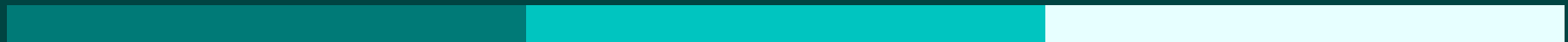


PREDNAPETI BETON

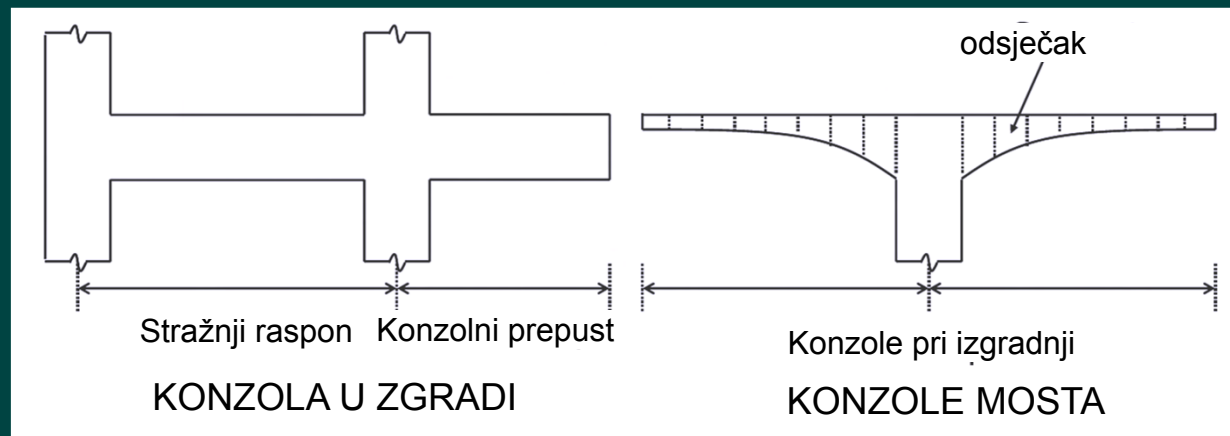


– 10 –

KONZOLNE GREDE

KONZOLE U ZGRADAMA I MOSTOVIMA

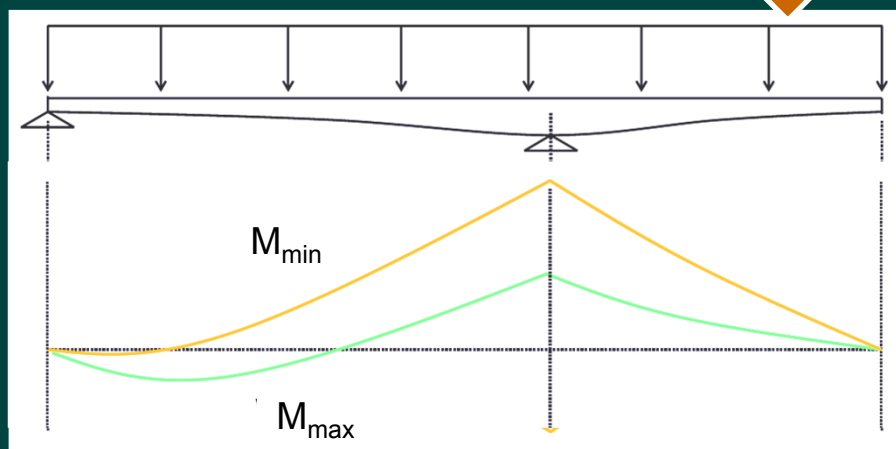
- Kod zgrada konzola je obično produljenje kontinuirane grede.
- Kod mostova konzole se javljaju npr. pri izgradnji slobodnom konzolnom gradnjom.



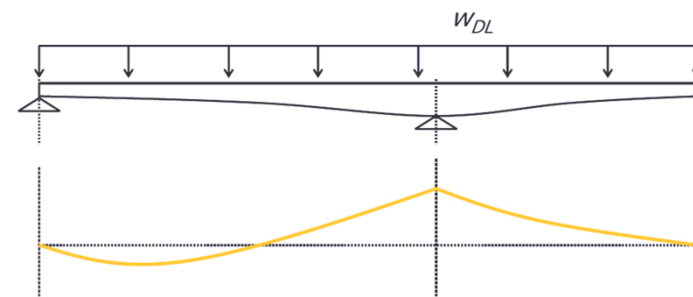
- Za stalno opterećenje, moment savijanja u konzoli je negativan – tlak je na dnu – težište kabla će biti iznad težišta presjeka.
- Pri proračunu i dimenzioniranju valja voditi računa o:
 - Dijelovi stražnjeg raspona izloženi su i pozitivnim i negativnim momentima.
 - Moguća je prisutnost opterećenja po dijelovima grede ili koncentriranog opterećenja.
 - Slijed opterećivanja (faze gradnje) važan je pri proračunu sile prednapinjanja
 - Veliki momenti i posmične sile javljaju se istovremeno blizu ležajeva.

PRORAČUN

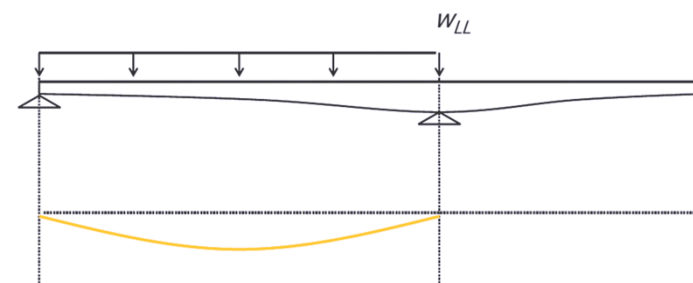
- Shematski dijagrami momenata savijanja:
- Anvelopa maksimalnih i minimalnih momenata:
 - Neki djelovi grede mogu biti izloženi i pozitivnim i negativnim momentima.



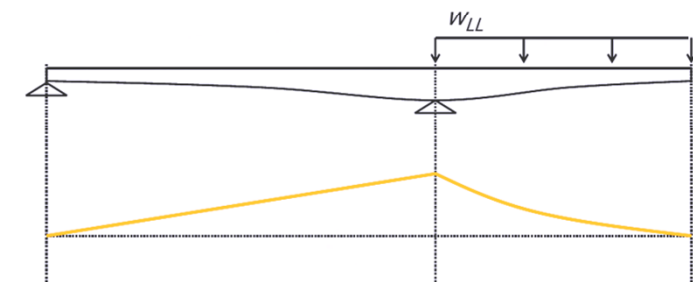
- Kod mostova za pokretno koncentrirano opterećenje rade se utjecajne linije:
 - promjena momenta ili poprečne sile usljed promjene položaja jediničnog koncentriranog opterećenja: vozilo se postavlja u najkritičniji položaj



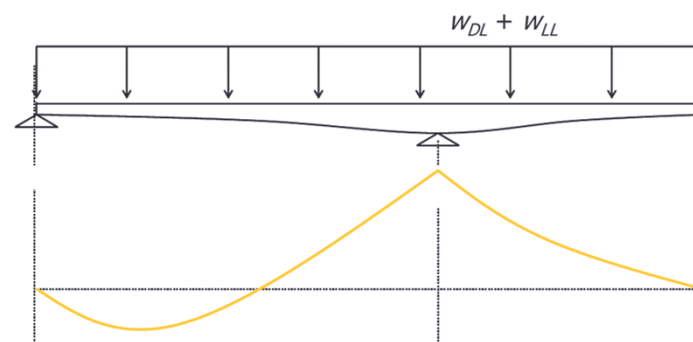
Stalno opterećenje



Promjenljivo opterećenje na stražnjem rasponu



Promjenljivo opterećenje na konzoli



Stalno i promjenljivo po cijeloj duljini

GRANIČNA ZONA

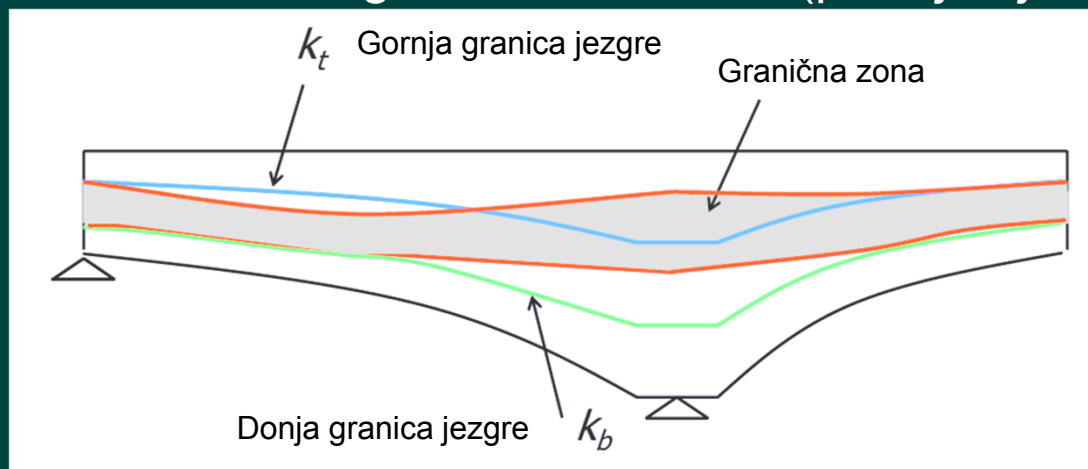
□ ZA PUNO PREDNAPINJANJE

- nije dozvoljeno vlačno naprezanje pri uporabi
- Ako se vlak ne dozvoljava ni pri prijenosu naprezanja, rezultantna sila tlaka u betonu C uvijek leži unutar jezgre.
- Granična zona se definira kao područje u koje se smješta težište kabla tako da C uvijek leži unutar jezgre.

□ ZA OGRANIČENO I DJELOMIČNO PREDNAPINJANJE

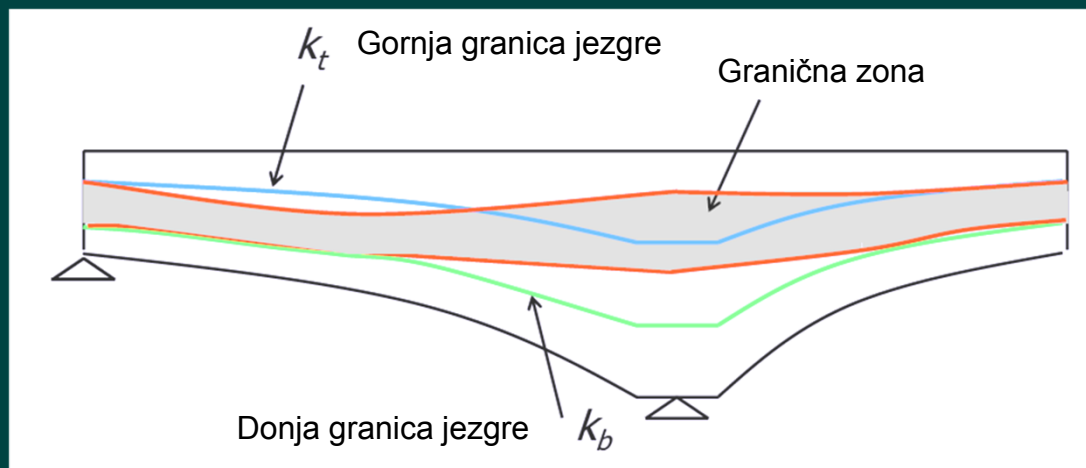
- vlak je dopušten pri prijenosu naprezanja i pri uporabi.
- Granična zona se definira kao područje u koje se smješta težište kabla tako da rubna vlačna naprezanja ostanu u okviru graničnih vrijednosti.

□ Skica granične zone za gredu s konzolom (promjenljivi poprečni presjek):



GRANIČNA ZONA

- Određuje se iz maksimalnih i minimalnih ekscentriciteta težišta kabela CGS duž grede koji odgovaraju krajnjim položajima tlačne sile **C**.
- Kod slobodno oslonjene grede:
 - Minimalni moment je od vlastite težine pri prijenosu naprezanja
 - Maksimalni moment je pri uporabnom opterećenju
- Za konzolne grede:
 - Minimalni moment od vlastite težine nije nužno onaj pri prijenosu naprezanja.
 - Pod uporabnim opterećenjem postoje dva momenta $M_{\max}$ i $M_{\min}$ (anvelopa momenata)



GRANIČNA ZONA – USPOREDBE (pred.04)

PUNO PREDNAPINJANJE

OGRANIČENO PREDNAPINJANJE

- Maksimalni ekscentricitet e_{max} :

$$e = \frac{M_{sw}}{P_0} + k_b$$



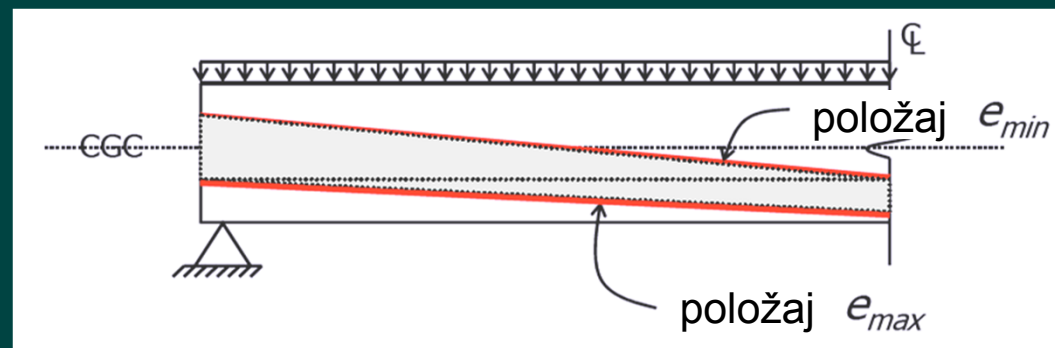
$$e = \frac{M_{sw} + f_{ct,all} A k_b}{P_0} + k_b$$

- Minimalni ekscentricitet e_{min} :

$$e = \frac{M_T}{P_e} - k_t$$

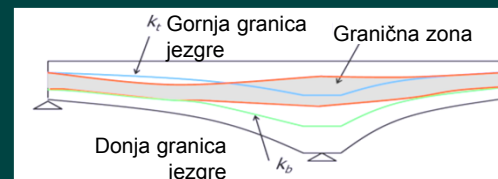
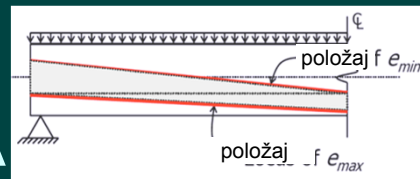


$$e = \frac{M_T - f_{ct,all} A k_t}{P_e} - k_t$$



- Kod ograničenog prednapinjanja granična zona je veća !!!

