOT), oznaka pogodbe BDV30 TWO 986-01, 2019.
- Mazaheripour H., Barros J.A.O., Sena-Cruz J.M., Pepe M., Martinelli E., Experimental study on bond performance of GFRP bars in self-compacting steel fiber reinforced concrete, *Composite Structures*, številka 95, strani 202-212, 2013.
- Osama A. M., Waddah A. H., Mohammad K., Durability and Mechanical Properties of Concrete Reinforced with Basalt Fiber-Reinforced Polymer (BFRP) Bars: Towards Sustainable Infrastructure, *Polymers*, letnik 13, 2021.
- Saje D., Lopatič J., Sidranje armature iz bazaltnih vlaken, Zbornik 41. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije, SDGK, Bled, 7.- 8. 11. 2019, strani 159-166, 2019.
- Shen D., Wen C., Zhu P., Li M., Ojha B., Li C., Bond behavior between basalt fiber-reinforced polymer bars and concrete under cyclic loading, *Construction and Building Materials*. 258 (2020)119518, 2020.
- SIST EN 10080, Jeklo za armiranje betona – Varivo armaturno jeklo – Splošno, 2005.
- Solyom S., Balázs G. L., Bond of FRP bars with different surface characteristics, *Construction and Building Materials*, številka 264, 2020.
- Tarawneh A., Majdalaweyh S., Design and reliability analysis of FRP-reinforced concrete columns, *Structures*, številka 28, strani 1580-1588, 2020.
- Teng J. G., Zhang B., Zhang S., Fu B., Steel-free hybrid reinforcing bars for concrete structures. *Advances in Structural Engineering*, letnik 21, zvezek 16, strani 2617-2622, 2018.
- Tepfers, R. A., Theory of Bond Applied to Overlapped Tensile Reinforcement Splices for Deformed Bars. PhD-Thesis. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden, 1973.
- Wang L., Song Z., Yi J., Li J., Fu F., Qian K., Experimental Studies on Bond Performance of BFRP Bars Reinforced Coral Aggregate Concrete, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 10 strani, 2019.
- Xiao T. L., Qiu H. X., Li J. L., Seismic Behaviors of Concrete Beams Reinforced with Steel-FRP Composite Bars under Quasi-Static Loading. *Applied Sciences*, letnik 8, 2018.
- Yang Y., Li Z., Zhang T., Wei J., Yu Q., Bond-Slip Behavior of Basalt Fiber Reinforced Polymer Bar in Concrete Subjected to Simulated Marine Environment: Effects of BFRP Bar Size, Corrosion Age, and Concrete Strength. *International Journal of Polymer Science*, 2017.

UPORABNOST BIM MODELOV ZA IZDELAVO ARMATURNIH RISB KONSTRUKCIJSKIH ELEMENTOV MOSTOV

USABILITY OF BIM MODELS FOR THE DESIGN OF REINFORCEMENT DRAWINGS FOR BRIDGE STRUCTURAL ELEMENTS

Tomaž Goričan, mag. inž. grad.

tomaz.gorican@student.um.si,

tomaz.gorican@dri.si

doc. dr. Milan Kuhta, univ. dipl. inž. grad.

miso.kuhta@um.si

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo,
prometno inženirstvo in arhitekturo,
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

Znanstveni članek

UDK 004.414.23:624.21.036

Povzetek | Armaturne risbe in pripadajoči izvlečki predstavljajo v gradnji z armiranim betonom še vedno temeljno dokumentacijo na gradbišču in v železokrivnici, zato je nujno, da je vsa dokumentacija za armaturo primerno izdelana tudi po BIM. V članku je glede na sodobni trend izdelave in uporabe BIM-modelov prikazana raziskava problematike 3D BIM-modeliranja armature. BIM-modeliranje smo izvajali s programsko opremo Allplan, izdelanih je bilo šest modelov armature iz mostogradnje, ki obsegajo zahtevnejšo geometrijo in kompleksnejše armiranje. Analizirali smo ustreznost izdelave armaturnih risb in pripadajočih izvlečkov ter ugotovili, da Allplan to uspešno omogoča.

Ključne besede: BIM-model, armatura, armaturne risbe, mostovi, Allplan

Summary | Reinforcement drawings and associated bar schedules still represent the basic documentation on site and in reinforcement fabrication in reinforced concrete construction, so it is essential that all reinforcement documentation is properly prepared according to BIM. Based on the modern trend of creating and using BIM models, this article presents a study on the problem of 3D BIM modeling of reinforcing steel. The 3D BIM modeling was performed using Allplan software. Six examples of different bridge elements, with complex geometry and complex reinforcement were created and analyzed. We found that Allplan enables successful modeling and use of 3D BIM models for the design of reinforcement drawings.

Key words: BIM model, steel reinforcement, reinforcement drawings, bridges, Allplan

1 • UVOD

1.1 BIM-modeliranje v gradbeništvu 4.0

BIM, umetna inteligenca, robotika, 3D-tiskanje, mešana resničnost, uporaba letalnikov, podatkovni oblaki, množični podatki in veriženje blokov so le glavna področja, ki prinašajo digitalizacijo v sodobno gradbeništvu (Pan, 2021) tako pri projektiranju kot pri gradnji in tudi pri vzdrževanju objektov. Gradbeništvu se je z uporabo navedenih tehnologij v zadnjih letih začelo postopoma preoblikovati v Gradbeništvu 4.0 kot veja industrije 4.0, pri tem BIM predstavlja osnovni koncept Gradbeništvu 4.0 ((Doan, 2019), (Turk, 2019)). Aplikacija inženirsko učinkovitega in natančnega BIM-pristopa v vseh fazah gradbenih projektov je torej ključna za realizacijo Gradbeništvu 4.0. Osnovo BIM-pristopa, katerega dimenzije (4D – čas, 5D – stroški, 6D – obratovanje, 7D – vplivi na okolje in 8D – varnost) obsegajo že vse glavne aspekte gradbeništvu, predstavljajo

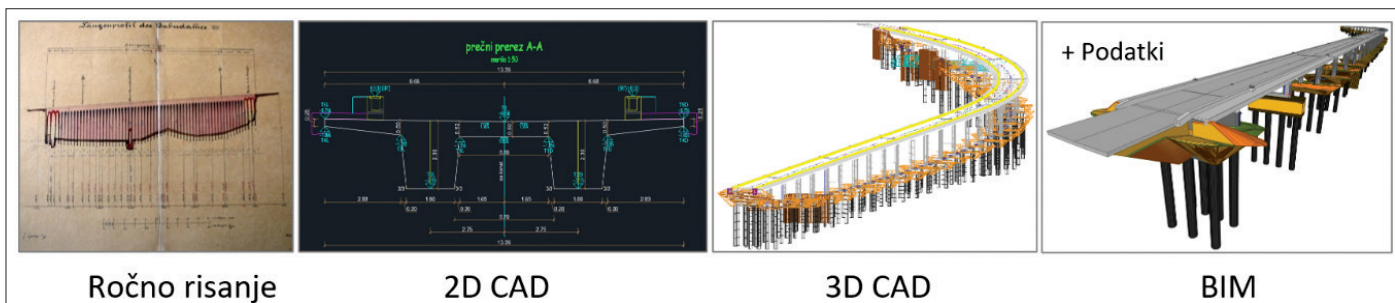
jekt (še) ne more biti realiziran brez tradicionalnih risb, se mora o ustreznih risbah razmišljati že pri izdelavi 3D BIM-modela. Pri risbah, ki morajo biti berljive in razumljive vsem udeležencem gradbenega projekta, se tako pojavlja vprašanje, ali detajlno izdelani 3D BIM-model nudi pogoje za ustrezno izdelavo vseh potrebnih risb in količinskih izvlečkov. Z obravnavano tematiko izdelave ustreznih risb in količinskih izvlečkov iz 3D BIM-modela se v Sloveniji srečujemo predvsem zadnjih nekaj let, v primerjavi z azijskim trgom, ki jo je izpostavil že nekaj let pred nami (Han-bin, 2014).

1.2 Risbe

V tujini številna manjša in večja gradbišča pri dostopu in uporabi dokumentacije funkcionirajo že brez papirja (angl. paperless). Pri takšnem načinu dela se dokumentacija (risbe, tehnična dokumentacija idr.) uporablja

za izvedbo gradnje PZI. Dokler bodo risbe predstavljale osnovo projektne dokumentacije, se bodo navkljub uporabi sodobnih tehnologij ter BIM-pristopa morale izdelovati ustrezne risbe. Slika 1 prikazuje evolucijo izdelave projektne dokumentacije, prikazan je Viadukt Pesnica, primer obravnavamo tudi v članku.

Armaturne risbe in izvlečki so v gradnji z armiranim betonom temeljna dokumentacija na gradbišču in železokrivnici, saj se na njihovi podlagi izdela in vgradi primerna armatura (Goričan, 2018). Leta 2004 izdani standard SIST EN ISO 3766:2004 Gradbeniške risbe – Poenostavljeno prikazovanje armature je edini uradni dokument v Sloveniji, ki podaja osnovna pravila prikaza armature na armaturnih risbah, a ga velik del projektantskih podjetij ne upošteva detajlno (Skledar, 2020). Za izdelavo armaturnih risb torej ni podanih eksaktnih pravil prikaza, za izvedbo projekta pa je nujno upoštevanje in razumevanje v praksi ustaljenega preglednega in jasnega prikaza. Izdelava armaturnih risb iz 3D BIM-modela konstrukcije je odvisna od možnosti, ki



Slika 1 • Evolucija izdelave projektne dokumentacije.

detajlno izdelan 3D BIM-model, kar se običajno premalo izpostavlja. Brez detajlnega 3D BIM-modela in z omejitvijo BIM-a le na fazo projektiranja je izdelava ostalih dimenzij neučinkovita, BIM-pristop pa hrom in brez učinka svojega polnega potenciala.

Izdelava in uporaba 3D BIM-modela armature je pri gradbenih projektih še vedno bolj izjema kot pravilo, kar potrjuje sicer nekoliko starejša navedba, da pri uporabi BIM-pristopa samo 28 % uporabnikov neposredno modelira tudi armaturo (Aram, 2013), ki pa je za razmere v slovenskem gradbeništvu in glede na tempo sprejemanja digitalnih tehnologij še zmeraj veljavna.

