

Primljen / Received: 31.7.2015.
 Ispravljen / Corrected: 18.6.2016.
 Prihvaćen / Accepted: 6.9.2016.

Dostupno online / Available online: 10.10.2016.

Sanacije Krčkog mosta

Autori:



Dr.sc. **Boris Huzjan**, dipl.ing.građ
 Hrvatske autoceste, održavanje i naplata
 cestarine, HAC-ONC
boris.huzjan@hac-onc.hr



Nina Ostojić, mag.ing.aedif.
 Autocesta Rijeka Zagreb
nina.ostojic@arz.hr

Stručni rad

Boris Huzjan, Nina Ostojić

Sanacije Krčkog mosta

U radu je opisana kronologija gradnje oba luka Krčkog mosta, specifičnosti lokacije na kojoj je most izgrađen te njihov utjecaj na armiranobetonsku konstrukciju mosta. Dan je pregled ispitivanja koja su obavljena na malom i velikom luku mosta kao i ponuđena rješenja sanacije i zaštite. Detaljno su prikazani rezultati zadnjih ispitivanja prodora klorida te izvješće nakon obavljene konačne sanacije.

Ključne riječi:

Krčki most, prodor klorida, ispitivanja, sanacije, zaštita

Professional paper

Boris Huzjan, Nina Ostojić

Repair of Krk Bridge

The construction chronology of both arches of the Krk Bridge is described, and specific features of the site on which the bridge was built are given. The influence of the arches on the reinforced concrete structure of the bridge is explained. A general overview of analyses conducted on the small and large arches of the bridge is given, and the proposed repair and protection solutions are presented. The results of the last chloride penetration analysis, and the report submitted after final repair, are described in great detail.

Ključne riječi:

Krk Bridge, chloride penetration, analyses, repairs, protection

Fachbericht

Boris Huzjan, Nina Ostojić

Sanierung der Brücke Krk

In dieser Arbeit werden die Chronologie der Erbauung beider Bogenkonstruktionen der Brücke Krk, die Besonderheiten des Standorts der Brücke, sowie ihre Einflüsse auf die Stahlbetonkonstruktion beschrieben. Es wird eine Übersicht der Untersuchungen gegeben, die am kleinen und am großen Bogen der Brücke durchgeführt wurden, sowie ein Vorschlag zu Sanierungs- und Schutzmaßnahmen dargelegt. Resultate der letzten Untersuchungen bezüglich Durchdringung von Chloriden und der Bericht zur durchgeführten abschließenden Sanierung werden detailliert dargestellt.

Ključne riječi:

Brücke Krk, Durchdringen von Chloriden, Untersuchung, Sanierung, Schutz

1. Uvod

Prije 36 godina završena je gradnja Krčkog mosta, koji je i danas most s najvećim rasponom klasično armiranobetonskog luka. S obzirom na agresivni maritimni okoliš te određene propuste prilikom projektiranja i gradnje, tijekom vremena je došlo do oštećenja konstrukcije uslijed prodora klorida odnosno propadanja zaštitnog sloja i korozije armature.

Ideja o povezivanju otoka Krka s kopnom pojavila se nakon Prvog svjetskog rata, potkraj 1918., no tek četrdesetak godina kasnije započinju ozbiljnije aktivnosti s ciljem realizacije te ideje. U studiji koja je izrađena 1964. godine obrađena su tri prijedloga: tunel ispod mora, betonski gredni most s betonskim stupovima preko otoka Sv. Marko i čelični gredni most na betonskim stupovima između otoka Krka i Jadranova. Razmotrena su razna idejna rješenja, te je 1971. prihvaćen projekt *Industrijskog projektnog zavoda*. Položena je trasa i započeli su pripremni radovi, no došlo je do prekida u izvedbi. Natječaj je ponovljen 1975. Od više ponuđenih varijanti, koje možemo svrstati u četiri grupe (višeće konstrukcije, ovješeni sistemi, gredni sistemi i lučni sistemi), prihvaćena je ona ponuđena od projektnog biroa *Mostogradnja* iz Beograda [1] dok je za izvođenje radova odabrana poslovna udruga: Mostogradnja (glavni rasponski sklop) i GP Hidroelektra (temeljenje i kolnička konstrukcija) [2]. Radovi na gradnji mosta započeli su u srpnju 1976. i trajali su do srpnja 1980.

Most spaja kopno s otokom Krkom, te prelazi preko otoka Sveti Marko. Građevina premošćuje dva morskog kanala: "Tihi kanal" i "Burni kanal". Ukupna duljina mosta je 1.309,50 m ne računajući upornjake, što je vidljivo na dispoziciji mosta (slika 1.) [3].

Ono što ovaj most čini posebnim jest činjenica da je njegovom gradnjom postignut svjetski rekord u duljini raspona armiranobetonskog luka i time premašen raspon dotadašnjeg najvećeg luka za 85,0 metara. Za izvrsno rješenje zaslužan je Ilija Stojadinović, projektant ne samo ovog nego i mnogih drugih poznatih mostova, te dr. Stanko Šram, koji je vješto realizirao impozantan projekt [4].

