

# VPLIVI NA BETON MED VGRAJEVANJEM

## INFLUENCES ON CONCRETE DURING CASTING

**Marko Glavinič, univ. dipl. inž. grad.**

m.glavinic@nival-group.com

MarkoMark Nival, d. o. o., Pobrežje 6 a, 2284 Videm pri Ptuj

**izr. prof. dr. Andrej Štrukelj, univ. dipl. inž. grad.**

andrej.strukelj@um.si

Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo,

Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

**Znanstveni članek**

UDK 624.21:691.32

**Povzetek** | Vsaka podporna konstrukcija opaža mostu se ob obremenitvi opaža z betonom deformira. V našem primeru smo spremljali obnašanje podporne konstrukcije mostu iz tipskih jeklenih profilov, kjer je podajnost podporne konstrukcije praviloma večja kot pri drugih izvedbah podpornih konstrukcij. Ugotavljali smo, ali podajnost podporne konstrukcije opaža negativno vpliva na kakovost prvovgrajene plasti betona v konstrukcijo. V prvi plasti vgrajenega betona v konstrukcijo se namreč zaradi kasnejšega nalaganja zgornjih plasti betona in pomika podporne konstrukcije opaža v primeru, da betoniranje traja tako dolgo, da nastane vezanje betona, pojavijo natezne napetosti, ki bi lahko vodile do nastanka razpok v betonu oziroma do trajnih poškodb betona. S stalnim monitoringom temperature, deformacij in pomikov konstrukcije smo ugotovili, da razpoke v betonu v zgodnjih fazah strjevanja betona sicer nastanejo, vendar lahko nastanejo tudi kasneje, ko je betoniranje končano, konstrukcija pa je podprta z odrom oziroma opažem. Vzrok zanje je bil v preteklosti izključno pripisan podajanju podporne konstrukcije odra med betoniranjem. Pokazalo pa se je, da lahko nastanejo tudi zaradi drugih vzrokov, ki so tesno povezani s spreminjanjem temperature, krčenjem, lezenjem betona in obliko prekladne betonske konstrukcije.

Ključne besede: deformacija, podporna konstrukcija, beton, vgrajevanje betona, most

**Summary** | Every supporting structure of the formwork on a bridge deforms upon loading the formwork with concrete. In our case, we monitored the deformation of the supporting structure of a bridge made of steel beams with standard cross section, with normally higher flexibility of the supporting structure than with other forms of supporting structures. We were determining any possible negative effect of the flexibility of the supporting structure of sidings the quality of the concrete layer that was built into the structure first. In the first layer of concrete built into the structure, tensile stress can occur due to the later uploading of the upper layers of concrete and deform the supporting structure of the formwork when the casting takes long enough for concrete binding to occur. The tensile stress could lead to cracks or permanent damage to the concrete. With constant monitoring of the temperature, strains and displacements of the construction we determined that cracking of the concrete in early phases of solidification does occur, and it could also occur later when the concreting is finished and the construction is supported with falsework or sidings. In the past the cause for this was solely attributed to the flexibility of the supporting structure of falsework during casting. However, it has been determined that cracking can occur with changing temperature, shrinkage, creep and with changes in the form of concrete decking structure.

Key words: deformation, supporting structure, concrete, concrete casting, bridge

## 1 • UVOD

Tehnologija izvedbe podporne konstrukcije opaža iz tipskih jeklenih profilov je v praksi med najpogosteje uporabljenimi, saj se običajno uporablja pri gradnji mostov manjših razponov nad vodotoki ali pri izvedbi nadvozov nad prometnimi potmi, ki so kljub gradnji nadvoza pod neprestanim prometom. Pri vgrajevanju sveže betonske mešanice v opaž konstrukcije se takšna jeklena podpora konstrukcija začne podajati. V času nanašanja betonske mešanice nastajajo na podporni konstrukciji zaradi teže svežega betona izredno velike obremenitve, ki povzročajo relativno velike pomike podporne konstrukcije. Betoniranje velikega mostu lahko traja dalj časa, saj je treba v enem taktu betoniranja vgraditi več sto kubičnih metrov betona. Tehnologija vgrajevanja betona v takšnem primeru predvideva vgrajevanje betona v več plasteh. Ker je čas vgrajevanja betona dolg, lahko v tem obdobju v začetno vgrajeni plasti prihaja do začetka vezanja cementa v betonu, kar se manifestira v obliki zgoščevanja, poviševanja temperature, začetka kristalizacije, pričetka strjevanja in večanja modula elastičnosti. Novovgrajene plasti betona zaradi svoje teže in podajnosti podporne konstrukcije v prvovgrajeni plasti betona povzročajo natezne obremenitve in s tem možnost nastanka razpok v prvovgrajenih plasteh betona.