Pri uporabi BIM-pristopa se vključitev armature v BIM-model dogaja v fazi projektiranja za izvedbo (angl. engineering design phase) (Nummelin, 2014), kar sovпада s slovensko zakonodajo, ki zahteva vključitev armaturnih risb v fazi projektiranja za izvedbo (UL RS, 2018). Ker na slovenskih gradbiščih BIM-pro-

v npr. pdf-obliki in hkrati prikazuje na prenosni napravi (pametni telefon, tablica idr.). Tovrstni način dela z uporabo podatkovnih oblakov omogoča, da imajo vsi udeleženci projekta vso projektno dokumentacijo skladno z vsemi posodobitvami, hkrati pa je zbrana in dokumentirana tudi poslovna komunikacija, t. i. RFI (angl. Request For Information) ((Plangrid, 2021), (Bluebeam, 2021)).

Izdelava risb (opažnih risb, armaturnih risb, kabelskih risb itd.) se je do pojava CAD (Computer Aided Design) pred šestdesetimi leti opravljala s pomočjo papirja in tuša (Caudill, 2017). Po letu 1975 pa se je že pričel razvoj v smeri izdelave in uporabe 3D BIM-modela (uradno je bil sicer termin BIM prvič uporabljen šele leta 1992) (Cherkaoui, 2017). CAD se je v tujini in pri nas v širši uporabi uveljavil v zadnjem desetletju prejšnjega stoletja, BIM pa je še zmeraj v fazi uveljavljanja. Risbe predstavljajo osnovo grafičnega dela projektne dokumentacije, predvsem projektne dokumentacije

jih omogoča uporabljena programska oprema ter od inženirskega znanja uporabnika.

1.3 Obravnavana problematika članka

Predmet raziskave, opisane v tem članku, je izdelava in nadaljnja uporaba 3D BIM-modela konstrukcijskih elementov za izdelavo tradicionalnih armaturnih risb s pripadajočimi izvlečki. Ker je izdelava takšnih risb neposredno iz 3D BIM-modela zahteven proces, predvsem pri kompleksnih in zahtevnih objektih, smo preverjali, ali BIM-modeliranje v programu Allplan konstruktorjem omogoča njihovo izdelavo. Za raziskavo smo izbrali geometrijsko zahtevnejše konstrukcijske elemente na področju mostogradnje, ki je geometrijsko in tehnološko zahtevnejša in zahteva večje število posebnosti in specifičnih detajlov kot klasična visokogradnja. Konstrukcijske elemente smo v sodelovanju s projektantskim podjetjem Ponting, d. o. o., izbrali iz njihovih novejših projektov, prikazani so v točki 2.2.

2 • IZBRANA PROGRAMSKA OPREMA IN OBRAVNAVANI KONSTRUKCIJSKI ELEMENTI

2.1 Programska oprema Allplan

Za izdelavo armaturnih risb se uporabljajo številni računalniški programi, eden izmed bolj uporabljenih v Sloveniji je zagotovo programski paket Allplan. Allplan je programska oprema v lasti nemškega podjetja Nemetschek. Podjetje Nemetschek je leta 1963 ustanovil Georg Nemetschek, skoraj 20 let po ustanovitvi (leta 1984) je bila izdana prva verzija programske opreme Allplan 1.0 (omogočala je CAD-projektiranje). V podporo uporabe BIM-pristopa je bila programska oprema nadgrajena že leta 1997 (predhodno se je leta 1988 dodalo 3D-modeliranje). Programska oprema Allplan se konstantno razvija ter je še vedno namenjena predvsem gradbenim inženirjem in arhitektom pri oblikovanju in projektiranju gradbenoinženirskih objektov in stavb. Omogoča 2D- in 3D-načrtovanje, vključno z uporabo BIM. V programski opremi je uporabniku na voljo več načinov izvoza in uvoza podatkov (dxf, dwg, skp, 3dm idr.), v glavnem pa podpira proces odprtega BIM-pristopa (angl. open BIM) (Allplan, 2021), ki je namenjen za skupno projektiranje, gradnjo in vzdrževanje zgradbe. Uporabniški vmesnik programske opreme in podpora uporabniku sta na voljo v slovenskem jeziku, uporabnik ima na voljo tudi obsežno knjižnico navodil uporabe programske opreme. Slika 2 prikazuje uporabniški vmesnik programske opreme Allplan, v raziskavi so bile uporabljene verzije od 2020 do 2021.

Pri vizualizaciji 3D-prikaza geometrije in armature je bila uporabljena programska oprema BIMvision (BIMvision, 2021).

2.2 Obravnavani konstrukcijski elementi

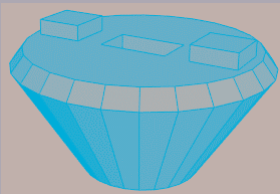
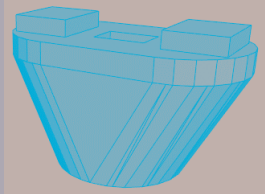
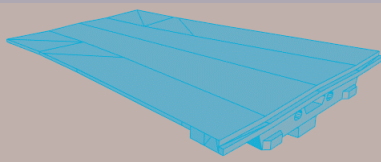
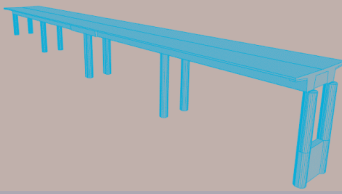
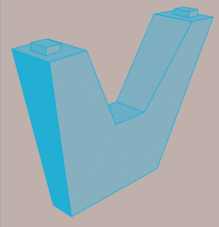
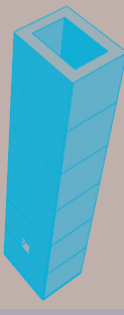
V raziskavi uporabnosti 3D BIM-modela geometrije konstrukcijskega elementa in pripadajočega 3D BIM-modela armaturnega koša za pripravo ustreznih armaturnih risb s pripadajočimi izvlečki smo obravnavali šest konstrukcijskih elementov iz različnih novejših projektov s področja mostogradnje. Konstrukcijski elementi s projekti so prikazani v preglednici 1. Namenoma so bile izbrane geometrijsko zahtevnejše in različne oblike, in sicer:

– Kapa stebra projekta Most čez Savo Brežice (Ponting, d. o. o., 2019a), kjer je geometrija kape lijakaste oblike. Prečni prerezi po višini kape se spreminjajo, vzdolžni prerezi, ki ne potekajo v smeri simetrije elementa, zavzemajo oblike stožnice.

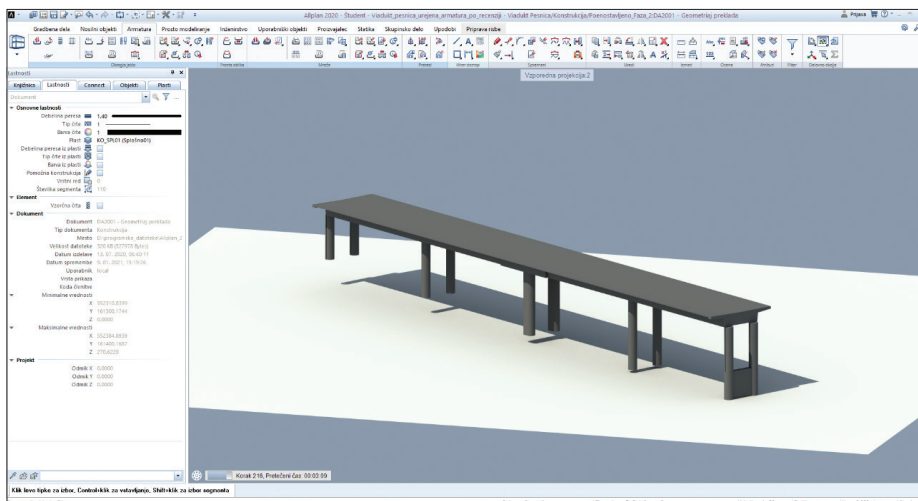
– Kapa stebra projekta Most čez kanal HE Formin (Ponting, d. o. o., 2018a), kjer je geometrija enosmerna stožčasta razširitev. Del prečnih prerezov se po višini kape

spreminja, zgornji del prerezov je konstanten, vzdolžni prerezi, ki ne potekajo v smeri simetrije elementa, zavzemajo oblike stožnice.

– Segment prekladne konstrukcije projekta Most čez Savo v Krškem (Ponting, d. o. o., 2017), kjer gre zaradi zvonaste razširitve za spremenljiv prečni prerez, spreminja se tudi debelina sten.

3D-prikaz geometrije	Element/Projekt
	Kapa stebra, Most čez Savo Brežice (Ponting, d. o. o., 2019a)
	Kapa stebra, Most čez kanal HE Formin (Ponting, d. o. o., 2018a)
	Segment prekladne konstrukcije, Most čez Savo v Krškem (Ponting, d. o. o., 2017)
	Segment 2 z vključenimi podporami Viadukta Pesnica (Ponting, d. o. o., 2020)
	Steber, Krško peš most (Ponting, d. o. o., 2019b)
	Steber, 3 os sever- 6-09 Ravne 2 (Ponting, d. o. o., 2018b)

Preglednica 1 • Obravnavani konstrukcijski elementi.



Slika 2 • Uporabniški vmesnik programske opreme Allplan – primer Viadukt Pesnica, segment 2.

- Segment 2 prekladane konstrukcije z vključenimi podporami projekta Viadukt Pesnica (Ponting, d. o. o., 2020), kjer je prekladna konstrukcija konstantnega prečnega

prereza z eno vmesno razširitvijo, stebri pa so treh vrst (okrogli, ovalni in razcepljeni).

- Steber projekta Krško peš most (Ponting, d. o. o., 2019b), kjer se vsi prečni in vzdolžni prerezi po višini spreminjajo.
- Steber, 3 os sever-6-09 projekta Ravne 2 (Ponting, d. o. o., 2018b), ki je votli steber iz šestih segmentov, debelina sten zgornjega segmenta je spremenljiva.

