

# GRADNJA SOVPREŽNE PREKLADNE KONSTRUKCIJE NADVOZA NAD ŽELEZNIŠKO PROGO

## CONSTRUCTION OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE OVERPASS DECK OVER RAILWAY

**Ervin Struna, univ. dipl. inž. grad.**

ervin.struna@cgp.si

**Danilo Malnar, univ. dipl. inž. grad.**

danilo.malnar@cgp.si

CGP, d. d., Ljubljanska cesta 36, 8000 Novo mesto

**Strokovni članek**

UDK 624.01/.07:625.1(497.4)

**Povzetek** | V članku je predstavljena gradnja sovprežnega dela prekladne konstrukcije nadvoza 4-01 nad železniško progo Ljubljana–Zidani most v km GC 9,0 + 95,49 do 9,2 + 60,10 v okviru projekta Preložitev ceste G2-108/1182 Ribče–Litija ob naselju Zgornji Log pri Litiji od km 8,740 do km 10,140. Sovprežni del prekladne konstrukcije je iz AB-plošče, izdelane v dveh fazah, in iz dveh jeklenih nosilcev. V prvi fazi se je na jeklenih nosilcih izvedel prvi del AB-plošče, ki je služila za opaž drugi fazi betoniranja. Prva faza se je izvedla na delovnem platoju še pred montažo jeklenih nosilcev na njun končni položaj. Po končani prvi fazi sta se jeklena nosilca z že izvedeno opažno AB-ploščo postavila na njuno končno mesto, na začasne podpore ob stebrih nadvoza. Sočasno z izvedbo monolitne armiranobetonske prekladne konstrukcije se je izvedla navezava s sovprežnim delom prekladne konstrukcije in dobetonirala se je sovprežna betonska plošča do njene končne višine.

Ključne besede: gradnja nad železnico, sovprežna konstrukcija

**Summary** | This paper presents the construction of the steel-concrete composite deck of overpass 4-01 over the railway line Ljubljana – Zidani most from km 9.0+95.49 to km 9.2+60.10 within the project Deviation of road G2-108/1182 Ribče-Litija near the settlement Zgornji Log pri Litiji from km 8,740 to km 10,140. The composite overpass deck is made of steel-concrete slab built in two phases and of two steel box girders. In the first phase the concrete slab was built on steel box girders which served as formwork for concrete slab in the second phase. The first phase of the construction was carried out at the working platform before the main box girders were set to their final position. When the first phase was completed, both of box girders with formwork concrete slab were set on their final position on temporary supports near the pillars of overpass. At the same time, when a monolith reinforced concrete deck was built, a connection with steel-concrete composite deck was made and the concrete slab of the second phase was concreted to its final height.

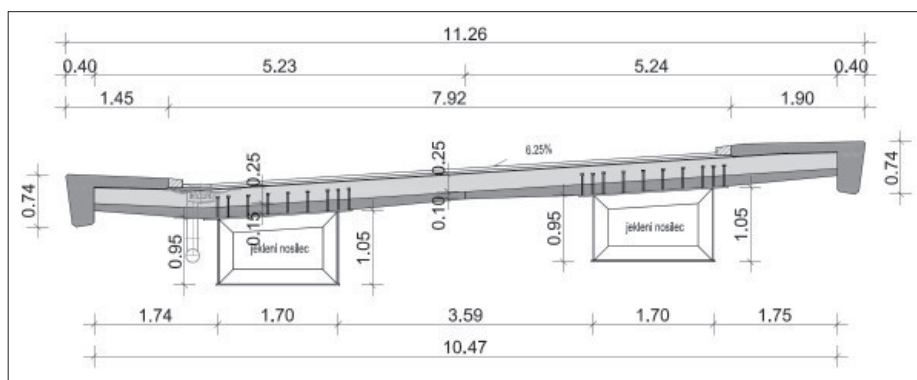
Key words: construction over railway, composite structure

