



# Projekt sanacije Starog savskog mosta u Zagrebu

**dr.sc. Petar Sesar, dipl.ing.građ.**

Tomislav Brozović, dipl.ing.građ., Institut IGH d.d.

Dr.sc. Petar Sesar, dipl.ing.građ., Institut IGH d.d.

Mr.sc. Igor Džajić, dipl.ing.građ., Institut IGH d.d.

# UVODNO O MOSTU



- STARI SAVSKI MOST U ZAGREBU (nazivan još i 'plavi' most), sagrađen je 1939. god. i najstariji je zagrebački most
- Donji ustroj mosta (kameni upornjaci i stupovi, temeljeni na kamenim kesonima) datiraju još iz 1892. god. kada je Savu premoštavala čelična rešetkasta rasponska konstrukcija
- Most je 80-ih godina ušao u registar objekata pod konzervatorskom zaštitom, budući je rasponska konstrukcija izvedena kao prva spregnuta rasponska konstrukcija nekog mosta u ovom dijelu Europe.
- Most se nakon izgradnje Jadranskog mosta koristi kao pješački most, uz iznimku prometovanja autobusa ZET-a od okretišta na Savskoj cesti i naselja Kajzerica.



# PROJEKT SANACIJE SAVSKOG MOSTA

## INVESTITOR:

- Voditelj projekta:

**GRAD ZAGREB**

Nenad Zidar, dipl.ing.građ.



## PROJEKTIRANJE I ISTRAŽNI RADOVI:

- Projektant i proj. nadzor:

**INSTITUT IGH d.d.**

Tomislav Brozović, dipl.ing.građ.



## REVIZIJA PROJEKTA:

- Revident:

**GRAĐEVINSKI FAKULTET - ZAGREB**

dr.sc. Zlatko Šavor, dipl.ing.građ.



## IZVOĐAČI:

- Voditelj gradilišta
- Voditelj gradilišta

**SPEGRA d.o.o.**

Tomislav Elpeza, dipl.ing.građ.

**SITOLOR d.o.o.**

Bruno Bukmir, dipl.ing.građ.

**SPEGRA**



## NADZOR:

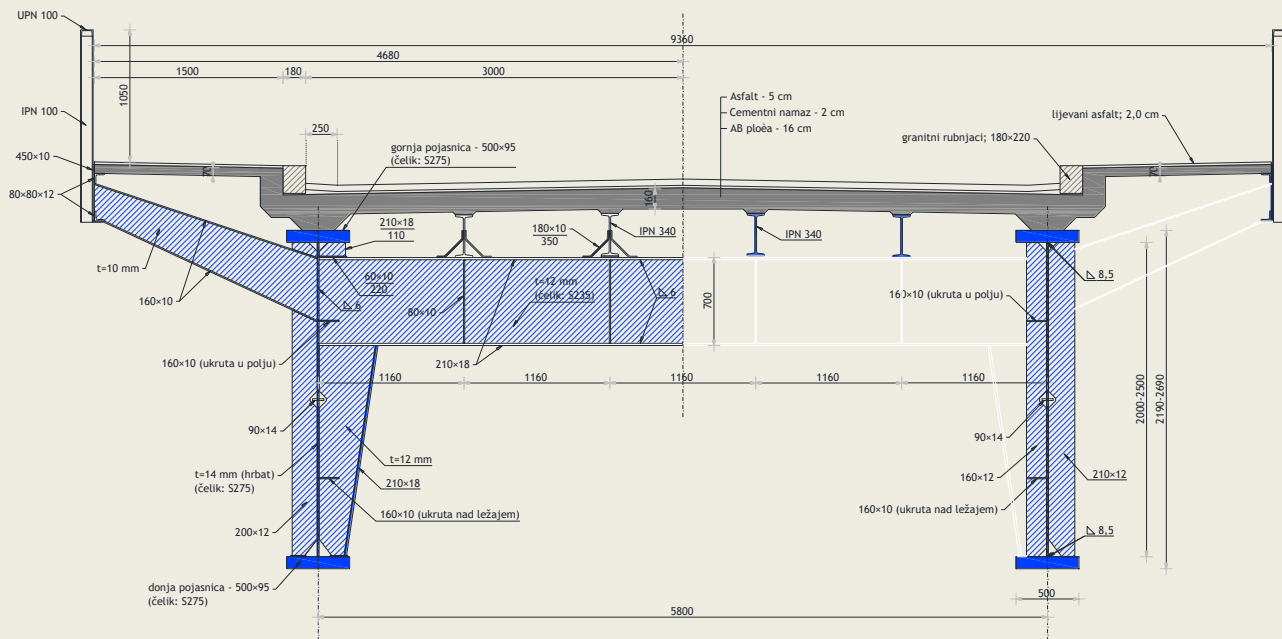
- Nadzorni inženjer:

**Partner gradnja d.o.o.**

Hrvoje Rendulić, dipl.ing.građ.