GRANIČNA ZONA



□ Maksimalni i minimalni ekscentriciteti e_{max} i e_{min} na danoj lokaciji se određuju

1. Za uporabno opterećenje uz M_{min} i M_{max} i djelotvorno prednapinjanje P_e
2. Drugi par se proračunava pri prijenosu uz M_{sw} i prednapinjanje P_0

➡ Konačni e_{max} je niža vrijednost od dviju proračunatih za uporabu i pri prijenosu

➡ Konačni e_{min} je viša vrijednost od dviju proračunatih za uporabu i pri prijenosu

□ ZA PUNO PREDNAPINJANJE

■ Pri uporabi:

$$e_{max} = \frac{M_{min}}{P_e} + k_b \quad e_{min} = \frac{M_{max}}{P_e} - k_t$$

■ Pri prijenosu naprezanja:

$$e_{max} = \frac{M_{sw}}{P_0} + k_b \quad e_{min} = \frac{M_{sw}}{P_0} - k_t$$

□ ZA OGRANIČENO PREDNAP.

■ Pri uporabi:

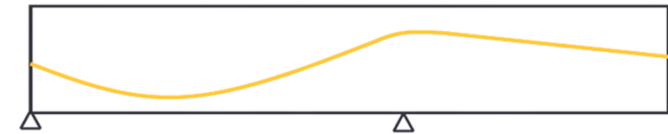
$$e_{max} = \frac{M_{min} + f_{ct,all} A k_b}{P_e} + k_b \quad e_{min} = \frac{M_{max} - f_{ct,all} A k_t}{P_e} + k_t$$

■ Pri prijenosu naprezanja:

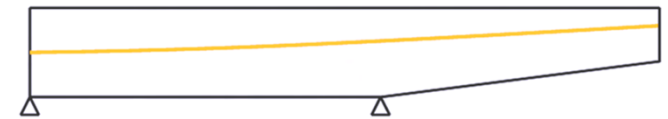
$$e_{max} = \frac{M_{sw} + f_{ct,all} A k_b}{P_0} + k_b \quad e_{min} = \frac{M_{sw} - f_{ct,all} A k_t}{P_0} - k_t$$

VOĐENJE NATEGA

- Kod greda s konstantnim poprečnim presjekom
 - linija vođenja natege je slična momentnom dijagramu od jednolikog opterećenja.
 - U zonama negativnih momenata, težište natege je iznad težišta presjeka.
 - Oštri lomovi kod vođenja kabela su nedopustivi pa je linija zaobljena nad ležajevima.
- Za gredu s promjenljivom visinom
 - moguće je liniju vođenja natege prilagoditi (s $e_{\max}$ i $e_{\min}$) kako bi bila ravna što je jednostavnije za izvedbu.

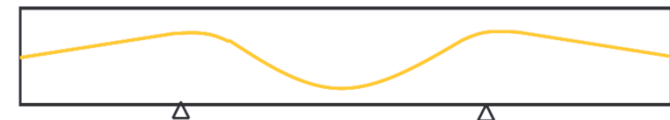


Konstantni poprečni presjek



Promjenljivi poprečni presjek

JEDNA KONZOLA



Konstantni poprečni presjek



Zadebljanje na ležajevima

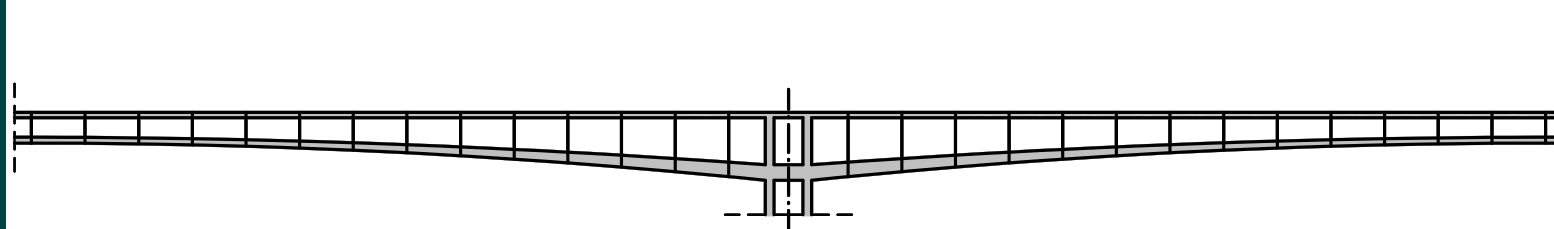
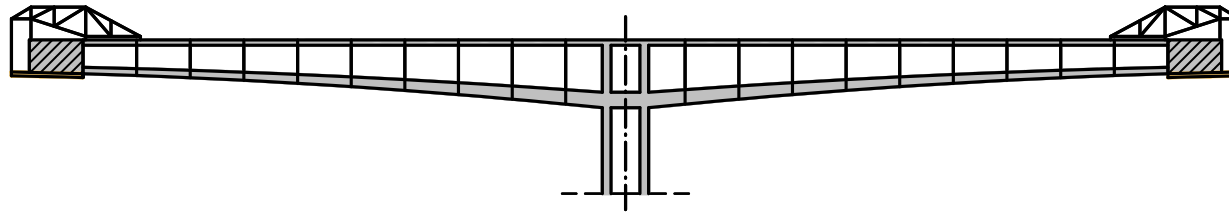


Promjenjiva visina gornjeg ruba grede

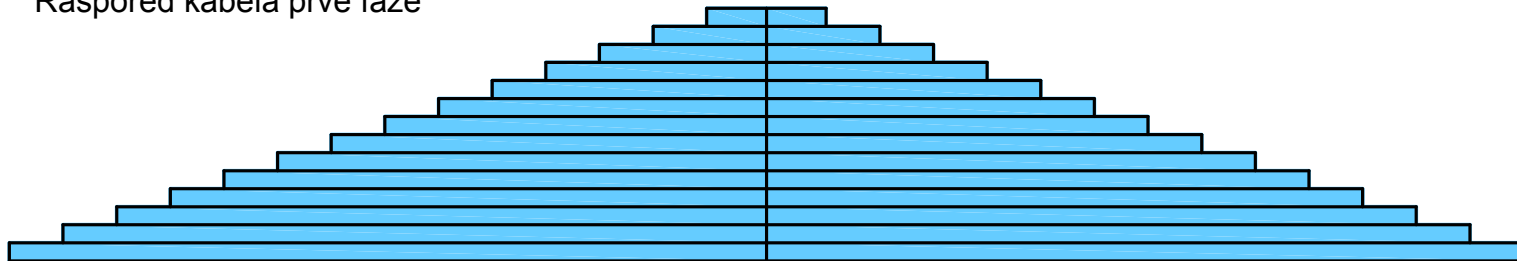
OBOSTRANE KONZOLE

PREDNAPINJANJE PRI KONZOLNOJ GRADNJI GREDNIH MOSTOVA

Izvedba grede konzolno balansnim postupkom



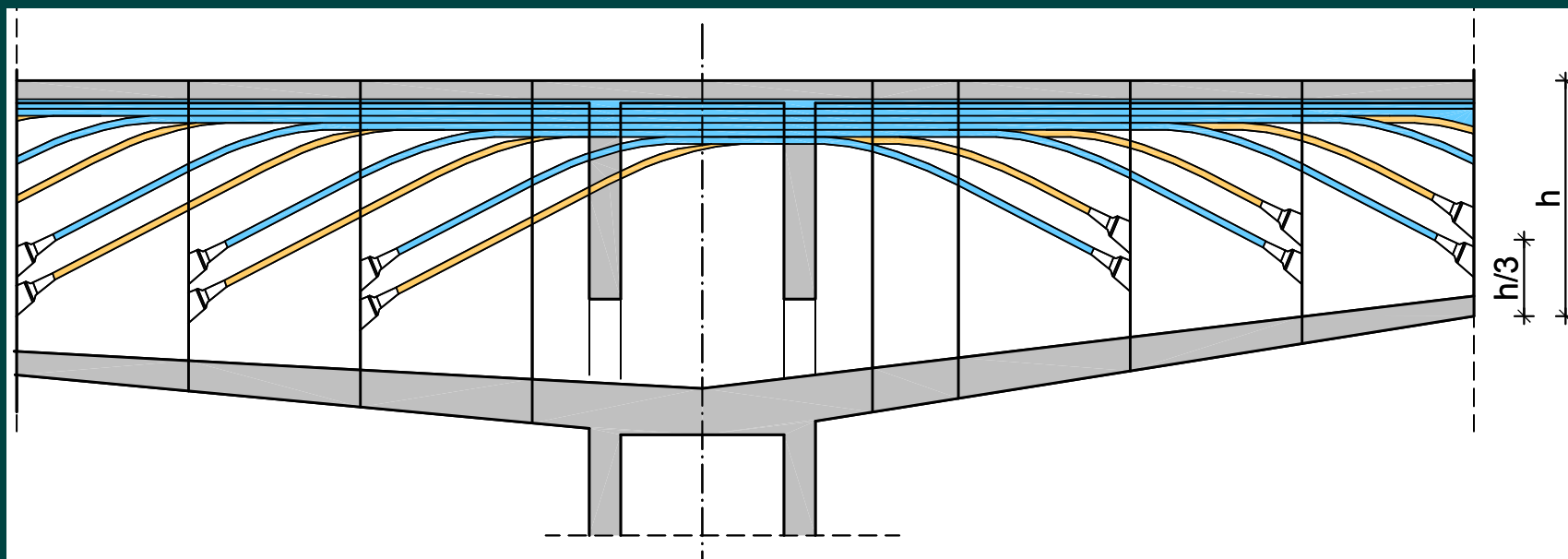
Raspored kabela prve faze



Izvedba konzolne grede balansnim postupkom i dijagram
količina kabela za prednapinjanje – faza I

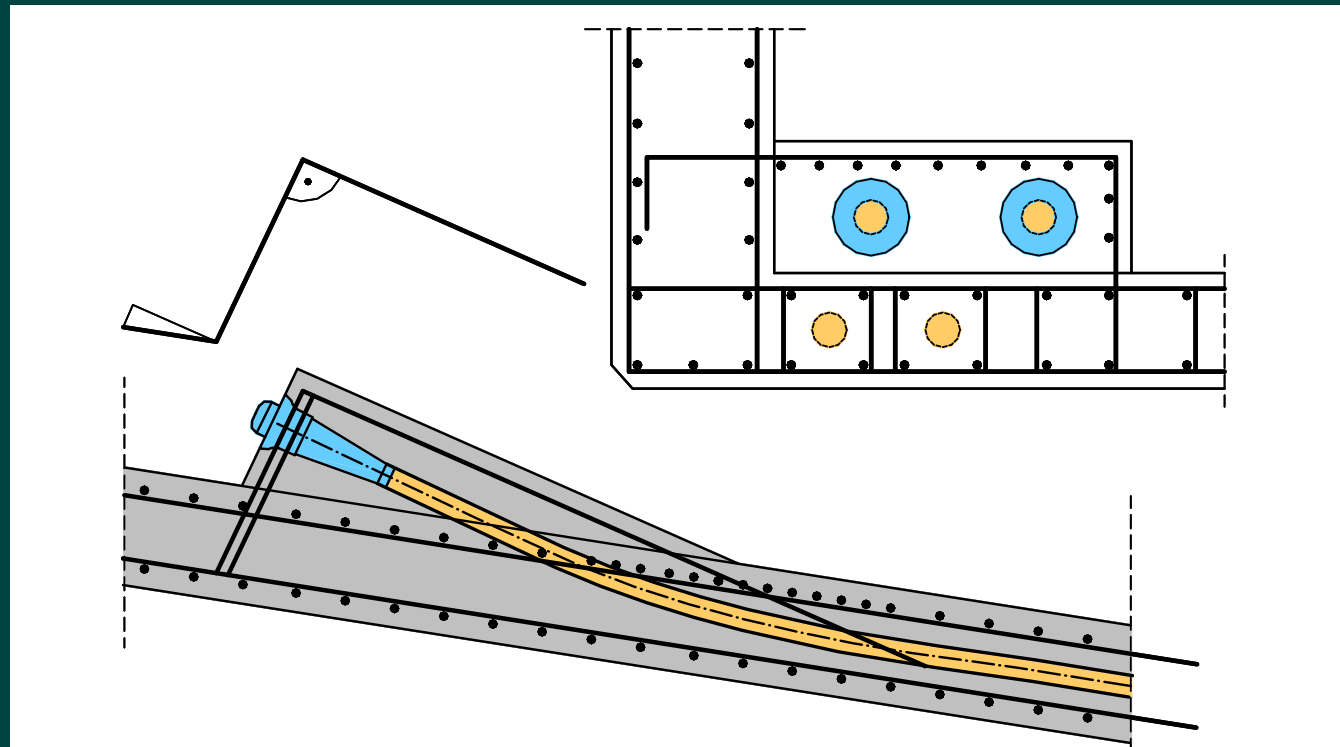
PREDNAPINJANJE PRI KONZOLNOJ GRADNJI GREDNIH MOSTOVA

- Na kraju svakoga segmenta - sidriti minimalno 2 kabela $\Rightarrow$ najmanji broj kabela faze I, 2x veći od broja segmenata.
- Prostor za smještaj i vođenje tih kabela ograničen je većim brojem rupa potrebnih za sidrenje krletke $\Rightarrow$ dio kabela moramo postaviti u hrptove.
- Zbog svoje vertikalne komponente, koja smanjuje dijagram poprečnih sila od vlastite težine, ovi se kabeli prvi sidre $\Rightarrow$ sidrenje je što niže, kako bi vertikalna komponenta sile prednapinjanja bila što veća i nalazi se otprilike na $h/3$ od donjeg ruba poprečnog presjeka

