



HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA
Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva 2020.

Most Pelješac – izrada i montaža čelične rasponske konstrukcije iz aspekta nadzora

Zoran Trogrlić

Zoran Trogrlić, dipl.ing.građ., Institut IGH d.d., Zagreb

A 3D architectural rendering of the Pelješac Bridge, a long cable-stayed bridge spanning a large body of water. The bridge features multiple tall, white, A-frame pylons supporting the deck with numerous stay cables. The bridge extends into the distance, curving slightly to the right. The background shows a range of green, hilly mountains under a clear sky.

Sadržaj

1. Općenito o mostu Pelješac
2. Radionička izrada čelične rasponske konstrukcije
3. Montaža čelične konstrukcije

Most Pelješac

- Investitor: **HRVATSKE CESTE d.o.o.**
- Građevina: **MOST PELJEŠAC** – ekstrados most sa kosim zategama
- Projektant: **Poslovna udruga (Joint Venture):**
GRAĐEVINSKI FAKULTET –
Sveučilište u Zagrebu
PONTING Inženirski biro d.o.o. Maribor
PIPENBAHER INŽENIRJI d.o.o. Slovenska Bistrica
- Autori projekta: **Marjan PIPENBAHER, univ. dipl. ing. građ.**
Prof. dr. sc. Jure RADIĆ, dipl. ing. građ.
- Glavni projektant: **Marjan PIPENBAHER, univ. dipl. ing. građ.**
- Revidenti: **Poslovna udruga nezavisnih revidenata**
ICE Geodata Tunel d.o.o. – COWI A/S, Danska
+Ramboll A/S Danska (IP)
- Sufinanciranje: 85 % iz Europskog fonda za regionalni razvoj
15 % nacionalnim sredstvima



ORGANIZACIJSKA SHEMA NADZORA

Stručnjak 1

VODITELJ TIMA INŽENJERA (Đuro Mihalić, dipl. ing. građ.)

GEODEZIJA

TEMELJENJE MOSTA

**ARMIRNOBETONSKA
KONSTRUKCIJA**

**ČELIČNA
KONSTRUKCIJA**

PRISTUPNA CESTA

**ELEKTROTEHNIČKI
RADOVI**

ZAŠTITA NA RADU

Stručnjak 2

NADZORNI INŽENJER ZA
GEODETSKE RADOVE NA
GRADILIŠTU

**Borna Gradečak
dipl.ing.geod.**

Stručnjak 5

NADZORNI INŽENJER ZA
GEOTEHNIČKE RADOVE I
TEMELJENJE

Ivo Barbalić dipl.ing.građ.

Stručnjak 6

NADZORNI INŽENJER ZA
ARMIRNOBETONSKE
RADOVE

**Tomislav Jelavić
dipl.ing.građ.**

Stručnjak 8

NADZORNI INŽENJER ZA
IZRADU I AKZ ČELIČNE
KONSTRUKCIJE I PILOTA U
PROIZVODNIM POGONIMA

**Dragomir Đaković,
CIWE/IWI-C**

Stručnjak 11

NADZORNI INŽENJER ZA
IZGRADNJU CESTE,
ASFALTOG KOLNIKA
MOSTA, PRATEĆIH OBJEKATA
I INSTALACIJA

Nikica Korda dipl.ing.građ.

Stručnjak 12

NADZORNI INŽENJER ZA
ELEKTROTEHNIČKE RADOVE

Zlatko Bušić dipl.ing.el.

Stručnjak 13

KOORDINATOR ZAŠTITE NA
RADU

**Vedran Kosović
mag.ing.aedif.**

Stručnjak 3

NADZORNI INŽENJER ZA
GEODETSKE RADOVE NA
GRADILIŠTU

Darko Miletić dipl.ing.geod.

Stručnjak 7

NADZORNI INŽENJER ZA
ARMIRNOBETONSKE
RADOVE

Stipe Kristić dipl.ing.građ.

Stručnjak 9

NADZORNI INŽENJER ZA
MONTAŽU I AKZ ČELIČNE
KONSTRUKCIJE

Zoran Trogrlić dipl.ing.građ.

Stručnjak 4

NADZORNI INŽENJER ZA
GEODETSKE RADOVE U
PROIZVODNIM POGONIMA

Vlado Župarić dipl.ing.geod.

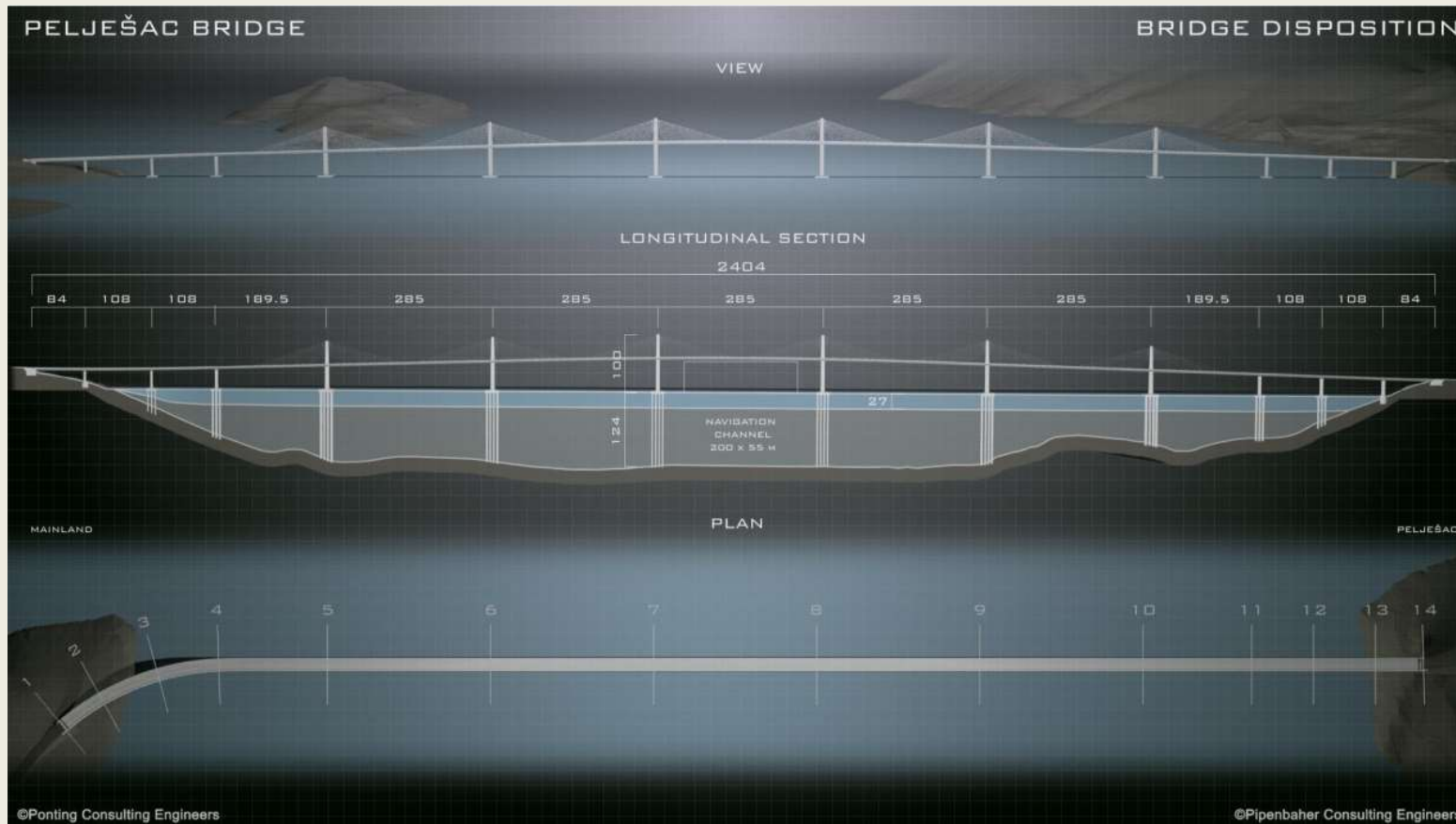
Stručnjak 10

NADZORNI INŽENJER ZA
PROIZVODNJU I UGRADNJU
SUSTAVA OVJEŠENJA

Ranko Lončar dipl.ing.građ.

Glavne značajke i specifičnosti lokacije mosta

- duljina mosta od osi do osi upornjaka iznosi **2404 m**
- **13 raspona:** 84,0+108,0+108,0+189,5+5x285,0+189,5+108,0+108,0+84,0 m
- slobodni plovni profil, usuglašen sa BiH, iznosi **200 x 55 m**
- dubina mora je prilično stalna i iznosi **27 m**

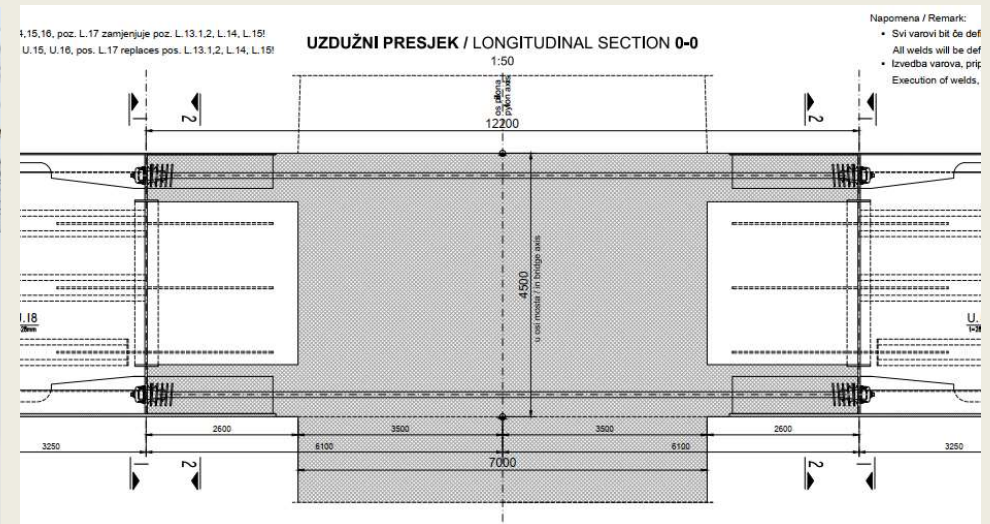
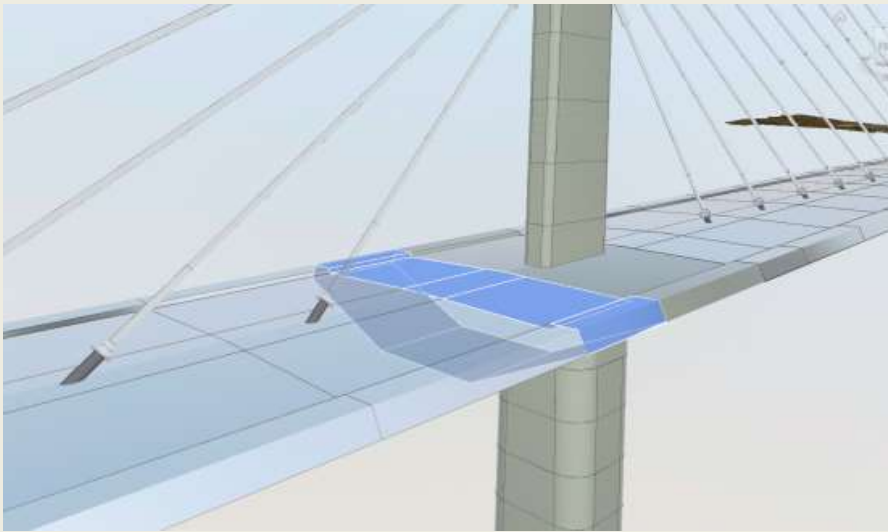


