

PREDNAPETI BETON



– 16 –

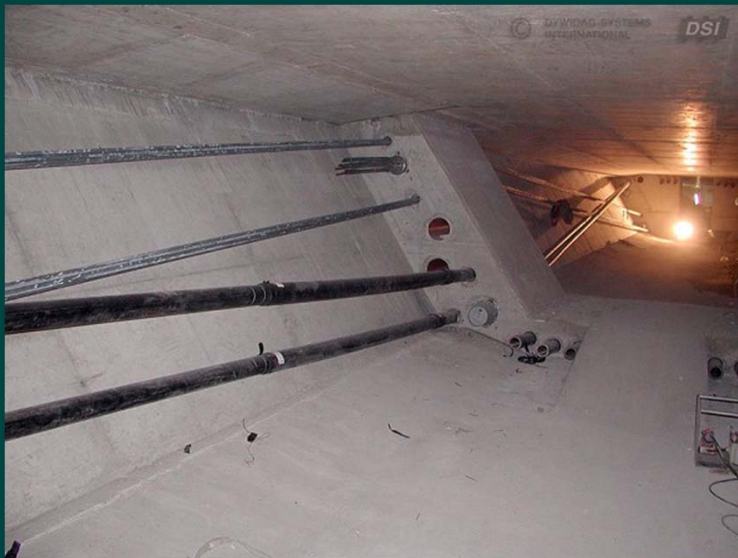
VANJSKO PREDNAPINJANJE

VRSTE PREDNAPINJANJA (1.predavanje)

B) Prema položaju natege u odnosu na betonski presjek:

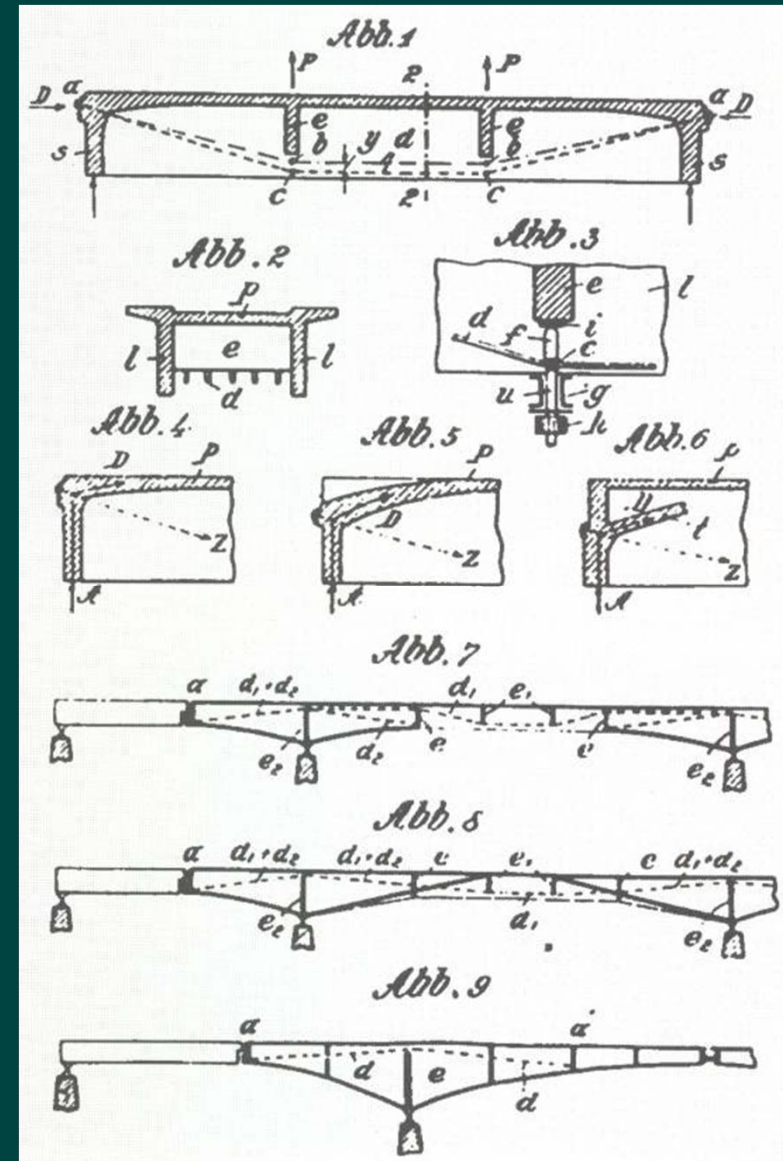
2. VANJSKO PREDNAPINJANJE

- ▣ Kabeli se nalaze izvan samog betona
- ▣ Izvan betonskog nosača I presjeka, izvan zida, unutar šupljine sandučastog presjeka
- ▣ Primjenjuje se pri gradnji i ojačavanju mostova i pri ojačavanju zgrada



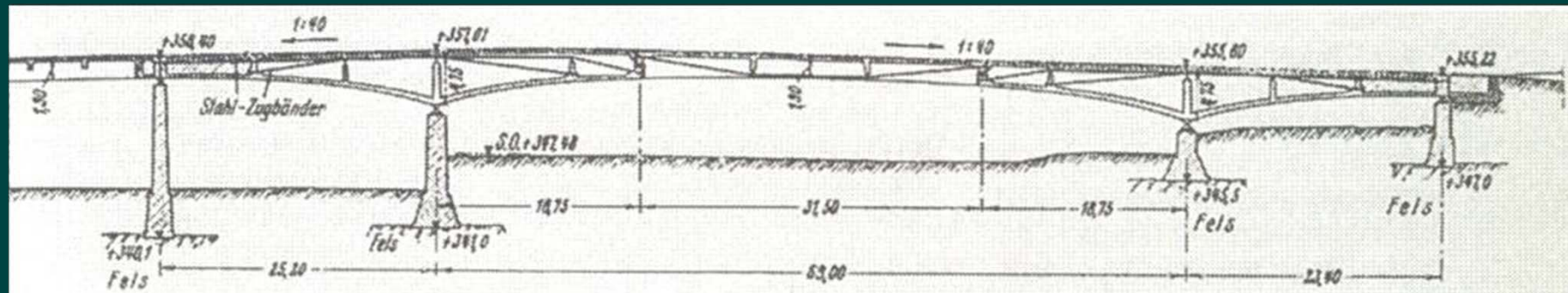
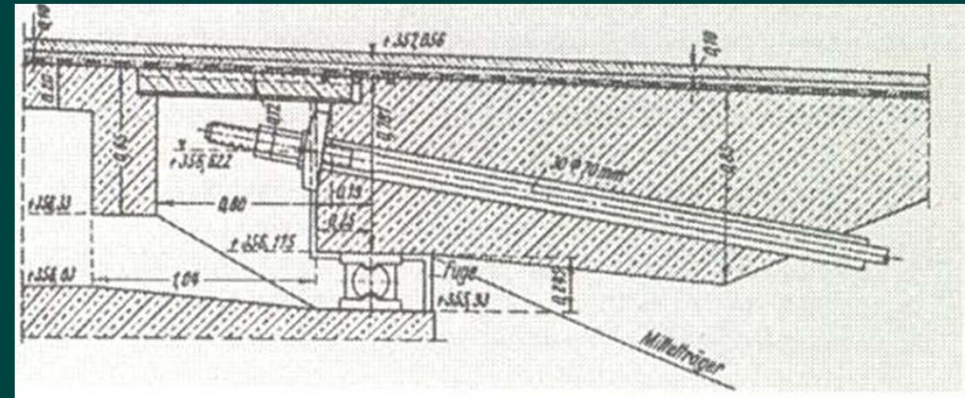
PRVA IDEJA VANJSKOG PREDNAPINJANJA

- Dischinger je tvorac inovativne ideje o naknadnom napinjanju betonskih greda ojačanih vanjskim nategama.
- 1934. godine prijavio je patent za vanjsko prednapinjanje u Francuskoj i Njemačkoj.
- Predložio je dodatno prednapinjanje kako bi se izravnale deformacije od puzanja i skupljanja.



POČETNA PRIMJENA

- 1937. sagrađen je prema Dischingerovom projektu 308 m dug most preko željezničke stanice Aue u Sachenu, Njemačka.
- Rasponi su 25 + 69 + 25 m. U središnjem rasponu umetnut je 31,5 m dug i 1,9 m visok nosač.
- Tri raspona prednapeta su vanjskim prednapinjanjem sa čeličnim šipkama promjera 70 mm, kvalitete 360/520.



POČETNA PRIMJENA

- Nakon toga u idućih je desetak godina izvedeno nekoliko mostova sa vanjskim prednapinjanjem od kojih je dobar dio i danas u upotrebi.
- Unatoč dokazanim dobrim karakteristikama, nekoliko godina po završetku II. svjetskog rata vanjsko je prednapinjanje potisnuto u korist ubetoniranih natega. Osnovni razlozi bili su
 - bolja iskorištenost čelika za prednapinjanje (do granice tečenja),
 - povoljniji ekscentricitet i
 - primjerenija antikorozivna zaštita.
- Usprkos tome, vanjsko prednapinjanje nije u potpunosti iščezlo. Primijenjeno je pri izvedbi nekolicine mostova u Belgiji, Francuskoj i Velikoj Britaniji.
- Glavni razlog zbog kojeg vanjsko prednapinjanje nije primijenjeno na više objekata jest problem korozije čelika za prednapinjanje koji se bez iznimke pojavio na svim izvedenim objektima.
- Posljedica je bila vrlo brza djelomična ili čak potpuna zamjena natega za prednapinjanje, a neki su mostovi (primjerice Can Bia) čak zatvoreni za promet i demontirani.

POČETNA PRIMJENA U OJAČAVANJU

- Osim primjene pri izvedbi novih objekata, značajno je spomenuti i prvu primjenu vanjskog prednapinjanja pri ojačavanju postojećih konstrukcija.
- Tako je 1967. godine ojačan most preko rijeke Aare u Aarwangu (Švicarska).



- Most je sagrađen 1889. godine i nije bio u mogućnosti preuzeti suvremeno prometno opterećenje. Ojačanje se sastojalo od dva kabela promjera 63 mm sa čvrstoćom od 1370 N/mm^2 .

VERZIJE VANJSKOG PREDNAPINJANJA

- 1976. C. Menn razvio je sustav prednapinjanja s nategama izvan presjeka za most Ganter.
- Natege se vode preko pilona kako bi se povećala krutost na savijanje betonskog mosta.
- Nakon prednapinjanja natege su obučene u beton.



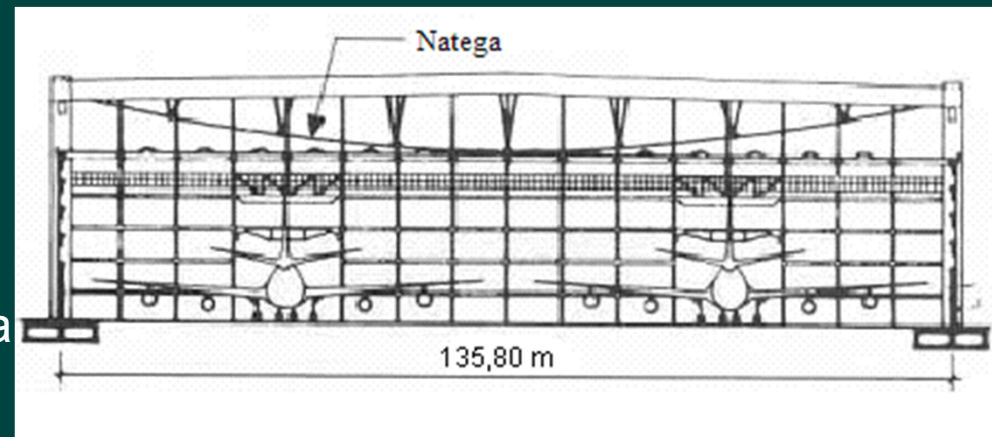
VERZIJE VANJSKOG PREDNAPINJANJA

- ❑ 1992. godine francusko-japanski tim dalje je razvio Mennovu ideju u novi tip mostova prednapetih po ekstradosu kod kojih se natege vode preko niskog pilona.
- ❑ Ovaj sustav primijenjen je za most Blue Odawara u Japanu.



SUVREMENA PRIMJENA

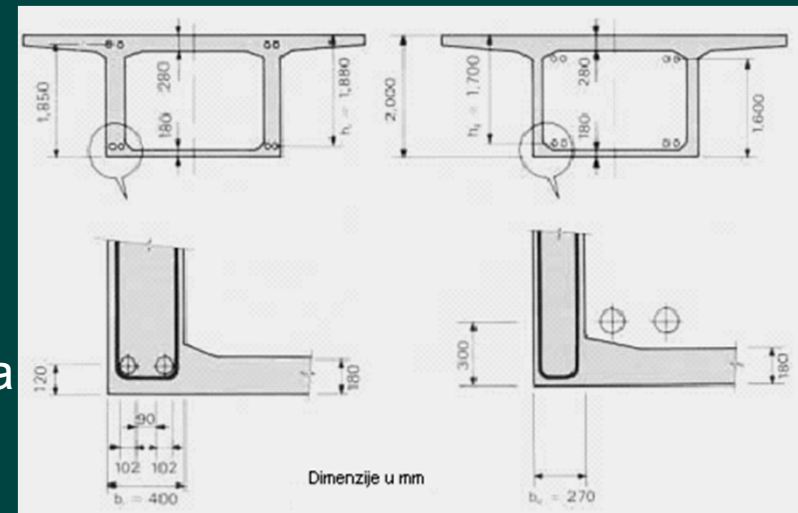
- Vanjsko prednapinjanje može se koristiti
 - za nove konstrukcije kao i
 - za postojeće kojima je potrebno ojačanje.
- Primjena nije ograničena samo na betonske konstrukcije. Svaki materijal razumnih tlačnih karakteristika može se kombinirati sa vanjskim kabelima. Tako su poznate primjene sa
 - konstrukcijskim čelikom,
 - armiranim betonom,
 - drvenim i
 - zidanim strukturama.
- Kod izbora nosive konstrukcije mosta projektant može izabrati vanjske ili unutarnje natege ili pak njihovu kombinaciju.
- Iako su unutarnje natege dugi niz godina gotovo uvijek imale primat, postoji velik broj razloga za osiguranje nosivosti uporabom vanjskih natega.