Težavnost 3D BIM-modeliranja armature v zahtevno geometrijo izbranih elementov poleg geometrije poveča dejstvo, da gostota armature v večini obravnavanih primerov presega 200 kg/m³.

Ugotovili smo, da programska oprema Allplan uporabniku z naprednejšim znanjem brez posebnih težav omogoča 3D-modeliranje geometrije izbranih konstrukcijskih elementov, kot je tudi razvidno iz preglednic 1 in 2.

3 • UPORABNOST 3D BIM-MODELA ARMATURE

3.1 Izdelava ustreznega 3D BIM-modela armature

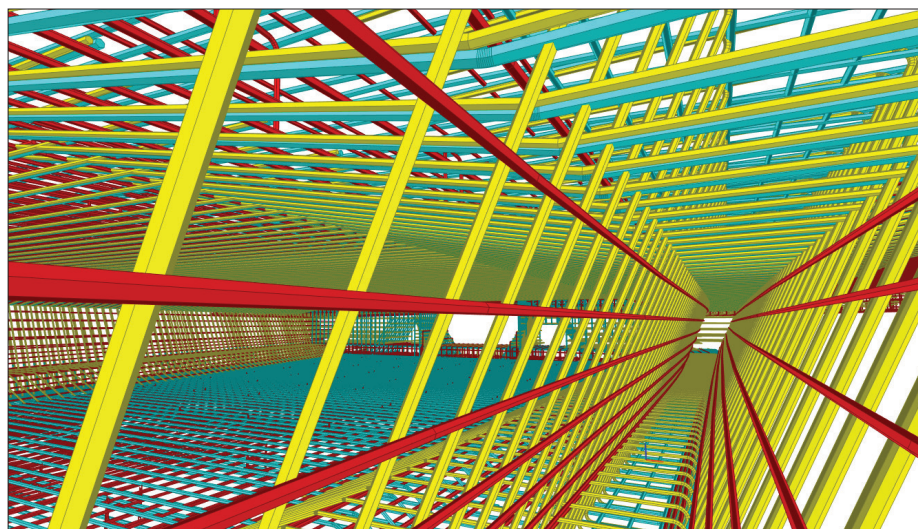
Princip modeliranja armature s programske opreme Allplan v splošnem poteka v dveh korakih. Prvi korak je izris želene oblike pozicije v ustrezni prerezu 3D BIM-modela geometrije, drugi korak pa je polaganje izrisane pozicije, pri čemer so na razpolago različne možnosti, ki so odvisne od potreb armiranja (linearno polaganje, posamično polaganje, polaganje spreminjajoče se pozicije idr.). Posameznim pozicijam je kadarkoli omogočeno spreminjanje oblike in polaganja, vendar so možnosti sprememb odvisne od primarne izbire načina polaganja. Za uspešno modeliranje je nujno dobro poznavanje programske opreme vključno z veliko mero iznajdljivosti ter doslednosti. Avtorsko okolje programske opreme Allplan sicer omogoča modeliranje poljubnih pozicij, težave se pojavijo v povezavi med 3D BIM-modelom in armaturnimi risbami ter izvlečki.

Modeliranje vzdolžne armature v skladnosti z ustreznim 3D BIM-modelom načeloma ne predstavlja posebnosti. Ugotovili smo, da pri polaganju armature vzdolž poljubne krivulje pride do povečanega števila različnih pozicij (prisotno pri projektu Most čez Savo v Krškem, kjer je v obravnavanem segmentu prekladne konstrukcije zvonasta razširitev), saj programska oprema po kriteriju iste dolžine in iste oblike deli pozicije armature, in je v nadaljevanju nemogoče združevanje palic

pod isto pozicijo, ker prihaja do minimalnega odstopanja v dolžinah posameznih palic. Odstopanje je opazno na decimalnih mestih izmerjene dolžine, kar je z inženirskega vidika zanemarljivo, pozicije pa bi lahko bile obravnavane kot ena skupna pozicija, saj se

dolžine polaganja vzdolžne armature in posledično njenega preklapljanja. Slika 3 prikazuje modelirano armaturo segmenta prekladne konstrukcije – Most čez Savo v Krškem. Na vseh slikah članka, razen na sliki 8, različne barve armature prikazujejo različne premere palic.

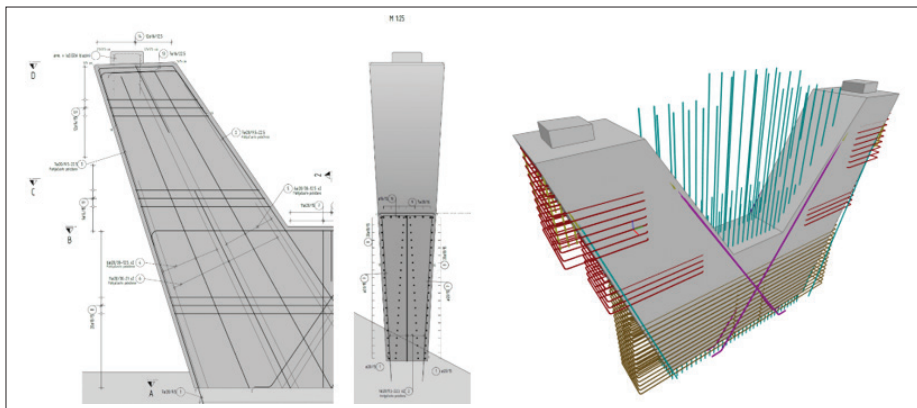
Poseben način polaganja pozicij armature predstavlja tako imenovano polaganje v obliki



Slika 3 • 3D-prikaz armature, rdečo vzdolžno armaturo dobavljeno kot ravne palice in položeno ukrivljeno po opažu.

s tem zagotovi preglednost na armaturni risbi in izvlečku in tudi enostavnejša izvedba. Povečano število pozicij lahko odpravimo tako, da vzdolžno armaturo polagamo po tekočih metrih. Pojavi se dodatno delo pri ustreznem prikazu na risbi, saj ni več enolično določene

pahljače, ki se uporablja zlasti pri elementih, katerih prerez se širinsko spreminja (Segment prekladne konstrukcije, Most čez Savo v Krškem in Steber, Krško peš most). Pri elementih s spreminjajočo se širino je lahko prisotna problematika smiselnosti oblik pozicij, ki zapirajo



Slika 4 • Primer izseka armaturne risbe (levo), izdelane na podlagi neprimerne 3D BIM-modela (desno).

prez, saj se polaga spreminjajoča se pozicija, ki zavzame veliko število podpozicij, kar povzroča nevspečnosti tako v železokrivnici kot na gradbišču. Pri tovrstnih geometrijah lahko prihaja zaradi zahteve po ustreznih armaturnih risbah in poenostavitve dela do drastičnih odstopanj med 3D BIM-modelirano armaturo in splošno 3D-geometrijo elementa. Za izdelavo armaturne risbe je bila enostavnejša in hitrejša rešitev v namenski izdelavi neprimerne 3D BIM-modela, kjer armatura prebija geometrijo elementa (slika 4). V primerjavi z neprimernim BIM-modelom se pri izdelavi 3D BIM-modela, ki zagotavlja skladnost armature z geometrijo elementa, zahteva veliko ročnega polaganja posameznih palic. Pri tem se mora ponavljajoče uporabljati ukaz »Posamično polaganje« v kombinaciji z osnovnimi ukazi »Premakni, Zavrti, Kopiraj, Zrcali«. Takšen način zahteva veliko dela, kvaliteta armaturnih risb pa ostane nespremenjena.

Pri modeliranju armature so časovno zamudnejše pozicije, ki krožno zapirajo prečne prerese ter se hkrati spreminjajo, kot je to pri kapi stebrov projekta Most čez Savo Brežice in pri kapi stebra projekta Most čez kanal HE Formin. Za izdelavo takšnih pozicij in upoštevanje njihovega stikovanja (dolžino stikovanja mora določiti uporabnik in jo ob geometrijskih spremembah tudi posebej kontrolirati) je treba izdelati ustrezne prerese, ki podajajo opaz, ter izrisati in položiti vsako pozicijo posebej. Slika 5 prikazuje armaturni koš in nekatere detajle kape stebra Most čez Savo Brežice.

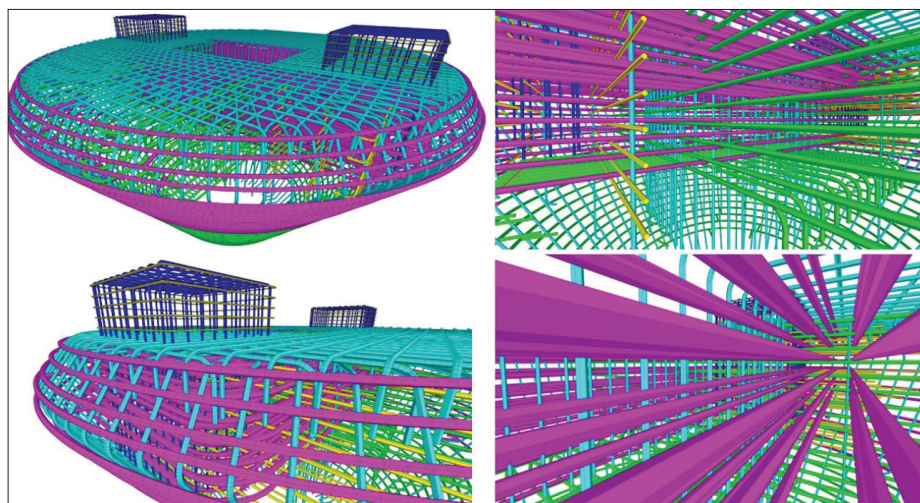
Kot zadnjo problematiko 3D BIM-modeliranja armature izpostavljamo armiranje prerezov stožnice (krog, elipsa, parabola in hiperbola), ki nastanejo pri prerezih kap stebrov. Programska oprema Allplan omogoča izris armature po poljubnem opažu, a se pri prerezih stožnice pojavlja problematika potencialne

neizvedljivosti izrisane pozicije v železokrivnici. V namen izrisa pozicije, ki izpolni pogoj izvedljivosti, je treba izrisati dodatno linijo opaža, prilegajočega se dejanski geometriji, ki zadošči tako pogoj izvedljivosti pozicije kot tudi