O nužnosti gradnje mosta govori i podatak da je u prvih 20 godina mostom prešlo 27,2 milijuna vozila. Prosječni godišnji dnevni promet izmjeren 2015. na NP Most Krk iznosio je 10 512 vozila, dok je prosječni ljetni dnevni promet 20 804 vozila [5]. U konstrukciju mosta ugrađene su cijevi jadranskog naftovoda

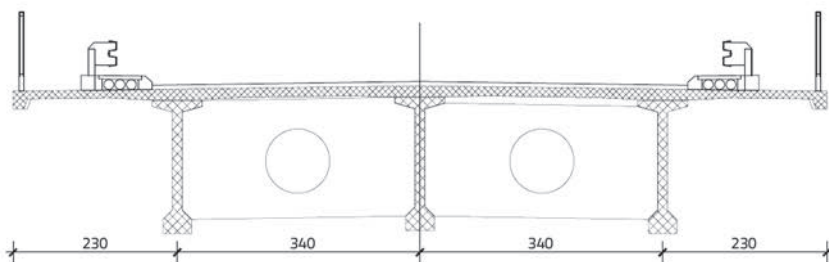
te vodovodne cijevi za pitku vodu i za industrijska postrojenja INA-e.

2. Opis konstrukcije mosta i prikaz građenja

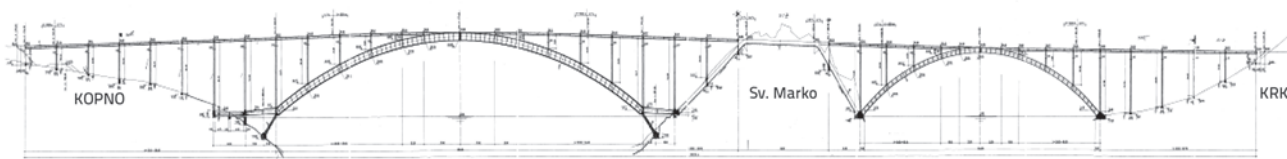
Širina mosta je 11,40 m, što uključuje širinu kolnika od 7,50 m, pješačke staze 2 x 1,30 m i zaštitni pojas od 2 x 0,65 m. Duljina raspona kojim se premošćuje "Tihi kanal" iznosi 390 m, dok je onog preko "Burnog kanala" 244 m. Kolnička ploča se u poprečnom smjeru oslanja na tri prednapeta "I" nosača spojena s naglavnim gredama stupova (slika 2.).

Temelji velikog luka izvedeni su u obliku račve na dubini od 19,0 m ispod razine mora. Horizontalni kraci temelja prenose horizontalni potisak luka direktno na stijenu iznad mora, a vertikalna komponenta sile prenosi se preko kosnika na temelj. Lukovima se pristupa preko prilaznih vijadukata. S obzirom na zahtjevnost projekta u to vrijeme, bilo je potrebno projekt i tehnologiju gradnje modificirati, unaprijediti i prilagoditi izazovu. Uvedene su izmjene u odnosu na dotadašnji način gradnje, a to je značilo:

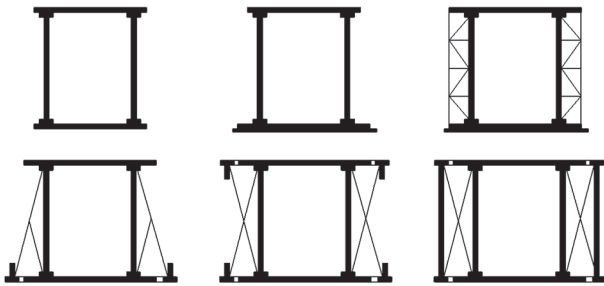
1. postavljanje zatega – umjesto iz jednog, zatega su sada izlazile iz raznih točaka tvoreći sa stupovima i dijelom izvedenog luka rešetkastu konstrukciju u svim fazama izvedbe
2. stupovi kao dio konzolnog načina izvedbe luka – stupovi su betonirani paralelno s izvedbom luka, činili su vertikalne rešetke u nosivom konzolnom sustavu
3. sidrenje – u stjenovito tlo ugrađeni su prednapeti kabeli koji su držali betonski blok, te je na taj način stijenska masa uključena u nosivi dio sustava
4. betoniranje lukova u fazama – u prvoj fazi izveden je središnji sanduk u cijeloj duljini luka, a potom bočni sanduci (slika 3.)
5. čelične rešetke u tjemenu – razupiranje hidrauličnim prešama obavljeno je preko dvije rešetke koje su ugrađene u tjemenu netom prije sastavljanja dviju konzola luka [1].



Slika 2. Poprečni presjek kolničke konstrukcije [2]

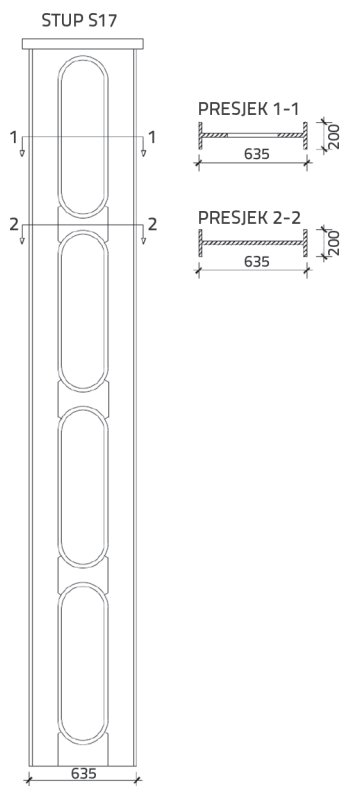


Slika 1. Dispozicija mosta Krk [3]



Slika 3. Faze gradnje poprečnog presjeka luka velikog otvora Krčkog mosta [1]

Stupovi mosta, oni iznad lukova, na kopnu otoka Krk, nalaze se na međusobnom razmaku kako slijedi: 25x33 m + 6x28 m + 2x23 m + 2x19 m, a izvedeni su kako je prikazano na slici 4., odnosno kao dvostruki T presjeci kliznom oplatom [2].



