

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 gradbeništvo (Pan, 2021) tako pri projektiranju kot pri gradnji in tudi pri vzdrževanju objektov. Gradbeništvo se je z uporabo navedenih tehnologij v zadnjih letih začelo postopoma preoblikovati v Gradbeništvo 4.0 kot veja industrije 4.0, pri tem BIM predstavlja osnovni koncept Gradbeništva 4.0 ((Doan, 2019), (Turk, 2019)). Aplikacija inženirsko učinkovitega in natančnega BIM-pristopa v vseh fazah gradbenih projektov je torej ključna za realizacijo Gradbeništva 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 gradbeništva, predstavlja

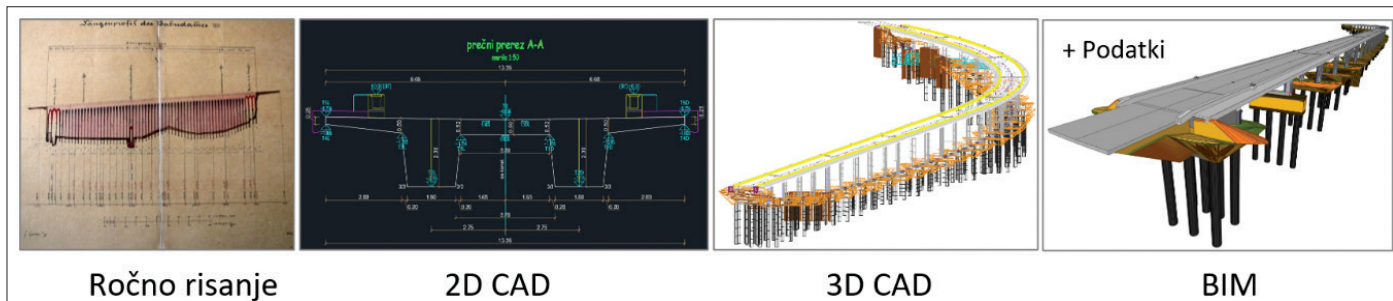
jekt (še) ne more biti realiziran brez tradicionalnih risb, se mora o ustreznih risbah razmišljati že pri izdelavi 3D BIM-modela. Pri risbah, ki morajo biti berljive in razumljive vsem udeležencem gradbenega projekta, se tako pojavlja vprašanje, ali detajlno izdelani 3D BIM-model nudi pogoje za ustrezno 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 sovpada 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

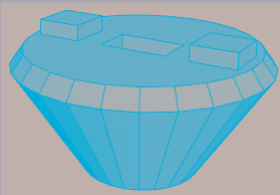
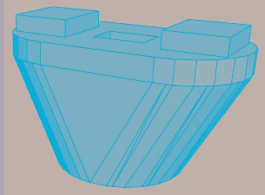
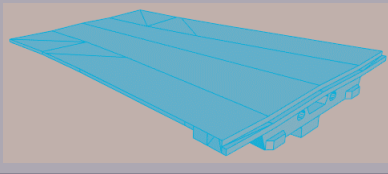
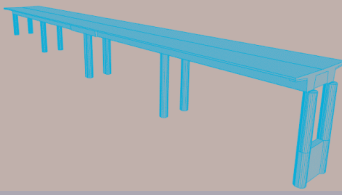
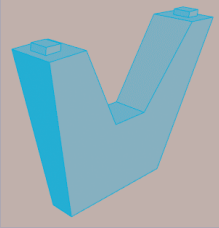
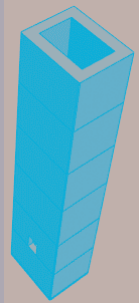
V raziskavi uporabnosti 3D BIM-modela geometrije konstrukcijskega elementa in pripadajočega 3D BIM-modela armaturnega koša za pripravo ustreznih armaturnih risb s pripadajočimi izvlečki smo obravnavali šest konstrukcijskih elementov iz različnih novejših projektov s področja mostogradnje. Konstrukcijski 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.