Hangar na Beogradskom aerodromu

PREDNOSTI

- Pобољшanje uvjeta betoniranja
 - smanjenje zapreka betoniranju jer nema zaštitnih cijevi unutar presjeka
- Pобољшanje uvjeta postavljanja natega za prednapinjanje
 - Osim na sidrišnim mjestima natega su u potpunosti postavljene izvan betona čime su značajno umanjeni gubici sile prednapinjanja uslijed trenja.
 - S druge strane, poligonalni oblik natega umanjuje gubitke uslijed nepredviđenih skretanja koji se pojavljuju samo na mjestima brižljivo odabranih skretnika.
 - Nema oslabljenja poprečnog presjeka na mjestima spojeva
- Pобољшanje uvjeta injektiranja i prednapinjanja
 - izvedba i kontrola izvedbe
 - mogućnost kontrole i podešavanja sila u nategama
- Smanjenje težine konstrukcije uz poboljšanje uvjeta nosivosti
 - Obzirom da se natega za prednapinjanje ne smještaju unutar presjeka, moguće je predvidjeti njegove minimalne potrebne dimenzije čime se značajno može doprinjeti smanjenju težine konstrukcije.
 - Osim toga, nosivost presjeka se povećava u smislu nepostojanja otvora za natega kroz hrptove što je inače jedan od najosjetljivijih detalja svake prednapete konstrukcije.
- Mogućnost zamjene ili dodavanja vanjskih natega
 - sustav natega zajedno sa svojim sidrima i sedlima mora biti odgovarajuće projektiran

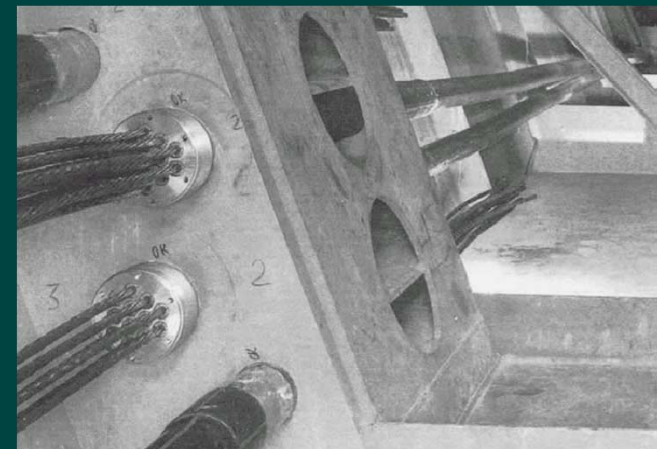


MANE

- Izloženost agresivnim utjecajima okoline
 - Vanjske su natege, za razliku od unutrašnjih, znatno više izložene agresivnim utjecajima okoline.
 - Tu se prvenstveno misli na osjetljivost na požar te agresivne utjecaje životinjskog i ljudskog porijekla, posljedica kojih je brža korozija čelika vanjskih u usporedbi s unutrašnjim nategama.
- Poteškoće pri pozicioniranju natege u prolazu kroz beton
 - Na mjestima skretnika i sidrišnim mjestima zahtijeva se precizno postavljanje i pozicioniranje natega kako ne bi došlo do povećanja gubitaka uslijed trenja i pojave parazitnih napona u kabelu i oklonom betonu.
- Smanjena mogućnost pritezanja vanjskih natega
 - Produljenje čelika kod vanjskih natega jednoliko je na dužini između dvije točke učvršćenja i znatno manje od deformacije betona (razlika je veća što su točke učvršćenja međusobno udaljenije).
 - Zbog toga znatnije pritezanje natege uzrokuje značajnije deformacije i u betonu i u unutrašnjim nategama (ako postoje).
 - Ograničavanje ovih deformacija na razumnu veličinu ima za posljedicu smanjenje mogućnosti pritezanja vanjskih natega.
- Poteškoće pri rukovanju i postavljanju preša za prednapinjanje
 - Prilikom izrade projekta izvana prednapetih nosača treba predvidjeti i potrebni prostor za postavljanje preša za prednapinjanje.
 - Riječ je o prešama veće nosivosti nego za slučaj ubetoniranih natega jer se u slučaju vanjskog prednapinjanja uvijek teži ka postavljanju što je moguće manjeg broja natega.

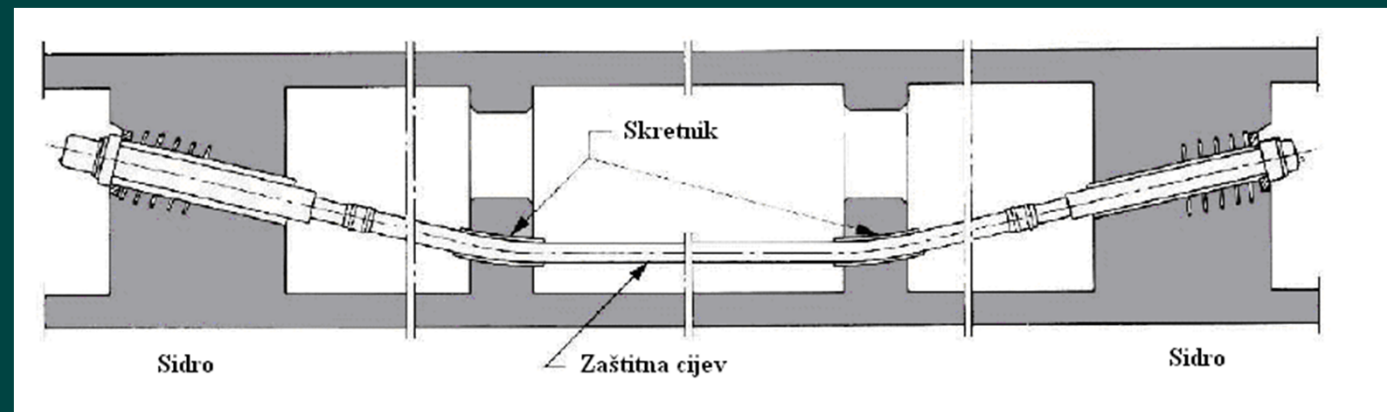
EKONOMSKA OPRAVDANOST

- Primjenom vanjskog prednapinjanja reducira se ukupna površina presjeka odnosno smanjuje težina konstrukcije, a time i naponi uslijed vlastite težine.
 - S druge strane treba voditi računa o tome da skretnici i sidrišne grede mogu u potpunosti poništiti ovo smanjenje.
- Za isti učinak vanjske su natege često manje djelotvorne od unutrašnjih zbog
 - svog poligonalnog oblika,
 - manjih ekscentriciteta u kritičnim presjecima i
 - zbog smanjene mogućnosti pritezanja natege.
- Vanjske natege imaju veću nosivost od istovrsnih unutrašnjih
 - zbog znatno manjeg trenja.
- Za istu količinu nenapete armature vanjsko prednaprezanje skuplje je od konvencionalnog zbog
 - primjene specifičnih materijala (cijevi, sidrišta),
 - problema pozicioniranja natege u prolazu kroz beton,
 - te problema pri postavljanju preša za prednapinjanje.



EKONOMSKA OPRAVDANOST

- Iz svega navedenog može se zaključiti:
 - početna cijena vanjskog prednapinjanja povoljnija je samo u slučaju znatnijeg smanjenja težine konstrukcije
 - vanjsko prednapinjanje nesumljivo pridonosi kvaliteti, a time i trajnosti konstrukcije
 - pogodnosti stalnog praćenja izvedbe i korištenja vanjskog prednapinjanja umanjuju cijenu održavanja



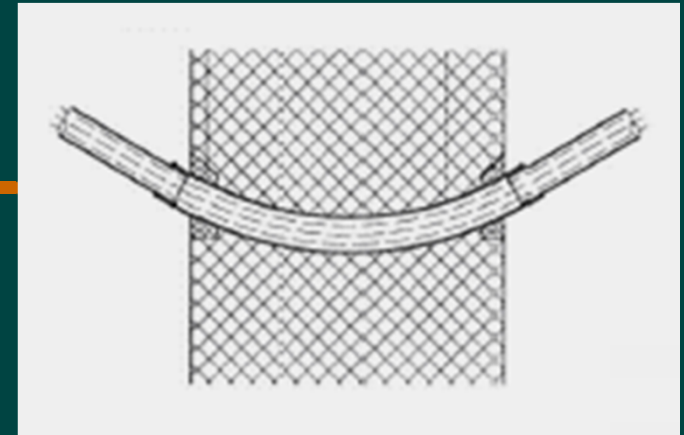
Komponente sustava vanjskog prednapinjanja

VRSTE NATEGA ↔ TEHNOLOGIJA IZVEDBE

- Tehnologija izvedbe vanjskog prednapinjanja razlikuje se
 - za natege kod kojih je predviđena mogućnost zamjene i
 - za stalne (nezamjenjive) natege.
- Obzirom da se u oba slučaja radi o natagama neposredno izloženim agresivnom utjecaju okoline,
 - potrebno je predvidjeti primjerenu antikorozivnu zaštitu u vidu injekcionih smjesa različitih u ovisnosti o odabranoj tehnologiji izvedbe.
- Razlikuju se:
 1. **Stalne natege**
 2. **Zamjenjive natege injektirane cementnim mortom**
 3. **Zamjenjive natege injektirane mekim smjesama**
 4. **Galvanizirane natege**
 5. **Natege sastavljene od niza pojedinačno zaštićenih žica**
 6. **Privremene natege**

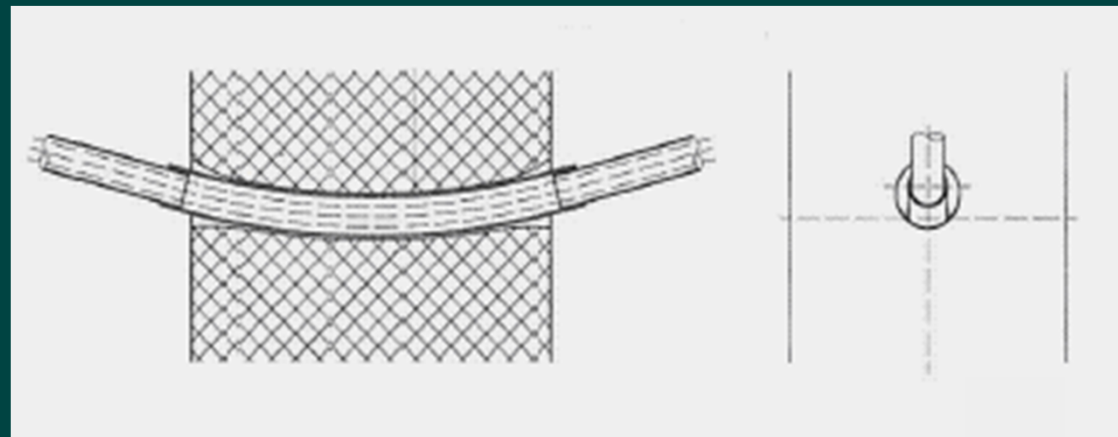
1. STALNE NATEGE

- Ukoliko se ne planira zamjena vanjskih natega, preporuča se izvršiti
 - injektiranje cementnim mortom.
- U ovom se slučaju najčešće primjenjuju
 - polietilenske cijevi na slobodnim dionicama natega,
 - odnosno svinute čelične tube na mjestima prolaza natega kroz beton.
- Primjena čeličnih cijevi na čitavoj dužini natega moguća je, ali je znatno skuplja.
- Veza između polietilenskih i čeličnih cijevi izvodi se na jedan od sljedećih načina:
 - Gumenim spojnica, obzirom da ove spojnice ne mogu preuzeti potisak injektiranja, potrebno ih je zaštititi čeličnom ovojnicom
 - Na krajeve čelične cijevi moguće je navući kratke dijelove polietilenske cijevi koji djelomično zadiru u beton, a njihova se veza s glavnom cijevi ostvaruje toplinskim spajanjem
- Opisano tehnološko rješenje smatra se daleko najekonomičnijim za slučaj nezamjenjivih natega iako je moguća primjena rješenja opisana za slučaj zamjenjivih natega.



2. ZAMJENJIVE NATEGE INJEKTIRANE CEMENTNIM MORTOM

- Ukoliko se natege predviđene za zamjenu injektiraju cementnim mortom,
 - potrebno je na mjestima prolaza kroz beton (skretači, sidrišna mjesta) postaviti dvostruku ovojnicu.
- U ovom je slučaju
 - zaštitna cijev natege na čitavoj dužini od istog materijala (primjerice od polietilena),
 - dok se tube na mjestu prolaza natege kroz beton izvode kao čelične.



3. ZAMJENJIVE NATEGE INJEKTIRANE MEKIM SMJESAMA

- Među prvima u uporabi među mekim injekcionim smjesama bila je smjesa ulja i sapuna. Obzirom na vrlo veliku viskoznost ove smjese pri normalnoj temperaturi okoliša primjenjivala su se dva postupka injektiranja:
 - **injektiranje pri niskoj temperaturi (40°C)**
 - U ovom je slučaju pritisak na cijev pri injektiranju povećan i treba voditi računa da ga cijevi mogu preuzeti; otvori za injektiranje postavljeni su na manjim razmacima
 - **injektiranje pri višim temperaturama (80-90°C)**
 - U ovom je slučaju pritisak pri injektiranju znatno manji iz razloga što je injekciona smjesa gotovo tekuća. Treba osigurati nepropusnost cijevi kako ne bi došlo do istjecanja smjese, posebice na mjestima spojnica.



3. ZAMJENJIVE NATEGE INJEKTIRANE MEKIM SMJESAMA

- Ova smjesa nije u potpunosti zadovoljila zahtjeve vanjskog prednapinjanja
 - prvenstveno zbog svoje nestabilnosti (do razdvajanja ulja i sapuna dolazilo je u oba prethodno navedena slučaja) i
 - zahtjeva na čvrstoću i nepropusnost cijevi.
- Iz tih razloga danas se kao meka smjesa koristi uglavnom petrolejski vosak.
 - Injektiranje se provodi pri temperaturi od 90°C direktno iz specijalno konstruiranih cisterni opremljenih s pumpama.