Slika 4. Presjek stupa S17 [2]

U konstrukciju mosta ugrađene su marke betona prema Pravilniku za beton i armirani beton iz 1971. i to MB50 u lukove mosta i glavne nosače kolničke konstrukcije, MB45 u razupore velikog luka, MB40 u plašt i rebra kosnika velikog luka, poprečne nosače i ploču kolničke konstrukcije te MB35 u stupove [2].

Ispitivanje pokusnim opterećenjem izvedeno je prema tadašnjem Pravilniku te je most opterećen s 18 kamiona ukupne težine 540 tona, koji su bili postavljeni duž mosta tako da se dobiju ekstremne vrijednosti momenata savijanja s pripadajućim uzdužnim silama u karakterističnim presjecima luka. Najveći izmjereni omjer progiba i raspona luka bio je $w/l=1/8260$ [2].

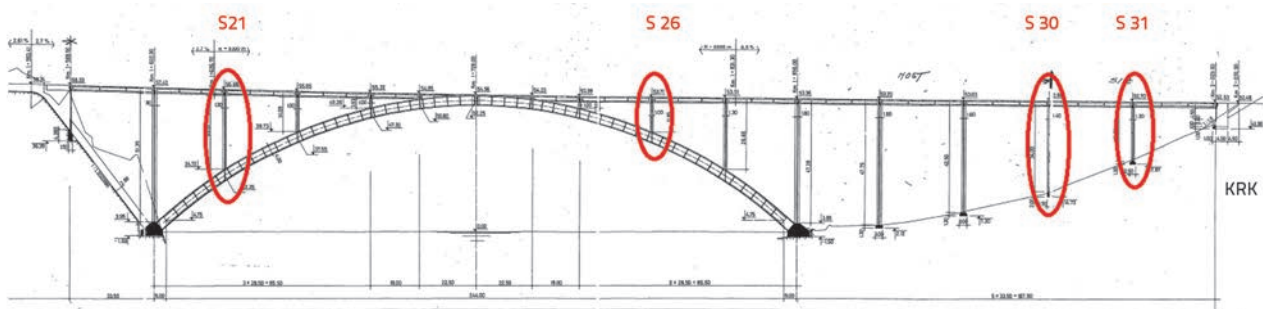
Dinamičko ispitivanje obavljeno je na velikom luku tako što je prelaskom vozila preko mosta izazvana vertikalna pobuda, a natezanjem luka pomoću remorkera horizontalna. Period vertikalnih oscilacija iznosio je 0,3 s do 0,45 s, a koeficijent prigušenja od 0,065 do 0,135, dok je kod horizontalnih oscilacija period u oba smjera iznosio 0,25 s do 0,32 s. Provedenim detaljnim ispitivanjima zaključeno je da je ponašanje mosta tehnički ispravno te da se može pustiti u promet za projektirano opterećenje [2].

3. Ispitivanja i sanacije na mostu

3.1. Kronologija provedenih pregleda mosta

Odmah po završetku gradnje započela su i geodetska mjerenja. Do dimenzionalne nestabilnosti mosta došlo je uslijed uobičajene dugotrajne deformacije betona (puzanja). Radovi rektifikacije izvedeni su 1981., a iste godine obavljen je i pregled stanja armiranobetonske konstrukcije kojim su konstatirane određene pogreške u izvedbi, prema [4].

Građevinski institut je 1985. izradio program pod nazivom *Zbirke uputa o nadziranju i održavanju Titova mosta*, te je na temelju toga 1986. obavljen prvi detaljni pregled mosta. Pregledom su uočene pukotine i početna korozija armature na glavnim nosačima, oštećenja od korozije na kosnicima, razuporama i petama lukova, te pukotine na stupovima, upornjacima i u podgledu kolničke ploče. Razina klorida u betonu bila je niska, a debljina zaštitnog sloja i tlačna čvrstoća betona zadovoljavajuće. Određene su hitne mjere zaštite i sanacije koja je obuhvaćala popravak glavnih nosača, zaštitu raspucanih površina premazom, saniranje asfalta, zatvaranje otvora u lukovima, nanošenje antikorozivne zaštite i poboljšanje odvodnje kolničke površine [2].



Slika 5. Prikaz najoštećenijih stupova na dispoziciji malog luka

Drugi detaljni pregled mosta obavio je *Hrvatski institut za mostove i konstrukcije* godine 1993. Pregledani su segmenti i elementi koji su sanirani u periodu između dva pregleda, a posebno se usmjerilo na one dijelove koji su izloženi agresivnom maritimnom utjecaju. Na osnovi niza nerazornih ispitivanja odlučeno je da je sanacija najoštećenijih dijelova, stupovi malog luka redom S21, S31, S26 i S30 (slika 5.), nužna već iduće godine, prema [4].

