

1. UVOD

Tehnologija građenja mostova sa postepenim potiskivanjem je u svetu veoma razširena za građenje dugih kontinualnih betonskih prednapregnutih mostova sa rasponima do 50 m i dužine do 3000 m. Građenje sa postepenim potiskivanjem predviđa, da se rasponska konstrukcija izrađuje u segmentima na stalnom proizvodnom mestu, gde se posle prednaprezanja segmenta izvrši potiskivanje hidrauličkim presama cele konstrukcije u novi položaj, a time se oslobađa oplata za izradu novog segmenta.



Slika 1: Viadukt Rondo u toku izgradnje

Tehnologija građenja postepenim potiskivanjem izvodi se pomoću sledeće tehnološke opreme:

- Betonska radionica – platforma sa skelom i oplatom, čeličnim roštiljem i sinhronom hidrauličkom opremom za spuštanje skele i oplata
- Oprema za prednaprezanje segmenata i glavne rasponske konstrukcije
- Oprema za postepeno potiskivanje
- Čelična konzolna konstrukcija – kljun i privremeni pilonski oslonac sa zategama
- Naprave za pridržavanje glavne rasponske konstrukcije
- Klizna privremena ležišta na stubovima sa teflonskim ulošcima
- Bočne hidrauličke vođice sa sensorima na stubovima i platforme na vrhu srednjih stubova za prisustvo radnika u toku postepenog potiskivanja

Postupak građenja mostova sa postepenim potiskivanjem je defakto industrijski način izrade segmenata. Prednost izrade segmenata betonske konstrukcije na licu mesta i industrijske proizvodnje bez dilatacija kod te tehnologije dolaze do punog izražaja.

Ekonomičnost gradnje je u smanjivanju udela rada za izradu rasponske konstrukcije. Sa konsekventnim planiranjem i organiziranjem pojedinih faza rada postiže se nedeljni takt izrade pojedinog segmenta dužine $L_s = 10 - 40$ m, betona $100 - 400$ m³ koji je armiran sa 150 kg/m³ armature. Segmenti su prednapregnuti sa ravnim kablovima.

Rasponska konstrukcija koja se betonira po segmentima na istom mestu i postepeno potiskiva u konačni položaj, na svom putu prolazi kroz različite statičke sisteme i to kao konzola, slobodno oslonjen nosač, odnosno na kraju kao kontinualni nosač, tako se u istom preseku pojavljuju negativni i pozitivni momenti savijanja u toku građenja odnosno postepenog potiskivanja.



Slika 2: Konačni izgled viadukta SELO izgrađenog po tehnologiji postupnog potiskivanja

Za preuzimanje statičkih uticaja za vreme građenja postavljaju se i prednaprežu centrično postavljeni kablovi koji u celini pokrivaju uticaje od vlastite težine konstrukcije.

Za preuzimanje statičkih uticaja od korisnog i saobraćajnog opterećenja naknadno se po potiskivanju ugrađuju kablovi izvan betonskog preseka u unutrašnjosti sanduka. Kablovi su poligonalni, a vode se preko devijatora koji su postavljeni iznad oslonaca i u sredini raspona.

Horizontalni kablovi su postavljeni u betonski presek konstrukcije, dok se sa injektiranjem uspostavlja sprezanje kabla i betonskog preseka.

Poligonalni kablovi izvan preseka, nisu spregnuti sa betonskim presekom, antikorozivno su zaštićeni sa cevima i mastima za injektiranje.

Sandučasti presek zbog velike krutosti je najprimerniji za preuzimanje različitih statičkih uticaja u toku građenja i upotrebe rasponske konstrukcije, a istovremeno je primeran za vođenje horizontalnih i poligonalnih kablova kao i za izradu na industrijski način.

Najekonomičnija vitkost glavne nosive konstrukcije za postepeno potiskivanje iznosi $L/12 - L/16$. U koliko je vitkost glavne nosive konstrukcije veća od $l/h \geq 18$ za fazu postepenog potiskivanja moguće je pored čeličnog kljuna dužine ($L_k > 0,6 L_t$) upotrebiti čelični pilon sa zategama.

Pre nego što se odlučimo za tehnologiju postupnog potiskivanja moramo proveriti da li su svi geometrijski elementi koji definišu glavnu rasponsku konstrukciju, kompatibilni sa tom tehnologijom građenja.

Osnovni geometrijski kriterij za izbor tehnologije građenja sa postupnim potiskivanjem glavne rasponske konstrukcije sastoji se u tome, da ne dolazi do prisilne deformacije rasponske konstrukcije prilikom potiskivanja. Taj kriterij određuje oblik donje ploče sandučastog preseka koja ne mora biti paralelna sa gornjom kolovoznom pločom.