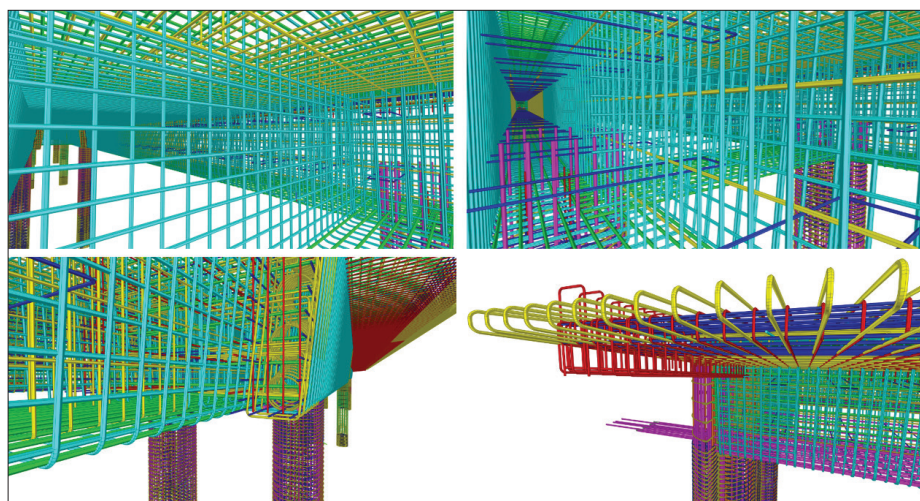
ustreznosti armiranja. Opisana problematika je prisotna pri elementu kape stebra, Most čez kanal HE Formin.

Modeliranje armature v geometrije elementov, katerih večji del predstavljajo ravne linije (v prispevku obravnavana Segment 2 z vključenimi podporami Viadukta Pesnica in Steber, 3 os sever-6-09 Ravne 2), vključno z armiranjem odprtin, ne predstavlja težav. Brez posebnosti je omogočena izdelava 3D BIM-modela, na podlagi katerega se izdelajo ustrezne armaturne risbe s pripadajočimi izvlečki. Kot rezultat navedenega slika 6 prikazuje ustrezno modelirano armaturo Viadukta Pesnica in slika 7 modelirano armaturo v območju odprtine segmenta 2, steber projekta 3 os sever-6-09 Ravne 2.

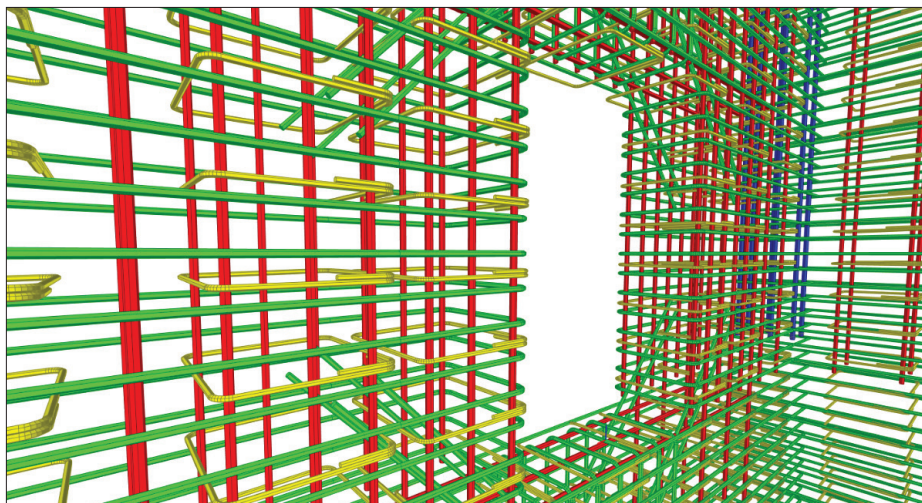
Gradniki, ki tvorijo 3D BIM-modele, vsebujejo geometrijske in negeometrijske podatke, ki enolično definirajo posamezne gradnike. Pri BIM-pristopu se med udeleženci pri projektu



Slika 5 • 3D-armature - kapa stebra.



Slika 6 • 3D-prikaz armature prekladne konstrukcije in stebrov.



Slika 7 • 3D-prikaz armiranja odprtine.

običajno podatki 3D BIM-modelov izmenjujejo preko IFC-formata datoteke. Ključno je, da se pri tovrstni izmenjavi podatki ohranijo. Za razliko od vse splošne učinkovitosti izmenjave podatkov z IFC-formatom datoteke, izmenjava

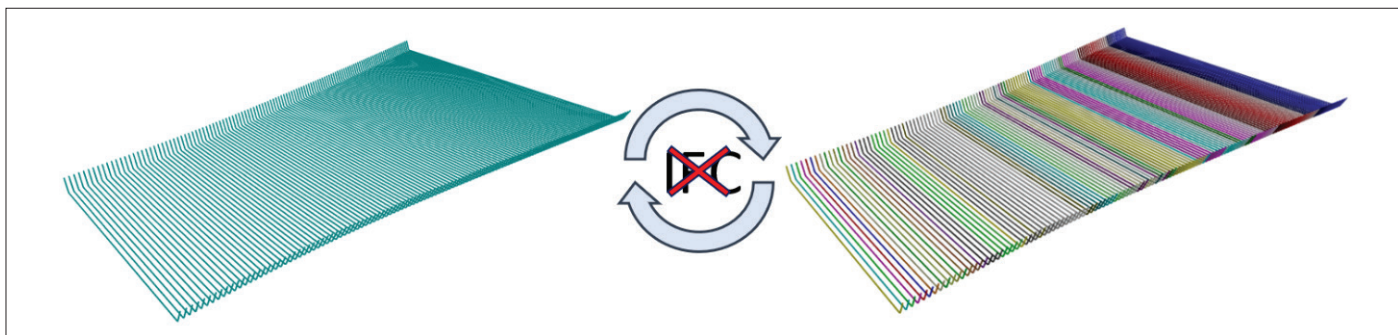
do drastičnega povečanja števila pozicij. To povzroči nepreglednost na izdelani armaturni risbi ter nesmiselnost izdelanega armaturnega izvlečka. Na primeru, ki ga prikazuje slika 8, lahko vidimo, da se je zgolj začetna

med uporabniki programske opreme Allplan ni več funkcionalna. Izvedljiv pa je izvoz datotek IFC-formata s takšnimi pozicijami npr. v programsko opremo Bexel Manager, kjer pa ni več omogočeno modeliranje armature (Goričan, 2021). Pri izmenjavi datotek med uporabniki programske opreme Allplan, ki vsebujejo armaturo s spreminjajočimi se pozicijami, je torej možna zgolj uporaba izvornih datotek.

3.2 Priprava armaturnih risb in izvlečkov

Izdelava armaturnih risb s programsko opremo Allplan temelji na asociativnih prerezih in pogledih 3D BIM-modela. To so prerezi in pogledi, ki se ob spremembah 3D BIM-modela samodejno posodabljaajo. Glede na slednje predstavljajo v gradbeni stroki veliko uporabnost, saj so spremembe in dopolnitve stalnice pri vsakem projektu.

Pri izdelavi prereza 3D BIM-modela se določi telo prereza, ki nam predstavlja globino gledanja. Ugotovili smo, da je pri zahtevnih geometrijah globino gledanja zahtevno določiti

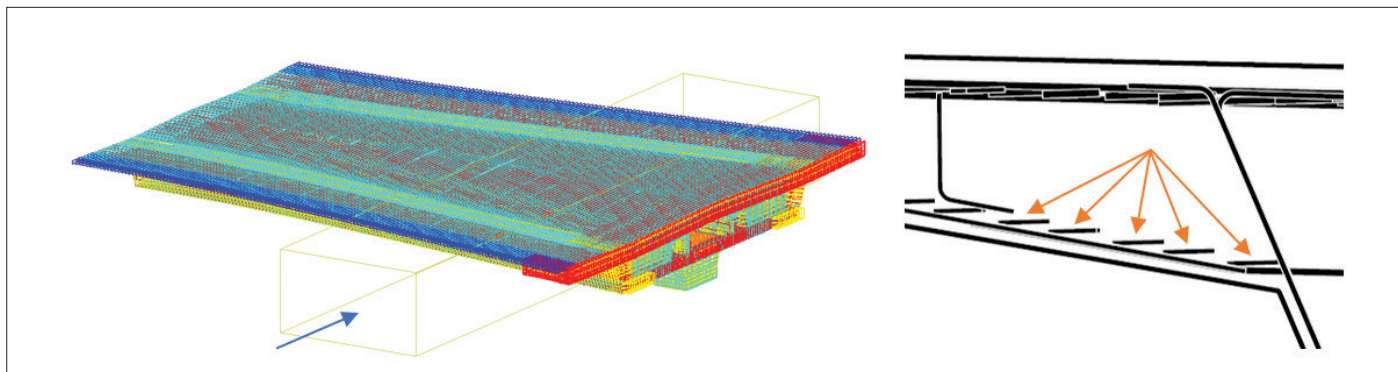


Slika 8 • Nefunkcionalnost izmenjave datoteke IFC-formata pri pozicijah s spreminjajočo se dimenzijo.