# TEHNIČKI OPIS POSTOJEĆE KONSTRUKCIJE MOSTA



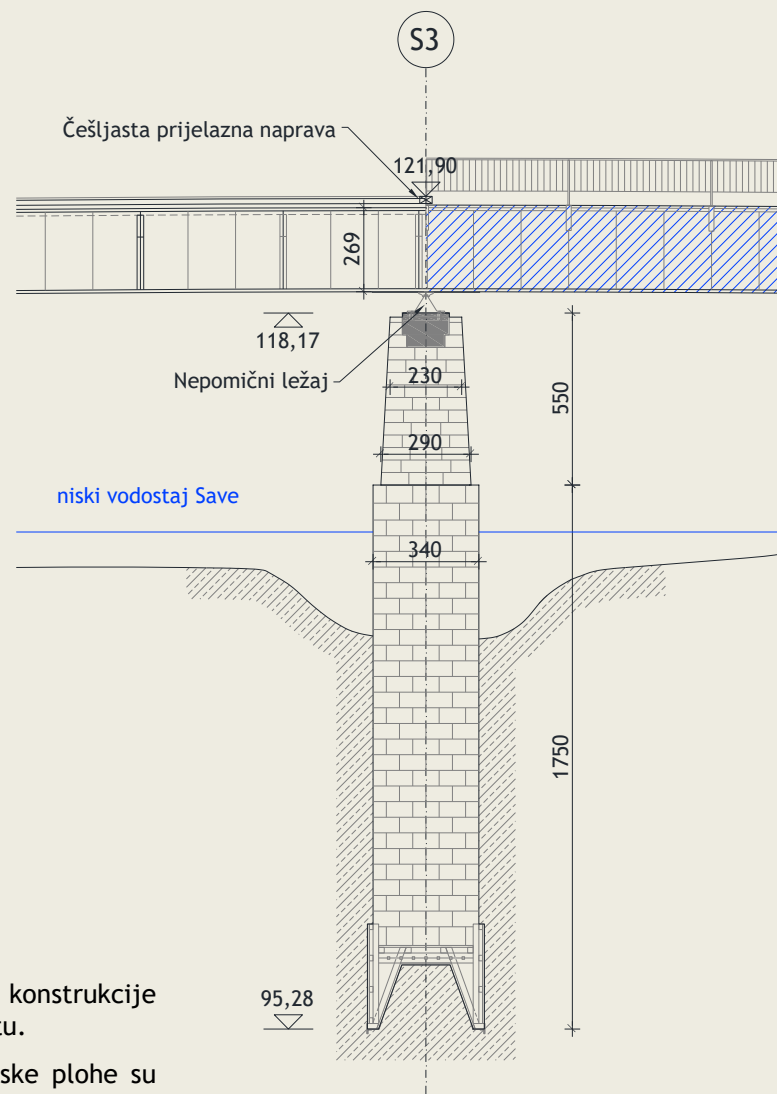
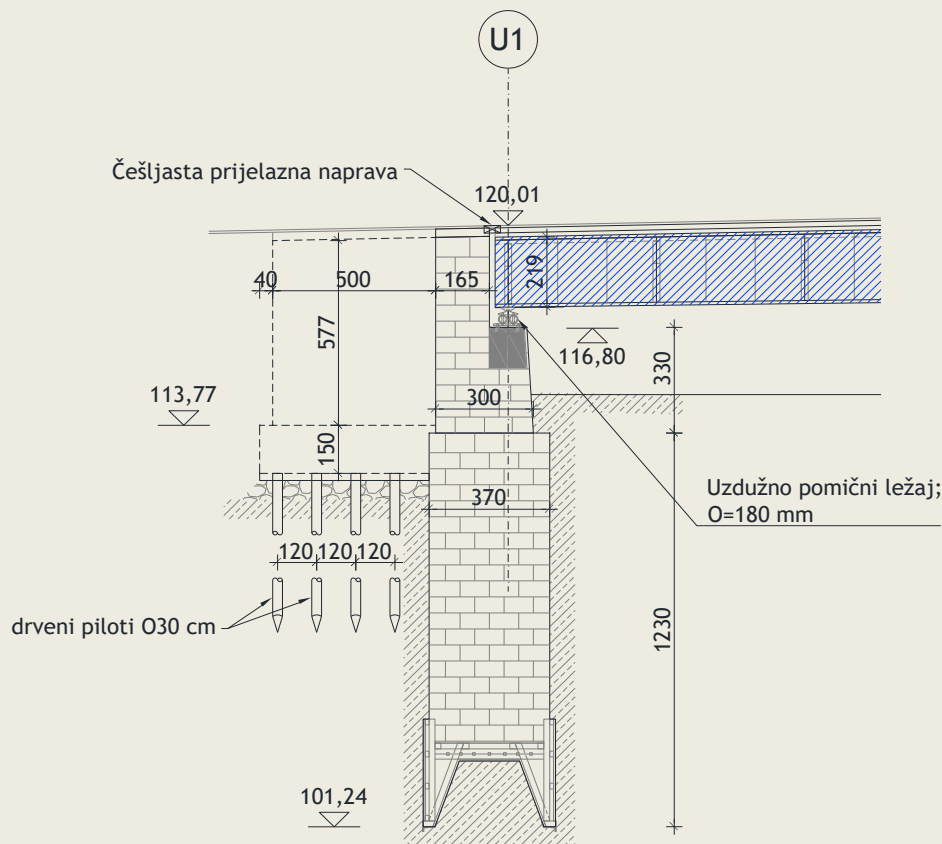
## DISPOZICIJA I STATIČKI SUSTAV

- Prema statičkom sustavu most je kontinuirani nosač preko 4 polja (rasponi: 54,6 + 55,1 + 55,1 + 54,6 = 219,4 m)
- Most je tlocrtno položen u pravcu; niveleta je izvedena u konstantnom usponu od 2% od oba upornjaka prema središnjem dijelu.
- Niveleta središnjeg dijela mosta, u dužini od 60 m, prati oblik parabole
- U poprečnom presjeku izveden je obostrani pad kolnika od 2,5%

## RASPONSKA KONSTRUKCIJA MOSTA

- Rasponska konstrukcija mosta izvedena je od dva glavna kontinuirana čelična I-nosača, koji su međusobno povezani poprečim nosačima;
- Osnj razmak nosača iznosi 5,8 m; visina nosača raste od 2190 mm nad upornjacima do 2690 mm nad središnjim stupištem. Dimenzije pojasnica iznose:  $bf \times tf = 500 \times 95$  mm; izuzev nad središnjim poljima gdje debljina pojasnica iznosi:  $tf = 35$  mm. Debljina hrpta iznosi:  $tw = 14$  mm.
- Glavni nosači su izvedeni od čelika kvalitete S-275, dok je ostatak čelične konstrukcije izveden od čelika kvalitete S-235.
- Iznad poprečnih nosača (ukupne visine 700 mm), izvedeni su sekundarni uzdužni nosači od valjanih IPN 340 profila.
- Na sekundarne i glavne uzdužne nosače oslanja se kolnička AB ploča debljine 16 cm. Ploča je bila dilatirana nad stupištima.
- Pješačke staze su bile izvedene u debljini od svega 7,0 cm.