V literaturi je varen in dovoljen pomik podporne konstrukcije opaža omejen z  $l/2000 + 2$  cm, pri čemer  $l$  predstavlja razpon med podporami podporne konstrukcije. Ker je navedeni pogoj preveč omejujoč za podporne konstrukcije večjih razponov, je dovoljen sicer tudi večji pomik podporne konstrukcije, ki je skrajno omejen z  $l/300$ , vendar je za takšen pomik treba izvajati posebne varnostne ukrepe: treba je pravilno vgrajevati beton v opaž konstrukcije in namenjati posebno pozornost prednapetim armiranobetonskim konstrukcijam, kjer se pri prednapenjanju konstrukcije lahko pojavi t. i. efekt odra (SETRA, 1989). Efekt odra je pojav nastanka natezних napetosti v zgornji coni konstrukcije, ko se ob prednapenjanju konstrukcije po razbremenitvi podpora konstrukcija želi vrniti v prvotno, nedeformirano stanje.

## 1.1 Zgoščevanje in strjevanje betona

V kemiji cementa termin hidratacija pomeni spremembe, ki se zgodijo, če cement zmešamo z vodo. Po tem se začnejo odvijati

zapletene kemične reakcije. Zmes cementa in vode ob prisotnosti mineralnega agregata spreminja svoje stanje od visoko viskozne tekočine do materiala z visoko tlačno trdnostjo. Proces imenujemo v prvi fazi zgoščevanje betona, ki pomeni značilno večanje gostote betona (Wischers, 1981). Ločimo različna poimenovanja betona glede na njegovo starost. Sveži beton je beton, v katerem se še ni začel postopek zgoščevanja. Beton v času od vgrajevanja v opaž konstrukcije do pričetka strjevanja imenujemo zeleni beton, medtem ko beton po pričetku strjevanja do takrat, ko temperatura betona v fazi strjevanja prične padati, imenujemo mladi beton (Thienel 2008).

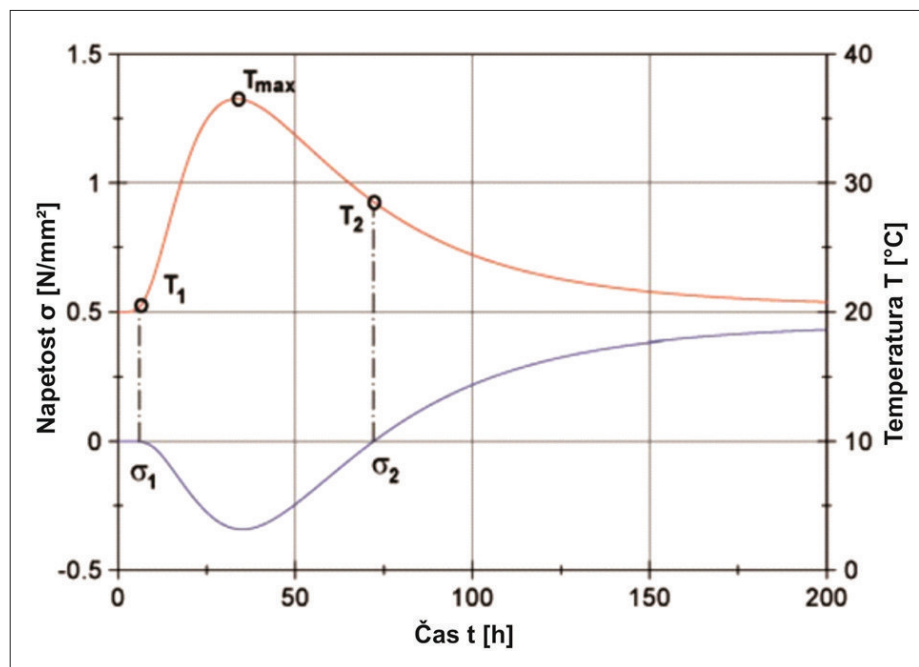
## 1.2 Krčenje in lezenje betona

Po vgradnji betona v opaž konstrukcije se sčasoma v betonu pojavi krčenje, kasneje tudi lezenje betona. Gre za zapletena, medsebojno povezana in zelo pomembna pojava v betonu armiranih in prednapetih konstrukcij. Krčenje je napetostno neodvisen časovni pojav, medtem ko je lezenje napetostno odvisen časovni pojav (Lopatič, 2012). Krčenje in lezenje sta dolgotrajna pojava v betonu, ki sta oba neposredno povezana s spreminjanjem vlage v betonu in nastajanjem mikrorazpok. Krčenje betona se v betonu odraža kot