Za postupno potiskivanje prihvatljivi su sledeći geometrijski oblici osovine objekta: pravac (transalacija), kružna krivina (rotacija) i spirala (kombinacija transalacije i rotacije). Polazeći od najjednostavnije geometrije razlikujemo sledeće osnovne tipove trasa primerne za potiskivanje:

trasa u tlorisu je u pravcu, konstantan uzdužni pad

trasa u tlorisu je u pravcu, uzdužni profil u vertikalnoj kružnoj krivini

trasa u tlorisu u kružnoj krivini, uzdužni nagib je jednak nuli

trasa u tlorisu u kružnoj krivini, konstantan uzdužni nagib (spirala)

2. PLATFORMA ZA IZRADU RASPONSKE KONSTRUKCIJE

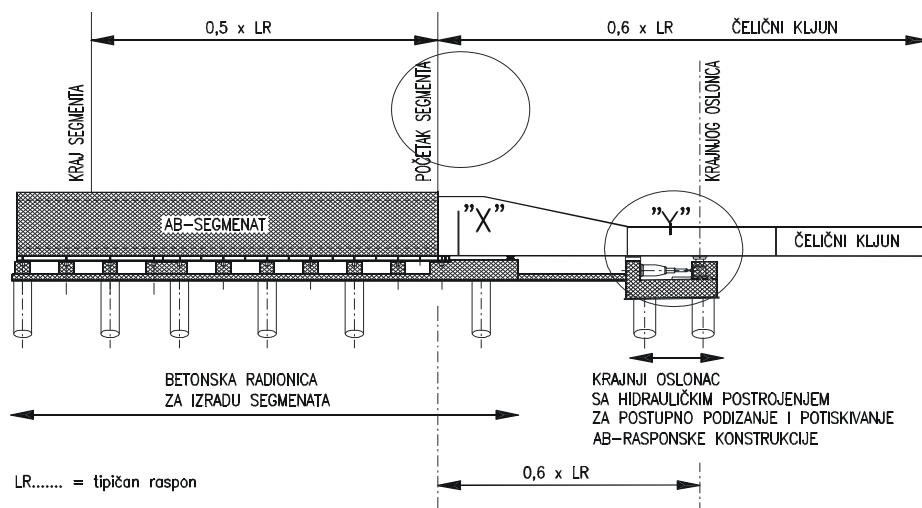
Rasponska konstrukcija se izrađuje na radnoj platformi koja je obično locirana na trasi iza krajnjeg oslonca. Stalni radni plato omogućava industrijski način rada pojedinih segmenata konstrukcije. Postupak omogućava nedeljno izradu segmenata stim da je najugodnije izvršiti potiskivanje u ponedeljak, u tom slučaju je iskorišten kraj nedelje za očvršćavanje betona. Za tako programiran rad, a posebno u zimskom periodu, potrebno je radnu platformu zatvoriti i prekriti sa provizornom konstrukcijom, da bi radni proces bio nezavisan od vremenskih uticaja.

Obzirom na armaturu, a posebno na broj sklopki za spajanje kablova za prednaprežanje želja je da su pojedni segmenti što duži, kao najekonomičnija dužina segmenta iznosi 22,5 – 25,0 m. Pri toj dužini segmenta je najekonomičnije iskorištena oprema za proizvodnju i zapošljava se optimalan broj radnika.

Platforma za proizvodnju segmenata je sastavljena iz hidrauličkih presa na koje je postavljena čelična rešetkasta konstrukcija. Geometrijski položaj konstrukcije je tačno određen sa geometrijom postolja na radnoj platformi. Na radno postolje postavljamo i pritvrđujemo oplatu donje ploče, rebara i oplatu konzolnih krila sandučastog preseka. Oplata i konstrukcija skele mora biti tako konstruirana da je može jednostavno izvršiti skidanje oplata sa hidraulikom.



Slika 3: Platforma za izradu rasponske konstrukcij



Slika 4: Šema betonske radionice za izradu segmenata

Betoniranje poprečnog preseka rasponske konstrukcije možemo izvesti na sledeća tri načina:

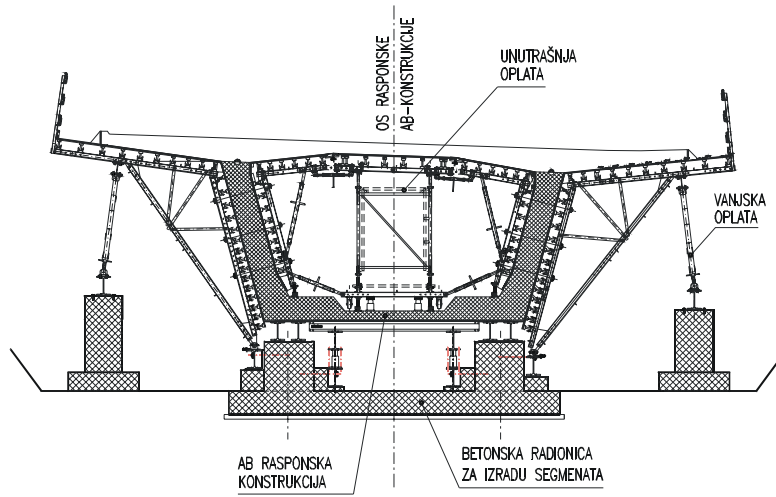
- **prvi način:**
I. faza betoniranje donje ploče sa rebrima, u II. fazi betoniranje kolovozne ploče
- **drugi način:**
u I. fazi betoniranje donje ploče, u II. fazi se betoniraju rebra i kolovozna ploča. Na zabetoniranu donju ploču navučemo tunelsku oplatu sa elementima unutrašnje oplate rebara i oplatom kolovozne ploče, koji su isto tako izrađeni da je moguće varirati dimenzije poprečnog preseka.
- **treći način:**
Betoniranje ukupnog preseka u jednoj fazi. Koji način betoniranja ćemo izabrati zavisi od raspoložljive opreme, prilika na terenu, radne platforme itd.

