



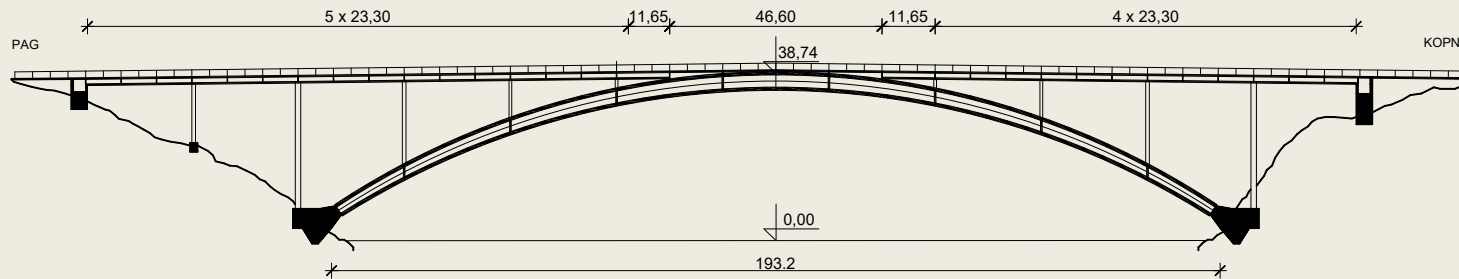
HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA
Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva 2020.

Sanacija Paškog mosta

dr.sc. Mario Ille
Karlo Kopljar

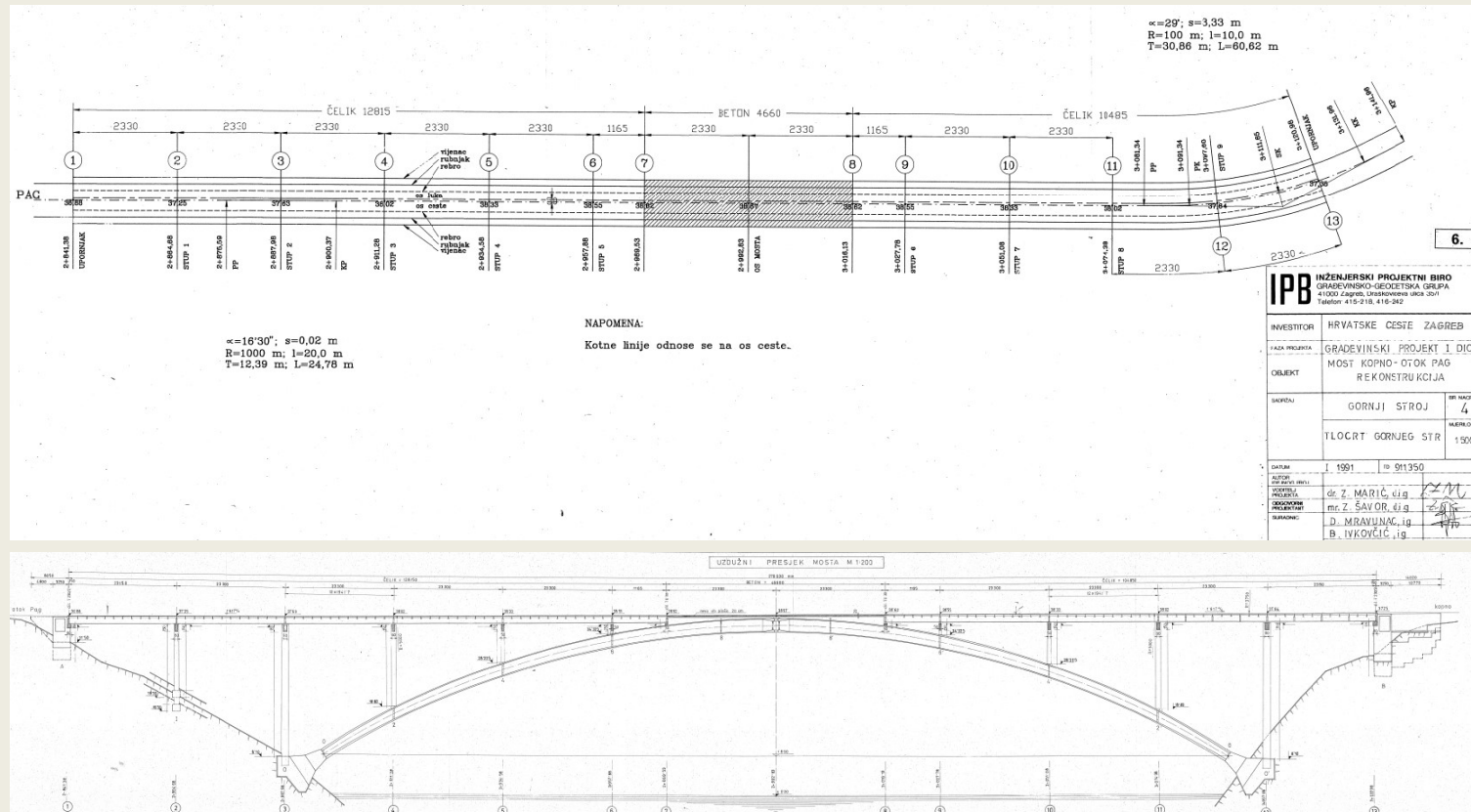
dr.sc. Mario Ille, dipl.ing.građ., Institut IGH d.d., Zagreb
Karlo Kopljar, mag.ing.aedif., Institut IGH d.d., Zagreb