- most je smješten u zoni visoke seizmičke aktivnosti, s projektним ubrzanjem tla na razini čvrste stijene **0,34 g**, i zahtijevanim proračunskim ubrzanjem **0,54 g**
- lokacija mosta podložna je jakim vjetrovima, s referentnom brzinom vjetra **34 m/s**
- zahtjevni geološko – geotehnički uvjeti. Kompaktna stijena nalazi se na dubini do 80 m ispod morskog dna, što rezultira iznimno zahtjevnim temeljenjem na pilotima duljine do **130 m**.



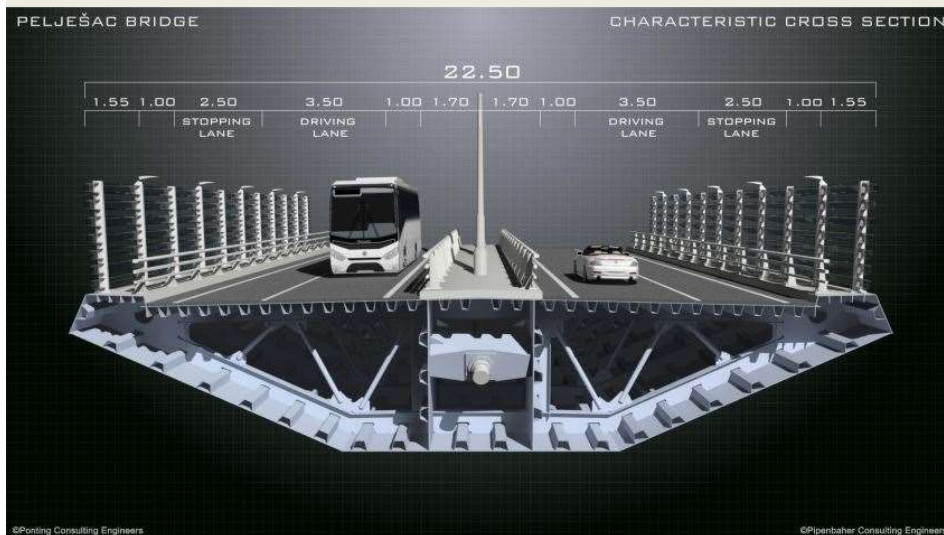
Konstruktivski koncept

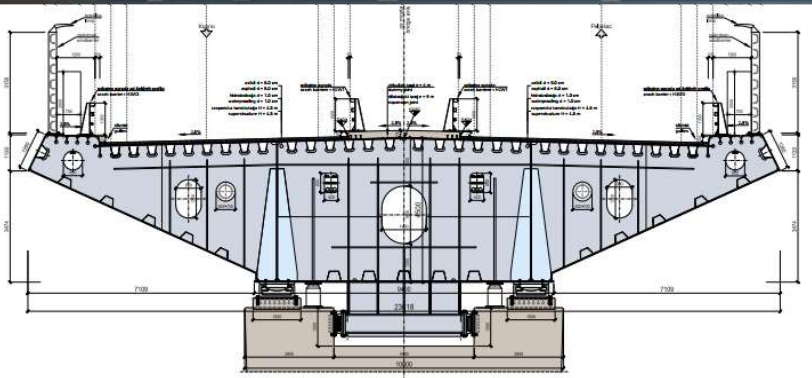
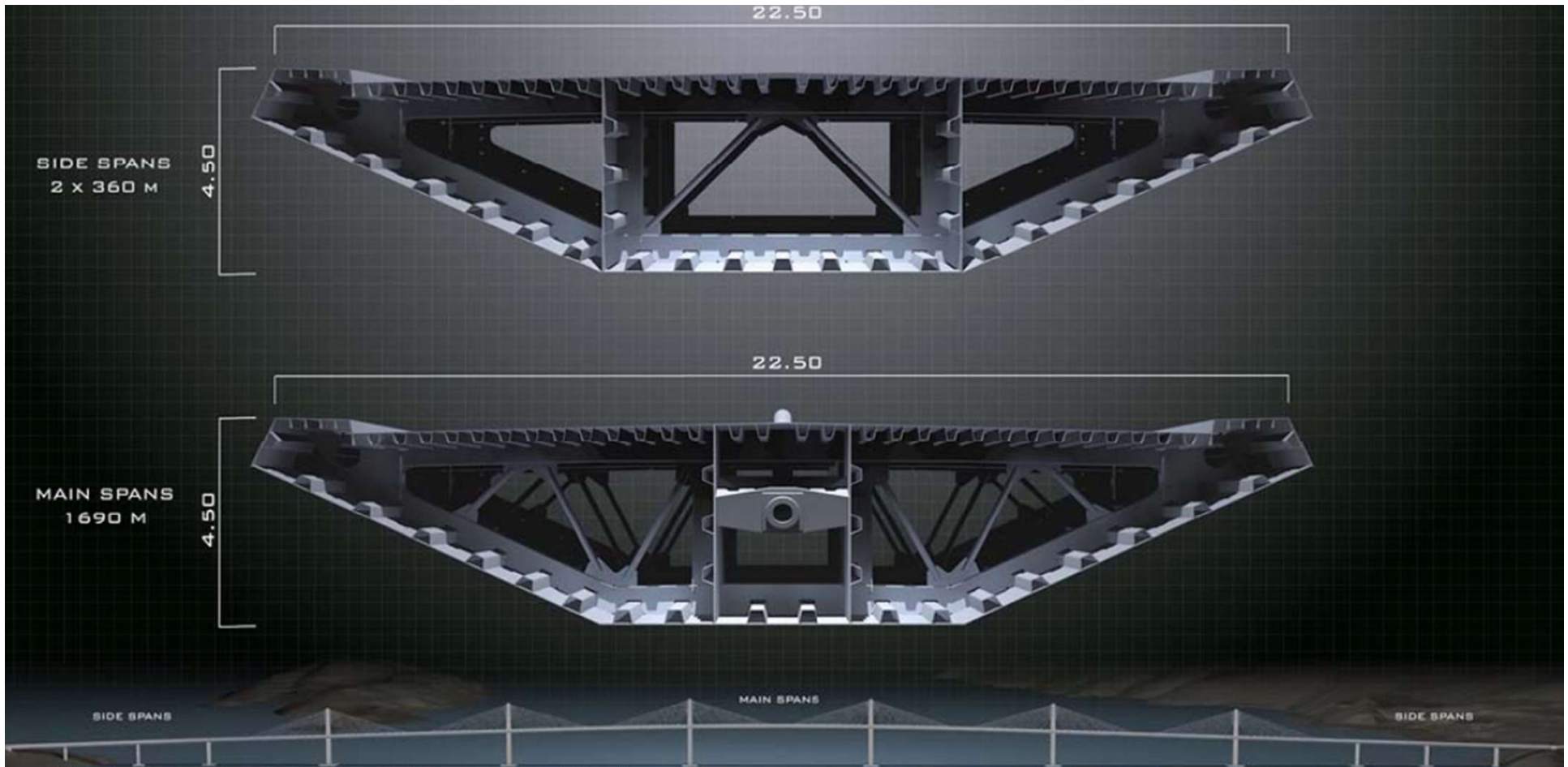
- **integralna hibridna konstrukcija s kosim zategama** prednapetog po **ekstradosu** (multi-span cable-stayed bridge)
- omjer visine pilona i raspona je **0,14** (40/285 m) što most svrstava na granicu između ovješanih i ekstrados mostova
- ovješena rasponska konstrukcija i centralno postavljeni AB piloni su elastično upeti u stupove tako da je središnjih 1804 m (75 %) mosta integralna – okvirna konstrukcija bez ležajeva, što osigurava dodatnu stabilnost mosta u slučaju potresa i udara vjetra bez ugradnje velikih ležajeva i seizmičkih prigušivača (ležajevi su predviđeni samo na krajnjim, standardnim kontinuiranom rasponima, na upornjacima i stupovima S2-S4 i S11-S13)