Stanje betona i armature, tj. njihova fizikalno-mehanička svojstva, ispitana su prvi put 1994., također u svrhu izrade projekta sanacije i zaštite najugroženijih stupova. Utvrđeno je da je beton visoke kvalitete, niskog koeficijenta plinopropusnosti i kapilarnog upijanja. Karbonatizacija je još uvijek bila samo u površinskom sloju, dok je prodor klorida bio varijabilan [4]. Rezultati ispitivanja stanja betona i vizualnih pregleda manjeg luka objedinjeni su 2000. u zaključnom izvještaju. Između ostalog zaključeno je:

- Beton stupova, luka te kolničke konstrukcije ima visoku tlačnu čvrstoću (oko 80 N/mm²), ali i visok stupanj apsorpcije u površinskom sloju (oko 1,0 kg/m²h^{0,5}) te slabu otpornost na smrzavanje, što je posljedica prisutnosti klorida.
- Kritična koncentracija klorida dosegnuta je u zoni armature u spojnica i na vutama bočnih elemenata luka gdje je zaštitni sloj betona pretanak, na stupovima u zoni armature na podnožjima stupova bliže moru, na stupovima bližim otoku Sv. Marko te na dijelovima poroznog i ispučanog betona svih stupova, a naročito je bila izražena na upornjacima. Koncentracija klorida u kolničkoj ploči nije dosegla kritičnu vrijednost.
- Na određenim konstrukcijskim elementima bile su vidljive statičke pukotine, a na većini stupova bile su vidljive korozijske pukotine duljine i nekoliko centimetara.
- Sanacija izvedena 1988. usporila je daljnji prodor klorida na saniranim elementima.
- Visokokvalitetni beton i cement s dodatkom zgre, koja je smanjila brzinu oslobađanja topline hidratacije cementa, usporili su prodor klorida i produljili uporabivost konstrukcije [2].

Nadalje, na osnovi ispitivanja velikog luka koja su započela 2001., a čiji rezultati su prezentirani kroz Knjigu 1 [6], Knjigu 2 [7] i Knjigu 3 [8], zaključeno je sljedeće:

- Stanje konstrukcije velikog luka Krčkog mosta u puno je boljem stanju nego ono malog luka.
- Kapilarno upijanje i plinopropusnost su zbog povoljnijih lokalnih mikrolokacijskih uvjeta i kvalitetnije izvedbe povoljniji nego na malom luka.
- Tlačna čvrstoća odgovara onoj na elementima malog luka.
- Prodorom klorida najugroženiji su dijelovi u petama luka, dio kolničke konstrukcije iznad otoka Sv. Marka i neki stupovi koji su utvrđeni prethodnim ispitivanjima.
- Procijenjeno je da konstrukcija u tom stanju može izdržati još desetak godina s obzirom na stanje projektirane stabilnosti i sigurnosti.
- Pojava pukotina širine od 0,5 mm do 0,8 mm na elementima kolničke konstrukcije upozorila je na nužnost ograničenja

brzine prometa na mostu, te na potrebu hitnog zatvaranja pukotina koje su nastale kao posljedica skupljanja te statičkog i dinamičkog opterećenja [2].

S obzirom na sporu dinamiku popravaka i zaštite armiranobetonske konstrukcije, obavljen je i dopunski pregled kojim su utvrđene progresija penetracije klorida i mjestimične otvorene korozije armature. Rezultati su prezentirani izvještajima, odnosno Knjigom 4 [9] i Knjigom 5 [10] (2006./2007.) te je konstatirano da se stanje konstrukcije u razmaku između dva pregleda pogoršalo, no koncentracija klorida je ostala ista, što je vjerojatno bila posljedica drukčijeg postupka ispitivanja i uzimanja uzoraka [2]. Zbog svega navedenog, verificiran je postupak utvrđivanja udjela klorida u konstrukciji te su obavljena dopunska ispitivanja, čiji rezultati su prikazani u Knjizi 6 [11] kako slijedi:

- Oba postupka, prema britanskom izvoru i normi HRN EN 14629, ispitivanja klorida i uzimanja uzoraka daju jednake rezultate.
- Zaštita mosta izvedena krajem 1980-ih nije spriječila, već je samo usporila prodor klorida.
- Zaštita izvedena početkom 2000-ih, a koja se sastojala od nanošenja polimernog premaza na dijelove konstrukcije, dala je puno bolje rezultate [2].

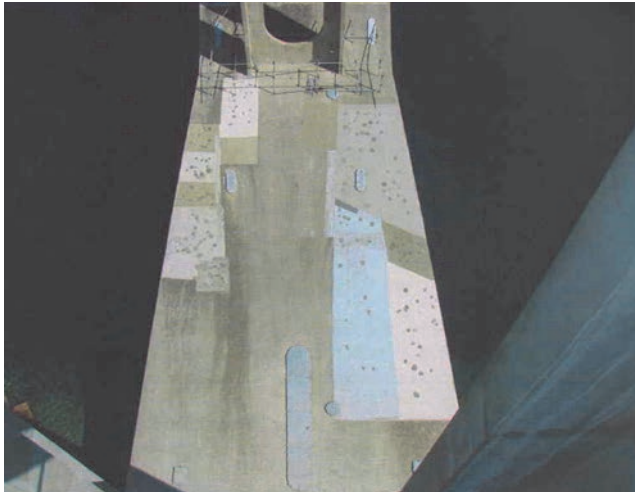
Podvodni ronilački pregledi također su bitan oblik prevencije od većih oštećenja mosta. Pregledi takve vrste obavljani su tijekom 1982., 1984., 1989., 1990. i 2001. U izvještaju koji je sastavio IGH u veljači 2002. zaključeno je da naseljavanje školjaka ne ugrožava stabilnost konstrukcije i da nije bitno progresiralo u proteklih 10 godina, no i da je prodor klorida značajan, odnosno da je izmjerena kritična koncentracija na dubini od 4 cm što je zona glavne armature. Spoj betona i armature je na svim uzorcima bio crne boje, umjesto zdrave sive, što je upućivalo na prisutnost aktivne korozije. Također je ocijenjeno da je zaštita kosnika, klasična ili katodna, obavezna [4].