Opći podaci o mostu



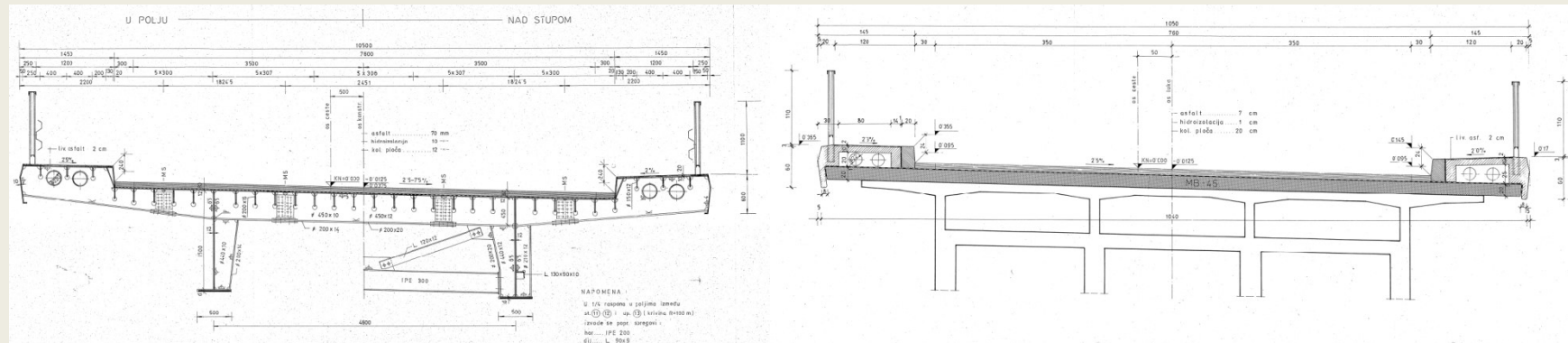
- Most preko Ljubačkih vrata kojim je otok Pag spojen s kopnom
- Izgradnja je trajala od siječnja 1967. do studenog 1968. godine.
- Lučni most - luk raspona 193,2 m. Ukupna duljina mosta $L=279,6$ m.
- Luk je armirano betonski, sandučastog poprečnog presjeka s 3 komore, širine 7 m i promjenjive visine od 2,3 m na petama do 3 m u tjemenu luka.

Opći podaci o mostu



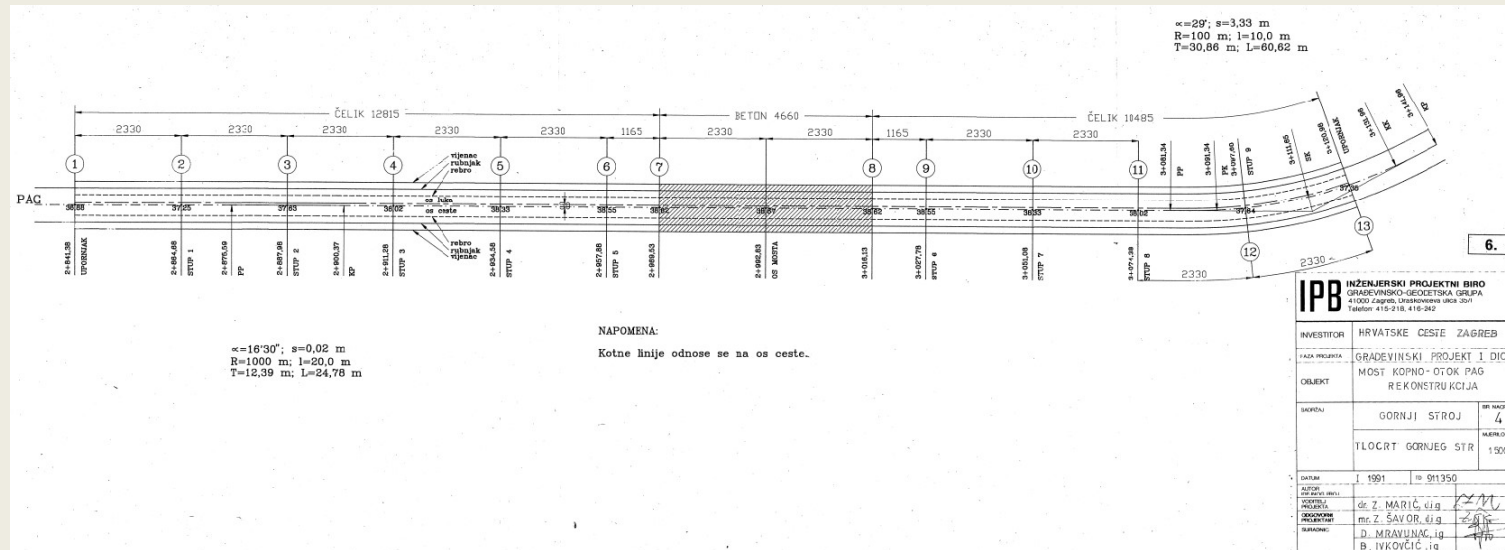
- Izvorno projektiran i izveden nadlučni sklop čine armiranobetonski stupovi iznad kojih se protezao (zamijenjen rekonstrukcijom 2001.) roštilj od prednapetih AB nosača, prednapetih poprečnih nosača i kolničke ploče.