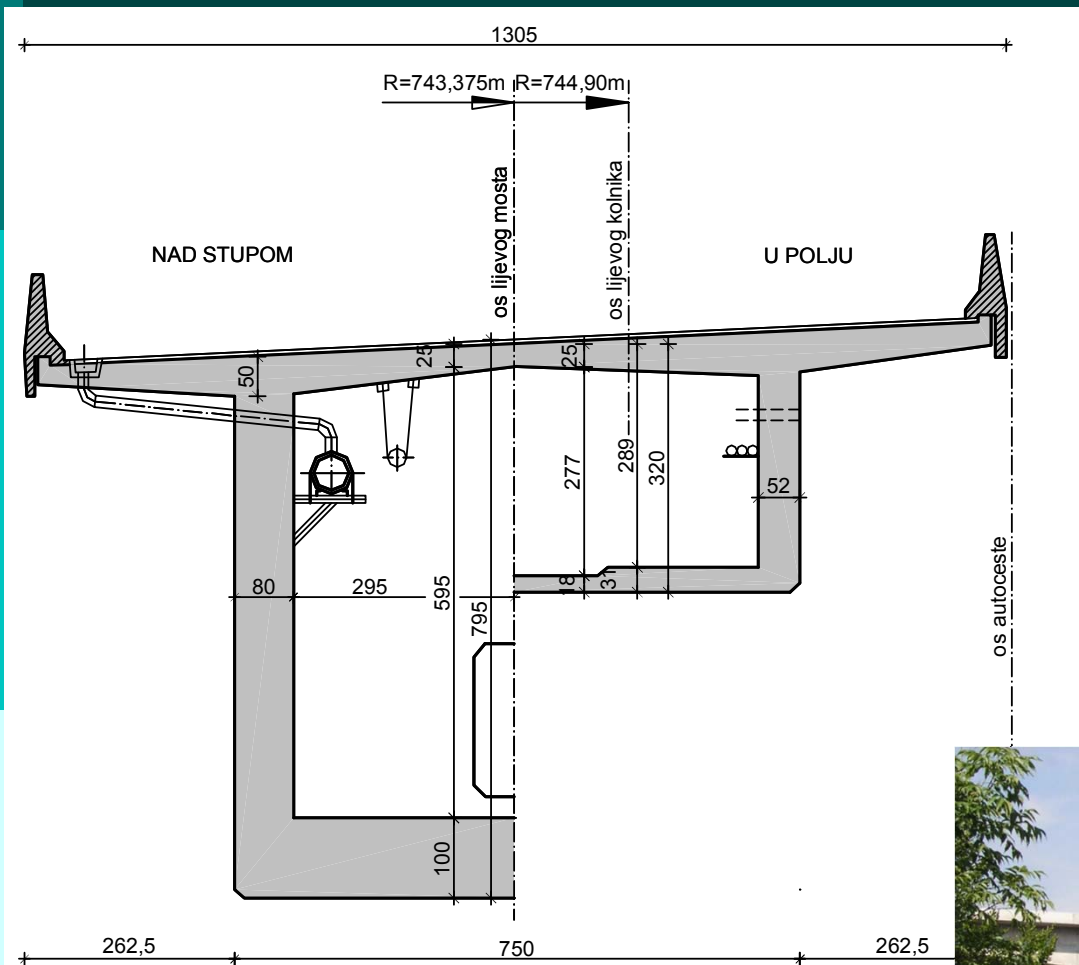


PREDNAPINJANJE PRI KONZOLNOJ GRADNJI GREDNIH MOSTOVA

- Tijekom izvedbe najprije se ugrađuju samo zaštitne cijevi, u koje se postupno uvlače jedino oni kabeli koji se prednapinju na kraju tog segmenta.
- Kabeli koji se prednapinju naknadno, kad je most već završen, uvlače se u prethodno ugrađene zaštitne cijevi i sidre u istakama ploče ili rebra s unutarnje strane nosača.



PRIMJER: MOST KAMAČNIK, L=70+125+23,5 m, 2003.



PRIMJER: MOST KAMAČNIK, $L=70+125+23,5$ m, 2003.

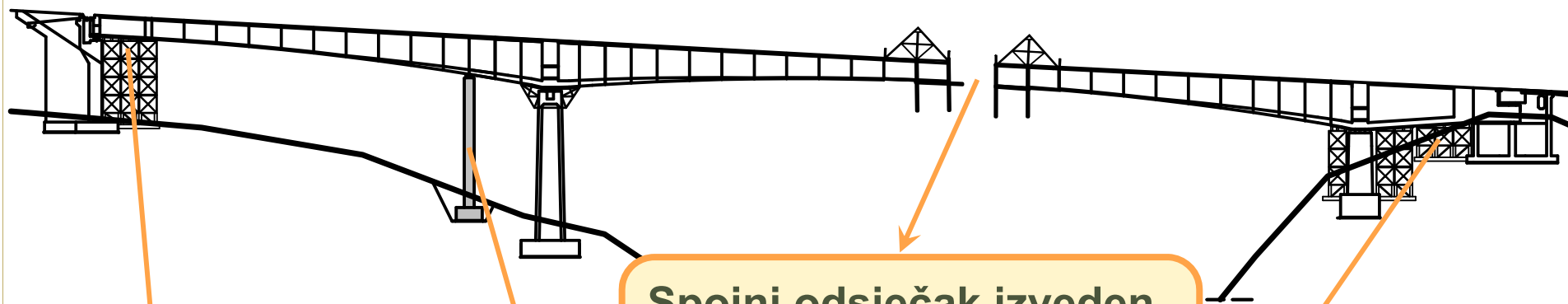


Slobodna konzolna izgradnja s betoniranjem na mjestu uz uporabu triju kompleta “krletki” u odsječcima duljine 5,0 m

PRIMJER: MOST KAMAČNIK, $L=70+125+23,5$ m, 2003.

od početnog odsječka nad stupom S1 na svaku stranu po 12 odsječaka

12 odsječaka od S2 prema S1



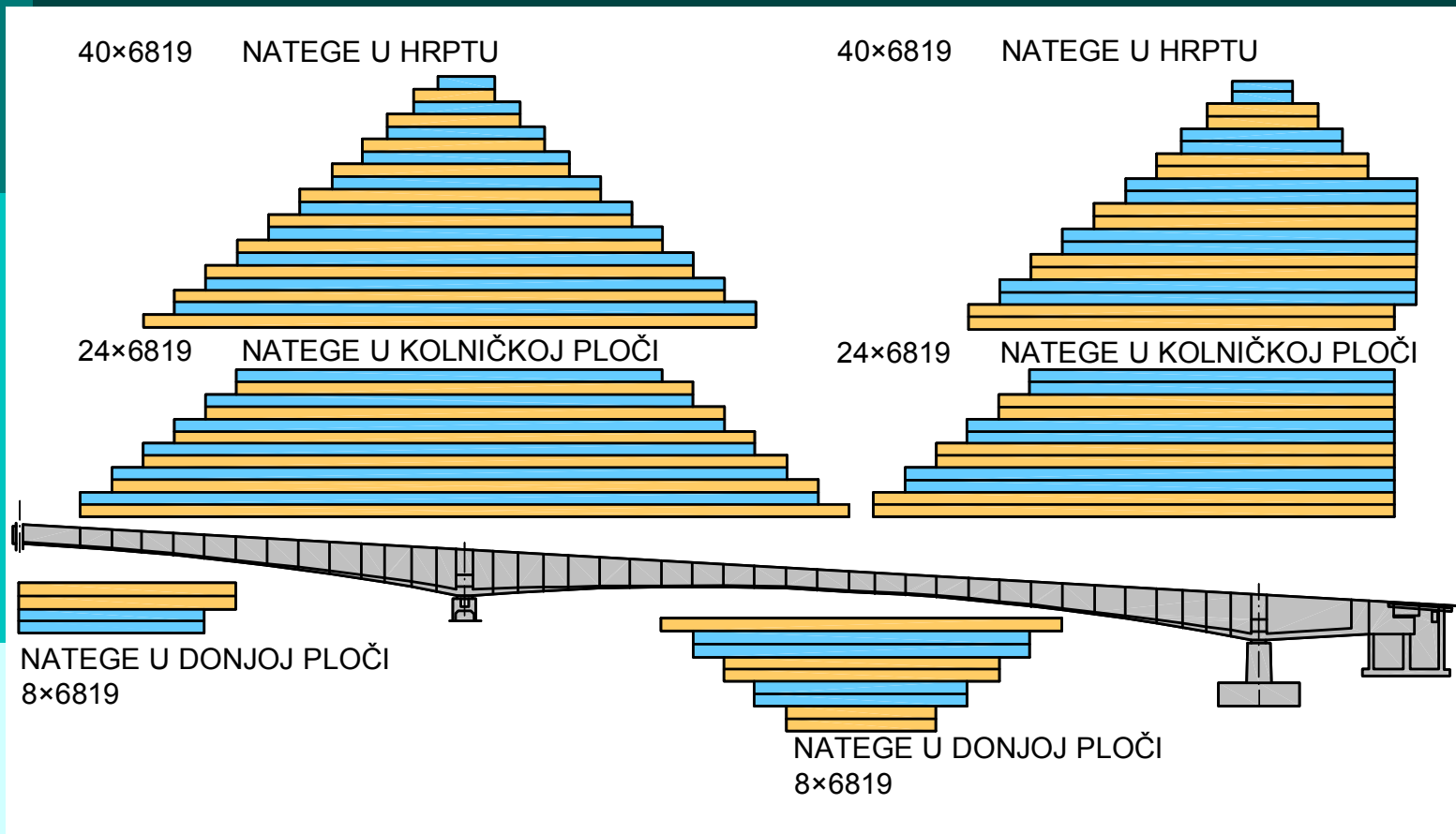
Spojni odsječak izveden nakon skidanja krletki u posebnoj oplati

Posljednji odsječak na skeli

Zbog nesimetričnog raspona izveden je pomoćni stup

Kratki raspon između stupa S2 i upornjaka U2 izveden je na teškoj cijevnoj skeli

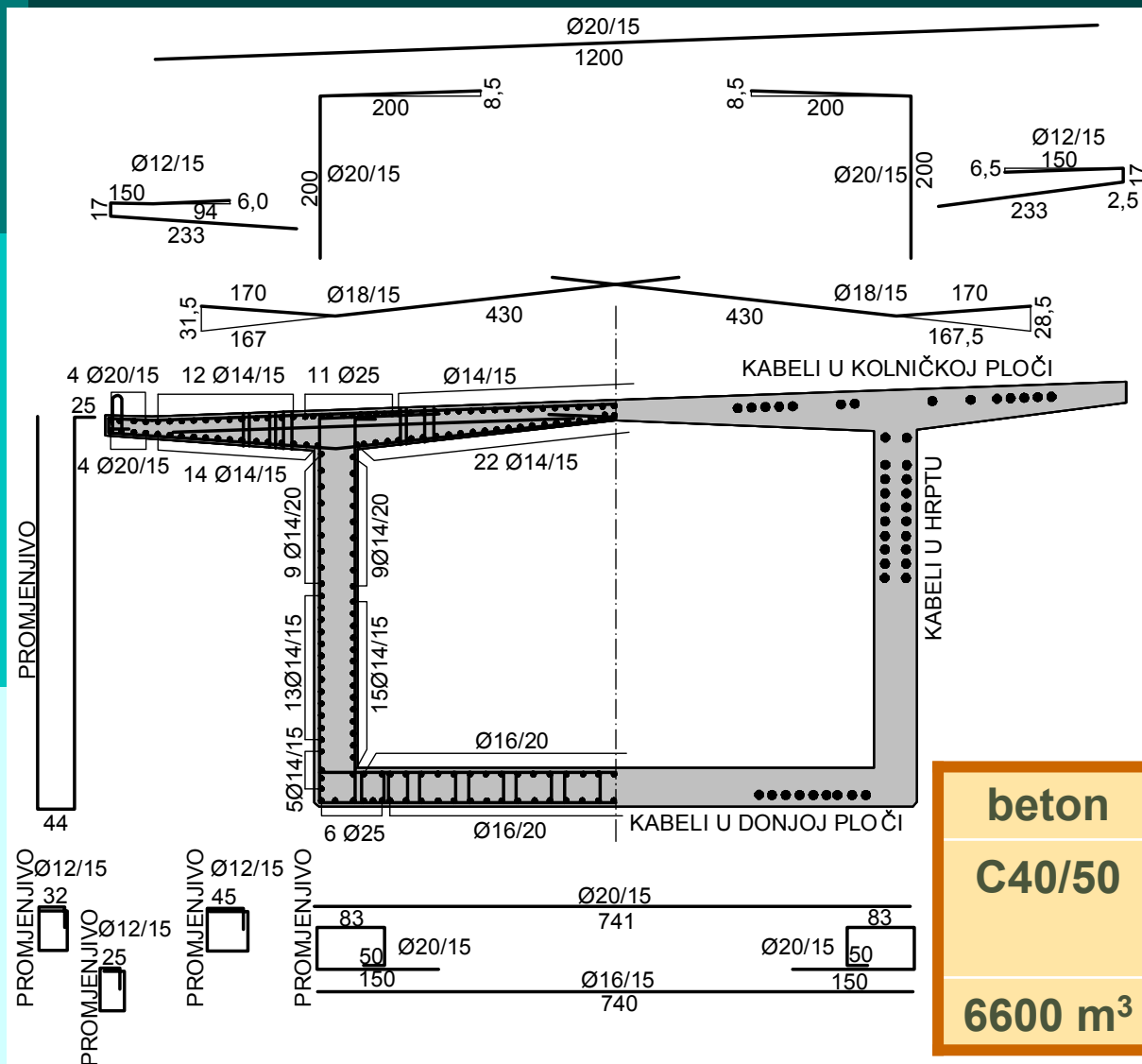
PRIMJER: MOST KAMAČNIK, $L=70+125+23,5$ m, 2003.