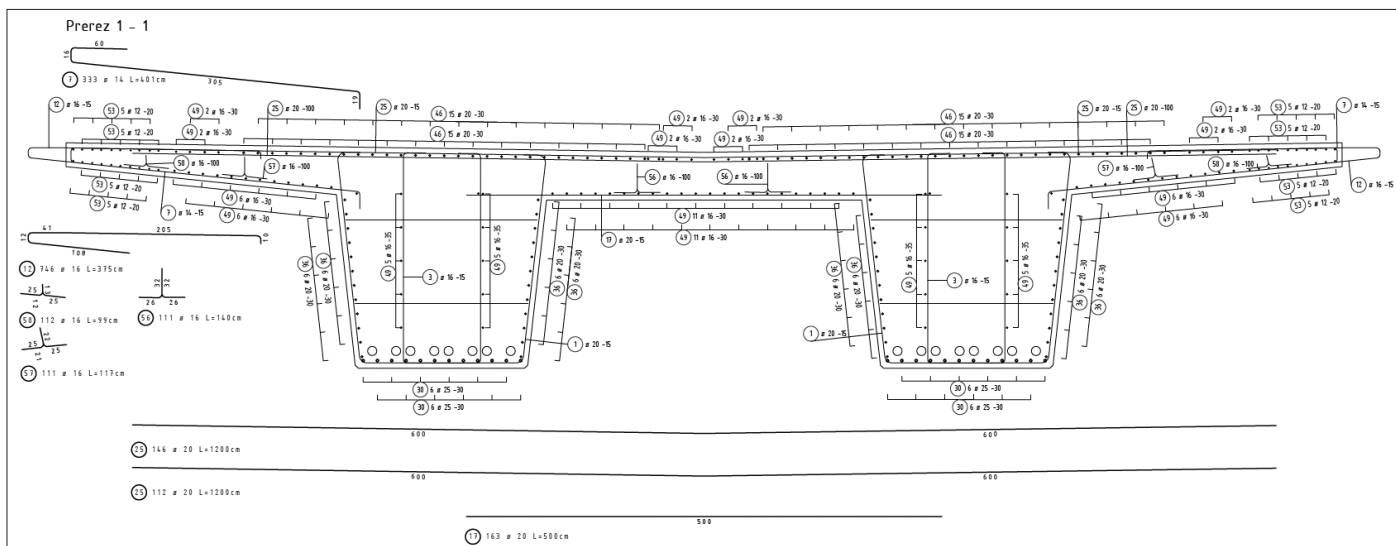
pri pozicijah s spreminjajočo se dimenzijo ne deluje. Ugotovili smo namreč, da se pri 3D BIM-modelih armature pozicije, ki imajo spreminjajoče se dimenzije, same razdelijo na posamezne pozicije, kar lahko privede

spreminjajoča se pozicija razdelila na veliko število pozicij (natančneje na 122), pri čemer posamezne barve podajajo različne številke novonastalih pozicij. Izmenjava modelov armature, ki vsebujejo spreminjajoče se pozicije,

oziroma nemogoče določiti tako, da ustrezno prikažemo in vključimo vse želene elemente. Nevšečnosti prikaza se pojavljajo predvsem pri armaturi, ki se prilagaja spreminjajočim se prerezom (prisotno pri Kapa stebra, Most čez



Slika 9 • Telo prereza (levo, modra puščica) in posebnost prikaza vzdolžne armature v prečnem prerezu (desno, oranžne puščice).



Slika 10 • Izsek armaturne risbe, Viadukt Pesnica.

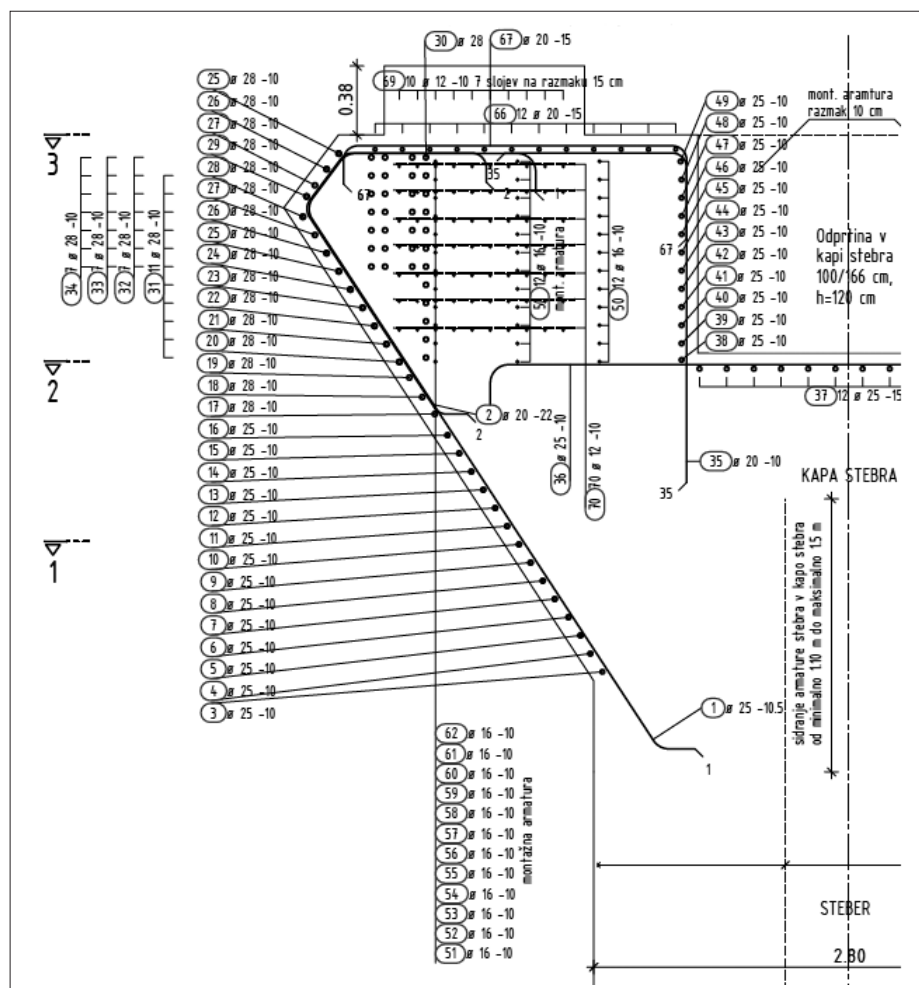
Savo Brežice, Kapa stebra, Most čez kanal HE Formin, Segment prekladne konstrukcije, Most čez Savo v Krškem in Steber, Krško peš most). Za odpravo navedene težave se običajno določi telo prereza tako, da se globina gledanja zmanjša na minimum, prerez tako sicer ne vsebuje več vseh elementov zahtevanega prikaza, a podaja ustrezen prikaz vzdolžne armature. Pri takšnem načinu dela je elemente, ki jih telo prereza ne zajema, treba ročno vstaviti v izdelani prerez, se pa pri tem izgubi popolna povezava med 3D BIM-modelom in izdelanimi prerezi in pogledi. Slika 9 prikazuje telo prereza, širina pravokotnika predstavlja globino gledanja in posebnost globine gledanja za primer prikaza vzdolžne armature.

Programska oprema Allplan omogoča opisovanje (ukaz »Opis«) in kotiranje (ukaz »Kotiranje, opis polaganja«) armature. Ukaza omogočata uspešno, predvsem pa pregledno in hitro opisovanje ter kotiranje. Prav tako se lahko opisi in kotiranje kadarkoli poljubno spreminjajo in dopolnjujejo. Primeri ustrežno izdelanih armaturnih risb na podlagi 3D BIM-modela so prikazani na slikah 10, 11, 12 in 13.

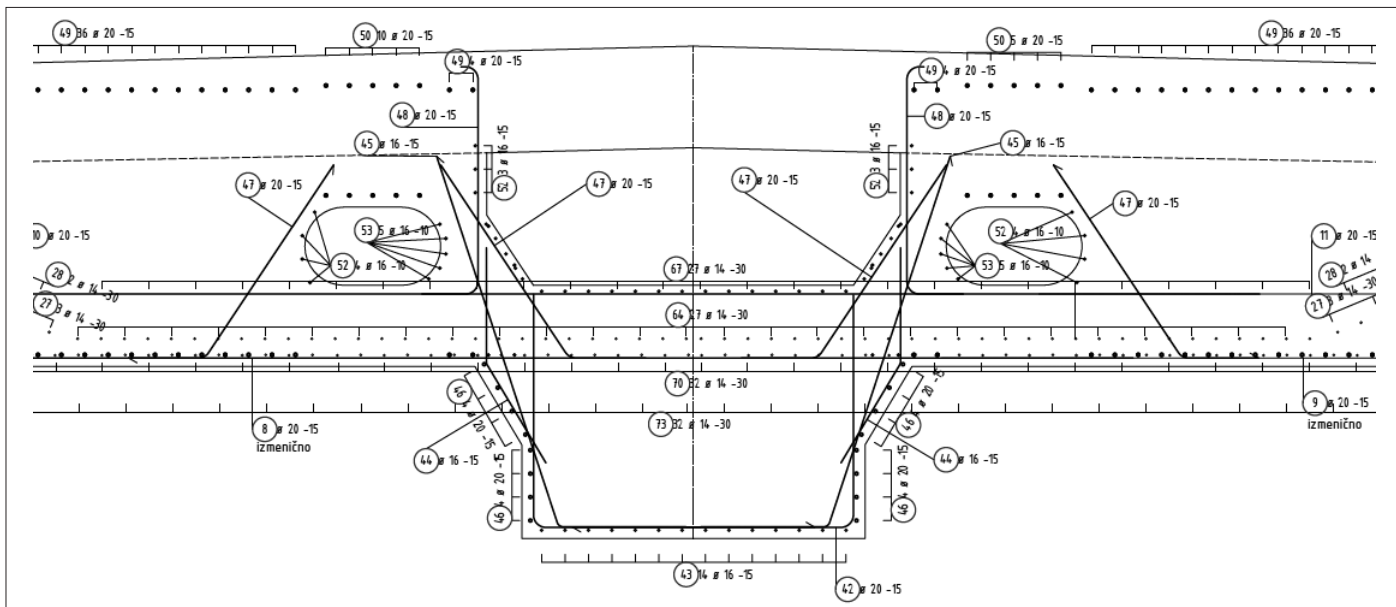
Pri izdelavi armaturne risbe programska oprema omogoča opcijo avtomatskega opisovanja in kotiranja. Opcija je na voljo znotraj ukazov za izdelavo prereza modela. Pri enostavnem armiranju se uporaba ukazov izkaže kot sprejemljiva (prihrani delo in čas), kar je prikazano na sliki 14 (levo). Pri zahtevnih armiranjih pa se uporaba navedene opcije v trenutni verziji programske opreme izkaže kot neustrezna, kar je prikazano na sliki 14 (desno), saj sta opis in kotiranje na začetku izdelave nepregledna ter zahtevata veliko dodatnega dela, da se le-ta uredi. Pri zahtevnih

armiranjih glede na ugotovitve priporočamo uporabo klasičnih ukazov za opis in kotiranje armature že od začetka izdelave armaturne risbe.