## 1 • UVOD

Podjetje CGP, d. d., je bilo na podlagi javnega naročila izbrano za izvedbo projekta Preložitev ceste G2-108/1182 Ribče–Litija ob naselju Zgornji Log pri Litiji od km 8,740 do km 10,140. Ureditev zunaj nivojskega križanja je bila načrtovana z izvedbo nadvoza, katerega prekladna konstrukcija je bila v območju nad elektrificirano železniško progo projektirana kot sovprežna konstrukcija, ki je omogočala gradnjo z minimalnim vplivom na vodenje železniškega prometa (slika 1). Izvedba sovprežne konstrukcije je bila načrtovana kot montažna gradnja, pri kateri se je betoniranje prvega dela sovprežne plošče na jeklenih nosilcih, izdelanih v proizvodnji, izvedlo na delovnem platoju ob železniški progi. Nato je sledil posamični dvig obeh nosilcev (v nadaljevanju članka se beseda nosilec nanaša na jekleni nosilec z že izvedenim prvim delom sovprežne AB-plošče) z avto-dvigalom na začasno podporno konstrukcijo ob že izvedenih stebrih nadvoza. Nazadnje je sledila izvedba drugega dela sovprežne plošče sočasno z izvedbo preostalega dela monolitne prekladne konstrukcije.



Slika 1 • Prevoz vlaka takoj po končani montaži jeklenih nosilcev



Slika 2 • KPP sovprežnega dela prekladne konstrukcije nad železniško progo

## 2 • OSNOVNI PODATKI IN OPIS OBJEKTA

Objekt: Nadvoz 4-01 nad železnico v km GC 9,0 + 95,49 do 9,2 + 60,10  
 Investitor: DRSC, Tržaška cesta 19, 1000 Ljubljana  
 Projektant: PNZ, svetovanje projektiranje, d. o. o., Vojkova cesta 65, 1113 Ljubljana (PNZ, 2013)  
 Odgovorni projektant: mag. Samo Križaj, univ. dipl. inž. grad.  
 Izvajalec: CGP, d. d., Ljubljanska cesta 36, 8000 Novo mesto  
 Vodja projekta: Jure Jesih, univ. dipl. inž. grad.  
 Odgovorni vodja del: Tilen Klemenc, univ. dipl. inž. grad.  
 Nadzor: Razvojni center Inženiringi Celje, d. o. o., Teharska 40, 3000 Celje  
 Odgovorni nadzornik: Milan Mrovlje, univ. dipl. inž. grad.

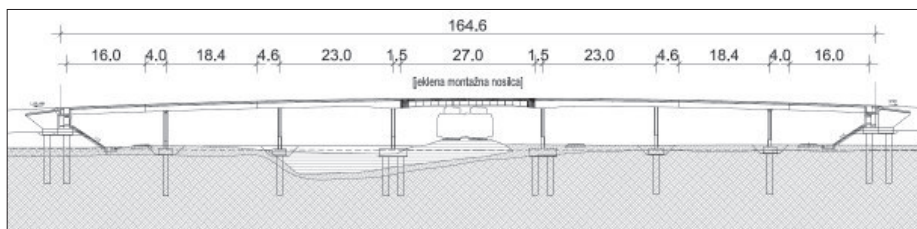
Nadvoz nad železniško progo je zasnovan preko sedmih polj z razponi 20,0 + 23,0 + 23,0 + 30,0 + 23,0 + 23,0 + 20,0 = 162,0 m (164,6 m med dilatacijama). Prekladna konstrukcija je široka 11,27 m in je

izdelana v dveh različnih tehnologijah, in sicer kot sovprežna konstrukcija in kot monolitna konstrukcija iz prednapetega betona, grajena simetrično na nepomičnem odru (polje za poljem od sredine proti krajnim opornikom).

Os v vzdolžnem prerezu poteka v vertikalni zaokrožitvi  $R = 2000$  m, os objekta v florisu pa je delno v prehodnici  $A = 132,58$  m (od stacionaže 9,086 do 9,174), v nadaljevanju pa v krožnem loku z radijem  $R = 200$  m. Prečni sklon se spreminja od 2,20 % do 6,25 % in je konstanten v območju krožnega loka. Prekladna konstrukcija je podprta z dvema krajnjima opornikoma in šestimi vmesnimi podporami. Na krajnih opornikih in obeh skrajnih vmesnih podporah so na vrhu pomična ležišča, preostale štiri vmesne podpore pa so polno vpete v prekladno konstrukcijo. Konstrukcija je zaradi nehomogenih temeljnih tal globoko temeljena na uvrtanih AB-kolih. Monolitna konstrukcija ima prečni prezek z dvema AB-nosilcema. Statična višina AB-nosilca je 1,40 m, z izjemo na mestu vmesnih podpor ob železnici, kjer zaradi vute začne naraščati in doseže višino 1,90 m ob stebri.

