

PREDNAPETI BETON



– 13 –

PREDNAPETE PLOČE

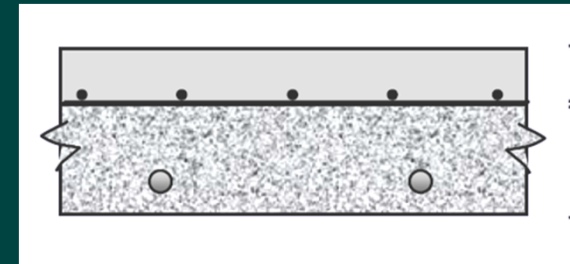
UVODNO

□ Primjenjuju se:

- predgotovljene ploče koje se prethodno napinju, a koriste se i kod spregnutih presjeka kako bi se uštedilo na oplati i vremenu izvedbe i kontroli kvalitete,
- monolitne ploče koje se naknadno prednapinju, često se upotrebljavaju kod uredskih i trgovačkih zgrada te garaža gdje su poželjni veliki prostori bez stupova.

□ Ploče se prednapinju kako bi :

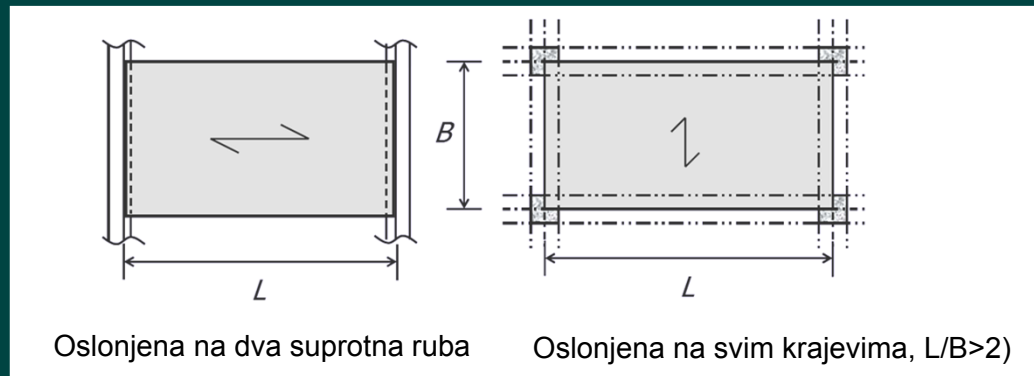
- se povećao odnos raspona i debljine
- se smanjila vlastita težina
- presjeci ostali neraspucani pod uporabnim opterećenjem – povećanje trajnosti
- postigli veću prilagodljivost kasnim promjenama u projektu



UVODNO

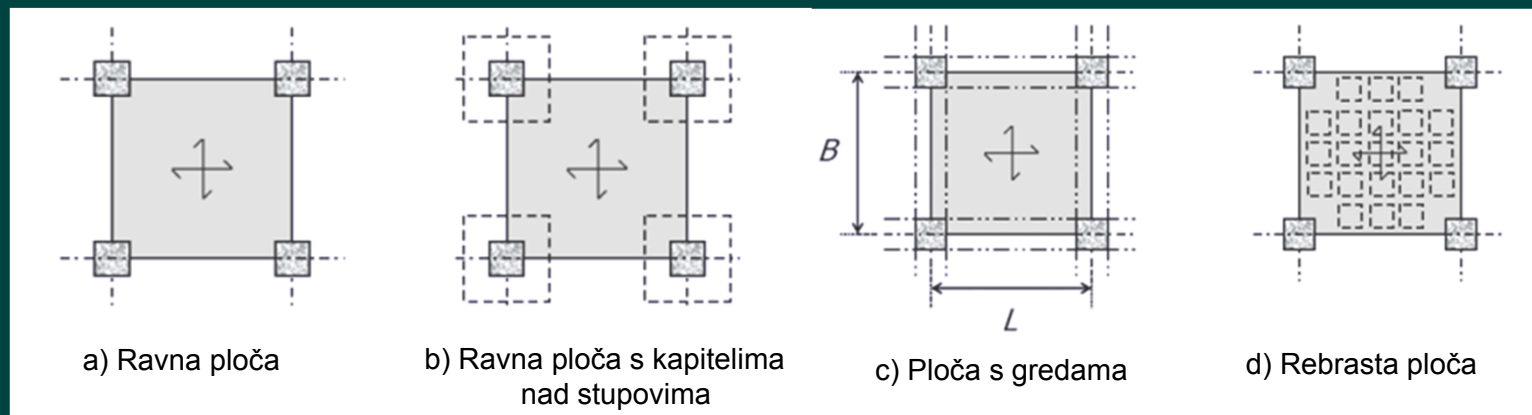
□ Ploče nosive u jednom smjeru:

- $L/B > 2$



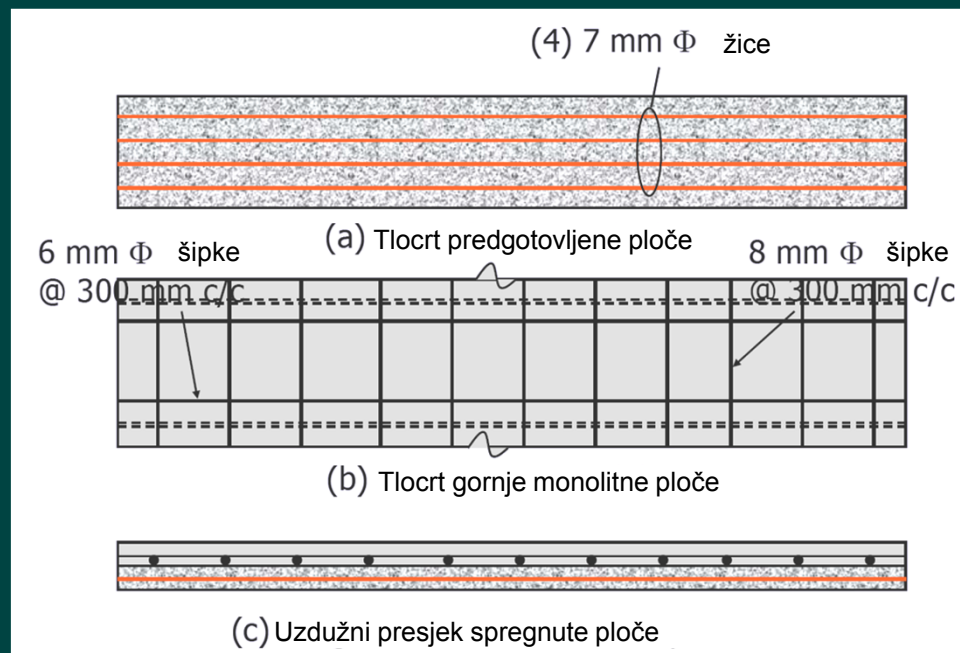
□ Ploče nosive u dva smjera:

- $L/B < 2$



PLOČE NOSIVE U JEDNOM SMJERU PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE

- Proračunavaju se slično kao i grede sa širinom jednakom širini predgotovljene ploče odnosno na metar širine ploče.
- Udaljnost rubova jezgre od osi presjeka mogu se uzeti za pravokutne ploče $k_b = k_t = h/6$
- Proračun na posmik također se može provesti kao za gredu jedinične širine.
- Posmična armatura postavlja se u ploče najmanje debljine 20 cm.
- Poprečna armatura okomito na glavni smjer iznosi najmanje 20 % glavne armature.

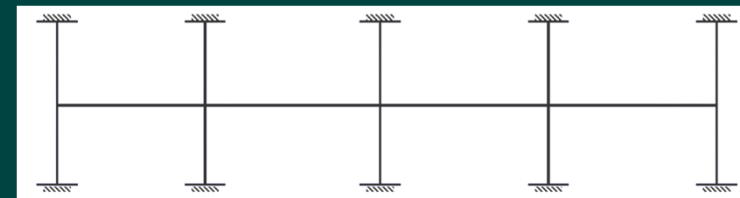
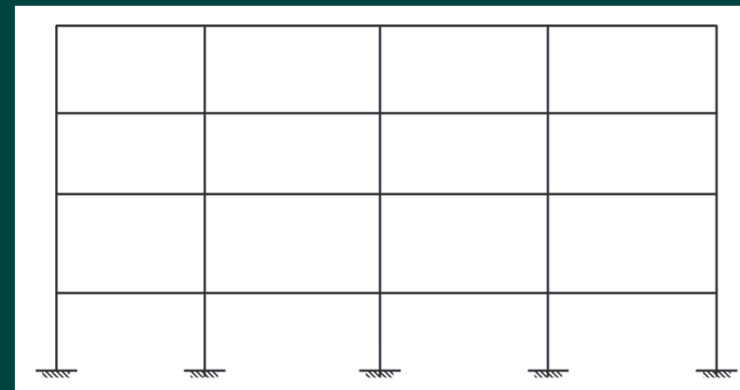
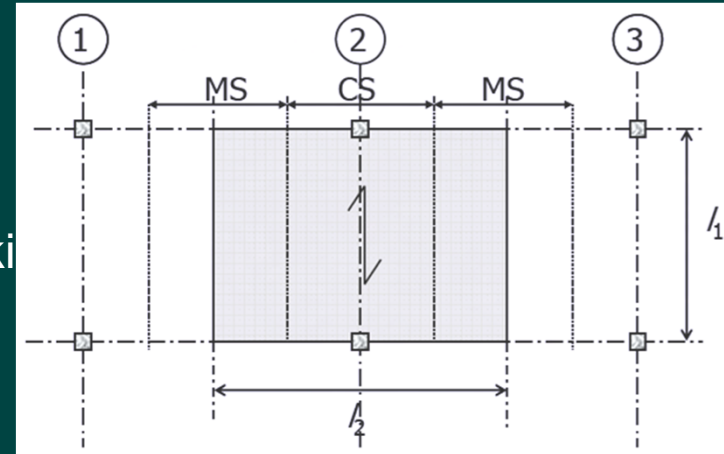