3. ZAMJENJIVE NATEGE INJEKTIRANE MEKIM SMJESAMA

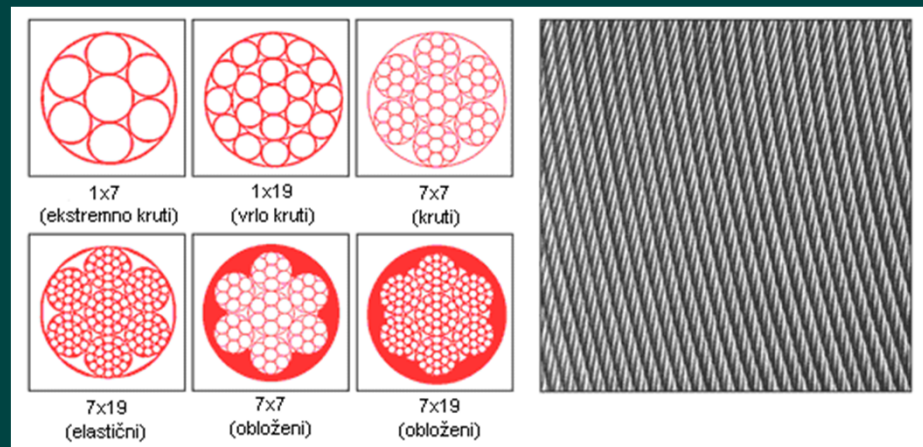
- Problem o kojem treba voditi računa prilikom primjene mekih smjesa je
 - njihov deseterostruko veći koeficijent toplinskog širenja u odnosu na čelik i beton.
- To znači da ukoliko meka smjesa pri normalnoj temperaturi u potpunosti ispuni cijev,
 - pri povećanju temperature prouzročit će visoke pritiske posljedica kojih može biti njezino istjecanje.
- Da bi se to spriječilo potrebno je za injektiranje pri temperaturama do 40°C izvesti
 - posebne ekspanzione komore čiji je volumen proračunat za maksimalnu očekivanu temperaturu u predviđenom vijeku trajanja natega.
- Za slučaj injektiranja pri višim temperaturama,
 - meka će smjesa smanjiti volumen hlađenjem i tako osigurati dovoljno prostora za širenje u vrućim periodima.

3. ZAMJENJIVE NATEGE INJEKTIRANE MEKIM SMJESAMA

- Za razliku od injektiranja cementnim mortom, u slučaju mekih smjesa nije potrebno postavljati dvostruku ovojnicu na mjestima prolaza natege kroz beton.
 - Na tim se mjestima, slično kao i za nezamjenjive natege injektirane cementnim mortom postavljaju svinute čelične tube.
- Vanjske su natege injektirane mekim smjesama,
 - usprkos tome što ih je moguće otpustiti i bez presijecanja (mogućnost ponovnog korištenja kabela ili cijevi),
 - ipak skuplje u odnosu na injektirane cementnim mortom
- Samo injektiranje obavlja se teže (obično pri temperaturi od 100°C) pri čemu je potrebno
 - precizno izvesti spojeve cijevi kako ne bi došlo do istjecanja smjese,
 - a njihovom rijetkom korištenju pridonosi i nedostatak konkretnih podataka o ponašanju ovakvih sustava u dužem vremenskom periodu.

4. GALVANIZIRANE NATEGE

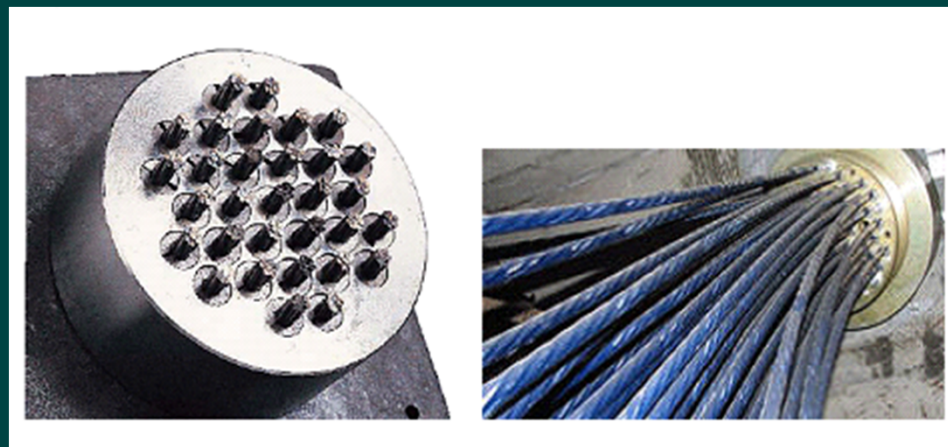
- Pojedini projektanti predlažu kao jedinu potrebnu zaštitu natege od korozije njezinu galvanizaciju.
- U tom se slučaju natega ne zaštićuje cijevima što bitno olakšava njihov vizualni pregled.
- Kako je međutim zabranjeno postaviti nezaštićene i nepoduprte natege zbog opasnosti po osoblje ukoliko dođe do njihovog pucanja,
 - na kratkim je međurazmacima potrebno obuhvatiti žice prstenovima ili ih pričvrstiti u betonskim držačima.
 - Pri tome treba voditi računa da se na mjestima pridržanja ne ošteti galvanizacijska zaštita.
- Osim navedenih rješenja, natege je moguće postaviti i u perforirane cijevi koje omogućuju vizualnu provjeru, ali to je rješenje nešto skuplje.



Vrste galvaniziranih kabela

5. NATEGE SASTAVLJENE OD NIZA POJEDINAČNO ZAŠTIĆENIH ŽICA

- Osnovne prednosti su
 - niska vrijednost koeficijenta trenja i
 - mogućnost zatezanja uz lagano i jednostavno rukovanje prešama.
- Zamjerka ovakvim nategama je ta što
 - na zakrivljenim dionicama, unutar snopa žica, pritisak gornjih slojeva uzrokuje cijepanje pojedinačnih polietilenskih ovojnica koje u sredini postaju pretanke da bi slijedile nastale deformacije.
 - Ovaj problem se najsvrsishodnije rješava injektiranjem cementnog morta između pojedinih zaštićenih žica.
- Ovaj sustav vanjskog prednapinjanja omogućava izmjenu svake pojedine žice ukoliko se prije toga cementni mort ispere vodom pod visokim pritiskom.



6. PRIVREMENE NATEGE

- Ukoliko se vanjske natege koriste privremeno,
 - primjerice samo tijekom izgradnje objekta,
 - tada kvaliteta antikorozivne zaštite ovisi neposredno o trajanju njihove upotrebe.
- Ako se vanjske natege za privremenu upotrebu
 - skladište na gradilištu i koriste više mjeseci u agresivnim uvjetima koji pospješuju koroziju
 - potrebno ih je galvanizirati.
- U slučaju kraćeg korištenja
 - od nekoliko tjedana do nekoliko mjeseci u dobrim uvjetima
 - moguće je upotrijebiti čiste neinjektirane natege.
- U oba slučaja iz sigurnosnih razloga potrebno je
 - na kraćim razmacima natege pridržati prstenovima
 - ili ih postaviti u zaštitne cijevi, ali znatno tanje nego za slučaj trajnih natega.

ZAŠTITNE CIJEVI

- Materijal od kojeg se izvode zaštitne cijevi u koje se polažu natege za vanjsko prednapinjanje mora zadovoljiti slijedeće uvijete:
 - neagresivnost za natege i injekcionu smjesu
 - mogućnost preuzimanja maksimalnog pritiska injektiranja
 - mogućnost preuzimanja kontaktnog pritiska natege na mjestima skretanja ukoliko je injektiranje izvedeno mekim smjesama
 - trajnost osobito na djelovanje ultraljubičastog sunčevog zračenja
- Cijevi se uglavnom izrađuju kao
 - polietilenske (visoke gustoće)
 - ili čelične,
 - znatno rjeđe i samo uz posebna ispitivanja kao plastične ili
 - od kompozitnog staklenim vlaknima armiranog materijala.



ZAŠTITNE CIJEVI

- Pri tome unutarnji promjer cijevi mora biti najmanje jednak

$$1.7\sqrt{A_p}$$

- gdje je A_p nominalna površina poprečnog presjeka svih kabela,

- a debljina stijenki mora zadovoljiti uvjete:

$$e \geq \Phi/50$$

$$e \geq 1,5 \text{ mm}$$

- gdje je Φ vanjski promjer.

- Ukoliko se cijevi nastavljaju zavarivanjem tada mora biti:

$$e \geq 3,0 \text{ mm}$$

- Cijevi se moraju moći u hladnom stanju saviti po radijusu od

$$20\Phi$$

- Spajanje cijevi izvodi se

- zagrijavanjem,
- zavarivanjem ili
- mehaničkim spojnicaama kod čeličnih cijevi.

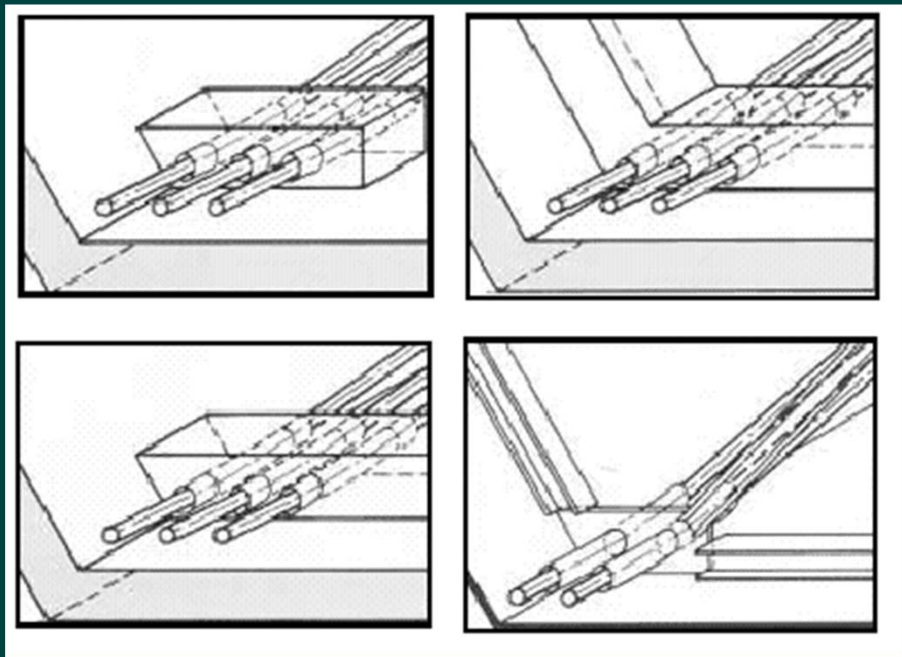
SKRETNICI

- Skretnici su sastavni dijelovi konstrukcije mosta
 - uobičajeno izvedeni iz betona,
 - a moguće ih je izvesti i u čeliku.
- Glavna zadaća skretnika je
 - preuzimanje i predavanje sila prednapinjanja,
 - te osiguravanje geometrije skretanja natege.
- Skretnici moraju zadovoljiti sljedeće zahtjeve:
 - preuzeti sve uzdužne i poprečne sile koje se u skretnik unose nategama i prenijeti ih na konstrukciju,
 - bez lomova osigurati vezu između dva ravna dijela natege koja se teoretski nalaze u istoj ravnini,
 - omogućiti sigurnu i jednostavnu zamjenu natega.
- Pravilno oblikovanje i primjereno dimenzioniranje skretnika jedna je od najosjetljivijih zadaća pri izvedbi vanjskog prednapinjanja.



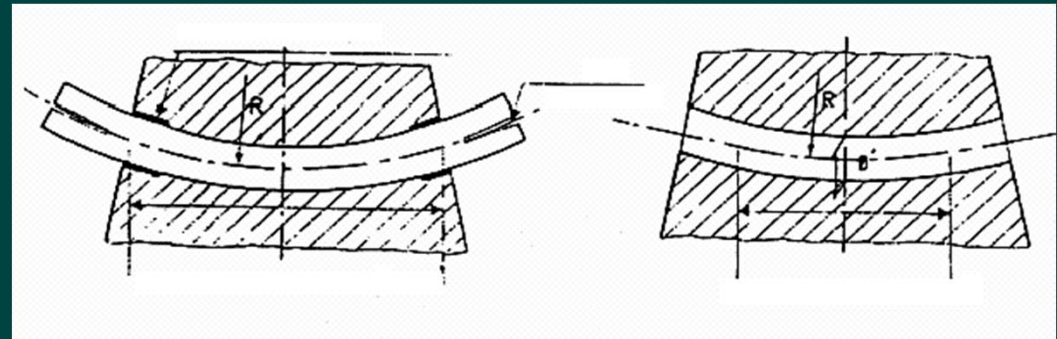
SKRETNICI

- Kod projektiranja skretnika važno je obratiti pažnju na slijedeće:
 - Raspored skretnika:
 - U praksi se koriste različita rješenja rasporeda skretnika.
 - U većini slučajeva skretnici se sastoje od ubetonirane savijene čelične cijevi
 - ili naknadno spojene sa čeličnom strukturom pomoću ukrućenih ploča.
 - Zaštitne cijevi moraju biti adekvatno spojene.

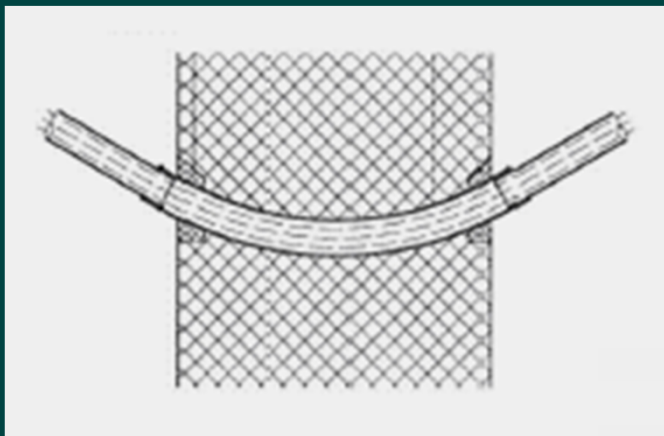


SKRETNICI

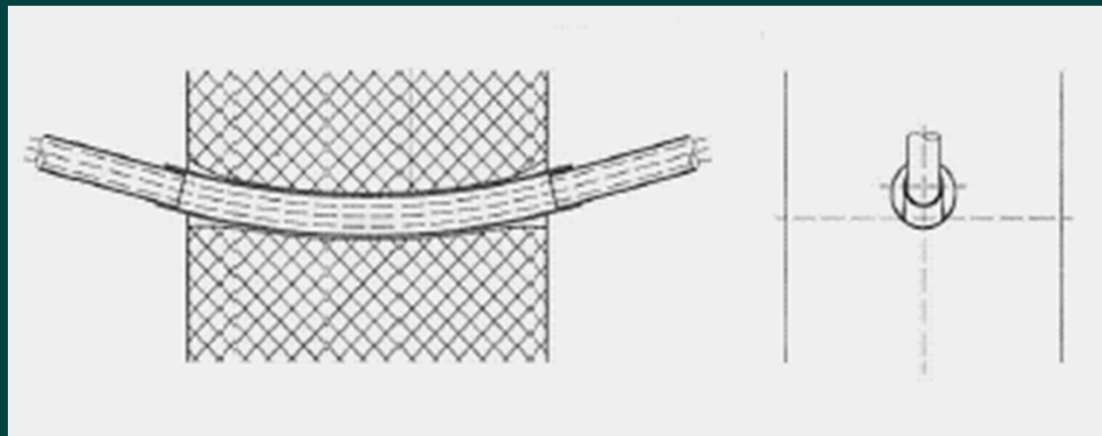
- Kod projektiranja skretnika važno je obratiti pažnju na slijedeće:
 - Minimalni radijus
 - Ograničenja radijusa moraju se poštivati, inače su moguća oštećenja čelika ili zaštitne obloge. U ovom području potrebna su još mnoga istraživanja. Do tada preporuča se korištenje već korištenih i testiranih rješenja.
 - Općenito vrijedi pravilo da natege kroz skretnik prolaze u kružnom luku minimalnog polumjera od 2 do 4 metra.
 - Proklizavanje natega
 - Pri oblikovanju skretnika treba voditi računa da su oni jedine čvrste točke natega za vanjsko prednapinjanje, te da se na tim mjestima javljaju vrlo veliki kontaktni pritisci uz opasnost proklizavanja natege pod cikličkim opterećenjem (prometno opterećenje), čime se bitno umanjuje otpornost sustava na zamor.