3.2. Zaštita od prodora klorida maloga luka Krčkog mosta

Prvi detaljni pregled obavljen je već 1986., te je donesen zaključak da se neka konstrukcijski loša rješenja moraju hitno popraviti i da se konstrukcija mora zaštititi od prodora klorida. Natječajna dokumentacija pripremljena je iduće godine, no nijedno ponuđeno rješenje nije zadovoljavalo uvjete te je odlučeno da će biti testirana na manjim površinama konstrukcije (slika 6.). Navedena komparativna ispitivanja pokazala su da su od ukupno 20 ugrađenih sustava zaštite tijekom 1988. i 1989. tek tri djelomično zadovoljila kriterije sanacije, što je dovelo do zaključka da se napusti praksa saniranja konstrukcija izloženih prodoru klorida polimercementnim premazima [2].

Hrvatska uprava za ceste je 1998. potpisala ugovor za sanaciju i zaštitu prva četiri stupa nadlučne konstrukcije mosta malog luka. Paralelno je osnovana ekspertna grupa sastavljena od

šest stručnjaka u svrhu razrade strategije sanacije i zaštite armiranobetonske konstrukcije. Odabran je sustav zaštite koji se nanosio u tri faze: mlazni mort sa suhim postupkom nanošenja, premaz za impregnaciju i izravnanje te završni polimerni premaz u dva sloja. Radovi na stupu S28 započeli su krajem 1998. i trajali su dvije godine. Projektant i investitor nisu bili zadovoljni izvedenim radovima, ne samo zbog odgovarajuće prionjivosti i tlačne čvrstoće, nego i zbog pocinčanih vodilica koje je izvođač samoinicijativno uveo te time ugrozio sanaciju. Radovi su izvedeni i na stupovima S29, S30 i S31 [2].



Slika 6. Pokusne površine [2]

Tijekom 2000-ih izrađena je projektna dokumentacija koja se sastojala od pet knjiga [12], a obuhvaćala je statički i dinamički proračun, popravak 12 ležajnih mjesta mosta Sv. Marko – Krk, rješenje sanacije stupova S20 i S27 te rješenje sanacije i zaštite luka, kolničke konstrukcije i upornjaka. Kasnije su dodane još dvije knjige kao dopuna projektnih rješenja, te je prihvaćen drugi hidroizolacijski sustav sanacije. Sustav se sastoji od četiri faze izvedbe:

1. reprofilijski mort mokrog postupka nanošenja
2. temeljni premaz
3. elastoplastična masa za izravnanje
4. zaštitna i dekorativna akrilna boja.

U Knjizi 7 stajao je prijedlog projektanta da se sredstva iz ugovora iskoriste kako bi se zaštita konstrukcije malog luka mosta podigla sa 15 m nad more na 25 m nad morem, te da se nastave radovi na sanaciji i zaštiti stupova S18 i S19 koji su bili u kritičnom stanju. Navedenim sustavom sanacije znatno je usporen prodor klorida.

Sanacija ostalih oštećenih stupova, S21 i S27, ugovorena je već sredinom 2001., a poseban izazov predstavljala je sanacija stupa S21 zbog rekonstrukcije naglavne grede na vrhu stupa i ugradnje neoprenskih ležajeva. Za tu svrhu projektirana je posebna skela koja je preuzela opterećenje stupa za vrijeme sanacije (slika 7.). Sam zahvat sanacije bio je vrlo zahtjevan ne samo zbog rasteretne skele čije je projektiranje trajalo gotovo

godinu dana, nego i zbog lokacije. Prilikom sanacije stupa S27 korišten je mikroarmirani beton s dodatkom čeličnih vlakana, mikrosilike, superplastifikatora i cementa s dodatkom zgure [4].



Slika 7. Rasteretna skela na stupu S 26 [4]

Po završetku radova na stupovima S21 i S27 započela je i sanacija stupova S20 i S26 [4]. Istovremeno s izradom projekta sanacije i zaštite malog luka Krčkog mosta obavljani su i istražni radovi radi utvrđivanja stanja armiranobetonske konstrukcije velikog luka mosta Krk, te je na osnovu analiziranih rezultata izrađen glavni projekt sanacije i zaštite [4].