Primjer armiranja jedne spregnute ploče

PLOČE NOSIVE U DVA SMJERA

METODA EKVIVALENTNOG OKVIRA

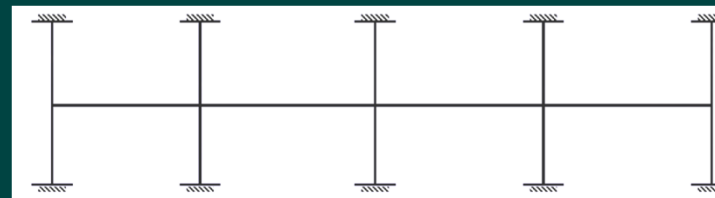
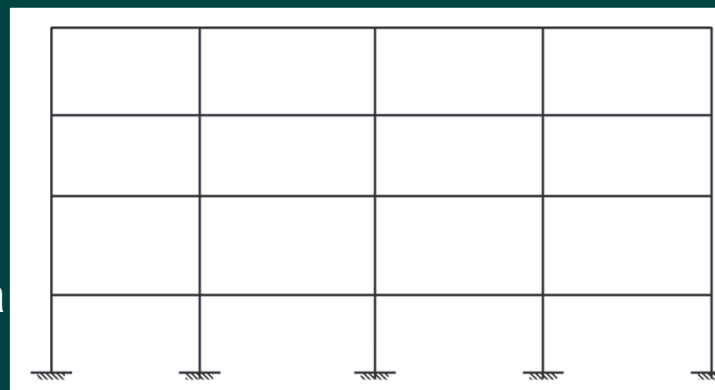
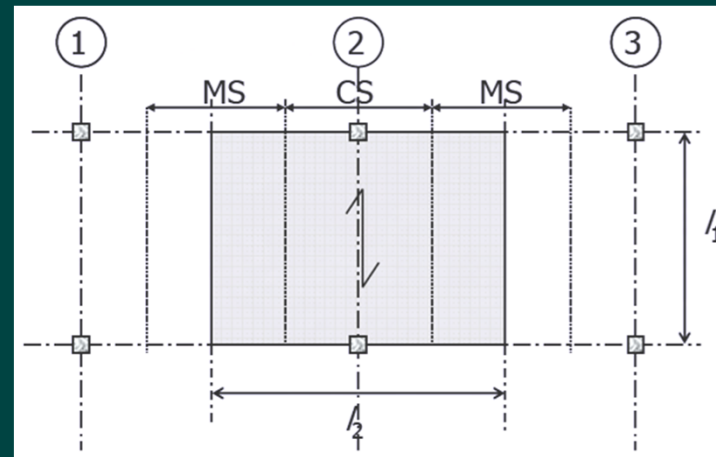
- ... Preporučuje se za proračun prednapetih ravnih ploča nosivih u dva smjera.
- Ploča se zamjenjuje sa sustavom okvira za svaki pojedini smjer.
- Ekvivalentni okvir duž spojnice stupova je dio zgrade omeđen središnjim linijama susjednih raspona.
- Širina ekvivalentnog okvira (l_2) sastoji se od
 - trake stupa (column strip CS) i
 - polovice dviju središnjih traka (middle strip MS)



PLOČE NOSIVE U DVA SMJERA

METODA EKVIVALENTNOG OKVIRA

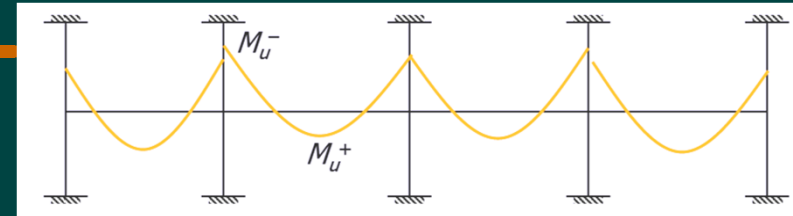
- Proračun se provodi za svaki ekvivalentni okvir koji se sastoji od
 - plošno-grednih elemenata i
 - ekvivalentnih stupova
- Ekvivalentni okvir proračunava se za
 - vertikalna opterećenja i po potrebi bočno opterećenje
 - računalom ili pojednostavnjenim ručnim proračunom.
- Negativni i pozitivni momenti u kritičnim presjecima plošno-grednih elemenata se raspodjeljuju u poprečnom smjeru – momenti za jediničnu širinu ploče.
- Ako se razmatraju samo vertikalna opterećenja, svaki kat se može promatrati posebno uz pretpostavku upetosti stupova na krajevima.



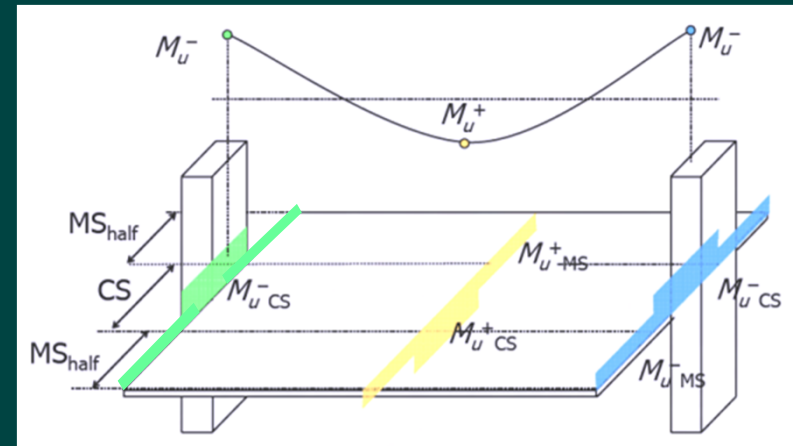
METODA EKVIVALENTNOG OKVIRA

KORACI PRORAČUNA

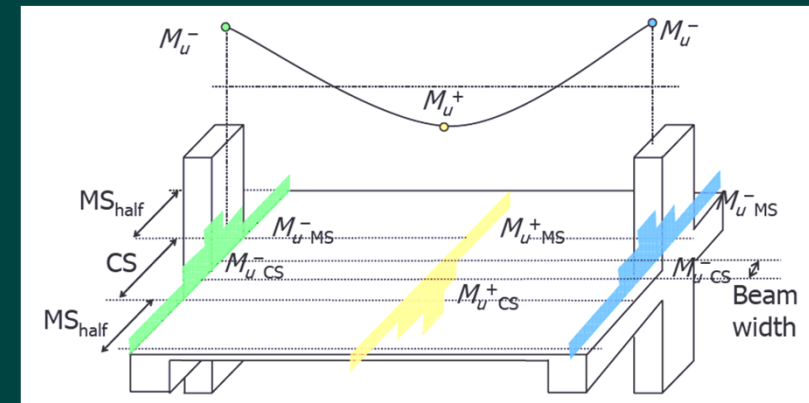
- 1 Odrediti proračunski negativni $M_u^- = M_{Sd}^-$ i pozitivni moment savijanja $M_u^+ = M_{Sd}^+$ u kritičnim presjecima plošno-grednog elementa na temelju proračuna ekvivalentnog okvira
- 2 Raspodijeliti M_u^- te M_u^+ na traku stupa i polovice središnjih traka obostrano.
- 3 Ako u spojnici stupova leži greda, raspodijeliti svaki od M_{u-CS}^- i M_{u-CS}^+ između grede i ostatka trake stupa.
- 4 Dodati momente M_{u-MS}^- i M_{u-MS}^+ za dva dijela središnjih traka od susjednih ekvivalentnih okvira.
- 5 Proračunati momente po jedinici širine trake stupa i srednje trake.



Tipični dijagram momenata savijanja usljed vertikalnog opterećenja



Raspodijela momenata na CS i MS



Raspodijela momenata na gredu, CS i MS

METODA EKVIVALENTNOG OKVIRA

SMJERNICE ZA MODELIRANJE I PRORAČUN

■ RASPODJELA MOMENATA SAVIJANJA NA TRAKE

- Raspodjela negativnog momenta $M_u^- = M_{Sd}^-$ na unutrašnjim ležajevima:

$$M_{u,CS}^- = 0.75 M_u^-$$

$$M_{u,MS}^- = 0.25 M_u^-$$

- Raspodjela negativnog momenta $M_u^- = M_{Sd}^-$ na vanjskim ležajevima:

- Ako je širina stupa ili zida manja od $\frac{3}{4} l_2$

$$M_{u,CS}^- = M_u^-$$

$$M_{u,MS}^- = 0.$$

- Ako je širina stupa ili zida veća od $\frac{3}{4} l_2$ moment se jednoliko raspodjeljuje po l_2

- Raspodjela pozitivnog momenta $M_u^+ = M_{Sd}^+$ na srednjem rasponu:

$$M_{u,CS}^+ = 0.60 M_u^+$$

$$M_{u,MS}^+ = 0.40 M_u^+$$

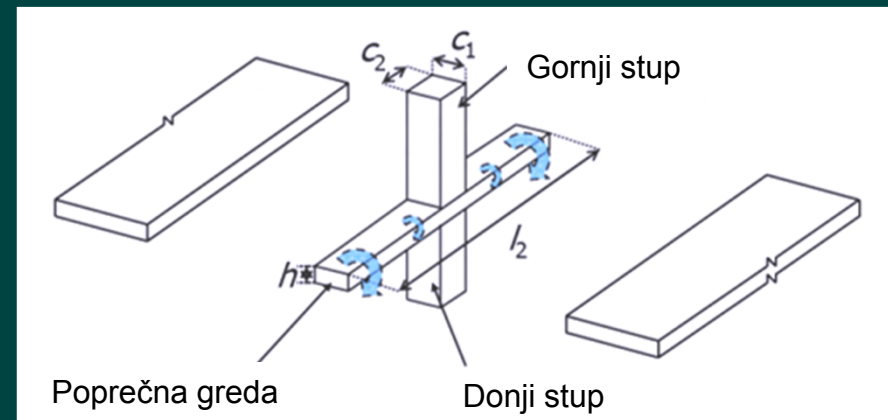
METODA EKVIVALENTNOG OKVIRA

SMJERNICE ZA MODELIRANJE I PRORAČUN

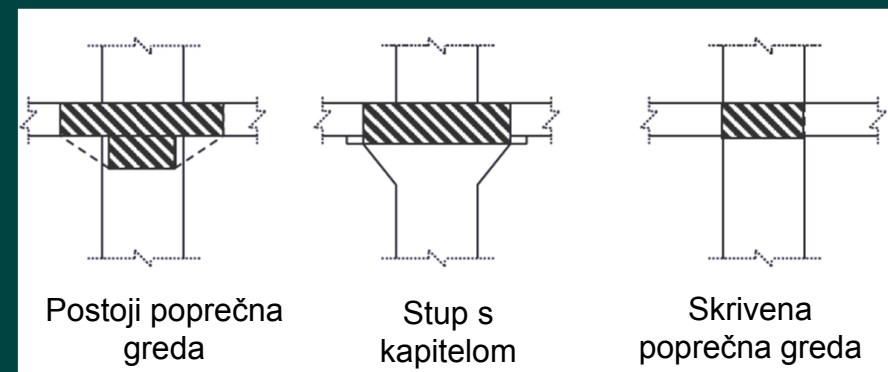
□ EKVIVALENTNI STUP

- Kako bi se uzela u obzir fleksibilnost poprečne grede pri zaokretanju ploče stvarni stup zamjenjuje se ekvivalentnim stupom.