Kabeli
faze I

Kabeli
faze II

PRIMJER: MOST KAMAČNIK, L=70+125+23,5 m, 2003.



beton	armatura	kabeli
C40/50	$f_{yk}=400 \text{ N/mm}^2$ $f_{tk}=500 \text{ N/mm}^2$	1570/1770 N/mm²
6600 m³	1175 t	367 t

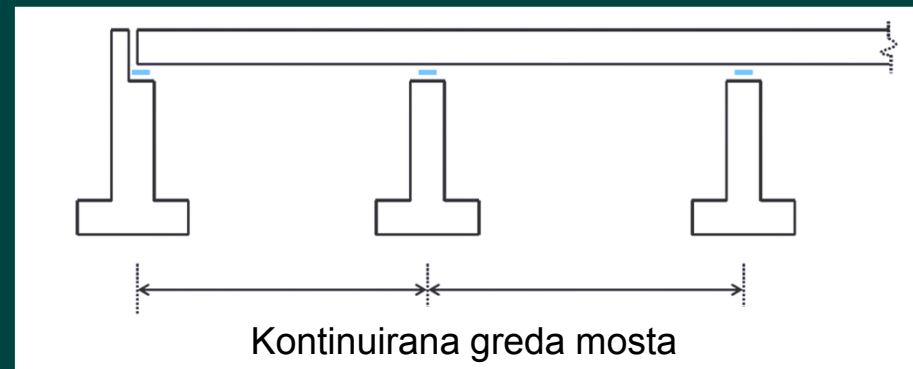
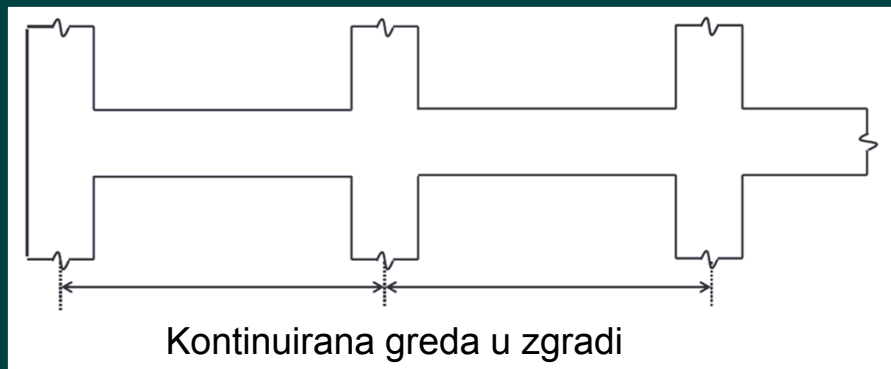
PREDNAPETI BETON



– 11 –

**KONTINUIRANE I DJELOMIČNO
KONTINUIRANE GREDE**

KONTINUIRANE GREDE U ZGRADAMA I MOSTOVIMA



KONTINUIRANE GREDE U ZGRADAMA I MOSTOVIMA

□ PREDNOSTI:

- Za isti raspon i presjek, kapacitet nosivosti na vertikalno opterećenje je veći.
- Manji je progib srednjeg raspona.
- Za isti raspon visina presjeka može biti manja – ekonomičnost utroška materijala.
- Zalihe u prenosu opterećenja – moguće otvaranje zglobova pri ekstremnim događajima – drugi put prijenosa opterećenja u slučaju otkazivanja jednog presjeka.
- Manji potrebni broj sidara za kabele.
- Smanjenje prijelaznih naprava kod mostova – jednostavnije održavanje.



□ MANE:

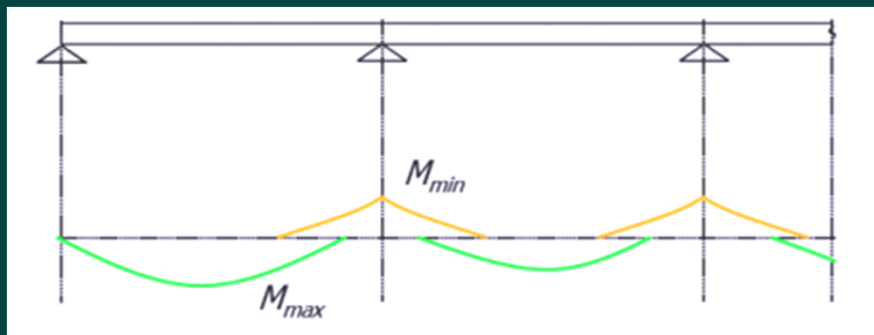
- Kompliciraniji proračun i dimenzioniranje.
- Poteškoće pri izvedbi, pogotovo kod predgotovljenih elemenata.
- Povaćani gubitci od trenja zbog promjene zakrivljenosti kabela.
- Povećano skraćanje grede, što vodi bočnim silama na stupovima.
- Razvoj sekundarnih naprezanja od vremenski ovisnih učinaka kao što su puzanje i skupljanje, slijeganje ležajeva i promjena temperature.
- Istovremena pojava najvećih momenata savijanja i posmičnih sila na ležajevima zahtijeva odgovarajuće detaljiranje armature
- Promjena smjera momenta od potresa zahtijeva odgovarajući proračun i dimenzioniranje.

PRORAČUN

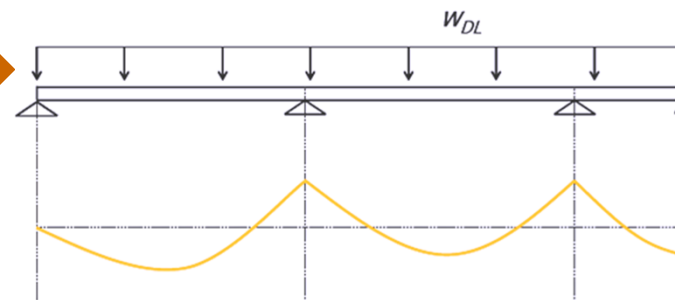
- Proračun kontinuiranih greda temelji se na teoriji elastičnosti.
- Kod prednapetih greda važno je naglasiti:
 - Određeni dijelovi grede bit će izloženi i pozitivnim i negativnim momentima savijanja (anvelopa)
 - Greda može biti izložena opterećenju po dijelovima raspona ili koncentriranom opterećenju.
 - Anvelopa momenata dobiva se za sheme opterećenja koje odgovaraju smještanju promjenljivog opterećenja samo na mjesta pozitivnih ili negativnih vrijednosti utjecajne linije za moment na odgovarajućem mjestu.
 - Kod kontinuiranih greda prednapinjanje izaziva reakcije na ležajevima – one izazivaju dodatne momente duž grede.

PRORAČUN

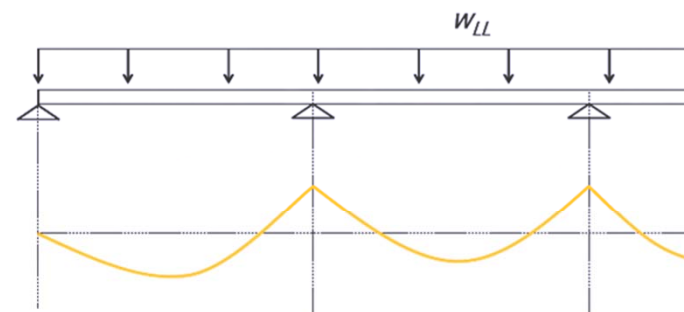
- Shematski dijagrami momenata savijanja:
- Anvelopa maksimalnih i minimalnih momenata:
 - Neki djelovi grede mogu biti izloženi i pozitivnim i negativnim momentima.



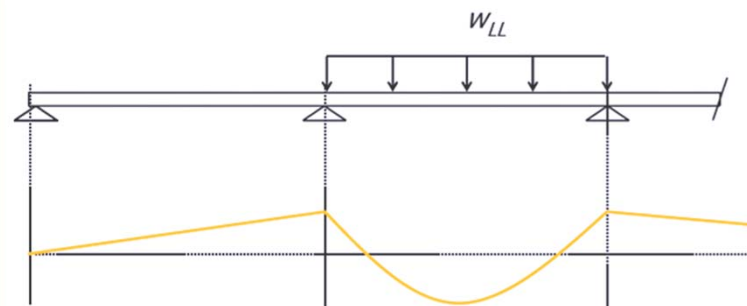
- Ovaj dijagram ćemo nazvati M_0 dijagram i neovisan je o prednapinjanju.



Stalno opterećenje



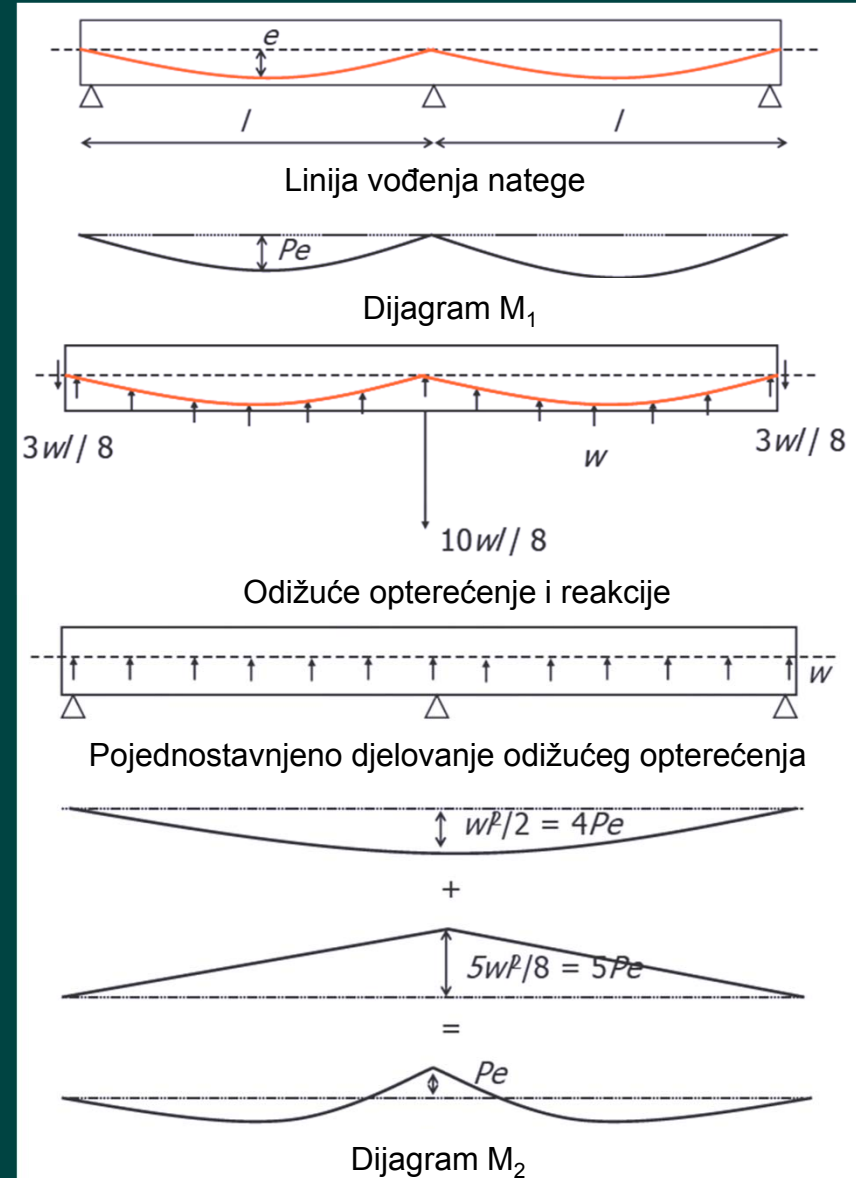
Promjenjivo opterećenje u svim poljima



Promjenjivo opterećenje u jednom polju

UKLJUČIVANJE MOMENTA OD REAKCIJA

- Kod kontinuiranih greda prednapinjanje izaziva reakcije na ležajevima.
- Reakcije na unutarnjim ležajevima izazivaju dodatni moment duž grede M_1' (**sekundarni moment**).
- Ovaj je moment linearan između ležajeva i dodaje se momentu usljed ekscentriciteta sile prednapinjanje M_1 (**primarni moment**).
- Objašnjenje se vidi na primjeru
 - grede s dva raspona
 - s parboličnim vođenjem kabela u svakom rasponu i
 - sa $e=0$ na ležajevima

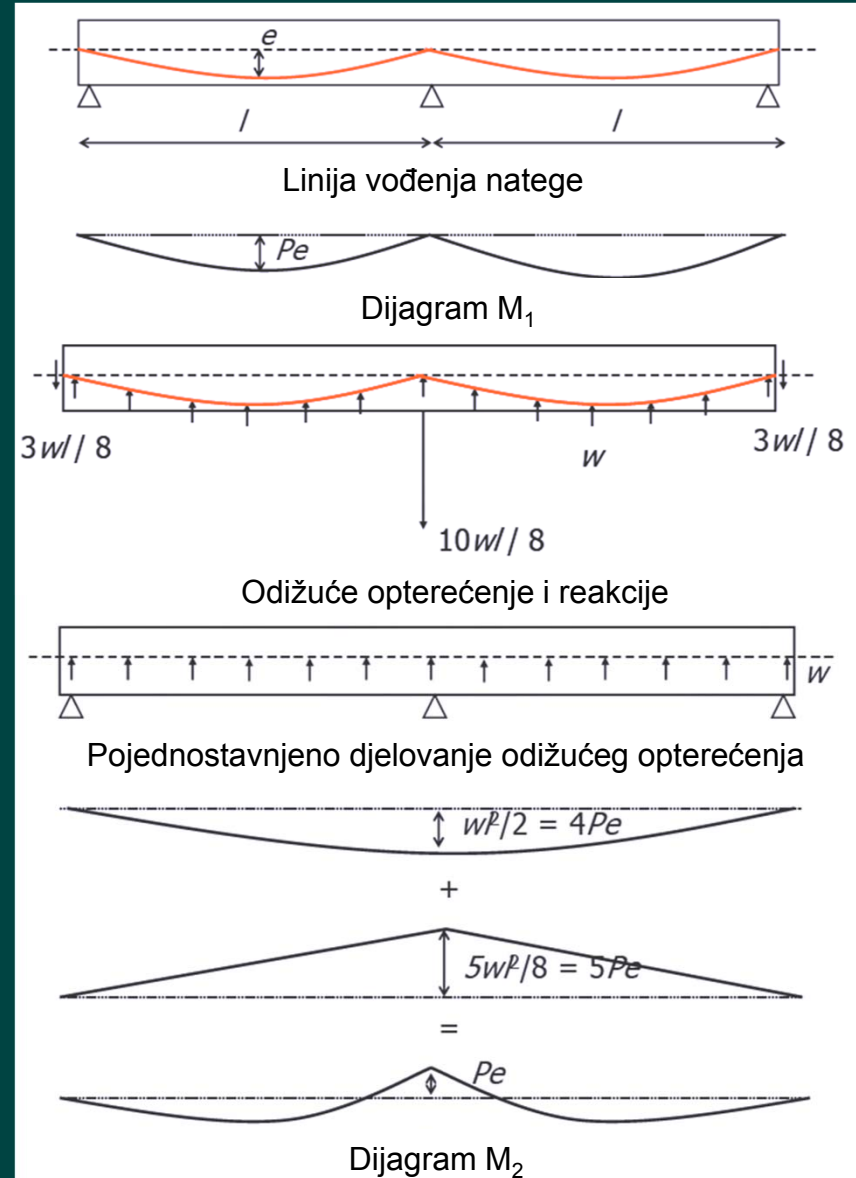


UKLJUČIVANJE MOMENTA OD REAKCIJA

- Momentni dijagram M_1 od ekscentriciteta sile prednapinjanja:

$$M_1 = P \times e$$

- P je sila prednapinjanja
 - P_0 pri prijenosu naprezanja odnosno
 - P_e pri uporabi
- M_1 je proporcionalan ekscentricitetu e uz zanemarivanje promjene P duž grede od gubitaka usljed trenja.