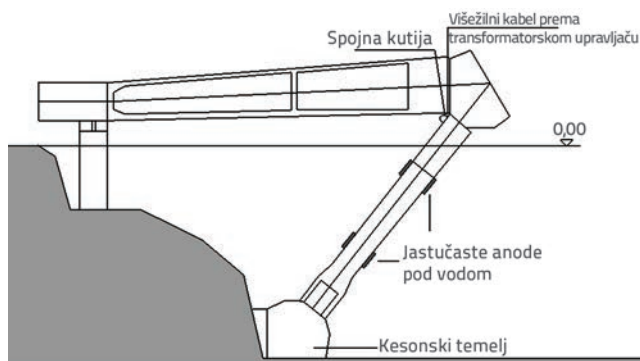
3.3. Zaštita od prodora klorida velikoga luka Krčkog mosta

Zbog varijabilnih mikroklimatskih uvjeta te samim time i nepredvidljivog prodora klorida, kao i složenijeg načina temeljenja, rješavanje problema sanacije velikog luka mosta kompleksnije je od onoga na malome luku.

Što se tiče prodora klorida u konstrukciju mosta, pozornost je bila usmjerena na odabir primjerene površinske polimerne zaštite. Za podmorsku zaštitu kosnika temelja ispitano je pet različitih sustava, od kojih su tri zadovoljila uvjete lagane podmorske ugradnje i prionjivost. Nadalje, ispitivanjima penetracije klorida koja su provedena u razdoblju od 2001. do 2003. utvrđeno je da su najugroženiji dijelovi velikog luka bočna strana razupore i pete na kojima je trebalo ukloniti 2 - 3 cm izvedene zaštite, te donji dio luka na otoku Sv. Marka prema Rijeci gdje se uklanjanje odnosilo na 1 - 2 cm na prvih 10 metara luka i 0,5 - 1 cm na preostaloj duljini luka. Na gornjoj plohi razupore i na bočnoj strani i peti luka prema Crikvenici trebalo je ukloniti 1 - 2 cm dotrajalog sanacijskog morta, a na bočnoj strani luka ta je dubina procijenjena na 0,5 - 1 cm [2].

Za preostale dijelove velikog luka Krčkog mosta, gdje je kritična koncentracija klorida bila u prva dva centimetra, trebalo je osmisliti rješenje koje bi zaustavilo daljnji prodor klorida. S obzirom na to što je opisanim ispitivanjima utvrđeno da je stanje armiranobetonske konstrukcije mosta velikog luka slično onome maloga luka, prihvaćena su i ista projektna rješenja sanacije. Nakon niza neuspješnih pokušaja traženja najpovoljnijeg sustava katodne zaštite konstrukcije mosta, prihvaćeno je rješenje jedne francuske tvrtke koje se sastojalo od površinske

anodne zaštite za dijelove kosnika iznad vode, a za dijelove u moru od povezanih diskantodnih sustava s po 12 titanskih anoda aktiviranih slojem abrazivno otporne elektrovodljive keramike (slika 8.) [2].



Slika 8. Skica projektirane katodne zaštite kosnika temelja velikog luka [2]

Stupovi S18 i S19 sanirani su i zaštićeni istim sustavom koji je prihvaćen na malome luku, kojim su sanirani i upornjaci U3 na velikome luku te U4 i U5 na malome luku. Za sanaciju betonskih površina na bočnim stranama donjega dijela velikog luka (do 25 m nad morem), petama i razuporama na kopnu primijenio se polimercementni vezni i izravnavajući sloj veće pH-vrijednosti.

3.4. Opis projektog rješenja iz Knjige 6

U Knjizi 6 prikazane su smjernice za daljnje sanacije. Predložen je detaljni vizualni pregled konstrukcije i prekucavanja čekićem kako bi se utvrdila mjesta na kojima je beton uslijed djelovanja korozije odvojen od armature. Takve površine na kojima je ustanovljena kritična koncentracija klorida obrađene su postupkom hidrodemoliranja (tlakom vode od 2.000 do 2.500 bara), a mjesta na kojima je došlo do lakog uklanjanja dodatno su ispitana *pull of* metodom. Čvrstoća prionjivosti podložnog betona pripremljenog za sanaciju i zaštitu mjerena *pull of* metodom nije smjela biti manja od 2 N/mm² [13]. Ostale (zdrave) površine betona i lukova i kolničke konstrukcije hidrodinamički (tlakom vode od 1.000 do 1.500 bara) očišćene su od starog površinskog premaza i površina betona je isprana, a brušenjem su poravnani svi stršeci dijelovi [13].

Korodirana armatura očišćena je do metalnog sjaja, odnosno do zdravog spoja s betonom. U slučajevima gdje je poprečni presjek razdjelne armature korozijom bio smanjen za više od 20 %, ona je zamijenjena novom šipkom te preklonom povezana sa zdravim dijelovima stare [13].

Otvorena lokalna loša mjesta betona zapunjena su reprofilijskim sanacijskim mortom (ručno ili mlaznim postupkom). Bilo je bitno da se obuhvati otvorena armatura i da ni na jednom mjestu ne ostane bez najmanje 15 mm nadsloja morta. Također, izvedene površine sanacijskog morta pažljivo su zaglađene tako da se na njih mogla nanijeti

neprekinuta polimerna zaštita te su neposredno nakon izvedbe na odgovarajući način zaštićene od evaporacije vlage. Sanacijski mort morao je zadovoljiti uvjete norme HRN EN 1504-9 i dopunska svojstva, a to su:

- prionjivost $\geq 2,0$ N/mm²
- tlačna čvrstoća $\geq 50,0$ N/mm²
- vlačna čvrstoća cijepanjem $\geq 4,0$ N/mm²
- specifični koeficijent plinopropusnosti $\leq 10^{-13}$ cm²
- otpornost na smrzavanje i soli za odmrzavanje ≥ 56 ciklusa [13].