SKRETNICI



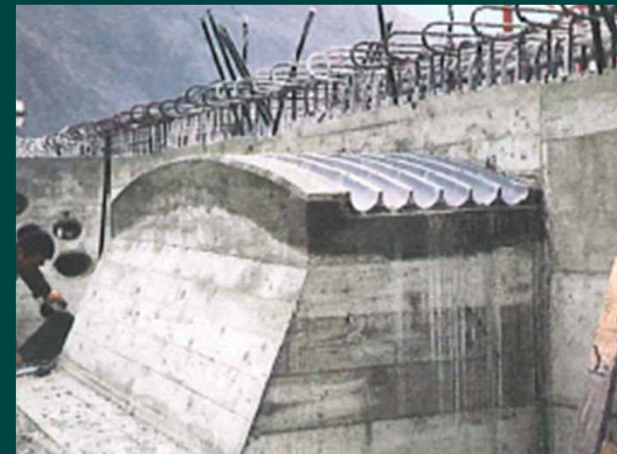
Skretnik za nezamjenjive natege



Skretnik za zamjenjive natege



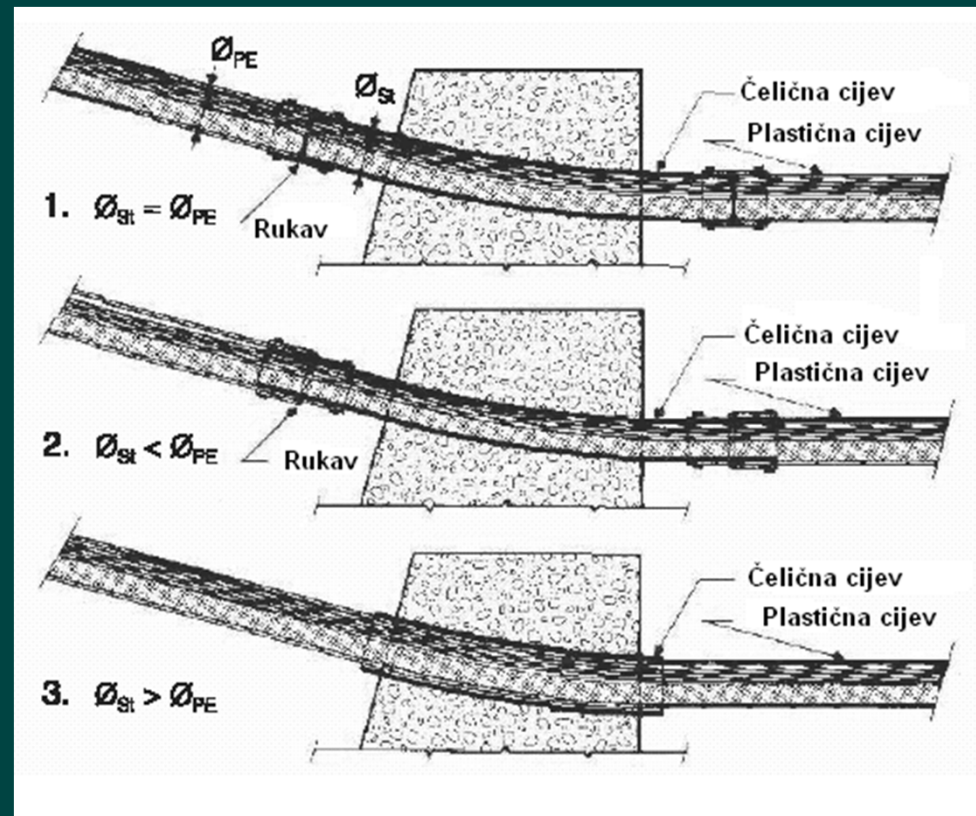
Otvoreno sedlo



Pogled na otvoreno sedlo

SKRETNICI

- Različite mogućnosti spajanja čelične cijevi koja prolazi kroz skretnik i plastične cijevi, pri čemu je:
 - Φ_{st} promjer čelične cijevi
 - Φ_{pl} promjer plastične cijevi
- Ako se projektom predviđa zamjena natege odabrati će se treće rješenje.



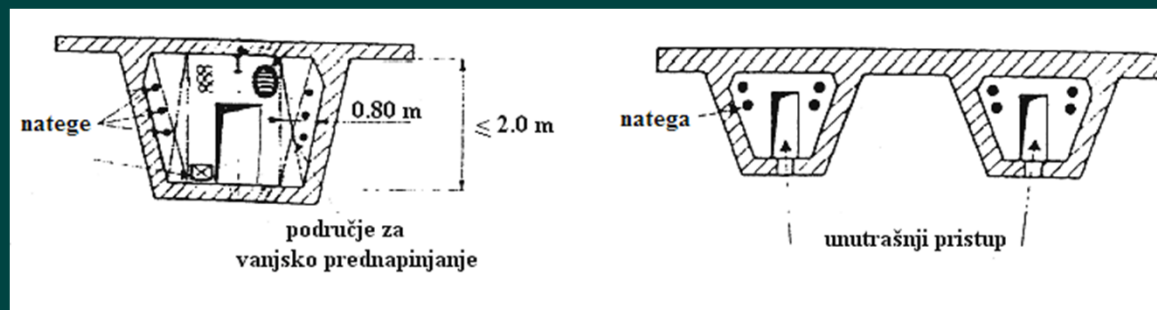
TEHNOLOGIJA ZAMJENE NATEGA

- Konstrukciju koja se prednapinje vanjskim nategama potrebno je
 - ili oblikovati tako da se omogući jednostavna i sigurna izmjena natega,
 - ili je potrebno izraditi posebni projekt kojim će se definirati način privremenog oblikovanja konstrukcije u tu svrhu.

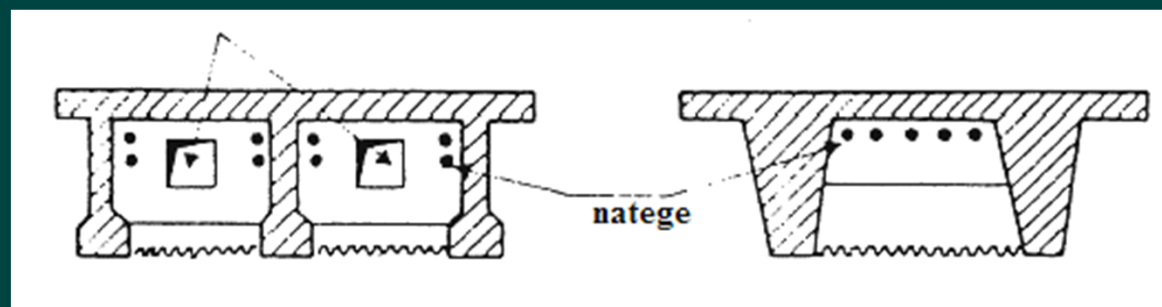
- U oba je slučaja potrebno osigurati:
 - mogućnost pristupa nategama
 - razmjerno laku komunikaciju unutar presjeka (tj. duž natege)
 - uvjete osvjetljenja i ventilacije
 - mogućnost transporta zamijenjenih i novih natega duž konstrukcije

- Moguće oblikovanje poprečnih presjeka izvana prednapetih mostova koje zadovoljava gore navedene uvjete prikazano je na sljedećim slikama.

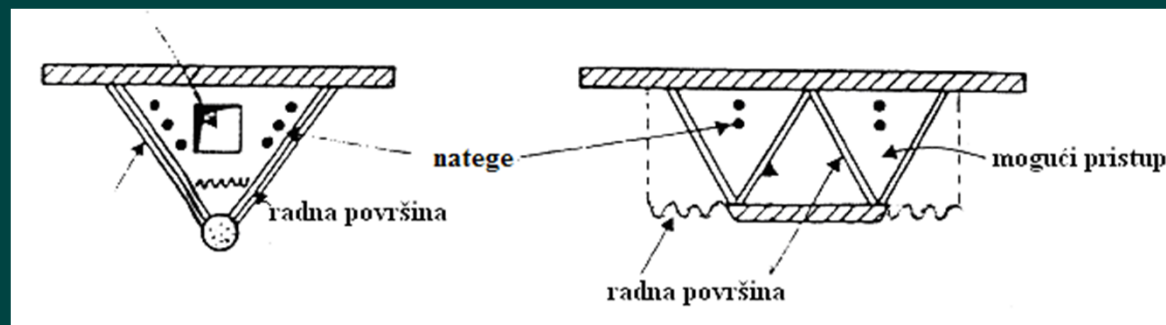
TEHNOLOGIJA ZAMJENE NATEGA



Sandučasti poprečni presjek

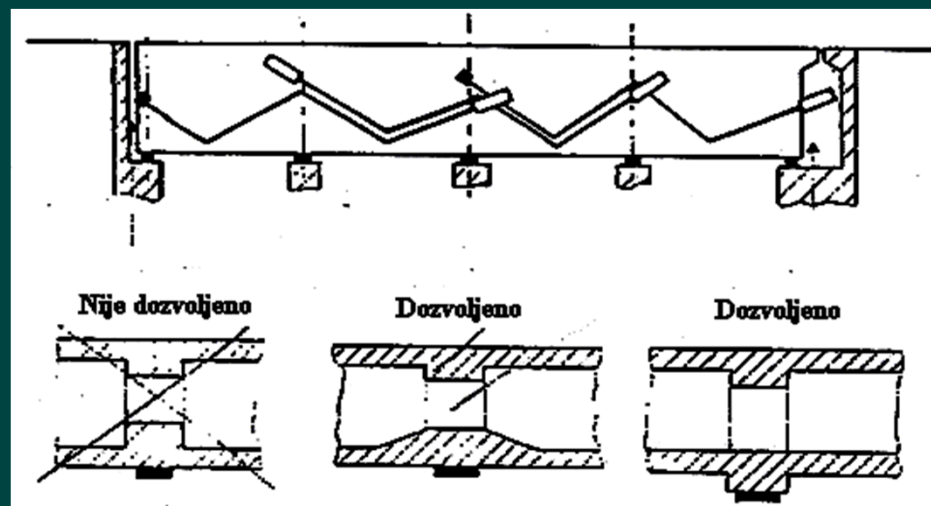


Rebrasti poprečni presjek

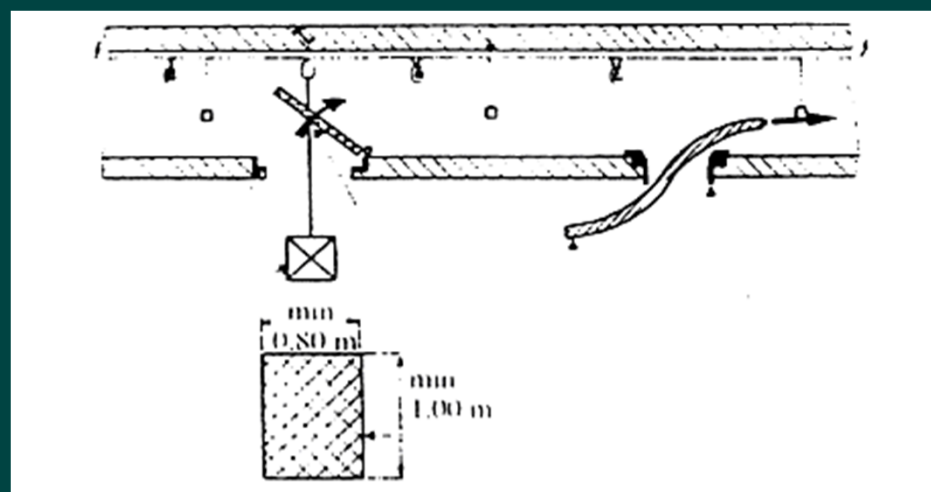


Posebni oblici poprečnog presjeka

TEHNOLOGIJA ZAMJENE NATEGA



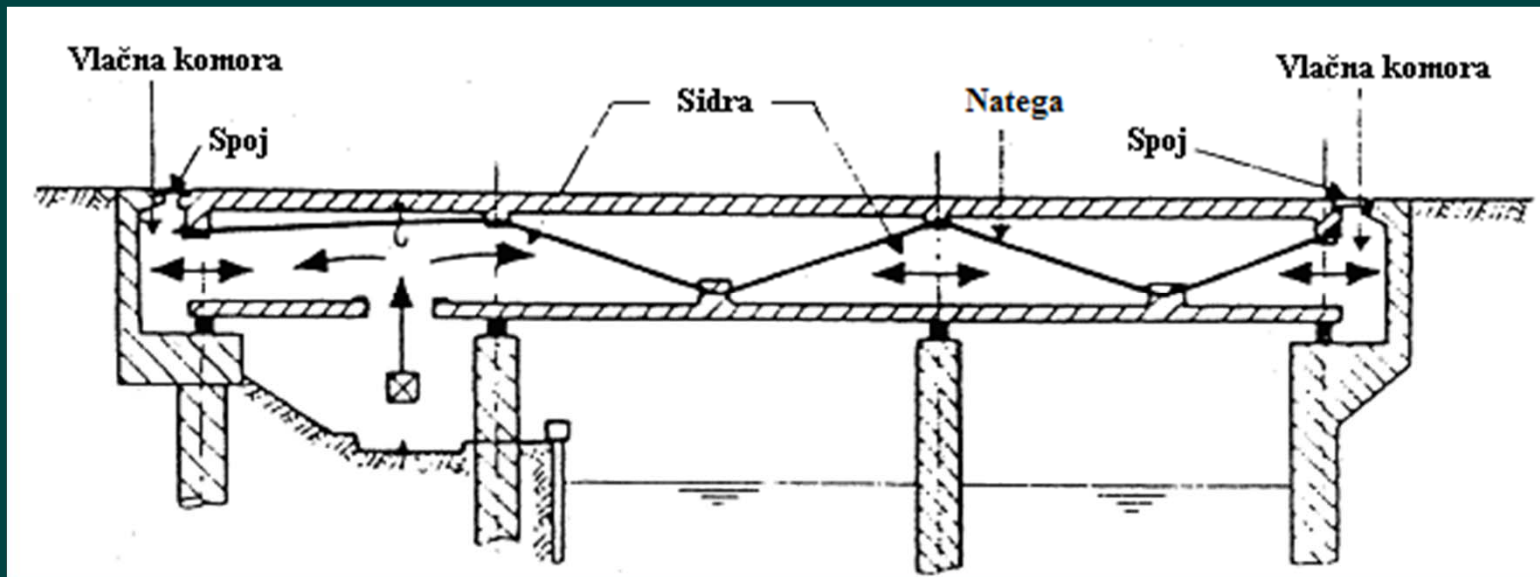
Zahtjevi za oblikovanje uzdužnog presjeka



Pored toga potrebno je predvidjeti posebne otvore za ulaz u konstrukciju i osigurati i primjereno armirati mjesta na konstrukciji o koja će se zavjesiti oprema prilikom unošenja u presjek

TEHNOLOGIJA ZAMJENE NATEGA

- Kao sastavni dio projektne dokumentacije radi osiguranja provedbe postupka zamjene vanjskih natega potrebno je izraditi:
 1. Nacrt ulaza i komunikacije kroz konstrukciju posebno vodeći računa o raspoloživoj opremi za zamjenu (opterećenjima i dimenzijama).