# TEHNIČKI OPIS POSTOJEĆE KONSTRUKCIJE MOSTA



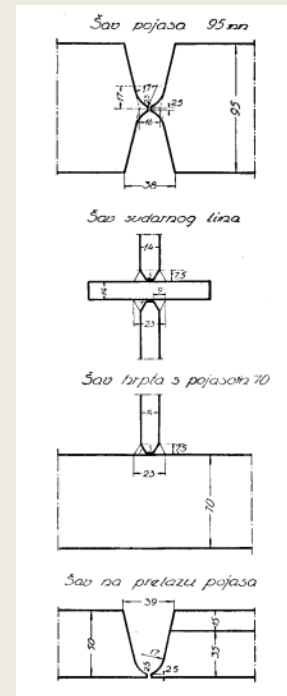
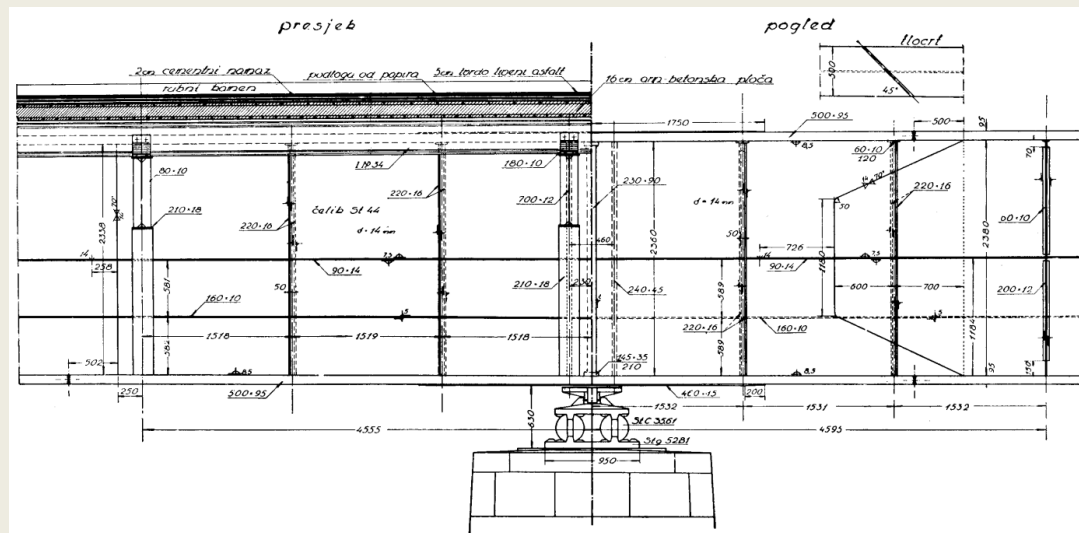
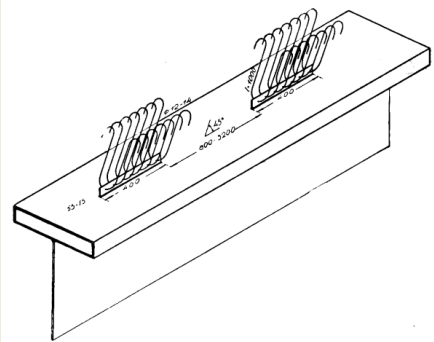
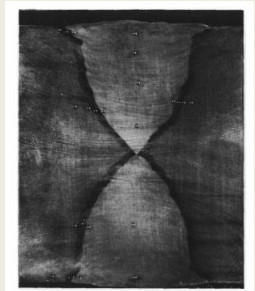
## DONJI USTROJ MOSTA

- Donji ustroj mosta čine kameni stupovi i kameni upornjaci
- Donji ustroj je izveden 1892. god., a prilikom izgradnje nove rasponske konstrukcije 1939. god. stupišta i upornjaci su sanirani i visinski prilagođeni novom mostu.
- Stupišta i upornjaci su izvedeni kao zidani od kamenih elemenata; vanjske plohe su obrađene tesanjem i špicanjem, a unutarnje klesanjem



# ISTRAŽNI RADIVI

- Skupljanje i pregled dostupne izvorne projektne dokumentacije
- Specijalistički vizualni pregled mosta
- Istražni radovi na čeličnoj konstrukciji
- Istražni radovi na AB kolničkoj ploči (provedeni 2008. god)
- Istražni radovi na kamenim stupištima
  
- Velika pomoć u analizi konstrukcije mosta dobivena je na temelju sljedećih članaka:
  - Ing. Jure Erega, 'Gradnja kolnog mosta preko Save kod Zagreba', Građevinski vjesnik, Zagreb, 1940. god.;
  - Prof.ing. Kruno Tonković, 'Kolni most na savskoj cesti u Zagrebu', Naši mostovi, 1984. god.



# ISTRAŽNI RADOVI

- Skupljanje i pregled dostupne izvorne projektne dokumentacije
- **Specijalistički vizualni pregled mosta**
- Istražni radovi na čeličnoj konstrukciji
- Istražni radovi na AB kolničkoj ploči (provedeni 2008. god)
- Istražni radovi na kamenim stupištima

## ➤ Pregled čelične rasponske konstrukcije

### 1. Glavni uzdužni nosači

- Pregledom je utvrđeno da je na glavnim nosačima lokalno, u zonama dilatacija AB ploče nad stupištima i upornjacima, te u zonama ispod odvodnih šahtova došlo do uznapredovalih korozijskih procesa
- Sanacija je moguća u vidu pjeskarenja i nove AKZ zaštite; Prilikom dimenzioniranja čeličnih nosača, tj. dokaza meh. otpornosti i stabilnosti, uzima se u obzir za navedene lokacije redukcija površine presjeka čelika





# ISTRAŽNI RADOVI

- Skupljanje i pregled dostupne izvorne projektne dokumentacije
- **Specijalistički vizualni pregled mosta**
- Istražni radovi na čeličnoj konstrukciji
- Istražni radovi na AB kolničkoj ploči (provedeni 2008. god)
- Istražni radovi na kamenim stupištima

## ➤ Pregled čelične rasponske konstrukcije

### 2. Poprečni nosači

- Pregledom su utvrđena znatna oštećenja poprečnih nosača iznad upornjaka
- Sanacija istih nije moguća, već je nužno uklanjanje istih i izvedba novih poprečnih nosača
- Preostali poprečni nosači se saniraju pjeskarenjem i novom AKZ zaštitom.



# ISTRAŽNI RADOVI

- Skupljanje i pregled dostupne izvorne projektne dokumentacije
- **Specijalistički vizualni pregled mosta**
- Istražni radovi na čeličnoj konstrukciji
- Istražni radovi na AB kolničkoj ploči (provedeni 2008. god)
- Istražni radovi na kamenim stupištima

## ➤ Pregled čelične rasponske konstrukcije

### 3. Konzole i sekundarni uzdužni nosači

- Pregledom su utvrđena znatna oštećenja konzolnih istaka (nosača pješačkih staza), te sekundarnih uzdužnih nosača (IPN 340 profili).
- Sanacijom je predviđeno uklanjanje navedenih elemenata te montaža novih.