Opći podaci o mostu



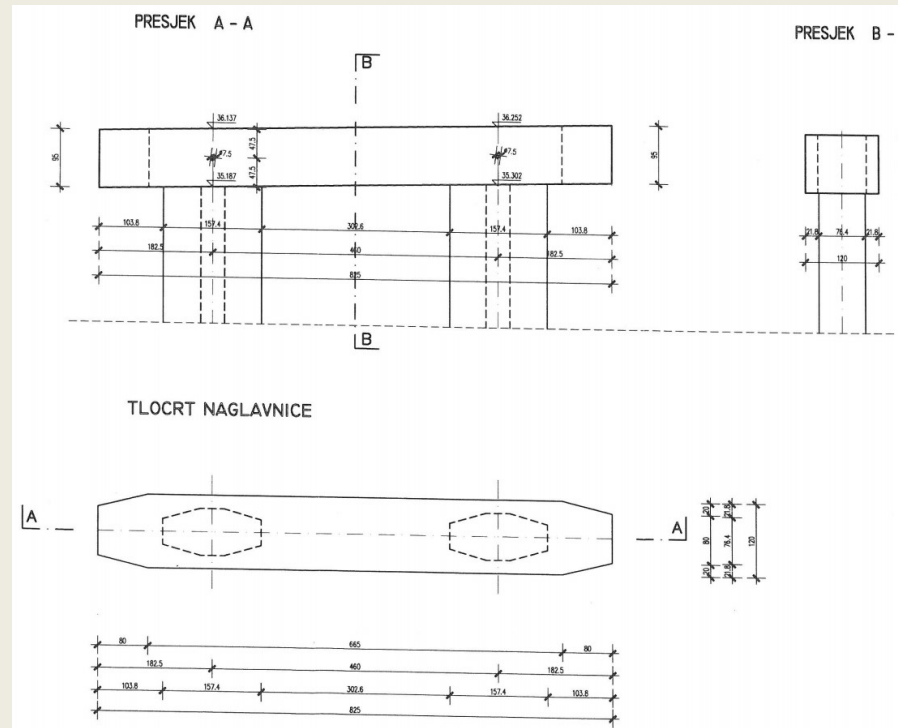
- Most se nalazi u vrlo agresivnoj, maritimnoj sredini, te je često izložen buri koja direktno nanosi sol na konstrukciju, uzrokujući njezino ubrzano razaranje - već 20 godina nakon izgradnje moralo pristupiti nizu sanacija i popravaka koji su trajali sve do 2001. godine.
- 1991. godine provedena je sanacija luka - sanirane su pukotine u unutrašnjosti luka klasičnom reprofilacijom. Površina luka sanirana je uklanjanjem površinskog sloja betona u debljini od 2 cm i ugradnjom novog sloja mlaznog morta debljine 4 cm s ugrađenom armaturnom mrežom. Na kraju je cijelo oplošje luka zaštićeno trajnoelastičnim premazom.
- Nadlučna konstrukcija napravljena 60-tih godina od prednapetih armiranobetonskih nosača raspona od 23 m. S vremenom je toliko propala te je 2001. godine zamijenjena novom čeličnom konstrukcijom.

Opći podaci o mostu



- Novi čelični rasponski sklop čine dvije nezavisne konstrukcije predviđene kao kontinuirani nosači raspona $4 \times 23,3 + 11,65 = 104,85$ m prema kopnu, odnosno $5 \times 23,3 + 11,65 = 128,15$ m prema otoku Pagu pri čemu je konstrukcija u prva dva polja s kopnene strane u vrlo oštroj krivini radijusa 100 m.
- Poprečni presjek čine dva glavna nosača na međusobnom osnom razmaku 4,6 m između kojih je čelična ortotropna ploča. Glavni nosači su punostjeni, konstantne visine od 1500 mm. Čelična rasponska konstrukcija je oslonjena na parove osmerokutnih armiranobetonskih stupova obloženih čeličnim plaštevima.
- Ukupna širina mosta je 10,5 m. Širina kolnika između rubnjaka iznosi 7,6 m, hodnici su po 1,2 m, a ograde su po 0,3 m.

Opći podaci o mostu



- AB stupovi obloženi su čeličnim plaštevima, a prostor između čeličnih plaštevima i postojećih stupova (12 cm) zapunjen sitnozrnatim betonom.
- U nadtjemnom dijelu kolnička ploča i uzdužni zidovi uklonjeni su pa izvedeni novi AB uzdužni zidovi i kolnička ploča.
- Naglavne grede iznad petnih stupišta (NG2 i NG9) su zadržane, uz odgovarajuću sanaciju, a pri vrhovima ostalih stupišta izvedene su nove klasične AB naglavne grede.

Opis problema i zatečenog stanja

- Most se nalazi u vrlo agresivnoj, maritimnoj sredini te je često izložen buri koja direktno nanosi sol na konstrukciju, uzrokujući njezino ubrzano razaranje.
- Tijekom rekonstrukcije nadlučnog sklopa 1999. godine provedena je zamjena trajnoelastičnog premaza, ali nije poznato je li taj popravak obuhvatio sve površine luka.
- Nakon izgradnje 1968. provedeno je prvo pokusno opterećenje mosta, a pokusno opterećenje, provedeno tijekom specijalističkog pregleda 1988., pokazalo je značajno veće deformacije luka u odnosu na prvo ispitivanje. Ispitivanje mosta i provedeni proračuni i numeričke analize stabilnosti luka nakon rekonstrukcije pokazali su da luk ima vrlo mali kapacitet za preuzimanje eventualnih neočekivanih opterećenja.
- Istražnim radovima provedenim 2009. godine, kojim su bili obuhvaćeni unutrašnjost luka, gornja ploha luka i nekolicina naglavnih greda, utvrđeno je loše stanje saniranih površina - ispucali mort i premaz, odvajanje morta od betona na do oko 25 % gornje površine luka te vrlo velike vrijednosti sadržaja iona klorida na pojedinim mjestima.
- Istražnim radovima provedenim 2015. godine utvrđeno je još lošije stanje saniranih površina – ispitivanje trajnosnih svojstava betona pokazuje da beton ima relativno veliku apsorpciju i plinopropusnosti što pogoduje penetraciji klorida i svrstava beton luka mosta Pag u loš beton što se tiče trajnosnih svojstava.