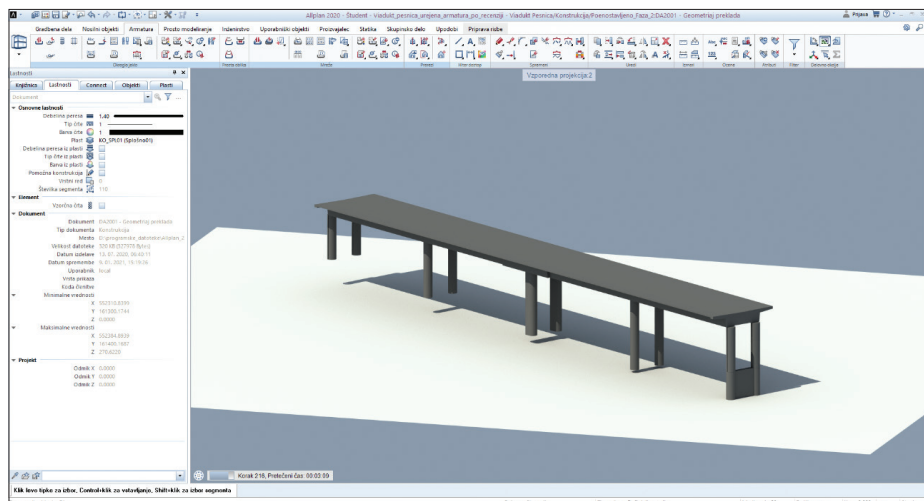
- Kapa stebra projekta Most čez kanal HE Formin (Ponting, d. o. o., 2018a), kjer je geometrija enosmerna stožčasta razširitev. Del prečnih prerezov se po višini kape

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

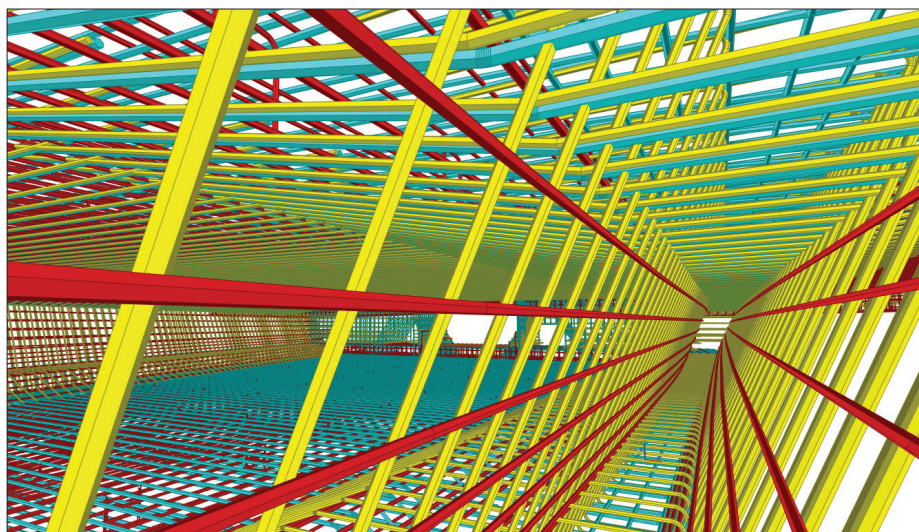
Princip modeliranja armature s programsko opremo Allplan v splošnem poteka v dveh korakih. Prvi korak je izris želene oblike pozicije v ustrezni prerezu 3D BIM-modela geometrije, drugi korak pa je polaganje izrisane pozicije, pri čemer so na razpolago različne možnosti, ki so odvisne od potreb armiranja (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 modeliranja 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.

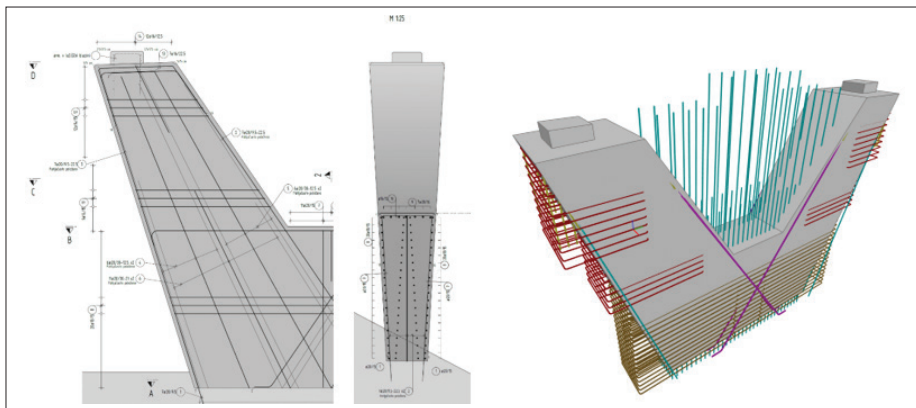
Poseben način polaganja pozicij armature predstavlja tako imenovano polaganje v obliki