zmanjšanje volumna betona v odvisnosti od časa in se pojavlja v glavnem zaradi sušenja betona. Pri linijskih betonskih konstrukcijah se krčenje betona v betonu samem odraža kot povišanje tlačnih napetosti betona (Havlásek, 2016). Lezenje betona je plastični pojav v betonu zaradi obremenitev betona z dolgotrajno obtežbo. Ločimo osnovno lezenje betona in lezenje betona v času sušenja betona. Osnovno lezenje betona nastaja pri premikanju vode v kapilarnih porah v cementni pasti oziroma zaradi kontinuiranega nastajanja mikrorazpok v kontaktni coni agregata in cementne paste. Lezenje betona v času sušenja betona nastaja zaradi sušenja betona. Premikanje vode v kapilarnih porah betona pri tlačnih napetostih je reverzibilno odvisno od naraščanja ali padanja oblike napetosti. Pojav lezenja betona ima velik vpliv na trdnost in obliko betona pri armiranih in prednapetih betonskih konstrukcijah (Shariq, 2016).

## 1.3 Razvoj temperature in napetosti v betonu

Pri zgoščevanju in strjevanju betona je temperatura betona zelo pomemben dejavnik. Obstajajo številne študije, kako temperatura vpliva na lastnosti betona, kot so tlačna trdnost, avtogene deformacije, relativne spremembe vlage, krčenje in lezenje betona. Rezultati spremljanja lastnosti betona v laboratorijskem okolju se lahko bistveno razlikujejo od dejanskih lastnosti betona, ki je vgrajen



Slika 1 • Razvoj napetosti in temperature v betonu v odvisnosti od časa, iz česar razberemo, da je maksimum tlačnih napetosti dosežen pri maksimumu temperature (Heinzelmann, 2010)

v naravnem okolju (Peng, 2015). Pri velikih betonskih konstrukcijah je treba spremljati temperaturo betona od vgradnje do konca strjevanja. Razpoke, ki nastanejo v tem času, so namreč lahko nevidne prostemu očesu, vendar v času uporabe konstrukcije naraščajo in s tem bistveno slabšajo kakovost betona (Schackow, 2016).

V fazi strjevanja betona se temperatura betona povišuje, povečevati se začne modul elastičnosti in pojavijo se tlačne napetosti. Po določenem času temperatura betona doseže maksimum. Sledi ohlajevanje betona in nad krčenjem betona začne prevladovati lezenje betona. S slike 1 je razvidno, da v tej fazi tlačne napetosti v betonu začnejo padati. V

nadaljevanju procesa ohlajevanja betona se togost betona povečuje, v določeni točki so napetosti nič oziroma tlačne napetosti preidejo v natezne napetosti, ki ob čezmernem povišanju vodijo do nastanka razpok, povzročenih z lezenjem betona. V teoriji, v fazi zgoščevanja in strjevanja betona, lahko govorimo o dveh točkah, kjer so napetosti enake nič – slika 1.

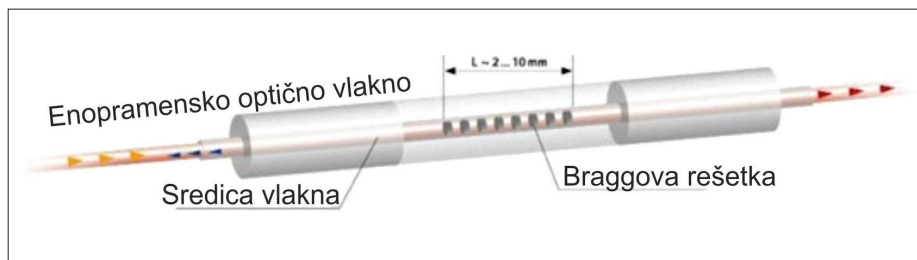
## 2 • OPRAVLJANJE MERITEV

Spremljanje meritev smo izvajali na konkretnem objektu, in sicer na mostu na odseku AC A4 Slivnica–Gruškovje na cesti 0093-1, 5-7 v km 2 + 657,2, za katerega je bila izdelana projektna dokumentacija. Most ima označbo 5-7 in je bil zgrajen v kraju Tržec pri Ptuj. Statična zasnova nosilne konstrukcije novega mostu je pravokotni monolitni prednapeti integralni okvir AB s svetlo odprtino 24,20 m. Prekladna konstrukcija okvirja je polna plošča, široka 6,0 m, z ločno oblikovanim intradosom spremenljive debeline od 0,65 m na sredini razpona do 1,20 m na sliki z opornikom. Na ploščo sta priključeni 1,75 m široki stranski konzoli debeline 0,25 m na prostem robu in debeline 0,35 m na vpetem robu. Plošča mostu je ojačena s 13 kablji za prednapenjanje. Vsi kablji so enake nosilnosti, in sicer 15 pramen s presekom 150 mm<sup>2</sup> (presekok enega kabla je 22,5 cm<sup>2</sup>). Vsak kabl je napet s silo  $V_n = 3.135$  kN. Opornika sta po 1,00 m debeli steni višine 2,36 m, temeljeni plitvo, na talni plošči dimenzij 4,85 x 7,10 m/1,00 m. Opornika sta široka 6,60 m, vzporedna krila so debela 0,30 m ter sestavljajo s steno in temeljno blazino podporo, v katerega je prekladna konstrukcija polno vpeta.