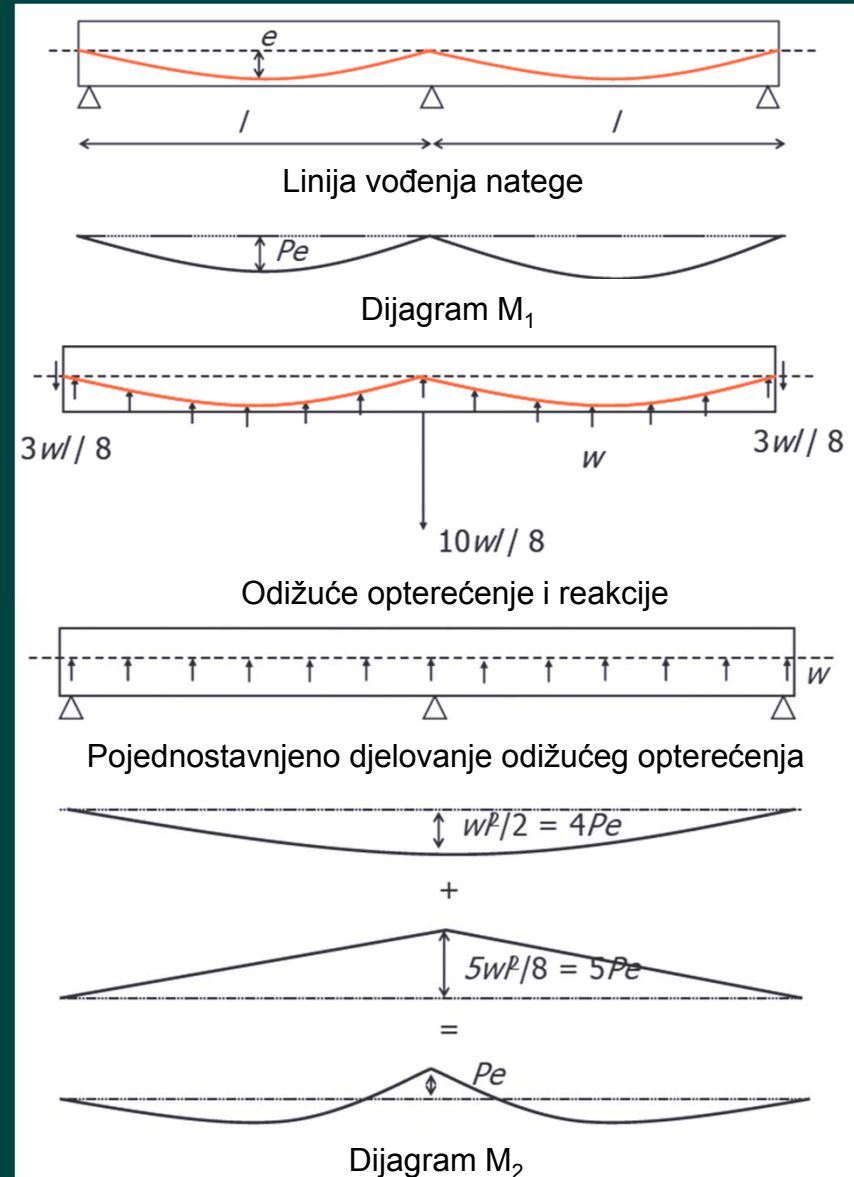


UKLJUČIVANJE MOMENTA OD REAKCIJA

- **Momentni dijagram M_2** dobije se zbrajanjem M od ekscen. prednap. i M od reakcije na srednjem ležaju.

$$M_2 = M_1 + M_1'$$

- Ovo se dobiva analizom kontinuirane grede izložene odižućem djelovanju
- Kako je kabel paraboličan u oba raspona odižuće djelovanje je konstantno:
 $w_{up} = w = 8Px_e/l^2$
- Djelovanje prema dolje na srednjem ležaju prenosi se direktno na ležaj – sila okrenuta prema dolje na srednjem ležaju iznosi:
 $10w_{up}l/8 = 10Px_e/l$
- Na rubovima sile okrenute prema dolje su od sidrenja.
- Dijagram od w_{up} se dodaje dijagramu od djelovanja sile prema dolje.
- Dijagram M_2 je sličnog oblika kao M_1 ali pomaknut linearno između rubnih i srednjeg raspona

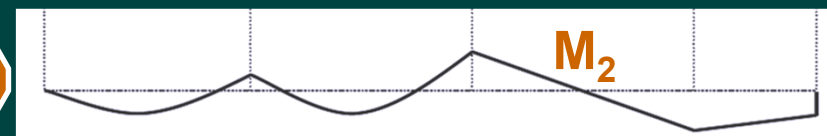
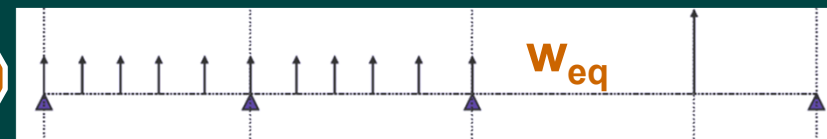
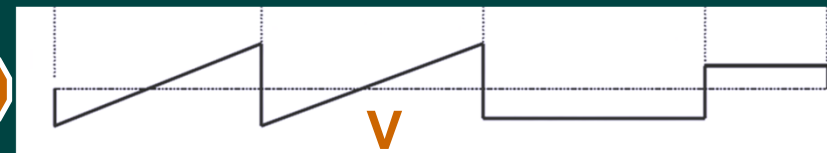
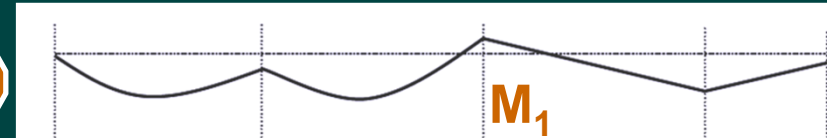
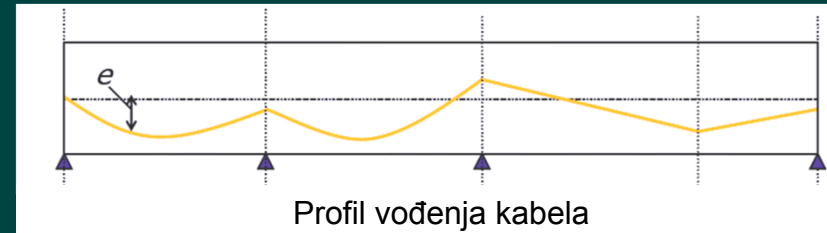


UKLJUČIVANJE MOMENTA OD REAKCIJA

□ Momentni dijagram M_2

- od ukupnog učinka prednapinjanja može se odrediti sljedećim koracima:

1. Nacrtati M_1 dijagram koji je sličan profilu natege (zanemari se promjena P_e duž grede usljed trenja)
2. Nacrtati dijagram poprečnih sila V koji odgovara dijagramu M_1 na temelju veze $V=dM_1/dx$
3. Nacrtati ekvivalentno opterećenje w_{eq} koje odgovara dijagramu V na temelju veze $w_{eq}=dV/dx$
 - iznad ležajeva w_{eq} može biti usmjereno prema dolje
 - Valja dodati i moment na rubovima kada je ekscentricitet kabela različit od nule
4. Proračunati vrijednosti M_2 za kontinuiranu gredu izloženu w_{eq} (računalo)



UKLJUČIVANJE MOMENTA OD REAKCIJA

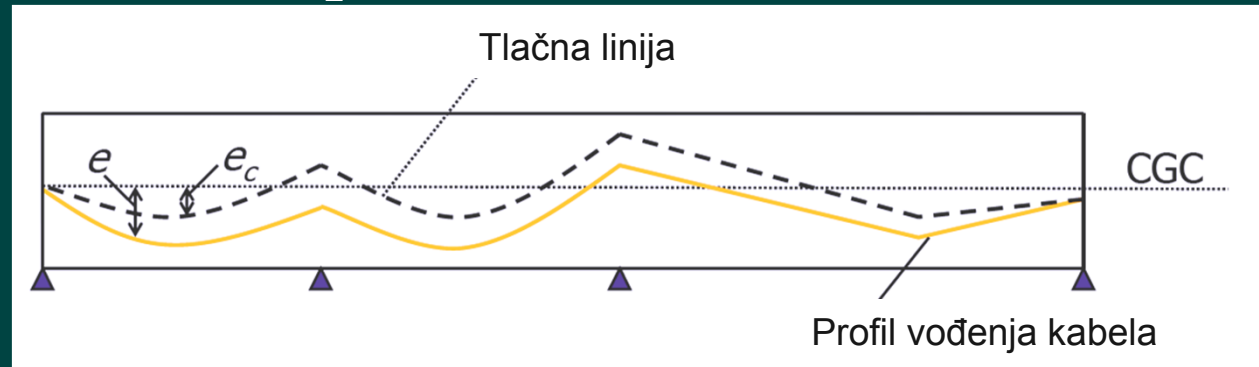
- Rezultantni momentni dijagram M_3 dobije se zbrajanjem:
 - momenta od ukupnog učinka prednapinjanja M_2 koji se sastoji od:
 - momenta usljed escentriciteta sile prednapinjanja M_1
 - momenta od reakcija na unutarnjim ležajevima M_1'
 - momenta od vanjskih opterećenja M_0

$$M_3 = M_2 + M_0 = M_1 + M_1' + M_0$$

TLAČNA LINIJA OD SILE PREDNAPINJANJA

- ... može se odrediti iz dijagrama M_2 prema izrazu:

$$e_c = M_2 / P_e$$



- e_c udaljenost tlačne linije od težišta betonskog presjeka.
Pozitivna vrijednost odgovara pozitivnom M_2 i podrazumijeva da je tlačna linija ispod težišta betonskog presjeka

- Svojstava tlačne linije:

- Pomak tlačne linije od profila vođenja kabela predstavlja linearnu transformaciju. To je stoga što M_2 dijagram ima sličan oblik profilu vođenja kabela.

➡ Tlačna linija će imati isti oblik kao i profil vođenja kabela.

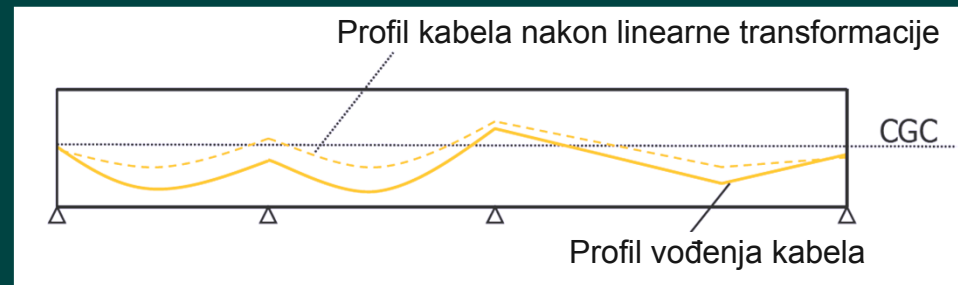
- Kako je M_2 proporcionalno sili prednapinjanja, ekscentricitet tlačne linije ostaje konstantan i kada sila prednapinjanja s početne vrijednosti P_0 padne na djelotvornu P_e .

➡ Položaj tlačne linije je za odgovarajući profil vođenja kabela k konstantan bez obzira na gubitak sile prednapinjanja.

LINEARNA TRANSFORMACIJA

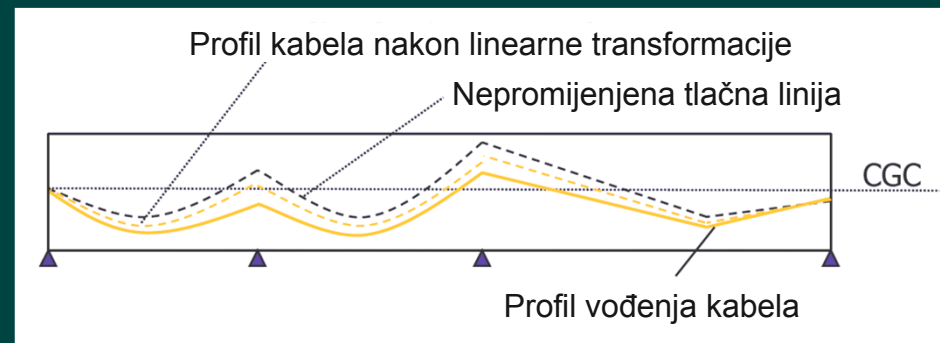
- Kada se profil vođenja kabela pomiče preko unutarnjih ležajeva kontinuirane grede bez promjene unutarnjeg oblika profila u svakom pojedinom rasponu kažemo da je profil linearno transformiran.

➡ Zakrivljenosti i položaji zavoja ostaju nepromijenjeni.



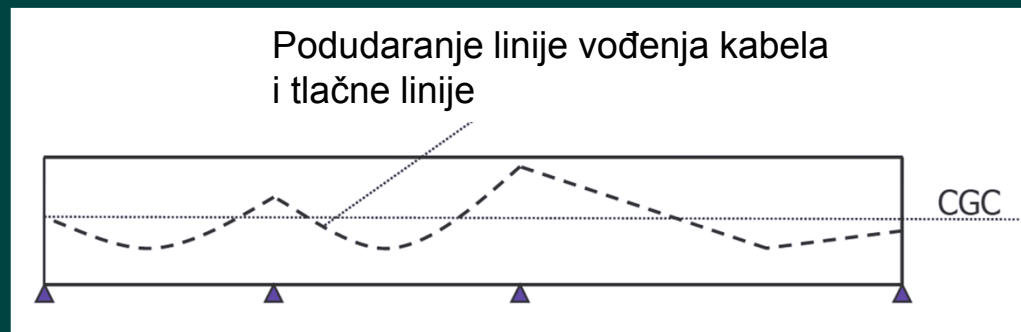
- U kontinuiranoj gredi profil kabela može se linearno transformirati bez promjene položaja rezultatne tlačne linije

➡ Tlačna linija ostaje konstantna.