Izrada pojedinog segmenta u nedeljnom taktu 7 dana prolazi kroz sledeće faze:

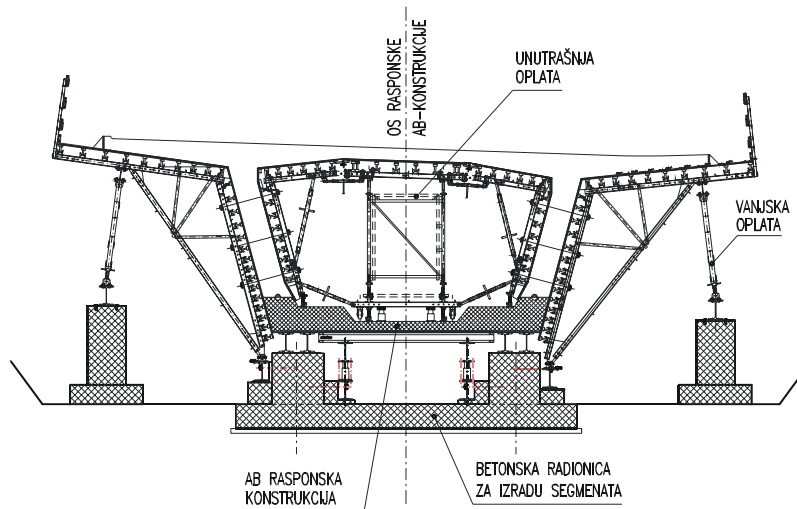
1. ponedeljak: prednaprezanje centričnih kablova,
skidanje oplata,
postepeno potiskivanje rasponske konstrukcije,
injektiranje prednapregnutih kablova,
čišćenje i priprema oplata
2. utorak: polaganje armature donje ploče,
polaganje kablova u donjoj ploči,
betoniranje donje ploče
3. sreda: polaganje armature rebara,
montaža unutrašnje oplata,
polaganje armature kolovozne ploče
4. četvrtak: polaganje kablova u kolovoznoj ploči i ostale armature,
ugrađivanje slivnika, cevi i drugih detalja,
betoniranje rebara i kolovozne ploče
5. petak: očvršćivanje i njegovanje betona
6. subota: očvršćivanje i njegovanje betona
7. nedelja: očvršćivanje i njegovanje betona



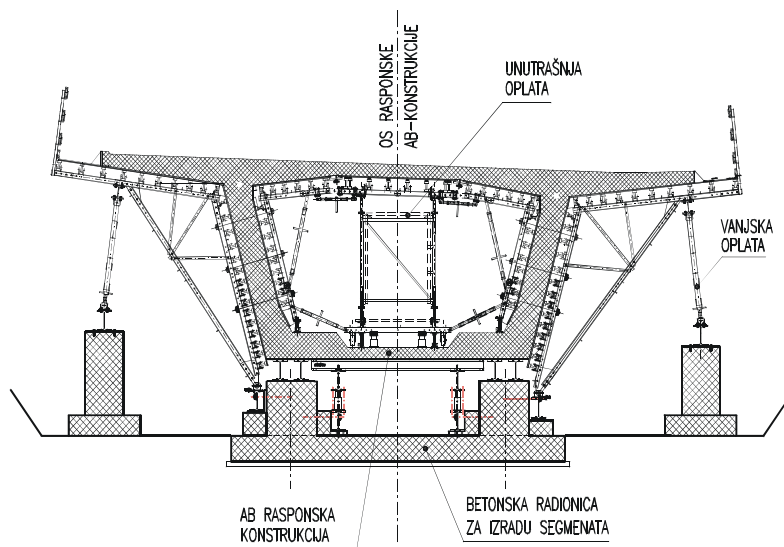
Slika 5: Poprečni presjek rasponske konstrukcije u oplati



Slika 6: Prvi način građenja ab-rasponske konstrukcije



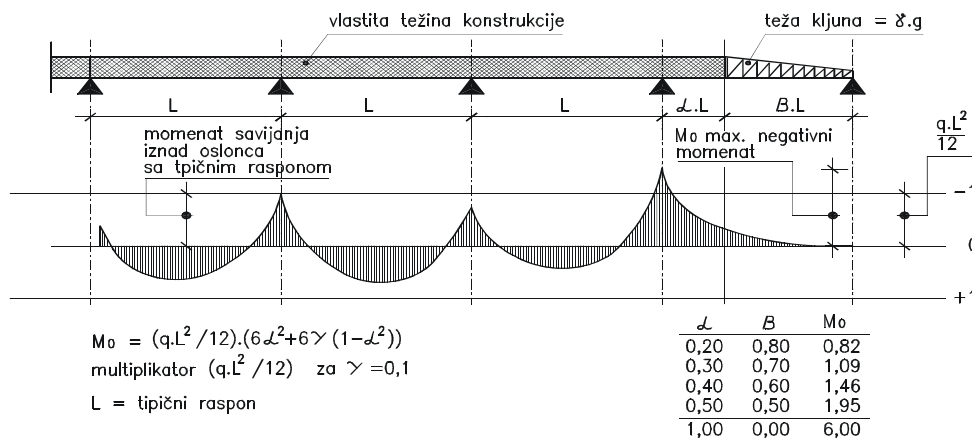
Slika 7: Drugi način građenja ab-rasponske konstrukcije