Opaž prekladne konstrukcije je bil sestavljen iz opažnih plošč dolžine 200 cm in širine 50 cm, položenih v vzdolžni smeri objekta. Celotni opaž je bil podprt z nosilci H20 top na razmiku 50 cm. Ker je bila spodnja ploskev prekladne konstrukcije v ločni izvedbi, so bili nosilci podprti s šablonami, ki so ležale na sekundarnih jeklenih vzdolžnih nosilcih HEB400. Sekundarni nosilci HEB400 so bili nameščeni prečno na primarne nosilce HEB500 in so služili enakomernemu prenosu obtežbe na celotno podporno konstrukcijo. Sekundarni nosilci so bili postavljeni na razdalji 2,00 m in so ležali na primarnih kontinuiranih jeklenih nosilcih HEB500. Primarni nosilci HEB500 so bili postavljeni na razdalji 1,50 m in so bili sidrani v opornika na vsaki strani konstrukcije, dodatno so ležali na začasnih podporah prvot-



Slika 2 • Podporna konstrukcija mostu, na katerem smo opravljali meritve, iz jeklenih nosilcev HEB500



Slika 3 • Shematski prikaz izvedbe merilnikov temperature in deformacij z optičnimi vlakni, ki smo jih uporabili za opravljanje meritev



Slika 4 • Optični senzor za merjenje deformacij, ki smo ga namestili v spodnji coni konstrukcije na sredini razpona prekladne konstrukcije





Slika 5 • Optični senzor za merjenje temperature v spodnji coni konstrukcije, ki smo ga namestili ob oporniku 1

nega mostu (slika 2). Ena začasna podpora je bila od opornika 1 oddaljena 2,40 m, medtem ko je bila druga začasna podpora od opornika 2 oddaljena 4,00 m.

Na mostu smo opravljali meritve deformacij in temperature v betonu od trenutka vgrajevanja betona v opaž do zaključka prednapenjanja konstrukcije ter meritve povesa konstrukcije.

Ves čas izvajanja meritev po zaključku vgradnje betona je bil beton konstrukcije skrbno negovan – pokrit s kopreno in folijo, temperatura betona na površju pa je bila uravnavana z vodo. Zunanje temperature se med opravljanjem meritev niso spustile pod 0 °C. Za meritve deformacij in temperature smo uporabili merilno tehniko na osnovi optičnih

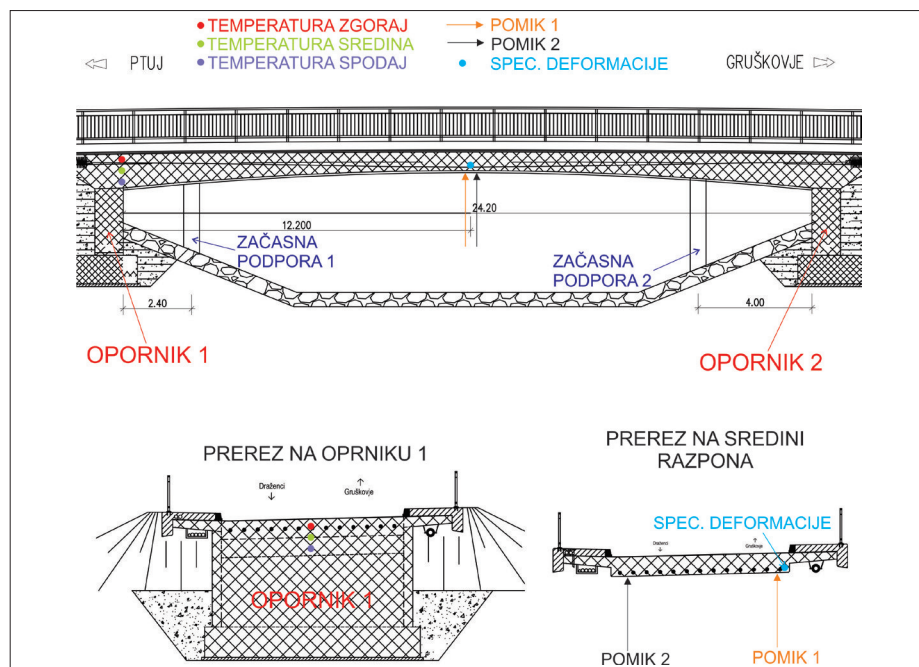
vlakn, katerih delovanje temelji na načelu Braggove rešetke. Braggova rešetka je občutljiva za deformacije in spremembe temperature (Silva, 2016). Kot je razvidno s slike 3, merilni del sensorja, ki deluje po tem načelu, predstavlja kos optičnega vlakna dolžine nekaj milimetrov, v katerega je z intenzivno svetlobo UV zapisan periodični vzorec, ki za določeno valovno dolžino svetlobe deluje kot zaporedje velikega števila polprepustnih zrcal. Pri prehodu svetlobe skozi tako izdelani senzor se svetloba te valovne dolžine odbije, svetloba preostalega dela spektra pa preide skozi tak senzor praktično neovirano. Če tak senzor raztegemo ali skrčimo, se razdalja med periodičnimi poškodbami optičnega vlakna, ki predstavljajo sistem polprepustnih zrcal, spremeni. Zato tako deformirani senzor odbije svetlobo z drugačno valovno dolžino kot v neobremenjenem stanju.

