



GRAĐENJE RASPONSKIH KONSTRUKCIJA MOSTOVA

Vukašin Ačanski, prof., dipl. ing. građ.
GRADIS Biro za projektiranje Maribor

Sažetak: Kroz stranice ovog teksta prikazana je nova tehnologija građenja mostova s postupnim potiskivanjem. Ovaj vid izgradnje koristi se poglavito kod velikih raspona do čak 50 m, kao i dužine do 3000 m. Primjenjuje se stalna proizvodnja u mjestu gdje se nakon prednaprezanja segmenta izvrši potiskivanje hidrauličkim prešama cijele konstrukcije u novi položaj, a time se oslobađa oplata za izradu novog segmenta.

Ključne riječi: most, postepeno potiskivanje, proizvodnja u mjestu, hidraulička preša

CONSTRUCTION OF SPAN STRUCTURES OF BRIDGES

Abstract: Through the pages of this paper presents a new technology of building bridges with the gradual suppression. This type of construction is used mainly by large spans of up to 50 m and length up to 3000 m. It is used in the manufacture of permanent location of the prestressing segment pushed by hydraulic presses of the entire structure into a new position, and thus free the formwork to create a new segment.

Key words: bridge, gradually pushing, production in one place, hydraulic presses

Rad objavljen:

- Simpozij "MATERIJALI I KONSTRUKCIJE", Surduliva 2003 godine, Srbija,
- Kongres "CESTE I PROMET U SLOVENIJI", Portorož 2004 godine, Slovenija,
- Internacionalni naučno - stručni skup "GRAĐEVINARSTVO, NAUKA I PRAKSA, Žabljak 2006 godine, Crna Gora,
- Međunarodni naučno - stručni skup "SAVREMENA TEORIJA I PRAKSA U GRADITELJSTVU", Banja Luka 2006 godine, Bosna i Hercegovina,
- Međunarodni naučno - stručni skup "ISTRAŽIVANJE, PROJEKTI I REALIZACIJE U GRADITELJSTVU", Institut IMS Beograd, Srbija



1. UVOD

Tehnologija građenja mostova s postepenim potiskivanjem vrlo je u svijetu raširena za gradnju dugih kontinuiranih betonskih prednapregnutih mostova s rasponima do 50 m i dužine do 3000 m. Građenje s postepenim potiskivanjem predviđa da se rasponska konstrukcija izrađuje u segmentima na stalnom proizvodnom mjestu, gdje se nakon prednaprezanja segmenta izvrši potiskivanje hidrauličkim prešama cijele konstrukcije u novi položaj, a time se oslobađa oplata za izradu novog segmenta.



Slika 1. Viadukt Rondo tijekom izgradnje

Tehnologija građenja postupnim potiskivanjem izvodi se pomoću sljedeće tehnološke opreme:

- betonska radionica - platforma sa skelom i oplatom, čeličnim roštiljem i sinkronom hidrauličkom opremom za spuštanje skele i oplata
- oprema za prednaprezanje segmenata i glavne rasponske konstrukcije
- oprema za postupno potiskivanje
- čelična konzolna konstrukcija - kljun i privremeni pilotski oslonac sa zategama
- naprave za pridržavanje glavne rasponske konstrukcije
- klizna privremena ležišta na stupovima s teflonskim ulošcima
- bočne hidrauličke vodilice sa sensorima na stupovima i platforme na vrhu srednjih stupova za prisustvo radnika tijekom postupnog potiskivanja



Postupak građenja mostova s postepenim potiskivanjem je defakto industrijski način izrade segmenata. Prednost izrade segmenata betonske konstrukcije na licu mjesta i industrijske proizvodnje bez dilatacija dolaze pri toj tehnologiji do punog izražaja. Ekonomičnost gradnje je u smanjivanju udjela rada za izradu rasponske konstrukcije. Konsekventnim planiranjem i organiziranjem pojedinih faza rada postiže se tjedni takt izrade pojedinog segmenta duljine $L = 10$ do 40 m, betona $100 - 400 \text{ m}^3$, koji je armiran s 150 kg / m^3 armature.

Segmenti su prednapregnuti s ravnim kablovima. Rasponska konstrukcija, koja se betonira po segmentima na istom mjestu i postepeno potiskuje u konačni položaj, na svom putu prolazi kroz različite statičke sustave i to kao konzola, slobodno oslonjen nosač, odnosno na kraju kao kontinuirani nosač, tako se u istom presjeku pojavljuju negativni i pozitivni momenti savijanja tijekom građenja, odnosno postupnog potiskivanja.



Slika 2. Konačni izgled vijadukta SELO izgrađenog po tehnologiji postupnog potiskivanja

Za preuzimanje statičkih utjecaja za vrijeme građenja postavljaju se i prednaprežu centrično postavljeni kablovi koji u cjelini pokrivaju utjecaje od vlastite težine konstrukcije. Za preuzimanje statičkih utjecaja od korisnog i prometnog opterećenja naknadno se po potiskivanju ugrađuju kablovi izvan betonskog presjeka u unutrašnjosti sanduka. Kablovi su poligonalni, a vode se preko devijatora koji su postavljeni iznad oslonaca u sredini raspona. Horizontalni kablovi su postavljeni u betonski presjek konstrukcije, dok se injektiranjem uspostavlja sprezanje kabela i betonskog presjeka. Poligonalni kabeli izvan presjeka nisu spregnuti betonskim presjekom, antikorozivno su zaštićeni cijevima i mastima za injektiranje.