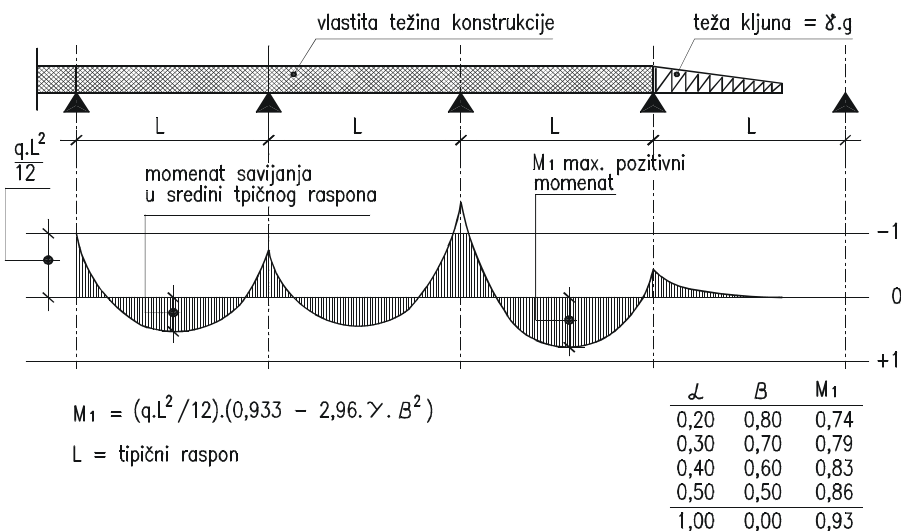
Slika 8: Treći način građenja ab-rasponske konstrukcije

3. PREDNAPREZANJE RASPONSKE KONSTRUKCIJE

U toku postupka potiskivanja u glavnoj rasponskoj konstrukciji javljaju se momenti savijanja u istim presecima različitog predznaka, jer se statički sistem glavne rasponske konstrukcije menja tokom postepenog potiskivanja. Momente savijanja uravnotežimo sa centričnim horizontalnim kablovima koji se ugrađuju u gornju i donju ploču sandučastog preseka rasponske konstrukcije. Sila prednapreznja ravnih kablova uvodi se u poprečne preseke rasponske konstrukcije i omogućava rasponskoj konstrukciji da je potpuno prednapregnuta za vreme postupka potiskivanja.

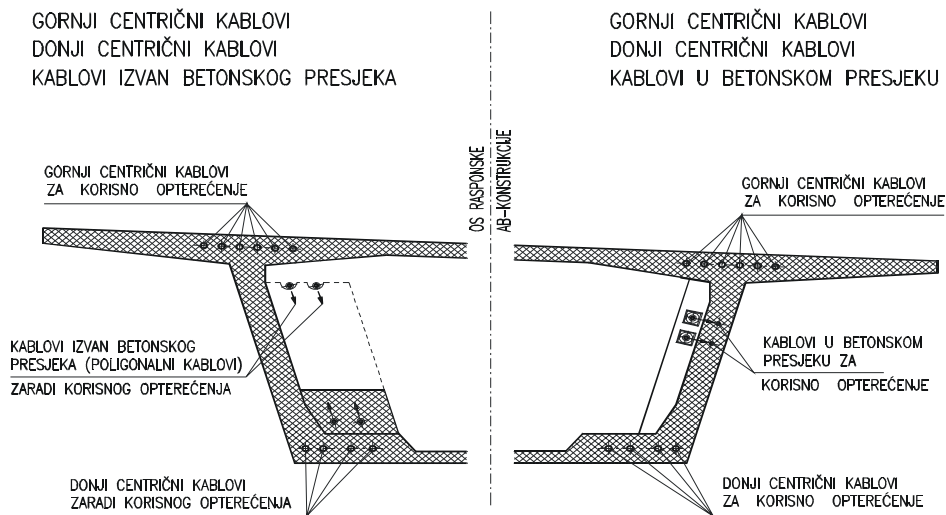


Slika 9: Kritični negativni momenat pri potiskivanju sa upotrebom potisnog kljuna



Slika 10: Kritični pozitivni momenat pri potiskivanju sa upotrebom potisnog kljuna

Konstruktorska obrada detalja kablova, raspored kablova, ankerisanje unutrašnjih i spoljašnjih kablova, montaža kablova, raspored kablova u poprečnom preseku, udaljenost kabla od spoljašnje ivice preseka itd. je obradjena u tehničnim specifikacijama za građenje mostova, koje je izdalo Ministarstvo za saobraćaj R. Slovenije. Za vođenje kablova je dana potpuna konstruktorska sloboda koju je potrebno uskladiti sa iskustvom i opremom izvođača kao i razpoložljivom važećom regulativom.



