

SPECIJALNE INŽENJERSKE GRAĐEVINE 9. PREDAVANJE

Telekomunikacijske strukture

Proračun jarbola sa zategama
Rušenje jarbola sa zategama i tornjeva
Temeljenje

PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA SADRŽAJ PREDAVANJA (1.dio)

- Proračun jarbola sa zategama
 - Općenito
 - Teorija zatega
 - Teorija zatega na jarbolima
 - Jednadžba pomaka kraja zatege
 - Primjena na jarbole sa zategama
 - Jarboli sa zategama
 - Slučajevi opterećenja
 - Rezne sile
 - Odabir sile prednapinjanja
 - Prethodno dimenzioniranje
 - Dokaz naprezanja u poprečnom presjeku
 - Višedijelni presjeci
 - Ukrućenja (prsteni nosači) u jarbolu
 - Rješavanje detalja zatega

PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA OPĆENITO

- Jarboli sa zategama se primjenjuju u telekomunikacijskoj mreži
 - kao nosači više antena ili
 - kao samostalni odašiljači sa jednom antenom.
- Jarboli su u pravilu
 - rešetkaste čelične konstrukcije ili
 - čelični stup kružnog poprečnog presjeka.
- Ekonomski su isplativiji od tornjeva
 - za visine veće od 30 - 40 m.
- Dimenzije jarbola su znatno manje,
 - a time je manja i površina za djelovanje vjetra.
- Ovisno o visini jarbola, jarbol se u jednoj vertikalnoj ravni sidri pomoću
 - zatega u jednoj ili više točaka.



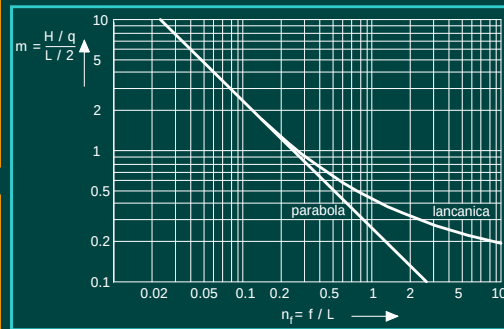
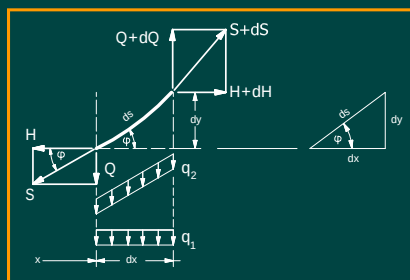
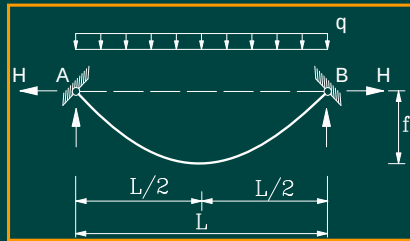
PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA OPĆENITO

- Torzija (uvijanje) jarbola oko vertikalne os najčešće se sprečava
 - postavljanjem dvije paralelne zatega na međusobnom razmaku jednakom promjeru jarbola, a ne sa jednom zategom.
- Statički sustav jarbola sa zategama je
 - kontinuirana greda sa elastičnim osloncima.
- Uslijed djelovanja vjetra, jarbol se deformira
 - pri čemu se pomiču i hvatišta zatega na jarbolu.
- Pomaci su uvjetovani sa
 - elastičnom deformacijom zatega i
 - promjenom geometrije provjesa zatega.
- Nelinearnost deformacija je izraženija,
 - što je manja početna sila prednapinjanja zatega
 - odnosno što je veći provjes zatega.
 - Stoga krutosti opruga na osloncima kontinuirane grede nisu konstantne vrijednosti već ovise o pomaku sidrišta.
- Problem je nelinearan
 - Stoga ne vrijedi princip superpozicije.



PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

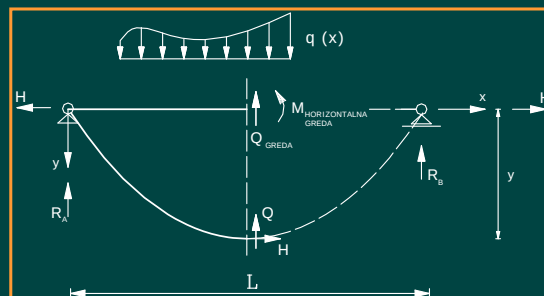
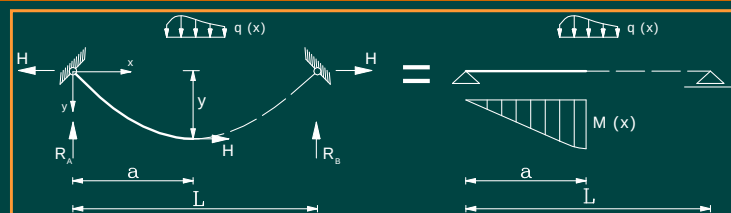
TEORIJA ZATEGA



Dijagram odnosa bezdimenzionalnih parametara lančanice i parabole

PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

TEORIJA ZATEGA



Analogija između zatege opterećene vertikalnim opterećenjem i proste grede opterećene jednakim vertikalnim opterećenjem

PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

TEORIJA ZATEGA

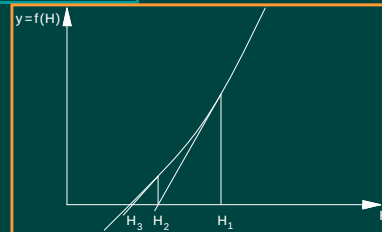
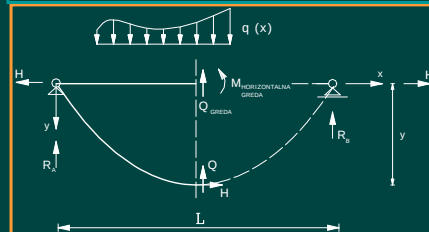
- Duljina kabla pod djelovanjem vertikalnih sila:

- s duljina kabla pod djelovanjem opterećenja
- s_0 duljina kabla u neopterećenom stanju
- Δs elastično produljenje kabla
- Δs_t produljenje kabla uslijed djelovanja temperature
- $EA = \infty$ odgovara pretpostavci da je zatega nedeformabilna

$$s = s_0 + \Delta s + \Delta s_t$$

$$H^3 \cdot \left[\frac{L}{E \cdot A} \right] + H^2 \cdot [s_0 \cdot (1 + \alpha_t \cdot \Delta t) - L] + H \cdot \left[\frac{1}{E \cdot A} \cdot \int_0^L Q^2 \cdot dx \right] = \frac{1}{2} \cdot \int_0^L Q^2 \cdot dx$$

$$E \cdot A = \infty \rightarrow H_1 = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} \cdot \int_0^L Q^2 \cdot dx}{s_0 \cdot (1 + \alpha_t \cdot \Delta t) - (L)}} = \sqrt{\frac{\int_0^L Q^2 \cdot dx}{2 \cdot [s_0 \cdot (1 + \alpha_t \cdot \Delta t) - L]}}$$



PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

TEORIJA ZATEGA NA JARBOLIMA

- Geometrijski oblik zatega je funkcija
 - sile prednapinjanja zatega i
 - vanjskog opterećenja.