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 presek 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).

prerez, saj se polaga spreminjajoča se pozicija, ki zavzame veliko število podpozicij, kar povzroča nevšečnosti 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 prereze 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 prereze, ki podajajo opaz, ter izrisati in položiti vsako pozicijo posebej. Slika 5 prikazuje armaturni koš in nekatere detajle kape stebra Most čez Savo Brežice.

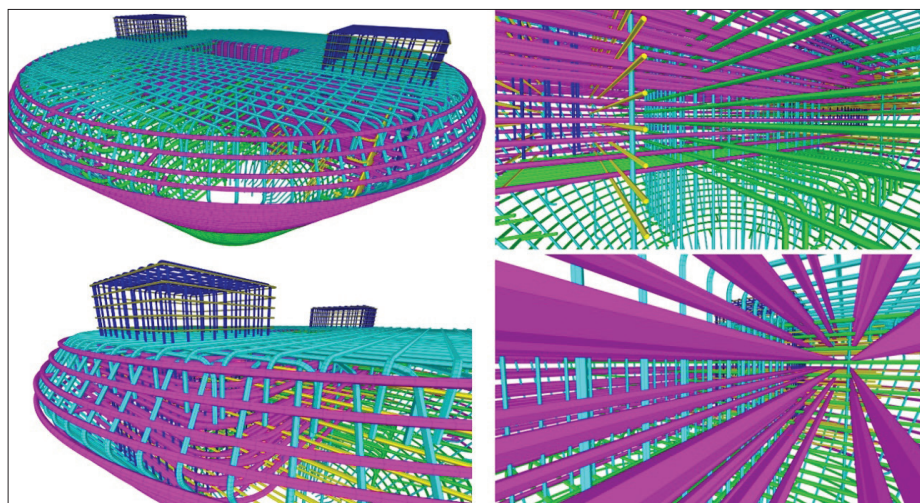
Kot zadnjo problematiko 3D BIM-modeliranja armature izpostavljamo armiranje prerezov stožnice (krog, elipsa, parabola in hiperbola), ki nastanejo pri prerezih kap stebrov. Programska oprema Allplan omogoča izris armature po poljubnem opažu, a se pri prerezih stožnice pojavlja problematika potencialne

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

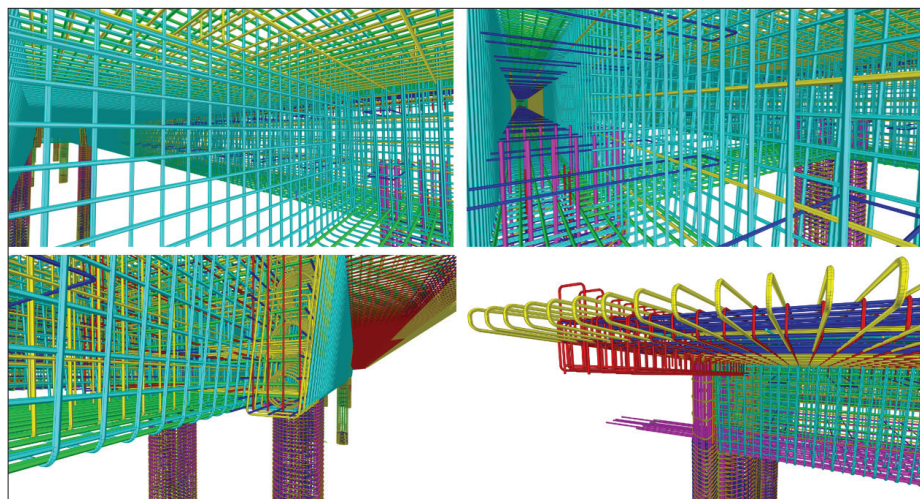
ustreznosti armiranja. Opisana problematika je prisotna pri elementu kape stebra, Most čez kanal HE Formin.

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 odprtih, 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.

