

ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI PODLIVANJA PREFABRICIRANIH PORR PLOŠČ V PREDORU KRIŽIŠKI NA ŽELEZNIŠKI PROGI KOŠANA – GORNJE LEŽEČE S PROSTORSKO STABILNIM NEKRČLJIVIM SAMOZGOŠČEVALNIM BETONOM

Boštjan Gerbec, univ.dipl.inž.kem.inž., Center za materiale in konstrukcije, Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o.
mag. Dejan Hribar, univ.dipl.inž.grad., Center za prometnice in infrastrukturo, Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o.
Aleksander Turšič, univ.dipl.inž.grad., SŽ-ŽGP Ljubljana d.d.

1. UVOD

Pri sanaciji predora Križiški v dolžini 325 m na odseka proge Košana – Gornje Ležeče od km 654+185 do km 656+866 je Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o. izdelal projekt betona in izvajal notranjo kontrolo kakovosti betonerskih del (slika 1). Izvajalec gradbenih del je bil SŽ-ŽGP Ljubljana d.d.. Sanacija je predvidena v dveh fazah. Prva faza je bila sanacija celotnega desnega tira omenjene proge, ki je predmet tega prispevka.



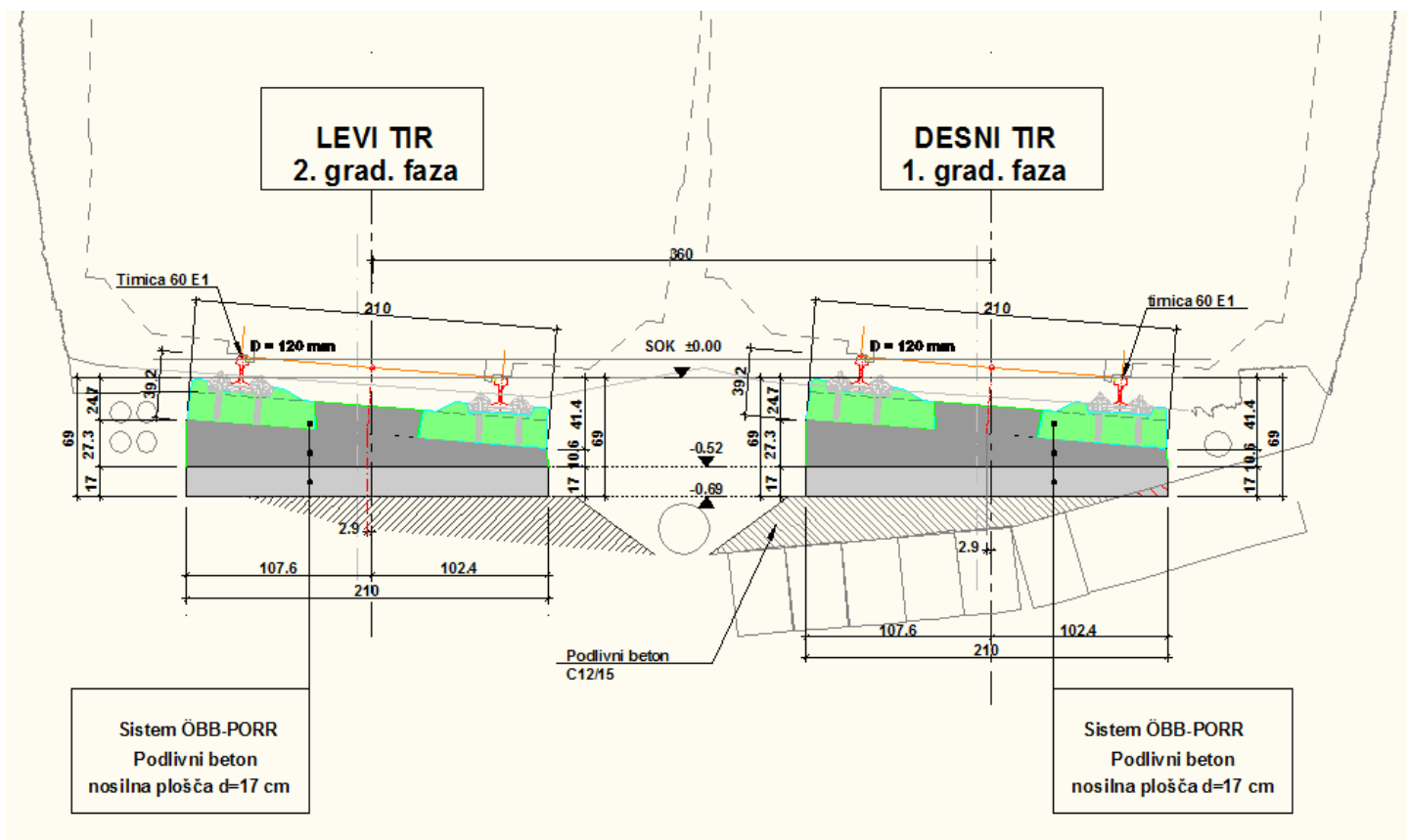
Slika 1: Predor Križiški (vir ZRMK)