AB-nosilca sta prednapeta in med seboj povezana s tlačno ploščo, katere višina se spreminja med 0,25 in 0,35 m.

Pri sovprežni konstrukciji sta uporabljena dva jeklena nosilca dolžine 27,0 m (jeklo kvalitete S 355 J2 + N), pri čemer ima prvih in zadnjih 1,50 m nosilca obliko prečnega prereza U in je odprt. Na tem delu se izvede povezava z monolitnim betonskim delom prekladne konstrukcije. Jeklena nosilca sta zrakotesni jekleni škatli iz pločevin debeline 15, 20 in 30 mm, na katerih je v dveh fazah izvedena sovprežna betonska plošča.



Slika 3 • Vzdolžni prezek nadvoza

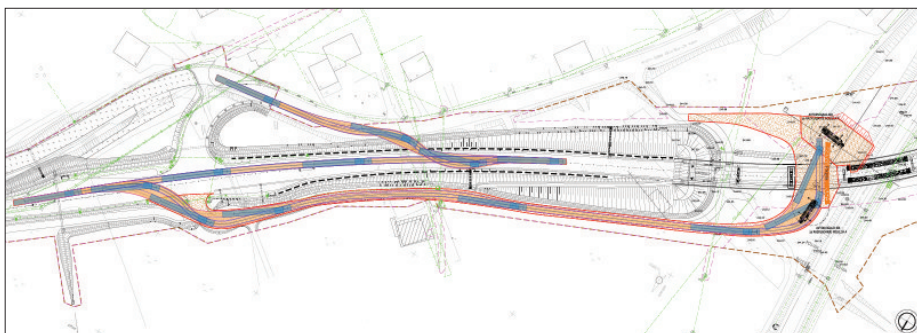
### 3 • GRADNJA SOVPREŽNEGA DELA PREKLADNE PLOŠČE

#### 3.1 Prva faza izvedbe

Jeklene nosilce sovprežnega dela prekladne konstrukcije je izdelalo podjetje Magma, d. o. o., iz Požege na Hrvaškem. Za transport jeklenih nosilcev iz delavnice na gradbišče je bilo treba pripraviti načrt transporta in premikov, ki je bil del tehnološkega elaborata montaže jeklenih nosilcev (CGP, 2014a). Dobava nosilcev do gradbišča je potekala po predhodno določeni poti: Požega–mejni prehod Bregana/Obrežje–Ljubljana–Dol pri Ljubljani–Zg. Log pri Litiji. Zaradi dolžine in teže jeklenih nosilcev je transport potekal z vlačilcem in štiriosno specialno prikolico za prevoz dolgega tovora z nosilnostjo 32.100 kg. Transport po gradbišču je potekal po predhodno natančno načrtovani poti, narejeni iz utrjenega tamponskega nasutja.

Na gradbišču sta se jeklena nosilca razložila na predhodno pripravljene AB- in lesene podstavke na delovnem platoju iz utrjenega tamponskega nasutja v enakem medsebojnem položaju, kot sta sedaj po končani montaži. Za njuno razložitev in točno pozicioniranje sta se uporabili dve avtodvigali z nosilnostjo 1000 kN. Po razložitvi so se preverili geodetski podatki (višina, osi) in se je zagotovila stabilnost jeklenih nosilcev z izvedbo začasnega podpiranja.

Sledila je izvedba prvega dela sovprežne plošče, tako imenovane opažne plošče, ki je služila za opaž drugi fazi betoniranja. Opažna plošča se je izvedla pred montažo jeklenih nosilcev na njun končni položaj. Čeprav je bila betonska plošča prve faze ločena za vsak nosilec posebej, je bila betonirana na skupnem opažu za oba nosilca. Razlog za skupni opaž je bila zahteva po točnem med-



Slika 4 • Shema transportne poti na gradbišču (načrtovano z računalniškim programom Plateia)

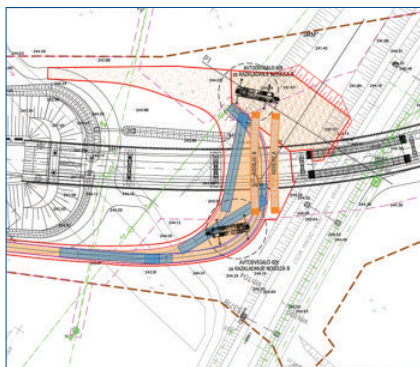
sebojnim prilagajanju betonske plošče prve faze tudi po dvigu v končni položaj. Opažni plošči imata spremenljivo debelino, in sicer 15 cm ob robu jeklenega nosilca in 10 cm na koncih obeh konzol. Konzoli preko zu-

nanjega roba stojine segata 1,75 m proti zunanji strani nosilcev (proti robnim vencem v karakterističnem prerezu) in 1,79 m proti notranji strani (proti stiku med obema nosilcema v končnem položaju).