Pomike smo merili z induktivnimi merilniki, ki delujejo po načelu spreminjanja induktivnosti tuljave zaradi pomikanja pomičnega jedra. Induktivna merilnika smo namestili na posebej pripravljeno začasno konstrukcijo, ki je bila popolnoma neodvisna od podporne konstrukcije objekta in je bila postavljena na rečno dno.

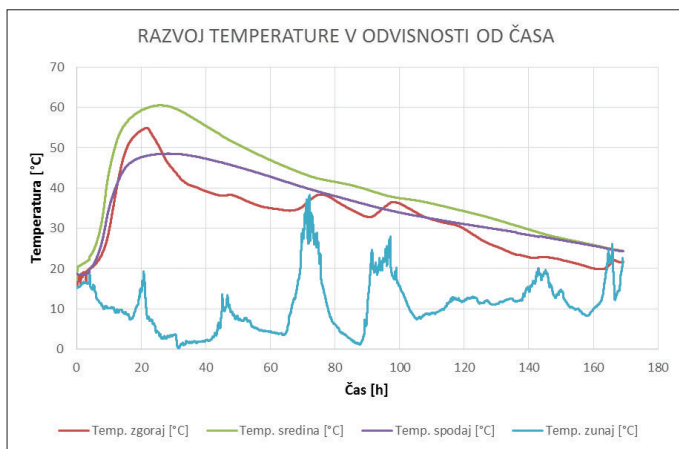
### 3 • REZULTATI

Temperaturo v betonu smo z optičnimi merilniki temperature (merilnik temperature je razviden na sliki 5) merili na treh nivojih na sredini opornika 1, in sicer v spodnji coni konstrukcije, v sredini konstrukcije in v zgornji coni konstrukcije. Pomike konstrukcije smo zaradi lastne teže svežega betona ob vgrajevanju in posledično podajnosti podporne konstrukcije opaža merili v dveh točkah (na levem in desnem robu prereza konstrukcije) na spodnji strani konstrukcije v sredini razpona prekladne konstrukcije pri 12,10 m od opornika 1. Deformacije v betonu (merilnik deformacij je razviden na sliki 4) smo merili v spodnji coni betona na desnem robu prereza konstrukcije, gledano v smeri Gruškovjega, prav tako na sredini razpona konstrukcije pri 12,10 m od opornika 1. Lokacije namestitve merilnikov temperature, deformacij in pomikov lahko vidimo na sliki 6.

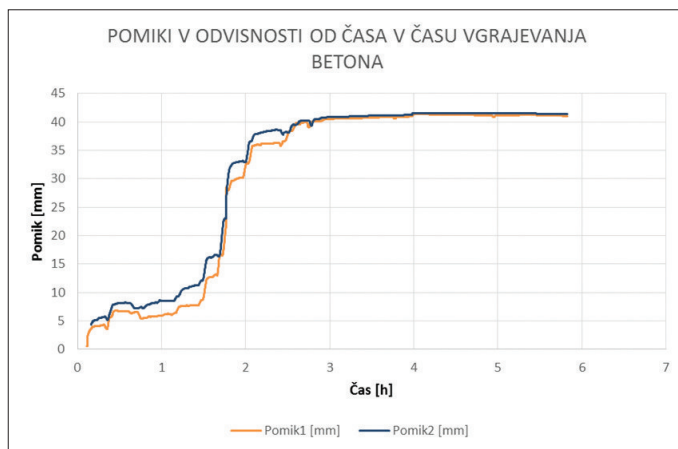
Na razvoj temperature v betonu sta imeli vpliv temperatura betona ob vgradnji betona in zunanja temperatura, in sicer predvsem na temperaturo betona v zgornji coni konstrukcije. Temperatura je v betonu začela naraščati