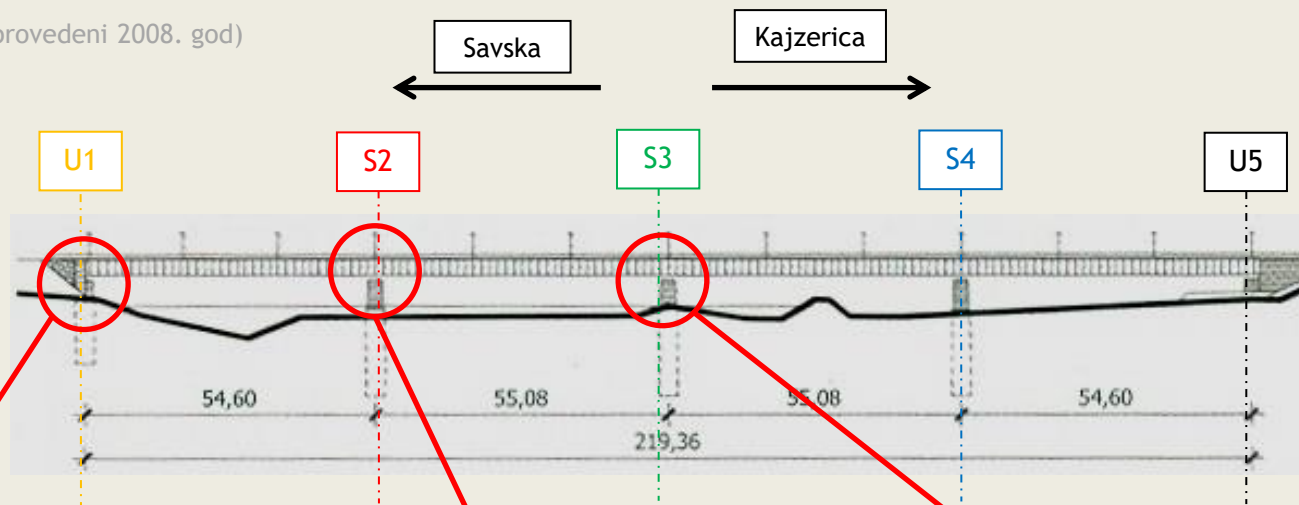


# ISTRAŽNI RADOVI

- Skupljanje i pregled dostupne izvorne projektne dokumentacije
- **Specijalistički vizualni pregled mosta**
- Istražni radovi na čeličnoj konstrukciji
- Istražni radovi na AB kolničkoj ploči (provedeni 2008. god)
- Istražni radovi na kamenim stupištima

## ➤ Pregled LEŽAJEVA

- Pregledom je utvrđeno da su svi ležajevi oštećeni uslijed uznapredovale korozije te da nije moguća njihova sanacija već isključivo uklanjanje te montaža novih!

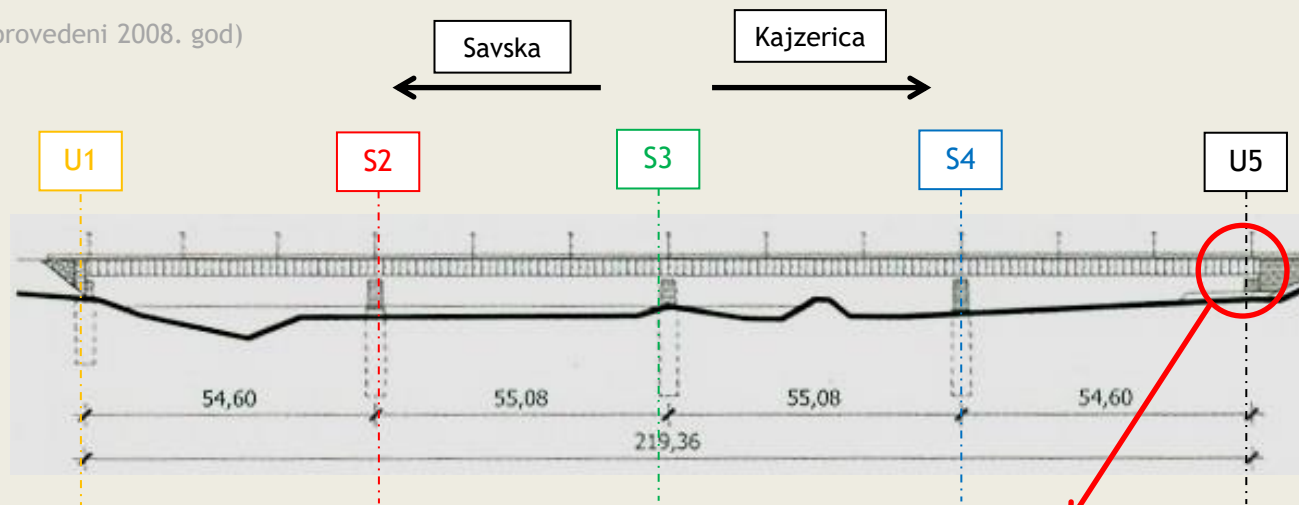


# ISTRAŽNI RADOVI

- Skupljanje i pregled dostupne izvorne projektne dokumentacije
- **Specijalistički vizualni pregled mosta**
- Istražni radovi na čeličnoj konstrukciji
- Istražni radovi na AB kolničkoj ploči (provedeni 2008. god)
- Istražni radovi na kamenim stupištima

## ➤ Pregled UPORNJAKA

- Pregledom je uočeno odvajanje krila od zida upornjaka (kao rezultat nejednolikog slijeganja temeljne konstrukcije)



Spoj zidića i zida upornjaka;