- Dio ploče u središnjoj traci MS zaokreće se više od dijela u traci stupa CS zbog torzijske deformacije poprečne grede.



- Poprečna greda može biti skrivena u ploči, širine jednake širini stupa ili kapitela stupa. Mogući poprečni presjeci poprečne grede:



METODA EKVIVALENTNOG OKVIRA

SMJERNICE ZA MODELIRANJE I PRORAČUN

□ EKVIVALENTNI STUP

- Fleksibilnost ekvivalentnog stupa $1/K_{ec}$ jednaka je sumi

- fleksibilnosti stvarnog stupa $1/\Sigma K_c$ ($\Sigma K_c = K_{c, \text{bottom}} + K_{c, \text{upper}}$)
- fleksibilnosti poprečne grede $1/K_t$

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{\Sigma K_c} + \frac{1}{K_t}$$

- Približni izraz za krutost savijanja stupa K_c :

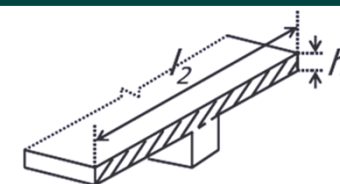
$$K_c = \frac{4E_c I_c}{L - 2h}$$

- Približni izraz za torzijsku krutost poprečne grede K_t :

$$K_t = \frac{9E_c C}{I_2 \left(1 - \frac{c_2}{I_2} \right)}$$

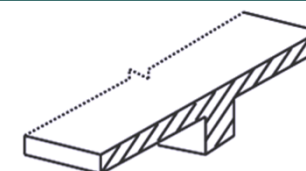
- E_c modul elastičnosti betona
- L duljina stupa
- h debljina ploče
- I_c moment inercije stupa
- C ekvivalentni polarni moment inercije poprečne grede, za pravokutni pop.presjek; x i y su manja i veća dimenzija poprečne grede
- c_2 dimenzija stupa u poprečnom smjeru
- I_2 širina ekvivalentnog okvira

$$C = \Sigma \left(1 - 0.63 \frac{x}{y} \right) \frac{x^3 y}{3}$$



- Ako u traci stupa postoji greda, K_t se zamjenjuje s $K_t (I_{sb}/I_s)$

- I_s moment inercije ploče bez dijela grede
- I_{sb} moment inercije grede T poprečnog presjeka



METODA EKVIVALENTNOG OKVIRA

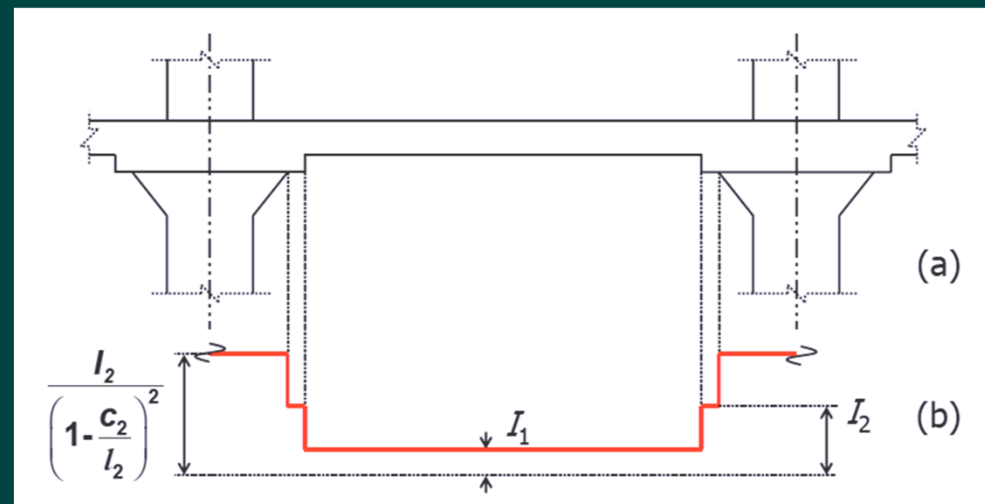
SMJERNICE ZA MODELIRANJE I PRORAČUN

□ PLOŠNO-GREDNI ELEMENT

□ Vrijednost momenta inercije (I)

- je konstantna (jednaka I_1) u dijelu između vanjskih strana stupova ili kapitela stupova ili spuštenih panela
- je konstantna (jednaka I_2) u području spuštenog panela
- varira u području između vanjske strane stupa ili kapitela i središnje linije stupa, ali se procjenjuje s konstantnom vrijednošću

$$\frac{I_2}{\left(1 - \frac{c_2}{l_2}\right)^2}$$



- c_2 dimenzija stupa u poprečnom smjeru
- l_2 širina ekvivalentnog okvira

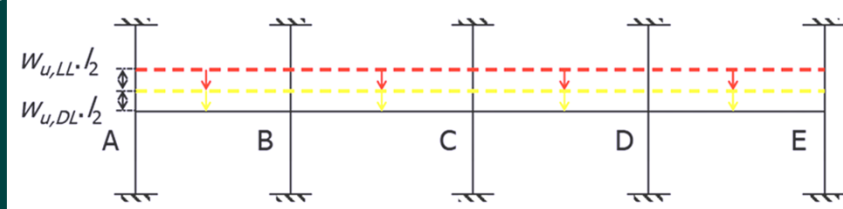
METODA EKVIVALENTNOG OKVIRA

SMJERNICE ZA MODELIRANJE I PRORAČUN

❑ RASPORED UPORABNOG OPTEREĆENJA

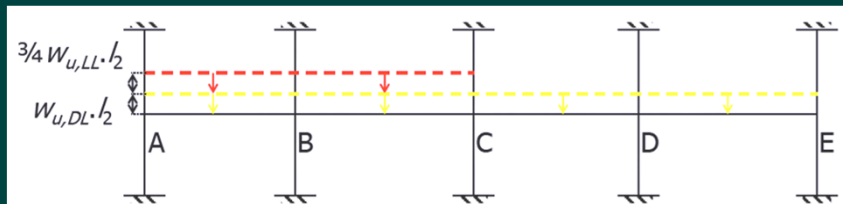
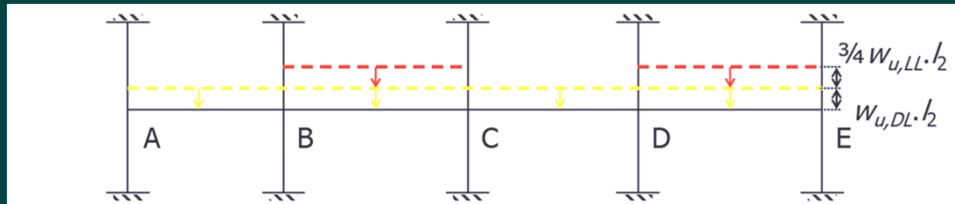
❑ Kada je uporabno opterećenje najviše jednako $\frac{3}{4}$ stalnog opterećenja

- uporabno opterećenje se primjenjuje jednoliko raspodijeljeno na sve raspone



❑ Kada je uporabno opterećenje veće od $\frac{3}{4}$ stalnog opterećenja,

- za maksimalni moment u polju, $\frac{3}{4}$ uporabnog opterećenja se primjenjuje u promatranom rasponu (B-C) i svakom drugom (D-E),
- za maksimalni moment uz ležaj, $\frac{3}{4}$ uporabnog opterećenja se primjenjuje na susjednim poljima



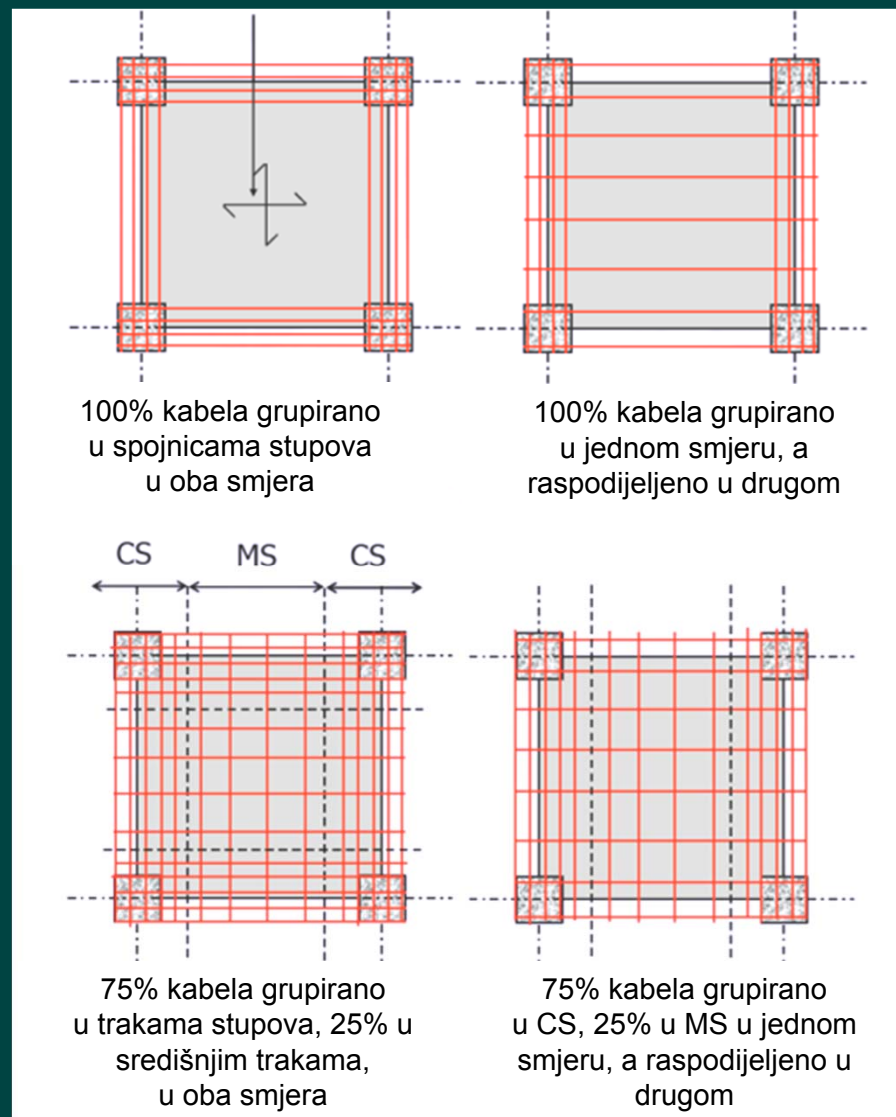
❑ Kritični presjek uz ležaj:

- Na unutrašnjem ležaju: na bočnoj strani stupa ili kapitela stupa, ali ne dalje od $0,175 l_1$ od osne linije stupa
- Na vanjskom ležaju: na udaljenosti jednakoj najviše pola projekcije kapitela stupa od vanjske strane stupa

METODA EKVIVALENTNOG OKVIRA

DIMENZIONIRANJE

- Kada su poznati jedinični momenti po širini trake stupa i središnje trake, dimenzioniranje se provodi kao za ploče nosive u jednom smjeru, obostrano.
- Vođenje kabela slično je onom kod kontinuiranih greda
- Nosivost na savijanje prednapete ploče postiže se razinom sile prednapinjanja i količinom čelika za prednapinjanje.
- Raspodjela natega utječe na uravnoteženje opterećenja.



METODA EKVIVALENTNOG OKVIRA DIMENZIONIRANJE

- Razmak kabela, odnosno grupa kabela ograničava se na 8h ili 1,5 m, mjerodavna manja vrijednost.
- U svakom smjeru valja predvidjeti minimalnu nenapetu armaturu zbog učinaka temperature i skupljanja.
Min.arm.prema EC2:

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d \geq 0,0013 b_t d$$

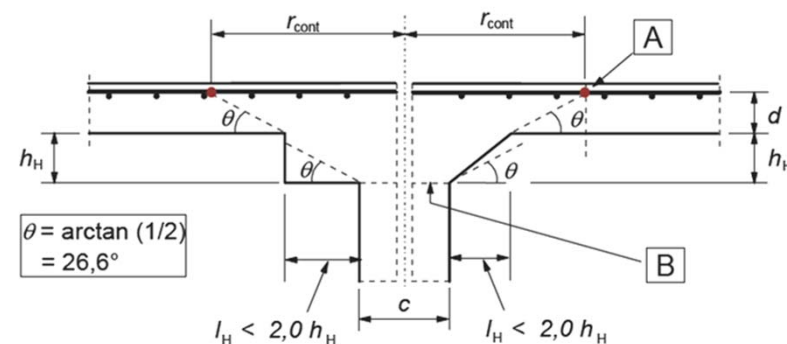
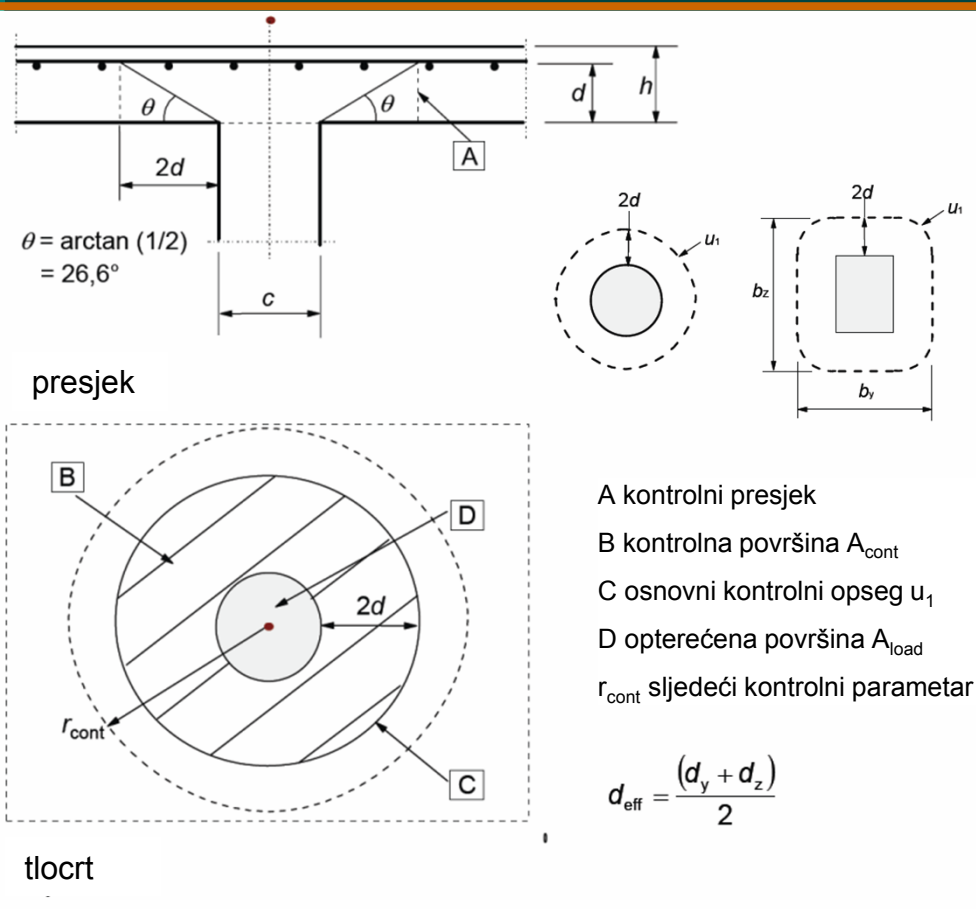
- b_t srednja vrijednost širine vlačnog područja
- Cijevi za pojedinačnu užad su ovalnog presjeka kako bi
 - se zadržao ekscentricitet,
 - smanjili gubitci od trenja i
 - prikladno mogla izvoditi križanja cijevi



METODA EKVIVALENTNOG OKVIRA

DIMENZIONIRANJE

- Najmanje dva kabela valja vući u oba smjera kroz kritičan presjek za proboj oko stupa.



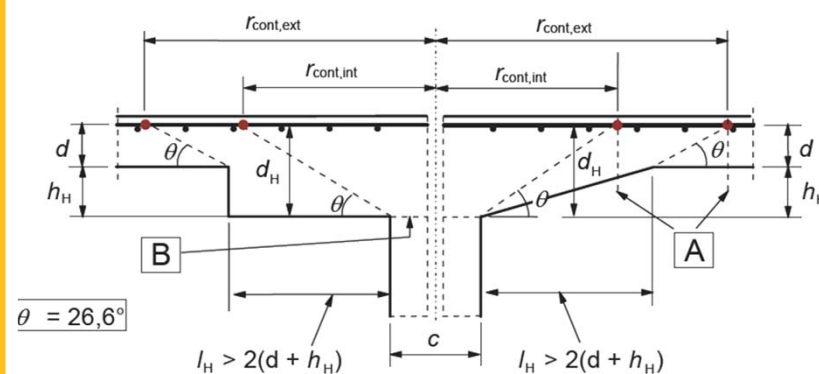
Kružni presjek stupa: $r_{\text{cont}} = 2d + I_H + 0,5c$

Pravokutni presjek, manja vrijednost mjerodavna:

$$r_{\text{cont}} = 2d + 0,56 \sqrt{l_1 l_2}$$

$$r_{\text{cont}} = 2d + 0,69 l_1$$

$$l_1 = c_1 + 2I_{H1}, l_2 = c_2 + 2I_{H2}, l_1 \leq l_2$$



Kružni presjek stupa: $r_{\text{cont,ext}} = I_H + 2d + 0,5c$

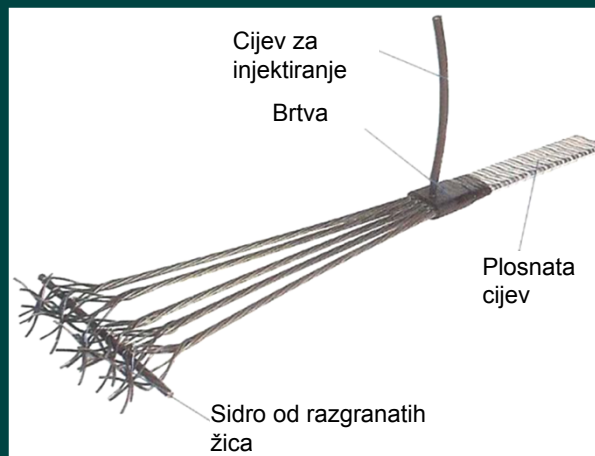
$$r_{\text{cont,int}} = 2(d + h_H) + 0,5c$$

SUSTAVI SIDRENJA KABELA KOD PLOČA

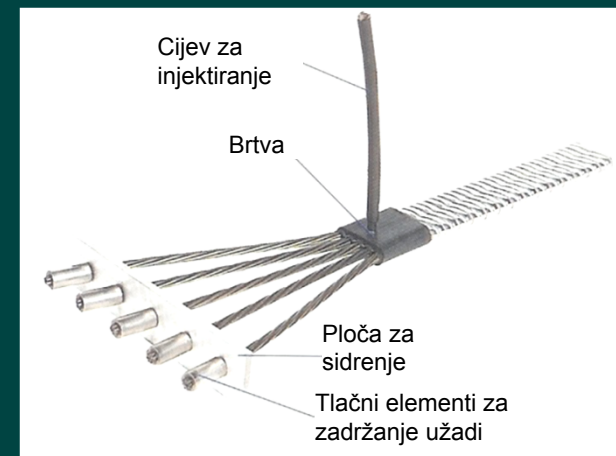
□ SIDRA:



Aktivno sidro na kojem se obavlja prednapinjanje



Pasivno sidro s razgranatim sidrenjem



Pasivno sidro s pločastim sidrenjem

SUSTAVI SIDRENJA KABELA KOD PLOČA



Armatura područja sidrenja na kraju koji se napinje



Napinjanje kabela



Armatura područja sidrenja na pasivnom kraju



Sidreni blok na aktivnom kraju

PREDNAPETI BETON

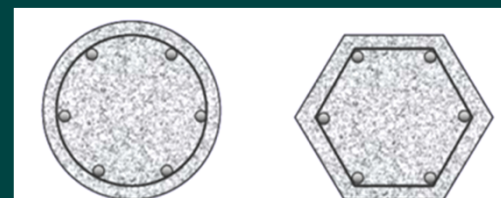
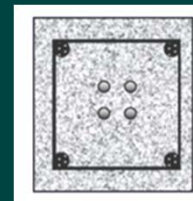


– 14 –

ELEMENTI U TLAKU

UVODNO

- Prednapinjanje ima smisla kod betonskih elemenata koji su od vanjskog djelovanja izloženi vlaku, jer njime unosimo tlak u presjek.
- Za elemente izložene tlaku, uz zanemarivo savijanje, prednapinjanje nije potrebno.
- Kada je element izložen tlaku uz velike momente savijanja koji se javljaju od bočnog opterećenja, prednapinjanje se primjenjuje kako bi se suprostavilo vlačnom naprezanju. Primjeri su:
 - piloti,
 - tornjevi,
 - vanjski stupovi okvirnih konstrukcija
- Kako bočna djelovanja od npr. potresa mogu djelovati u različitim smjerovima, armatura pilota i stupova izvodi se simetričnom. Tipični poprečni presjeci:
 - djelomično prednapeti stup
 - prednapeti kružni ili šesterokutni piloti



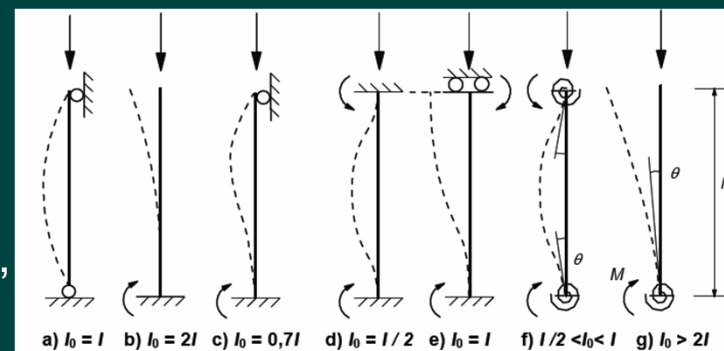
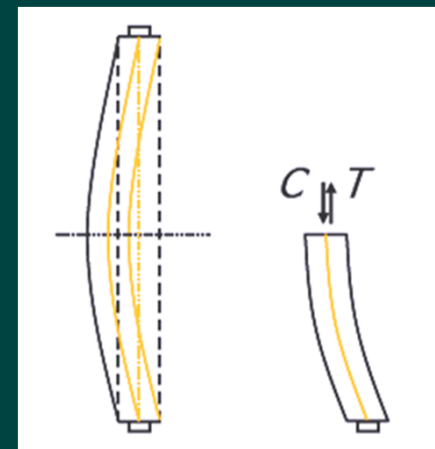
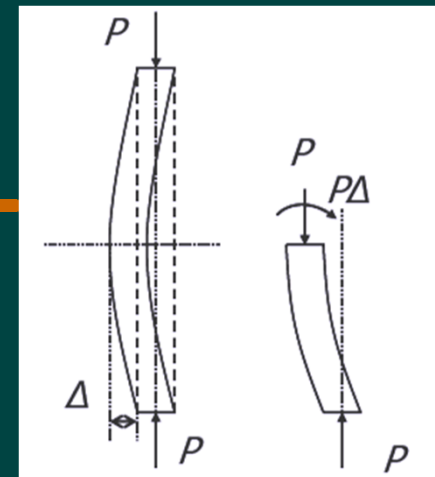
UVODNO

- Predgotovljeni prednapeti piloti imaju sljedeće prednosti:
 - Velika nosivost na savijanje i uzdužni vlak
 - Bolja kontrola kvalitete nego kod bušenih pilota
 - Presjeci ostaju neraspucali pod uporabnim opterećenjem – povećana trajnost
 - Upotreba betona visokih čvrstoća rezultira redukcijom presjeka.



UVODNO

- Vanjsko tlačno naprezanje P izaziva dodatni moment usljed deformacije nenapetog elementa. Na pola visine $M=P\Delta$. Ako ova deformacija nije stabilna, događa se izvijanje elementa.
- Kada je element prednapet, ne javlja se moment usljed deformacije elementa i sile prednapinjanja, jer su tlak u betonu C i vlak u kabelima T uravnoteženi.
- Kada je dodatni moment od deformacije elementa zanemariv element se smatra kratkim.
- Kada je odnos efektivne duljine l_0 i polumjera tromosti i veći od granične vitkosti (EN 1992-1-1, 5.8.3), riječ je o vitkom elementu i valja promatrati dodatni moment koji se računa približnim izrazima ili uz primjenu teorije II. reda



$$\lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C / \sqrt{n}$$

TEORIJA PRORAČUNA

□ PRIJENOS NAPREZANJA

■ Naprezanje u betonu

- P_0 prednapinjanje pri prijenosu nakon kratkotrajnih gubitaka

$$f_c = \frac{P_0}{A}$$

□ RAZINA UPORABLJIVOSTI

■ Rubna naprezanja

- P_e djelotvorna sila prednapinjanja
- A_t površina transformiranog presjeka

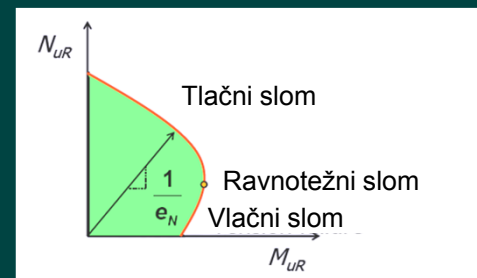
$$A_t = A_c + (E_s / E_c) A_s + (E_p / E_c) A_p$$

- c udaljenost od ruba do težišta betonskog presjeka

$$f_c = \frac{P_e}{A} + \frac{N}{A_t} \pm \frac{Mc}{I_t}$$

□ GRANIČNA NOSIVOST

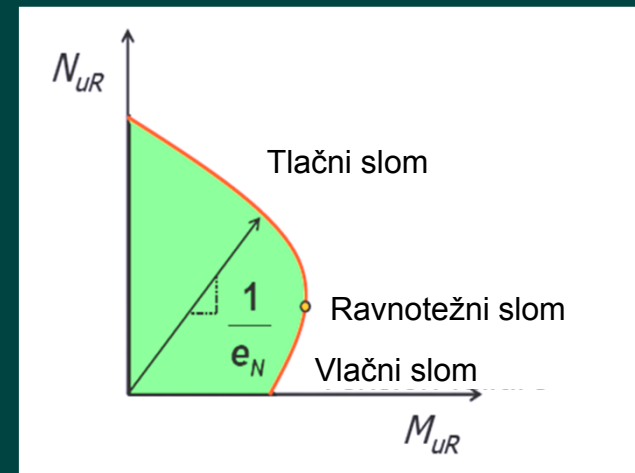
- Primjena dijagrama interakcije
- Svaka kombinacija N_{Sd} i M_{Sd} koja upadne unutar dijagrama je sigurna



TEORIJA PRORAČUNA

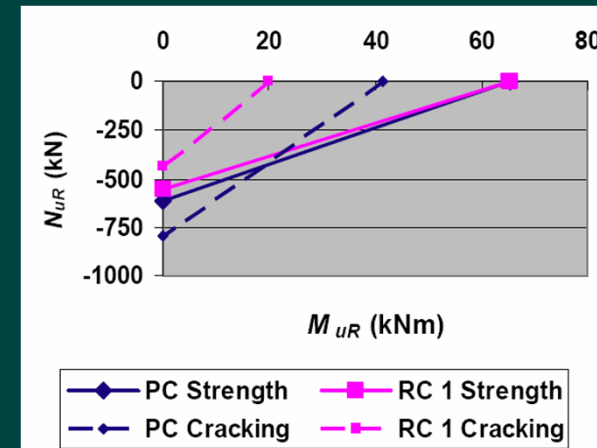
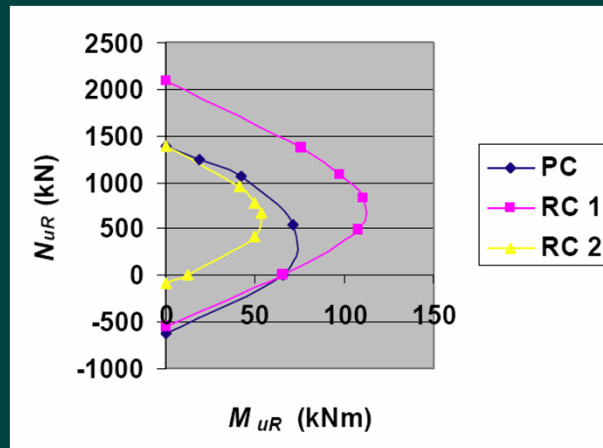
□ DIJAGRAMI INTERAKCIJE

- e_N je ekscentricitet sile N koji izaziva isti moment M
- Nagib radijalnog pravca je inverzna vrijednost ekscentriciteta
- **TLAČNI SLOM**
 - Za velike N u usporedbi s M , kada je e_N malen, beton u tlaku otkazat će prije nego će čelik na drugoj strani popustiti u vlaku
- **VLAČNI SLOM**
 - Za velike M u usporedbi s N , kada je e_N VELIK, beton u tlaku otkazat će nakon popuštanja čelika na drugoj strani u vlaku
- **RAVNOTEŽNI (BALANSNI) SLOM**
 - Slom betona i čelika događa se istovremeno.
 - Kod prednapetog elementa, kako čelik za prednapinjanje nema točno određenu granicu popuštanja, ne događa se ravnotežni slom.