Osnovni projekt je predvideval sanacijo ustroja železniške proge po sistemu RHEDA pragi in 38 cm debela betonska plošča, ki je namenjena predhodnemu polju. V samem predoru pa je sestava ustroja proge od zgoraj navzdol naslednja (slika 2):

- ÖBB-PORR plošče;

- podlivni beton d = 12,7 cm (ustrezno povečana debelina podlivnega betona v krivini);
- nosilna AB plošča d = 17 cm (v premi).

Za podlivni beton so bile predvidene osnovne lastnosti: C25/30 XC3, XD2, XF3, XA1, Dmax, 16, za nosilno ploščo pa: C25/30 XC3, XD2, XF3, XA1, Dmax 22, S3.



Slika 2: Karakteristični profil - Predor Križiški (vir TIRING, SŽ-ŽGP Ljubljana d.d.)

2. PROJEKTIRANJE PROSTORSKO STABILNEGA NEKRČLJIVEGA SAMOZGOŠEVALNEGA BETONA

Naročnik nam je posredoval osnovne informacije o predvideni in željeni tehnologiji vgradnje ter zahtevanih karakteristikah betona za podlivanje prefabriciranih ÖBB-PORR plošč (slika 3). Na osnovi pregleda

razpoložljive dokumentacije, v kateri so bile podane dodatne zahteve za podlivni beton, smo izpostavili naslednjo možno problematiko:

- podlivni beton mora ohraniti projektirane lastnosti v celotni časovni dinamiki od proizvodnje do vgradnje, kar narekuje potrebo po ugotavljanju skladnosti projektiranih lastnosti tako pri proizvodnji kot pri vgradnji,
- glede na priporočila dobavitelja prefabriciranih PORR plošč je potrebno zagotavljati ustrezno plastičnost betona vzdolž celotnega transporta oz. dolgotrajno stabilnost plastične konsistence v skladu z zahtevami avstrijskega standarda, ki predvideva razlez F73 (tj. razlez 70 – 76 cm). Hkrati je zaradi naročnikove želje po zveznem betoniranju po celotni dolžini predora potrebno preprečiti deformacije, ki se lahko v betonu pojavijo zaradi neugodnega geometrijskega razmerja stranic podlitja tako v fazi plastičnega krčenja kot v fazi izsuševanja.

Zato smo na osnovi projektnih zahtev izvedli ocenjevanje skladnosti lastnosti poskusno proizvedenega svežega betona v proizvodnem obratu Laže (Primorje d.d.). Izbrali smo sestavo samozgoščevalnega betona (SCC – SELF COMPACTING CONCRETE), ki je tako v smislu doseganja fizikalnih (konsistenca, vsebnost zračnih por) kot tudi mehanskih karakteristik (tlačna trdnost, NOZT) ustrezala projektnim zahtevam. Samozgoščevalni beton (SCC) namreč že samo zaradi delovanja lastne teže in sposobnosti tečenja omogoča zapolnjevanje praznega prostora poljubne oblike le na osnovi specifične sestave betona brez uporabe vibracijskih sredstev za njegovo razporejanje in zgoščanje. Pri tem tesno oblike nameščeno armaturo, se odzrača in izravna, ne da bi pri tem sedimentiral. Za izpolnitev teh zahtev mora imeti sveža betonska mešanica odlično sposobnost tečenja in visoko stabilno mikrostrukturo. Ustrezno učinkovitost samozgoščevalnega betona omogoča primeren delež prašnih delcev v mešanici in kemijski dodatek – superplastifikator nove generacije, ki ga imenujemo tudi hiperplastifikator.