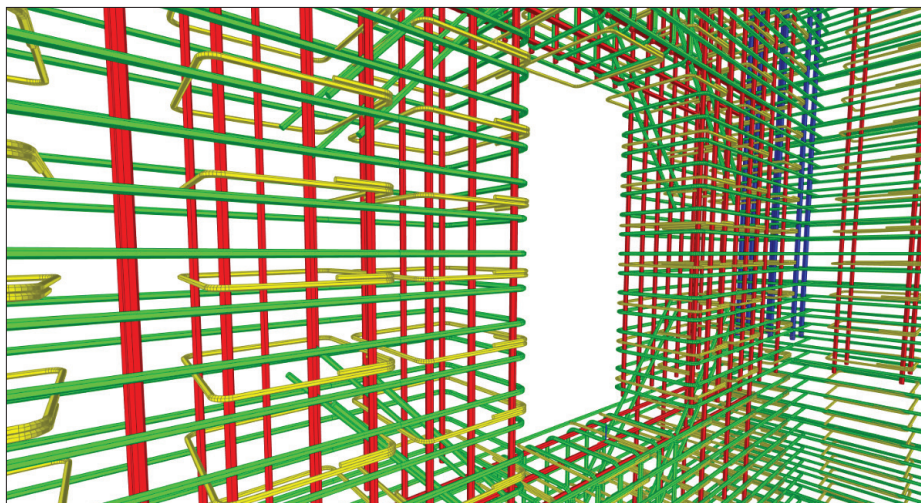
Gradniki, ki tvorijo 3D BIM-modele, vsebujejo geometrijske in negeometrijske podatke, ki enolično definirajo posamezne gradnike. Pri BIM-pristopu se med udeleženci pri projektu



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

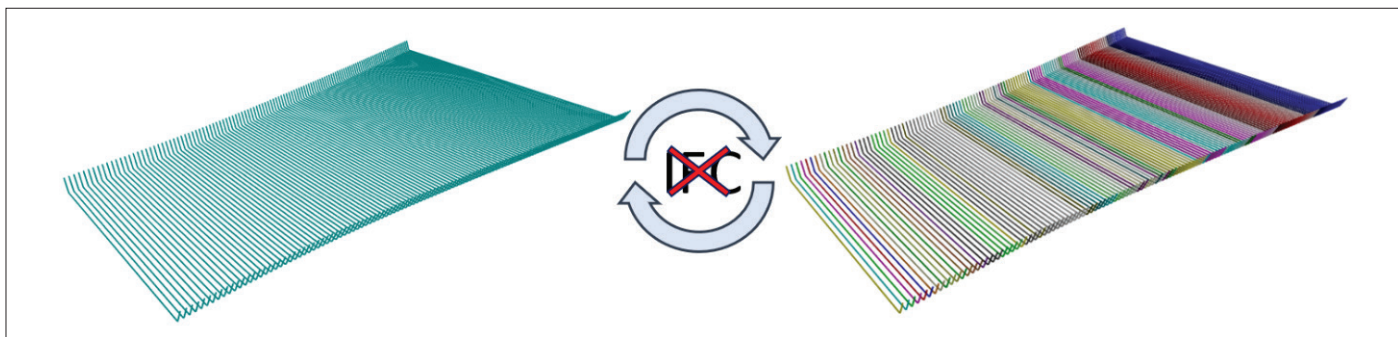
do drastičnega povečanja števila pozicij. To povzroči nepreglednost na izdelani armaturni risbi ter nesmiselnost izdelanega armaturnega izvlečka. Na primeru, ki ga prikazuje slika 8, lahko vidimo, da se je zgolj začetna

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 posodabljajo. 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