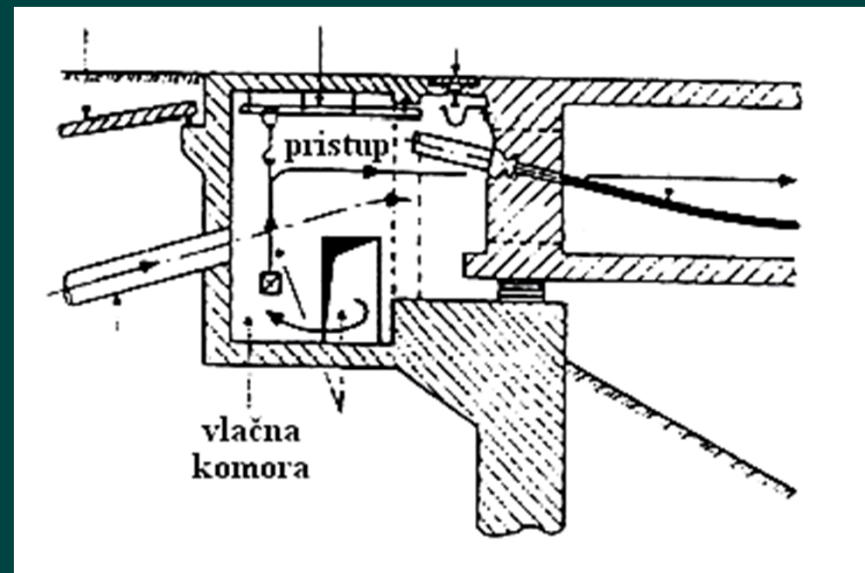
TEHNOLOGIJA ZAMJENE NATEGA

- Kao sastavni dio projektne dokumentacije radi osiguranja provedbe postupka zamjene vanjskih natega potrebno je izraditi:

2. Izvršnu studiju zamjene vanjskih natega kojom je definirano:

- tijek prednapinjanja,
- teoretski položaj svake natega,
- položaj skretnika i sidrišnih greda,
- položaj aktivnih i pasivnih kotvi prije i poslije zamjene,
- raspoloživi prostor osobito na mjestima ulaza u konstrukciju i sidrišnim mjestima,
- položaj vlačnih komora
- te postupak zamjene sidara, skretnika i sidrišnih greda.

Vlačna komora je prostor ostavljen u upornjaku, a služi za postavljanje preša za prednapinjanje. Dužine je 2-3 m ukoliko se radi o aktivnim, odnosno 1 m za pasivne kotve.



TEHNOLOGIJA ZAMJENE NATEGA

■ Zamjena vanjskih natega za prednapinjanje sastoji se od slijedećih postupaka:

1. Doprema odgovarajuće opreme za otpuštanje i zamjenu natega do konstrukcije
2. Otpuštanje natega predviđenih za zamjenu
3. Izvlačenje i uklanjanje natega i zaštitnih cijevi
4. Oslobađanje zamjenjivih dijelova natega iz sidrišnih mjesta i skretnika.
5. Postavljanje novih zamjenjivih dijelova natega kroz skretnike i sidrišne grede.

Faze 4 i 5 odnose se na natega kod kojih se primjenjuje dvostruka ovojnica na mjestima prolaza kroz beton.

6. Doprema, postavljanje i fino namještanje novih cijevi uključivo spojnice i uređaje za injektiranje.
7. Doprema novih natega te opreme za prednapinjanje.
8. Uvlačenje natega u cijevi, prednapinjanje i injektiranje.
9. Uklanjanje korištene opreme.
10. Po potrebi čišćenje konstrukcije.

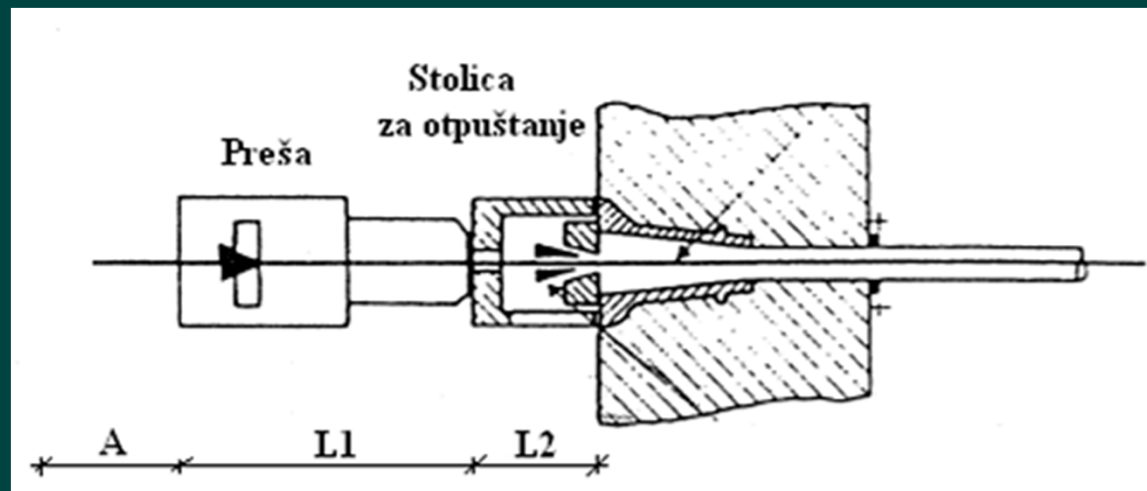
TEHNOLOGIJA ZAMJENE NATEGA

2. Otpuštanje natega predviđenih za zamjenu

- Ovo je jedna od najrizičnijih faza u sveukupnom postupku zamjene natega. Natege je obvezno otpustiti prije presjecanja odnosno uklanjanja.

a) Otpuštanje natega injektiranim mekim smjesama

- Otpuštanje natega obavlja se na sidrišnim mjestima.
- Uvijek kada je to moguće prilikom određivanja potrebne duljine natega potrebno je predvidjeti dovoljno produljenje natega kako bi se otpuštanje moglo obaviti pomoću istih preša kojima se natega zateže.
- U protivnom se natega otpuštaju lokalnim zagrijavanjem sidrišnih krajeva. U ovom je slučaju opasnost od iznenadnog iskakanja natega znatno veća.



Produljenje natega za otpuštanje - L2: duljina natega za uređaj za otpuštanje; L1: duljina natega za prešu; A: dodatno produljenje natega

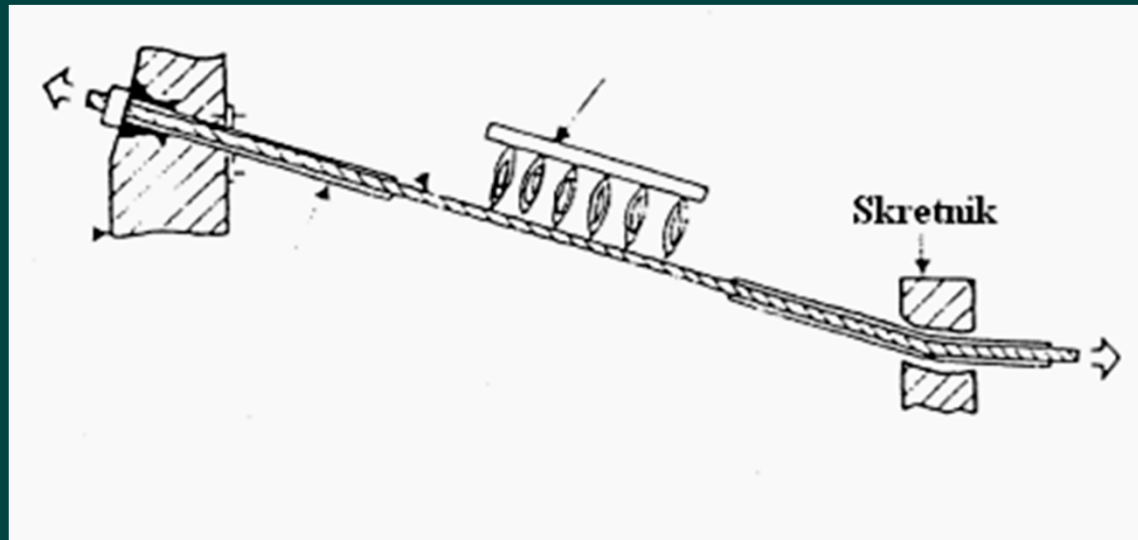
TEHNOLOGIJA ZAMJENE NATEGA

2. Otpuštanje natega predviđenih za zamjenu

- Ovo je jedna od najrizičnijih faza u sveukupnom postupku zamjene natega. Natege je obvezno otpustiti prije presjecanja odnosno uklanjanja.

b) Otpuštanje natega injektiranih cementnim mortom

- Otpuštanje natega obavlja se tako da se na nekoj od središnjih slobodnih dionica natega oslobodi (ukloni se zaštitna cijev i mort) te zagrije.
- U ovom slučaju nije moguće istovremeno otpuštanje dvije natege, pa treba voditi računa o nesimetričnom opterećenju konstrukcije u fazi zamjene natega.
- Poseban su problem skretnici na kojima prilikom otpuštanja vrlo često dolazi do zapinjanja natega.



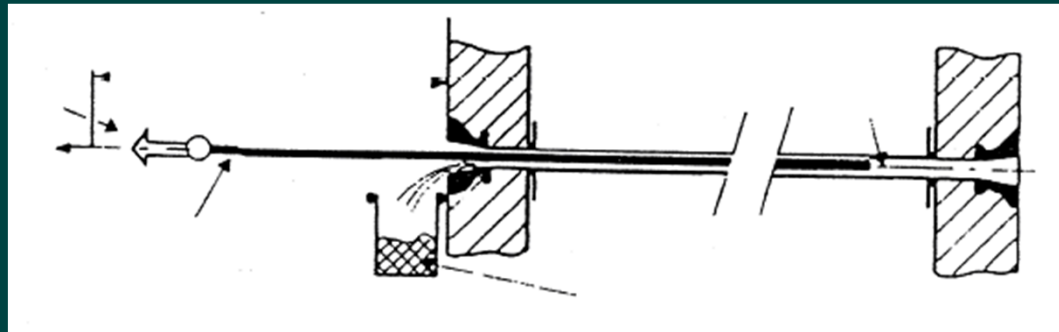
Otpuštanje natega injektiranih cementnim mortom

TEHNOLOGIJA ZAMJENE NATEGA

3. Izvlačenje i uklanjanje natega i zaštitnih cijevi

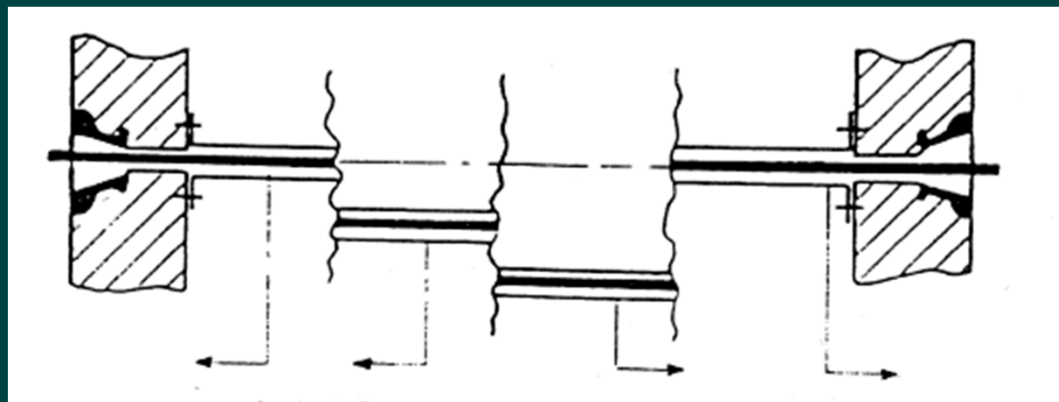
a) Izvlačenja natega injektiranih mekim smjesama

- U ovom slučaju, ukoliko je izvlačenje izvršeno pažljivo, zaštitne cijevi mogu biti ponovno upotrebjene uz uvjet da nisu oštećene, da njihov položaj odgovara teoretski predviđenom te da su u potpunosti očišćene od smjese za injektiranje.