Sestavni del vsake armaturne risbe je pripadajoč armaturni izvleček, ki omogoča izdelavo ustreznih oblik pozicij v železokrivnici ter dopolnjuje njeno razumevanje. Pro-



Slika 11 • Izsek armaturne risbe, kapa stebra, Most čez Savo, Brežice.

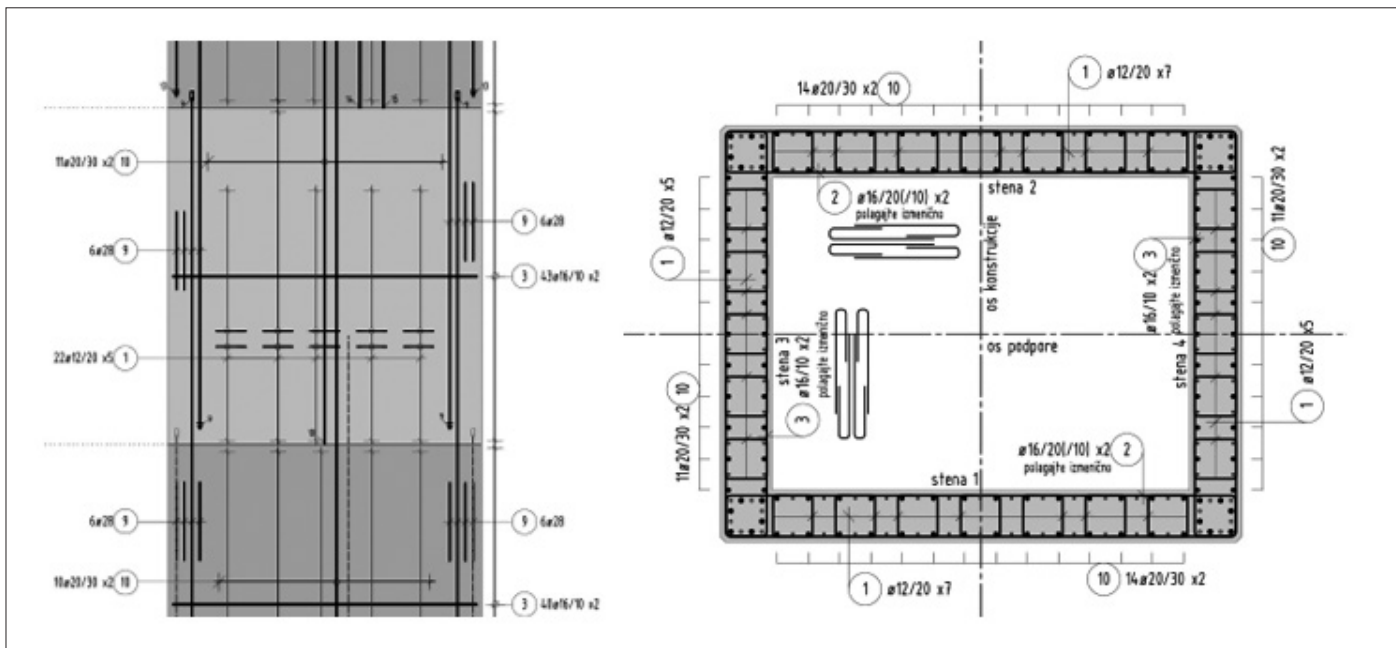


Slika 12 • Izsek armaturne risbe, Most čez Savo, Brežice.

gramska oprema Allplan v splošnem omogoča izdelavo vseh vrst poročil o količinah (površine elementov, volumni elementov, mase elementov, izvlečki armature idr.) na podlagi izdelanega 3D BIM-modela. Pri armaturnih izvlečkih nam program Allplan

Izdelane izvlečke armature je treba pregledati, saj se lahko zgodi, predvsem pri zahtevnih oblikah pozicij, da nekatere pozicije zavzamejo nesmiselno obliko v izvlečku. To je npr. prisotno pri pozicijah spiralne geometrije, ki se nahaja v okolici glav jekla za predna-

možna rešitev, je pa ta rešitev enostavna in hitra. Je pa treba nesmiselno prikazano grafiko pozicij v izvlečku ob vsaki spremembi 3D BIM-modela armature in izdelavi novega izvlečka armature ponovno nadomestiti z ustrežno grafiko.



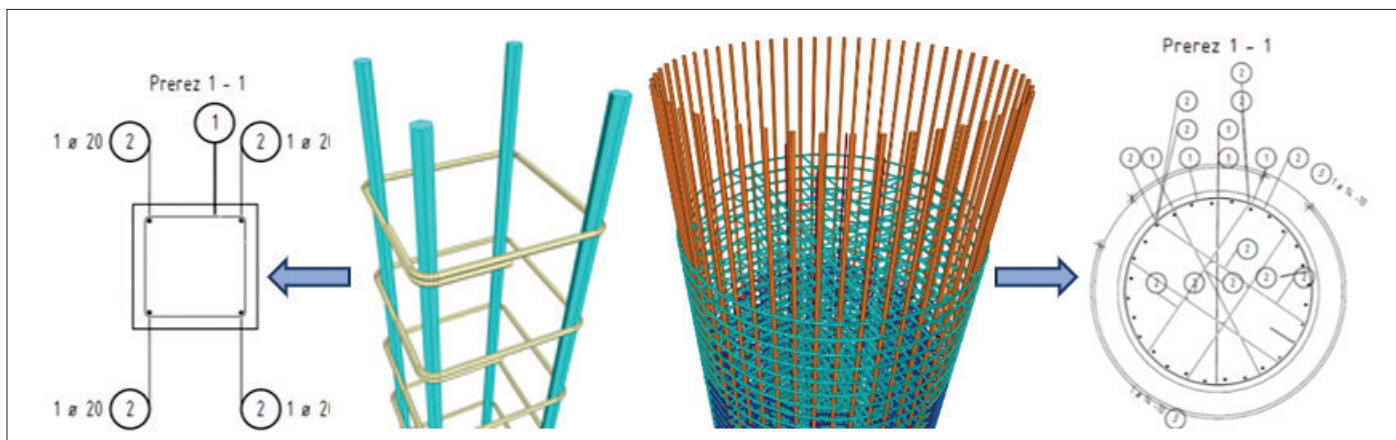
Slika 13 • Izsek armaturne risbe, Steber, 3 os sever-6-09 Ravne 2.

omogoča uporabo predhodno definirane oblike poročil, lahko pa si jih uporabnik poljubno definira sam. Slika 15 prikazuje izsek celotnega izvlečka pozicije 1 (segment prekladne konstrukcije, Most čez Savo v Krškem).

penjanje (prekladna konstrukcija, Viadukt Pesnica). Nesmiseln prikaz na izvlečku lahko povzroči težave ali celo napake v železokrivnici. V izognitev temu se grafika takšne pozicije nadomesti z ustrežno grafiko, ki se lahko izdelata kot delni izvlek pozicije, kar ni edina

3.3 Rezultati

V okviru raziskovalnega dela smo ugotovili, da programska oprema Allplan za geometrijsko zahtevne elemente, omogoča izdelavo detajlnih 3D BIM-modelov geometrij in armature ter armaturne risbe z ustreznimi



Slika 14 • Uporaba opcije za samodejno opisovanje in kotiranje armature.

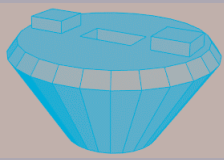
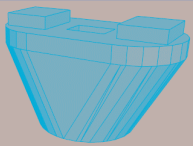
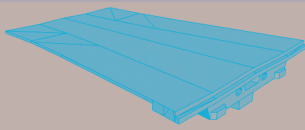
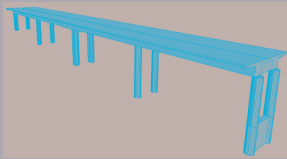

izvlečki. Zaznane in opisane nevshečnosti, ki so prisotne v uporabljeni verziji programske opreme, je mogoče z dobro mero inženirske inventivnosti, pozornosti ter poznavanja programske opreme uspešno premostiti. Omogočena je torej izdelava poljubnih oblik

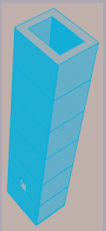
Oblika	Štev.	Dolž. a [cm]	Dolž. Pos. palica [cm]	Dolž. Skupaj [cm]
1.1	1	663	759	759
1.2	2	664	760	1520
1.3	2	665	761	1522
1.4	2	666	762	1524

Slika 15 • Izsek celotnega izvlečka pozicije 1.

pozicij armature, ki v 3D BIM-modelu delujejo popolnoma prilagajoče se dani geometriji. Pri tem je potrebna pozornost, saj vsa zmodelirana armatura v svoji geometriji ni vedno tehnološko izvedljivo.

Glavna posebnost, ki se izpostavlja pri izdelavi armaturnih risb, je določiti ustrezno telo prereza, ki bo obsegalo vse elemente, hkrati pa ohranilo ustrezni prikaz elementov. Zahtevnost določitve ustreznega telesa prereza je prisotna zlasti pri elementih, ki imajo spremenljivi prečni prerez. Pozornost je potrebna tudi pri ustreznosti izvlečkov, saj se, predvsem pri vzdolžni armaturi, pojavlja veliko število enakih pozicij kot posledica polaganja armature vzdolž poljubne krivulje, pri podajanju armature po tekočih metrih pa ustrezno dodatno kotiranje. Pri vsakršnem določanju poteka in oblike armature je torej nujno potrebno inženirsko znanje konstruiranja. Ugotovitve, do katerih smo prišli pri modeliranju armature ter izdelavi armaturnih risb pri obravnavanih

Element	3D BIM armature in geometrije	Armaturna risba/ izvleček
Kapa stebra, most čez Savo Brežice		Armiranje po opažu oblike stožnice in pozicije, ki krožno zapirajo prečne prereze. Brez težav pri geometriji.
Kapa stebra, most čez kanal HE Formin		Armiranje po opažu oblike stožnic in pozicije, ki krožno zapirajo prečne prereze. Brez težav pri geometriji.
Segment prekladne konstrukcije, most čez Savo v Krškem		Številčenje pozicij vzdolžne armature. Brez težav pri geometriji.
Segment 2 z vključenimi podporami Viadukta Pesnica		Brez posebnosti in težav pri armaturi ter geometriji.
Steber, Krško peš most		Pahljačasto položena armatura in pozicije, ki zapirajo prečne prereze. Odstopanje med armaturo in geometrijo. Brez težav pri geometriji.