Slika 5 • Dovoz jeklenih nosilcev na gradbišče





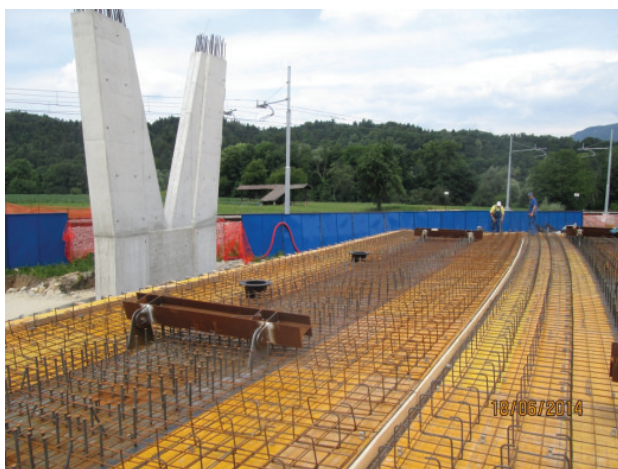
Slika 6 • Načrt razložitve jeklenih nosilcev in postavitve načasne podpore



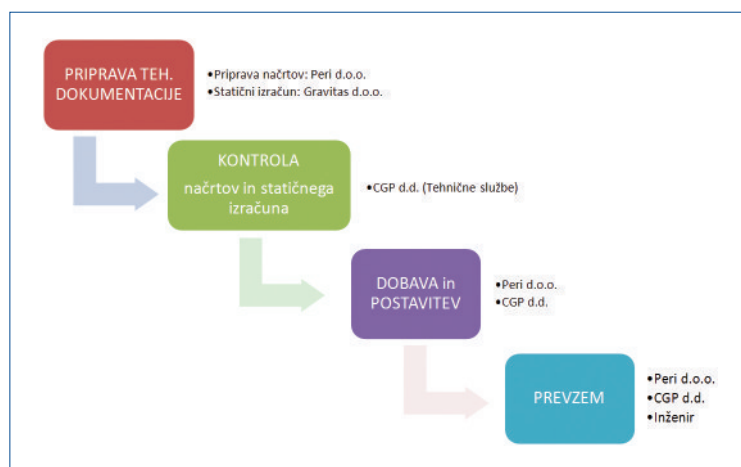
### 3.2 Začasne podpore

Načrt začasnih podpor, nosilne konstrukcije in opaža prekladne konstrukcije je pripravilo podjetje PERI, oplate i skele, d. o. o., podjetje Gravitas, d. o. o., pa je izdelalo statični račun opažne konstrukcije. Projekt opaža in nosilnega odra je bil izveden v skladu z Uredbo o zagotavljanju varnosti in zdravja pri delu na začnih in premičnih gradbiščih (nosilni odri) ter skladno s standardi za projektiranje konstrukcij:

- SIST EN 1990 (osnove projektiranja),
- SIST EN 1991-1-6 (vplivi med gradnjo),



Slika 7 • Izdelava opaža in vgradnja armature za izvedbo prvega dela sovpredne plošče



Slika 8 • Diagram poteka zagotavljanja kakovosti postavitve nosilnega odra in opaža

Skupaj z izvedbo opaža so se v opaž pritrdila sidra konzole, preko katerih so se na opažno ploščo pred dvigom obeh elementov namestile konzole opaža robnega venca. S tem se je zmanjšal obseg dela nad železniško progo, zmanjšalo se je motenje železniškega prometa in povečala se je varnost dela. Ker je železniška proga elektrificirana, so se ozemljili vse konzole, oba jeklena nosilca in podporna konstrukcija jeklenih nosilcev.