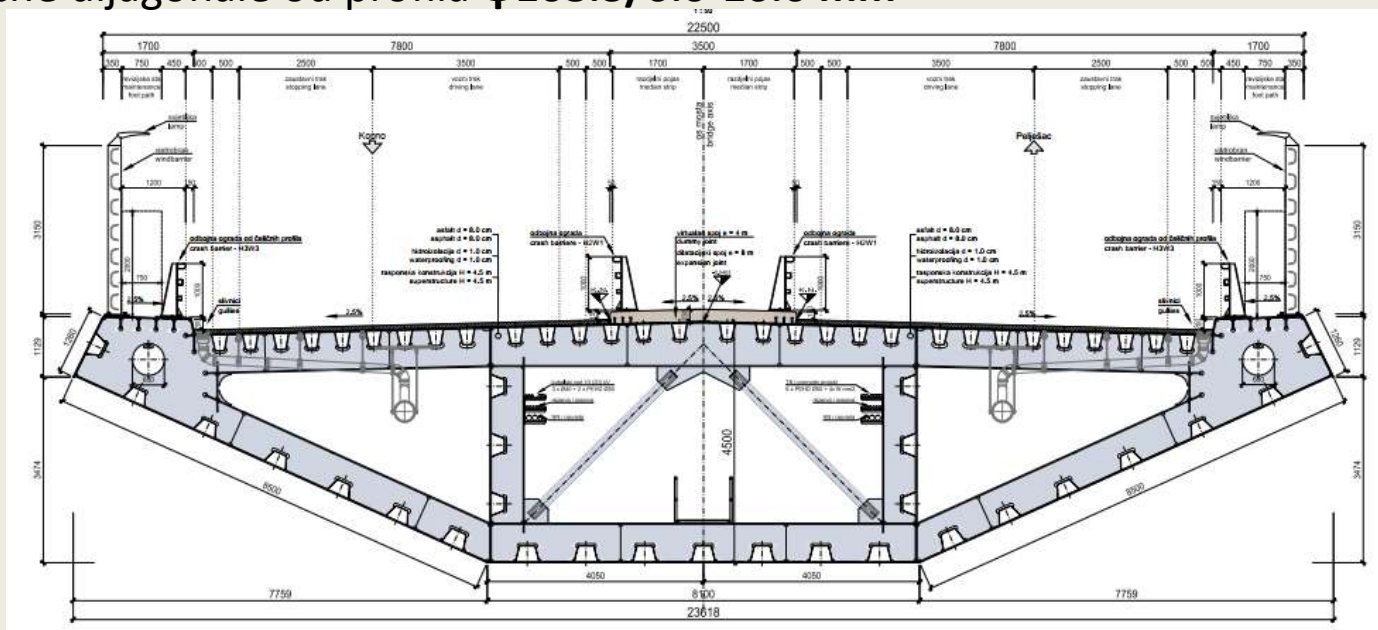
Čelična rasponska konstrukcija

- čeličnu rasponsku konstrukciju čini troćelijasti sanduk širine **22,50 m**
- kolnička ploča je ortotropna, donji pojas je horizontalan
- donju plohu zatvaraju dva bočna kosa hrpta pod kutem od **24°**
- ukupna visina sanduka u osi mosta iznosi **4,50 m**
- u sredini je razdjelni pojas širine **3,50 m** sa čeličnim odbojnim ogradama
- na rubnim dijelovima je predviđena odbojna ograda i ograda za zaštitu od vjetra
- asfaltna ploha je širine **2 x 7,80 m** i ima dvostrešni poprečni pad **2,5 %**





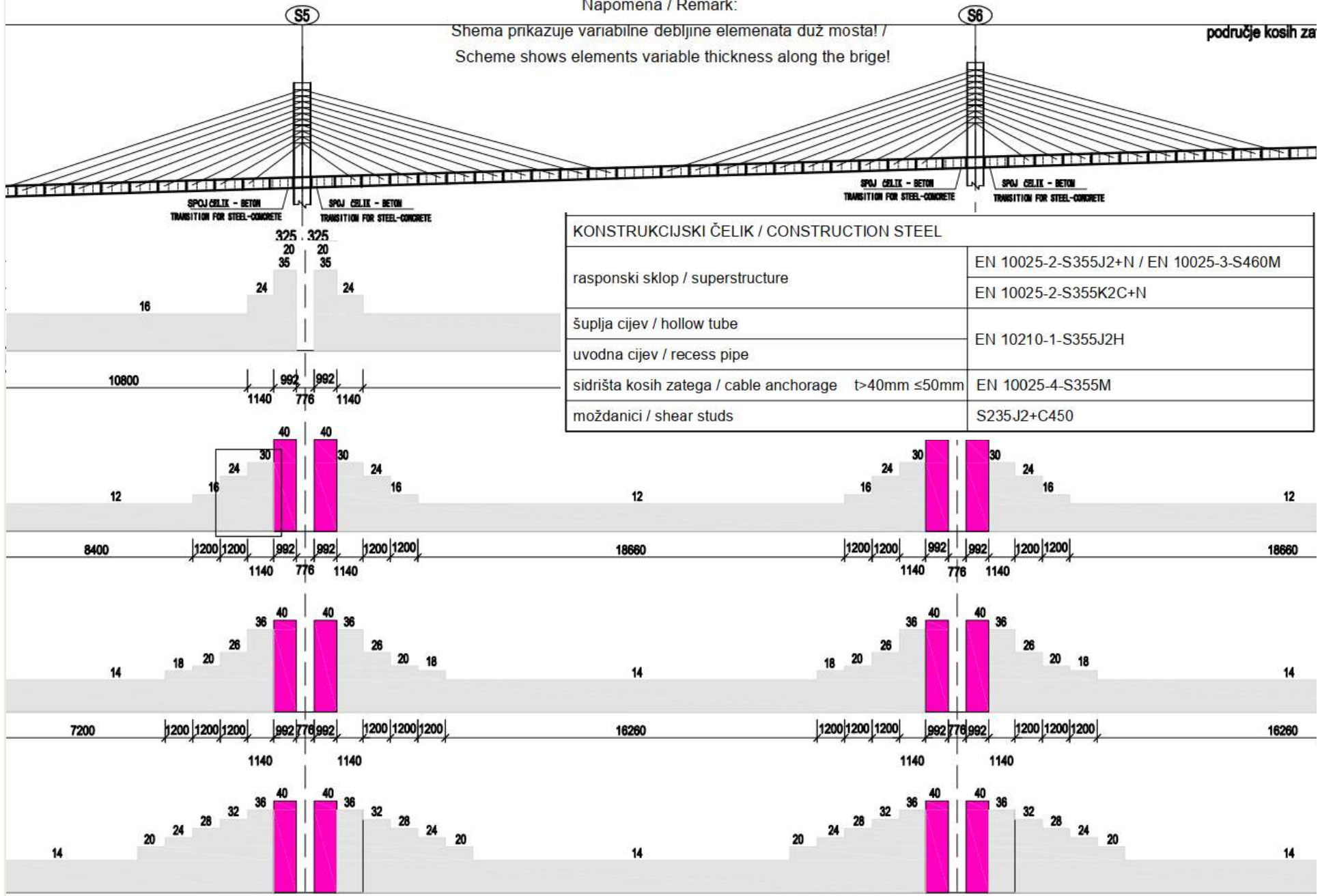
- lim kolnika u području kosih zatega (središnje ćelije) je min. debljine **20 mm**, u rubnim ćelijama **14 mm** i podebljava se na **25 mm** u području spoja na betonski dio kolničke konstrukcije
- rebra kolničke ploče su zatvorena sandučasta ukrućenja debljine **6 i 8 mm**
- donji pojas sanduka je lim min. debljine **14 mm** (rubni dio) i **18 mm** (središnja ćelija) koji se postepeno podebljava na **40 mm**, također ukrućen sa uzdužnim sandučastim ukrućenjima debljine **6 i 12 mm**
- kosi hrptovi su min. debljine **12 mm** i podebljavaju se postepeno na **40 mm**
- lim vertikalnih hrptova unutrašnje ćelije je od 18 do 35 mm
- vlačne dijagonale od profila **φ168.3/6.0-16.0 mm**



Napomena / Remark:

Shema prikazuje varijabilne debljine elemenata duž mosta! /
 Scheme shows elements variable thickness along the bridge!

područje kosih za

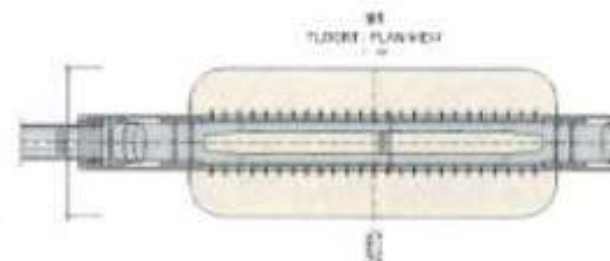
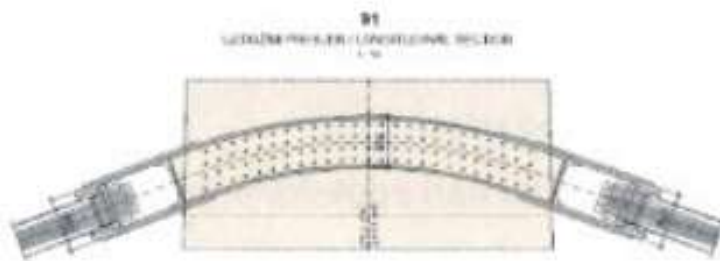


KONSTRUKCIJSKI ČELIK / CONSTRUCTION STEEL	
rasponski sklop / superstructure	EN 10025-2-S355J2+N / EN 10025-3-S460M
šuplja cijev / hollow tube	EN 10025-2-S355K2C+N
uvodna cijev / recess pipe	EN 10210-1-S355J2H
sidrišta kosih zatega / cable anchorage	t>40mm ≤50mm EN 10025-4-S355M
moždanci / shear studs	S235J2+C450

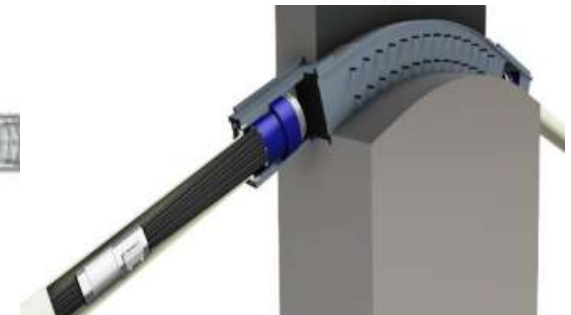


Kose zatege

- kose zatege su osnovni konstrukcijski i nosivi element mosta
- izvode se od paralelnih strukova (n=55-109) nazivne površine $A = 1.50 \text{ cm}^2$ što daje vanjski promjer zaštitnih cijevi **200-315 mm**
- čelične žice su od materijala Y 1860 S7-16.0-A, prema HRN EN 10138-3, garantirane čvrstoće od **1860 MN/m²**, zaštićene polietilenskim cijevima visoke gustoće (HDPE)
- zbog relativno malih nagiba kosih zatega ($15.5^\circ - 48.4^\circ$) predviđeno je da se na pilonima kose zatege sidre u posebnim sedlima koja omogućavaju zamjenu pojedinačnih strukova ili kompletne zatege