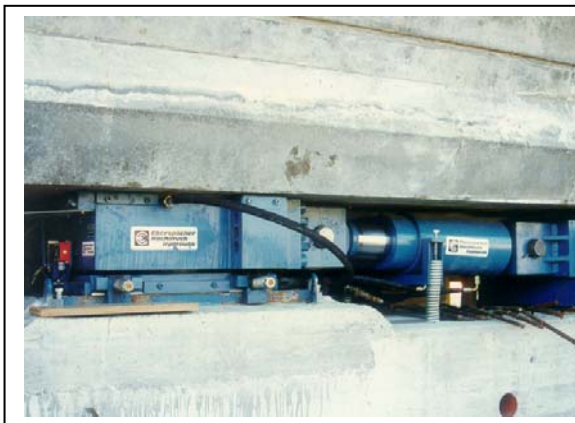
Slika 11: Šema vođenja podužnih kablova u poprečnom presjeku rasponske konstrukcije

4. POSTEPENO POTISKIVANJE GLAVNE RASPONSKE KONSTRUKCIJE

Poznajemo tri različite metode i opreme za postepeno potiskivanje glavne rasponske konstrukcije:

4.1 Hidraulična oprema za postepeno potiskivanje

Sila koja je potrebna za potiskivanje glavne rasponske konstrukcije uvodi se preko hidraulične opreme koja je obično postavljena na krajnjem osloncu. Hidraulička presa koja služi za podizanje rasponske konstrukcije nalazi se na teflonskoj podlogi na donjoj strani, na gornjoj strani naleže na hrapavu površinu betona rasponske konstrukcije. Prilikom dizanja unosi se vertikalna reakcija kao i sila trenja između prese i rasponske konstrukcije koja omogućava unašenje sile potiskivanja sa delom hidrauličke opreme za horizontalno pomjeranje.



Slika 12: Hidraulička oprema za postepeno potiskivanje gdje se horizontalna sila uvodi samo preko vlastite težine rasponske konstrukcije



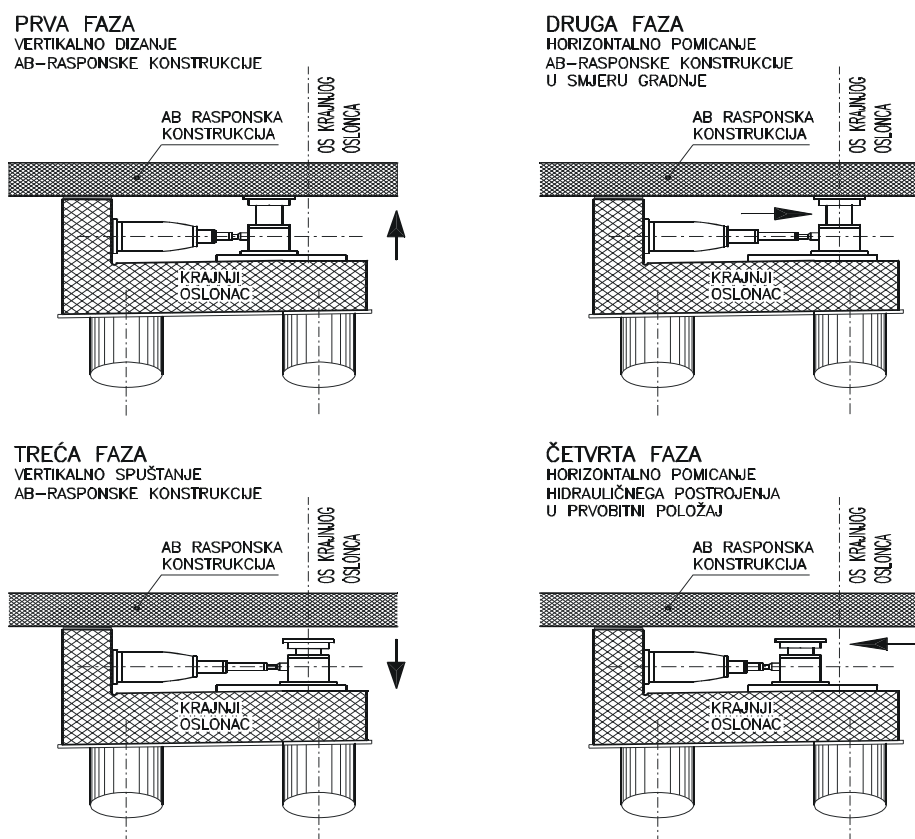
Slika 13: Hidraulička oprema za postepeno potiskivanje sa ošupljenim čelični nosačom koji je sinhronovezan na hidrauličku opremu

4.2 Sistem prednaprezanja za postepeno potiskivanje (vuču)

Sila koja je potrebna za potiskivanje (vuču) glavne rasponske konstrukcije unosi se preko presa za prednaprezanje koje su postavljene na čelo krajnjeg oslonca i prenosi se sa kablovima koji su primerno preko čelične konstrukcije ankerisani u rasponsku konstrukciju.