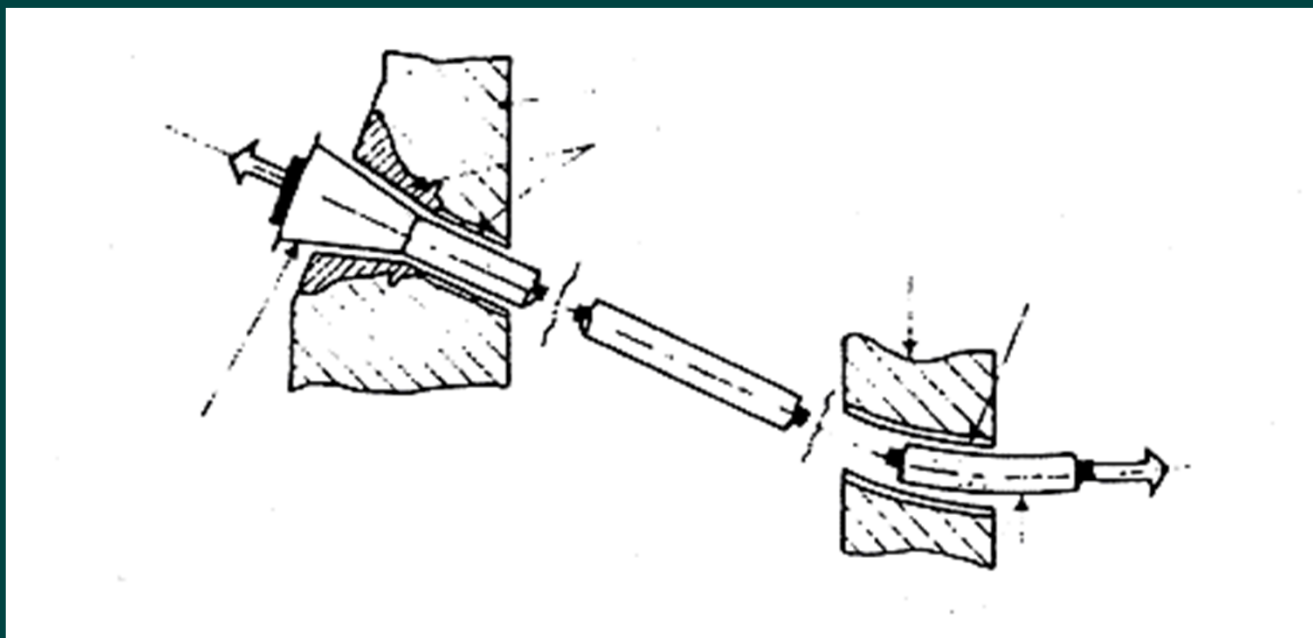
b) Uklanjanje natega injektiranih cementnim mortom

- Natega i cijevi sijeku se u dionice duljina kojih odgovara težini primjerenoj za ručni prijenos.



TEHNOLOGIJA ZAMJENE NATEGA

4. Oslobađanje zamjenjivih dijelova natega iz sidrišnih mjesta i skretnika

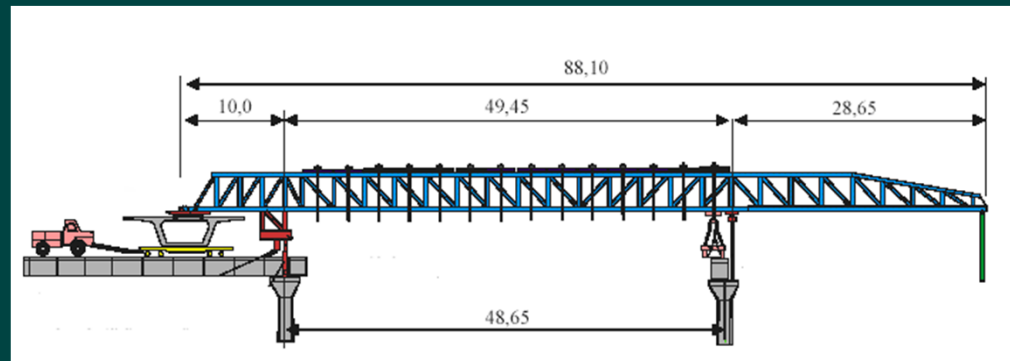


GRAĐENJE MOSTOVA UZ PRIMJENU VANJSKOG PREDNAPINJANJA

- Rasponska konstrukcija prednapeta je vanjskim nategama (potpuno ili u kombinaciji s unutarnjim nategama):
 - a) Građenje „polje po polje“
 - b) Građenje potiskivanjem
 - c) Građenje konzolnim postupkom

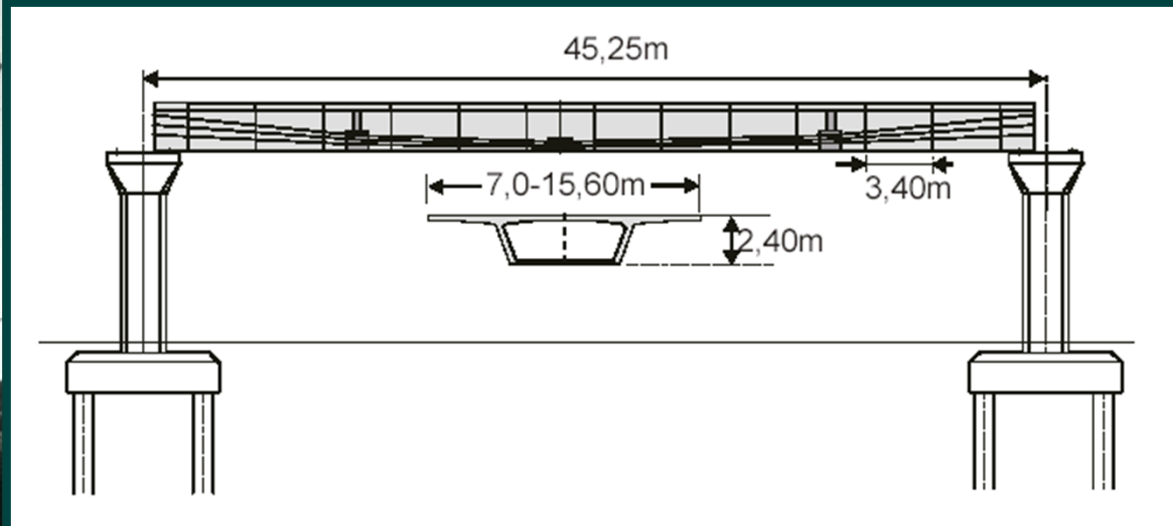
GRAĐENJE MOSTOVA "POLJE PO POLJE"

- U osnovi ovog postupka je montažna izvedba segmenata rasponskog sklopa redovito sandučastog poprečnog presjeka.
- Ponajčešće se veza pojedinih segmenata ostvaruje preko „suhog spoja“ (preko niza istaka), a njihov kontinuitet u dužini jednog raspona omogućavaju vanjske natege.
- Sa statičkog stajališta, mostovi izgrađeni ovim postupkom predstavljaju niz slobodno oslonjenih greda sa mogućnošću izvedbe kontinuiteta nad stupovima.
- Segmenti se do nivoa rasponske konstrukcije podižu primjerenom opremom oslonjenom na tlu ili na plovilu ovisno o vrsti premošćene zapreke.



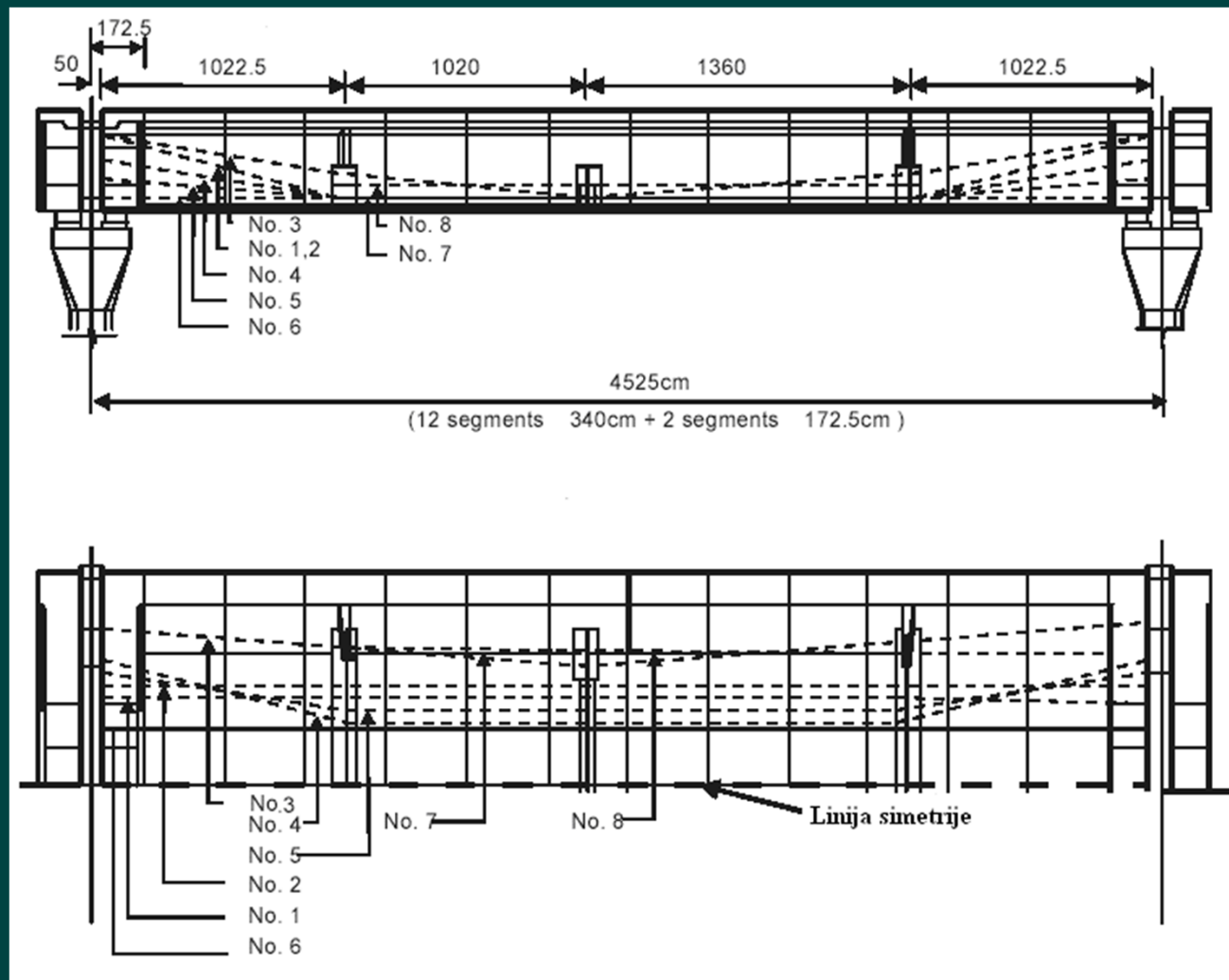
GRAĐENJE MOSTOVA "POLJE PO POLJE"

- ❑ Jedan od najpoznatijih mostova i danas među najdužima mostovima u svijetu, izveden sa segmentima je most Hopewill u Bangkoku.
- ❑ Most je približno dužine od 66 km sa ukupno 1575 raspona prosječne veličine od 42 m.
- ❑ Rasponi su formirani od niza segmenata dužine 3,40 m (22 500 segmenata) spojenih međusobno „suhim“ spojevima i istakama te vanjskim nategama usidrenim u segmentima nad stupovima.



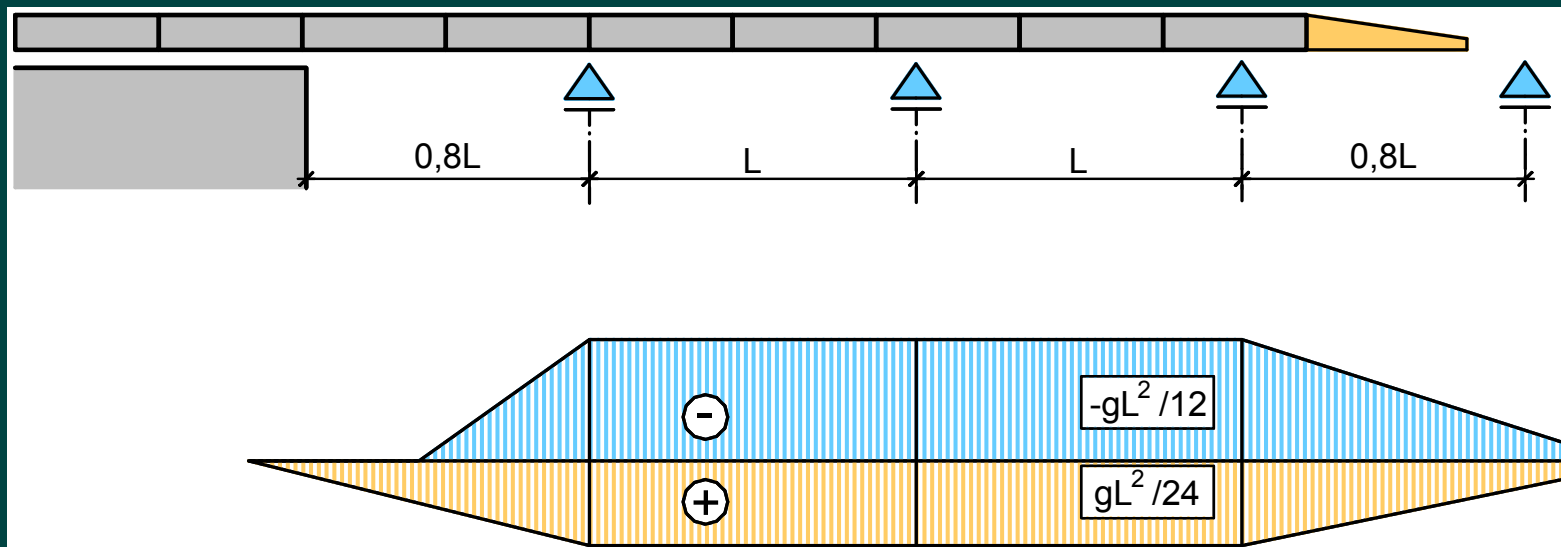
GRAĐENJE MOSTOVA "POLJE PO POLJE"

- Dispozicija kabela mosta u Bangkoku



GRAĐENJE MOSTOVA POTISKIVANJEM

- ▣ Približna anvelopa momenata od vlastite težine
- ▣ Vlačna naprezanja se naizmjenice javljaju na gornjem i donjem rubu konstrukcije
⇒ za vrijeme izvedbe gredu je potrebno centrično prednapeti