TEORIJA PRORAČUNA

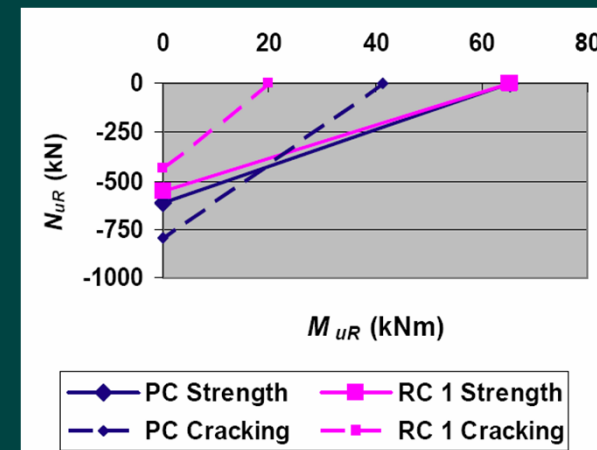
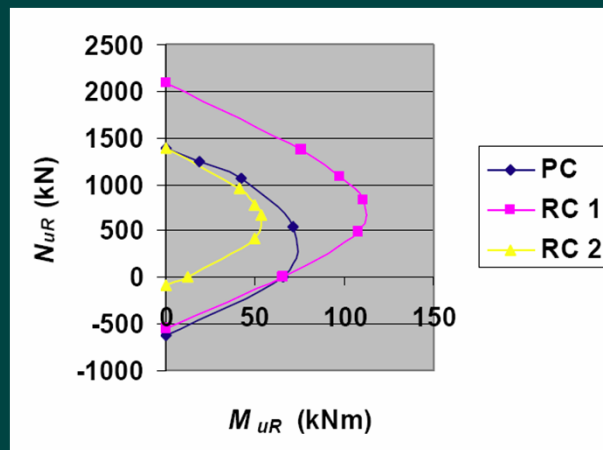
□ DIJAGRAMI INTERAKCIJE ZA ARMIRANE I PREDNAPETE PRESJEKE



- Presjek RC 1 ima istu nosivost na savijanje kao i prednapeti PC pri uzdužnoj sili $N=0$.
- Presjek RC 2 ima istu nosivost na uzdužnu silu kao i prednapeti PC pri momentu $M=0$.
- Bruto betonski poprečni presjek RC 1 je isti kao i PC, a presjek RC2 je manji.

TEORIJA PRORAČUNA

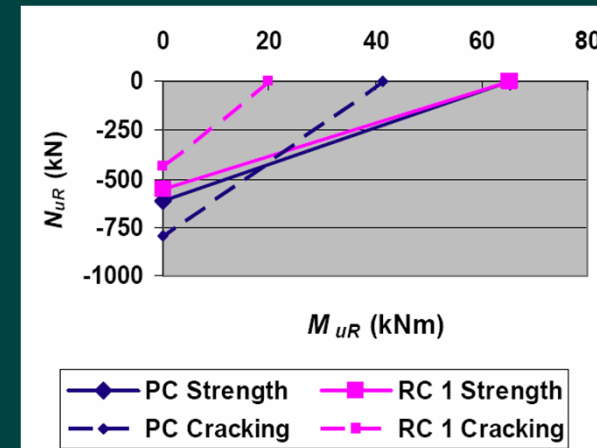
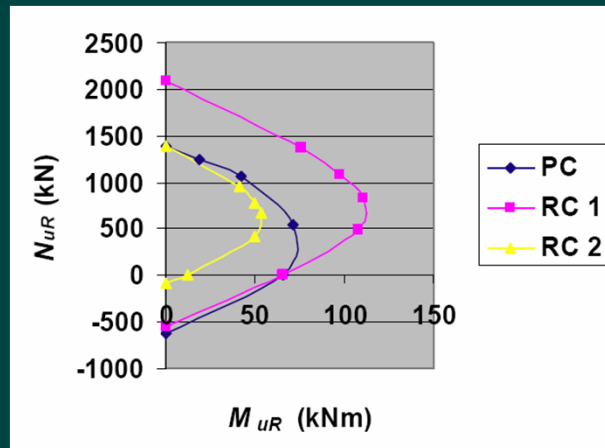
□ DIJAGRAMI INTERAKCIJE ZA ARMIRANE I PREDNAPETE PRESJEKE



- **Usporedbom krivulje PC i RC 2:**
 - ako je zahtijevani moment nosivosti malen, dovoljan je manji betonski presjek da preuzme uzdužnu silu. S povećanjem zahtijevanog momenta, nosivost na savijanje prednapetog elementa je veća.
- **Usporedbom krivulje PC i RC 1:**
 - Za dva presjeka s istom nosivosti na savijanje, nosivost na tlačne uzdužne sile prednapetog elementa je manja. Ipak u vlak, opterećenje koje odgovara raspucavanju je veće za PC nego za RC 1.

TEORIJA PRORAČUNA

□ DIJAGRAMI INTERAKCIJE ZA ARMIRANE I PREDNAPETE PRESJEKE



- Zaključujemo da je prednapinjanje poželjno kada imamo
 - Veliki moment uz tlačno naprezanje
 - Moment savijanja i vlačno naprezanje
- Ovo se događa u pilotima ili stupovima izloženim seizmičkim silama.
- Uz prisustvo vlaka, prednapinjanje je poželjno jer smanjuje raspucavanje.

PREDNAPETI BETON



– 15 –

KRUŽNO PREDNAPINJANJE

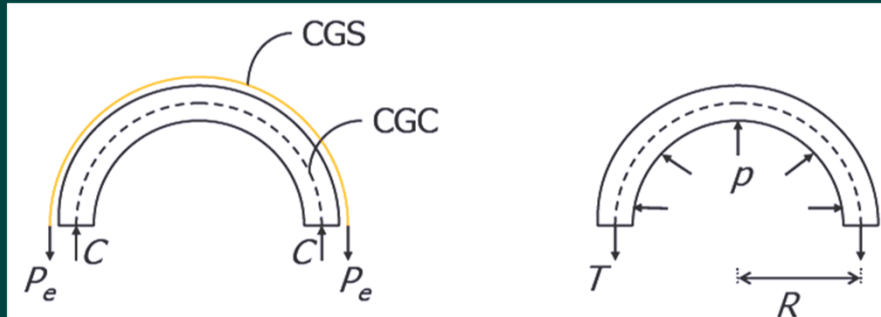
UVODNO O KRUŽNOM PREDNAPINJANJU

- Prednapeti elementi zakrivljeni su u smjeru prednapinjanja. Primjenjuje se za:

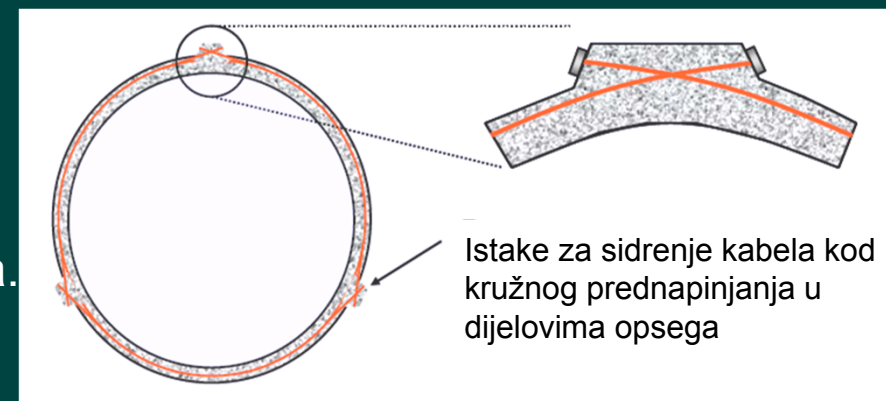
- silose,
- rezervoare,
- cijevi po obodu,
- kod kupola i ljuski

- Uz kružno prednapinjanje ovi elementi mogu biti prednapeti i uzdužno.

- Kruž.pred. odupire se prstenastom vlaku koje izaziva unutrašnji pritisak.
- Kabeli pa onda i težište prednapetog čelika (CGS) su izvan betonskog presjeka.
- Unutarnji pritisak smatra se jednolikim po debljini stijenke pa tlačna linija leži u težištu betonskog presjeka
- Postiže se žicama ili kabelima koji se postavljaju spiralno ili po djelovima opsega elementa – za sidrenje se onda koriste istake.

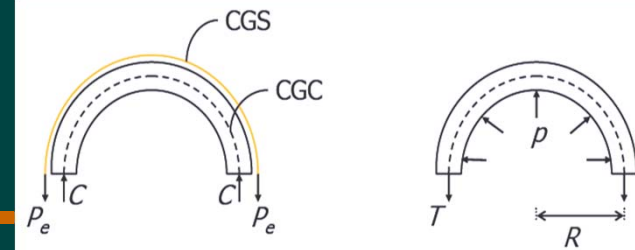


Unutarnje sile od prednapinjanja i od unutarnjeg pritiska



Istake za sidrenje kabela kod kružnog prednapinjanja u dijelovima opsega

TEORIJA PRORAČUNA



Unutarnje sile od prednapinjanja i od unutarnjeg pritiska

□ PRIJENOS NAPREZANJA

■ Naprezanje u betonu iz jednadžbe ravnoteže $C=P_0$

- P_0 prednapinjanje pri prijenosu nakon kratkotrajnih gubitaka
- A površina uzdužnog presjeka odsječka (odsječak jedinične duljine uzduž osi elementa)

$$f_c = -\frac{P_0}{A}$$

□ RAZINA UPORABLJIVOSTI

■ Iz jednadžbe ravnoteže polovice odsječka $T=p \cdot R$ rezultatno tlačno naprezanje u betonu:

- P_e djelotvorna sila prednapinjanja
- A_t površina transformiranog uzdužnog presjeka odječka

$$A_t = A_c + (E_s / E_c) A_s + (E_p / E_c) A_p$$

- Uz $P_e = p \cdot R$ i $A_t > A$, naprezanje f_c je uvijek negativno, odnosno beton je u tlaku

$$f_c = -\frac{P_e}{A} + \frac{pR}{A_t}$$

TEORIJA PRORAČUNA

FAZE PRORAČUNA

- Uz poznate vrijednosti unutarnjeg pritiska **p** i radijusa **R**, pretpostavlja se da prednapeti čelik sam nosi prstenasti vlak od unutarnjeg pritiska:

$$P_e = A_p \cdot f_{pe} = p \cdot R$$

- 1 Proračunati površinu prednapetog čelika iz:

$$A_p = pR / f_{pe}$$

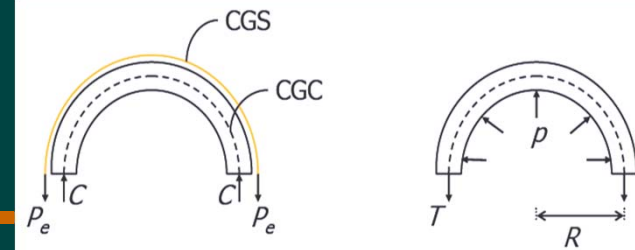
- 2 Proračunati prednapinjanje pri prijenosu uz pretpostavljenu vrijednost početnog naprezanja **f_{p0}** iz:

$$P_0 = A_p f_{p0}$$

- 3 Uz dozvoljeno tlačno naprezanje pri prijenosu **f_{cc,all}**, proračunati debljinu betonske stijenke iz:

$$A = P_0 / f_{cc,all}$$

- 4 Proračunati rezultatno naprezanje pod uporabnim uvjetima i provjeriti da je u granicama dozvoljenog za uporabu.



Unutarnje sile od prednapinjanja i od unutarnjeg pritiska

PREDNAPETE BETONSKE CIJEVI

- Primjenjuju se kada je unutarnji pritisak između $0,5 - 2,0 \text{ N/mm}^2$.
- Razlikuju se cijevi:
 - koje imaju čeličnu cilindričnu jezgru preko koje se lijeva beton i prednapinje
 - Koje se izvode samo od prednapetog betona.
- Proizvodnja:
 1. Prvenstveno se jezgra lijeva
 - centrifugalnom metodom:
oplata se vrti dok se beton zbija u jednoliku debljinu po dužini cijevi
 - ili metodom vertikalnog betoniranja:
beton se lijeva u slojevima do postizanja željene visine
 2. Uzdužne žice se prednapinju (moguće je i prethodno napinjanje).
 3. Kružno prednapinjanje obavlja se obavijanjem žice spiralno oko jezgre.
 4. Primjenjuje se obložni betonski sloj ili sloj morta preko žice koji ju štiti od korozije.



PREDNAPETE BETONSKE CIJEVI

NAPREZANJA U **UZDUŽNOM** SMJERU javljaju se usljed:

1. Uzdužnog prednapinjanja

- koje izaziva jednoliki tlak:

□ P_e djelotvorno prednapinjanje, A_{c1} površina betona u jezgri

$$f_{l1} = -\frac{P_e}{A_{c1}}$$

2. Kružnog prednapinjanja

- usljed Poissonovog učinka, izaziva uzdužni vlak

$$f_{l2} = 0.284 \times \frac{P_e}{A_c}$$

3. Vlastite težine

- ako cijev nije kontinuirano oslonjena, javljaju se različita uzdužna naprezanja

□ Z_l modul presjeka oko težišne osi

$$f_{l3} = \pm \frac{M_{sw}}{Z_l}$$

4. Transporta

- javljaju se različita uzdužna naprezanja

□ M_{th} moment od sila tijekom transporta, podizanja, spuštanja

$$f_{l4} = \pm \frac{M_{th}}{Z_l}$$

5. Težine tekućine

- Slično kao od vlastite težine

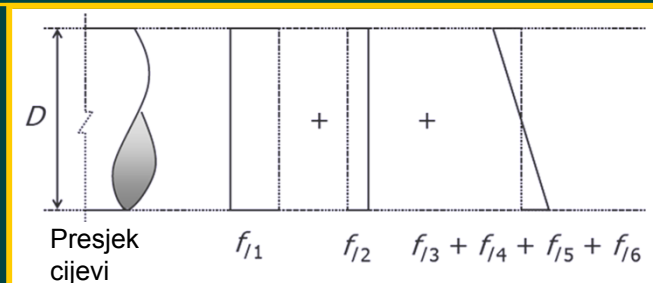
□ M_f moment od težine tekućine

$$f_{l5} = \pm \frac{M_f}{Z_l}$$

6. Težine tla iznad

- Kod zakopanih cijevi, modelira se kao ekvivalentno raspodijeljeno opterećenje, izraz sličan f_{l5}

Dijagrami naprezanja



PREDNAPETE BETONSKE CIJEVI

NAPREZANJA U **KRUŽNOM** SMJERU javljaju se usljed:

1. Kružnog prednapinjanja

- Tlačno prstenasto naprezanje iznosi

- P_s vlačna sila u spiralnoj žici u jediničnoj duljini cijevi
- A_{c2} površina uzdužnog presjeka jedinične dužine
- t_c debljina stijenke jezgre

$$f_{h1} = -\frac{P_s}{A_{c2}} = -\frac{P_s}{1 \times t_c}$$

2. Vlastite težine

3. Težine tekućine

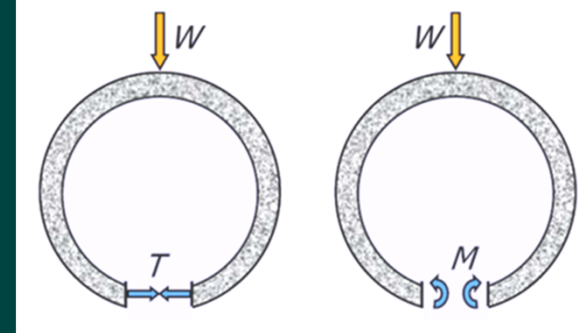
4. Težine tla

5. Korisnog opterećenja

- Za svako od ovih djelovanja, prvenstveno se proračunava vertikalno opterećenje po jedinici duljine **W**.
- Ono izaziva iskrivljenje presjeka pa se javljaju moment savijanja **M=C_M·W·R** i potisak **T=C_T·W** po debljini.
- Prstenasto naprezanje iznosi:

- **C_M** koeficijent momenta (može se pronaći u odgov.propisima)
- **C_T** koeficijent potiska (može se pronaći u odgov.propisima)
- **A** površina uzdužnog presjeka za jedničnu dužinu cijevi
- **Z_h** modul presjeka za prstenasto naprezanje za istu duljinu $= (1/6)t_2 \cdot 1000 \text{ mm}^3/\text{m}$
- **t** ukupna debljina jezgre i vanjskog sloja

$$f_h = \pm \frac{M}{Z_h} + \frac{T}{A}$$

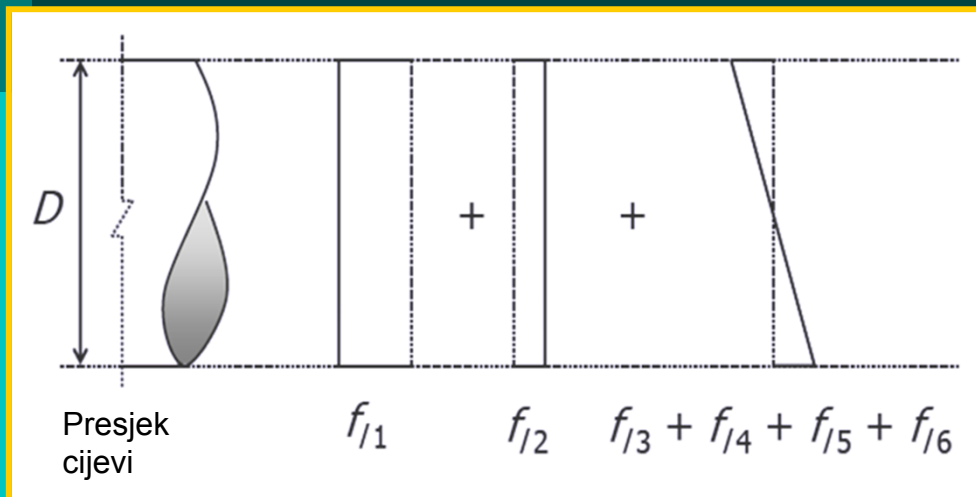


6. Unutarnjeg pritiska

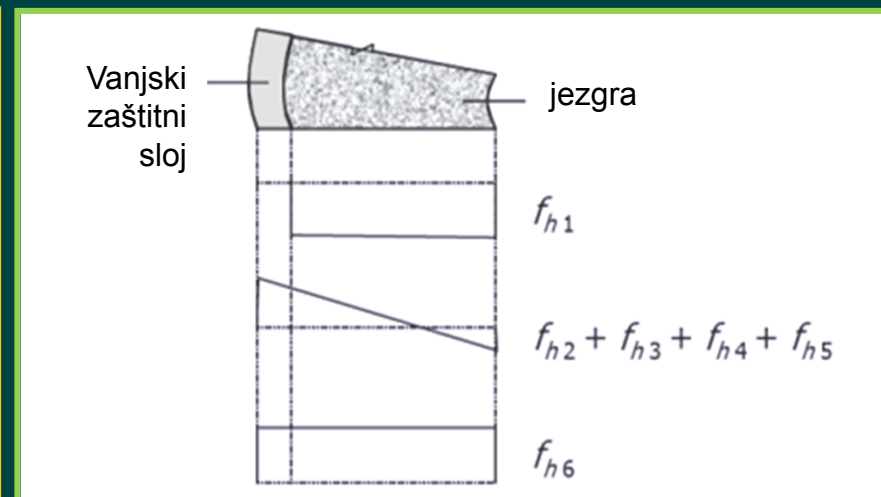
$$f_{h6} = \frac{pR}{A_t}$$

PREDNAPETE BETONSKE CIJEVI

NAPREZANJA



Uzdužna naprezanja – dijagrami naprezanja u poprečnom presjeku



Kružna naprezanja – dijagrami naprezanja po debljini stijenke cijevi

REZERVOARI

- Kod ovih je konstrukcija nepropusnost od iznimne važnosti.
 - ➔ stoga valja izbjeći raspucavanje betona
 - ➔ primjenjuje se prednapinjanje kako bi se izbjegao vlak u betonu.
- Prednapeti rezervoari ne zahtijevaju velike poslove pri održavanju
- a pokazali su se i otpornima na potresne sile.
- Izvedba:
 1. Betonska jezgra se lijeva i njeguje.
 2. Površina se priprema pjeskarenjem ili pod pritiskom vode.
 3. Primjenjuje se kružno prednapinjanje pomoću uređaja za obavljanje.
 4. Mlaznim betonom se radi obložni sloj.