Sidranje zatega u pilonu



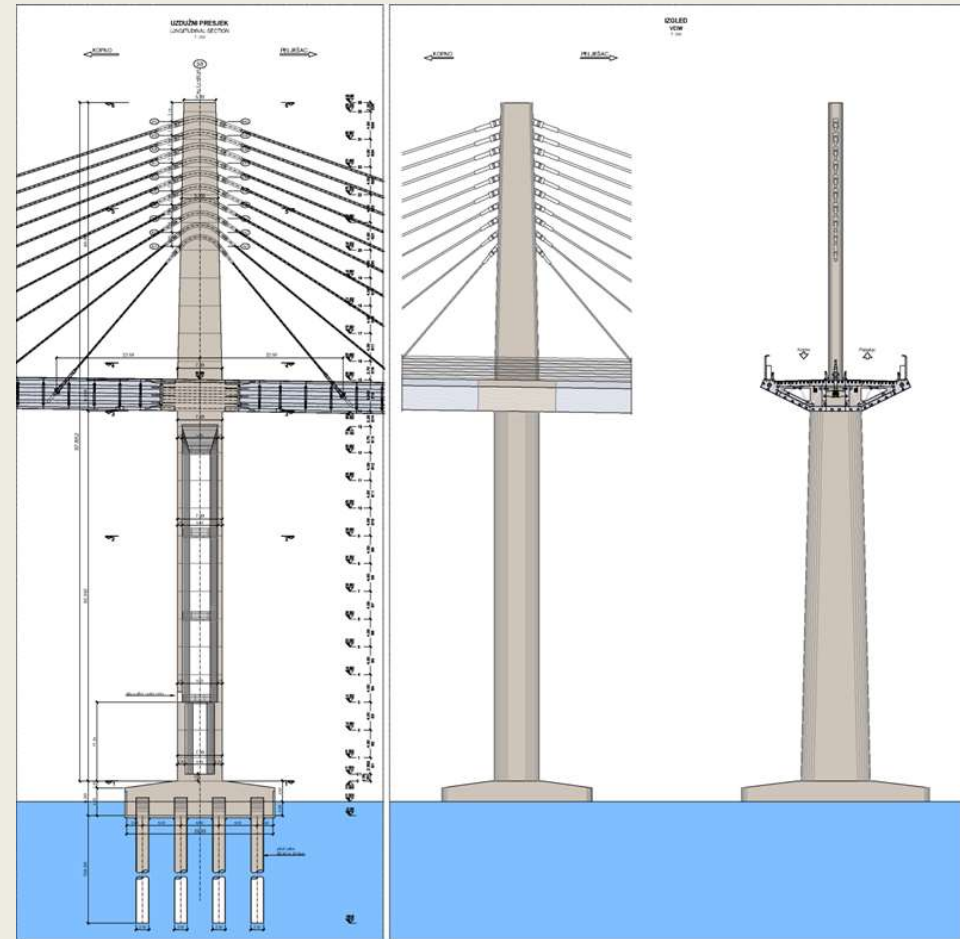
Kose zatege

Zaštita od korozije pojedinačnih strukova osigurana je pomoću dvije komplementarne barijere:

1. Unutarnja barijera - pocinčana prevlaka strukova
2. Vanjska barijera – sastoji se od vanjske ovojnice i medija između ovojnice i unutarnje barijere. Vanjska barijera mora biti potpuno hermetički zatvorena i vodonepropusna. Osim toga, srednji medij (punilo od voska na bazi petroleja) mora spriječiti dostup svake vode ili vlage koja bi mogla ući kroz vanjsku barijeru

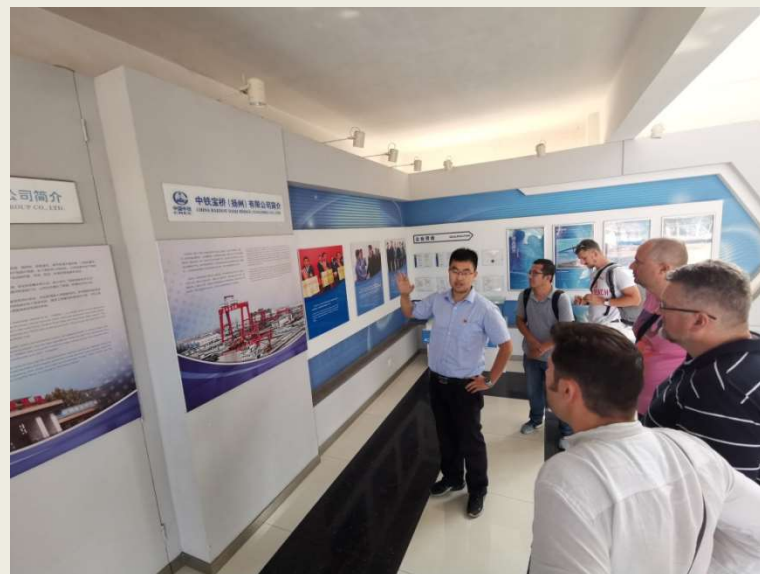
Na svim kosim zategama dužine > 80 m predviđena je ugradnja hidrauličkih prigušivača vibracija (duljine zatega su 32-137 m).

Projektirani životni vijek kosih zatega: **100 godina**

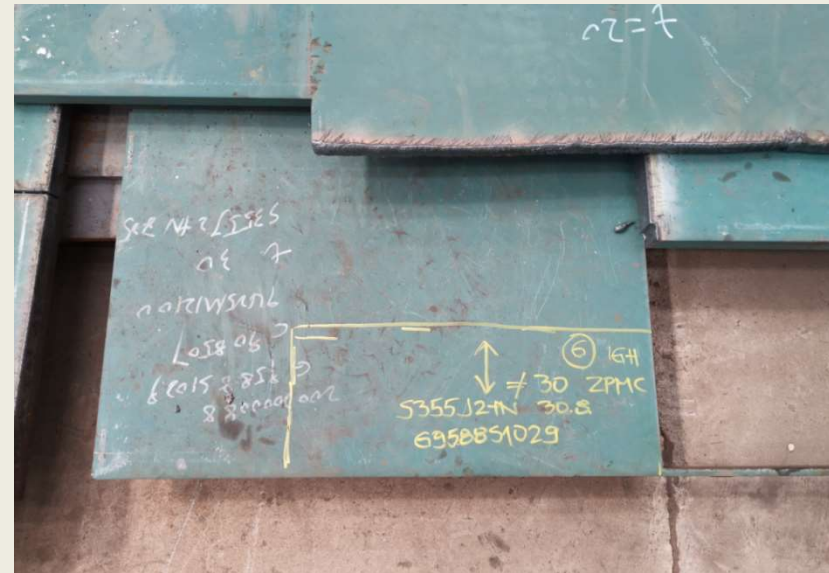


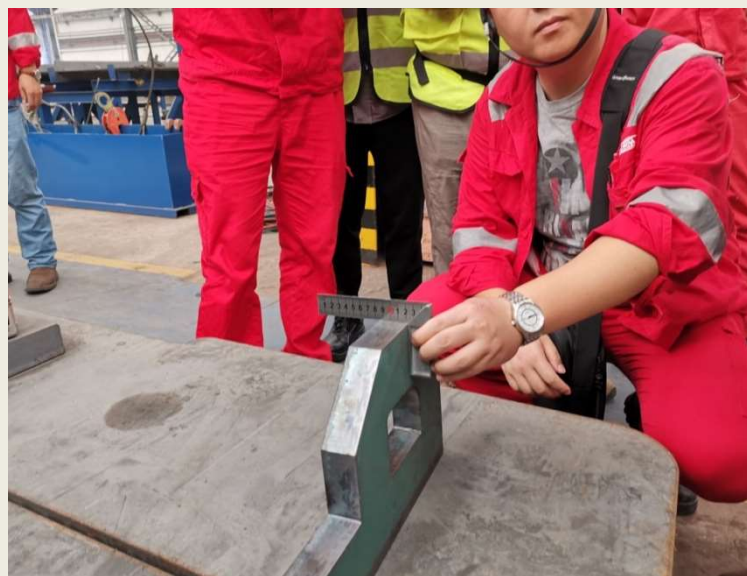
Radionička izrada čelične rasponske konstrukcije

- ZPMC (Shanghai Zhenhua Heavy Industries Co., Ltd.), Nantong
 - godišnji kapacitet proizvodnje čeličnih konstrukcija: 400 000 t
- CRBBG (China Railway Baoji Bridge Group Co., Ltd.), Shaanxi
 - godišnji kapacitet proizvodnje čeličnih konstrukcija: 200 000 t



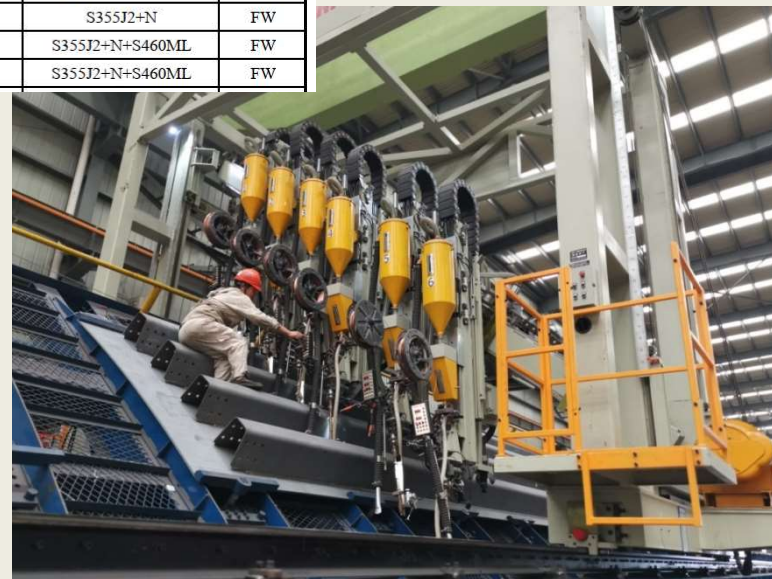






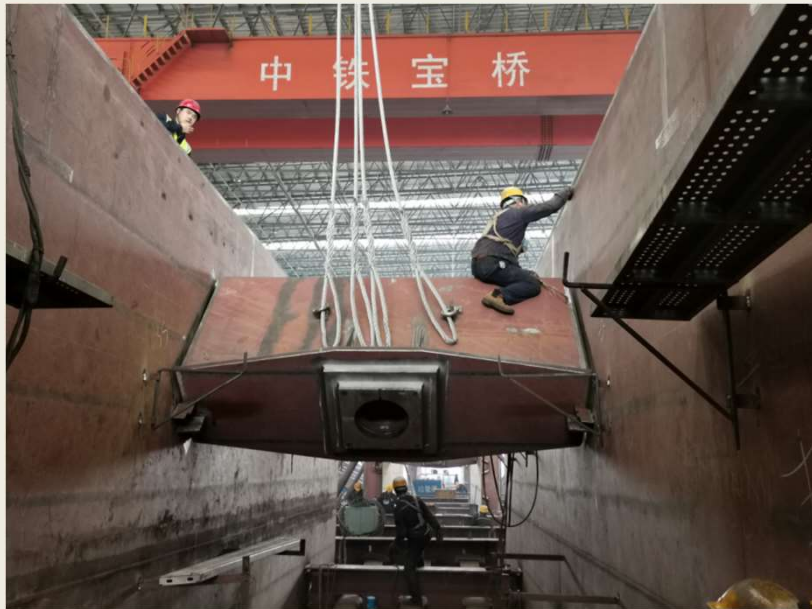


Thickness (mm)	Process	Position	Material	Joint Type
20	136	All position (except PG)	S355J2+N	V BW
50	135+136	All position (except PG)	S355J2+N	V BW
50	135+136	All position (except PG)	S460ML	V BW
12	136	All position (except PG)	S355J2+N	V BW
20	135+121	PA	S355J2+N	V BW
30	136+121	PA	S460ML	V BW
50	136	All position (except PG)	S355J2+N+S460ML	V BW
50	135+121	PA	S355J2+N+S460ML	V BW
6+30	136	PA/PB/PD	S355J2+N	FW
8+50	135+136	PA/PB/PD	S355J2+N+S460ML	FW
10+50	135+121	PA	S355J2+N+S460ML	FW