- Točan geometrijski oblik zatega
 - pod djelovanjem vjetrova promjenjivog intenziteta po visini
 - je prostorna krivulja.

- Za proračun se usvajaju sljedeća pojednostavnjenja:

- Pritisak vjetra je konstantan po čitavoj duljini zatega $\Rightarrow$ Usvaja se srednja vrijednost pritiska vjetra.
- Umjesto koncentriranih sila na mjestu izolatora nanosi se zamjensko kontinuirano opterećenje; to se odnosi na njihovu
 - vlastitu težinu,
 - opterećenje leda i vjetra na izolatore.
- Opterećenje po jedinici duljine zatega zamjenjuje se opterećenjem na projekciju zatega na pravac koji spaja krajeve zatega. $\Rightarrow$ Time se stvarna linija zatega (lančanica) aproksimira parabolom.

- Na temelju pretpostavki opterećenje se rastavlja na:

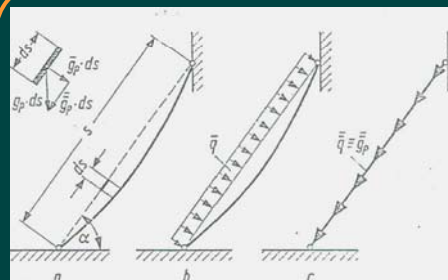
- djelovanja okomito na pravac koji spaja krajeve zatega (b)

$$\bar{g}_p = g_p \cdot \cos \alpha$$

- na opterećenje duž tog pravca (c)

$$\bar{g}_p = g_p \cdot \sin \alpha$$

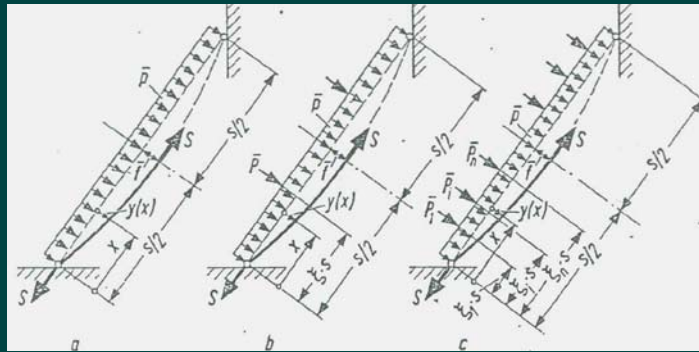
- Kut α je nagib između pravca koji spaja krajeve zatega i horizontale.



PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA TEORIJA ZATEGA NA JARBOLIMA

- U slučaju simetrično raspoređenih izolatora (simetr. opt. zatega na jarbolima):
 - najveći moment savijanja M na ekvivalentnoj gredi raspona L pojavljuje se u sredini raspona.
 - Proračun se pojednostavljuje uvođenjem zamjenskog kontinuiranog opterećenja $\bar{p}_{Ersatz}$
 - Izjednačavanjem momenta savijanja u sredini raspona slijedi:

$$\bar{p}_{Ersatz} \cdot \frac{s^2}{8} = \bar{p} \cdot \frac{s^2}{8} + s \cdot \sum_{i=1}^n \bar{P}_i \cdot \xi_i \rightarrow \bar{p}_{Ersatz} = \bar{p} + \frac{8}{s} \cdot \sum_{i=1}^n \bar{P}_i \cdot \xi_i$$

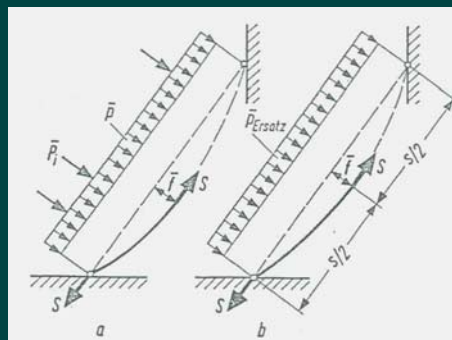


- **NAPOMENA:** Zamjensko opterećenje primjenjuje se na djelovanja okomita na pravac koji spaja krajeve zatega. Ne može se primijeniti na sile koje djeluju uzduž toga pravca.

PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA TEORIJA ZATEGA NA JARBOLIMA

- U slučaju nesimetričnog opterećenja
 - potrebno je na zamjenskoj prostoj gredi odrediti maksimalni moment savijanja M .
 - Ekvivalentno jednoliko kontinuirano opterećenje iznosi:

$$\bar{p}_{Ersatz} \cdot \frac{s^2}{8} = \max M \rightarrow \bar{p}_{Ersatz} = \bar{p} + \frac{8}{s^2} \cdot \max M$$



PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA JEDNADŽBA POMAKA KRAJA ZATEGA

- **Duljina zatega:** Zatega pod jednolikim kontinuiranim linijskim opterećenjem poprima oblik parabole duljine b , s udaljenošću s između krajeva zatega i s provjesom $\bar{f}$

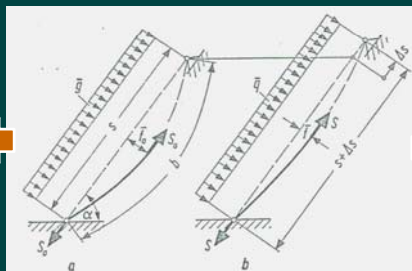
- **Duljina zatega b :**

$$b = \int_0^s \sqrt{1 + y'^2} \cdot dx = \int_0^s \left(1 + \frac{1}{2} \cdot y'^2 - \frac{1}{8} \cdot y'^4 + \dots \right) \cdot dx \cong \int_0^s \left(1 + \frac{1}{2} \cdot y'^2 \right) \cdot dx$$

- **Za parabolu:**

$$b \cong \int_0^s \left(1 + \frac{1}{2} \cdot y'^2 \right) \cdot dx \cong s \cdot \left[1 + \frac{8}{3} \cdot \left(\frac{\bar{f}}{s} \right)^2 \right]$$

Zatega pod djelovanjem
vlastite težine i
početne sile
prednapinjanja



Zatega pod djelovanjem
stalnog opterećenja,
početne sile prednapinjanja i
pritiska vjetra u uporabnom stanju

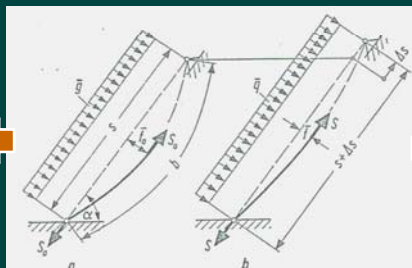
PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA JEDNADŽBA POMAKA KRAJA ZATEGA

- **Pomak vrha zatega** na spoju sa jarbolom u smjeru pravca koji spaja krajeve zatega dobiva se sumiranjem utjecaja:

$$\Delta s = \Delta s_s + \Delta s_t + \Delta s_f$$

- elastičnih deformacija zatega uslijed promjene opterećenja na zategu
- deformacije zatega uslijed promjene temperature
- pomak uslijed promjene provjesa

Zatega pod djelovanjem
vlastite težine i
početne sile
prednapinjanja



Zatega pod djelovanjem
stalnog opterećenja,
početne sile prednapinjanja i
pritiska vjetra u uporabnom stanju

PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA JEDNADŽBA POMAKA KRAJA ZATEGA

- Osnovno opterećenje na zategu je njezina vlastita težina i težina izolatora.