Pri obravnavi naročnikove želje po enopotezni vgradnji podlivnega betona po celotni dolžini predora smo menili, da lahko zaradi krčenja v fazi izsuševanja nastanejo izjemne negativne natezne napetosti, ki povzročijo pokanje in diferenčne pomike dimenzijsko v vse smeri, še posebej v vzdolžni smeri. Možen pojav nekontroliranih in neželenih deformacij je bil poglobitveni razlog, da smo navkljub dobrim lastnostim samozgoščevalnega betona predlagali dodatno modifikacijo osnovne sestave podlivnega betona, ki bi zagotavljala izvedbo prostorsko stabilnega, nekrčljivega betona. Glede na dejstvo, da je naročnik naš predlog sprejel kot korektno utemeljen, smo podlivni beton z osnovno sestavo modificirali tako, da smo mu dodali ekspanzivno komponento na osnovi Kleinita, ki vsebuje kalcijev sulfoaluminat. Ta pri hidrataciji v zgodnji fazi tvori voluminozni igličasti kristal etringit, ki povzroča ekspanzijo strjujočega betona dimenzijsko v vse smeri. Zgodnje nabrekanje kompenzira razvoj napetosti, ki se v betonu pojavijo v času izsuševanja zaradi odvečne, za

hidracijo nepotrebne zmesne vode, kar zagotavlja prostorsko stabilnost in v znatni meri preprečuje posledice nezaželenih deformacij vgrajenega betona.



Slika 3: ÖBB-PORR plošče po vgradnji v predoru Križiški in betonska plošča (vir ZRMK)

Na podlagi preliminarnih preiskav smo določili končno sestavo prostorsko stabilnega nekrčljivega samozgoščevalnega betona za podlivanje ÖBB-PORR plošč z oznako L-26-HP-EX, ki ga je proizvedla betonarna Laže (Primorje d.d.). V osnovnem projektu je bila sicer zahtevana stopnja izpostavljenosti na kemično agresivno okolje XA1. Na podlagi omenjene zahteve smo zato odvzeli vzorec vode v Križiškem predoru. Kemijska analiza vode je pokazala, da voda ne deluje agresivno na beton, kar je bil razlog, da stopnje izpostavljenosti XA1 pri določanju projektiranih lastnosti nismo upoštevali. Beton je izpolnjeval vse zahteve iz slovenskega standarda SIST EN 206-1 s projektiranimi lastnostmi: C30/37, XC4, XD2, XF3, Dmax 16, s ciljnimi razlezom 700 mm v proizvodnem obratu in s ciljnimi razlezom 600 mm na gradbišču. Podlivni beton z oznako L-26-HP-EX smo projektirali z razpoložljivimi kemijskimi dodatki in z mineralnim ekspanzivnim dodatkom na naslednji način:

- Vsebnost super (hiper) plastifikatorja Viscocrete V5 NPL – Sika d.o.o. znaša $2,6 \pm 0,1 \text{ kg/m}^3$
- Vsebnost aeranta Cementol Eta S – TKK Srpenica d.d. znaša $0,9 \pm 0,1 \text{ kg/m}^3$.
- Zavlačilo vezanja Cementol Retard R2 se dodaja po potrebi v količini do $1,5 \text{ kg/m}^3$.

- Vsebnost mineralnega ekspanzivnega dodatka vrste K (Kleinit) EX 45 (K) – GRAS d.o.o. znaša 30 kg/m³.

Osnovne kvalitativne zahteve za svežo mešanico in otdeli beton za Križiški predor so v skladu z zahtevami projektne dokumentacije in tehničnimi ter tehnološkimi pogoji navedene v preglednici št. 1.

Preglednica 1

| Konstrukcijski elementi objekta | Oznaka sestave | Dodatne zahteve po tehničnih pogojih | ZAHTEVANE LASTNOSTI BETONA | | | | | | |
|---------------------------------|----------------|--------------------------------------|----------------------------|------------|-----------|-----------|---------------------|--------------------------|-----------|
| | | | Sveža mešanica | | | | Otrdeli beton | Stopnja izpostavljenosti | Odpornost |
| | | | Razlez (mm) | Temp. (°C) | Pore (%) | Dmax (mm) | Trdnostni razred | | |
| Podlivna plošča | L-26-HP-EX | črpni | (700 ± 50) na betonarni | 5-30 | - | 16 | C 25/30 zahtevan | XC3, XD2, XF3 | PV-II |
| | | | (600 ± 50) na gradbišču | | 3 – 5 ± 1 | | C 30/37 projektiran | | |

3. KONTROLA KAKOVOSTI

V skladu s projektom betona smo izvajali preskuse svežega betona na betonarni in gradbišču, odvezemali vzorce betona na gradbišču ter izvajali preskuse otrdelega betona v laboratoriju GI ZRMK d.o.o..