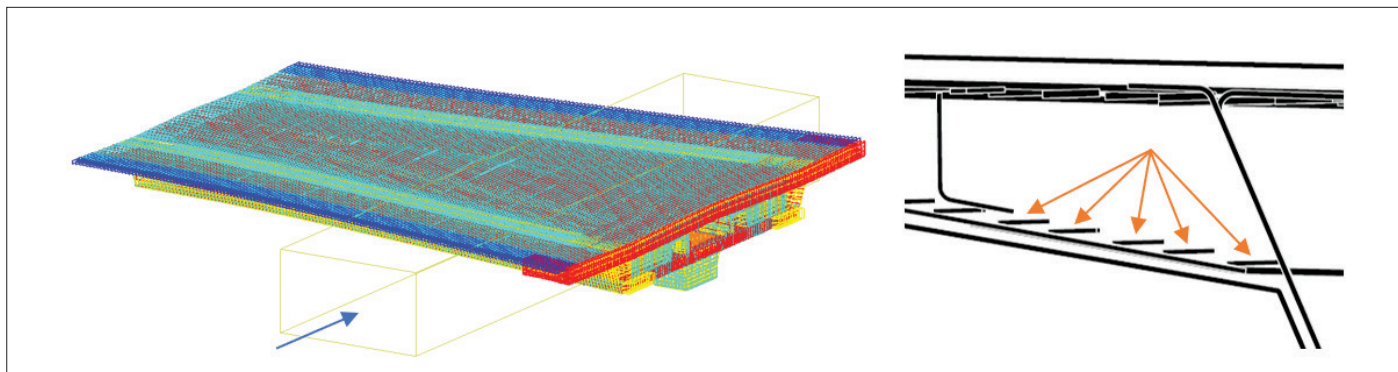


Slika 8 • Nefunkcionalnost izmenjave datoteke IFC-formata pri pozicijah s spreminjajočo se dimenzijo.

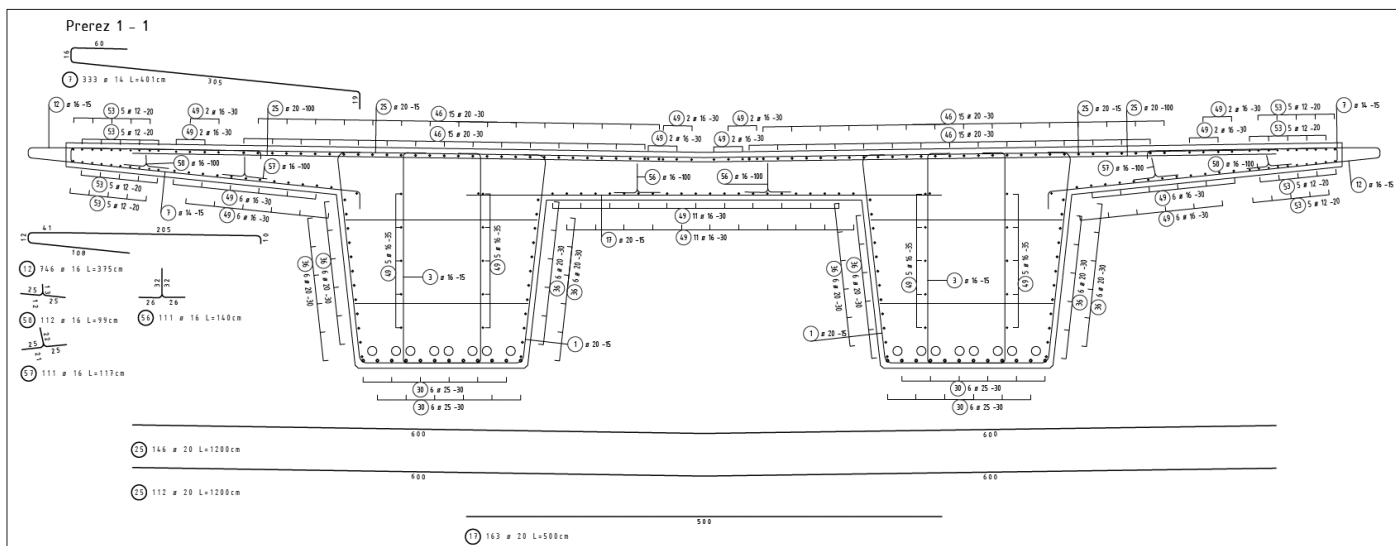
pri pozicijah s spreminjajočo se dimenzijo ne deluje. Ugotovili smo namreč, da se pri 3D BIM-modelih armature pozicije, ki imajo spreminjajoče se dimenzije, same razdelijo na posamezne pozicije, kar lahko privede

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 prikazemo 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.