4.3 Sinhrono vezana hidraulična oprema sa ošupljenim čeličnim pločama i nosačima za postepeno potiskivanje

Ako imamo veliku dužinu rasponske konstrukcije koju treba postepeno potiskivati, a sila potiskivanja je veća od 15000 kN, onda klasična oprema za potiskivanje ne dolazi u obzir. U ovakvim slučajevima primenjuje se metoda i oprema firme ENERPAC koja se uspešno koristi za potiskivanje konstrukcije u dužinu od 3000 m sa silom potiskivanja od 30.000 kN. Princip rada sistema sastoji se u tome da se čelični nosač postavi ispod segmenta u njegovoj osovinu, a na gornjoj strani zavarena je čelična ošupljena flanša preko koje se postavlja pokretna čelična platforma sa sinhrono vezanim presama pričvršćena bolcnama. Čelična platforma je vezana sa diwidag šipkama za donju stranu segmenta.



Slika 14: Šema postupaka pri postupnom potiskivanju hidrauličkom opremom

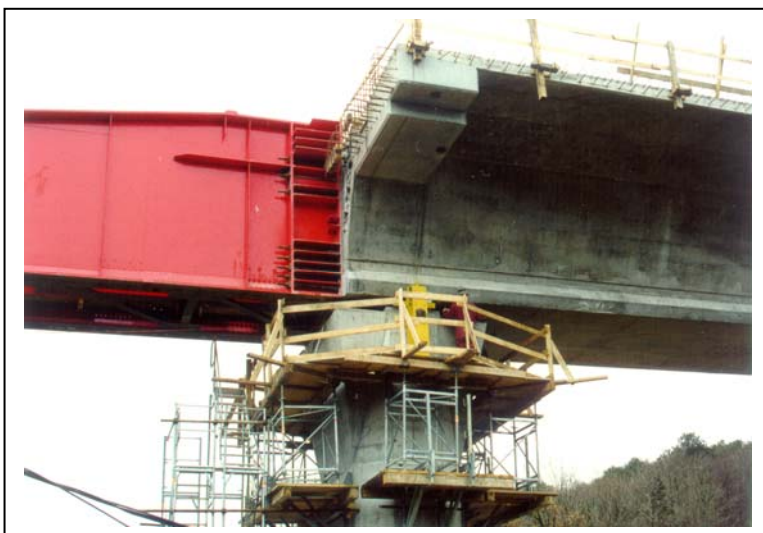
5. ČELIČNA KONZOLNA KONSTRUKCIJA – KLJUN I PRIVREMENI PILONSKI OSLOKAC SA ZATEGAMA

Na prednjoj strani rasponske konstrukcije, koja se postepeno potiskuje od stuba do stuba pojavljuju se veliki negativni momenti savijanja. Zbog toga je potrebno da se smanje u toj fazi uticaji od vlastite težine rasponske konstrukcije, a to se postiže sa čeličnim kljunom koji ima 10 % težine osnovne konstrukcije. Dužina kljuna obično se izabira $L_k = 0,60 L_t$ (L_t - srednji raspon).

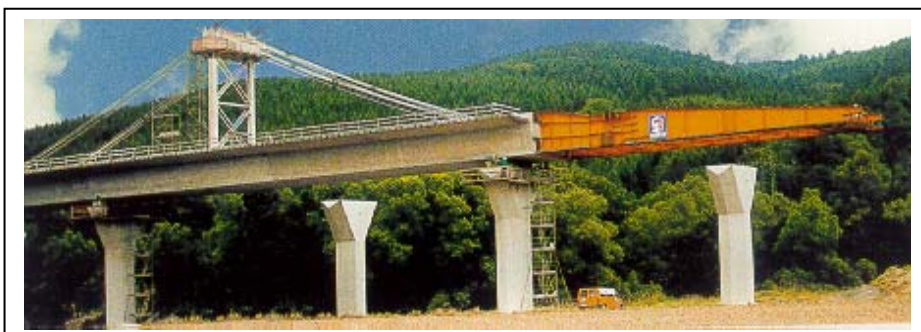
Pored pravilno izabrane dužine kljuna, važno je takođe pravilno odrediti krutost čeličnog kljuna koja utiče na smanjenje momenta savijanja.

Čelični kljun je iz punih čeličnih I nosača ili iz rešetkastih nosača, koji se pritvrđuju na krajnoj dijagrami glavne nosive konstrukcije mosta.