Svojstva ugrađenog morta ispitana su na uzorcima starima 28 dana, osim prionjivosti koja je ispitana kidanjem uzoraka promjera 50 mm, zarezanim do podložnog betona na konstrukciji. Pripremljena površina betona tretirana je penetracijskim inhibitorom korozije armature. Na taj način pripremljena površina betona od daljnjeg prodora zaštićena je polimercementnim i polimernim premazom sljedećih karakteristika i svojstava:

- trajno elastoplastični vezni i izravnavajući polimercementni sloj debljine najmanje 2 mm i prionjivosti na podložni beton $\geq 1,0$ N/mm² prosječno ($\geq 0,7$ N/mm² pojedinačno)
- završni trajno - elastoplastični polimerni premaz debljine 0,7 mm uvjetovane prema HRN EN 1504-2 kao 5 %-tni fraktil, a prionjivosti na vezni sloj $\geq 0,8$ N/mm² prosječno ($\geq 0,5$ N/mm² pojedinačno) [13].
- Sustav u cjelini morao je imati najmanje sljedeća svojstva:
- prionjivost $\geq 0,8$ N/mm² prosječno ($\geq 0,5$ N/mm² pojedinačno)
- premoštenje pukotina ispitano prema postupku HRN EN 1062-7 otvora $\geq 1,0$ mm
- kapilarno upijanje $\leq 0,01$ kg/m²h^{0,5}
- otpornost na smrzavanje i soli za odmrzavanje prema HRN 1128 ≥ 56 ciklusa
- otpornost na starenje ispitano postupkom prema HRN EN 1062-11 ≥ 10 godina [13].

4. Sanacija malog luka Krčkog mosta (2013. –2014.)

Prije samog početka radova konstrukcija je pregledana te su laboratom utvrđene površine koje je trebalo sanirati. Njihova suma bila je za približno 40 m² veća od sume površina predviđenih *Projektom sanacije* iz 2010. Površine su obrađene na način koji je dan projektom rješenjem iz Knjige 6. Dinamika izvođenja radova bila je sljedeća:

- hidrodemoliranje oštećenog betona do zdrave podloge (slike 9., 10. i 13.)
- hidrodinamičko pranje svih površina podgleda i saturiranje površine betona penetracijskim inhibitorom korozije
- ugradnja sanacijskog morta na mjestima uklonjenog betona (slika 14.)
- hidrodinamičko pranje površine kao priprema za nanošenje premaza
- nanošenje dva sloja premaza (najmanje 2 mm suhe debljine)
- nanošenje dva sloja završne boje (najmanje 0,7 mm suhe debljine) (slike 15. i 16.)



Slika 9. Donja pojasnica glavnog nosača raspona U4-S20 nakon uklanjanja lošeg betona [14]



Slika 10. Bočna strana glavnog nosača raspona S20-S21 kod stupa S21 nakon uklanjanja lošeg betona [14]



Slika 11. Podgled kolničke konstrukcije u rasponu S31-S30 uz stup S31, mjesto vlaženja uslijed procurivanja na mjestu dilatacije nakon hidrodemoliranja oštećenog betona [14]



Slika 12. Procurivanje kroz dilataciju na stupu S30, strana prema Crikvenici [14]



Slika 13. Podgled prve trećine polja kolničke konstrukcije raspona U5-S31 nakon uklanjanja oštećenog betona [14]



Slika 14. Podgled prve trećine kolničke konstrukcije raspona U5-S31 nakon ugradnje sanacijskog sustava [14]

Tablica 1. Srednje vrijednosti ispitivanja čvrstoće prionjivosti pull-off metodom (podloga, premaz, mort) i debljine premaza na polju U5-S31 [14]

Datum ispitivanja	Mjesto ispitivanja	Materijal koji se ispituje	Srednja vrijednost vlačne čvrstoće [Mpa]	Srednja vrijednost debljine premaza [mm]	
9. svibnja 2014.	U-S31	tunel* Crikvenica - ploča	sanacijski mort R4	2,42	2,84
		nosač Crikvenica	premaz	0,97	3,14
		tunel* Crikvenica - ploča	sanacijski mort R4	2,03	3,41
*tunel - pogled ploče omeđen srednjim uzdužnim, rubnim nosačem i poprečnim nosačem					



Slika 15. Podgled kolničke konstrukcije raspona U5-S31 nakon nanošenja završne boje [14]



Slika 16. Podgled kolničke konstrukcije – raspon S31-S30, nanošenje završne boje [14]

Tijekom izvođenja sanacijskih radova, pregledom površina podgleda kolničke konstrukcije uočena su područja vlaženja uz

stupove S31, S30, S29, S28, S20 i to na strani prema otoku Sv. Marko, a na mjestu prijelazne naprave kod stupa S27 vlaženje je prisutno s obje strane stupa. Vlaženje podgleda kolničke ploče te uzdužnih i poprečnih nosača uz stupove posljedica je procurivanja oborinske vode kroz prijelazne naprave (slike 11. i 12.). Uočena su i lokalna procurivanja s kolnika na konzoli s riječke strane te vlaženje gornje pojasnice nosača s vanjske strane na rasponu S30-S29. Na mjestima uočenih lokalnih procurivanja ugrađene su nove cjevčice za procjeđivanje, a na mjestima postojećih cjevčica postavljeni su produžeci za sprečavanje podlijevanja po betonskoj površini. Postavljene cjevčice ujedno označavaju mjesta procurivanja [14].