- Srednja vlačna sila u zatezi je S_0 .

➤ Provjes zatega pod stalnim opterećenjem:

$$\bar{f}_0 = \frac{\bar{g} \cdot s^2}{8 \cdot S_0}$$

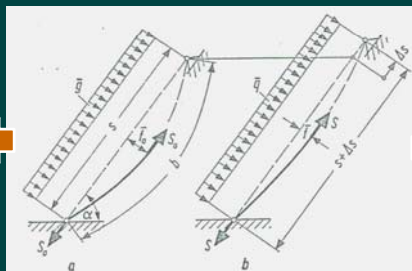
- U uporabnom stanju opterećenje (vjetra, led, snijeg) povećava udaljenost krajeva zatega smanjujući njezin provjes.

- Povećava se sila u zatezi na vrijednost S .

➤ Provjes zatega pod uporabnim opterećenjem:

$$\bar{f} = \frac{\bar{q} \cdot (s + \Delta s_f)^2}{8 \cdot S}$$

- $\bar{g}$ projekcija vlastite težine na pravac koji spaja krajeve zatega
- $\bar{q}$ projekcija uporabnog opterećenja na pravac koji spaja krajeve zatega



Zatega pod djelovanjem vlastite težine i početne sile prednapinjanja

Zatega pod djelovanjem stalnog opterećenja, početne sile prednapinjanja i pritiska vjetra u uporabnom stanju

PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA JEDNADŽBA POMAKA KRAJA ZATEGA

- Pojedinačni pomaci vrha zatega:

- Predpostavlja se da je zatega *nedeformabilna* $EA = \infty$ čime se obuhvaća utjecaj promjene provjesa. Duljina zatega nakon nanošenja opterećenja ostaje jednaka:

$$s \cdot \left[1 + \frac{8}{3} \cdot \left(\frac{\bar{f}_0}{s} \right)^2 \right] = (s + \Delta s_f) \cdot \left[1 + \frac{8}{3} \cdot \left(\frac{\bar{f}}{s + \Delta s_f} \right)^2 \right]$$

- Uvrštavanjem vrijednosti za provjese prije i nakon nanošenja dodatnog opterećenja, slijedi:

$$\Delta s_f = -\frac{\bar{q}^2}{24 \cdot S^2} \cdot \left[s^3 + 3 \cdot s^2 \cdot \Delta s_f + 3 \cdot s \cdot (\Delta s_f)^2 + (\Delta s_f)^3 \right] + \frac{\bar{g}^2}{24 \cdot S_0^2} \cdot s^3$$

- Zanemarivanjem veličina nižeg reda (ostaje samo s^3 dobivamo):

$$\Delta s_f \approx -\frac{s^3}{24} \cdot \left[\left(\frac{\bar{q}}{S} \right)^2 - \left(\frac{\bar{g}}{S_0} \right)^2 \right]$$

- Produljenje uslijed elastične deformacije zatega:

$$\Delta s_s = \frac{s}{E \cdot A} \cdot (S - S_0)$$

- Deformacija uslijed promjene temperature:

$$\Delta s_t = \alpha_{tS} \cdot (t_s - t_{s0}) \cdot s$$

- $(t_s - t_{s0})$ – promjena temperature
- α_{tS} – koeficijent toplinskog rastezanja zatega

PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA JEDNADŽBA POMAKA KRAJA ZATEGA

□ Pomak vrha zatega:

$$\Delta s = \Delta s_s + \Delta s_t + \Delta s_f \quad \Rightarrow \quad \Delta s_t = \alpha_{ts} \cdot (t_s - t_{s0}) \cdot s \quad \Delta s_s = \frac{s}{E \cdot A} \cdot (S - S_0) \quad \Delta s_f \approx -\frac{s^3}{24} \cdot \left[\left(\frac{\bar{q}}{S} \right)^2 - \left(\frac{\bar{g}}{S_0} \right)^2 \right]$$

- Ako umjesto sile promatramo naprezanja u zatezi pomak vrha zatega iznosi [m]:

$$\Delta s = -\frac{s^3}{24} \cdot \left[\left(\frac{\bar{\gamma}}{\sigma} \right)^2 - \left(\frac{\bar{\gamma}_g}{\sigma_0} \right)^2 \right] + \frac{s}{E_s} \cdot (\sigma - \sigma_0) + \alpha_{ts} \cdot (t_s - t_{s0}) \cdot s$$

- gdje je ukupno specifično opterećenje u fazi uporabe [kN/m³]:

$$\bar{\gamma} = \frac{\bar{q}}{F}$$

- a specifično opterećenje od vlastite težine [kN/m³]:

$$\bar{\gamma}_g = \frac{\bar{g}}{F} = \frac{g \cdot \cos \alpha}{F} = \gamma_g \cdot \cos \alpha$$

- $\sigma = S / F_s$ - srednje naprezanje u zatezi od uporabnog opterećenja (stalno + promjenljivo)
- $\sigma_0 = S / F_s$ - srednje naprezanje u zatezi od stalnog opterećenja

PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA JEDNADŽBA POMAKA KRAJA ZATEGA

□ Pomak vrha zatega:

- Pomak vrha zatega u vertikalnoj ravni opisan je varijablama u i v .

□ Horizontalni pomak vrha v:

$$v = -\frac{\Delta s}{\cos \alpha} + u \cdot \tan \alpha$$

- Uz vertikalni pomak:

$$u = u_M - \alpha_{tM} \cdot (t_M - t_{M0}) \cdot h$$

- $u \tan \alpha$ zanemarivo mala vrijednost:
- α_{tM} koeficijent toplinskog produljenja jarbola

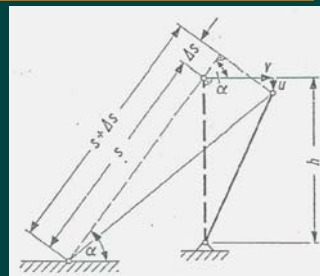
- Uvrštavanjem $\Delta s \rightarrow$

$$v = -\frac{s^3}{24 \cdot \cos \alpha} \cdot \left[\left(\frac{\bar{\gamma}}{\sigma} \right)^2 - \left(\frac{\bar{\gamma}_g}{\sigma_0} \right)^2 \right] + \frac{s}{E_s \cdot \cos \alpha} \cdot (\sigma - \sigma_0) + \frac{s}{\cos \alpha} \cdot \alpha_{ts} \cdot (t_s - t_{s0}) \cdot s + u \cdot \tan \alpha$$

- Definiranje varijabli za skraćeni zapis L [kN / m³] i M [m³ / kN]

$$L = \frac{s^3 \cdot \bar{\gamma}_g^2}{24 \cdot \cos \alpha} = \frac{s^3 \cdot \gamma_g^2 \cdot \cos \alpha}{24} \quad M = \frac{s}{E_s \cdot \cos \alpha}$$

$$\Rightarrow v = -\frac{L}{\sigma_0^2} + M \cdot \left[\sigma_0 - E_s \cdot \alpha_{ts} \cdot (t_s - t_{s0}) + E_s \cdot \alpha_{tM} \cdot (t_M - t_{M0}) \cdot \frac{h}{s} \cdot \sin \alpha \right] - u_M \cdot \tan \alpha$$



PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

PRIMJENA POMAKA NA JARBOLE SA ZATEGAMA

□ Pomak vrha zatege:

$$v = -\frac{L}{\sigma_0^2} + M \cdot \left[\sigma_0 - E_S \cdot \alpha_{IS} \cdot (t_S - t_{S0}) + E_S \cdot \alpha_{IM} \cdot (t_M - t_{M0}) \cdot \frac{h}{s} \cdot \sin \alpha \right] - u_M \cdot \tan \alpha$$

□ Jarboli sa snopom zatega jednake duljine sidrenim u istoj točki jarbola:

$$L = \frac{s^3 \cdot \gamma_g^2 \cdot \cos \alpha}{24}$$

$$M = \frac{s}{E_S \cdot \cos \alpha}$$

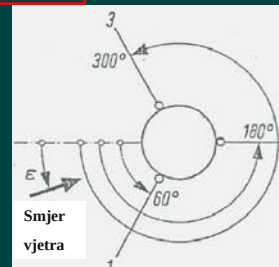
$$\gamma_g = \frac{g}{F_S}$$

$$\Rightarrow v = -\frac{L}{\sigma_0^2} + M \cdot \left[\sigma_0 - E_S \cdot \alpha_{IS} \cdot (t_S - t_{S0}) + E_S \cdot \alpha_{IM} \cdot (t_M - t_{M0}) \cdot \frac{h}{s} \cdot \sin \alpha \right]$$

□ Intenzitet vjetra definiran je kvocijentom:

$$\kappa = \frac{w_p}{g_p}$$

- w_p vjetar
- g_p vlastita težina + led



PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

JARBOLI SA ZATEGAMA: Slučajevi opterećenja

□ Slučaj opterećenja 1:

- $(\varepsilon = 0) : \sigma_1 = \sigma_3$

$$\sigma_1 = \frac{1}{3} \Delta \sigma + \frac{v_0}{M} + \frac{L}{3M} \left(\frac{2G_1}{\sigma_1^2} + \frac{G_2}{\sigma_2^2} \right)$$

$$\sigma_2 = -\frac{2}{3} \Delta \sigma + \frac{v_0}{M} + \frac{L}{3M} \left(\frac{2G_1}{\sigma_1^2} + \frac{G_2}{\sigma_2^2} \right)$$

$$\sigma_2^2 - \left(\frac{v_0}{M} - \frac{8}{3} \Delta \sigma \right) \sigma_1^2 - \left(\frac{2v_0}{M} - \frac{7}{3} \Delta \sigma \right) \Delta \sigma \sigma_1^2 - \left[\left(\frac{v_0}{M} - \frac{2}{3} \Delta \sigma \right) \Delta \sigma^2 + \frac{1}{3} (2G_1 + G_2) \frac{L}{M} \right] \sigma_1^2 - \frac{2}{3} \frac{L}{M} G_2 \Delta \sigma \sigma_2 - \frac{1}{3} \frac{L}{M} G_2 \Delta \sigma^2 = 0$$

- gdje je

$$G_1 = \left(\frac{\gamma}{\gamma_s} \right)_{1,3}^2 = \left(\frac{g_p}{g} \right)^2 \left[1 + \kappa \tan \alpha + \kappa^2 \left(\frac{3}{4} + \tan^2 \alpha \right) \right]$$

$$G_2 = \left(\frac{\gamma}{\gamma_s} \right)_{1,2}^2 = \left(\frac{g_p}{g} \right)^2 (1 - \kappa \tan \alpha)^2$$

$$2G_1 + G_2 = \left(\frac{g_p}{g} \right)^2 3 \left[1 + \kappa^2 \left(\frac{1}{2} + \tan^2 \alpha \right) \right]$$

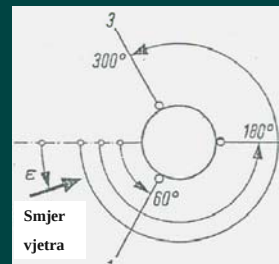
- Pomak u smjeru sile:

$$v = -v_2 = L G_2 \frac{1}{\sigma_2^2} - M \sigma_2 + v_0$$

- Poprečna sila i moment savijanja uslijed unosa sile snopa zatega usidrenih na jednoj razini jarbola:

$$V = (2\sigma_1 + \sigma_2) F_S \sin \alpha$$

$$M = -(\sigma_1 - \sigma_2) F_S r \sin \alpha$$



PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

JARBOLI SA ZATEGAMA: Slučajevi opterećenja

Slučaj opterećenja 2:

- ($\varepsilon = 60^\circ$) : $\sigma_2 = \sigma_3$

$$\sigma_1 = +\frac{2}{3} \Delta \sigma + \frac{v_0}{M} + \frac{L}{3M} \left(\frac{G_3}{\sigma_1^2} + \frac{2G_4}{\sigma_2^2} \right)$$

$$\sigma_2 = -\frac{1}{3} \Delta \sigma + \frac{v_0}{M} + \frac{L}{3M} \left(\frac{G_3}{\sigma_1^2} + \frac{2G_4}{\sigma_2^2} \right)$$

$$\sigma_2^4 - \left(\frac{v_0}{M} - \frac{7}{3} \Delta \sigma \right) \sigma_2^3 - \left(2 \frac{v_0}{M} - \frac{5}{3} \Delta \sigma \right) \Delta \sigma \sigma_2^2 - \left[\left(\frac{v_0}{M} - \frac{1}{3} \Delta \sigma \right) \Delta \sigma^2 + \frac{1}{3} (G_3 + 2G_4) \frac{L}{M} \right] \sigma_2^2 - \frac{4}{3} \frac{L}{M} G_4 \Delta \sigma \sigma_2 - \frac{2}{3} \frac{L}{M} G_4 \Delta \sigma^2 = 0$$

- gdje je

$$G_3 = \left(\frac{\bar{r}}{\bar{r}_1} \right)^2 = \left(\frac{g_p}{g} \right)^2 (1 + \kappa \tan \alpha)^2$$

$$G_4 = \left(\frac{\bar{r}}{\bar{r}_{2,3}} \right)^2 = \left(\frac{g_p}{g} \right)^2 \left[1 - \kappa \tan \alpha + \kappa^2 \left(\frac{3}{4} + \tan^2 \alpha \right) \right]$$

$$G_3 + 2G_4 = \left(\frac{g_p}{g} \right)^2 3 \left[1 + \kappa^2 \left(\frac{1}{2} + \tan^2 \alpha \right) \right]$$

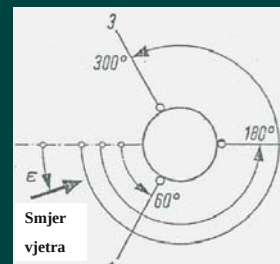
- Pomak u smjeru sile:

$$v = +v_1 = -L G_3 \frac{1}{\sigma_1^2} + M \sigma_1 - v_0$$

- Poprečna sila i moment savijanja uslijed unosa sile snopa zatega usidrenih na jednoj razini jarbola:

$$V = (\sigma_1 + 2\sigma_2) F_s \sin \alpha$$

$$M = -(\sigma_1 - \sigma_2) F_s r \sin \alpha$$



PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

JARBOLI SA ZATEGAMA: Rezne sile

Poprečna sila i moment savijanja uslijed unosa sile snopa zatega usidrenih na jednoj razini jarbola:

- Slučaj opterećenja 1:

$$V = (2\sigma_1 + \sigma_2) F_s \sin \alpha$$

$$M = -(\sigma_1 - \sigma_2) F_s r \sin \alpha$$

- Slučaj opterećenja 2:

$$V = (\sigma_1 + 2\sigma_2) F_s \sin \alpha$$

$$M = -(\sigma_1 - \sigma_2) F_s r \sin \alpha$$

Rezne sile na jربولu za slučajeve opterećenja 1 i 2:

- Vlastita težina i težina leda (g_p) :

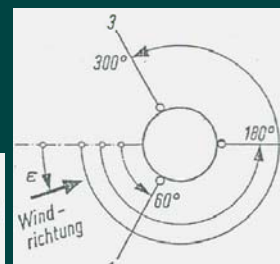
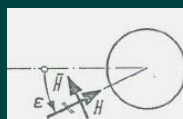
$$V = \frac{3}{2} g_p s, \quad H = \bar{H} = 0, \quad M = \bar{M} = 0$$

- Vjetar (w_p) :

$$H = \frac{3}{4} w_p s (1 + \sin^2 \alpha), \quad \bar{H} = 0$$

$$M = -\frac{3}{4} w_p e r \sin \alpha \cos \alpha, \quad \bar{M} = 0$$

$$V = 0$$



PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

JARBOLI SA ZATEGAMA: Odabir prednapinjanja

- Sila u zatezi:

$$S_0 \cong \frac{M}{f} = \frac{\bar{g} \cdot s^2}{8 \cdot f} = \frac{g \cdot s^2 \cdot \cos \alpha}{8 \cdot f}$$

- Odabrano prednapinjanje:

$$\sigma_0 = \gamma_g \cdot s \cdot \frac{\cos \alpha}{8} \cdot \frac{s}{f} = \gamma_g \cdot s \cdot \frac{\cos \alpha}{8} \cdot n$$

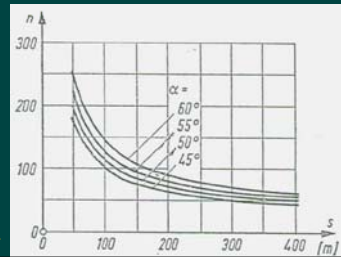
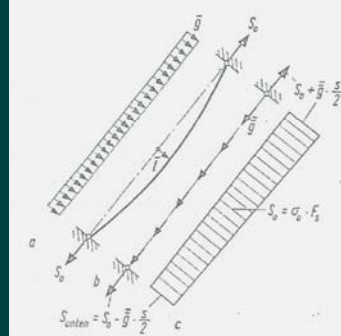
- n predstavlja omjer sekantne duljine zatege i provjesa

$$\frac{\bar{f}}{n} = \frac{s}{n}$$

- specifično opterećenje od vlastite težine

$$\gamma_g = \frac{g}{F_s}$$

Dijagram za određivanje koeficijenta n ovisno o udaljenosti hvatišta zatege i nagiba zatege prema horizontalnoj ravni



PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

JARBOLI SA ZATEGAMA: Prethodno dimenzioniranje

- Nakon određivanja mjerodavnog opterećenja vjetrom, jarbol se dimenzionira kao kontinuirana greda ($E \cdot I = \text{konstantno}$) sa osloncima na mjestima sidrenja zatega

- Tako odredimo reakciju H na mjestu oslonaca
- Dobivenu silu povećamo za 10 % čime se uzima u obzir djelovanje vjetra na zatege
- Povećanje sile provjerimo koristeći izraze:

$$\begin{aligned} H &= \frac{3}{4} w_p s (1 + \sin^2 \alpha), \quad \bar{H} = 0 \\ M &= -\frac{3}{4} w_p s^2 \sin \alpha \cos \alpha, \quad \bar{M} = 0 \\ V &= 0 \end{aligned}$$

- Odabir razine prednapinjanja:

$$\sigma_0 = \gamma_g \cdot s \cdot \frac{\cos \alpha}{8} \cdot \frac{s}{f} = \gamma_g \cdot s \cdot \frac{\cos \alpha}{8} \cdot n$$

- Određivanje površine poprečnog presjeka zatege:

- vlačna čvrstoća materijala zatege

$$\sigma_{LOM}$$

$$F_s = \frac{H}{\cos \alpha \cdot (0,35 \cdot \sigma_{LOM} - 0,50 \cdot \sigma_0)}$$

- Određivanje vertikalne sile na jarbol pojedine zatege pod djelovanjem stalnog opterećenja i vjetra:

$$V = 2 \cdot H \cdot \tan \alpha + 1,20 \cdot \sigma_0 \cdot F_s \cdot \sin \alpha$$

- Dimenzioniranje jarbola

- na momente savijanja M dobivene u točki a)
- i tlačne sile V dobivene prema d)

PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

JARBOLI SA ZATEGAMA: Sila prednapinjanja

- Ograničavajući horizontalni pomak točke spoja jarbola sa zategama, moguće je odrediti silu prednapinjanja

- Mjerodavan je slučaj opterećenja 1 ($\varepsilon = 0$) jer daje najveći pomak
- Zanemarivanjem umanjenja pomaka uslijed djelovanja vjetra na zatege, pretpostavljanjem da nema leda na zategama dobivamo:

$$\sigma_1 = \frac{H}{F_s \cos \alpha} + \sigma_2$$

$$-\frac{L}{M} \left(\frac{2}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2} \right) + (2\sigma_1 + \sigma_2) + 3 \frac{L}{M} \frac{1}{\sigma_0^2} - 3\sigma_0 = 0$$

- Dozvoljeni horizontalni pomak u smjeru djelovanja vjetra $v_1 = v / 2$

$$\frac{v}{2} = -L \frac{1}{\sigma_1^2} + M \sigma_1 + L \frac{1}{\sigma_0^2} - M \sigma_0$$

- Poznavajući H , F_s (prema a) i c)), v , L i M moguće je odrediti silu prednapinjanja zatega sa σ_0 .
- Preporučuje se približan proračun
- Naprezanja σ_1 u zatezi:

$$\sigma_1 \approx 1,15 \cdot \frac{H}{F_s \cdot \cos \alpha}$$

- Početno prednapinjanje zatega određuje se iz:

$$M \sigma_0^3 + \left(\frac{v}{2} - M \sigma_1 + \frac{L}{\sigma_1^2} \right) \sigma_0^2 - L = 0$$

PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

JARBOLI SA ZATEGAMA: Dokaz naprezanja

- Zatvoreni kružni poprečni presjek**

$$I = \pi r^3 t; W = \pi r^2 t; F = 2 \pi r t$$



- Kružni poprečni presjek sa otvorom za ulaz**

- Umanjenje geometrijskih karakteristika punog presjeka

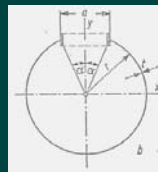
$$\Delta I_x = (\hat{\alpha} + \sin \alpha \cos \alpha) r^3 t$$

$$\Delta I_y = (\hat{\alpha} - \sin \alpha \cos \alpha) r^3 t$$

$$\Delta F = 2 \hat{\alpha} r t$$

$$\hat{\alpha} = \arcsin \frac{a}{2r}$$

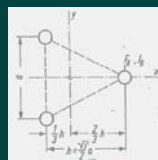
$$\sin \alpha \cos \alpha = \frac{a}{2r} \sqrt{1 - \left(\frac{a}{2r} \right)^2}$$



- Trodijelni poprečni presjek**

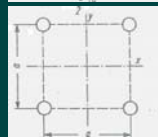
- F_R – površina poprečnog presjeka jedne cijevi

$$F = 3F_R; J = 3J_R + \frac{2}{3} F_R h^2 = 3J_R + \frac{1}{2} F_R a^2$$



- Četverodijelni poprečni presjek**

$$F = 4F_R; J = 4J_R + F_R a^2$$



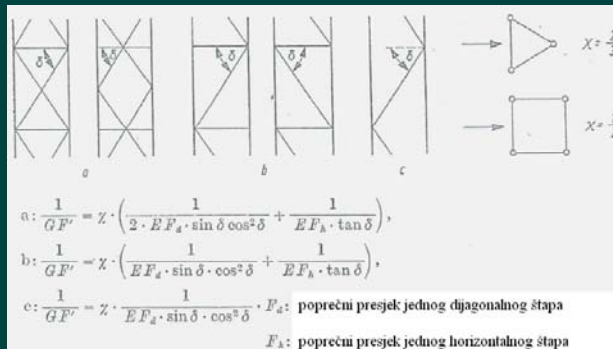
PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

JARBOLI SA ZATEGAMA: Višedijelni presjeci

- Kod višedijelnih presjeka
 - nije moguće zanemariti posmičnu deformaciju jarbola pod djelovanjem horizontalnih sila poprečno na uzdužnu os jarbola
 - stoga se reducira savojna krutost:

$$EJ_{\text{red}} = \frac{EJ}{1 + \frac{48}{5l^2} \frac{EJ}{GF'}}$$

- GF' – posmična krutost
- Duljina izvijanja pojedinih štapova jednaka je udaljenosti čvorova u rešetki



PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

JARBOLI SA ZATEGAMA: Višedijelni presjeci

- Uzdužne sile S u štapovima i poprečne sile Q u vertikalnim ravninama "zidova" jarbola (ravninama ravninskih rešetki jarbola)

I	II	IV	V
$S_1 = \frac{N}{3} + \frac{M}{2h}$	$S_1 = \frac{N}{3} + \frac{M}{h}$	$S_1 = \frac{N}{4} + \frac{M}{2a}$	$S_1 = \frac{N}{4} + \frac{M}{\sqrt{2}a}$
$S_2 = \frac{N}{3} - \frac{M}{h}$	$S_2 = \frac{N}{3} - \frac{M}{2h}$	$S_2 = \frac{N}{4} - \frac{M}{2a}$	$S_2 = \frac{N}{4} - \frac{M}{\sqrt{2}a}$
$Q_I = \frac{Q}{\sqrt{3}}$		$Q_I = \frac{Q}{2}$	$Q_I = \frac{Q}{2 \cdot \sqrt{2}}$

PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

JARBOLI SA ZATEGAMA: Ukrućenja u jarbolu

- U gornjoj točki hvatišta zatega za jarbol potrebno je ugraditi prstenasti nosač (ukrućenje) za prijenos koncentrirane sile u jarbol.

- Koncentrirana sila P unosi se u kružni prsten radijusa r posmičnom silom S

$$\max S = \frac{P}{\pi r}; \quad S(\varphi) = \max S \sin \varphi$$

- Definiranje unutarnjih sila M , Q , N u poprečnom presjeku prstenastog nosača

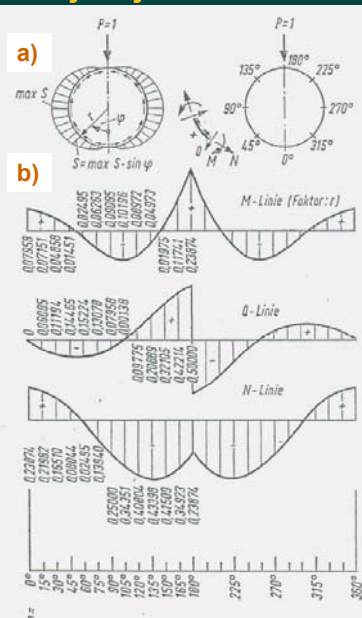
$$M = \frac{P r}{4 \pi} (2 - \cos \varphi - 2 \varphi \sin \varphi)$$

$$N = \frac{P}{4 \pi} (3 \cos \varphi - 2 \varphi \sin \varphi)$$

$$Q = -\frac{P}{4 \pi} (\sin \varphi + 2 \varphi \cos \varphi)$$

- a) Raspodjela posmične sile na prstenastom nosaču opterećenom jediničnom koncentriranom silom $P=1$

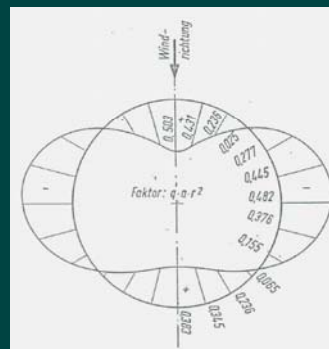
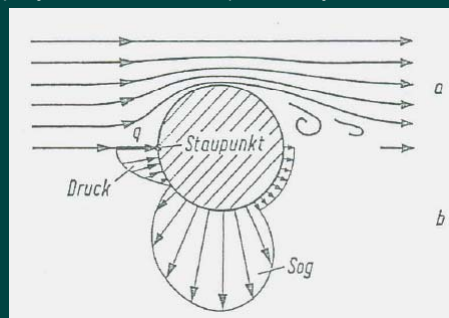
- b) Utjecajne linije za M , Q i N



PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

JARBOLI SA ZATEGAMA: Ukrućenja u jarbolu

- Raspodjela tlačnih i vlačnih pritisaka vjetra



- Maksimalni i minimalni momenti savijanja u prstenastom nosaču od djelovanja vjetra

$$\max M = 0,503 q a r^2; \quad N = +1,16 q a r$$

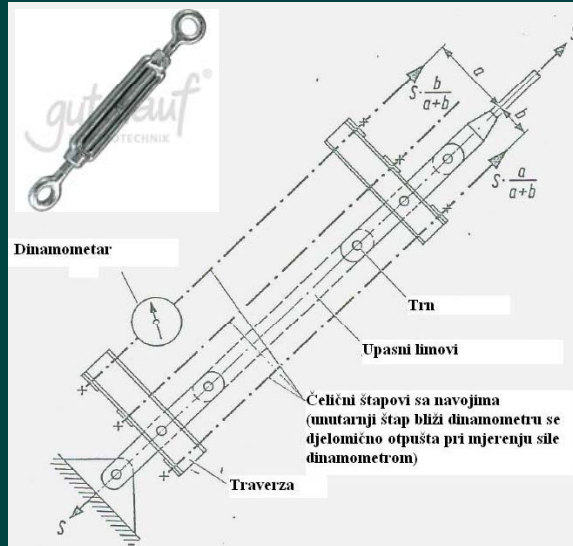
$$\min M = -0,482 q a r^2; \quad N = +0,31 q a r$$