PODUDARNI PROFIL VOĐENJA NATEGA

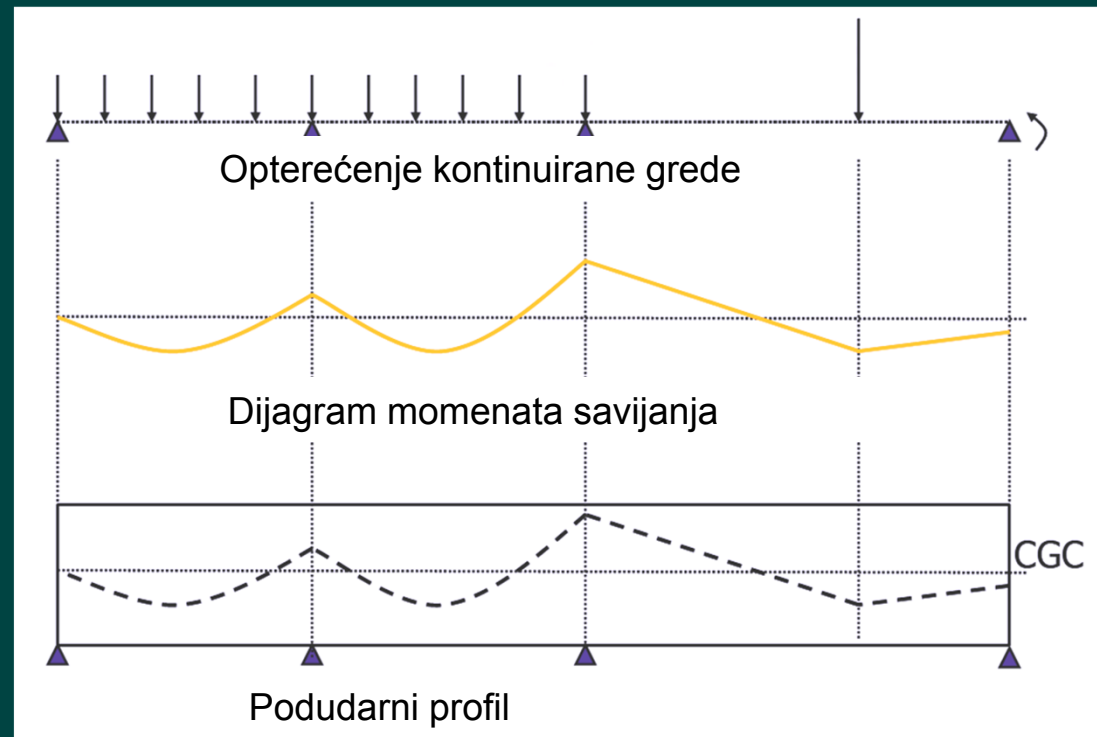
- .. kod kontinuirane grede je profil koji proizvodi tlačnu liniju koja se s njim poklapa.
- Ne proizvodi reakcije nad ležajevima pa tako ni sekundarne momente u rasponima.
- Ekvivalentno opterećenje prema dolje i odižuće su međusobno uravnoteženi.



- Prednost je jednostavniji proračun:
 - Dijagram M_2 podudara se s dijagramom M_1 jer nema sekundarnih momenata M_1'
 - Kako se tlačna linija od prednapinjanja poklapa s linijom vođenja kabela pomak tlačne linije od vanjskog opterećenja može se mjeriti od same linije vođenja kabela.

PODUDARNI PROFIL VOĐENJA NATEGA

- Podudarni profil se jednostavno određuje iz dijagrama momenta savijanja određenog vanjskog opterećenja

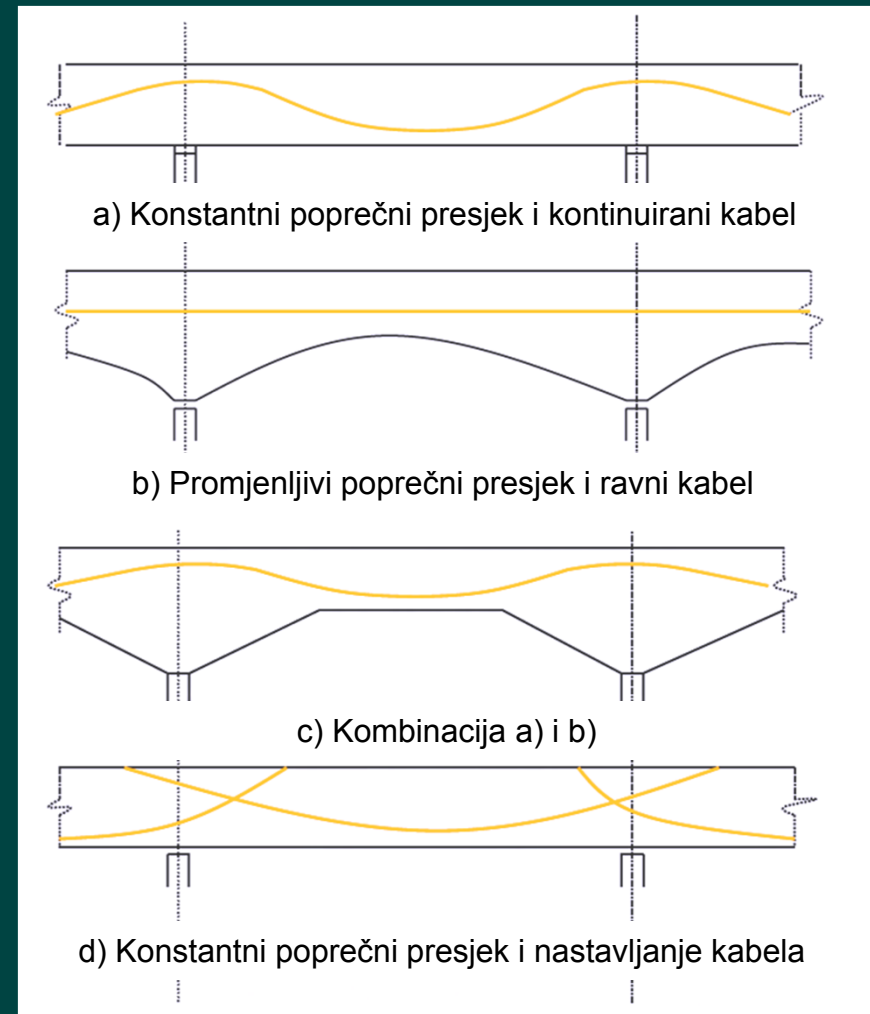


KORACI POTREBNI ZA IZBOR LINIJE VOĐENJA NATEGA

1. Za pretpostavljeni poprečni presjek grede odrediti moment od vlastite težine M_{sw}
2. Odrediti maksimalne i minimalne momente (anvelopa) duž grede od kombinacije uporabnog opterećenja i vlastite težine M_{max} i M_{min}
3. Odrediti potrebnu silu prednapinjanja P_e na temelju vrijednosti M_{max} i M_{min} u kritičnim presjecima (slično kao za slobodno oslonjenu gredu).
4. Odrediti potrebnu površinu čelika za prednapinjanje $A_p = P_e / f_{pe}$
5. Proračunati donju i gornju granicu jezgre k_b i k_t i maksimalni i minimalni ekscentricitet e_{max} i e_{min} granične zone duž grede.
6. Izabrati probni profil unutar granične zone (podudarni odgovara tlačnoj liniji od prednapinjanja) i odrediti pomak tlačne linije od vanjskih opterećenja.
 - Za puno prednapinjanje ako konačna tlačna linije leži unutar jezgre rješenje zadovoljava
 - Za ograničeno i djelomično prednapinjanja, ako konačna tlačna linija leži u području tako da su naprezanja na rubovima manja od graničnih rješenje zadovoljava.
 - U suprotnom promijeniti liniju vođenja kabela.
7. Linearno transformirati profil kabela kako bi se zadovoljili zaštitni sloj i prikladnost prednapinjanja.

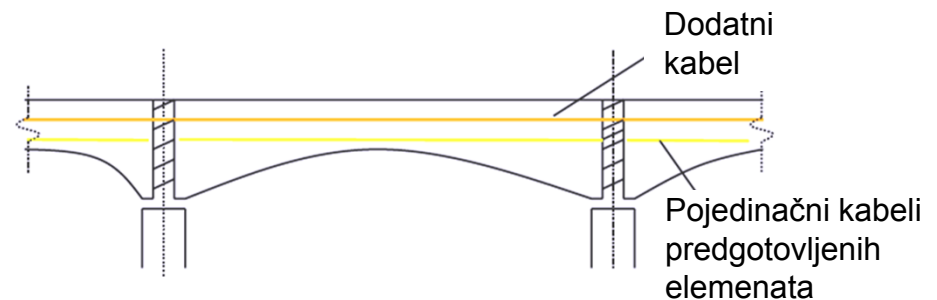
PRIMJERI VOĐENJE NATEGA

- Kod greda s konstantnim poprečnim presjekom
 - Linija vođenja natege je slična momentnom dijagramu od jednolikog opterećenja.
 - Oštri lomovi kod vođenja kabela su nedopustivi pa je linija zaobljena nad ležajevima.
 - Moguće je vođenje kabela u odsječcima kako bi se smanjili gubici od trenja – potrebno je nastavljati kabela
- Za gredu s promjenljivom visinom
 - moguće je liniju vođenja natege prilagoditi (unutar $e_{\max}$ i $e_{\min}$) kako bi bila približno ravna što je jednostavnije za izvedbu i smanjuje gubitke od trenja.

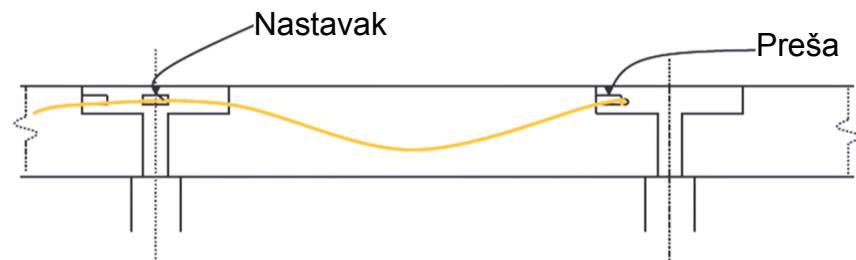


DJELOMIČNO KONTINUIRANE GREDE

- ...su one kod kojih kabeli nisu kontinuirani i uspostavlja se kontinuitet između punog kontinuiteta i slučaja slobodnog oslanjanja.
- Primjer je izgradnja različitim polumontažnim postupcima.



Dodatni kabel naknadnog prednapinjanja



Nastavljanje kabela



Spregnuti presjeci s nenapetom armaturom za kontinuitet

PRORAČUN ZA GSN I PRERASPODIJELA MOMENATA

- Proračun kontinuiranih greda je složen jer:
 - Usljed nelinearnog ponašanja superpozicija naprezanja nije moguća ► nije potpuno primjenljivo načelo uravnoteženja opterećenja.
 - Sila prednapinjanja mijenja se na mjestima pukotina.
 - Zanemarivanje sekundarnih momenata od prednapinjanja je pogrešno, osim u slučaju kad je dopuštena potpuna preraspodijela momenata.
- Preraspodijela momenata znači:
 - Premještanje dodatnih momenata u presjeke s manjim naprezanjima, jer visoko naprezani presjeci popuštaju pri dosezanju granične nosivosti.
- Kako bi se preraspodijela momenata primjenila:
 - visoko naprezani presjeci dimenzioniraju se za manje momente savijanja,
 - a manje naprezani presjeci dimenzioniraju se na momente veće od onih dobivenih elastičnim proračunom
 - ekonomski povoljnije rješenje.

PRORAČUN ZA GSN I PRERASPODIJELA MOMENATA

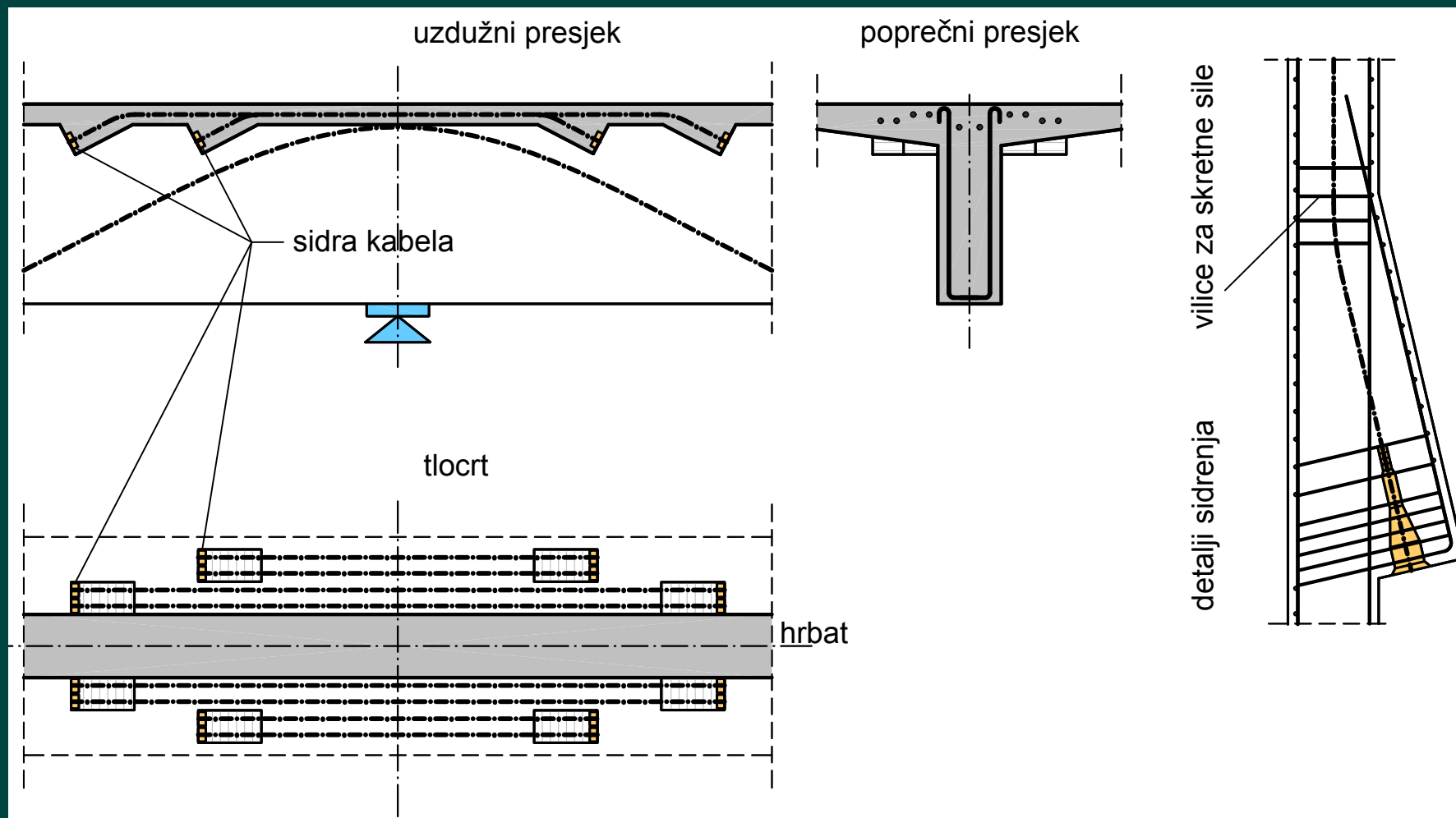
□ Uvjeti za preraspodjelu momenata:

- Preraspodijeljeni momenti moraju biti u statičkoj ravnoteži s faktoriziranim vanjskim djelovanjem.
- Za zahtjeve uporabljivost, granični moment otpornosti ne smije biti manji od 80% momenta zahtijevanog iz elastičnog proračuna.
- Kako bi se ograničio zahtijev na rotaciju nakon popuštanja, redukcija momenta u visoko naprezanim presjecima je najviše 20% najvećeg momenta bilo gdje u gredi proračunatog elastičnim proračunom.
- Kako bi se osiguralo duktilno ponašanje visoko napreznih presjeka valja provjeriti:

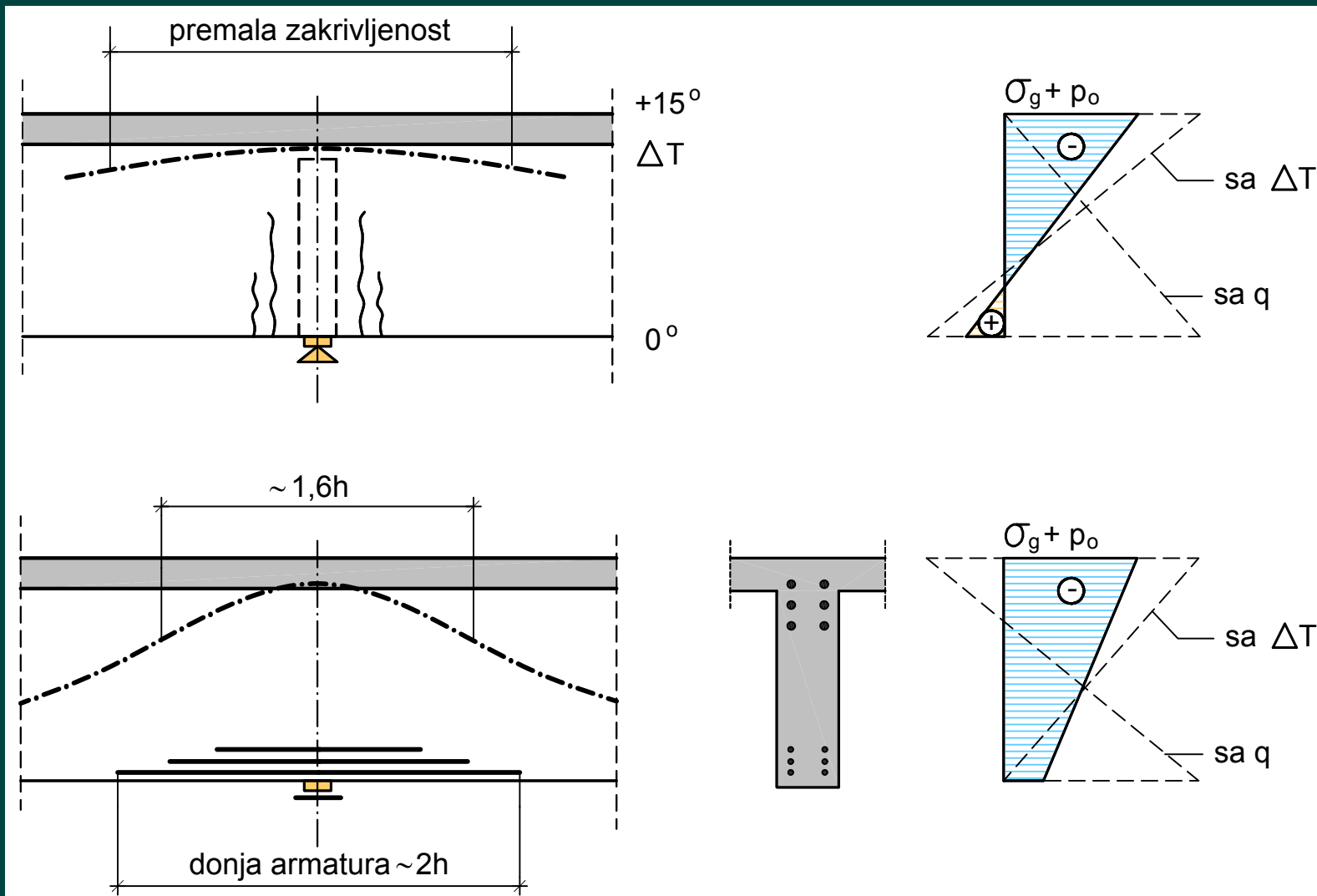
$$\frac{x_u}{d} + \frac{\delta_M}{100} \leq 0.5$$

- x_u dubina neutralne osi
- d djelotvorna visina presjeka
- δ_M postotak smanjenja momenta

VOĐENJE KABELA IZNAD SREDNJIH OSLONACA KONTINUIRANIH GREDA



VOĐENJE KABELA IZNAD SREDNJIH OSLONACA KONTINUIRANIH GREDA



PREDNAPETI BETON

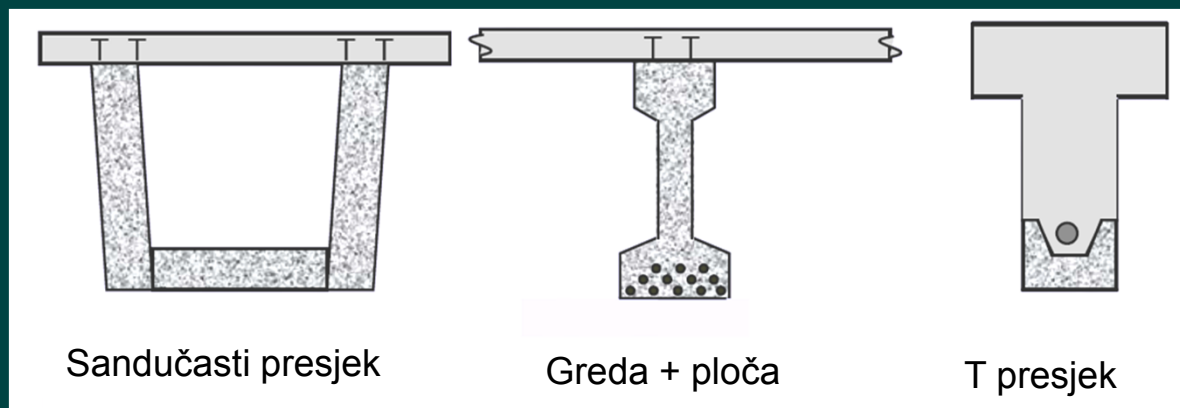


– 12 –

SPREGNUTE GREDE

POLUMONTAŽNE GREDE

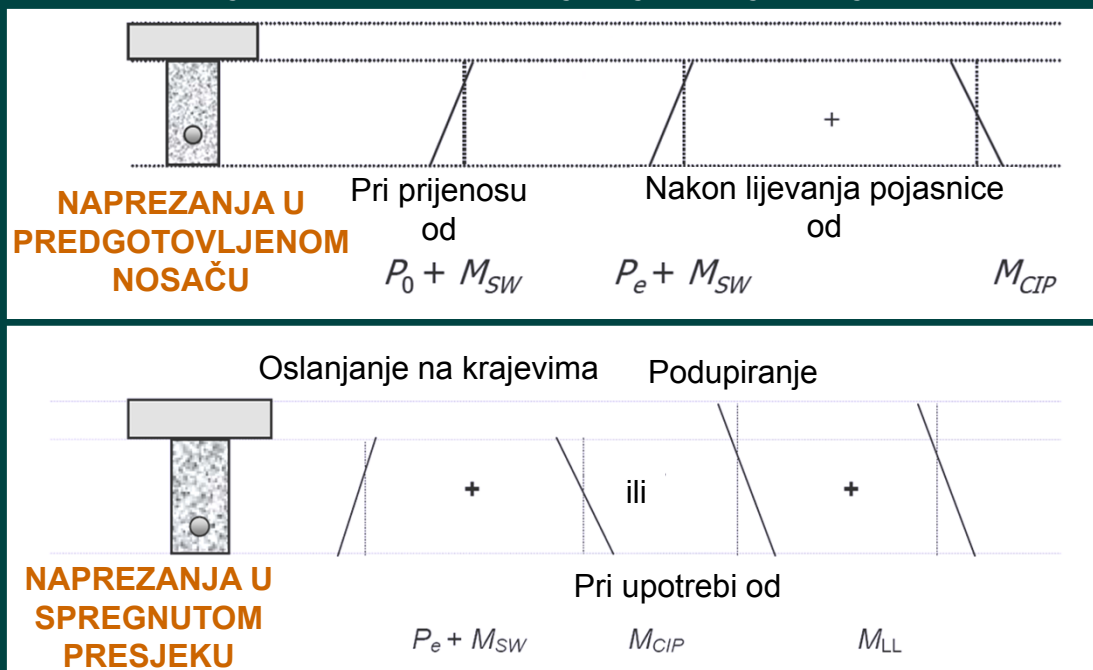
- Sprezanje predgotovljenih nosača i betona lijevanog na gradilištu.



- PREDNOSTI:
 - Ušteda oplata
 - Brža izgradnja
 - Jednostavno povezivanje i postizanje kontinuiteta na gradilištu
- Moguće je prednapinjanje ovakvih konstrukcija u fazama:
 - Predgotovljeni element se prednapinje na mjestu proizvodnje (prethodno ili naknadno)
 - Nakon što beton lijevan na gradilištu postigne čvrstoću, presjek se dalje naknadno napinje
 - Često je razred betona predgotovljenog i monolitnog betona različit pa se primjenjuje transformirani presjek.

PRORAČUN NAPREZANJA

- Proračun ovakvih spregnutih presjeka ovisit će o:
 - vrsti presjeka
 - fazama prednapinjanja
 - načinu izvedbe (*Da li je nosač tijekom lijevanja betona na gradilištu oslonjen samo na krajevima ili je poduprijet duž cijelog raspona?*)
 - opterećenjima.
- Pojednostavnjeni presjek s predgotovljenim hrptom i monolitnim pojasnicama. Nosač je prednapet prije lijevanja pojasnice.



- P_0 prednapinjanje pri prijenosu nakon kratkotrajnih gubitaka
- P_e djelotvorna sila prednapinjanja tijekom lijevanja pojasnice nakon dugotrajnih gubitaka
- M_{SW} moment od vlastite težine predgotovljenog nosača
- M_{CIP} moment od težine betona pojasnice
- M_{LL} moment od uporabnog opterećenja

PRORAČUN NAPREZANJA

■ Rubna naprezanja u predgotovljenom nosaču

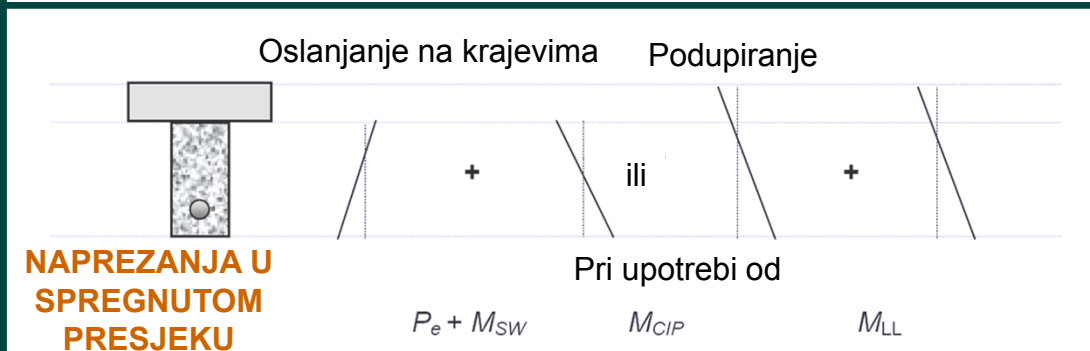
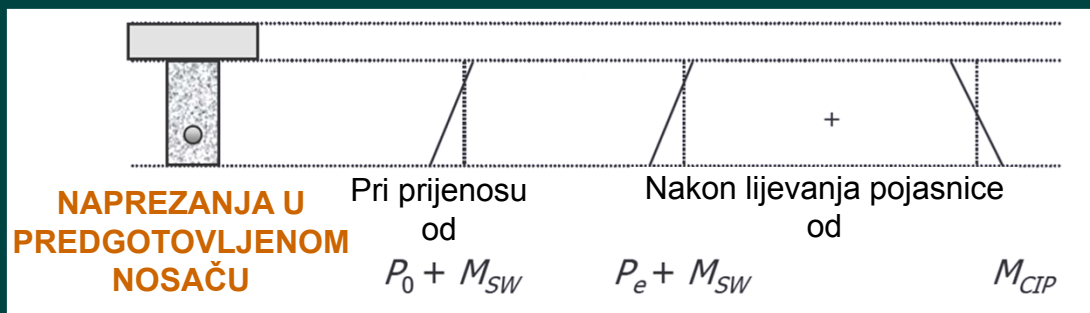
- pri prijenosu naprezanja:
- nakon lijevanja pojasnice:
- pri uporabi za nosač oslonjen samo na krajevima tijekom lijevanja betona:
- pri uporabi za nosač poduprijet duž raspona tijekom lijevanja betona:

$$f = -\frac{P_0}{A} \pm \frac{P_0 e c}{I} \pm \frac{M_{SW} c}{I}$$

$$f = -\frac{P_e}{A} \pm \frac{P_e e c}{I} \pm \frac{(M_{SW} + M_{CIP}) c}{I}$$

$$f = -\frac{P_e}{A} \pm \frac{P_e e c}{I} \pm \frac{(M_{SW} + M_{CIP}) c}{I} \pm \frac{M_{LL} c'}{I'}$$

$$f = -\frac{P_e}{A} \pm \frac{P_e e c}{I} \pm \frac{M_{SW} c}{I} \pm \frac{(M_{CIP} + M_{LL}) c'}{I'}$$