4.1. Ispitivanja

Provedena tekuća ispitivanja obuhvatila su mjerenje čvrstoće prionjivosti pull-off metodom prema HRN EN 1542:2001 za određivanje vlačne čvrstoće pripremljene površine betona te za određivanje prionjivosti nanesenih slojeva premaza i morta, dok je debljina premaza ispitana penetracijskom iglom. Na temelju provedenih ispitivanja na objektu zaključeno je da obavljeni radovi kvalitetom zadovoljavaju uvjete određene projektom. Kontrolna ispitivanja provedena su primjenjujući iste metode. U tablici 1. prikazan je dio rezultata provedenih kontrolnih ispitivanja sa srednjim vrijednostima izmjerene vlačne čvrstoće, odnosno debljine premaza [14]. Na osnovi rezultata kontrolnih ispitivanja zaključeno je da:

- prionjivost sanacijskog morta zadovoljava (projektom je propisano $\geq 2,0 \text{ N/mm}^2$)
- prionjivost sustava površinske zaštite na podložni beton zadovoljava (projektom je propisano $\geq 1,0 \text{ N/mm}^2$ prosječno i $\geq 0,7 \text{ N/mm}^2$ pojedinačno); na ispitnim mjestima materijal sustava površinske zaštite većinom se odvaja unutar sebe, što znači da je njegova prionjivost za podložni beton veća
- izmjerene debljine premaza zadovoljavaju (projektom je propisano najmanje 2,7 mm ukupne debljine sustava površinske zaštite) [14].

5. Zaključak

U ovome je radu prikazana kronologija pregleda i sanacija izvedenih na malom i velikom luku Krčkog mosta. Pokazalo

se da je osnovni problem, osim agresivnog okoliša, to što je izveden premali zaštitni sloj. Kloridi još uvijek nisu prodrli do glavne armature, ali su načeli onu koja je ostala bez zaštitnog sloja što se propisuje pogreškama u izvođenju. Vremenskim pregledom aktivnosti možemo zaključiti kako je bio potreban dugi niz godina i veliko iskustvo stručnjaka da se definira sustav zaštite nužan za očuvanje bitnih zahtjeva građevine.

Periodički se obavlja popravak lokalnih mjesta, odnosno mjesta gdje je beton degradirao, gdje je započela korozija i odlamanje zaštitnog sloja betona. Na sve ostale površine nanosi se inhibitor koji usporava proces moguće započete korozije i

negativno djelovanje klorida. Kako bi se zaštitila konstrukcija od daljnjeg unosa klorida, primjenjuju se sustavi površinske zaštite s premazima. Projektom sanacije izrađenog 2010. predviđeni su pregledi stanja mosta u cjelini s posebnim osvrtom na sanirane i zaštićene površine svake dvije godine. Nizom ispitivanja kojima je utvrđen udio klorida u uzorcima betona, kao i rezultata proračuna matematičkih modela, pokušavalo se proračunati preostalu trajnost konstrukcije mosta. Za uspješno održavanje Krčkog mosta, odnosno za očuvanje temeljnih zahtjeva ove iznimno vrijedne građevine, potrebno je trajno ulaganje novčanih i drugih sredstava te znanja.

LITERATURA

- [1] Simović, V.: Dvadeseta obljetnica mosta kopno - otok Krk, 52 (2000) 8, pp. 431-442.
- [2] Beslač, J., Bleiziffer, J., Ille, M.: Pregled aktivnosti sanacije i zaštite Krčkog mosta od 1980. do 2010., 2010.
- [3] Stojadinović, I.: Glavni projekt broj: 1153; Dispozicija mosta
- [4] Vujić, D.: Radovi na izvanrednom održavanju Krčkog mosta, *Građevinar*, 56 (2004) 9, pp. 547-553.
- [5] Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2015.
- [6] IGH d.d.: Izvještaj, Knjiga 1 za kosnike, broj: 2131-70, 2002.
- [7] IGH d.d.: Izvještaj, Knjiga 2 za razupore i stupove, broj: 2131-93, 2002.
- [8] IGH d.d.: Izvještaj, Knjiga 3 za luk i kolničku konstrukciju, broj: 2131-95, 2003.
- [9] IGH d.d.: Izvještaj, Knjiga 4 broj: 2100-2300, 2006.
- [10] IGH d.d.: Izvještaj, Knjiga 5 broj: 2100-2367, 2007.
- [11] IGH d.d.: Izvještaj, Knjiga 6 broj: 2100-1794, 2008.
- [12] IGH d.d.: Projektna dokumentacija sanacije i zaštite mosta velikog luka; Knjige 1-5, 2003.-2008.
- [13] IGH d.d.: Knjiga 6 - Radovi iz Knjige 4 Projekta preostali nakon izvršenja ugovora HAC d.d. - Viadukt d.d., 2010.
- [14] Balagija, A.: Izvješće nadzornog inženjera o provedenim radovima na podgledu kolničke konstrukcije (nosači i kolnička ploča), 2014.