Slika 6 • Namestitve treh senzorjev temperature ob oporniku, sensorja deformacij v sredino razpona prekladne konstrukcije in namestitve dveh induktivnih merilnikov na spodnjo stran konstrukcije objekta



Slika 7 • Diagram razvoja temperature od začetka vgrajevanja betona v opaž konstrukcije do zaključka prednapenjanja konstrukcije: v zgornji coni konstrukcije – temp. zgoraj (°C), v srednji coni konstrukcije – temp. sredina (°C), v spodnji coni konstrukcije – temp. spodaj (°C), zunanja temperatura na soncu – temp. zunaj (°C)



Slika 8 • Pomiki konstrukcije od začetka vgrajevanja betona v opaž konstrukcije do zaključka betoniranja konstrukcije

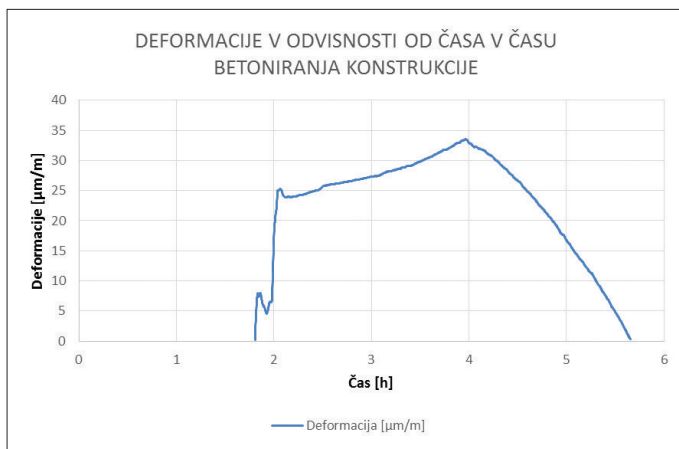
po petih urah po začetku vgrajevanja betona v opaž konstrukcije.

Kot je razvidno s slike 7, je temperatura betona v skladu s pričakovanji najvišjo vrednost dosegla v srednji coni konstrukcije, in sicer okrog 61 °C. V spodnji coni konstrukcije, ki ni bila izpostavljena soncu, se je temperatura najmanj povišala. Krivulja razvoja temperature v spodnji coni konstrukcije je bistveno bolj zvezna kot krivulja razvoja temperature v zgornji coni konstrukcije, ki je bila izpostavljena vplivom zunanje temperature in zunanega segrevanja betona konstrukcije. S poviševanjem temperature po petih urah od začetka vgrajevanja betona v opaž konstrukcije se je beton pričel strjevati. V času od začetka vgrajevanja betona v opaž do prevoja krivulje temperature govorimo o zgoščevanju betona. Pomiki konstrukcije zaradi podajnosti

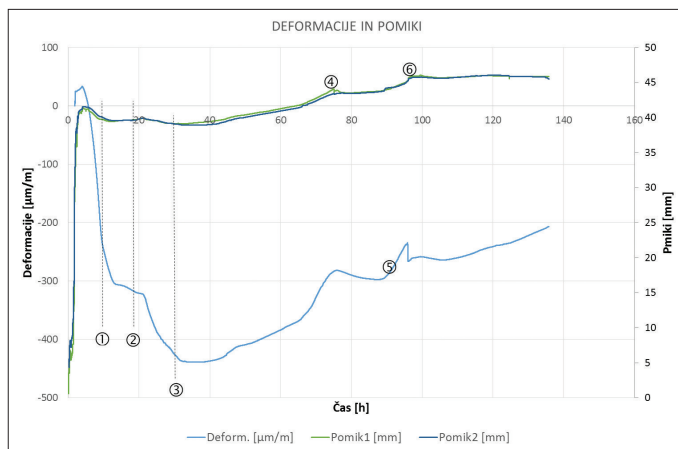
podporne konstrukcije, ki smo jih izmerili z induktivnimi merilniki so bistveno naraščali v času vgrajevanja druge plasti betona, in sicer med 1. in 3. uro po začetku vgrajevanja betona v opaž konstrukcije – razvidno s slike 8. Pomiki konstrukcije so povezani s podajnostjo podporne konstrukcije zaradi povečevanja obremenitev podporne konstrukcije ob nalaganju mase svežega betona. Po zaključku nalaganja mase svežega betona se pomiki konstrukcije niso več povečevali oziroma so se zaradi krčenja betona in ločne izvedbe konstrukcije celo minimalno zmanjšali.