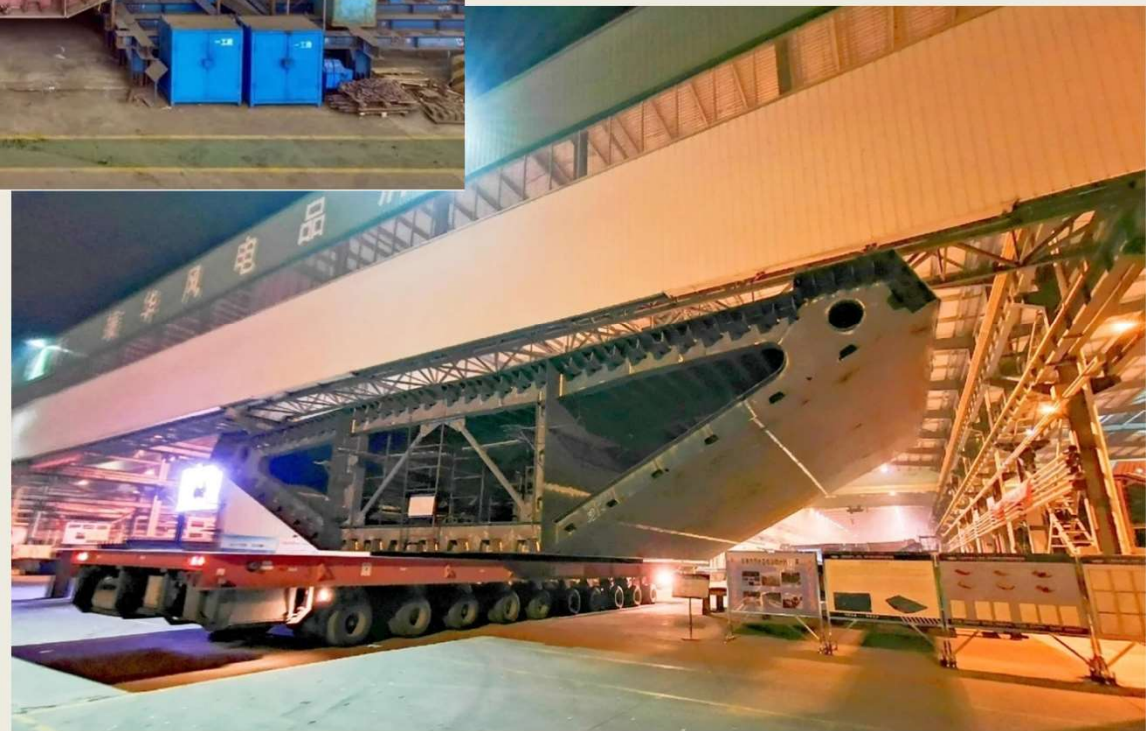
Probna predmontaža u pogonima



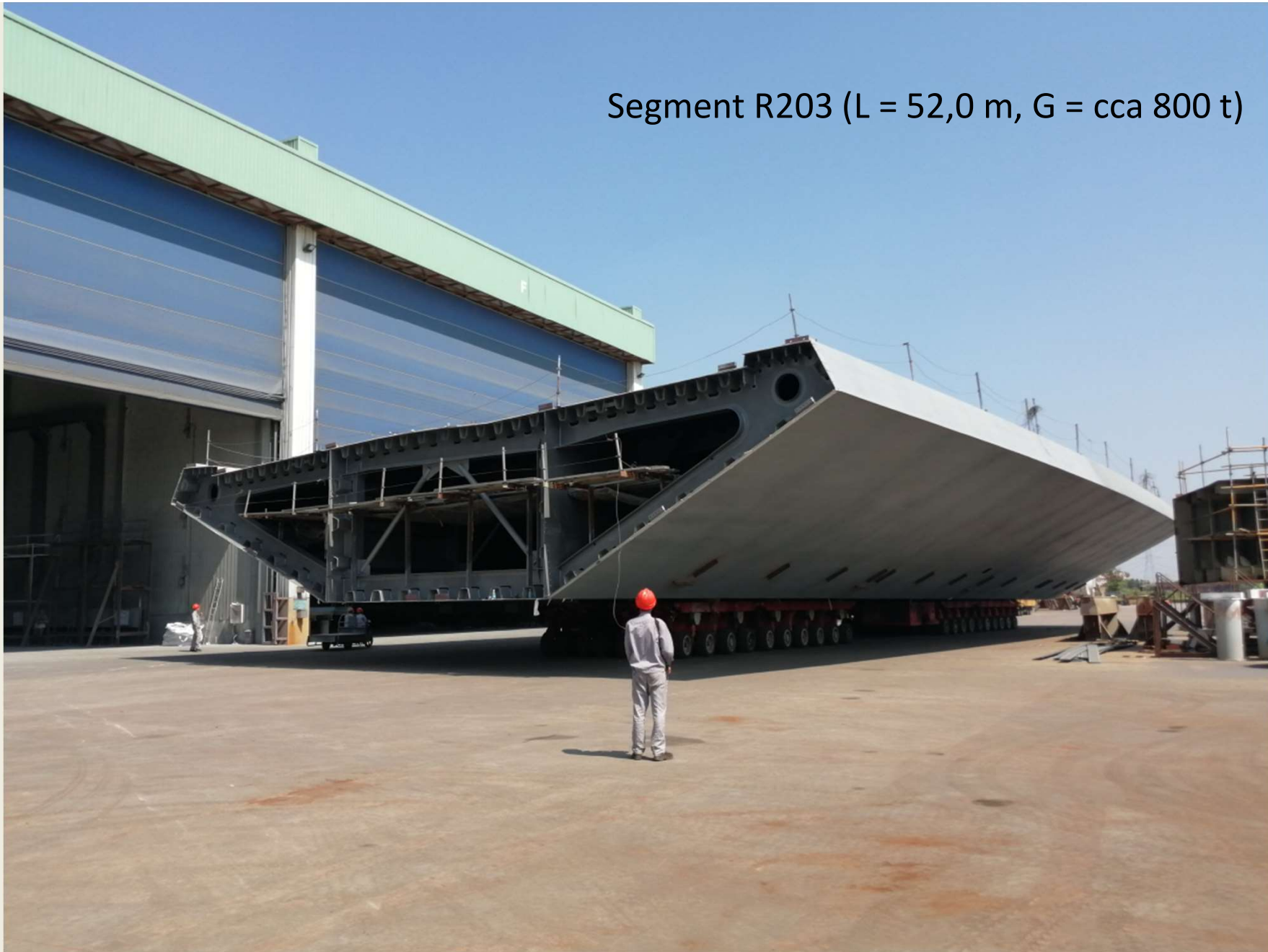




Segmenti dužine od 9.9 - 56 m
u punoj širini presjeka



Segment R203 (L = 52,0 m, G = cca 800 t)

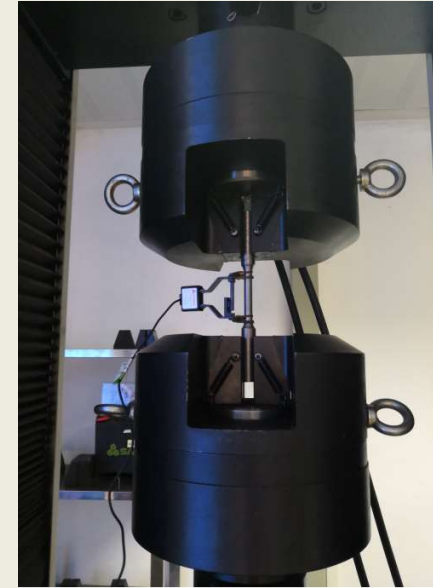


Kontrolna ispitivanja mehaničkih svojstava čelika:

- vlačna ispitivanja
- ispitivanja žilavosti
- ispitivanja „Z” svojstava čelika
- ispitivanje kemijskog sastava
- mikrografsko ispitivanje sadržaja nemetalnih uključaka

Kontrolna ispitivanja zavarenih spojeva:

- ispitivanja zavarenih spojeva penetrantima
- Ispitivanja zavarenih spojeva ultrazvukom
- ispitivanja zavarenih spojeva radiografijom
- ispitivanje zavarenih spojeva utvrđivanjem tvrdoće
- radne probe



NDT - kontrolna ispitivanja (VT, MT, UT)





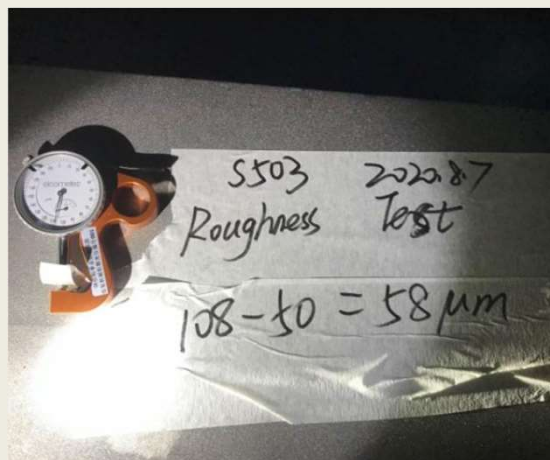
Zaštita od korozije čelične konstrukcije (u skladu s ZTV-ING):

Vanjska zaštita (C5-M, > 25 godina, EP-2kPUR):