Sandučasti je presjek zbog velike krutosti najprimjereniji za preuzimanje različitih statičkih utjecaja tijekom građenja i uporabe rasponske konstrukcije, a istovremeno je primjeren za vođenje horizontalnih i poligonalnih kablova kao i za izradu na industrijski način.



Najekonomičnija vitkost glavne nosive konstrukcije za postupno potiskivanje iznosi $L/12 - L/16$. Ukoliko je vitkost glavne nosive konstrukcije veća od $l/h > 18$ za fazu postupnog potiskivanja moguće je pored čeličnog kljuna dužine ($L_k > 0,6 L_t$) upotrijebiti čelični pilon sa zategama. Prije nego se odlučimo za tehnologiju postupnog potiskivanja, moramo provjeriti jesu li svi geometrijski elementi koji definiraju glavnu rasponsku konstrukciju kompatibilni s tom tehnologijom građenja. Osnovni geometrijski kriterij za izbor tehnologije građenja postupnim potiskivanjem glavne rasponske konstrukcije sastoji se u tome da prilikom potiskivanja ne dolazi do prisilne deformacije rasponske konstrukcije. Taj kriterij određuje oblik donje ploče sandučasog presjeka koja ne mora biti paralelna s gornjom kolovoznom pločom. Za postupno potiskivanje prihvatljivi su sljedeći geometrijski oblici osovine objekta: pravac (transalacija), kružna krivina (rotacija) i spirala (kombinacija transalacije i rotacije).

Polazeći od najjednostavnije geometrije razlikujemo sljedeće osnovne tipove trasa primijenjene za potiskivanje:

- trasa u tlorisa je u pravcu, konstantan uzdužni pad
- trasa u tlorisa je u pravcu, uzdužni profil u vertikalnoj kružnoj krivini
- trasa u tlorisa u kružnoj krivini, uzdužni nagib je jednak nuli
- trasa u tlorisa u kružnoj krivini, konstantan uzdužni nagib (spirala)

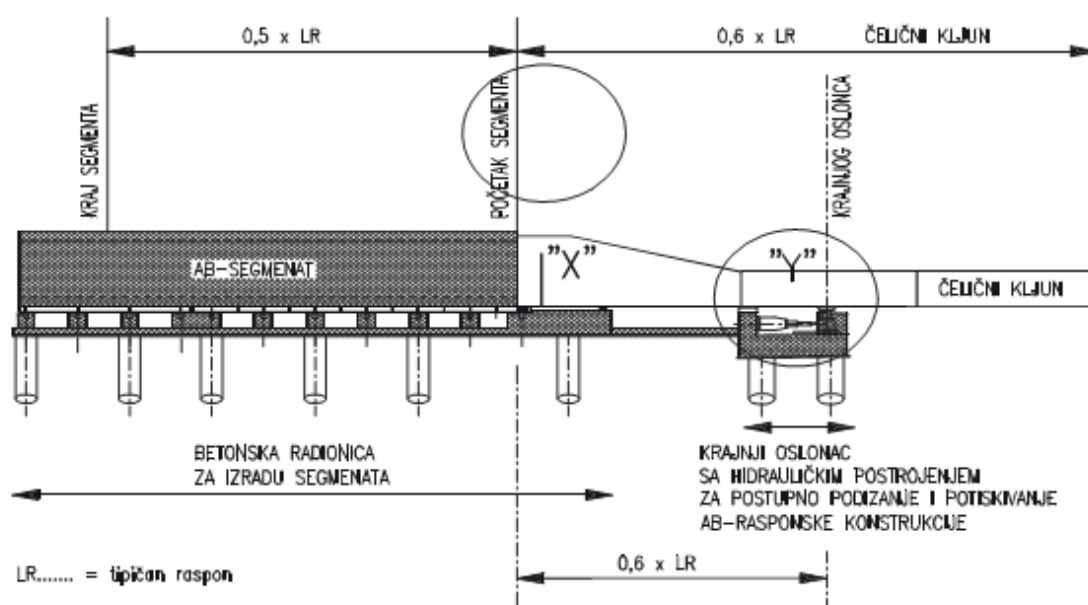
2. PLATFORMA ZA IZRADU RASPONSKE KONSTRUKCIJE

Rasponska konstrukcija se izrađuje na radnoj platformi koja je obično smještena na trasi iza krajnjeg oslonca. Stalni radni plato omogućava industrijski način rada pojedinih segmenata konstrukcije. Postupak omogućava tjednu izradu segmenata s tim da je najugodnije izvršiti potiskivanje u ponedjeljak; u tom slučaju je iskorišten kraj tjedna za stvrdnjavanje betona. Za tako programiran rad, posebice u zimskom periodu, potrebno je radnu platformu zatvoriti i prekriti provizornom konstrukcijom da bi radni proces bio nezavisan od vremenskih utjecaja. S obzirom na armaturu, a posebno na broj sklopki za spajanje kablova za prednaprezanje, poželjno je da su pojedini segmenti što duži; najekonomičnija duljina segmenta iznosi 22,5 - 25,0 m. Pri toj duljini segmenta najekonomičnije je iskorištena oprema za proizvodnju i zapošljava se optimalan broj radnika.

Platforma za proizvodnju segmenata je sastavljena od hidrauličkih presa na koje je postavljena čelična rešetkasta konstrukcija. Geometrijski položaj konstrukcije je točno određen geometrijom postolja na radnoj platformi. Na radno postolje postavlja se i utvrđuje oplata donje ploče, rebara i oplata konzolnih krila sandučasog presjeka. Oplata i konstrukcija skele mora biti tako konstruirana da se može jednostavno izvršiti skidanje oplata hidrauličkom.