Kot je razvidno s slike 9, so bile deformacije, ki smo jih izmeril z merilnikom deformacij, od začetka zalitja sensorja do konca betoniranja objekta natezne, saj je deformacija podporne konstrukcije v betonu konstrukcije povzročala natezne napetosti. Ker vgrajeni beton v prvih

petih urah v konstrukciji še ni bil v fazi strjevanja, se je vsako čezmerno natezno napetostno stanje v betonu ob merilcu deformacij hipno zmanjšalo, saj se senzor v mehkem betonu še ni mogel povsem zasidrati. Po pričetku strjevanja betona in pojavu sušenja betona in z njim povezanim krčenjem betona so v betonu v skladu s teorijo začele nastajati tlačne napetosti, ki jih je naš merilnik deformacij v betonu tudi zaznaval kot tlačne deformacije. Tlačne deformacije so naraščale sorazmerno z naraščanjem temperature v betonu. Po začetku ohlajevanja betona so tlačne deformacije pričele padati, saj je nad krčenjem betona prevladovalo lezjenje betona, ki bi bilo še bistveno bolj izrazito, če bi konstrukcijo razopazili. Zaradi ločne oblike konstrukcije sta sušenje betona in z njim povezano krčenje betona povzročili, da se je pritisk konstrukcije



Slika 9 • Deformacije od zalitja sensorja deformacij z betonom do zaključka betoniranja



Slika 10 • Pomiki konstrukcije in deformacije v betonu



na podporno konstrukcijo zmanjšal, kar se je odrazilo z zmanjšanjem povesa podporne konstrukcije za ca. 2,1 mm.

Po 12 urah od začetka vgrajevanja betona v opaž konstrukcije se je pričelo pojavljati lezenje betona, ki je upočasnilo nastajanje tlačnih napetosti zaradi krčenja betona, kar je na diagramu pomikov mogoče videti. Opazno je namreč, da je v točki ① na sliki 10 prišlo do ustavljanja dvigovanja opažne konstrukcije. Pomiki so se umirili do trenutka, označenega s točko ② na sliki 10, ko so se očitno v betonu pojavile razpoke, ki so povzročile povečanje obremenitve na opaž, kar se je ponovno odrazilo na manjšem povečanju povesa konstrukcije. Ker je bilo krčenje v tem času še vedno intenzivno, so od točke ② na sliki 10 naprej tlačne deformacije še vedno

naraščale, a počasneje kot v času pred točko ①. Intenzivnost krčenja se je po 35 urah (točka ③ na sliki 10) počasi umirjala do te mere, da so se tlačne deformacije v betonu zaradi lezenja začele zmanjševati, kar se je odrazilo pri povečanju povosov konstrukcije. Ker t. i. mladi beton ni sposoben prevzemati nateznih napetosti, so se pri tem pojavile razpoke v območju okrog senzorja deformacij (točka ④ na sliki 10). To se na diagramu deformacij kaže kot zmanjšanje vpliva lezenja in ponovno intenzivnejši vpliv krčenja, kar je na diagramu pomikov ponovno vidno kot umiranje povečanja povesa opaža. Od točke ⑤ naprej na sliki 10 je zaradi prerazporeditve napetosti v betonu v signalu senzorja ponovno mogoče zaslediti prevladujoč vpliv lezenja betona in v trenutku, označenem s točko ⑥

na sliki 10, ponoven pojav razpoke, ki je tokrat nastala tako blizu senzorja deformacij, da je povzročila skok v diagramu deformacij, kjer so se hipno povečale tlačne deformacije. V tem primeru je pri podrobnem pregledu diagrama pomikov konstrukcije mogoče opaziti skok (hipno povečanje povesa). Zanimivo je, da ti pojavi časovno sovpadajo s povišanjem temperature na soncu, ki je v tem obdobju izrazito nihala, in sicer od +6 °C zjutraj do +38 °C pri dogodku, označenem s ④, in od +1 °C zjutraj do 28 °C pri dogodku, označenem s ⑤ na sliki 10. To lahko razložimo tako, da izrazito povišanje temperature v relativno kratkem časovnem obdobju v zgornji coni prekladne konstrukcije povzroči ekspanzijo betona, kar rezultira v spodnji coni v povečanju nateznih obremenitev, to pa povzroča tvorbo razpok.