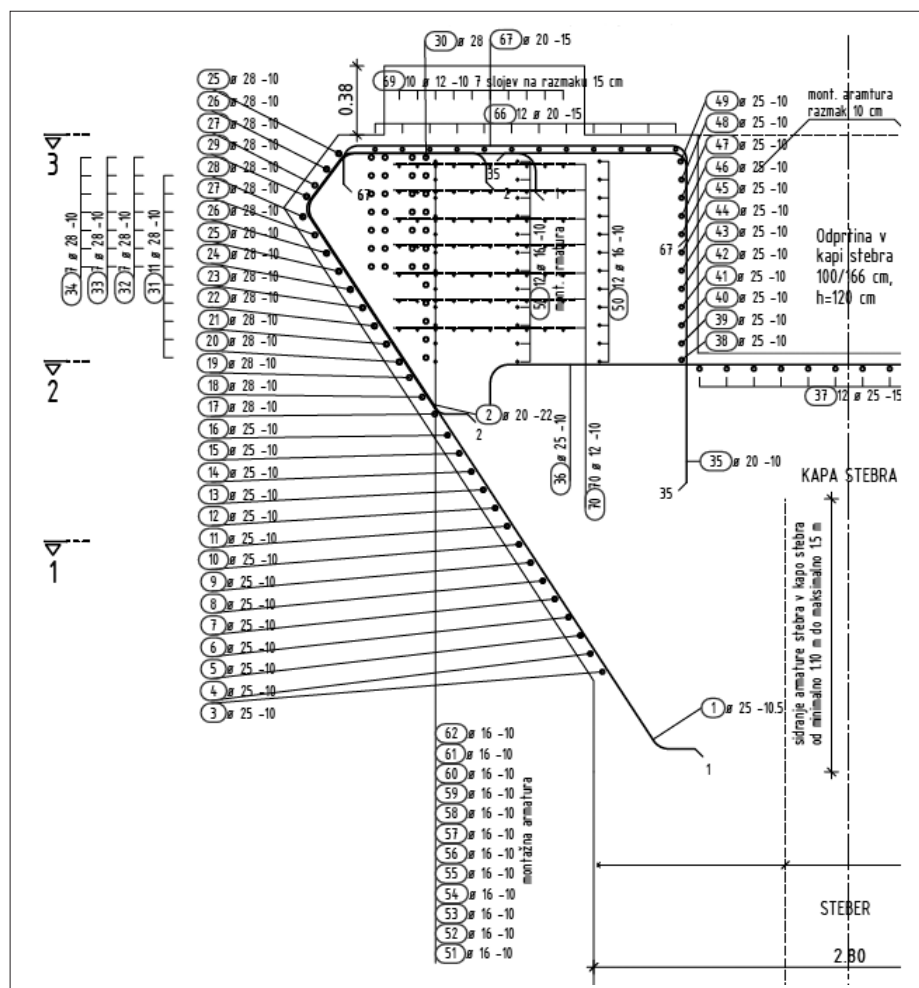
Savo Brežice, Kapa stebra, Most čez kanal HE Formin, Segment prekladne konstrukcije, Most čez Savo v Krškem in Steber, Krško peš most). Za odpravo navedene težave se običajno določi telo prereza tako, da se globina gledanja zmanjša na minimum, prerez tako sicer ne vsebuje več vseh elementov zahtevanega prikaza, a podaja ustrezni 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 ustrezno izdelanih armaturnih risb na podlagi 3D BIM-modela so prikazani na slikah 10, 11, 12 in 13.