- q – pritisak vjetra
- a – razmak prstenastih nosača po visini
- r – radijus prstena

PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

JARBOLI SA ZATEGAMA: Rješavanje detalja zatega

- Kod manjih jarbola se koriste prednapinjaljike



PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

JARBOLI SA ZATEGAMA: Rješavanje detalja zatega

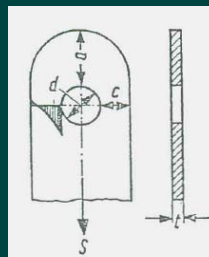
- Detalji pričvršćenja zatega:

- Potrebno je ugraditi vijak sa maticom koja mora imati osigurač za sprečavanje odvrtanja:

- Minimalne dimenzije limova:

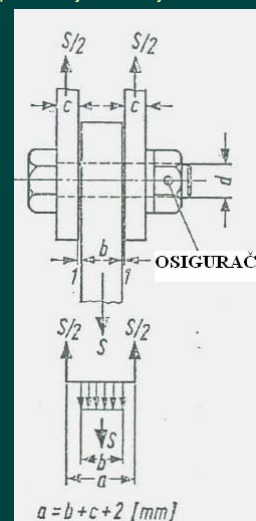
$$a \geq \frac{S}{2t \cdot \sigma_{zul}} + \frac{2}{3}d$$

$$c \geq \frac{S}{2t \cdot \sigma_{zul}} + \frac{1}{3}d$$



- Vijak je potrebno dimenzionirati na savijanje:

$$\max M = S \frac{b + 2c + 4}{8}$$



PRORAČUN JARBOLA SA ZATEGAMA

JARBOLI SA ZATEGAMA: Rješavanje detalja zatega

□ Detalj temelja za pričvršćenje zatega:

- Provjera temelja na :

a) Odizanje

$$\nu_A = \frac{G}{V} \geq 1,5$$

b) Klizanje

$$\nu_G = \frac{\mu (G - V) + (E_p - E_a)}{H} \geq 1,5$$

c) Prevrtnje

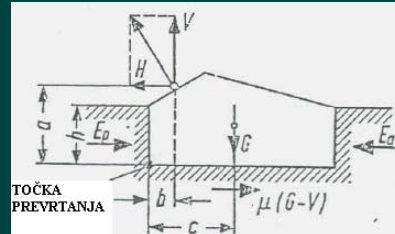
$$\nu_K = \frac{G c}{H a + V b} \geq 1,5$$

- Razlika pasivnog i aktivnog otpora tla :

$$E_p - E_a = \frac{1}{2} \gamma_E h^2 (\lambda_p - \lambda_a) d$$

$$\lambda_p = \tan^2 (45^\circ + \varrho/2); \lambda_a = \tan^2 (45^\circ - \varrho/2)$$

- γ_E – zapreminska težina tla
- d – širina temelja
- ρ – kut unutarnjeg trenja tla



ϱ°	$\lambda_p - \lambda_a$	ϱ°	$\lambda_p - \lambda_a$
10	0,716	30	2,667
12,5	0,908	32,5	3,021
15	1,110	35	3,419
17,5	1,323	37,5	3,869
20	1,550	40	4,382
22,5	1,794	42,5	4,973
25	2,058	45	5,660
27,5	2,348		

RUŠENJA JARBOLA SA ZATEGAMA I TORNJEVA

SADRŽAJ PREDAVANJA (2.dio)

□ Rušenja jarbola sa zategama i tornjeva

- Općenito
- Rušenja uzrokovana ledom
- Rušenja uzrokovana greškama u projektiranju
- Rušenja uzrokovana greškama u održavanju
- Oštećenja uzrokovana udarom zrakoplova
- Ostala oštećenja
- Pouke na temelju rušenja



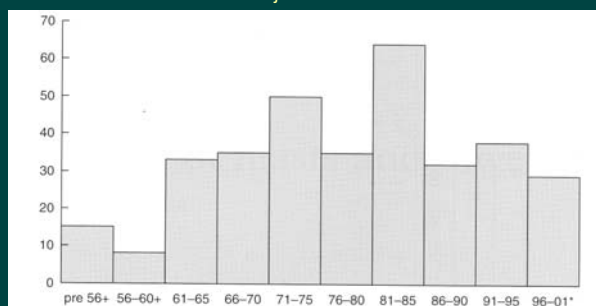
RUŠENJA JARBOLA SA ZATEGAMA I TORNJEVA OPĆENITO

- Tijekom proteklih 40 godina dogodila su se rušenja
 - 8 jarbola (stupova) sa zategama visine veće od 600 m u SAD-u,
 - nekoliko rušenja takvih konstrukcija viših od 300 m u Europi,
 - a srušio se i najviši jarbol sa zategama na svijetu visine 646 m u Poljskoj (09.08.1991)
- ukupno je evidentirano rušenje više od 300 stupova sa zategama
- mnoga rušenja možda i nisu evidentirana

Otkazivanje stupa ovisno o uzroku i visini												
Uzrok otkazivanja	Visina [m]											Ukupno
	0-50	51-100	101-150	151-200	201-250	251-300	301-400	401-500	501-600	601+	Ne-poznato	
Led	14	34	19	21	6	8	11	7	1	1	19	141
Led i vjetar	7	7		2	1	1	2	1		2	5	28
Vjetar	3	3	1	2	1			2	3		1	16
Oscilacije	1	5	1	3	1	4	6				1	22
Otkazivanje zatega		3	1	1		5		1				11
Vanjsko oštećenje		1										1
Udar groma/izolatori		2	2		1	4	1	1				11
Građenje/održavanje	6	6	2	3	3	4	4	3	2	6		39
Projektiranje/materijali	1	5	2	4	5	4	1				1	23
Udar aviona		1			2	1	1	1				6
Vandalizam	1	1										2
Slijeganje		1										1
Nepoznato		3	8	1	4			1			1	18
Ukupno	33	72	36	37	24	31	26	17	6	9	28	319

RUŠENJA JARBOLA SA ZATEGAMA I TORNJEVA OPĆENITO

- u mnogim slučajevima uzrok rušenja nije moguće točno odrediti
- raspodjela broja rušenja po visini ne ukazuje na veći rizik rušenja kod viših stupova
- statistički se oko 80 stupova sa zategama sruši svakih deset godina
- u zadnje 3 godine mjerenja (96-98) srušilo se 29 stupova što povećava taj prosjek od 80 stupova na 10 godina
 - vjerojatno zbog naglog povećanja takovih konstrukcija u zadnje vrijeme uslijed razvoja televizijskih mreža i mreža mobilnih telekomunikacija