1.1. Kontrola svežega betona

Projektiran beton je bil v celoti proizveden v betonarni Laže (Primorje d.d.), ki je oddaljena od gradbišča ca. 25 km oz. 40 min vožnje. Opozorili smo, da izvajalec del lahko uporabi le beton, ki je od trenutka dodajanja vode suhi betonski mešanici na betonarni vgrajen v največ 180 minutah, kadar sta temperaturi zraka in betona pod 15°C. Osnovno skladnost dobavljenega betona do mesta vgradnje smo ugotavljali na podlagi podatkov na dobavnicah. Kontrolirali smo številko naročenega betona in čas od zamešanja svežega betona do transporta na mesto vgradnje.

Konsistenco na gradbišču smo preverjali po t.i. »slump testu« z obrnjenim stožcem, iz katerega se betonska mešanica razleze po podlagi, na kateri se izmeri premer razlezenega betona (slika 4). Za vsa odstopanja od

zahtevane konsistence smo predvideli korekcijske ukrepe z dodajanjem zamesne vode v količini do 5 l/m³ betona in/ali z dodajanjem superplastifikatorja oz. hiperplastifikatorja na gradbišču po navodilih proizvajalca oz. betonarne. Beton je bil vgrajen v konstrukcijo, ko je izpolnjeval vse predvidene zahteve pred ali po izvedenih korekcijskih ukrepih.



Slika 4: Preverjanje konsistence samozgoščevalnega podlivnega betona na gradbišču v predoru Križiški (vir ZRMK)

1.2. Kontrola otrdelega betona

V skladu s programom notranje kontrole kakovosti betona smo na gradbišču v skladu s slovenskima standardoma SIST EN 12390-1 in SIST EN 12390-2. odvzeli betonske preskušance (kocke 15 x 15 x 15 cm in prizme 10 x 10 x 40 cm). Skladnost otrdelega betona s predpisanimi zahtevami smo preskušali na tlačno trdnost po SIST EN 12390-3 in na odpornost proti prodoru vode po SIST EN 12390-8, vse na kockah s stranico 15 cm.

1.3. Zagotavljanje kakovosti z dodatnimi ukrepi

Osnovna tehnologija vgradnje podlivnega betona je temeljila na sukcesivnem črpanju betona po celotni dolžini predora po sestavljivih ceveh od mesta črpalke pred predorom do konca predora (slika 5). V primeru nezmožnosti črpanja betona vzdolž celotnega predora zaradi nezadostne zmogljivosti ali okvare črpalke, smo predvideli dodatno kontrolo dinamike razvoja trdnosti betona. Hiter prirast tlačnih trdnosti podlitega betona bi

namreč omogočal eksploatacijo že podlitih ÖBB-PORR plošč s tirnicami, po katerih bi v primeru okvare črpalke potekal transport betona in ne po ceveh.

Skupaj z naročnikom smo zaradi potencialno možne spremembe tehnologije vgrajevanja samozgoščevalnega podlivnega betona zaradi zgoraj navedenih in drugih subjektivnih ali objektivnih možnih razlogov podali dodatne zahteve za predor Križiški in sicer, da se:

- Ugotavlja dinamika razvoja trdnosti:
 - Tlačna trdnost po 2 dneh – 3 preskušanci
 - Tlačna trdnost po 3 dneh – 3 preskušanci
 - Tlačna trdnost po 5 dneh – 3 preskušanci
- Preskušance se zaščititi pred soncem ali se jih shrani v zaprt prostor na temperaturo $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ in relativni vlagi $\geq 95\%$, da je onemogočeno prehitro izsuševanje betona.
- Ugotavlja primerjalne lastnosti sveže betonske mešanice v betonarni in na gradbišču ter evidentira transportni čas od proizvodnje do vgradnje.
- V primeru, da transportni čas betona od proizvodnje do vgradnje znaša več kot 2 uri, se v betonarni obvezno poskrbi za modificiranje sestave z zavlačilom. V tem primeru je obvezno ponovno ugotavljanje primerjalne lastnosti sveže in strjene betonske mešanice v betonarni in na gradbišču.
- Predvidi se podlivanje pod vsako ÖBB-PORR ploščo cca. 20 minut oz. za podlivanje vsakokratnih 4x PORR plošč največ 80 minut.
- V primeru, da znaša transportni čas do vgradnje betona 3 ure ali več, betona ni dopustno vgraditi. Notranja kontrola mora v primeru neustreznih lastnosti svežega betona o tem takoj obvestiti odgovornega tehnologa.
- Pred izvajanjem betoniranja se skozi betonovod najprej spusti zmes, ki bo pripravljena z 650 l vode ter 1300 kg cementa.