<p>Steber, 3 os sever-6-09 Ravne 2</p> 	<p>Brez posebnosti in težav pri armaturi ter geometriji.</p>	<p>Brez posebnosti.</p>
--	--	-------------------------

Preglednica 2 • Ugotovitve obravnavanih konstrukcijskih elementov.

4 • SKLEP

Sodobne programske opreme omogočajo izdelavo 3D BIM-modelov geometrije in pripadajočih 3D BIM-modelov armature. Zanimalo nas je, ali je 3D BIM-modeliranje učinkovito tudi za elemente zelo zahtevnih mostnih konstrukcij. To smo raziskovali s programsko opremo Allplan in ugotovili, da je za obravnavane elemente modeliranje uspešno izvedljivo.

Gradbišča, še posebej pri nas, za svoje delovanje še vedno potrebujejo in zahtevajo armaturne risbe (UL RS, 2018) in programske opreme morajo to potrebo zadovoljiti. Na osnovi opravljenega dela, ki je predstavljeno v članku, smo ugotovili, da Allplan za pripravo armaturnih risb in pripadajočih izvlečkov omogoča uspešno uporabo izdelanih 3D BIM-modelov. Trenutno in dokler bo potreba po risbah, je za razvoj programske opreme, za avtomatizacijo dela in naprednejšo uporabo 3D BIM-modelov potencial v samodejnem opisovanju in kotiranju armature. V obravnavanih verzijah tovrstno delovanje še ne dosega stopnje, ki bi v vseh pogledih zadovoljila uporabnika, oz. se zahteva veliko naknadnih popravkov in lastne presoje s strani uporabnika. Glede na vidik, da se tehnologija razvija eksponentno hitro (Roser, 2013), in na osnovi lastnih raziskovanj in opažanj napredovanja Allplana ((Goričan, 2018), (Goričan, 2021)) je pričakovati, da bo v nekaj letih dosežena stopnja, ki bo zadovoljila še tako zahtevnega uporabnika in zahtevno geometrijo. 3D BIM-model armature bo svoj polni potencial izpolnil, ko v gradbeni panogi ne bo več primarne potrebe po risbah. Potreba po

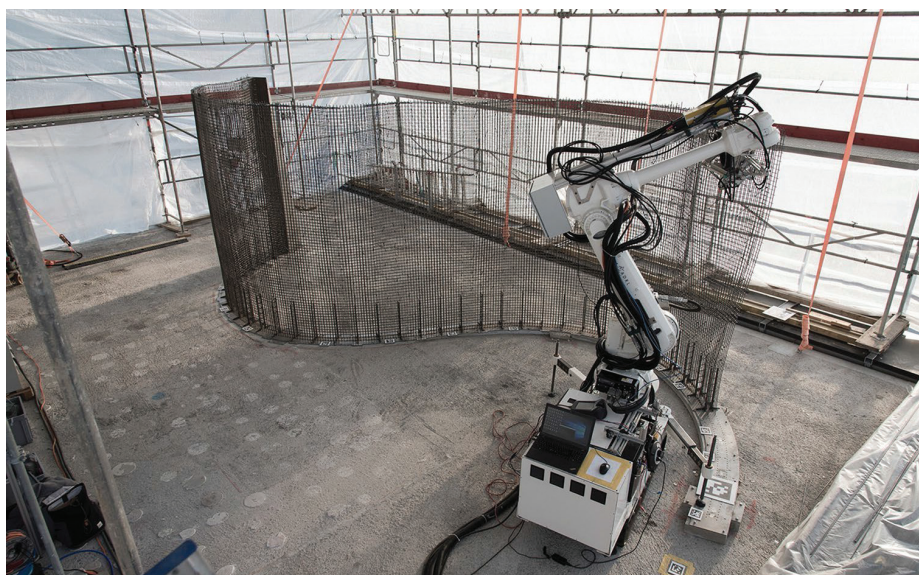
risbah pa bo izginila oziroma se bo drastično zmanjšala, ko se bo današnja celostna podoba gradbeništva preoblikovala v Gradbeništvo 4.0. BIM bo svojo popolno dodano vrednost dosegel, ko bo prisoten v vseh fazah gradnje in bo s tehnologijami, kot so robotika, mešana resničnost, umetna inteligenca itd., narekoval potek gradbenega projekta prihodnosti. Pri tem bo 3D BIM-model armature od projektanta potoval do digitalizirane železokrivnice, od tam pa do gradbišč oz. do robotiziranih gradbišč, ki bodo s pomočjo mešane resničnosti, robotov in tudi 3D-tiska omogočale napredno vgradnjo armature brez kakršnihkoli vmesnih

konstrukcijskih elementih, so strjeno podane v preglednici 2.

Le 3D BIM-modeli, pri katerih ni odstopanj med armaturo in geometrijo, omogočajo funkcionalnost BIM-modelov višjih dimenzij. Brez natančnega 3D BIM-modela je uporaba BIM-modelov višjih dimenzij omejena in neučinkovita. V naši raziskavi smo tudi ugotovili, da so vsi modeli, z izjemo Steber, Krško peš most, primerni za nadgradnjo v višje BIM-dimenzije.

postaj na papirju (Sawhney, 2020). Slika 16 prikazuje robotsko roko, ki izdeluje armaturni koš poljubne oblike.

Gradbeništvo 4.0 že v dobri meri realizirata Norveška in Dubaj. Za Dubaj se napoveduje, da bo do leta 2025 25 % vseh novih stavb zgrajenih s pomočjo tehnologije 3D-tiska (Jezard, 2018). Na Norveškem pa se izvaja projekt mostu Randselva (634 m dolg most grajen po tehnologiji prostokonzolne gradnje), ki se gradi popolnoma digitalizirano z uporabo 3D BIM-modelov in je eden prvih projektov pri katerem se ne uporabljajo več klasične risbe. Uporabljen 3D BIM-model je skoraj v celoti izdelan kot parametričen 3D BIM-model, za sam prikaz detajlov na gradbišču pa se uporablja mešana resničnost (Trimble, 2021).



Slika 16 • Robotska roka izdeluje armaturni koš poljubne oblike (Sawhney, 2020).

5 • ZAHVALA

Zahvaljujemo se projektantskemu podjetju Ponting, d. o. o., ki nam je omogočilo uporabo projektov in s sodelovanjem podprlo raziskavo obravnavane problematike.

6 • LITERATURA

- Aram, S., Eastman, C., Sacks, R., Requirements for BIM platforms in the concrete reinforcement supply chain, *Automation in Construction*, 2013, 35, 1–17, 2013.
- Allplan, <https://www.allplan.com/index.php>, 2021.
- BIMvision, <https://bimvision.eu/>, 2021.
- Bluebeam, <https://www.bluebeam.com/>, 2021.
- BuildingSmart, <https://www.buildingsmart.org/about/openbim/>, 2021.
- Caudill, L., 60 Years History of CAD Infographic, Cadenas Partsolutions, <https://partsolutions.com/60-years-of-cad-infographic-the-history-of-cad-since-1957/>, 2017.
- Cherkaoui, H., A history of BIM, Letsbuild, <https://www.letsbuild.com/blog/a-history-of-bim>, 2017.
- Doan, D. T., Ghaffarianhoseini, Al., Naismith, N., Zhang T., Rehman, A., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, Am., What is BIM? A Need for A Unique BIM Definition, *Metec Web of Conferences* 266, 2019.
- Goričan, T., Brunčič, A., Rožič, D., Kuhta, M., Uporabnost programske opreme Allplan za izdelavo armaturnih risb geometrijsko zahtevnih mostnih konstrukcij, 40. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije, Slovensko društvo gradbenih Konstruktorjev, Bled 2018, 163–170, 2018.
- Goričan, T., Uporabnost BIM pristopa od projektanta do izvajalca s programskima opremama Allplan in Bexel Manager na primeru Viadukta Pesnica, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, 2021.
- Han-bin, L., Chao-hua, X., Resarch on BIM-based drawings query and feedback system with smart hand-held devices, *Creative Construction Conference*, 2014, 85, 351–357, 2014.
- Jezard, A., One-quarter of Dubai's buildings will be 3D printed by 2025, *World Economic Forum* <https://www.weforum.org/agenda/2018/05/25-of-dubai-s-buildings-will-be-3d-printed-by-2025/>, 2018.
- Kuhta, M., Ledinek, M., BIM pri projektiranju mostov, *Gradbeni vestnik*, letnik 67, številka 4, str. 66–74, 2018.
- Nummelin, M., Tirkkonen, T., BIM Guideline for Bridges, *Guidelines of the finnish transport agency*, 6eng/2014, 2014.
- Pan, Y., Zhang, L., Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends, *Automation in Construction*, 2021, 122, 1–21, 2021.
- Plangrid, <https://www.plangrid.com/gb/>, 2021.
- Ponting, d. o. o., projektne dokumentacije za izvedbo gradnje – PZI, Most čez Savo v Krškem, Ponting, 2017.
- Ponting, d. o. o., projektne dokumentacije za izvedbo gradnje – PZI, Most čez HE Formin, Ponting, 2018a.
- Ponting, d. o. o., projektne dokumentacije za izvedbo gradnje – PZI, 3 os sever- 6-09 Ravne 2, Ponting, 2018b.
- Ponting, d. o. o., projektne dokumentacije za izvedbo gradnje – PZI, Most čez Savo Brežice, Ponting, 2019a.
- Ponting, d. o. o., projektne dokumentacije za izvedbo gradnje – PZI, Krško peš most, Ponting, 2019b.
- Ponting, d. o. o., projektne dokumentacije za izvedbo gradnje – PZI, Viadukt Pesnica, Ponting, 2020.
- Roser M., Hannah R., *Technological Progress, Our World in Data*, <https://ourworldindata.org/technological-progress>, 2013.
- Sawhney, A., Riley, M., Irizarry, J., *Construction 4.0: an innovation platform for the built environment*, Routledge, 2020.
- Skledar, K., Skladnost računalniškega programa Allplan s standardom SIST EN ISO 3766:2004, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, 2020.
- Trimble, <https://www.tekla.com/bim-awards/randselva-bridge>, 2021.
- Turk, Ž., *Gradbeništvo kot industrija 4.0*, European construction industry federation, predavanje, 2019.
- UL RS, Pravidnik o podrobnejši vsebini dokumentacije in obrazcih, povezanih z graditvijo objektov, Uradni list RS št. 36/18 in 51/18 – popr., Uradni list Republike Slovenije, 2018.