REZERVOARI – TEORIJA PRORAČUNA

- Kod cilindričnog zida razmatraju se dvije vrste rubnih uvjeta :
 - Pri dnu:
 - upeta veza
 - kada se zid radi kontinuirano sa temeljem, u prvoj aproksimaciji presjek pri dnu se može smatrati upetim
 - zglobna veza
 - ako postoji mogućnost slijeganja, konzervativna je pretpostavka zglobna veza s temeljem. U stvarnosti otpornost veze temelja i zida je negdje između upete i zglobne veze.
 - Pri vrhu:
 - slobodan rub
 - Kad nema nikakvog zadržavanja širenja
 - zglobna veza
 - Kada je vrh zida spojen s gornjom krovnom pločom s moždanicima za prijenos posmika, može se smatrati zglobna veza
 - okvir
 - Kada se spoj gornjeg ruba zida i krovne ploče izvodi kontinuirano uz omogućen prijenos momenata savijanja, na vrhu zida se javlja okvirno djelovanje

REZERVOARI – TEORIJA PRORAČUNA

- Prstenasti vlak u zidu, koji se javlja usljed trokutasto rapoređenog hidrostatskog pritiska:

$$T = C_T w H R_i$$

- Moment savijanja u vertikalnom smjeru:

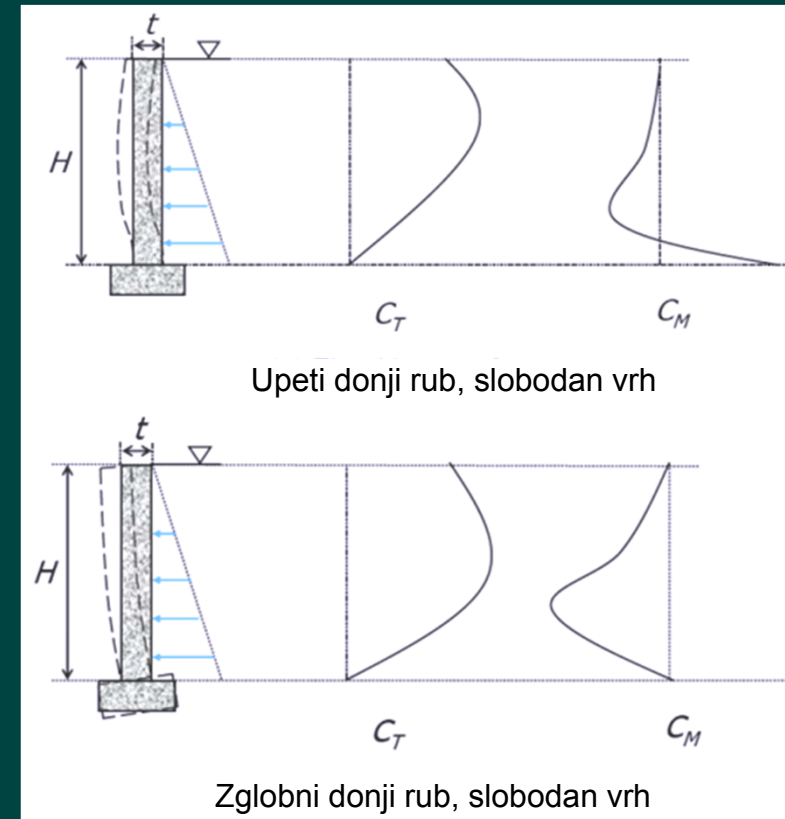
$$M = C_M w H^3$$

- Posmik pri temelju:

$$V = C_V w H^2$$

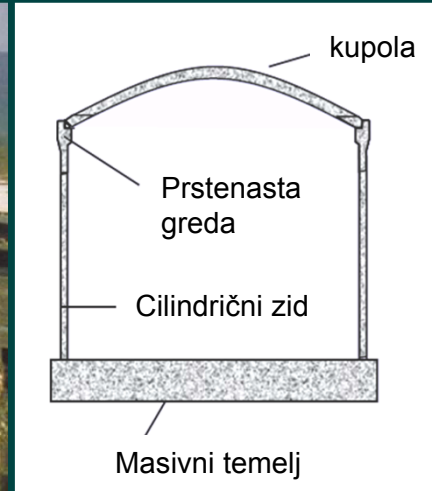
- Vrijednosti koeficijenata mogu se pronaći u propisima za različite odnose H^2/Dt , na različitim dubinama tekućine, primjer raspodjele

- C_T koeficijent prstenastog vlaka
- C_M koeficijent momenta savijanja
- C_V koeficijent posmika
- w jedinična težina tekućina
- H visina tekućine
- R_i unutar radijus zida
- D unutar promjer
- t debljina zida

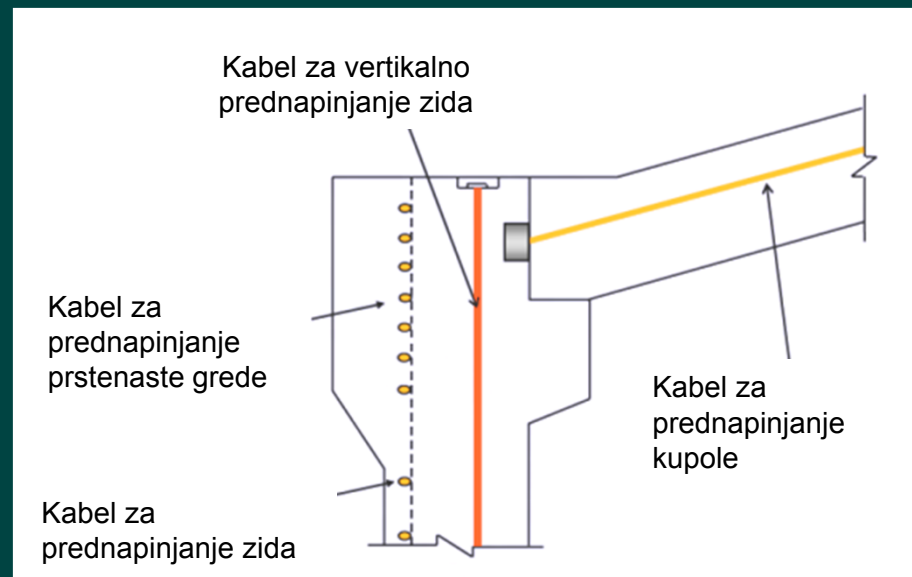


PRSTENASTE GREDE

- Podupiru kupole u
 - zgradama,
 - rezervoarima,
 - silosima,
 - nuklearnim spremnicima.



- Kružno prednapinjanje u kupoli primjenjuje se mrežom kabela.
- Cilindrični zid se prednapinje i kružno i vertikalno.
- Prstenasta greda se prednapinje kružno.



PRSTENASTE GREDE – TEORIJA PRORAČUNA

- Proračun se temelji na opterećenju simetričnom oko vertikalne osi.
- Kako kupola ne preuzima momente savijanja na rubu, rezultantna reakcija na prstenstu gredu je tangenta:

- Vertikalna reakcija **V** po jediničnoj duljini iznosi:

$$V = \frac{W}{2\pi R_d \sin\theta}$$

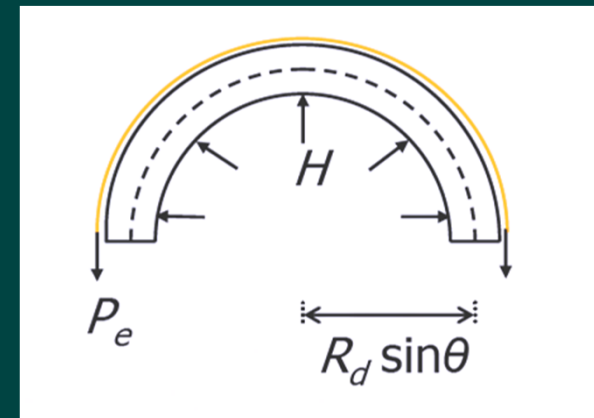
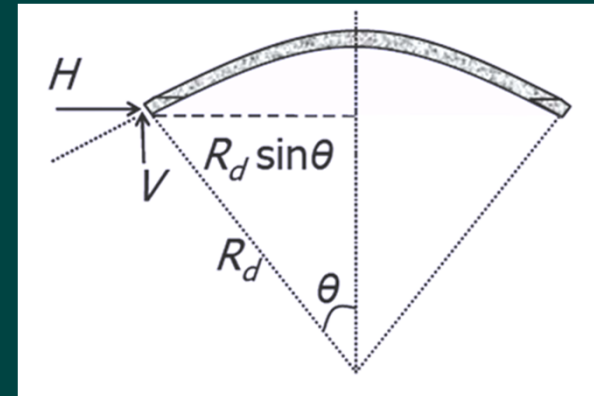
- Horizontalni potisak **H** po jediničnoj duljini iz uvjeta da je ukupna reakcija tangenta:

$$H = V \cot\theta \\ = \frac{W \cot\theta}{2\pi R_d \sin\theta}$$

- Potisku se opire djelotvorna sila prednapinjanja **P_e** u prstenu. Ova se sila određuje na temelju jednadžbe ravnoteže polovice prstenaste grede:

$$P_e = H R_d \sin\theta \\ = \frac{W \cot\theta}{2\pi}$$

- W** vertikalno opterećenje kupole
- R_d** radijus kupole
- θ** pola kuta spojnice krajeva kupole



PREDNAPETI BETON



– Sljedeće predavanje –
VANJSKO PREDNAPINJANJE