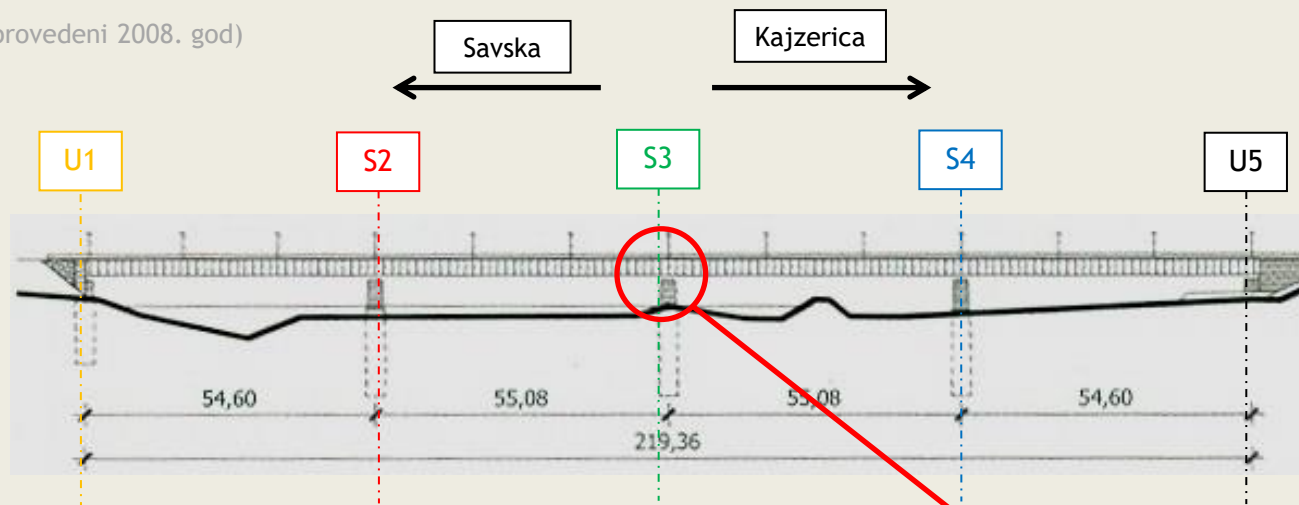
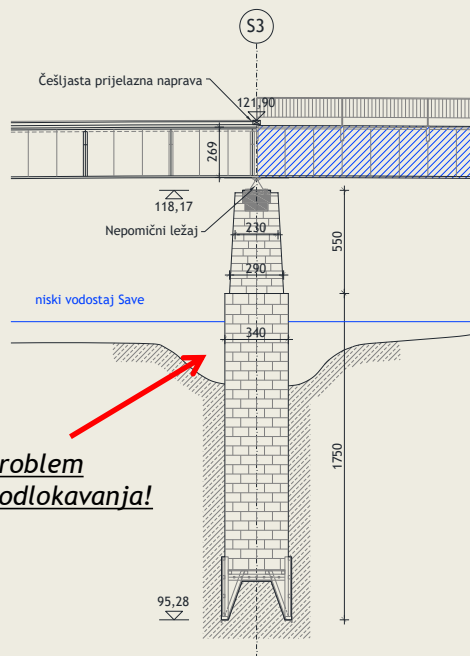
Pogled na prelaznu napravu od ispod



# ISTRAŽNI RADOVI

- Skupljanje i pregled dostupne izvorne projektne dokumentacije
- **Specijalistički vizualni pregled mosta**
- Istražni radovi na čeličnoj konstrukciji
- Istražni radovi na AB kolničkoj ploči (provedeni 2008. god)
- Istražni radovi na kamenim stupištima

## ➤ Pregled STUPIŠTA



*Rupe u stupištu (izvorno osmišljeno kao lokacija za postavljanje eksploziva i miniranje mosta)*

*Potrzan obložni lim na spoju kesona i stupa; (kao posljedica toga evidentno je ispiranje sljubnica morta između kamenih elemenata)*



# ISTRAŽNI RADOVI

- Skupljanje i pregled dostupne izvorne projektne dokumentacije
- Specijalistički vizualni pregled mosta
- **Istražni radovi na čeličnoj konstrukciji**
- Istražni radovi na AB kolničkoj ploči (provedeni 2008. god)
- Istražni radovi na kamenim stupištima

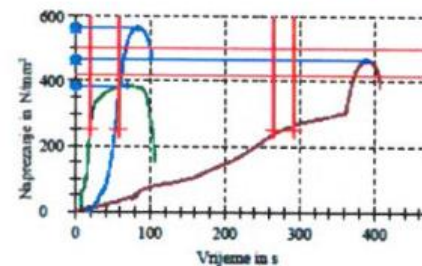
## ➤ Laboratorijska ispitivanja čeličnog materijala sa mosta

- Sa ciljem da se potvrdi kvaliteta čeličnog materijala ugrađenog u nosače, provedena su laboratorijska ispitivanja vlačnih svojstava te kemijskog sastava na epruvetama izrađenim od materijala izvađenog iz konstrukcije;
- Izrezana su dva uzorka - jedan sa pojasnice glavnog nosača u blizini ležaja, a drugi sa pojasnice poprečnog nosača
- Ispitivanja su potvrdila da je glavni nosač konstruiran od čelika S-275 (DIN - St-44), a poprečni od čelika kvalitete S-235 (DIN - St-37)



PODACI O UZOECIMA				VLAČNO ISPITIVANJE				Napomena
Legende	IGH br.	d <sub>0</sub> mm	Durchmesse mm	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>	R <sub>e</sub> N/mm <sup>2</sup>	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	A <sub>5</sub> %	
max					---	500		
min					250	420		
	1184	95	3,9	11,95	265	464	24,0	klizanje u čeljustima
	1184P	95	5,2	21,24	<232	<384	25,0	uključici u presjeku (ponovljeni uzorak)
	1185	15	5,9	27,34	340	>564	23,5	

Rezultati ispitivanja odnose se samo na ispitne uzorce.



IGH broj	KEMIJSKI SASTAV u %							
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ceq
1184	0,24	0,01	0,43	0,035	0,051	0,006	0,0042	0,321
1185	0,29	0,13	0,45	0,028	0,041	0,006	0,0051	0,350
Propisano za USt 42-2 prema DIN 17100 :59 (max.)	0,25 (0,27)	-	1,50	0,066	0,055	0,020	0,011	0,40

# ISTRAŽNI RADOVI

- Skupljanje i pregled dostupne izvorne projektne dokumentacije
  - Specijalistički vizualni pregled mosta
  - **Istražni radovi na čeličnoj konstrukciji**
  - Istražni radovi na AB kolničkoj ploči (provedeni 2008. god)
  - Istražni radovi na kamenim stupištima
- **Ultrazvučno ispitivanje zavora na pojasnicama glavnih nosača**
- Ispitivanjem je utvrđeno da su na osnovnom materijalu lima debljine 95 mm uočene mjestimične, uglavnom relativno manje, nehomogenosti na različitim dubinama (do najviše 5-6 mm), što međutim ne iznenađuje s obzirom na tadašnju tehnologiju proizvodnje limova,
  - na zavarenim spojevima lokalizirane su također manje nepravilnosti u materijalu na različitim dubinama za koje je procijenjeno da se radi o pogreškama kao što su plinski uključci ili čvrsti uključci, dok značajnije pogreške nisu uočene (pukotine ili pogreške vezivanja).