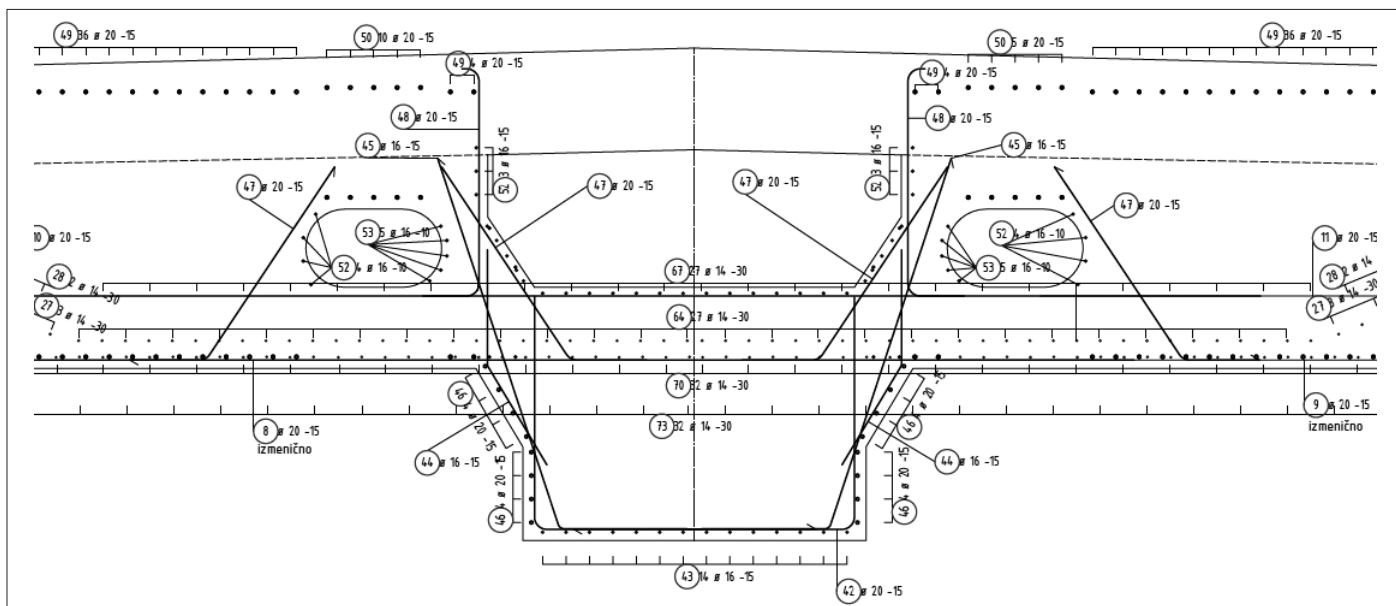
Pri izdelavi armaturne risbe programska oprema omogoča opcijo avtomatskega opisovanja in kotiranja. Opcija je na voljo znotraj ukazov za izdelavo prereza modela. Pri enostavnem armiranju se uporaba ukazov izkaže kot sprejemljiva (prihrani delo in čas), kar je prikazano na sliki 14 (levo). Pri zahtevnih 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 v 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.