Slika 3. Platforma za izradu rasponske konstrukcije



Slika 4. Shema betonske radionice za izradu segmenata



Betoniranje poprečnog presjeka rasponske konstrukcije možemo izvesti na sljedeća tri načina:

prvi način: I. faza betoniranje donje ploče 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 tunnelsku oplatu s elementima unutarnje oplata rebara i oplatom kolovozne ploče, koji su isto tako izrađeni da je moguće razlikovati dimenzije poprečnog presjeka.

treći način: Betoniranje ukupnog presjeka u jednoj fazi. Koji način betoniranja ćemo izabrati ovisi od raspoloživosti opreme, prilika na terenu, radne platforme itd..

Izrada pojedinog segmenta u nedjeljnom taktu 7 dana prolazi kroz sljedeće faze:

Ponedjeljak:

prednaprezanje centričnih kablova, skidanje oplata, postupno potiskivanje rasponske konstrukcije, injektiranje prednapregnutih kablova, čišćenje i priprema oplata

Utorak:

polaganje armature donje ploče, polaganje kablova u donjoj ploči, betoniranje donje ploče

Srijeda:

polaganje armature rebara, montaža unutarnje oplata, polaganje armature kolovozne ploče

Četvrtak:

polaganje kablova u kolovoznoj ploči i ostale armature, ugrađivanje slivnika, cijevi i drugih detalja, betoniranje rebara i kolovozne ploče

Petak

očvršćivanje i njegovanje betona

Subota:

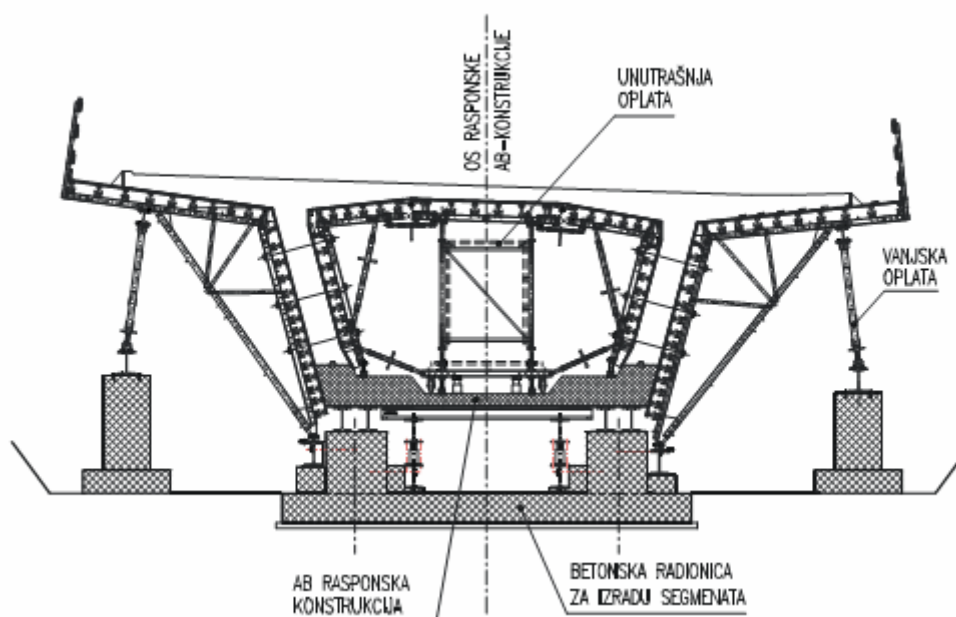
očvršćivanje i njegovanje betona

Nedjelja:

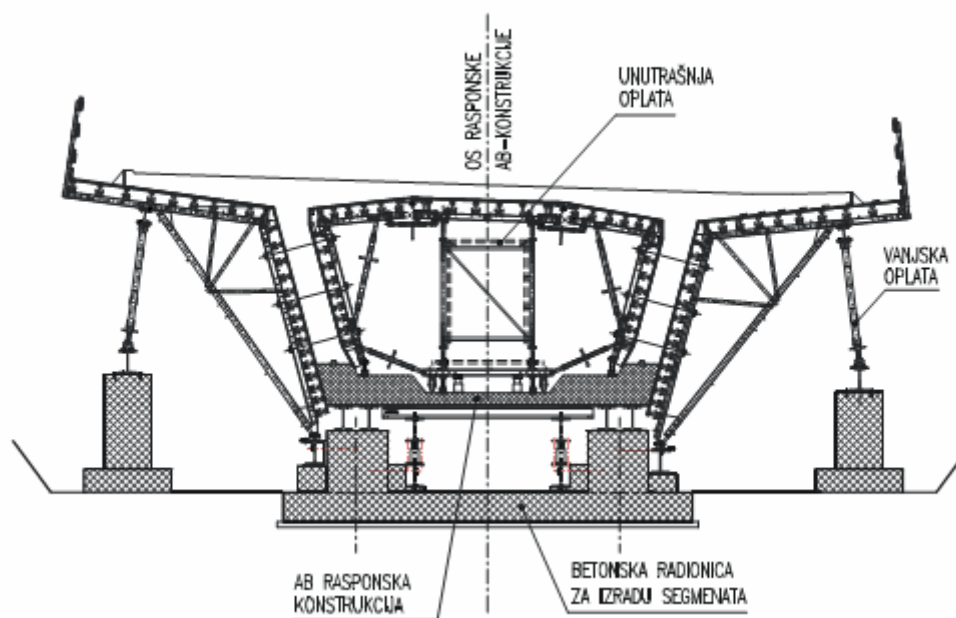
očvršćivanje i njegovanje betona



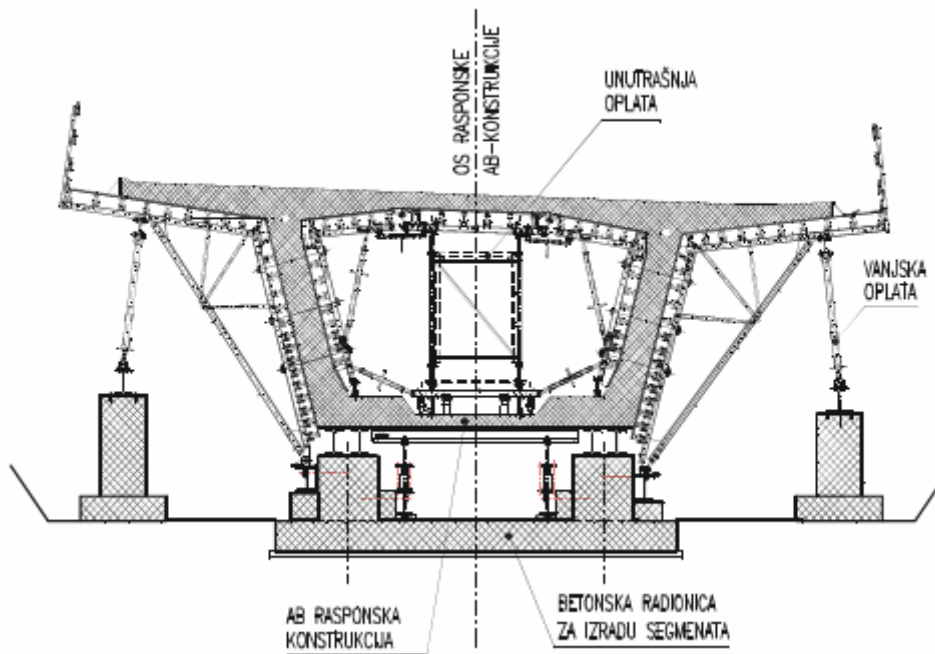
Slika 5. Poprečni presjek rasponske konstrukcije u oplati



Slika 6. Prvi način građenja AB-rasponske konstrukcije



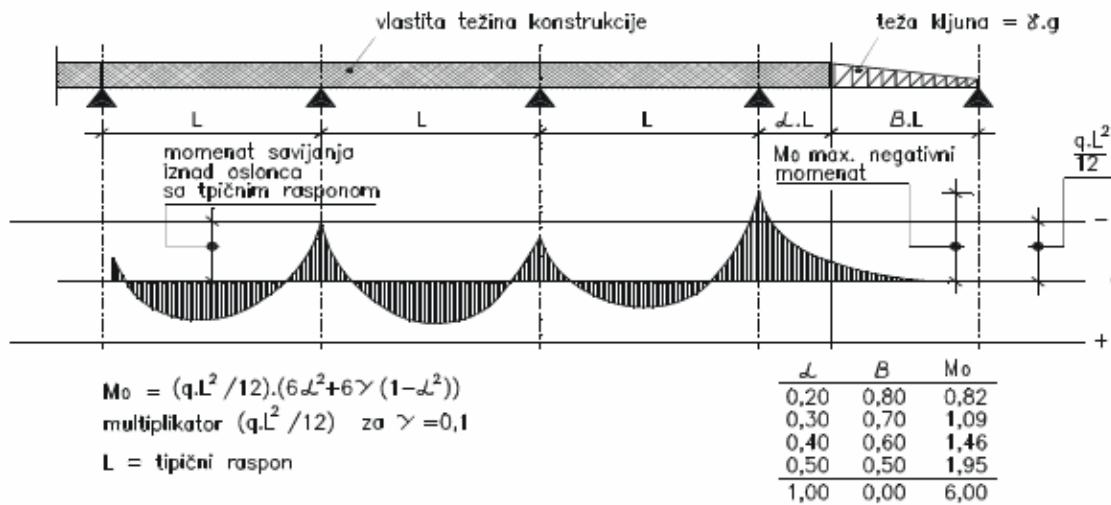
Slika 7. Drugi način građenja AB-rasponske konstrukcije



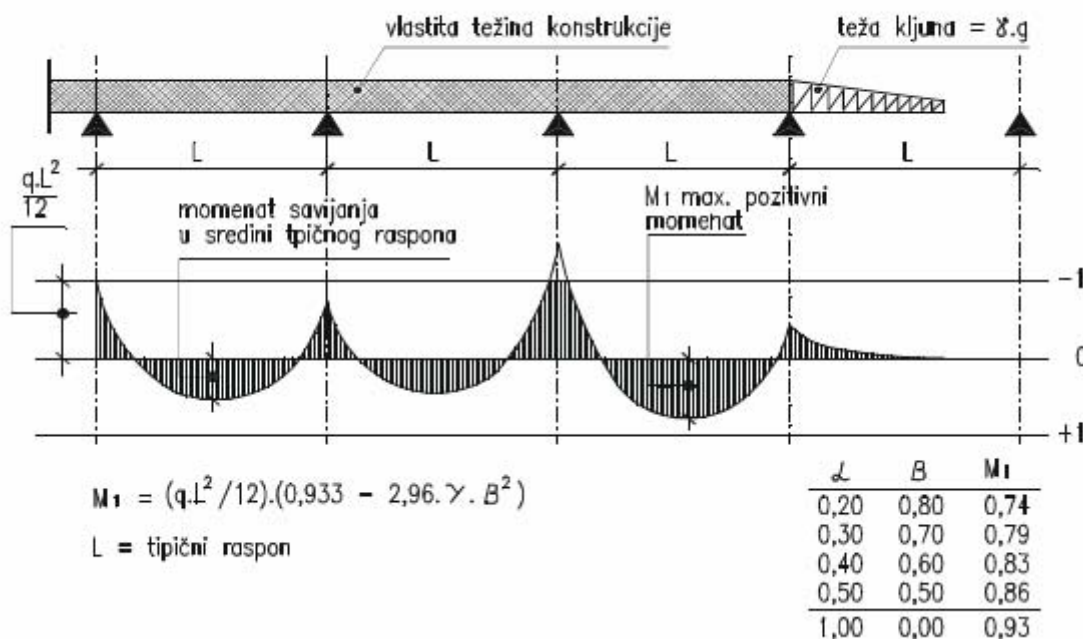
Slika 8. Treći način građenja AB-rasponske konstrukcije