# ISTRAŽNI RADOVI

- Skupljanje i pregled dostupne izvorne projektne dokumentacije
- Specijalistički vizualni pregled mosta
- Istražni radovi na čeličnoj konstrukciji
- **Istražni radovi na AB kolničkoj ploči (provedeni 2008. god)**
- Istražni radovi na kamenim stupištima

## ➤ ISTRAŽNI RADOVI NA AB KOLNIČKOJ PLOČI I PJEŠAČKIM STAZAMA

- Ispitivanje proveo IGH 2008. god.;
- Provedena su sljedeća ispitivanja:
  - Vizualni pregled konstrukcije
  - Ispitivanje tlačne čvrstoće i prodora klorida na uzorcima valjaka izvađenih iz kolničke konstrukcije i sa pješačkih staza
- Zaključak ispitivanja → **nužna hitna sanacija na način da se ukloni kompletna postojeća i izvede nova AB konstrukcija kolnika i pješačkih staza!!!**



6. mj. 2019. god.; propala pješačka staza na mostu

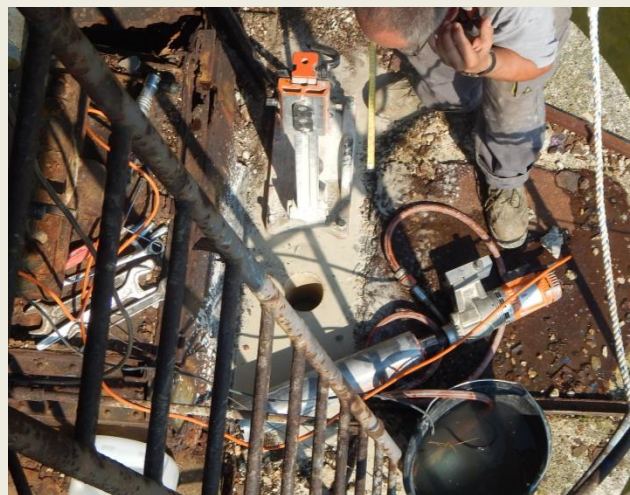


# ISTRAŽNI RADOVI

- Skupljanje i pregled dostupne izvorne projektne dokumentacije
- Specijalistički vizualni pregled mosta
- Istražni radovi na čeličnoj konstrukciji
- Istražni radovi na AB kolničkoj ploči (provedeni 2008. god)
- **Istražni radovi na kamenim stupovima**

## ➤ ISTRAŽNI RADOVI NA KAMENIM STUPOVIMA

- Sa ciljem da se utvrdi sastav, odnosno profil kamenih stupova u pogledu jesu li stupovi u cijelosti zidani od kamenih elemenata ili imaju zidani vanjski obod, a iznutra ispunu, izvršene su ukupno četiri istražne bušotine.
- Istražnim bušotinama je utvrđeno da su stupovi konstruirani i sazidani u cijelosti kao kameno zidano zide, od kamena pješčenjaka, povezano cementnim mortom. Prilikom rekonstrukcije mosta 1939. god., šire fuge između kamenih elemenata su vjerojatno ispunjene betonom kako bi se stup bolje monolitizirao. Vertikalnom bušotinom, u blizini ležaja na stupu S2, utvrđeno je da su ispod ležajeva izvedeni armiranobetonski kvadri dubine ~70 cm. Oko tih AB blokova izvedeno je kameno zide međusobno povezano cementnim mortom.







# PROJEKT SANACIJE

- SANACIJA RASPONSKE KONSTRUKCIJE
- SANACIJA UPORNJAKA I STUPA S4 U SAVSKOJ INUNDACIJI
- SANACIJA STUPOVA S2 I S3 U KORITU SAVE

## Radovi uklanjanja

- Demontaža i uklanjanje sve opreme na mostu (klupe za sjedenje, rasvjetni stupovi, ograda na mostu, instalacije koje se provode preko mosta)
- Demontaža granitnih rubnjaka
- Demontaža i uklanjanje svih čeličnih dilatacijskih naprava
- Rušenje i uklanjanje AB kolničke ploče i pješačkih staza
- Demontaža i uklanjanje svih sekundarnih uzdužnih čeličnih nosača (IPN 340)
- Izrezivanje i uklanjanje korodiranih čeličnih poprečnih nosača iznad upornjaka
- Izrezivanje i uklanjanje postojećeg čeličnog vijenca i konzola

## Radovi na čeličnoj konstrukciji

- Izvedba moždanika na gornjoj pojasnici glavnih nosača tehnikom zavarivanja 'pištoljem'
- Izvedba i montaža novih poprečnih nosača iznad upornjaka
- Izvedba i montaža novih sekundarnih uzdužnih nosača (IPN 340)
- Izvedba i montaža novog čeličnog vijenca (ujedno i nosača pješačke staze)
- Obnova AKZ

## Izmjena ležajeva

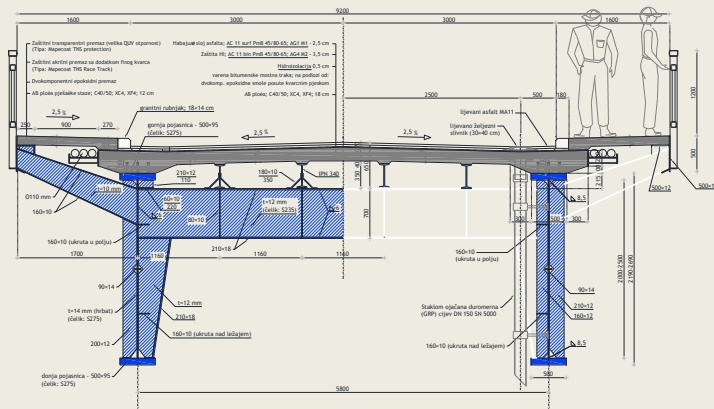
- Uklanjanje starih ležajeva i ugradnja novih na upornjacima I stupištima
- U sklopu radova na izmjeni ležajeva uključeni su i izvedba privremenih oslonaca za odizanje konstrukcije te uklanjanje postojećih i izvedba novih AB ležajnih kvadara.