Opis problema i zatečenog stanja

- Provedenim istražnim radovima i analizom zatečenog stanja armiranobetonske konstrukcije mosta može se zaključiti da su registrirane veličine oštećenja pojedinih dijelova konstrukcije takvog stupnja da se postupno umanjila trajnost, nosivost, stabilnost i sigurnost građevine, a to se prvenstveno odnosi na naglavnu gredu NG9 na kojoj su oštećenja zaštitnog sloja i aktivno stanje korozije armature uzdužne glavne armature toliko duboka da je potrebno izvršiti **hitnu sanaciju**.



- Iz navedenog neophodno je u dijelu projektiranja rješenja sanacije i zaštite armiranobetonske konstrukcije mosta Pag predvidjeti odgovarajuću zaštitu betona koja bi smanjila propusnost betona, odnosno smanjila penetraciju agresivnih tvari iz okoliša u unutrašnjost elementa.

Luk mosta - oštećenja



Peta luka- oštećenja



Upornjak - oštećenja



Podsjetnik

- Nakon izgradnje 1968. provedeno je prvo pokusno opterećenje mosta, a pokusno opterećenje provedeno tijekom specijalističkog pregleda 1988. pokazalo je značajno veće deformacije luka u odnosu na prvo ispitivanje.
- **Ispitivanje mosta i provedeni proračuni te numeričke analize stabilnosti luka nakon rekonstrukcije pokazali su da luk ima vrlo mali kapacitet za preuzimanje eventualnih neočekivanih opterećenja.**



Prikaz rješenja sanacije

- Rješavanje problema sanacije i zaštite najugroženijih dijelova armiranobetonske konstrukcije mosta Pag konstruirano je prema rezultatima prethodno provedenih istražnih radova i zaključka o stanju pojedinih elemenata konstrukcije u slijedeće četiri faze:
 - temelji luka
 - luk
 - naglavne grede
 - Upornjaci
- Projektirano je šest rješenja sanacije, ovisno o oštećenosti armiranobetonske konstrukcije, odnosno sukladno procjeni stanja konstrukcije na temelju vizualnog pregleda i dostupnih rezultata ispitivanja.



Prikaz rješenja sanacije

- **Prvo rješenje sanacije (TIP 1)** se bazira na potpunoj rekonstrukciji zaštitnog sloja betona, zaštiti armature od korozije i zaštiti od prodora agresivnih tvari iz okoliša uz kontrolu vlage betona. Primjenjivat će se kod betona na temeljima (petama) luka. Na temeljima luka predviđena je potpuna rekonstrukcija zaštitnog sloja betona. Obavlja se reprofilacija uklonjenog dijela površinskog sloja betona s iznad kritičnom koncentracijom klorida (5-8 cm). Nakon reprofilacije izvodi se novi zaštitni sloj betona, 2 cm veće debljine od izvornog tj. u debljini $d=7-10$ cm. Rekonstrukcija zaštitnog sloja kod temelja luka izvodi se mikroarmiranim betonom visoke čvrstoće (C60/75).
- **Drugo rješenje sanacije (TIP 2)** bazira se na zaštiti armature od korozije i zaštiti od prodora agresivnih tvari iz okoliša uz kontrolu vlage betona. Obuhvaća dio konstrukcije luka i dio naglavnih greda. Primjenjivati će se kod betona kod kojeg je armatura još uvijek u inicijacijskom stupnju korozije. Sanacija i zaštita, odnosno poboljšanje nepropusnih svojstava betona, ostvaruje se lokalnom sanacijom reparaturnim mortom na mjestima muklog odziva zvuka i vidljivo korodirale armature, a prisutnost klorida (koncentracije $>0,4\%$ na masu cementa) u zoni armature neutralizirati će se primjenom inhibitora korozije. Sprječavanje unosa dodatnih klorida iz okoliša postiže se „gustom“ površinskom zaštitom – trajnoelastičnim troslojnim sustavom premazom.



Prikaz rješenja sanacije

- **Treće rješenje sanacije (TIP 3)** se bazira na potpunoj rekonstrukciji zaštitnog sloja betona, zaštiti armature od korozije i zaštiti od prodora agresivnih tvari iz okoliša uz kontrolu vlage betona. Primjenjivati će se kod betona kod kojeg je armatura u progresijskom stupnju korozije, a to se odnosi na dio luka koji nije zahvaćen drugim rješenjem sanacije te na preostale naglavne grede, osim iznad stupa S9 (NG9). Sanacija i zaštita, odnosno poboljšanje nepropusnih svojstava betona, ostvarit će se lokalnom sanacijom betonom i mortom. Prisutnost klorida (koncentracije $>0,4\%$ na masu cementa) u zoni armature neutralizirati će se primjenom inhibitora korozije. Sprječavanje unosa dodatnih klorida iz okoliša postiže se „gustom“ površinskom zaštitom – trajnoelastičnim troslojnim sustavom premazom.
- **Četvrto rješenje sanacije (TIP 4)** se bazira na rekonstrukciji naglavne grede iznad stupa S9 (NG9). Na naglavnici NG9 su registrirane dubinski veće pukotine lokalno manjih zona zahvata, kao i oštećenja i gubici zaštitnog sloja betona odnosno jača raspucavanja i odlamanja betona u dubinama te iza uzdužne nosive armature. Potrebno je ukloniti sav loš beton uz zadržavanje postojeće armature. Postojeću armaturu je potrebno očistiti do metalnog sjaja i po potrebi ugraditi dodatnu armaturu. Za vrijeme rekonstrukcije naglavne grede NG9 potrebno je most dignuti i osloniti na nosivu skelu. Rekonstrukcija će se ostvariti betonom i mortom, a prisutnost klorida (koncentracije $>0,4\%$ na masu cementa) u zoni armature neutralizirati će se primjenom inhibitora korozije. Sprječavanje unosa dodatnih klorida iz okoliša postiže se „gustom“ površinskom zaštitom – trajnoelastičnim troslojnim sustavom premazom.