Slika 11 • Končna podoba mostu, na katerem smo opravljali meritve

#### 4 • SKLEP

Glede na teorijo in opravljene meritve na konkretnem objektu ugotavljamo, da se postopek strjevanja betona prične po petih do šestih urah po začetku vgrajevanja betona v opaž konstrukcije. V času od začetka vgrajevanja betona do pričetka strjevanja betona govorimo

o t. i. zelenem betonu, v katerem se odvija zgolj proces zgoščevanja. Začetek strjevanja betona je povezan s hitrim naraščanjem temperature v betonu in nastajanjem tlačnih napetosti, ki so povezane s krčenjem betona. Tezo, da povečanje obremenitev na opažni konstrukciji,

ki je podprta s fleksibilnim odrom, pri dodajanju betona v več plasteh lahko povzroči razpoke v spodnjih slojih betona, lahko le delno potrdimo. To drži, če od začetka betoniranja prve plasti betona do zaključka nanašanja zadnjega sloja betona mine toliko časa, da se v tem obdobju spodnje plasti betona začnejo vezati oziroma strjevati. Če je betoniranje zaključeno v času do pet ur oziroma maksimalno do šest ur, je možnost, da bi razpoke nastale

zaradi deformacije odra konstrukcije opaža, zelo majhna. Kontinuirano hkratno opazovanje pomikov konstrukcije, ki leži na odru, deformacij v betonu, temperature v različnih slojih in zunanje temperature je privedlo do dodatnih ugotovitev, ki s pravilno obrazložitvijo merilnih rezultatov pojasnjujejo zelo zanimive pojave v zgodnjih obdobjih strjevanja betona. Dejansko lahko razpoke v spodnji coni betona, ko je ta še v opažu, lahko nastajajo, a so vzroki zanje povsem druge, kot je bilo mišljeno na začetku.

Meritve so pokazale, da se lahko deformacije in pomiki v času, ko na opažno oziroma odsko konstrukcijo ne dodajamo več dodatnih bremen, še po nekaj dneh precej spreminjajo. Pojavljati se lahko začnejo razpoke, lahko se poveča in zmanjša povese odrske konstrukcije in s tem tudi betonske konstrukcije, ki v fazi, ko je trdnost betona še relativno majhna, pomikom odra še v celoti sledi. Zelo velik vpliv imata temperatura in osončenost konstrukcije, prav tako tudi reološki pojavi v betonu, ki so

lahko v zgodnjih fazah naraščanja trdnosti betona zelo intenzivni in prav tako odvisni od temperature. S sodobnimi merilnimi postopki, ki omogočajo neprestani monitoring temperature, deformacij in pomikov, je mogoče vse te pojave natančno izmeriti in rezultate meritev kasneje natančno analizirati. Nastanek razpok med strjevanjem betona v opažu torej lahko pripišemo različnim vzrokom in ne zgolj podajanju fleksibilne podporne konstrukcije odra med betoniranjem.

## 5 • LITERATURA

- Havlásek, P., Jirásek, M., Multiscale modeling of drying shrinkage and creep of concrete, Elsevier, Cement and Concrete Research 85, 55–74, Praga, Češka republika, 2016.
- Lopatič, J., Betonske konstrukcije I, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija, 2012.
- Peng, L., Zhiwu, Y., Fengq, G., Ying, C., Peiwei, S., Temperature response in concrete under natural environment, Elsevier, Construction and Building Materials 98, 713–721, Changsha, Kitajska, 2015.
- Schackow, A., Effting, C., Gomes R. Itamar, Patruni Z. Isabeli, Vicenzi Felipe, Kramel Camila, Temperature variation in concrete samples due to cement hydration, Elsevier, Applied Thermal Engineering 103, 1362–1369, Santa Catarina, Brazilija, 2016.
- Heinzelmann, C., Rissmechanik in dicken Stahlbetonbauteilen bei abfließender Hydratationswärme, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Nemčija, 2010.
- SETRA, Le Khac V., Limitation de la deformation des ouvrages provisoires sous le poids du beton frais, Centre des Techniques d'Ouvrages d'Art, Bagneux, Francija, 1989.
- Shariq, M., Prasad, J., Abbas, H., 2016 Creep and drying shrinkage of concrete containing GGBFS, Elsevier, Cement and Concrete Composites 68, 35–45, Aligarh, Indija, 2016.
- Silva, E. R., Franco, M. A. R., Neves, T. P. Jr., Bartelt, H., Pohl, A. P. A., Numerical and experimental analysis of the modulation of fiber Bragg gratings by low-frequency complex acoustic waves, Optical Fiber Technology, Elsevier, Optical Fiber Technology 30, 17–22, Curitiba, Brazilija, 2016.
- Thienel, K.-Ch., Werkstoffe des Bauwesens Festbeton, Institut für Werkstoffe des Bauwesens, Universität München, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, München, Nemčija, 2008.
- Wischers, G., Ansteifen und Erstarren von Zement und Beton, Deutscher Beton und Bautechnik Verein, Düsseldorf, Nemčija, 1981.