3. PREDNAPREZANJE RASPONSKE KONSTRUKCIJE

Tijekom postupka potiskivanja u glavnoj rasponskoj konstrukciji javljaju se momenti savijanja u istim presjecima različitog predznaka, jer se statički sustav glavne rasponske konstrukcije mijenja tijekom postupnog potiskivanja. Momente savijanja uravnotežimo s centričnim horizontalnim kablovima koji se ugrađuju u gornju i donju ploču sandučastog presjeka rasponske konstrukcije. Sila prednaprezanja ravnih kablova uvodi se u poprečne presjeke rasponske konstrukcije i omogućava rasponskoj konstrukciji da je potpuno prednapregnuta za vrijeme postupka potiskivanja.



Slika 9. Kritični negativni moment pri potiskivanju s upotrebom potisnog kljuna

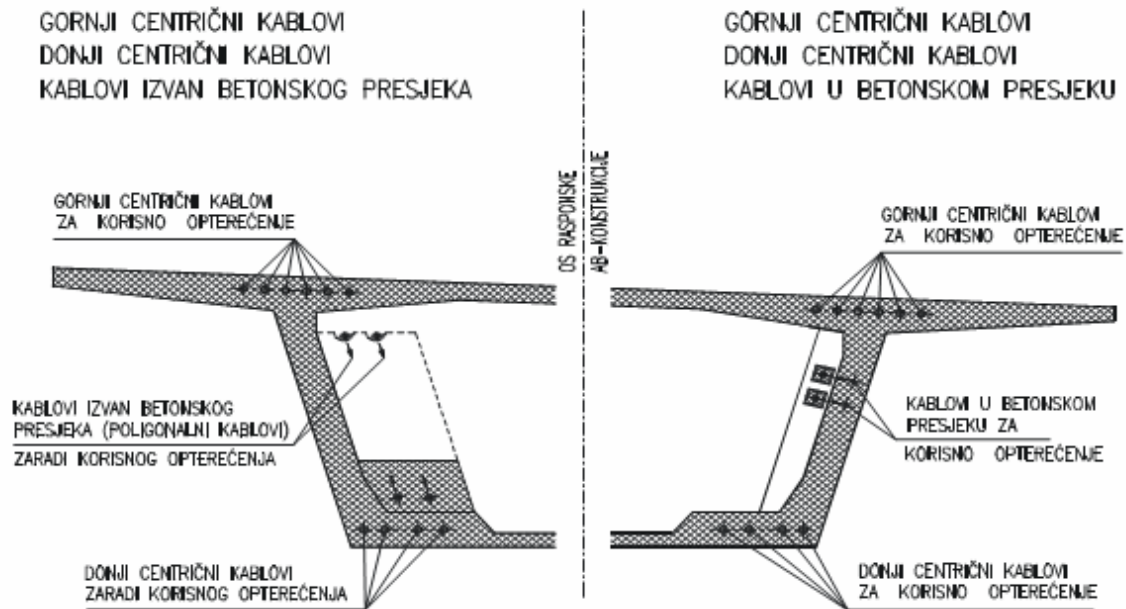


Slika 10. Kritični pozitivni moment pri potiskivanju s upotrebom potisnog kljuna

Konstruktorska obrada detalja kablova, raspored kablova, sidrenje unutarnjih i vanjskih kablova, montaža kablova, raspored kablova u poprečnom presjeku, udaljenost kablova od vanjske ivice presjeka itd., je obrađena u tehničkim specifikacijama za građenje mostova koje je izdalo Ministarstvo za promet R. Slovenije. Za vođenje kablova dana je potpuna



konstruktorska sloboda koju je potrebno uskladiti s iskustvom i opremom izvođača kao i raspoloživom važećom regulativom.



Slika 11. Shema vođenja produžnih kablova u poprečnom presjeku rasponske konstrukcije

4. POSTUPNO POTISKIVANJE GLAVNE RASPONSKE KONSTRUKCIJE

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

4.1. Hidraulična oprema za postupno potiskivanje

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



Slika 12. Hidraulička oprema za postupno potiskivanje



Slika 13. Hidraulička oprema za postupno potiskivanje gdje se horizontalna sila uvodi samo preko vlastite težine ošupljenim čeličnim nosačem rasponske konstrukcije koji je sinkrono vezan na hidrauličku opremu.