- **A** površina predgotovljenog hrpta
- **C** udaljenost ruba od težišta predgotovljenog presjeka
- **C'** udaljenost ruba od težišta spregnutog presjeka
- **E** ekscentricitet kabela
- **I** moment tromosti predgotovljenog nosača
- **I'** moment tromosti spregnutog nosača

PRORAČUN U KORACIMA:

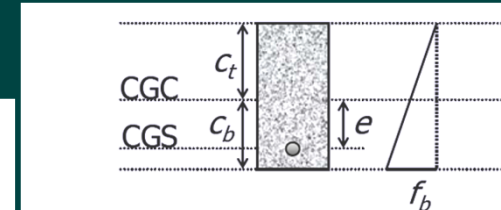
Primjer za puno prednapinjanje

1. Odrediti e :

- U prvom pokušaju postaviti kabel s ekscentricitetom e_{max} (koji daje naprezanje =0 na gornjem rubu predgotovljenog nosača):

- k_b donji rub jezgre
- P_0 pretpostavljena sila prednapinjanje pri prijenosu

$$e_{max} = k_b + \frac{M_{sw}}{P_0}$$

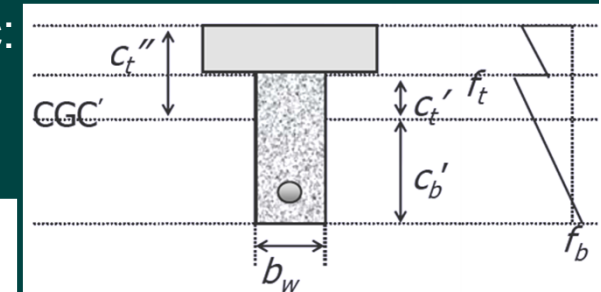


2. Izračunati ekvivalentni moment za predgotovljeni nosač:

- Za moment koji djeluje nakon što se presjek počne ponašati kao spregnuti M_c , rubna naprezanja u predgotovljenom nosaču iznose:

- I' moment tromosti spregnutog presj.
- CGC' težište spregnutog presjeka

$$f_t = \frac{M_c c_t'}{I'} \quad f_b = \frac{M_c c_b'}{I'}$$



- Odnosi svojstava predgotovljenog nosača i spregnutog nosača:

$$m_t = \frac{I/c_t}{I'/c_t'} \quad m_b = \frac{I/c_b}{I'/c_b'}$$

- Rubna naprezanja predgotovljenog nosača izražena preko ovih odnosa:

$$f_t = \frac{m_t M_c c_t}{I} = \frac{m_t M_c}{A k_b} \quad f_b = \frac{m_b M_c c_b}{I} = \frac{m_b M_c}{A k_t}$$

PRORAČUN U KORACIMA:

Primjer za puno prednapinjanje

3. Odrediti djelotvornu silu prednapinjanja P_e i procijeniti silu prednapinjanja P_0

- Ako sa M_p označimo moment koji djeluje na predgotovljeni nosač prije nego se presjek počne ponašati kao spregnuti, nakon što se i M_c primjeni na spregnuti presjek, ukupni moment koji djeluje na predgotovljeni nosač će biti:

$$M_p + m_b M_c$$

- Kako je kod punog prednapinjanja naprezanje na donjem rubu pri uporabi=0 vrijedi:

$$-\frac{P_e}{A} - \frac{P_e e}{Ak_t} + \frac{M_p + m_b M_c}{Ak_t} = 0 \quad P_e = \frac{(M_p + m_b M_c)}{e + k_t}$$

- (ekscentricitet e je od težišta kabela do težišta predgotovljenog nosača)

□ Procijeniti novu silu prednapinjanja P_0 i prilagoditi e .

□ Provjeriti tlačno naprezanje u predgotovljenom nosaču:

- Pri prijenosu na donjem rubu:

$$f_b = -\frac{P_0}{A} - \frac{P_0 e}{Ak_t} + \frac{M_{sw}}{Ak_t}$$

- Pri uporabi na gornjem rubu:

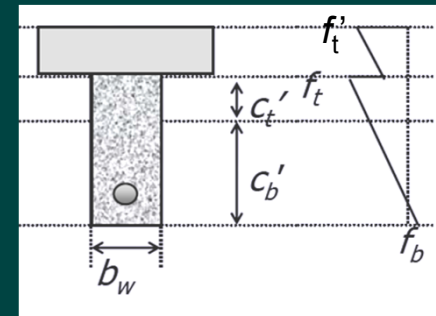
$$f_t = -\frac{P_e}{A} - \frac{P_e e}{Ak_b} + \frac{(M_p + m_t M_c)}{Ak_b}$$

- Ako su naprezanja prevelika povećati presjek A

□ Provjeriti tlačno naprezanje u pojasnici:

- Pri uporabi na gornjem rubu:

$$f_t' = \frac{M_c c_t''}{I'}$$

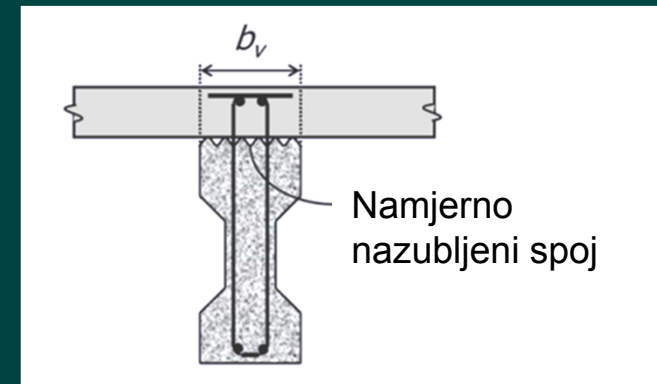


POSMIK U SPOJU

- S povećanjem opterećenja, donja strana naknadno betoniranog dijela presjeka kliže horizontalno i pomiče se prema gore u odnosu na gornju površinu predgotovljenog nosača.
- Kako bi se ovo spriječilo i kako bi se razvilo spregnuto djelovanje valja osigurati posmičnu armaturu spoja.
- Armatura za preuzimanje posmika trenja A_{sv} se može odrediti prema sljedećem izrazu:

$$A_{sv} = \frac{1000b_v\tau_h}{0.87f_y\mu}$$

- b_v širina spoja između predgotovljenog nosača i naknadno betoniranog dijela
 - τ_h horizontalno posmično naprezanje na spoju N/mm²
 - $0,87f_y$ odgovara proračunskoj granici popuštanja f_{yk}/γ_s
 - μ koeficijent trenja (= 1,0 za površinu namjerno nazubljenu zbog boljeg prijanjanja i beton normalne težine)
- Posmična armatura nosača može se produljiti tako da se sidri u naknadno betoniranom dijelu kao posmična armatura spoja.



POSMIK U SPOJU:

Proračun prema EN 1992-1-1

- Na spoju betona različite starosti vrijedi sljedeći uvjet:

$$V_{Edi} \leq V_{Rdi}$$

- V_{Edi} proračunsko djelujuće posmično naprezanje:

$$V_{Edi} = \beta V_{Ed} / (z b_i)$$

- V_{Rdi} prorač. nosivosti na posmik:

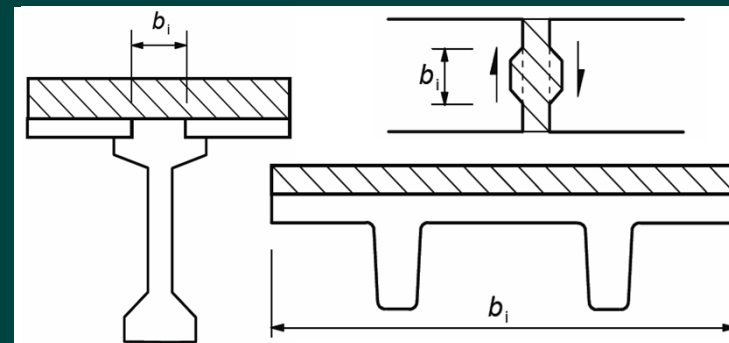
$$V_{Rdi} = c f_{ctd} + \mu \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 v f_{cd}$$

- β omjer uzdužne sile u površini novog betona i ukupne uzdužne sile (u tlačnoj ili vlačnoj zoni) obe proračunate za promatrani presjek
- V_{Ed} poprečna posmična sila
- z krak sila spregnutog presjeka
- b_i širina spoja
- c, μ faktori ovisni o hrapavosti spojne površine
- f_{ctd} proračunska vlačna čvrstoća
- σ_n naprezanje na jediničnoj površini izazvano minimalnom vanjskom uzdužnom silom preko površine spoja koja može djelovati istovremeno sa posmičnom silom, pozitivna za tlak, tako da je $\sigma_n < 0,6 f_{cd}$, i negativna za vlak
- $\rho = A_s / A_i$
- A_s je površina armature koja prolazi spojem, a sidri se s obje strane spoja
- A_i površina spoja
- α kut armature u odnosu na ravninu spoja $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$
- v faktor redukcije čvrstoće (vidi proračun za posmik)

POSMIK U SPOJU:

Proračun prema EN 1992-1-1

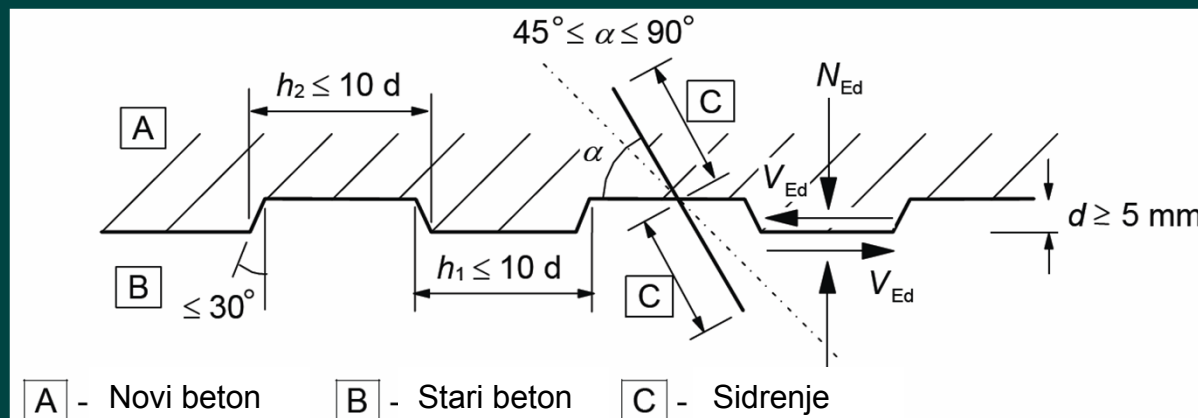
□ b_i širina spoja



□ c, μ faktori ovisni o hrapavosti spojne površine

- Vrlo glatka površina (u čeličnoj, plastičnoj ili posebnoj drvenoj oplati): $c=0,25 \mu=0,5$
- Glatka površina (u kliznoj oplati, ili površina bez daljne obrade nakon vibracije): $c=0,35 \mu=0,6$
- Hrapava površina (površina s hrapavošću min 3 mm na razmaku 40 mm): $c=0,45 \mu=0,7$
- Nazubljena površina (donja slika): $c=0,50 \mu=0,9$

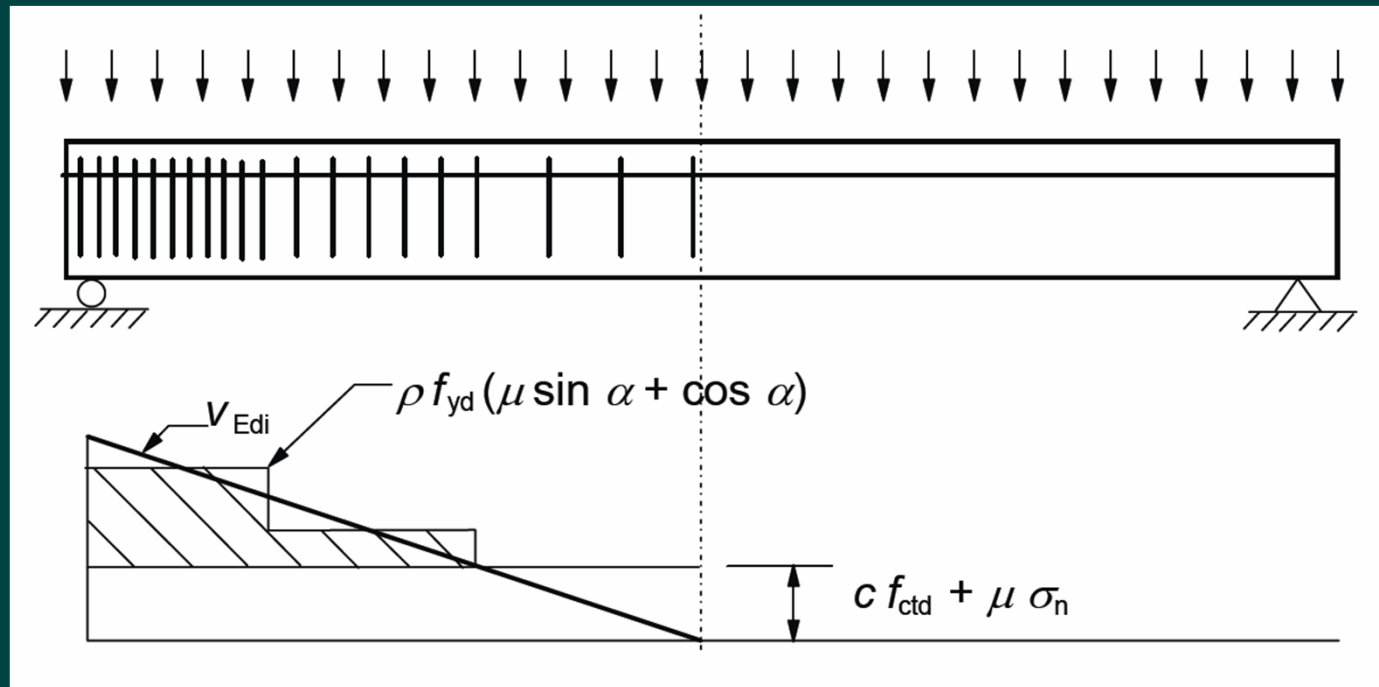
□ α kut armature u odnosu na ravninu spoja $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$



POSMIK U SPOJU:

Proračun prema EN 1992-1-1

- Moгуće je duž grede koristiti poprečnu armaturu spoja starog i novog betona u stepenastom rasporedu:



PREDNAPETI BETON



– Sljedeće predavanje –
PREDNAPETE PLOČE