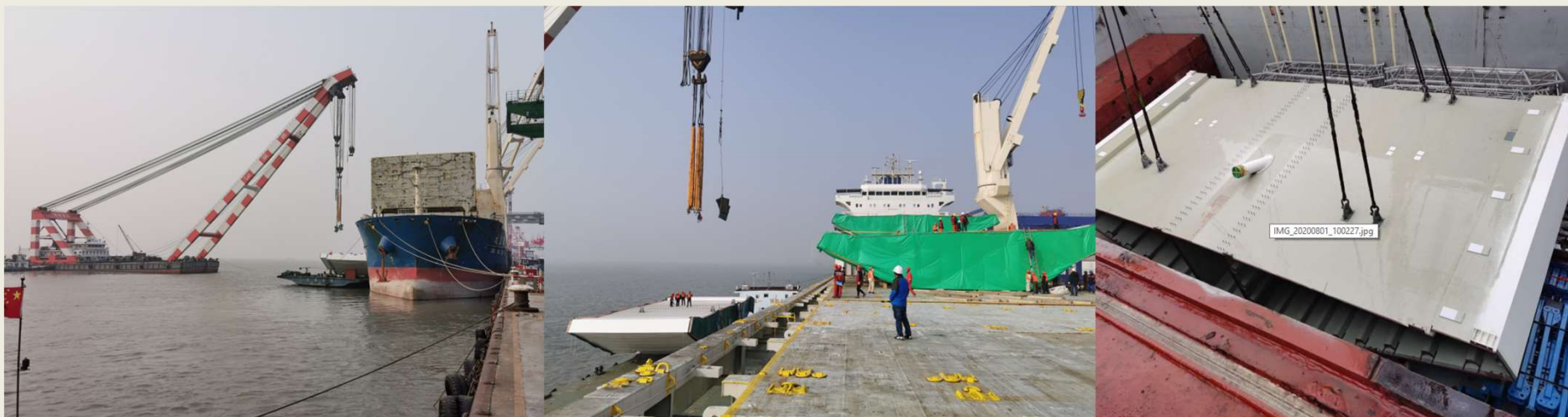
- temeljni premaz 70 μm
- međusloj 2 x 80 μm
- završni 70 μm (RAL 9003, signal white)

Unutarnja zaštita (430 μm , > 40 godina):

- temeljni premaz 70 μm
- međusloj 2 x 120 μm
- završni 120 μm



Transport prekoocenskim brodovima u trajanju 30-45 dana



I isporuka - 29 segmenata (~316 m')

II isporuka (isporuka u tijeku)

III isporuka

IV isporuka

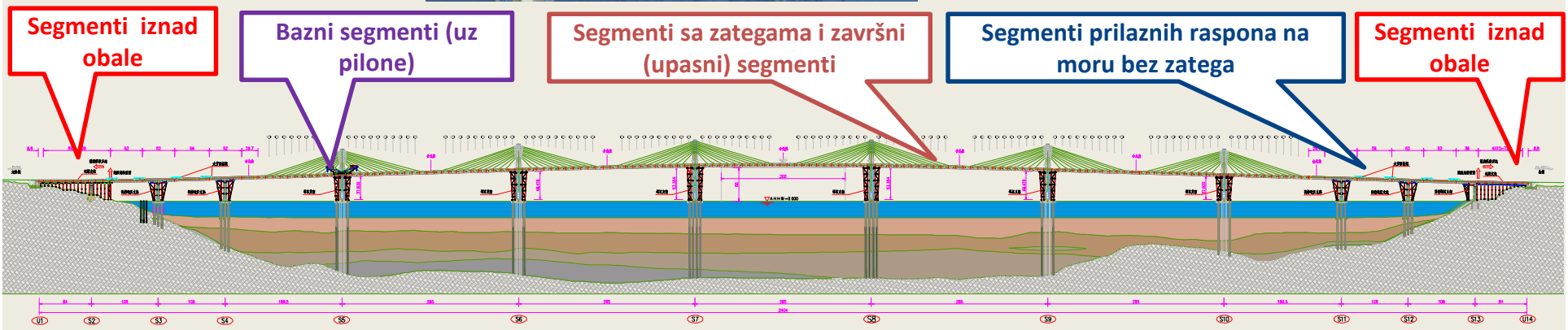
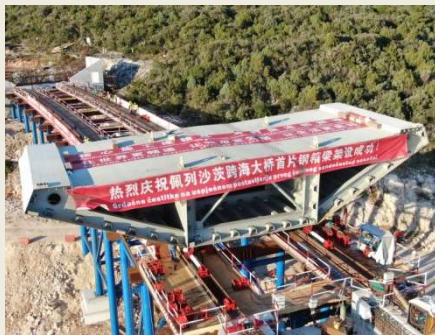
Ukupno 165 segmenata



Koncept montaže čelične konstrukcije

Segmenti sandučastih nosača podijeljeni su u sljedeće cjeline:

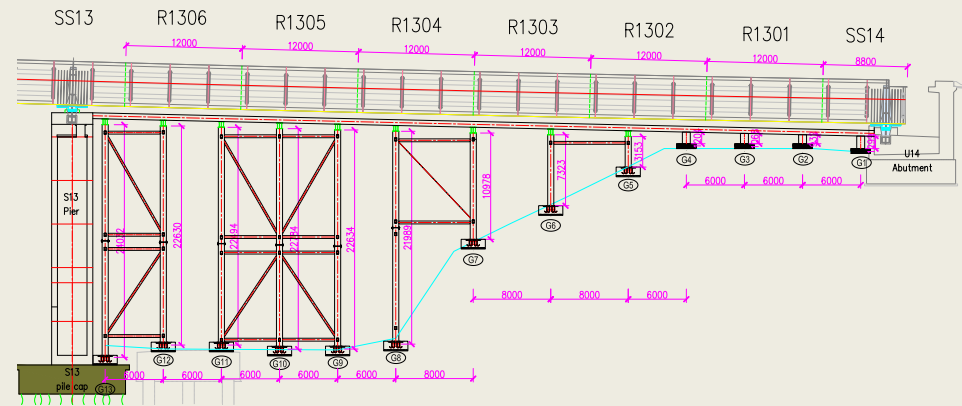
1. Bazni segmenti (na stupovima sa pilonima)
2. Segmenti prilaznih raspona na obali
3. Segmenti prilaznih raspona na moru (veliki segmenti)
4. Segmenti sa zategama
5. Završni (upasni) segmenti



1. Montaža segmenata prilaznih raspona iznad obale

Ovi segmenti montiraju se pomoću visokih cijevnih skela, plovne dizalice, postupkom uzdužnog potiskivanja.

Plovna dizalica nosivosti 1000 t podiže segmente i smješta ih na skelu. Potom se jedan po jedan segment metodom potiskivanja pomiče prema svom konačnom položaju, od obale prema upornjacima







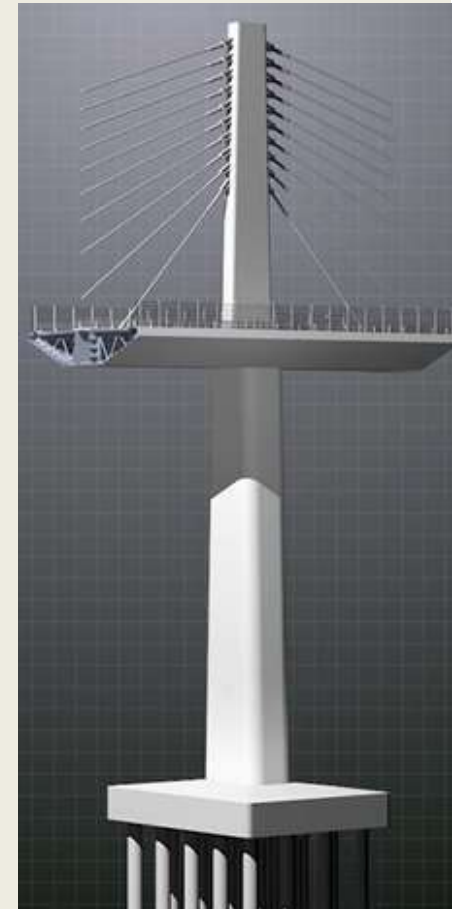
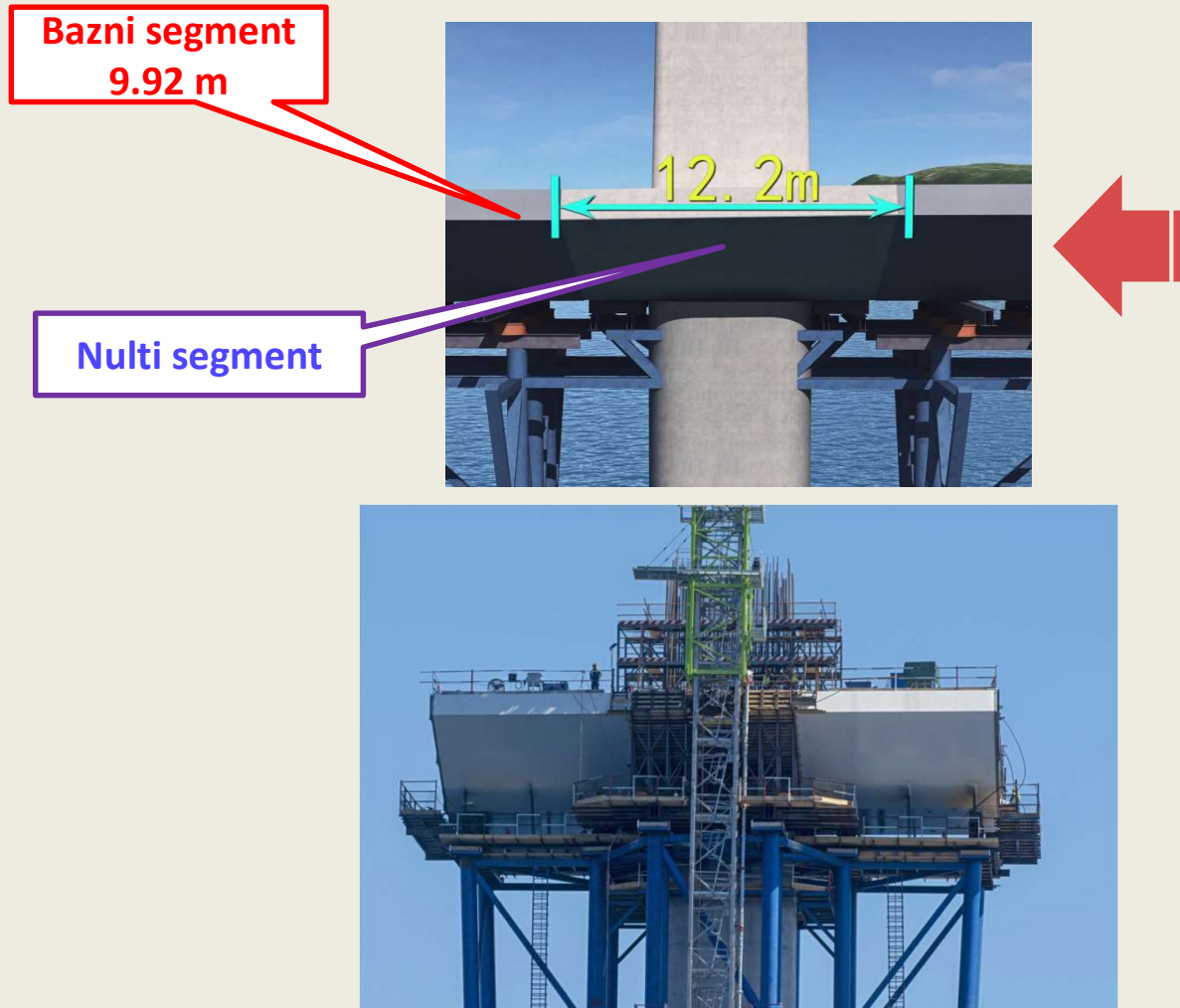




Segmenti se redom potiskuju do konačnog položaja. Nakon pozicioniranja segmenata, izvode se pripreme za zavarivanje.