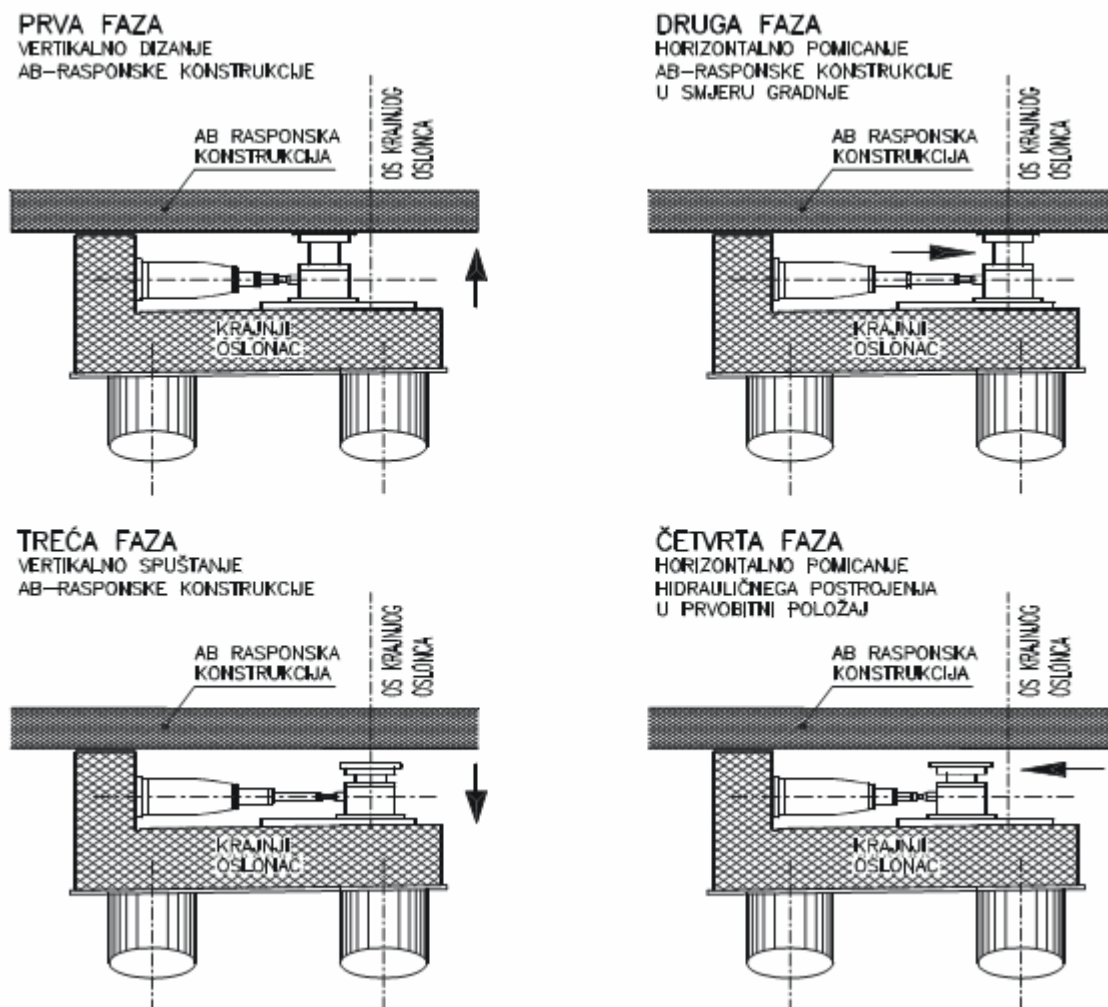
4.2. Sustav prednaprezanja za postupno potiskivanje (vuču)

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 kablovima koji su primjerno preko čelične konstrukcije sidreni u rasponsku konstrukciju.



4.3. Sinkrono vezana hidraulička oprema s ošupljenim čeličnim pločama nosačima za postupno potiskivanje

Ako imamo veliku dužinu rasponske konstrukcije koju treba postupno potiskivati, a sila potiskivanja je veća od 15000 kN, onda klasična oprema za potiskivanje ne dolazi u obzir. U ovakvim se slučajevima primjenjuju metoda i oprema firme ENERPAC koja se uspješno koristi za potiskivanje konstrukcije u duljinu od 3000 m sa silom potiskivanja od 30.000 kN. Princip rada sustava sastoji se u tome da se čelični nosač postavi ispod segmenta u njegovoj osovini, a na gornjoj strani zavarena je čelična ošupljena ploča preko koje se postavlja pokretna čelična platforma sa sinkrono vezanim prešama pričvršćena bolna. Čelična platforma je vezana diwidag šipkama za donju stranu segmenta.



Slika 14. Shema postupaka pri postupnom potiskivanju hidrauličkom opremom



5. ČELIČNA KONZOLNA KONSTRUKCIJA - KLJUN I PRIVREMENI PILOTSKI OSLOMAC SA ZATEGE

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

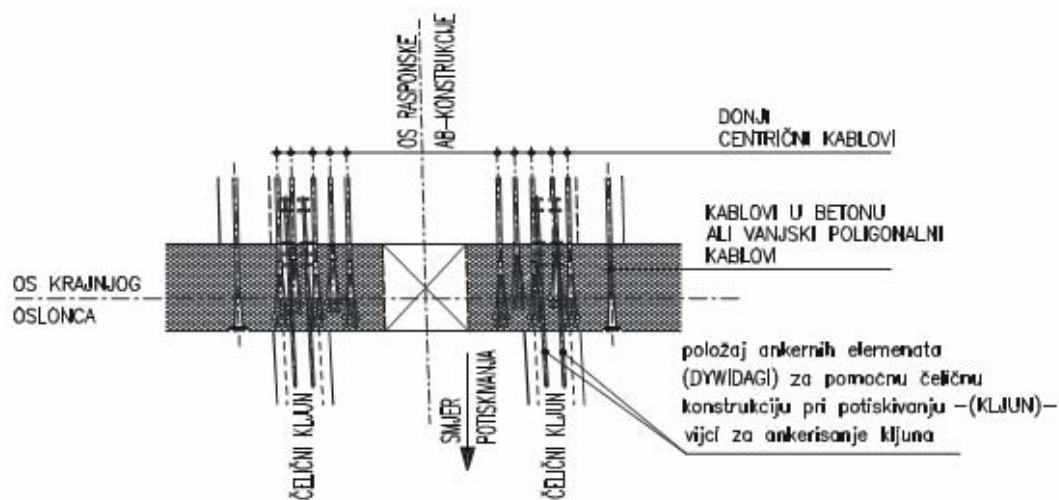
Pored pravilno odabrane dužine kljuna bitno je također pravilno odrediti krutost čeličnog kljuna koja utječe na smanjenje momenta savijanja. Čelični kljun je iz punih čeličnih L nosača ili iz rešetkastih nosača, koji se pritvrđuju na krajnjoj dijafragmi glavne nosive konstrukcije mosta. Ako je vitkost rasponske konstrukcije veća od $L/18$, opravdano je u cilju smanjenja momenata savijanja tijekom potiskivanja upotrijebiti čelični pilon sa zategama.