Prikaz rješenja sanacije

- **Peto rješenje sanacije (TIP 5)** se bazira na rekonstrukciji i obnovi upornjaka. Na površini upornjaka su registrirana lokalna oštećenja predgotovljenih betonskih ploča debljine 10 cm. Potrebno je ukloniti sve predgotovljene betonske ploče i umjesto predgotovljenih betonskih ploča izvesti sloj armiranog betona kao zaštitu postojećeg. Postojeći beton ispod predgotovljenih betonskih ploča potrebno je reprofilirati do zdravog betona. Svu vidljivu armaturu nakon reprofilacije potrebno je očistiti do metalnog sjaja i po potrebi ugraditi dodatnu armaturu.
- **Šesto rješenje sanacije (TIP 6)** obuhvaća dio konstrukcije na kojima su zabilježene pukotine zazora $\geq 0,3$ mm. Sanacija se provodi injektiranjem standardnim postupkom utiskivanja dvokomponentne injekcijske smole na bazi epoksida.



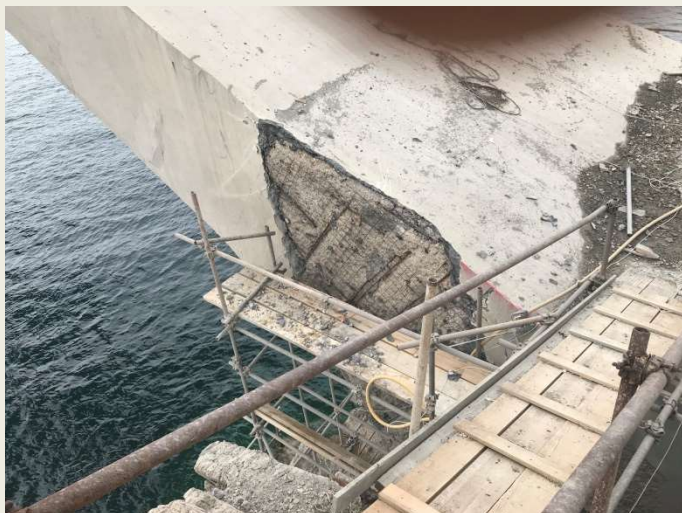
Izvedba radova



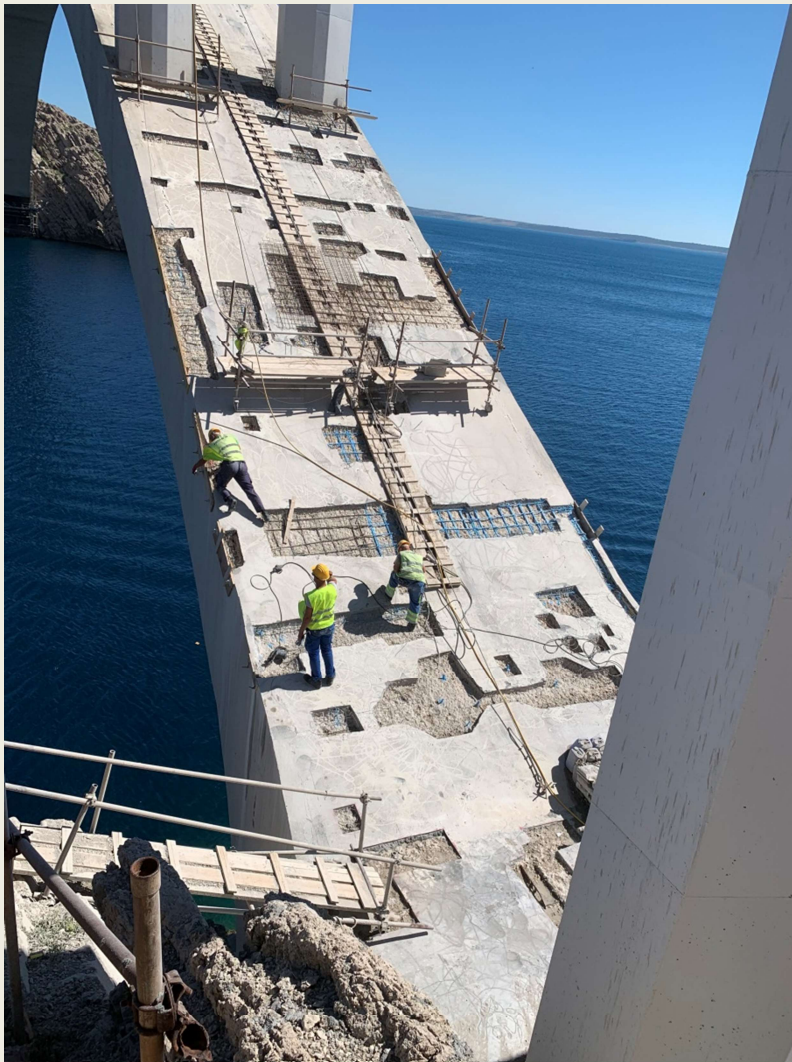
Izvedba radova



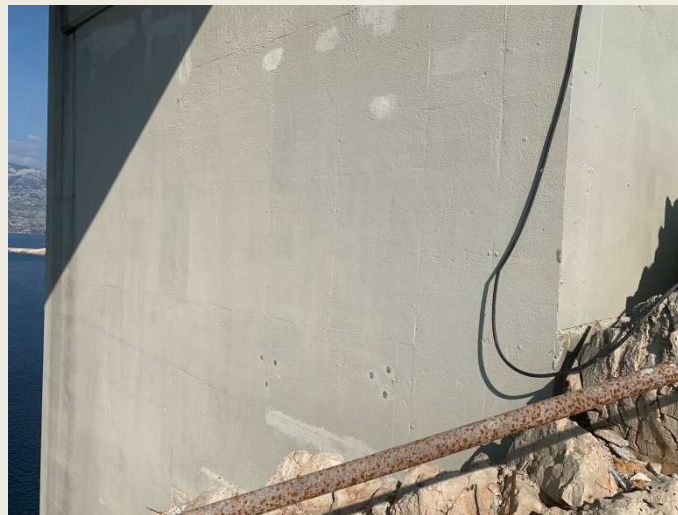
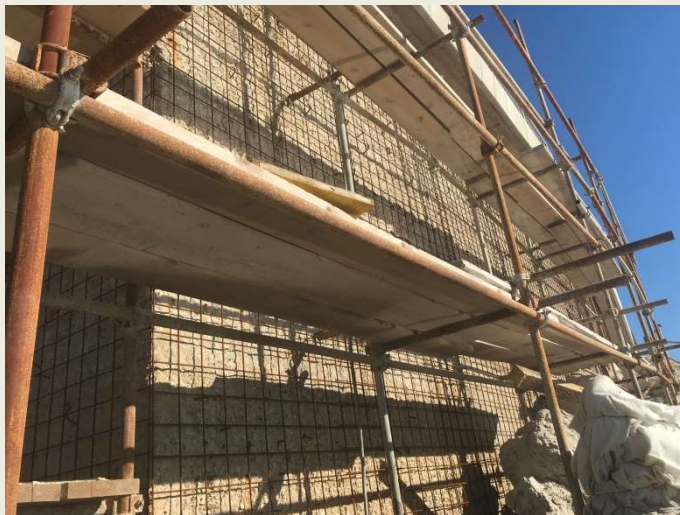
Izvedba radova – sanacija pete luka