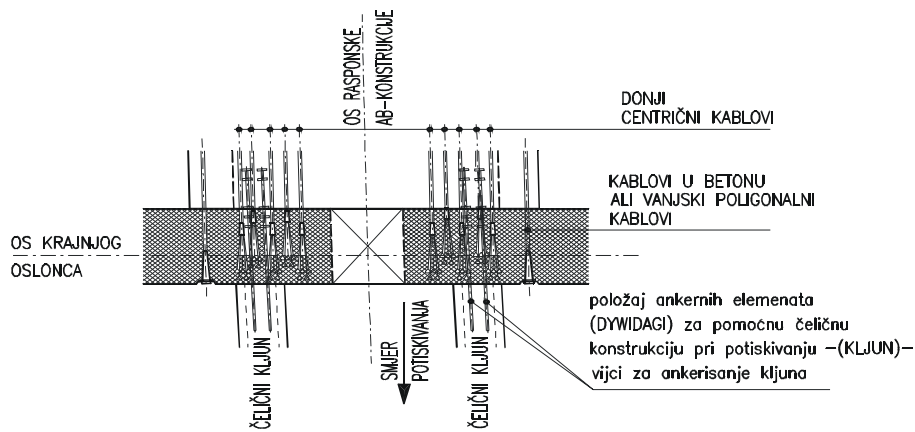
Ako je vitkost rasponske konstrukcije veća od $L/18$ opravdano je u cilju smanjenja momenata savijanja u toku potiskivanja upotrebiti čelični pilon sa zategama.



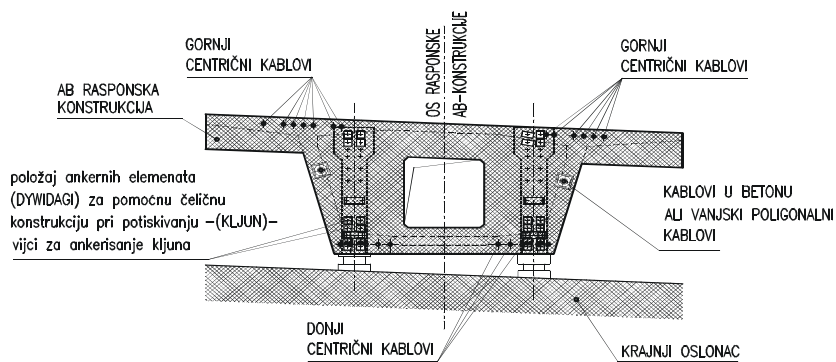
Slika 15: Pritvrđivanje kljuna na rasponsku konstrukciju i radna oplata na stubu



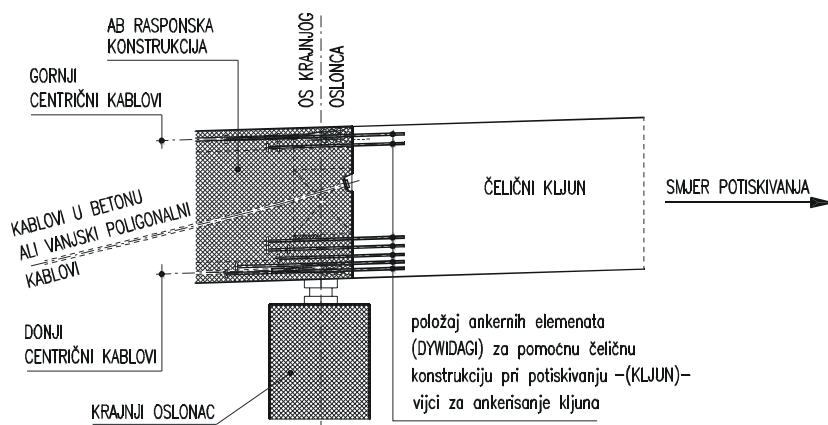
Slika 16: Pilon za ojačanje rasponske konstrukcije



Slika 17: Tloris



Slika 18: Poprećni presjek



Slika 19: Podužni presjek

6. KLIZNA LEŽIŠTA NA STUBOVIMA SA TEFLONSKIM ULOŽCIMA

Za postepeno potiskivanje rasponske konstrukcije na osloncima potrebno je ugraditi privremena klizna ležišta.

Postoje dva načina za izradu kliznih ležišta:

- a) - privremena ležišta koj se odstranjuju i zamenjujusa konačnim
- b) -privremena ležišta koja se nadograđuju na konačna

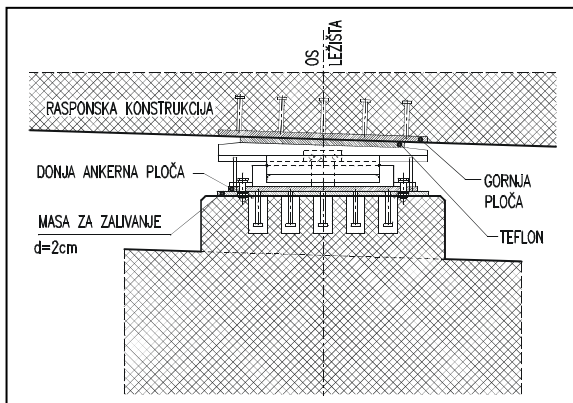
a) Na vrhu stubova postavljaju se privremena ležišta za klizanje konstrukcije u toku postepenog potiskivanja. Ležišta se sastoje iz armiranobetonskog bloka sa malterom za fiksiranje, podmetača za klizanje u obliku čelične ploče izradjene iz nerđajućeg čelika i pritrđene sa epoksidnim malterom na betonski blok, a postavljaju se u nagibu donje ploče glavne rasponske konstrukcije. Teflonski uložci su iz neoprena debljine 10 mm, čelične ploče debljine 2,0 mm in telfona debljine 1,0 mm i dimenzija u osnovi koje zavise od veličine opterećenja Teflonski uložci se polažu tako da je neopren oslonjen na gornju rasponsku betonsku konstrukciju, a teflon na poliranu stranu čelične obloge privremenog ležišta. Kontaktni pritisak mora biti manji od 12 MPa, da ne dođe do proboja ležišta kroz donju ploču sanduka rasponske konstrukcije.