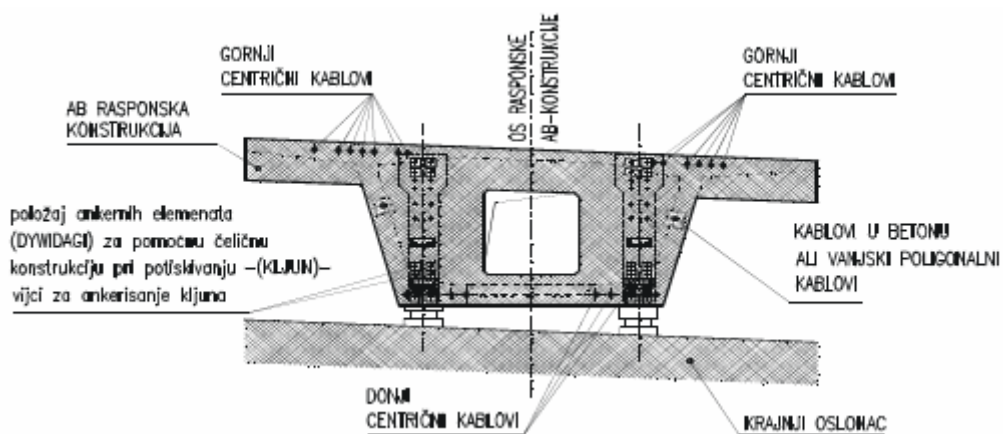
Slika 15. Pritvrđivanje kljuna na rasponsku konstrukciju i radna oplata na stupu



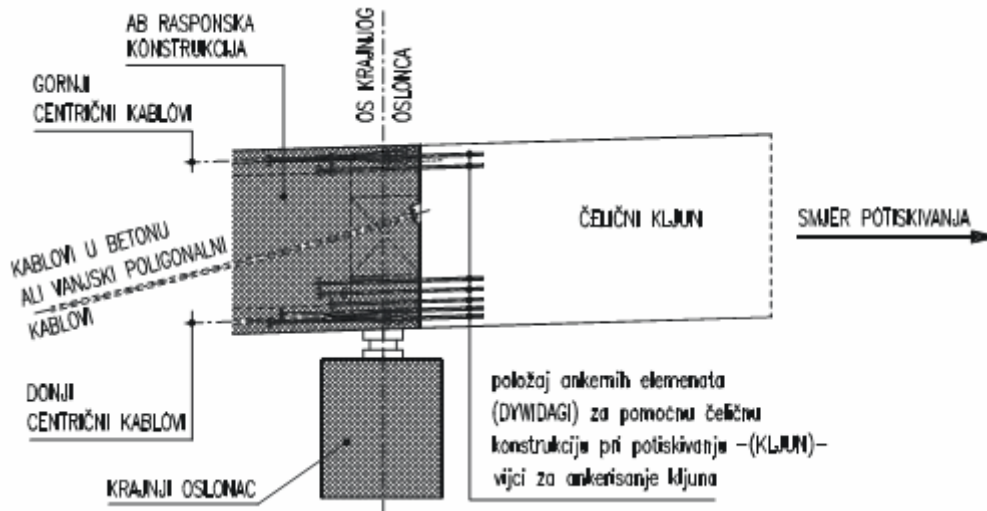
Slika 16. Pilon za ojačanje rasponske konstrukcije



Slika 17. Trolist



Slika 18. Poprečni presjek



Slika 19. Podužni presjek

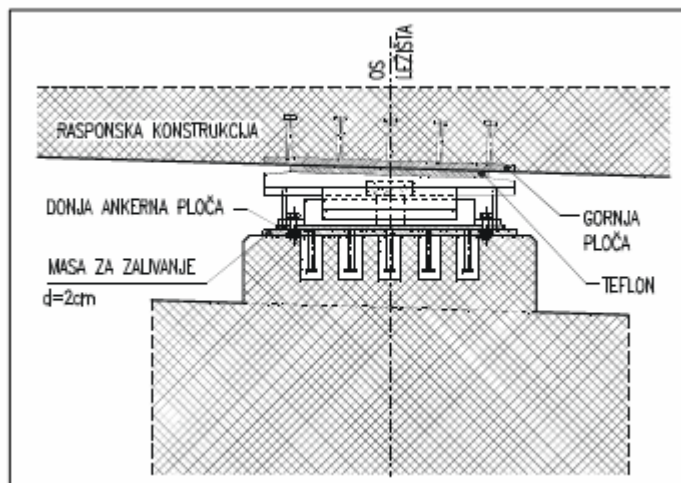
6. KLIZNA LEŽIŠTA NA STUBOVIMA S TEFLONSKIM ULOŠCIMA