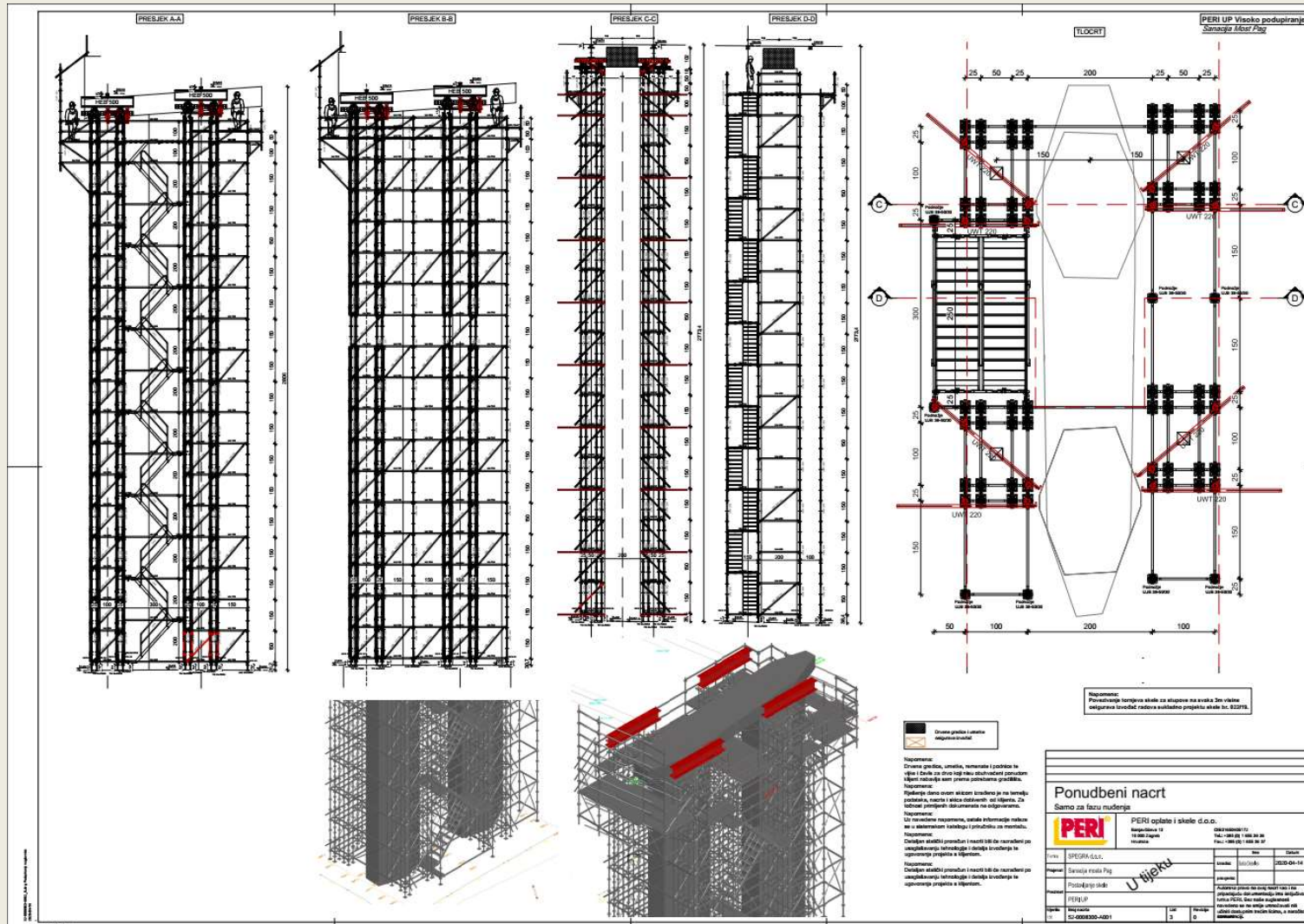
Izvedba radova – sanacija luka



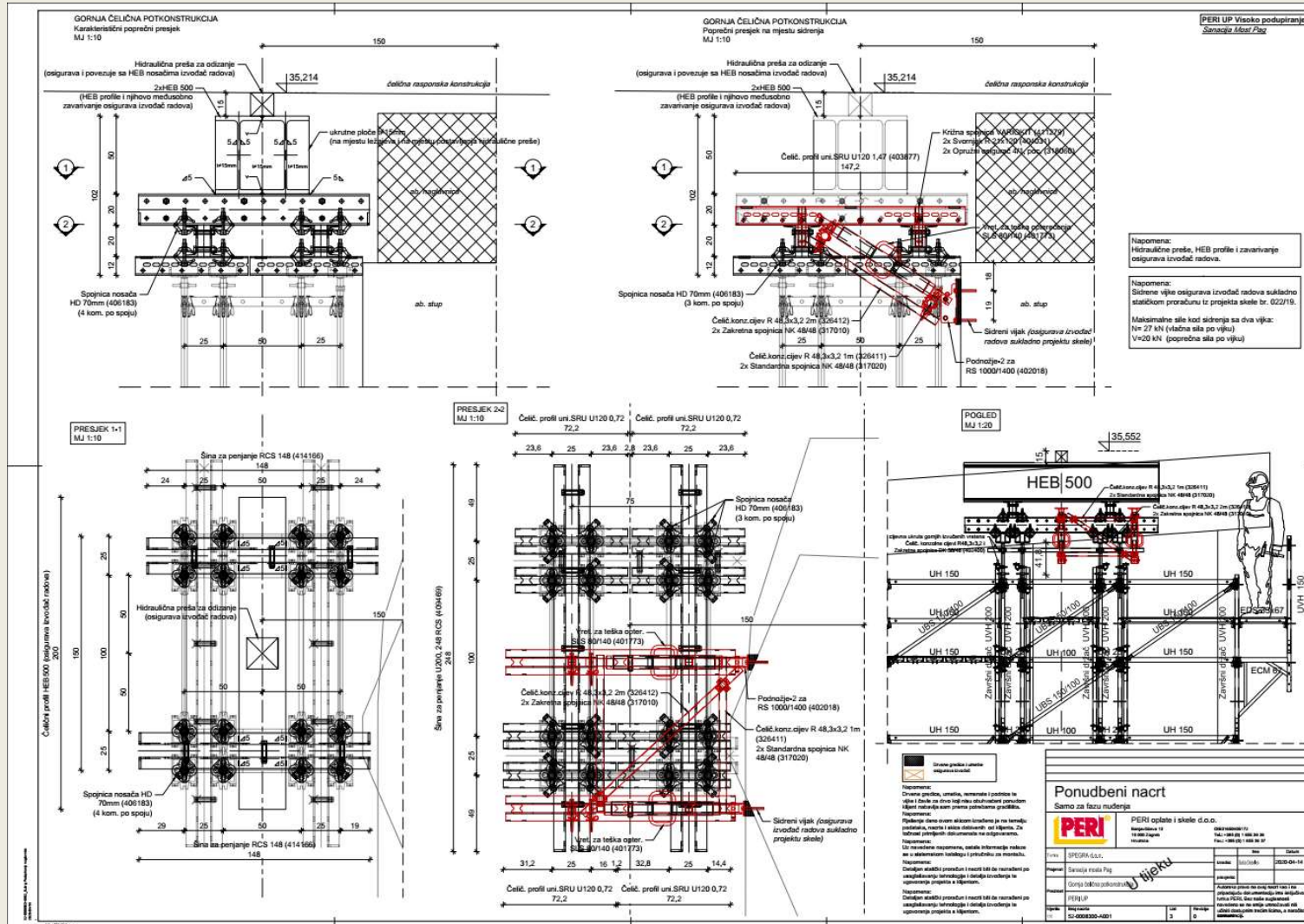
Izvedba radova – sanacija upornjaka



Izvedba radova – sanacija nagl.grede



Izvedba radova – sanacija nagl.grede



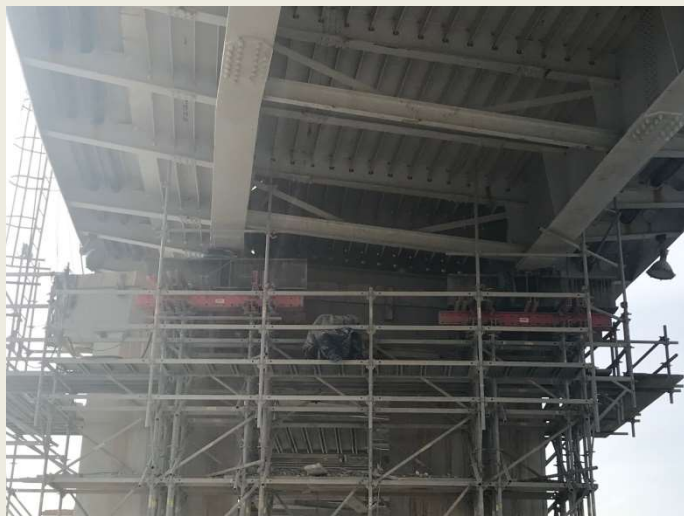
Izvedba radova – sanacija nagl.grede



Izvedba radova – sanacija nagl.grede



Izvedba radova – sanacija nagl.grede



Izvedba radova – sanacija nagl.grede



Izvedba radova – sanacija nagl.grede



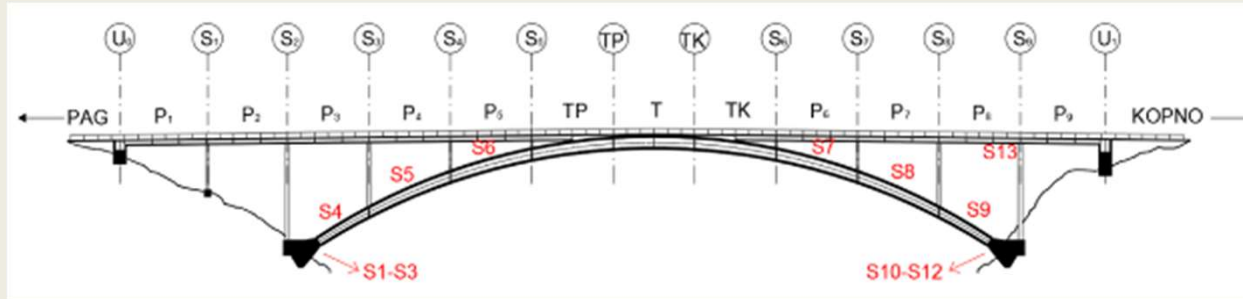