Posle završenog potiskivanja podiže se rasponska konstrukcija izvlače se privremena ležišta i ugrađuju konačna.

b.) Ukoliko se koristi konačno ležište istovremeno i kao privremeno kod postepenog potiskivanja tada na gornjom delu ležišta postavljamo čeličnu ploču koja služi za klizanje konstrukcije u vremenu potiskivanja. Posle izvršenog potiskivanja zavarimo gornju ploču na ploču koja je ugrađena u rasponsku konstrukciju.



Slika 20: Šema konačnog i privremenog ležišta



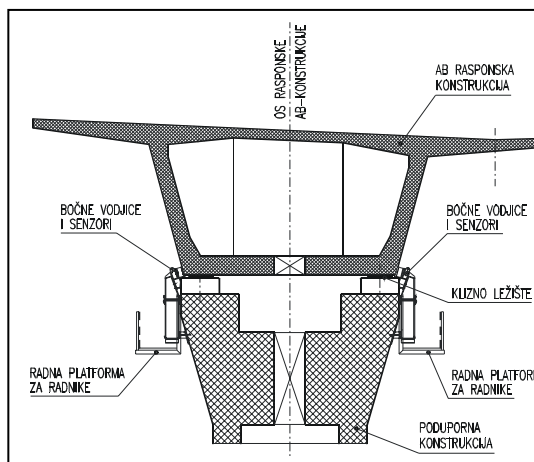
Slika 21: Šema konačnog i privremenog ležišta

7. BOČNE HIDRAULIČNE VODICE NA VRHU STUBA SA SENZORIMA ZA EVENTUALNO ZAUSTAVLJANJE POTISKIVANJA I PLATFORMA

Za vođenje rasponske konstrukcije u uzdužnom pravcu u toku procesa postepenog potiskivanja potrebno je ugraditi hidrauličke bočne vodice. Između vodica i betonske konstrukcije se postavlja teflonski uložak da se smanji trenje. U slučaju greške ili nepredviđenog slučaja ugrađuju se senzori na vrhu stuba koji zaustavljaju proces postepenog potiskivanja. Bočne vodice i senzori ugrađuju se na izlazu iz platforme i na svakom stubu. Na vrhu stubova su radne platforme za radnike u toku izvođenja potiskivanja (postavljanje teflonskih ležišta, kontrola rada bočnih vodica, isključivanje alarmnih naprava itd.).



Slika 22: Vodice



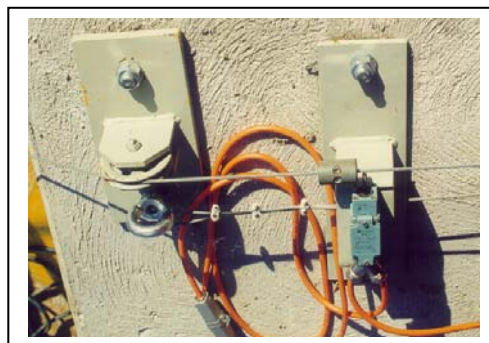
Slika 23: Šema vodica

8. NAPRAVA ZA PRIDRŽAVANJE GLAVNE NOSIVE KONSTRUKCIJE U TOKU POSTEPENOG POTISKIVANJA I ZA VREME MIROVANJA KONSTRUKCIJE

Ako izvodimo postepeno potiskivanje u smeru pada konstrukcije, onda je potrebno rasponsku konstrukciju tokom građenja pridržavati. Sličan problem nastoje i za konstrukcije koje potiskujemo u suprotnom smeru pada. Moguće je klizanje konstrukcije u suprotnom pravcu od pravca potiskivanja. Za pridržavanje konstrukcije potrebno je sa diwidag šipkama $\varnothing 36$ pričvrstiti čelični konzolni nosač na donjoj strani sanduka koji je preko horizontalnog kabla, ankernih glava i prese za prednaprezanje povezan sa krajnjim osloncem odnosno sa platformom za izradu segmenata. Sa unošenjem potrebne sile u kabel pridržava se cela konstrukcija u mirnom stanju.



Slika 24: Naprava za pridržavanje



Slika 25: Senzori glavne rasponske konstrukcije

12. ZAKLJUČAK

U predloženom referatu je u najkraćim crtama predstavljena savremena tehnologija postepenog potiskivanja. Deo problematike koji se odnosi na dokaze statičke i dinamičke stabilnosti kao i uzimanje u obzir svih uticaja koji nastaju prilikom građenja, sa svim potrebnim kontrolama prilikom građenja, kontrolom geometrije, pomjeranja i materijala, biće obrađen drugom prilikom.

Mostovi izgrađeni po tehnologiji postepenog potiskivanja optimalno zadovoljavaju sve kriterije veštine projektovanja i građenja objekata, a posebno kriterij robusnosti i trajnosti.