2. Montaža baznih segmenata na stupovima sa pilonima (glavni rasponi)

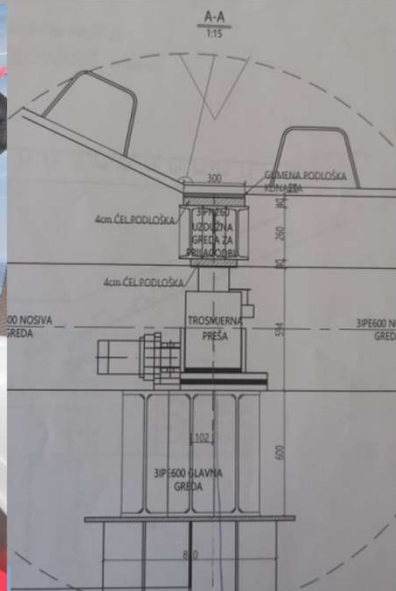
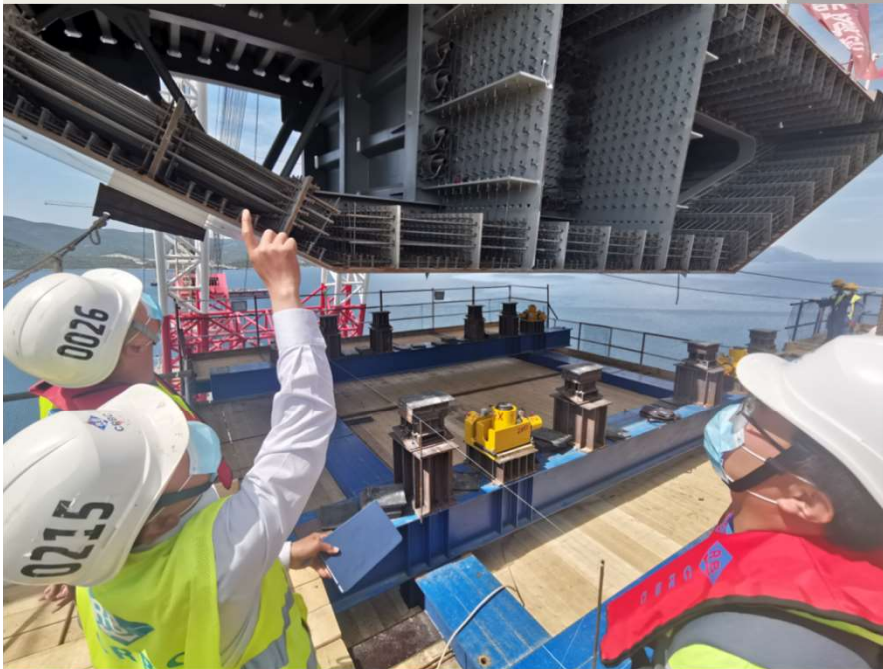
U postupku izgradnje potrebno je prvo postaviti bazne čelične segmente te ugraditi beton u nulti segment, a zatim nastaviti s izvođenjem pilona.



Podizanje s pomoću plovne dizalice (primjer s montaže na stupu S8)



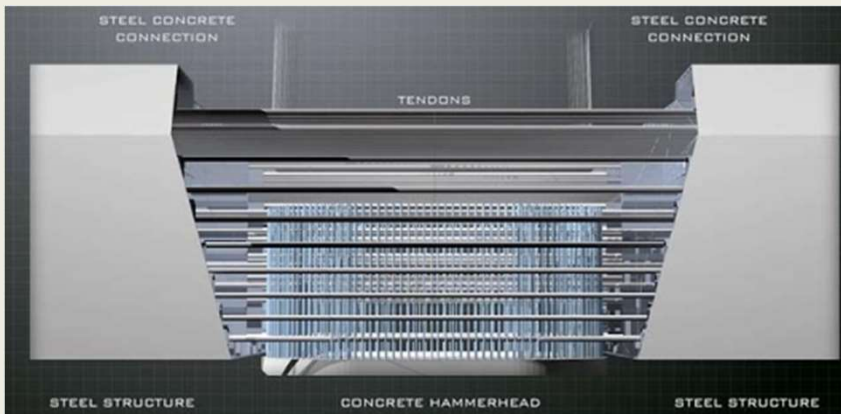
Pozicioniranje baznih segmenata pomoću oslonaca i troosnih hidrauličkih preša



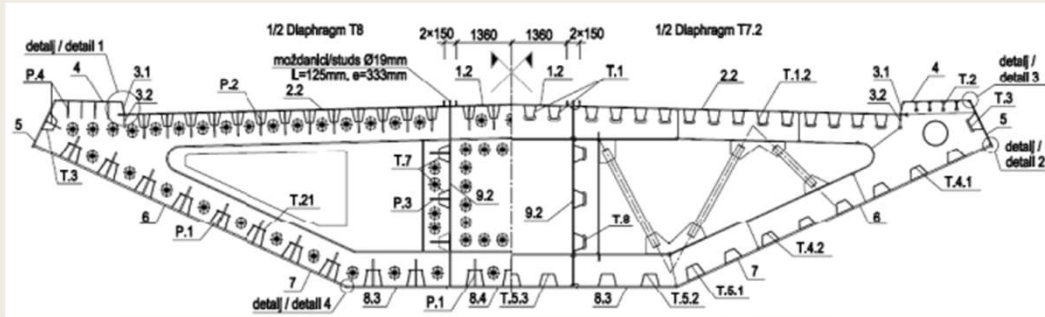
NAPOMENE:
1. OSIM GDJE JE TO DRUGAČIJE NAPOMENUTO, SVE JEDINICE NA NACRTU SU U mm.
2. 3PNEU GREDE ZA PRILAGODBU SE POVEŽUJU NA PRILJUBNICAMA ISPREKIDANIM ZAVARICAMA. ŽLJEBU, DUBINA PENETRIRANJA JE 14mm. DULJINA JEDNOG ZAVARA NIJE MANJA OD 20mm. IZMEĐU ZAVARA NIJE VEĆI OD 800mm. NA OBA KRAJA 3PNEU TREBA IZVESTI ZAVARIVANJE.



Nakon preciznog pozicioniranja čeličnih baznih segmenata, izvodi se betonski nulti segment.

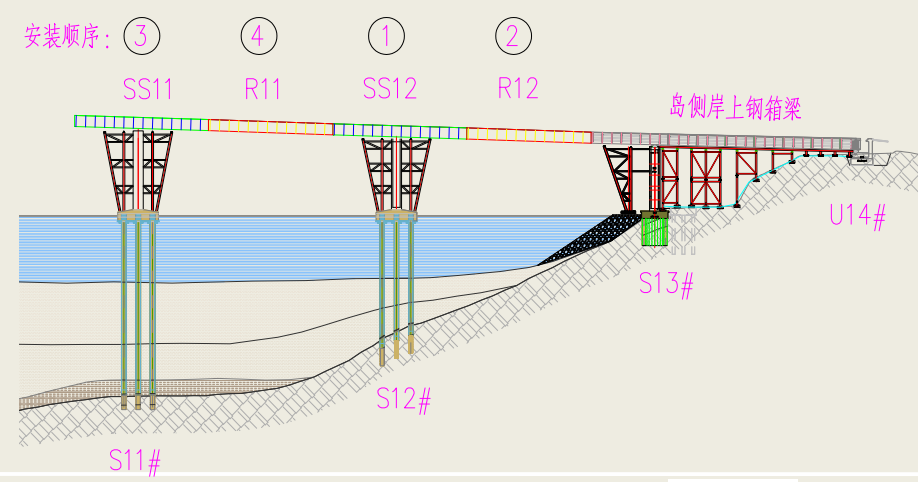
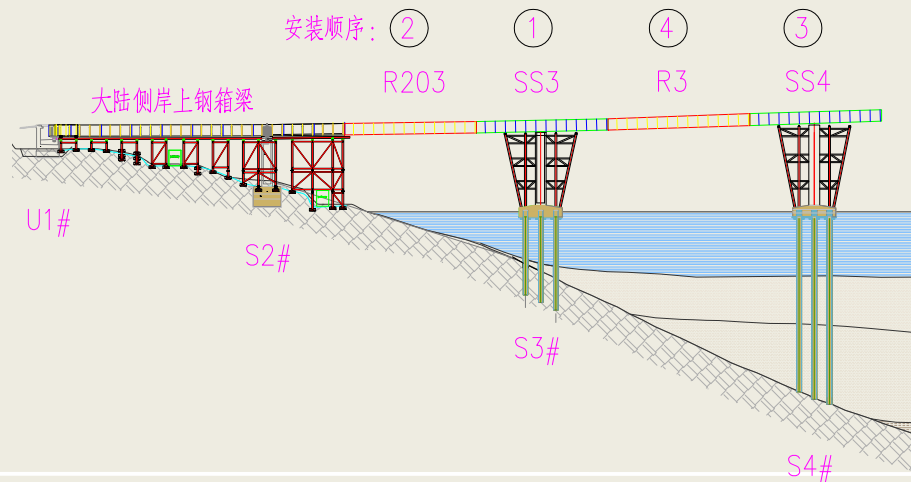
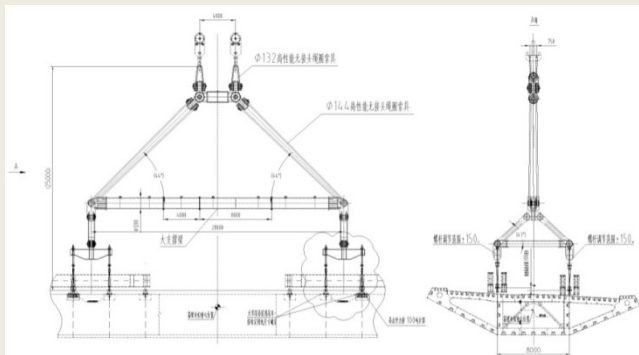