GRAĐENJE MOSTOVA POTISKIVANJEM

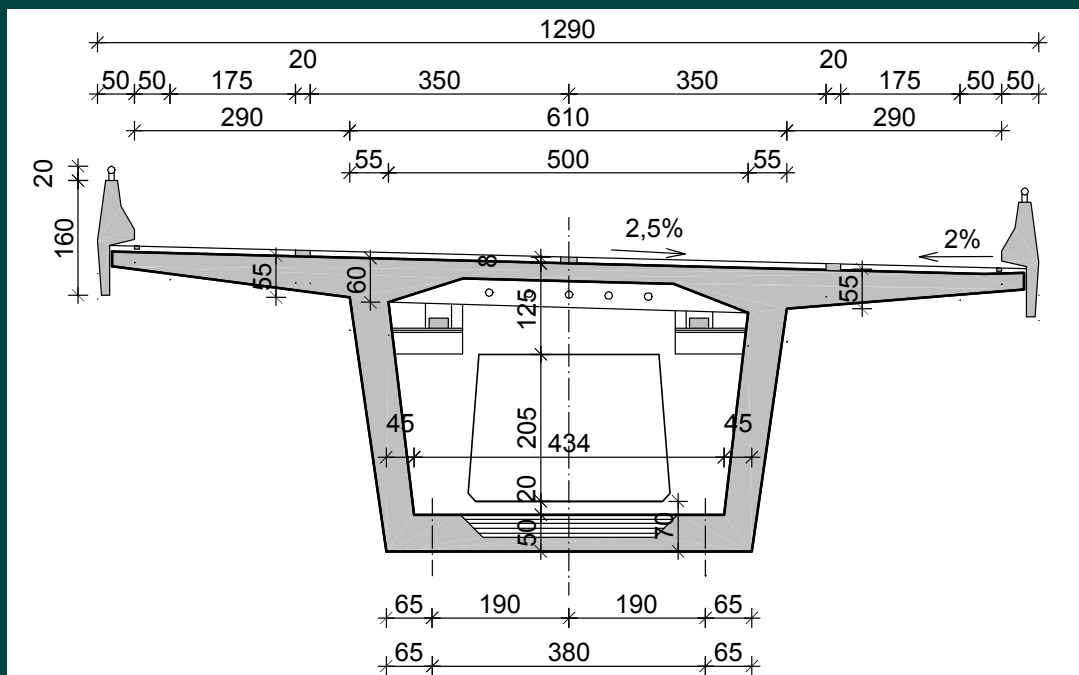
□ 1. faza – TIJEKOM IZGRADNJE – CENTRIČNO PREDNAPINJANJE

- kabelima smještenim u gornjoj i donjoj ploči sanduka
- preuzimaju se i negativni i pozitivni momenti savijanja
- nastavljaju se kabela na radnim reškama
- Moguće je i vanjsko centrično prednapinjanje
- Takve natege se prednapinju na istakama (bradavicama).
- Ovo rješenje odabire se ukoliko je naknadno potrebno ukloniti natege centričnog prednapinjanja za konačno stanje, kako bi se smanjila naprezanja, što je redovito kod velikih raspona i relativno vitkog rasponskog sklopa

□ 2. faza – KONAČNO STANJE – KONTINUITETNO PREDNAPINJANJE

- u ugrađene zaštitne cijevi u hrptovima sanduka, po završetku potiskivanja
- uvlače se, mogu se protezati kroz više polja (3-4) i prednapinju
- na mjestima preklapanja nastavljaju se na mjestima hrptova
- Moguće je i vanjsko prednapinjanje za preuzimanje sila od dodatnog stalnog i prometnog smještenih unutar sanduka (Hreljin)

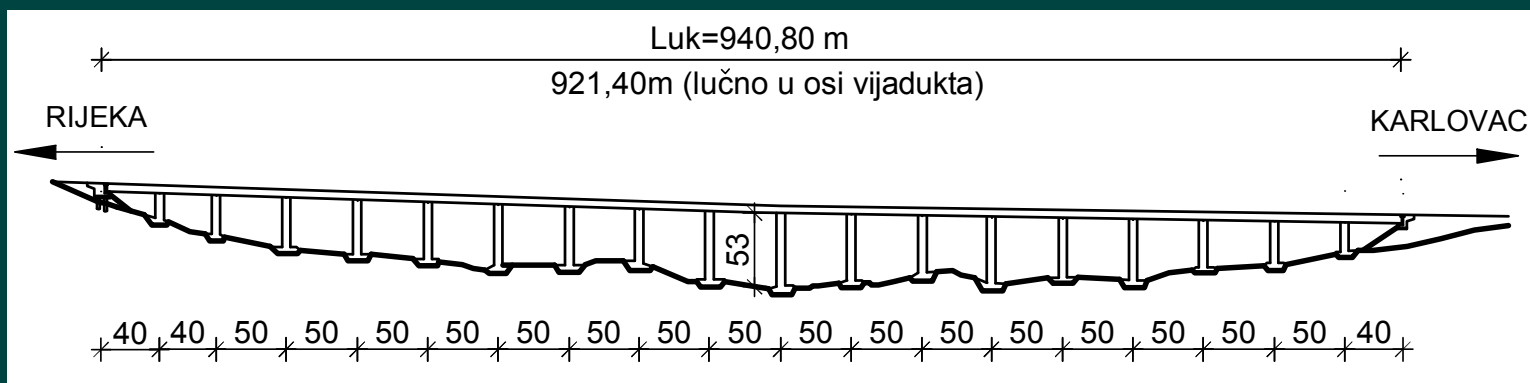
VIJADUKT ZEČEVE DRAGE, 2005.



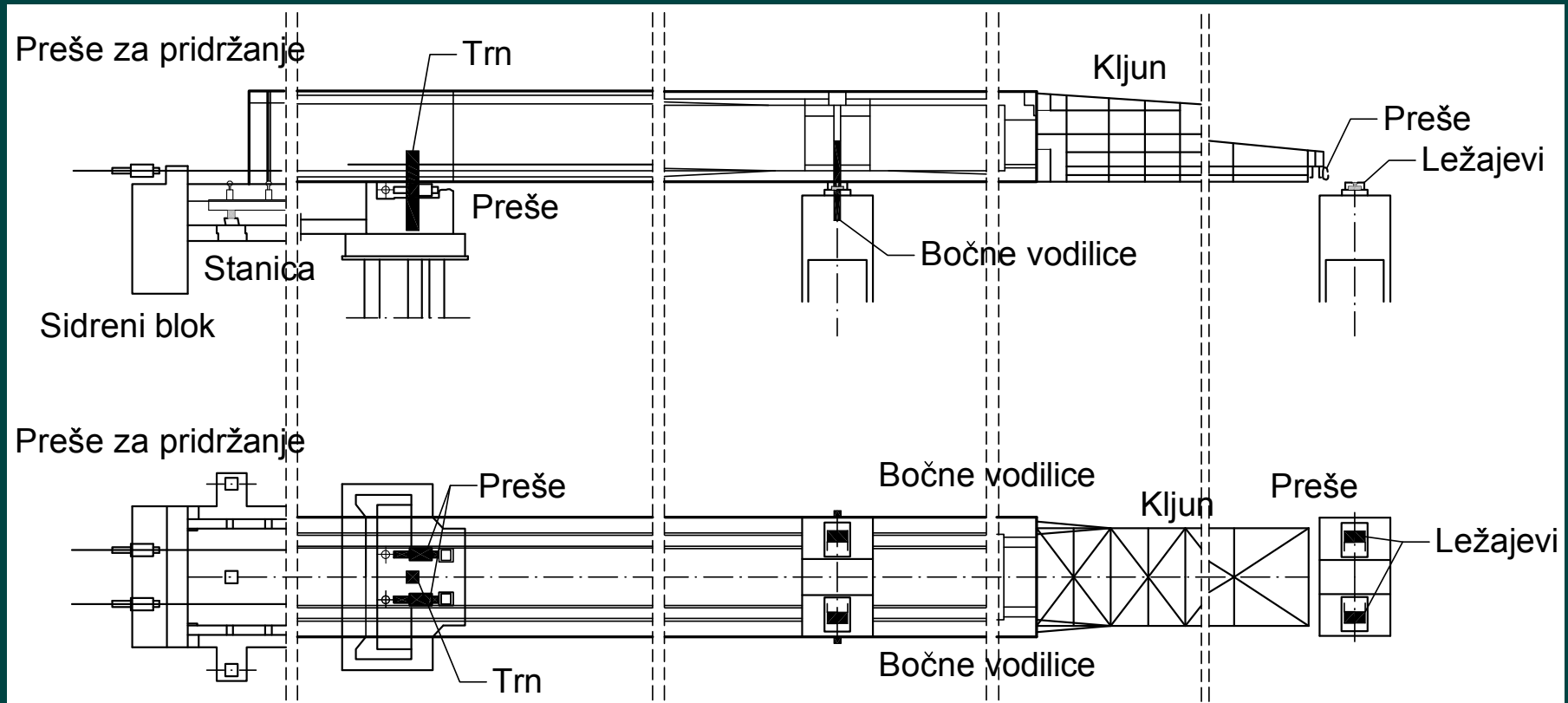
$L = 50 \text{ m}$

$h = 4,0 \text{ m}$

beton C 40/50,
rebrasti čelik B500B,
čelik za prednapinjanje
Y1860S7C



VIJADUK ZEČEVE DRAGE, 2005.

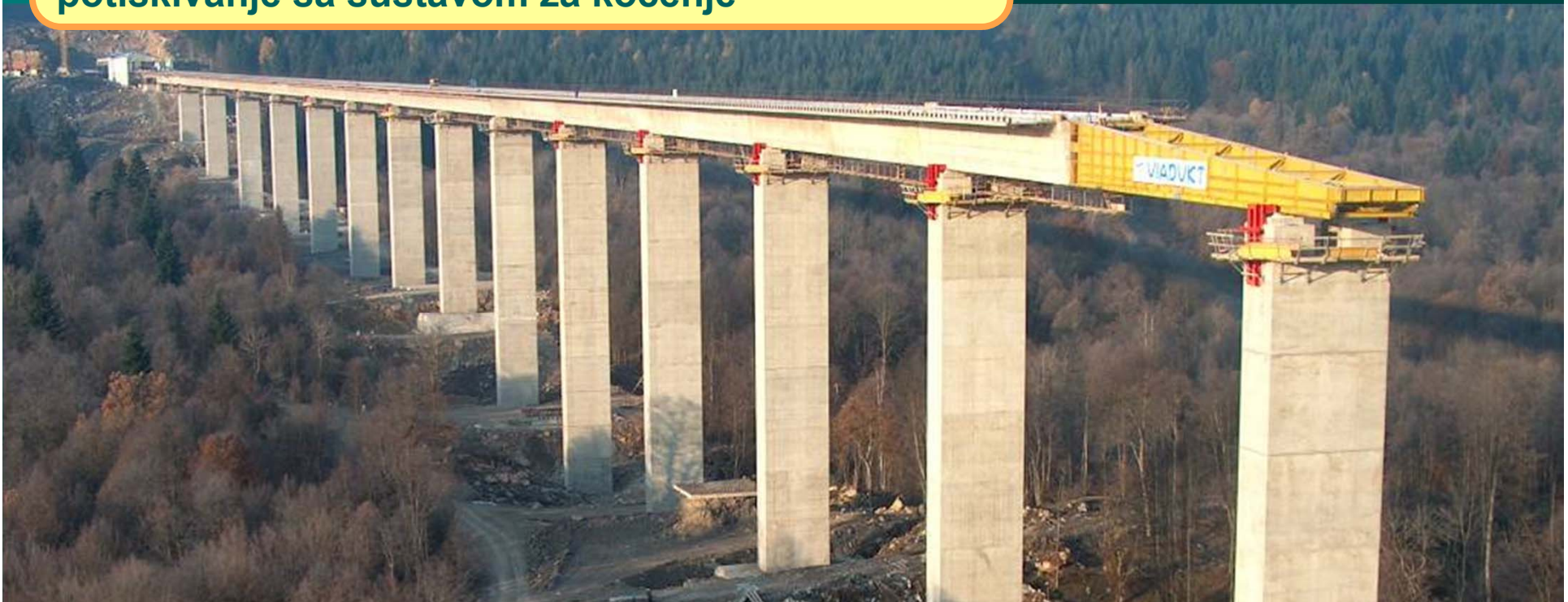


Posebnost je ta što je prvi put u Hrvatskoj potiskivanje rasponske konstrukcije obavljeno u smjeru prema dolje uz pomoć kočnog uređaja koji se sastojao od dviju natega VBT 19×140 pričvršćenih za glave natega u donjoj ploči sanduka i posebnih ležajeva za privremenu i konačnu primjenu.

Čelični kljun 75 t za smanjenje M konzole

VIJADUKT ZEČEVE DRAGE, 2005.

- 37 odsječaka, ≈ 25 m, u tjednim taktovima
- $m_{uk} = 22.000$ t $\Rightarrow$ usklađivanje uređaja za potiskivanje sa sustavom za kočenje



- Izgradnja $\Rightarrow$ centrične natege $8 \times 19 \times 0,6''$ u gornjoj ploči, $8 \times 15 \times 0,6''$ u donjoj ploči, 50% napinjano u svakom presjeku na spoju taktova.
- Nakon potiskivanja $\Rightarrow$ uvlačenje vanjskih natega ($4 \times 16 \times 0.6''$) u zaštitne plastične cijevi, prednapinjanje obostrano u 4 odsječka po 250m

VIJADUKT HRELJIN

$L = 41,7 + 9 \cdot 49,05 + 41,7 \text{ m}$

sanduk: $h = 4,0 \text{ m}$, $b = 13,55 \text{ m}$, C40/50



Čelični kljun: $L = 37,0 \text{ m}$, $m = 80 \text{ t}$, dva punostijena nosača na razmaku $4,40 \text{ m}$, povezana donjim vjetrovnim spregom od ukriženih dijagonala po cijeloj duljini i poprečnih spregova.

Kljun je modularni, koncipiran tako da se može koristiti za potiskivanje nad rasponima $40 - 60 \text{ m}$.

Izgradnja: natege u donjoj i gornjoj ploči;

Za Δg i p : prednapinjanje vanjskim kontinuiranim nategama, smještenim unutar betonskog sanduka

KONZOLNO GRAĐENJE MOSTOVA

- Pri odabiru ove tehnologije građenja konstrukcijski nosivi sklop projektira se sa
 - „klasičnim“ ubetoniranim nategama, za koje se predviđa preuzimanje opterećenja vlastitom težinom i opterećenja tijekom građenja i
 - vanjskim nategama postavljenim u konstrukciju nakon uspostave kontinuiteta , a predviđenim za djelovanje dodatnog stalnog i pokretnog opterećenja.
- Sam tijek izvođenja konstrukcije u svemu je identičan kao i kod uobičajene konzolne gradnje sa unutrašnjim nategama:
 - konstrukcija se izvodi od segmenata, montažnih ili izvedenih na mjestu,
 - s tom razlikom što se potrebni broj unutrašnjih natega značajno smanjuje čime se bitno štedi vrijeme potrebno za građenje,
 - a samo konstrukcijsko rješenje je jednostavno utoliko što se pojedine neovisne skupine natega postavljaju za djelovanje opterećenja na dva različita statička sustava (prije i nakon povezivanja konzolnih dijelova).