Za postupno potiskivanje rasponske konstrukcije na osloncima potrebno je ugraditi privremena klizna ležišta. Postoje dva načina za izradu kliznih ležaja:

- privremena ležišta koja se odstranjuju i zamjenjuju s konačnim
- privremena ležišta koja se nadograđuju na konačna
- na vrhu stupova postavljaju se privremena ležišta za klizanje konstrukcije tijekom postupnog potiskivanja. Ležišta se sastoje od armiranobetonskog bloka s mortom za fiksiranje, podmetača za klizanje u obliku čelične ploče izrađene iz nehrđajućeg čelika i pritvrđeni epoksidnim mortom na betonski blok, a postavljaju se u nagibu donje ploče glavne rasponske konstrukcije. Teflonski ulošci su iz neoprena debljine 10 mm, čelične ploče debljine 2,0 mm iz teflona debljine 1,0 mm i dimenzija u osnovi koje ovise o veličini opterećenja. Teflonski ulošci se polažu tako da je neoprenska oslonjena na gornju rasponsku betonsku konstrukciju, a teflon na poliranu stranu čelične obloge privremenog ležišta. Kontaktni pritisak mora biti manji od 12 MPa kako ne bi došlo do proboja ležišta kroz donju ploču sanduka rasponske konstrukcije. Poslije završenog potiskivanja podiže se rasponska konstrukcija, izvlače se privremena ležišta i ugrađuju konačna.
- ukoliko se konačno ležište istovremeno koristi i kao privremeno kod postupnog potiskivanja, tada na gornjem dijelu ležišta postavljamo čeličnu ploču koja služi za klizanje konstrukcije u vremenu potiskivanja. Nakon izvršenog potiskivanja zavarimo gornju ploču na ploču koja je ugrađena u rasponsku konstrukciju.



Slika 20. Shema konačnog i privremenog ležišta



Slika 21. Shema konačnog i privremenog ležišta

7. BOČNE HIDRAULIČNE VODILICE NA VRHU STUBA SA SENZORIMA ZA EVENTUALNO ZAUSTAVLJANJE

7. 1. Potiskivanje i platforma

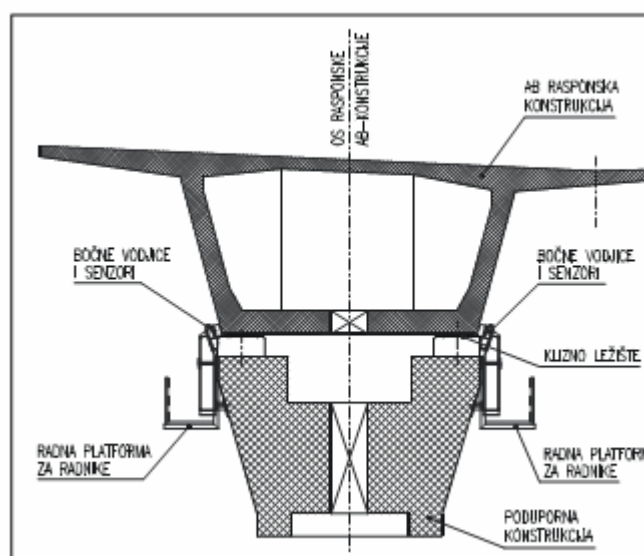
Za vođenje rasponske konstrukcije u uzdužnom smjeru tijekom procesa postupnog potiskivanja potrebno je ugraditi hidraulične bočne vodilice. Između vodilica i betonske konstrukcije se postavlja teflonski uložak da smanji trenje. U slučaju pogreške ili nepredviđenog slučaja ugrađuju se senzori na vrhu stuba koji zaustavljaju proces postupnog potiskivanja. Bočne vodilice i senzori ugrađuju se na izlazu iz platforme i na svakom stupu.



Na vrhu stupova su radne platforme za radnike tijekom izvođenja potiskivanja (postavljanje teflonskih ležišta, kontrola rada bočnih vodilica, isključivanje alarmnih naprava itd..).



Slika 22. Vodilice



Slika 23. Shema vodilica



8. NAPRAVA ZA DRŽANJE GLAVNE NOSIVE KONSTRUKCIJE TIJEKOM STUPNJEVANOG POTISKIVANJA I ZA VRIJEME MIROVANJA KONSTRUKCIJE

Ako izvodimo postupno potiskivanje u smjeru pada konstrukcije, onda je potrebno rasponsku konstrukciju tijekom građenja pridržavati. Sličan problem nastaje i u konstrukcijama koje potiskujemo u suprotnom smjeru pada. Moguće je klizanje konstrukcije u suprotnom pravcu

od smjera potiskivanja. Za pridržavanje konstrukcije potrebno je diwidag šipkama $\varnothing 36$

pričvrstiti čelični konzolni nosač na donjoj strani sanduka koji je preko horizontalnog kabla, sidrenih glava i preše za prednaprezanje povezan s krajnjim osloncem, odnosno s platformom za izradu segmenata. Unošenjem potrebne sile u kabel pridržava se cijela konstrukcija u mirnom stanju.



Slika 24. Naprava za pridržavanje



Slika 25. Senzori glavne rasponske konstrukcije



9. ZAKLJUČAK

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

Mostovi izgrađeni po tehnologiji postupnog potiskivanja optimalno zadovoljavaju sve kriterije vještine projektiranja i građenja objekata, a posebno kriterij robusnosti i trajnosti.