Zaradi ukrivljene osi jeklenega nosilca je projektant moral natančno določiti njegovo težišče in na podlagi tega tudi mesta, kamor so se pripravila ušesa za dvig (ekscentrična postavitve ušes za dvig elementov je razvidna s slike 7). Izjemna natančnost pri določanju težišča je bila potrebna zato, da je element tudi po dvigu ostal v popolnoma ravnem položaju in da se je obtežba elementa enakomerno porazdelila na vse štiri vrvi. Zaradi torzijsko zelo toge konstrukcije se v primeru, da ušesa ne bi bila pravilno nameščena, obtežitev ne bi enakomerno porazdelila na štiri enake komponente, kar bi predstavljalo preobremenitev za dvigne vrvi kot tudi za ušesa za dvig.



Slika 9 • Začasne podpore, postavljene ob stebrih nadvoza, na obeh straneh železniške proge

- SIST EN 1993 (projektiranje jeklenih konstrukcij),
- SIST EN 1995 (projektiranje lesenih konstrukcij),
- SIST EN 13670 (izvajanje betonskih konstrukcij).

Izvedba začasnih podpor, nosilne konstrukcije in opaža prekladne konstrukcije je potekala po zaporedju, prikazanem na sliki 8.

Za začasno podpiranje prvega dela sovprežne prekladne plošče sta se ob stebrih na vsaki strani železniške proge postavila nosilna gradbena odra, sestavljena iz navpičnih nosilnih stolpov, jeklenih profilov ter profilnih in vozliščnih diagonal. V prečnem prerezu je bil gradbeni oder sestavljen iz dveh samostojnih nosilnih stolpov, postavljenih simetrično glede na os objekta. Nosilni elementi nosilnega gradbenega odra so se v vertikalni in horizontalni smeri povezali s cevmi cevnega odra, da sta se s tem zagotovili togost nosilnih stolpov in zmožnost prevzema horizontalnih obremenitev zaradi vertikalne zakrivljenosti jeklenih nosilcev (slika 9).

Jekleni nosilec se je zaradi neravne spodnje ploskve naslanjal na jekleni profil HEB 360 preko lesenih zagozd. Obtežbo enega nosilca na gradbeni oder kaže preglednica 1.

Obtežba se je preko jeklenih HEB-nosilcev razporedila na nosilne stolpe (4 na vsaki strani enega nosilca) in preko temeljne blazine stebrov, na kateri je stala podporna konstrukcija, v utrjena temeljna tla.

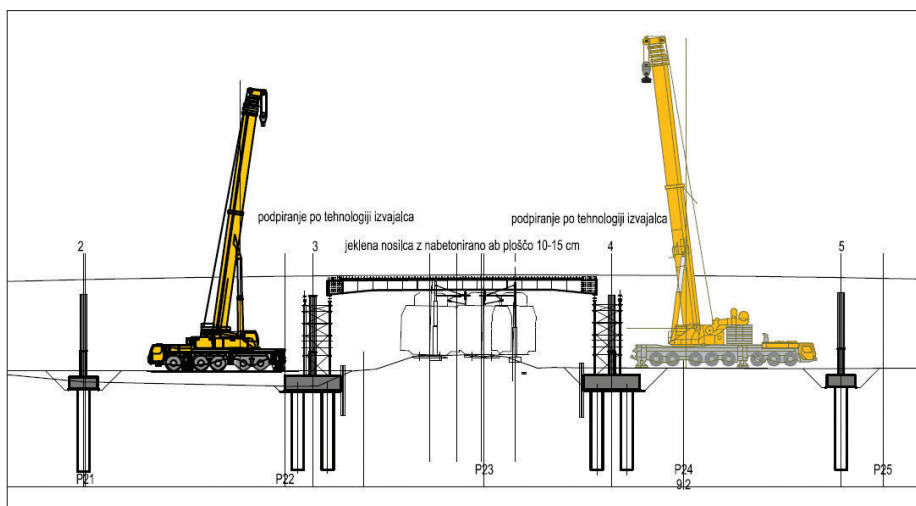
### 3.3 Montaža prvega dela sovprežne prekladne plošče

Po projektu za izvedbo je bila predvidena montaža nosilcev z dvema avtodvigalom nosilnosti 130 in 500 ton, pri čemer sta bili planirani dve dveurni zapori za montažo v dveh različnih terminih (npr. v soboto in nedeljo). Teža posameznega nosilca je bila ocenjena na 730 kN, kar pomeni, da bi breme za eno avtodvigalo znašalo 365 kN. Avtodvigalo z večjo nosilnostjo bi bilo postavljeno ob začasni podpori na drugi strani železniške proge, avtodvigalo z manjšo nosilnostjo pa bi bilo postavljeno ob začasni podpori čim bližje obema nosilcema. Obe avtodvigali bi tako skupaj (sinhrono) montirali najprej nosilec 1 in nato nosilec 2.