ALLPLAN
A NEMETSCHKE COMPANY

BIM SOLUTIONS FOR THE AEC INDUSTRY



🌐 <https://www.baldinistudio.si/>
✉ info@baldinistudio.si
☎ +386 41 494111

baldini
studio



NADGRADNJA ŽELEZNIŠKE PROGE LJUBLJANA–JESENICE – DRŽAVNA MEJA

Lokacija: **Železniška proga Ljubljana–Jesenice–državna meja (medpostajni odseki Kranj–Podnart, Podnart–Lesce Bled in Lesce Bled–Jesenice)**

Investitor: **Ministrstvo za infrastrukturo, Direkcija RS za infrastrukturo**

Projektanta: **SŽ – Projektivno podjetje Ljubljana, d. d. in TIRING, d. o. o.**

Inženir: **DRI upravljanje investicij, d. o. o.**

Izvajalci: **Konzorcij JV CGP, d. d., SŽ-ŽGP Ljubljana, d. d., GH Holding, d. o. o., Riko, d. o. o., Gorenjska gradbena družba, d. d. (medpostajni odsek Kranj–Podnart), Riko, d. o. o. (medpostajni odsek Podnart–Lesce Bled), konzorcij podjetij SŽ-ŽGP Ljubljana, d. d., CGP, d. d., GH HOLDING, d. o. o. in Riko, d. o. o. (medpostajni Lesce Bled–Jesenice)**

Železniška proga Ljubljana–Jesenice–država meja je enotirna in je bila zgrajena v obdobju 1869–1870 kot del takratne proge Ljubljana–Trbiž. V letih 1963 in 1964 je bila proga v celoti elektrificirana.

Glavni cilji projekta nadgradnje železniške proge v skladu s tehničnimi specifikacijami za interoperabilnost so: (i) zagotoviti višjo nosilnost proge (dovoljeni pritiski 22,5 t/os in 8,0 t/m), (ii) odpraviti ozka grla ter povečati prepustnost in prevozne zmogljivosti železniške proge, (iii) povečati hitrosti vlakov na nove projektirane hitrosti, (iv) povečati stopnje varnosti železniškega in cestnega prometa in (v) odpraviti in preprečiti negativne vplive na okolje.



Slika 1 in 2 • Prenova železniške proge na odseku Kranj–Podnart. Foto: arhiv Direkcije RS za infrastrukturo.

Nadgradnja železniške proge na odseku Kranj–Jesenice poteka v več sklopih, in sicer:

- (i) odsek Kranj–Podnart, trajanje del v obdobju november 2020–julij 2022, pogodbena vrednost gradbenih del znaša 48,92 milijona evrov,
- (ii) odsek Podnart–Lesce Bled: trajanje del v obdobju november 2020–julij 2022, pogodbena vrednost gradbenih del znaša 46,89 milijona evrov,
- (iii) odsek Lesce Bled–Jesenice: trajanje del v obdobju maj 2021–september 2022, pogodbena vrednost gradbenih del pa znaša 70,59 milijona evrov.

Za nadgradnjo odsekov Kranj–Podnart in Podnart–Lesce Bled so bila odobrena evropska sredstva iz Mehanizma za okrevanje in odpornost (RRF) v višini 44 milijonov evrov, za odsek Lesce Bled–Jesenice pa v višini 29,63 milijona evrov.



Slika 3 in 4 • Izgradnja novega nadvoza čez železniško progo v Radovljici. Foto: arhiv Direkcije RS za infrastrukturo.



Slika 5 • Prenova železniške proge mimo postajališča Globoko. Foto: arhiv Direkcije RS za infrastrukturo.



Slika 6 • Prenova železniškega postajališča Otoče. Foto: arhiv Direkcije RS za infrastrukturo.



Slika 7 • Trasiranje proge skozi Lesce. Foto: arhiv Direkcije RS za infrastrukturo.

ZADNJI PRIPRAVLJALNI SEMINAR IN IZPITNI ROK ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2021

SEMINAR	IZPIT
04. - 06. 10. 2021	23. in 24.11.2021 (po potrebi še 25.)

A. PRIPRAVLJALNI SEMINARJI:

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

Telefon: (01) 52-40-200

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!

Priljubljeni seminar bo za:

1. **Pooblaščen inženirje gradbene stroke** (to je za kandidate, ki imajo končano najmanj drugo bolonjsko stopnjo gradbeništva, oziroma univerzitetni diplomirani inženirji gradbeništva, ter za kandidate, ki izpolnjujejo pogoje po 58. členu Zakona o arhitekturni in inženirski dejavnosti)
2. **Vodje del za področje gradbene stroke** (to je za kandidate, ki izpolnjujejo pogoje izobrazbe iz gradbene stroke za izvajalce po 4. točki prve in druge alineje 14. člena Gradbenega zakona)

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 seminarju in za literaturo znaša 623,22 EUR z DDV. Kandidati lahko poslušajo tudi zgolj posamezna predavanja v okviru rednih seminarjev, cena za obisk posameznega predavanja je 124,64 EUR z DDV. V cenah so všeti tudi odmori za kavo. V primeru prepovedi zbiranja večjega števila ljudi na dogodkih v zaprtih javnih prostorih z namenom omejitve širjenja virusa covid-19, bo seminar izveden kot spletna konferenca.

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

Prijavo je potrebno posredovati organizatorju (ZDGITS) na e-naslov gradb.zveza@siol.net najmanj **7 dni pred začetkom** seminarja! Prijavni obrazec je objavljen na spletni strani ZDGITS.

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), po telefonu (01) 547-33-19 (uradne ure: ponedeljek, sredo, 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, sredo, četrtek in petek: od 8.00 do 12.00 ure; torek: od 12.00 do 16.00 ure).

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

I. STOPNJA – VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Petar Jukič, Analiza razlik med prodajnimi cenami in posplošenimi (tržnimi) vrednostmi nepremičnin v občini Domžale, mentorica izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=128979>

I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Miha Kopljan, Parametrična analiza nosilnosti zidane vila blok stavbe, mentor prof. dr. Vlatko Bosiljkov; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=129018>

II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO

Anamarija Plestenjak, Vzdrževanje in rekonstrukcija prečnih objektov na primeru Kamniške Bistrice, mentor doc. dr. Simon Rusjan, somentor viš. pred. dr. Jošt Sodnik; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=129488>

III. STOPNJA – DOKTORSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRAJENO OKOLJE

Gabrijela Starešinič, Potresni odziv vodoravnih betonskih fasadnih sistemov armiranobetonskih montažnih stavb, mentorica prof. dr. Tatjana Isaković, somentor doc. dr. Matija Gams; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=129261>

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

I. STOPNJA – VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Ciril Obreza, Hidravlična analiza odseka reke Voglajne z računalniškim programom HEC-RAS, mentor viš. pred. Matjaž Nekrep Perc, somentorica izr. prof. dr. Janja Kramer Stajanko; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=79633&lang=slv>

I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Jurij Zemljč, Jekleni most za pešce z razponom 19 m, mentor prof. dr. Stojan Kravanja, somentor doc. dr. Tomaž Žula; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=79687>

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

KOLEDAR PRIREDITEV

30.9.2021

GBC Slovenija – 6. Konferenca trajnostne gradnje

Spletna konferenca in v živo

Škofja Loka

<https://gbc-slovenia.si/dogodki-inizobrazevanja/konferenca-trajnostne-gradnje-2021/>

14.-16.10.2021

ICCEN 2021 - 9th International Conference on Civil Engineering

Singapur

www.iccen.org/index.html

27.-29.10.2021

SCA21 – 6th Smart City Applications International Conference

Spletna konferenca

Safranbolu, Turčija

<http://medi-ast.org/SCA2021/>

2.-6.11.2021

5th World Landslide Forum

Kjoto, Japonska

<http://wlf5.iplhq.org/>

4.11.2021

**Strokovni posvet Društva za ceste severovzhodne Slovenije
"Slovensko gradbeništvu pred izzivi izgradnje velikih prometnih
infrastrukturnih projektov"**

Maribor, Slovenija

www.dcm-svs.si

1.-4.12.2021

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

Valletta, Malta

www.iwagpr2021.eu/

23.-25.2.2022

DFI-PFSF Piling & Ground Improvement Conference 2022

Sydney, Avstralija

www.dfi.org/dfieventlp.asp?13385

27.-29.3.2022

ICOCE 2022 – 6th International Conference on Civil Engineering

Spletna konferenca

Singapur

www.icoce.org/

15.-18.4.2022

ICCEMS 2022 – 7th International Conference on Civil Engineering and Materials Science

Čiba, Japonska

www.iccem.org

1.-5.5.2022

ICSMGE 2022 - 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering

Sydney, Avstralija

www.icsmge2022.org/

20.-24.6.2022

ICOSSAR 2021-2022, 13th International Conference on Structural Safety & Reliability

Šanghaj, Kitajska

www.icossar2021.org/

27.-29.6.2022

IS-Cambridge 2022 – 10th International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground

Cambridge, Združeno kraljestvo Velike Britanije in Severne Irske

www.is-cambridge2020.eng.cam.ac.uk/

22.-24.8.2022

GMINFRA 2022 – Global Meet on Infrastructure and Construction

Pariz, Francija

<https://primemeetings.org/2022/infrastructure-construction>

17.-21.9.2023

12th International Conference on Geosynthetics

Rim, Italija

www.12icg-roma.org

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