Nakon betoniranja vrši se prednapinjanje betonskog dijela rasponske konstrukcije



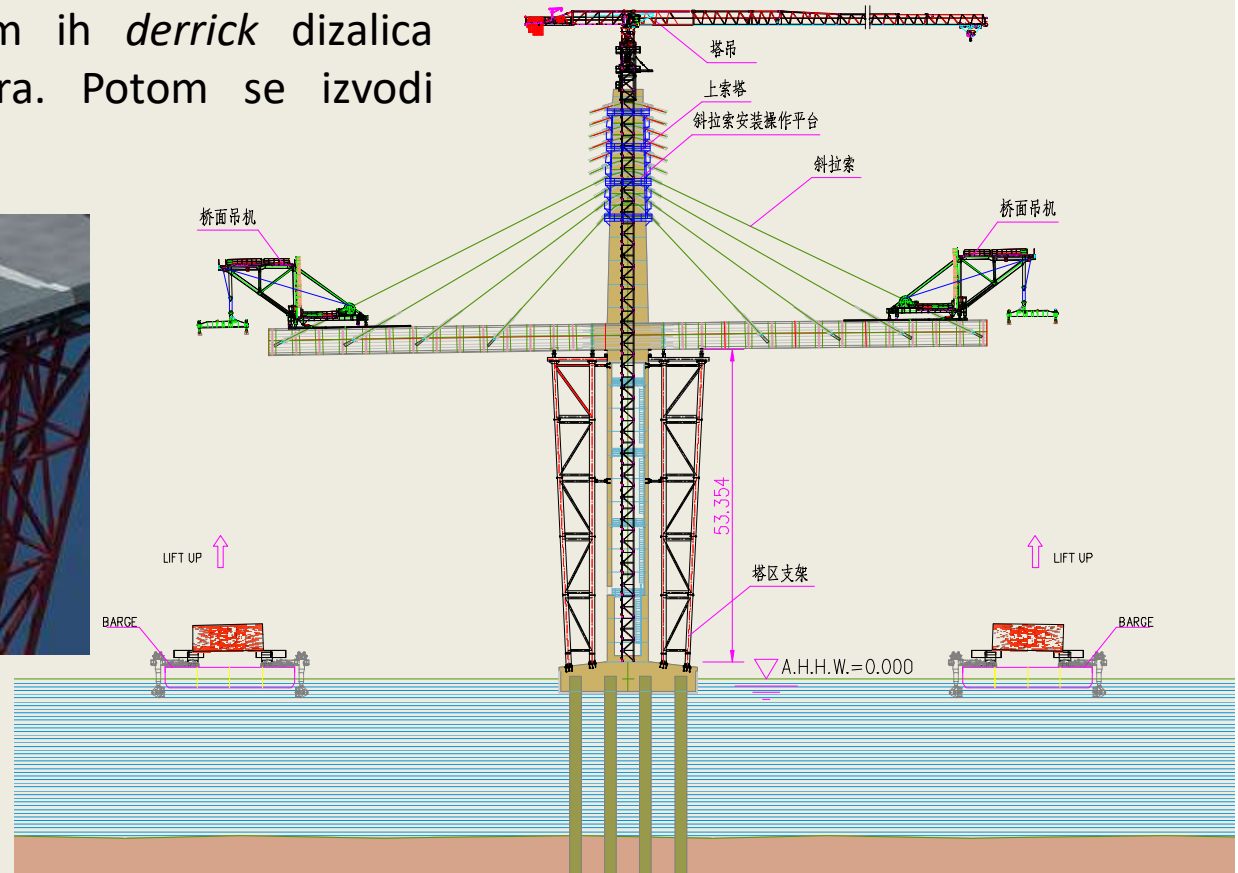
3. Montaža segmenata prilaznih raspona na moru (veliki segmenti)

Segmenti nosača SS3, SS4, SS11, SS12 smješteni na vrhu stupova izvode se pomoću skela i plovne dizalice, a segmenti nosača R203, R3, R11, R12 u sredini raspona izvode se pomoću plovne dizalice i pomoćnih nosača za podizanje i oslanjanje.

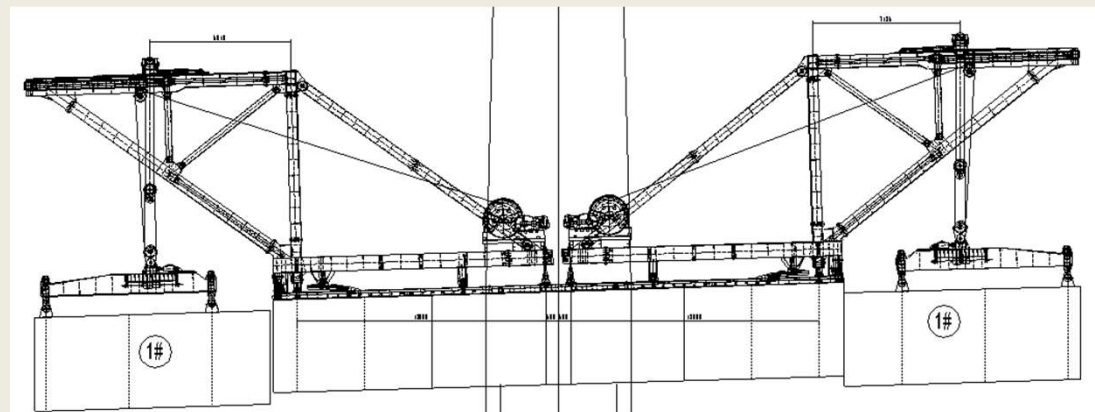
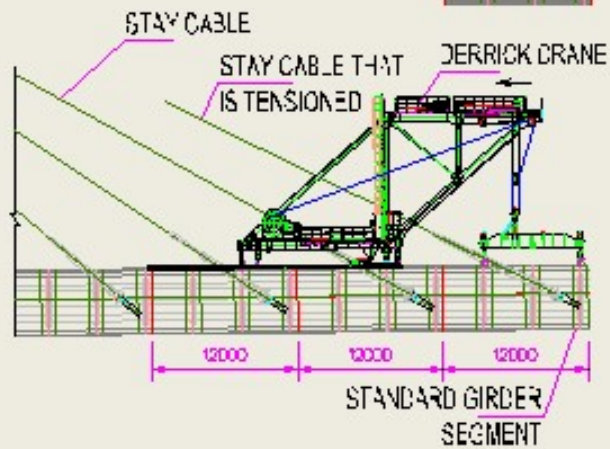
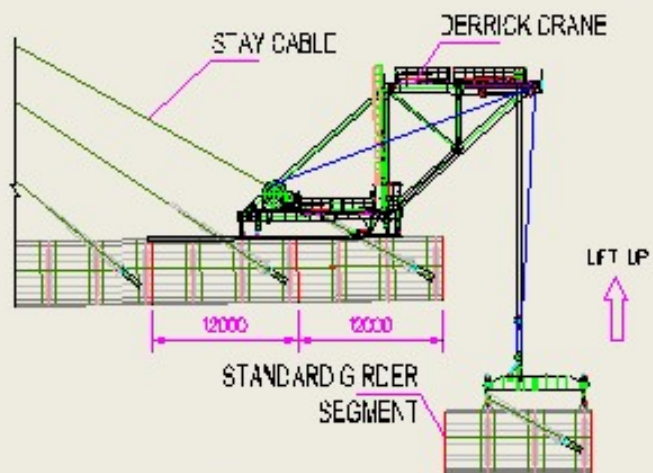


4. Montaža segmenata sa kosim zategama na glavnim rasponima

Duljina prvog para segmenata nosača s kosim zategama iznosi 11.4 m (masa 220 t), dok duljina ostalih 9 parova iznosi 12 m, a najveća masa 192 t. Svi se segmenti baržama prevoze direktno ispod projektiranog položaja i zatim ih *derrick* dizalica vertikalno podiže i pozicionira. Potom se izvodi ugradnja i pritezanje zatega.

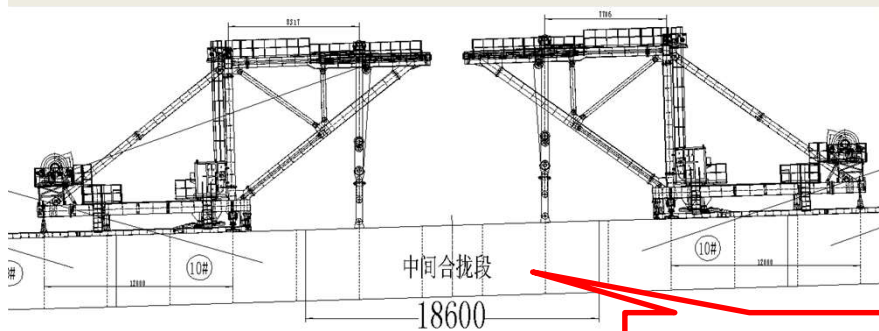
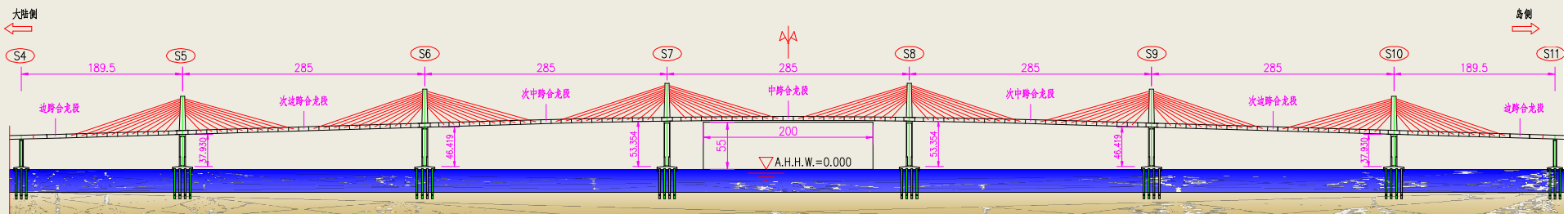


Derrick dizalica se predmontira na obali i zatim podiže na kolničku ploču mosta pomoću 1000 t plovne dizalice.



5. Montaža završnih - upasnih segmenata

Na mostu ukupno ima 7 završnih segmenata: 5 završnih segmenata glavnih raspona i 2 završna segmenta prema prilaznim rasponima. Duljina 2 završna segmenta prilaznih raspona iznosi 29,7 m, dok duljina preostalih segmenata zatvaranja glavnih raspona iznosi 18,6 m.



Završne segmente podižu 2 derrick dizalice.



Upasni segment

Na oba kraja završnih segmenata ostavlja se 10 cm radi upasivanja. Rezanje na konačnu mjeru se izvodi na barži neposredno prije podizanja, ovisno o temperaturi i ostvarenoj geometriji prethodno montiranih dijelova konstrukcije.

Organizacija gradilišta











Hvala!
谢谢!