KONZOLNO GRAĐENJE MOSTOVA

- Primjer konzolnog postupka građenja uz postavljanje vanjskih natega je novi željeznički most (1991) preko rijeke Douro na sjeveru Portugala, a nosi naziv most Oporto.
- Ukupne dužine 1030 m sa rasponima $59 + 5 \times 60 + 125 + 250 + 125 + 2 \times 60 + 50$ m i sandučastog poprečnog presjeka visine 12,12 m nad glavnim stupom, odnosno 7,0 m u sredini raspona.
- Za djelovanje vlastite težine rasponski je sklop prednapet unutrašnjim nategama (po tri para natega sa silom od 5000 kN za svaki novi segment). promjera 50 mm ($f_{sy} = 500$ MPa).
- Vrlo vitka konstrukcija sandučastog nosača (visina/raspon = 1/36) prednapeta je vanjskim nategama za djelovanje pokretnog opterećenja i puzanja.
- Vanjske natege projektirane su sa mogućnošću izmjene.



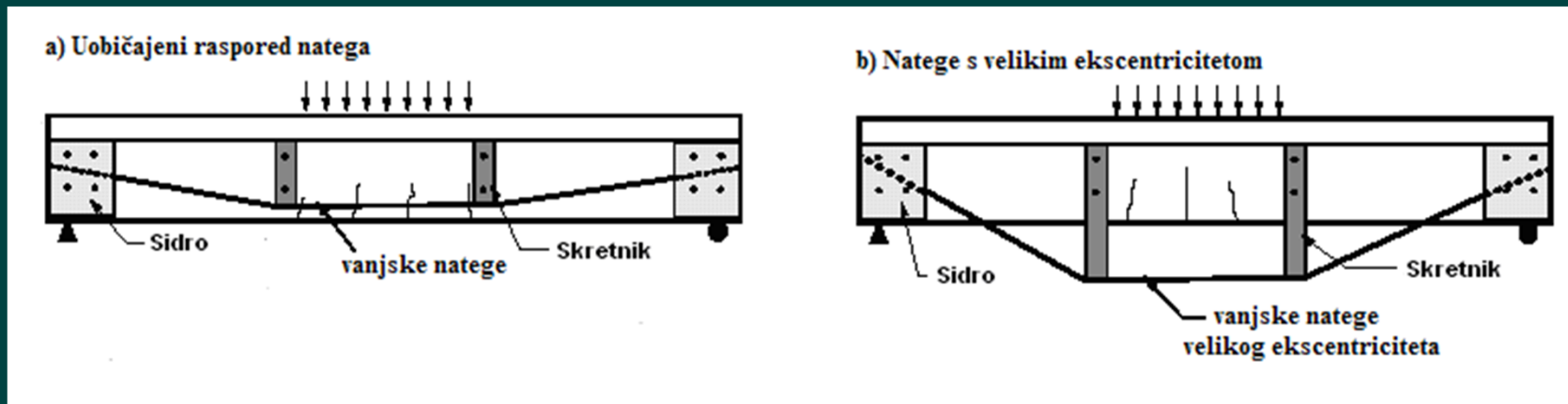
PRIMJENA VANJSKOG PREDNAPINJANJA PRI OJAČAVANJU

- Ojačanje vanjskim prednapinjanjem je jednostavna primjena aksijalnog opterećenja kombiniranog sa momentom savijanja u svrhu poboljšanja fleksijskih i/ili posmičnih kapaciteta konstrukcijskog elementa.
- Metoda se također koristi i kod poboljšanja uporabivosti (širine pukotina), za sprečavanje pojave pukotina ili smanjenje ili zatvaranje postojećih pukotina.
- Povećanje čvrstoće osigurano vanjskim prednapinjanjem može smanjiti progibe i vibracije, te povećati otpornost na zamor.
- Koncentracija napona na kritičnim mjestima se smanjuje, veliki progibi i otkloni mogu biti smanjeni ili u potpunosti otklonjeni.
- Također je moguće pomoću vanjskog prednapinjanja promijeniti ponašanje konstrukcije kako bi se povećala njezina čvrstoća.
- Cilj napinjanja može biti i osiguranje kontinuiteta duž oslonaca, na primjer zamjena niza slobodno oslonjenih greda kontinuiranom.
- Također se koristi kod osiguranja kontinuiteta preko spojeva segmenata duž raspona.



OJAČANJA MOSTOVA

- Vanjsko prednapinjanje kao metoda ojačanja mostova u upotrebi je od 1950-tih i postoji mnogo primjera diljem svijeta.
- U većini slučajeva naprezanje se prenosi predapetim nategama, pojedinačnim užetom ili snopom užadi.
- Postoje slučajevi gdje se naprezanje unosi visoko vlačnim prednapetim šipkama.



- Proširenje uporabe vanjskih natega je njihovo postavljanje sa velikim ekscentricitetom.



OJAČANJA MOSTOVA

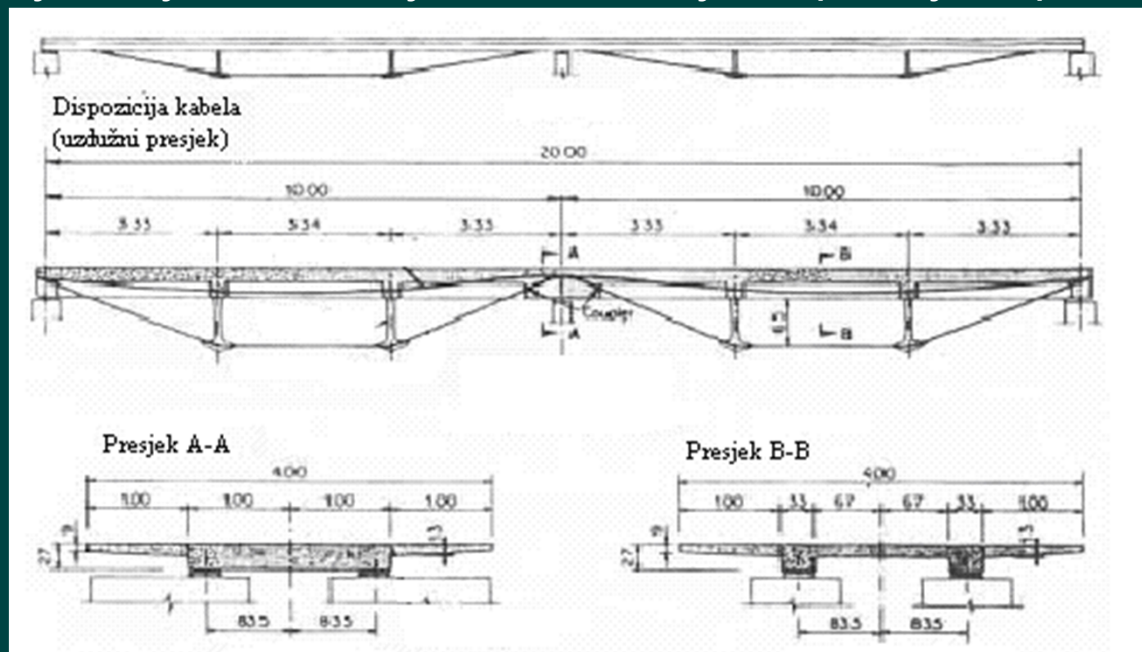
- Vanjsko napinjanje koristi se i kod ojačanja ležajeva mostova.
- Sustav izvana napetih šipki korišten je za povećanje tlačne čvrstoće betonskih naglavnica čime je povećan kapacitet nosivosti ležajnih naprava.
- Čelična I-greda postavljena je kao sidreni blok na krajevima ležaja.
- U grede su duž ležaja postavljene dvije ili četiri šipke.



- Vanjsko prednapinjanje povoljno je za projekt sanacije zbog sljedećih prednosti:
 - odvijanje prometa uz minimalno ometanje
 - mala težina dodanih elemenata
 - brza i vremenski kratka gradnja
 - niski troškovi
 - moguće su buduće intervencije napinjanja

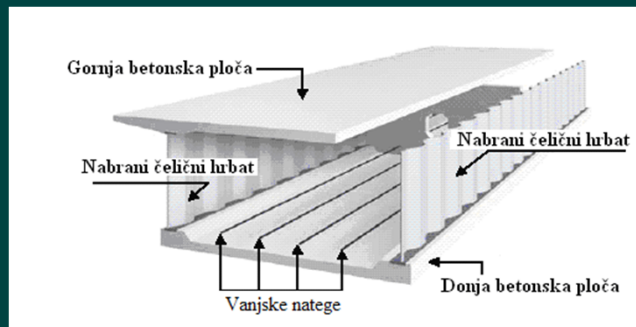
OJAČANJA MOSTOVA – pločasti mostovi

- Do danas ne postoje slučajevi upotrebe vanjskih natega za ojačanje pločastih mostova.
- Upotreba bi bila moguća kad je kolnička ploča pod nagibom i natege mogu biti postavljene na obje strane pločastog mosta.
- Metoda se može koristiti da se nadomjesti gubitak sile napinjanja kod korozijom načetih prednapregnutih ploča.
- Glavna poteškoća bila bi smještanje sidara i njihovo fiksiranje za postojeću ploču.



OJAČANJA MOSTOVA – gredni mostovi

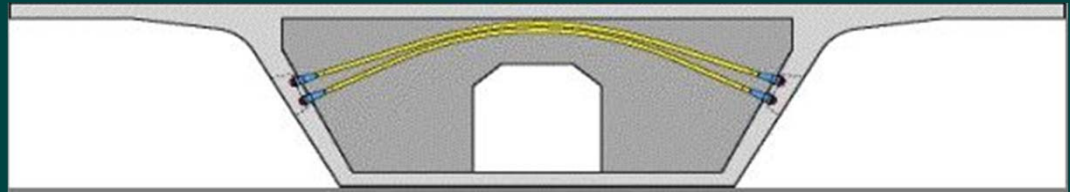
- ❑ Natege mogu biti vođene po ravnoj ili izlomljenoj liniji. Mogu se usvojiti različiti profili kako bi odgovarali potrebnoj kombinaciji aksijalnog opterećenja i savijanja.
- ❑ Metoda se koristi za povećanje nosivosti bilo koje vrste greda- drvene, armirano-betonske, prednapete, čelične ili spregnute.
- ❑ Glavni razlog primjene je povećanje fleksijske (savijajuće) čvrstoće koja je smanjena zbog povećanog prometnog opterećenja, gubitka čvrstoće zbog razaranja betona ili problema smanjene uporabljivosti.
- ❑ Primjena kod prednapetih greda je primjerena u slučaju gubitka sile napinjanja zbog puzanja, relaksacije čelika ili korozije.
- ❑ Također se koristi kod povećanja posmične čvrstoće, iako vertikalno prednaprezanje ima bolji učinak na korekciju problema posmika.



OJAČANJA MOSTOVA

■ POPREČNO PREDNAPINJANJE

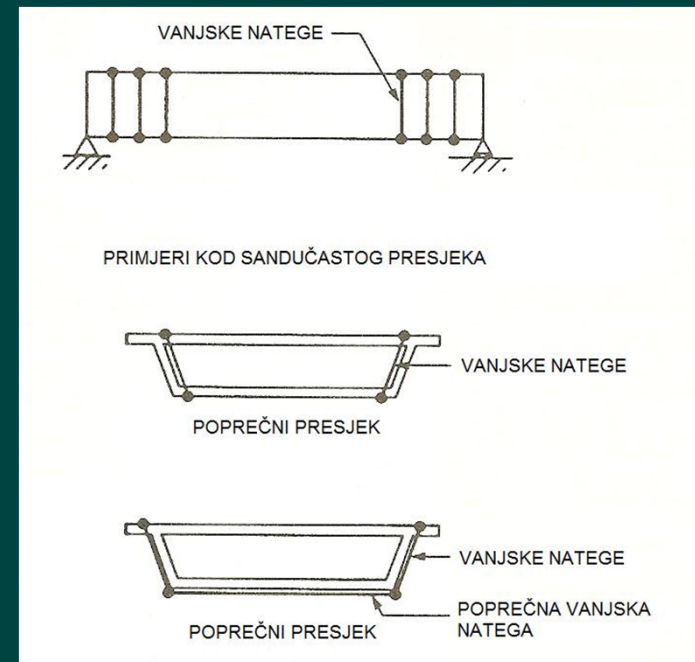
- Vanjsko prednapinjanje također se koristi u poprečnom smjeru zbog poboljšanja raspodjele opterećenja u kolničkoj ploči ili zbog povećanja poprečne čvrstoće.
- Metoda je pogodna za povećanje sile poprečnog prednapinjanja nakon gubitaka izazvanih korozijom ili raspucavanjem.
- Poprečno prednapinjanje koristi se i kod sanacije lučnih mostova kod kojih su se pojavile pukotine u zidu među lukovima zbog bočnog pristika.



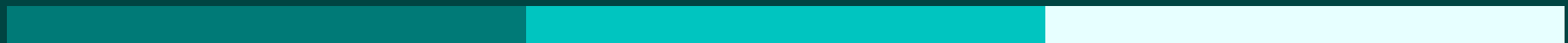
OJAČANJA MOSTOVA

■ VARTIKALNO PREDNAPINJANJE

- Uzdužne natege mogu biti korištene kod povećanja posmične čvrstoće grede.
- U slučaju u kojem savijanje ne predstavlja problem već je potrebno samo povećanje posmične čvrstoće moguća je primjena vertikalnog prednapinjanja.
- Vertikalne prednapete natege ili šipke mogu se postaviti na hrbat I- grede.
- Za betonske sandučaste presjeke prednapete natege i šipke mogu se smjestiti izvan ili unutar sanduka.
- Zbog male potrebne duljine sila prednapinjanja može se unijeti pomoću šipke velike čvrstoće.
- Vertikalnim prednapinjanjem osigurava se pričvršćivanje nad osloncima. To je posebno korisno u seizmički aktivnim područjima gdje je moguća pojava odižućih sila.
- Metoda se koristi i kod sanacije oštećenih spojeva.



PREDNAPETI BETON



– KRAJ –