## Kolnička konstrukcija i pješački hodnici

- Izvedba nove AB spregnute ploče po fazama betoniranja
- Izvedba hidroizolacije na mostu koja uključuje temeljni premaz na bazi epoksida te hiroizolaciju bitumenskim trakama.
- Montaža i ugradnja slivnika za otvoreni sustav odvodnje na mostu
- Montaža i izvedba granitnih rubnjaka
- Izvedba zaštite hidroizolacije (nosivi sloj asfalta)
- Izvedba habajućeg sloja asfalta
- Izvedba AB pješačkih staza
- Izvedba i montaža nove pješačko - biciklističke čelične ograde
- Montaža stupova javne rasvjete
- Izvedba horizontalne i vertikalne prometne signalizacije
- Montaža klupa za sjedenje

## Izvedba novih prijelaznih naprava

- Izvedba i montaža novih čeličnih češljastih prijelaznih naprava



# PROJEKT SANACIJE

- SANACIJA RASPONSKE KONSTRUKCIJE
- SANACIJA UPORNJAKA I STUPA S4 U SAVSKOJ INUNDACIJI
- SANACIJA STUPOVA S2 I S3 U KORITU SAVE

## KONTROLNI STATIČKI PRORAČUN KONSTRUKCIJE

### ANALIZA OPTEREĆENJA

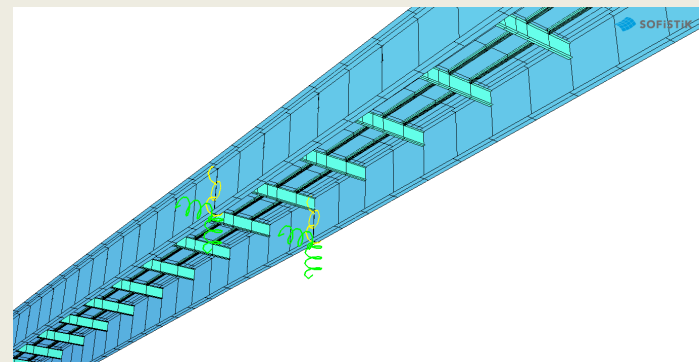
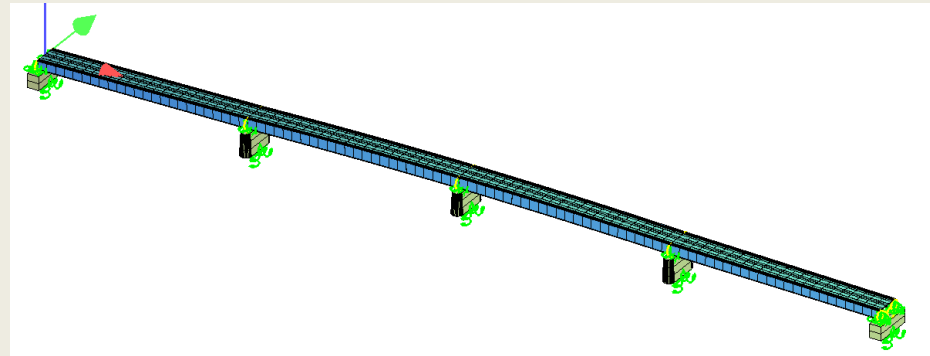
- Vlastita težina i dodatno stalno opterećenje
- Puzanje i skupljanje betona (uzete u obzir faze betoniranja kolničke ploče)
- Prometno opterećenje (Pješačko opterećenje; vozilo mase 30 tona);
- Temperatura
- Vjetar
- Potres

### STATIČKI PRORAČUN

- Sa ciljem analize reznih sila, naprezanja, progiba, ležajnih reakcija i dr., proračunat je numerički model konstrukcije mosta metodom konačnih elemenata u računalnom programu 'Sofistik'

### DIMENZIONIRANJE

- Provjera mehaničke otpornosti i stabilnosti glavnog nosača prema HRN EN 1993-1-5
- Provjera naprezanja u armaturi i betonu
- Proračun moždanika
- Proračun AB ploče u poprečnom smjeru
- Proračun pješačkih stata
- Proračun ležajeva
- Proračun prijenosnika udara
- Kontrola progiba konstrukcije
- Proračun poprečnih nosača
- Proračun sekundarnih uzdužnih nosača
- Proračun vijenaca
- Proračun stupova ograde







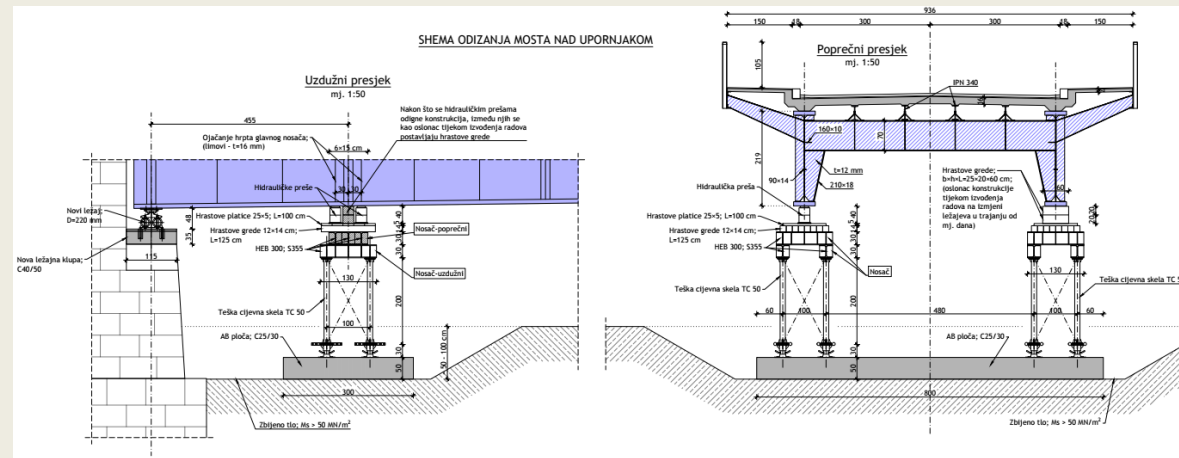
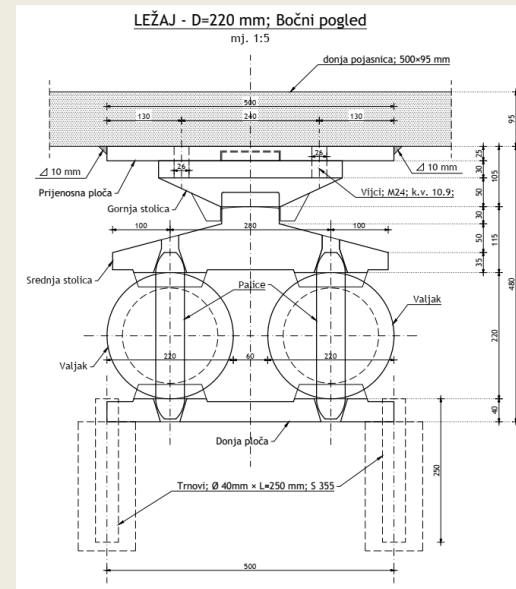