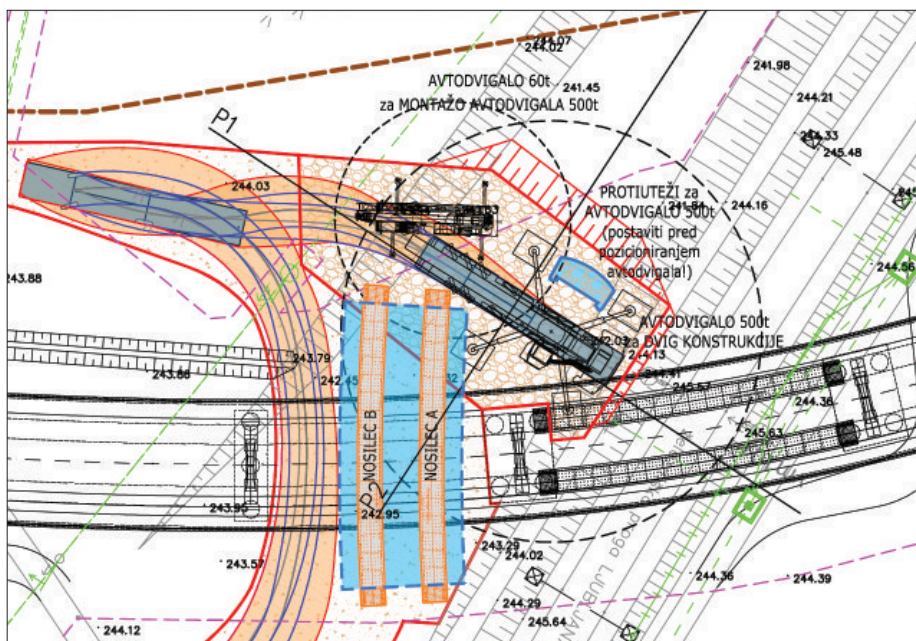
Pri pripravi tehnološkega elaborata (CGP, 2014b) smo v sodelovanju z izbranim izvajalcem za montažo nosilcev na opaž Prangl, d. o. o., uporabili le eno avtodvigalo z nosilnostjo 5000 kN (slika 11). Tega je bilo treba zaradi zahtevane nosilnosti avtodvigala v

Teža jeklenega nosilca	280 kN
Teža opažne AB-plošče	$(24,0 \text{ m} \times 0,125 \text{ m} \times 5,25 \text{ m}) \times 25 \text{ kN/m}^3 = 400 \text{ kN}$
Teža konzol za opaž robnega venca	$33 \times 0,6 \text{ kN} = 20 \text{ kN}$
Teža betona v U-prerezu na koncu nosilca	$(1,35 \text{ m} \times 1,50 \text{ m} \times 1,70 \text{ m}) \times 26 \text{ kN/m}^3 = 90 \text{ kN}$
Skupaj na eno podporo	$(280 + 400 + 20) / 2 + 90 = 440 \text{ kN}$

Preglednica 1 • Račun obtežbe začasne podpore sovprežne konstrukcije



Slika 10 • Montaža nosilcev po projektu za izvedbo



Slika 11 • Načrt montaže nosilcev skladno s TEE

radiju montaže natančno pozicionirati tako ob začasni podporni konstrukciji kot tudi ob obeh elementih. Kako natančno je bilo treba pozicionirati avtodvigalo in kako blizu začasne

podporne konstrukcije je moralo stati, je razvidno s slike 12. Na sliki je razvidno, kako blizu sta si bila začasna podporna konstrukcija in protitež avtodvigala.