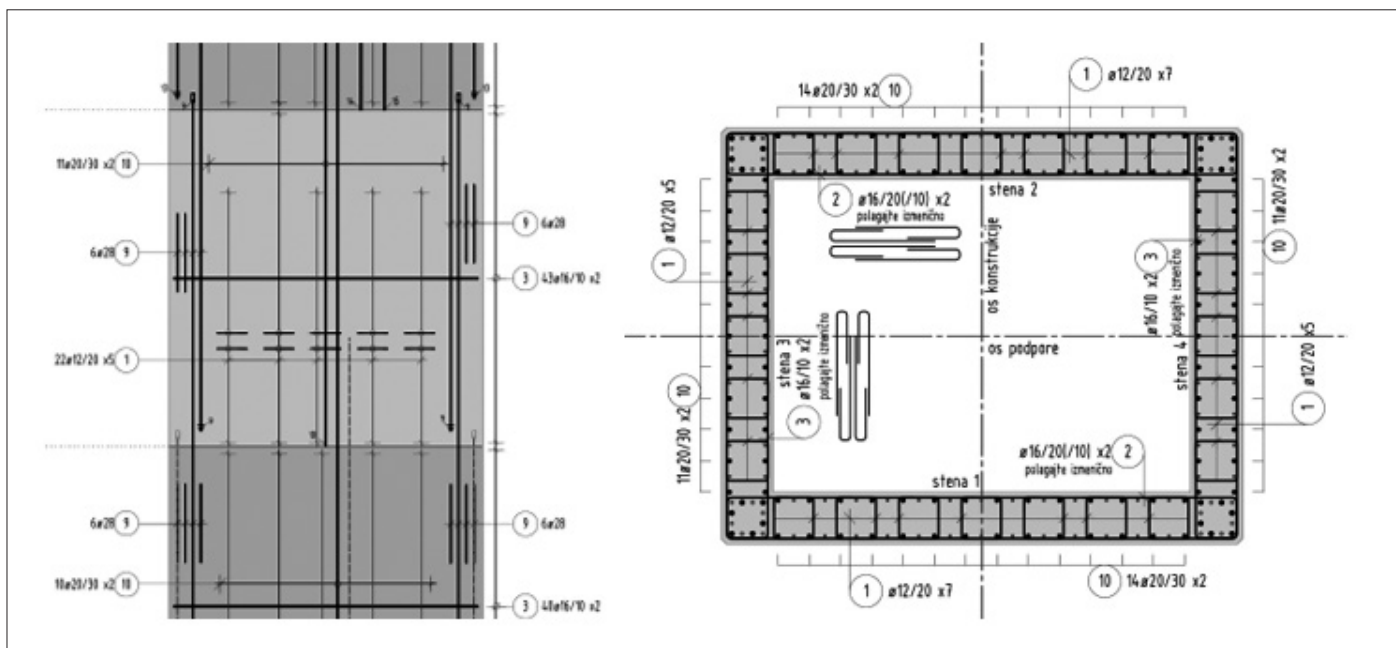


Slika 12 • Izsek armaturne risbe, Most čez Savo, Brežice.

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.



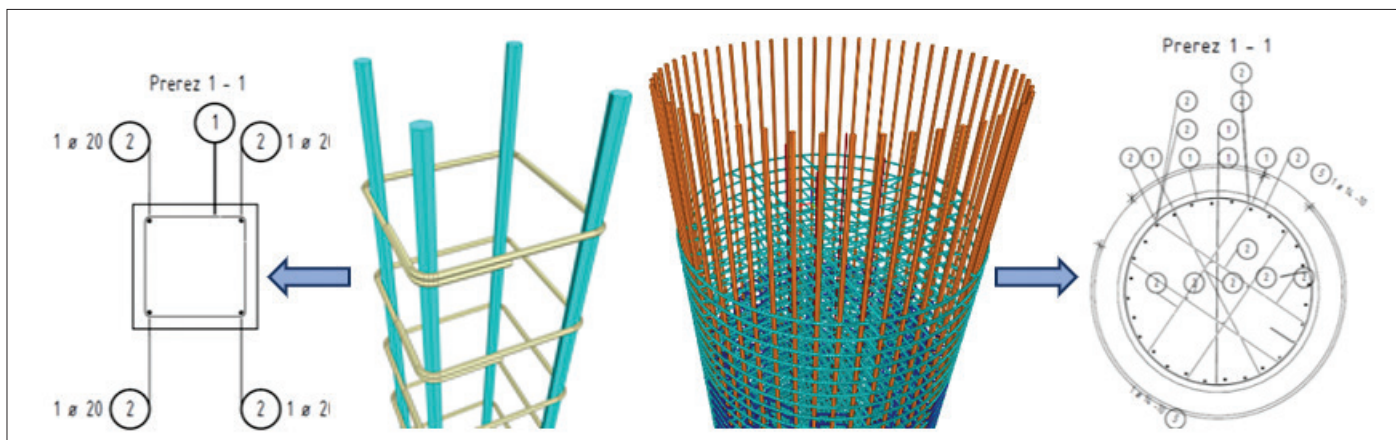
Slika 13 • Izsek armaturne risbe, Steber, 3 os sever-6-09 Ravne 2.

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 izdela 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 nevednosti, 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

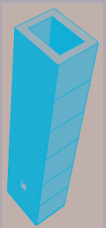
Oblika	Štev.	Dolž. a [cm]	Dolž. Pos. palica [cm]	Dolž. Skupaj [cm]
1.1	1	663	759	759
1.2	2	664	760	1520
1.3	2	665	761	1522
1.4	2	666	762	1524

Slika 15 • Izsek celotnega izvlečka pozicije 1.

pozicij armature, ki v 3D BIM-modelu delujejo popolnoma prilagajajoče 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.	Problematika določitve globine gledanja (telo prereza).
Kapa stebra, most čez kanal HE Formin 	Armiranje po opažu oblike stožnic in pozicije, ki krožno zapirajo prečne prereze. Brez težav pri geometriji.	Problematika določitve globine gledanja (telo prereza).
Segment prekladne konstrukcije, most čez Savo v Krškem 	Številčenje pozicij vzdolžne armature. Brez težav pri geometriji.	Problematika določitve globine gledanja (telo prereza).
Segment 2 z vključenimi podporami Viadukta Pesnica 	Brez posebnosti in težav pri armaturi ter geometriji.	Brez posebnosti.
Steber, Krško peš most 	Pahljačasto položena armatura in pozicije, ki zapirajo prečne prereze. Odstopanje med armaturo in geometrijo. Brez težav pri geometriji.	Odstopanje med 3D BIM-modelom in armaturno risbo.

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

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, Pravilnik 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.