# PROJEKT SANACIJE

- SANACIJA RASPONSKE KONSTRUKCIJE
- SANACIJA UPORNJAKA I STUPA S4 U SAVSKOJ INUNDACIJI
- SANACIJA STUPOVA S2 I S3 U KORITU SAVE

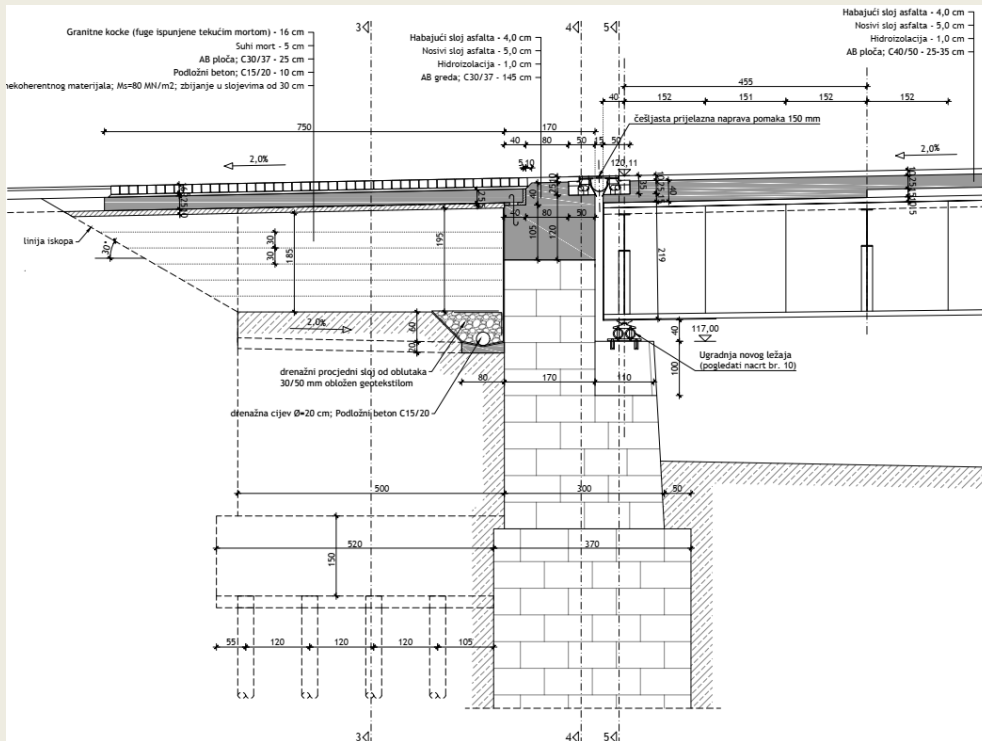
## ➤ DETALJI RJEŠENJA SANACIJE - ZAMJENA LEŽAJEVA



# PROJEKT SANACIJE

- SANACIJA RASPONSKE KONSTRUKCIJE
- SANACIJA UPORNJAKA I STUPA S4 U SAVSKOJ INUNDACIJI
- SANACIJA STUPOVA S2 I S3 U KORITU SAVE

## ➤ DETALJI RJEŠENJA SANACIJE - SHEMA SANACIJE UPORNJAKA





# IZVOĐENJE

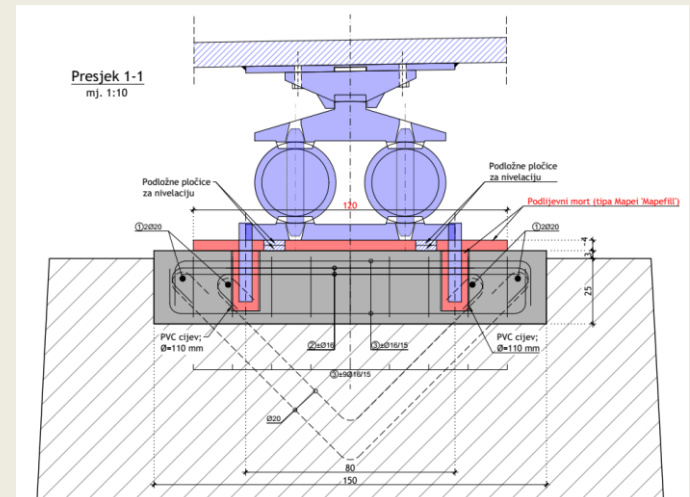
- RADOVI UKLANJANJA
- SANACIJA ČELIČNE KONSTRUKCIJE



01.03.2021. - Uklonjena AB konstrukcija, sekundarni uzdužni nosači, konzole i vijenci



Uklonjen ležaj na stupu S4 i ležajni kvadar;  
Ostavljena armatura za spoj sa novom armaturom



# IZVOĐENJE

- RADOVI UKLANJANJA
- SANACIJA ČELIČNE KONSTRUKCIJE



**01.06.2021. - radovi na čeličnoj konstrukciji**

- Ispjeskarena konstrukcija
- AKZ zaštita - Nanesen temeljni premaz na bazi epoksida; ukupna debljina AKZ zaštite je 240 mikrona; završni premaz je na bazi poliuretana
- Zavareni moždanici (i testirani na savijanje)
- Zavareni novi poprečni nosači nad upornjacima
- Zavareni novi sekundarni uzdužni nosača (IPN 340)

**HVALA NA PAŽNJI!!!**