Slika 12 • Protiutež avtodvigala ob začasni podporni konstrukciji

Razlog za uporabo enega avtodvigala je bil predvsem čas trajanja zapore železniškega prometa. Pri montaži enega nosilca z dvema avtodvigaloma je bila predvidena zapora železniškega prometa za dve uri, pri montaži z enim avtodvigalom pa smo predvideli le enourno zaporo, pri čemer je dejanska montaža posameznega nosilca trajala okoli 40 minut. Zaradi časovnega prihranka smo izvedli montažo obeh nosilcev v enem dnevu. Montaža nosilcev je potekala 5. julija 2014 po naslednjem urniku:

- 9<sup>00</sup>–10<sup>00</sup>: zapora železniškega prometa in montaža prvega nosilca
- 10<sup>00</sup>–11<sup>00</sup>: sprostitvev železniškega prometa
- 11<sup>00</sup>–12<sup>00</sup>: zapora železniškega prometa in montaža drugega nosilca

Pred začetkom montaže nosilcev je bilo treba izključiti napetost v voznom omrežju. Vsa dela montaže so bila pod tehničnim nadzorom in v prisotnosti varnostnega čuvaja Slovenskih železnic (slika 13).

### 3.4 Kontrola kakovosti vgrajenega betona

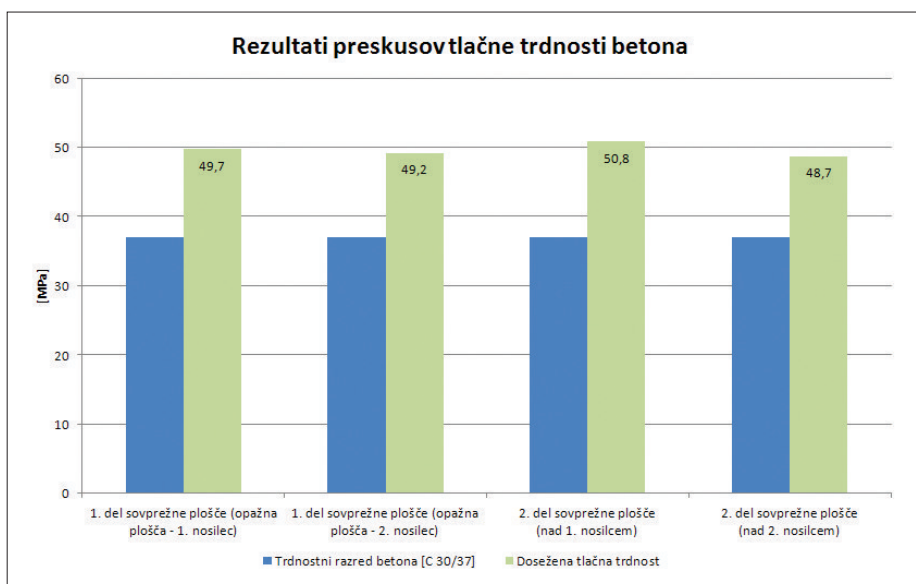
Vzporedno z gradnjo nadvoza se je skladno z navodili *Projekta izvajanja betonske konstrukcije* in s priloženim *Planom odvzema vzorcev betona za preizkušanje svežega in strjenega betona po konstrukcijskih elementih* izvajala kontrola vgrajenega betona. Rezultati preizkusov tlačne trdnosti betona prvega in drugega dela sovprežne prekladne plošče so prikazani na sliki 14. Preizkus je pokazal, da je bila tlačna trdnost 28 dni starega vgrajenega betona v povprečju za 34 % višja od predpisane.

### 3.5 Druga faza izvedbe

Po končani montaži sta se oba nosilca toga vpela v začasne podpore in v že izvedene stebre nadvoza ob začasni podporah. Sledila je postavitvev nosilnega odra in opaža monolitnega dela prekladne konstrukcije ter