Izvedba radova – zamjena PN



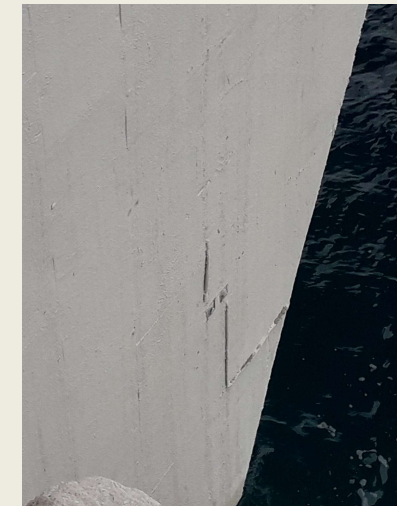
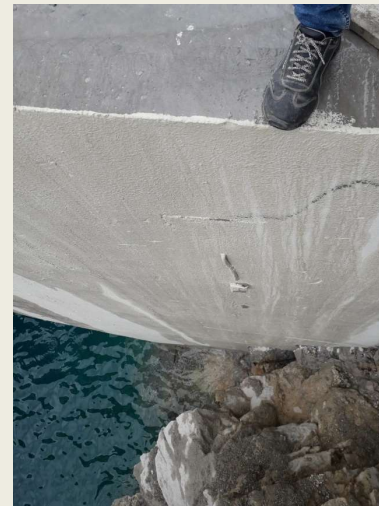
Izvedba radova – zamjena PN



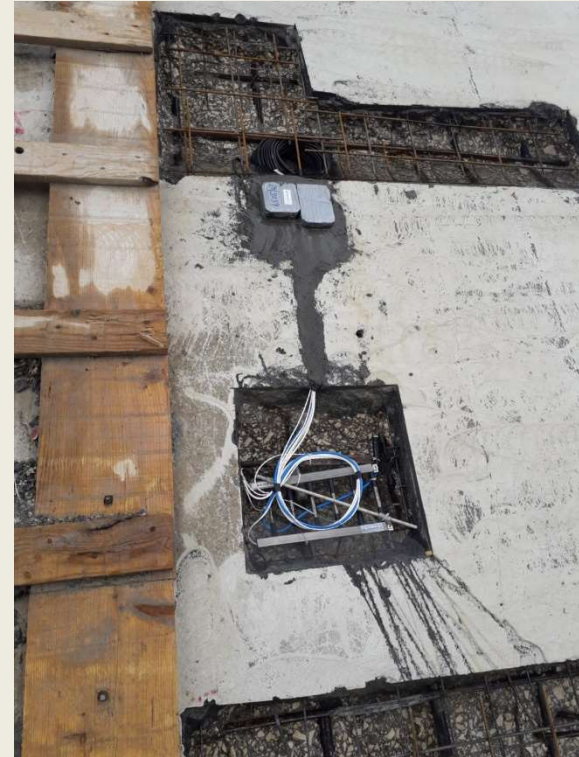
Izvedba radova – korozijski monitoring



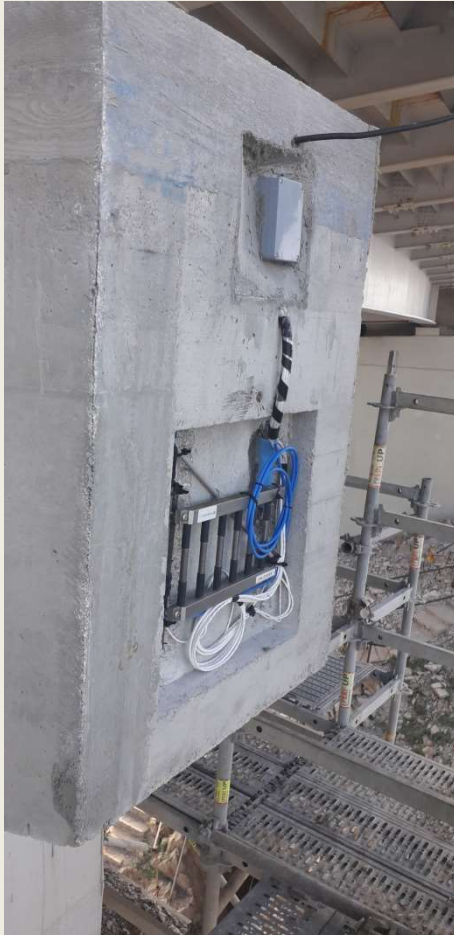
Plan je očitavati senzore jednom godišnje kako bi se dobila jasnija slika o prodoru klorida u sanirane i zaštićene površine.



Izvedba radova – korozijski monitoring



Izvedba radova – korozijski monitoring



Zaključak

- Potreba redovitih pregleda infrastrukturnih objekata, posebno onih kapitalnih
- Uspostava kontinuiranog praćenja kritičnih mjesta na konstrukcijama.
- Ispravan odabir koncepcije objekta sa strane održavanja.





HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA

Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva

Opatija, 2020.

Hvala vam na strpljenju!

dr.sc. Mario Ille, dipl.ing.građ., Institut IGH d.d., Zagreb

Karlo Kopljar, mag.ing.aedif., Institut IGH d.d., Zagreb