Slika 5: Vgrajevanje samozgoščevalnega podlivnega betona na gradbišču v predoru Križiški (vir ZRMK, ÖBB-PORR)

4. ZAKLJUČEK

Zagotavljanje kakovosti pri sanaciji predora Križiški v dolžini 325 m na odseka proge Košana – Gornje Ležče smo prvenstveno zasnovali na optimiranju in uporabi prostorsko stabilnega nekrčljivega samozgoščevalnega betona. Pri projektiranju takšnega betona smo upoštevali sinergije tako po sestavi kot po načinu izkazovanja pozitivnih lastnosti sicer dveh različnih betonov:

- prostorsko stabilnega nekrčljivega betona, ki temelji predvsem na hidrataciji ustrezne količine ekspanzivne komponente na osnovi kalcijevega sulfoaluminata (Kleinita),
- samozgoščevalnega betona s specifično sestavo, ki jo omogoča predvsem primerna količina in izbor prašnih delcev ter ustreznih kemijskih dodatkov.

Kombinacija sestav navedenih betonov zagotavlja izdelavo strjenega prostorsko stabilnega betona z izrazito homogeno mikrostrukturo, ki vodi do izboljšanih lastnosti vgrajenih armiranobetonskih konstrukcij. Sestava takšnega betona omogoča večjo hitrost vgrajevanja, hitrejše napredovanje del, učinkovitejšo rabo energije z manj hrupa, ker pri vgrajevanju ne potrebuje vibracij za zapolnitev opaža in zgoščevanja strukture ter zmanjšanje ali celo izničenje posledic deformacij betona.

S kontrolo lastnosti proizvedenega betona smo na mestu vgradnje in v laboratoriju GI ZRMK d.o.o. v skladu s predvidenim programom preskušanja ustrezno zagotovili preverjanje skladnosti s projektnimi zahtevami.

Pričakujemo, da bodo tehnološka rešitev, ki jo omogoča specifična sestava betona za podlivanje prefabriciranih PORR plošč in rezultati preskušanj investitorju v pomoč tako v postopku dokazovanja kakovosti predmetnega objekta kot tudi pri načrtovanju novih obnovitvenih oz. investicijskih del v bodoče.

5. LITERATURA

BOKAN-BOSILJKOV, V. (2001) »Posebne lastnosti svežega samozgoščevalnega betona - pregled obstoječih metod preiskav = Key properties of fresh self-compacting concrete - existing test methods«, *Gradb. vestn.*, oktober 2001, letn. 1, str. 232-240, ilustr.,

GERBEC, B., (2006) »Razvoj in optimiranje sestave ekspanzivnega cementa vrste E(1) K na osnovi mešanja portlandskega cementa in ekspanzivnega dodatka iz Kleinita – poročilo o rezultatih«, Ljubljana: Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o., 2006, str 10, ilustr.,

GERBEC, B., (2005) »Preprečevanje tehnoloških deformacij betonov z mineralnimi (anorganskimi) dodatki za kompenzacijo krčenja«, konferenca ZBS, Združenje za beton Slovenije, zbornik referatov, 2005,

GERBEC, B., (2001) »Ekspanzivno mineralno vezivo za beton, postopek za njegovo pripravo in njegova uporaba«, Patent št. 20578, Urad za intelektualno lastnino, dec. 2001.

HRIBAR, D., GERBEC, B., DESPOTOVIČ, G. (2010) OBNOVA ODSEKA KOŠANA – GORNJE LEŽEČE, Sanacija Križiškega, Jurgovskega ter Ležeškega predora, DOPOLNILO PROJEKTA BETONA (Z DNE 20.07.2010) s programom zagotavljanja kontrole kakovosti, Ljubljana, Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o., Center za prometnice in infrastrukturo, št. 2003763-Koš-PB-GD