Slika 13 • Montaža nosilca na začasno podporno konstrukcijo

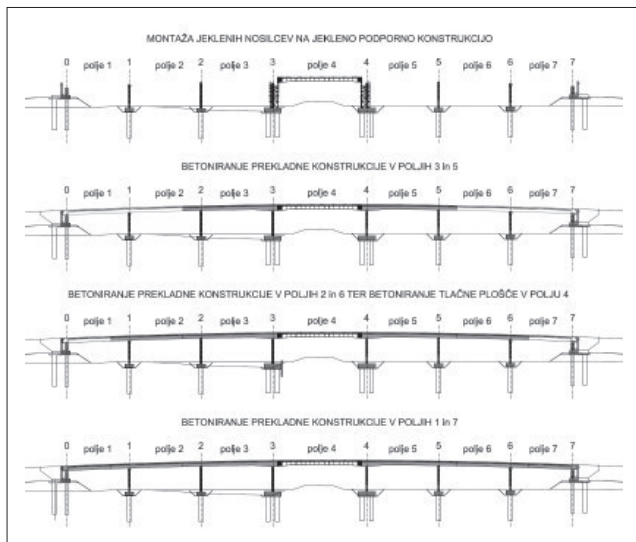


Slika 14 • Diagram rezultatov tlačnih trdnosti betona

njena izvedba. Betoniranje monolitnega dela prekladne konstrukcije je potekalo v treh fazah (slika 15) simetrično na sredinski sovprežni del prekladne plošče in v odvisnosti od dispozicije kablov za prednapenjanje. V prvi fazi sta se izvedli polji levo (polje 3) in desno (polje 5) od sredinskega sovprežnega dela prekladne plošče (polje 4), nato njuni sosednji polji (polji 2 in 6) in na koncu še krajni polji (polji 1 in 7). Med prvo in drugo fazo izvedbe monolitnega dela prekladne konstrukcije se je dobetonirala

sovprežna betonska plošča do njene končne debeline.

Začasna podorna konstrukcija, na kateri sta bila začasno postavljena oba nosilca sovprežne prekladne konstrukcije, se je odstranila 23. septembra 2014, in sicer po izvedbi prednapetja polja 3 in 5 ter po dobetoniranju sovprežne betonske plošče do njene končne debeline. To pomeni, da sta bila nosilca podprta z začasno podporno konstrukcijo približno dva meseca in pol.



Slika 15 • Postopna izvedba prekladne konstrukcije nadvoza



Slika 16 • Sovprežna prekladna plošča nad železniško progo

## 4 • SKLEP

Opisana tehnologija izvedbe sovpredne prekladne konstrukcije nad železniško progo prinaša v proces gradnje nadvoza številne prednosti pa tudi določene pomanjkljivosti. Prednosti so zmanjšanje vplivov na vodenje železniškega prometa, manjše število zapor železniškega prometa, železniški promet je bil med gradnjo vseskozi neoviran, le z zmanjšano hitrostjo v območju gradbišča. Večina vseh del, ki se tičejo gradnje prekladne konstrukcije nad železniško progo, je bila opravljena v enem

dopoldnevu. Pomanjkljivost te tehnologije pa je daljša izpostavljenost na začasni podporah postavljene sovpredne prekladne konstrukcije negativnim zunanjim vplivom (vreme, človeški dejavnik itd.), ki bi lahko v skrajnem primeru pripeljali do njenega rušenja.

Inženirske konstrukcije, kjer je pri gradnji uporabljena zahtevna tehnologija izvedbe, zahtevajo natančno načrtovanje tako v fazi projektiranja (PGD, PZI) kot tudi v fazi priprave na izvedbo (tehnološki elaborati). Za njihovo izdelavo

je bilo treba upoštevati številne zahteve in potrebe različnih področij – gradnja v območju železniške proge, načrtovanje dostave nosilcev, tehnologija montaže idr. Premišljeno načrtovanje izvedbe posamezne faze v času gradnje lahko prispeva k racionalizaciji na mnogih področjih (časovno, stroškovno) kot tudi k novim rešitvam in tehnologijam izvedbe. Pri tem je ključno sodelovanje med projektantom, nadzornikom in izvajalci ter strokovnimi službami. Pomembno je, da se zagotavlja sprotne preverjanje vseh procesov, kajti tako se ugotovljene motnje in napake lahko nemudoma odpravijo. Že manjši spodrsrlaj lahko povzroči katastrofo.

## 5 • LITERATURA

- CGP, d. d., Tehnološko ekonomski elaborat za izvedbo jeklenih montažnih nosilcev nadvoza 4-01 čez železnico, št. 01-TS/3/68-14, april 2014a.  
 CGP, d. d., Tehnološko ekonomski elaborat za izvedbo prekladne konstrukcije nadvoza 4-01 čez železnico, št. 01-TS/3/59-14, maj 2014b.  
 PNZ, svetovanje projektiranja, d. o. o., Preložitve ceste G2-108 Ribče-Litija ob naselju Zgornji Log pri Litiji od km 8 740 do km 10 140, PZI projekt št. 12-1423, januar 2013.