+ Podcijenjeno kada je sistematsko izvještavanje započelo 1958

* Raspoloživo do 1998

Otkazivanja u petogodišnjem periodu

RUŠENJA JARBOLA SA ZATEGAMA I TORNJEVA

RUŠENJA UZROKOVANA LEDOM

- Rešetkasti tornjevi načelno
 - nisu podložni rušenjima uslijed opterećenja ledom, premda to opterećenje može biti značajno,
 - ali je za dimenzioniranje, uglavnom mjerodavno djelovanje vjetrova
- Stupovi i jarboli sa zategama su puno osjetljiviji na ovo opterećenje
 - Većina njihovih rušenja uzrokovana je ledom ili kombinacijom leda i vjetrova
 - Nejednolika raspodjela leda po zategama uzrokuje značajne momente savijanja u stupu te može uzrokovati dinamičke efekte
 - Poznata je pojava rušenja ovakvih stupova i od opterećenja ledom na zatege i na stup
- Rušenje stupova i tornjeva uslijed opterećenja ledom proučavali su Sundin i Mulherin
 - studijom je obuhvaćeno veliko područje SAD-a i područje Skandinavije
- Zaključeno je da su rušenja uzrokovana
 - i ledom u obliku padalina
 - i ledom u oblacima



RUŠENJA JARBOLA SA ZATEGAMA I TORNJEVA

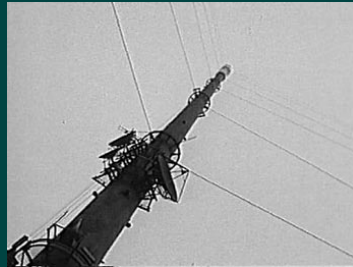
RUŠENJA UZROKOVANA LEDOM

- Led u obliku padalina, zajedno sa ledenom kišom kao glavnim oblikom padalina
 - dominira kao uzrok rušenja u ravničarskim terenima sa jakim vjetrovima (srednji zapad SAD, Švedska i Finska)
 - U SAD dodatno dolazi do velikih oscilacija ambijentalne temperature
- Vrlo često rušenju prethodi par dana sa promjenjivim vremenom (temperaturom), odnosno nailaskom tople fronte koje karakteriziraju
 - niski oblaci,
 - pojačavanje vjetrova,
 - padaline se mijenjaju od suhog do vlažnog snijega i na kraju do ledene kiše
- Ovakvi uvjeti pogoduju rušenju
 - zbog taloženja velike količine leda na konstrukcijskim elementima,
 - te su uzrokovali 11 od 16 rušenja
- Na nekim stupovima povećano opterećenje ledom nije bio jedini uzrok rušenja, nego su utjecali i neki drugi faktori, kao npr.
 - nedovršena konstrukcija,
 - krti čelik,
 - detalji osjetljivi na umor,
 - labavi vijci,
 - vibracije zatega i stupova,
 - dinamički utjecaji leda
 - i jačanje ili promjena smjera vjetrova

RUŠENJA JARBOLA SA ZATEGAMA I TORNJEVA

RUŠENJA UZROKOvana LEDOM

- Visoki stup Emley Moor, Velika Britanija, h = 386 m
 - sastavljen od čeličnih odsječaka promjera cijevi 2,75 m, ukupne visine 275 m, s dodatnom čeličnom konstrukcijom 107 m visokom i cilindrom na vrhu
- srušio se u ožujku 1969
 - u uvjetima smrzavanja sa temperaturom oko 0° C i niskim oblacima sa laganim vjetrom od 9 m/s
- Slaba vidljivost sprečavala je točnu procjenu prirasta leda na zategama, ali bilo je vidljivo
 - da su dvije zatege opterećenije od treće, što je uzrokovalo savijanje stupa
- Porast naprezanja u stupu od nesimetričnog opterećenja
 - nije bio dovoljan uzrok za rušenja
- Ustanovljeno je da je stup još za vrijeme gradnje i kasnije u uporabi
 - bio podložan vibracijama uzrokovanim vrtloženjem
- Zaključeno je da je uzrok rušenja bilo
 - opterećenje ledom
 - zajedno sa vibracijama uzrokovanim vrtloženjem



RUŠENJA JARBOLA SA ZATEGAMA I TORNJEVA

RUŠENJA UZROKOvana LEDOM

- Rešetkasti stup *Ylläs* visok 212 m, Finska,
 - Stup je sagrađen 1968. na nadmorskoj visini od 697 m
- srušio se (1970)
 - Jake vibracije zatega javile su se tijekom uporabe, te su ugrađeni prigušivači za njihovo smirivanje
 - Također je primijećeno taloženje leda veće od predviđenog
 - Krenulo se sa istraživanjem uzroka, ali stup se usred istraživanja srušio
- Zaključeno je da je razlog rušenja
 - veliko opterećenje ledom u kombinaciji sa
 - jakim vibracijama uzrokovanim vrtloženjem

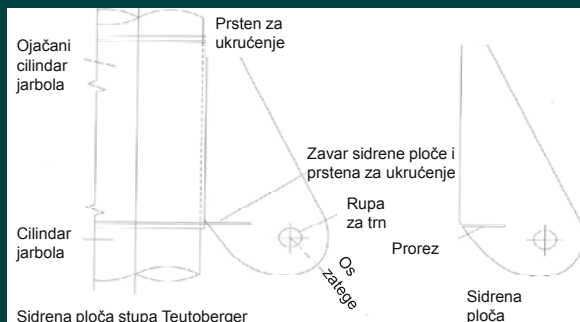


RUŠENJA JARBOLA SA ZATEGAMA I TORNJEVA RUŠENJA UZROKOVANA GREŠKAMA U PROJEKTIRANJU

- Rušenja dalekovodnih stupova prilikom postavljanja 400 kV kabela u Velikoj Britaniji dogodila su se tijekom 1960. g.
 - Stupovi su bili rešetkasti, u to vrijeme formirani su sa zglobovima i računati grafički
 - Ustanovljeno je da nisu uzete u obzir deformacije elemenata rešetke, te da su elementi spregova bili time dodatno opterećeni
- Projektiranje stupova sa zategama mora biti povjereno inženjerima koji su upoznati
 - sa posljedicama djelovanja deformacija i dinamičkih utjecaja na takve konstrukcije
- Jedno od rušenja koje se nije smjelo dogoditi uzrokovano je greškom projektanta:
 - nije uzeto u obzir povećanje tlačnog naprezanja u stupu uslijed mirnih uvjeta (sila prednapinjanja u svim zategama)

RUŠENJA JARBOLA SA ZATEGAMA I TORNJEVA RUŠENJA UZROKOVANA GREŠKAMA U PROJEKTIRANJU

- Stup Teutoberger sagrađen u blizini Detmolda u Njemačkoj 1970. srušio se 1985.g.
- Jedno od napoznatijih rušenja uzrokovano lošim detaljima
 - Primijećene su ozbiljne vibracije zatega dvije godine prije rušenja
 - koje su na kraju uzrokovale pucanje spojne uške zatega na visini od oko 270 m
 - Uzrok pucanja uški bili su loši radionički detalji
 - Na svakoj uški na vrhu stupa napravljen je prorez u koji ulaze ukrućenja na vrhu stupa, a ti su prorezi uzrokovali lom uški uslijed zamora
 - Dodatni problem bili su i
 - nedostatni varovi na ukrućenjima koji su bili posljedica neodgovarajućih dimenzija pojedinih elemenata
 - Napravljeni su hitni popravci na sličnim stupovima na kojima su uočeni spomenuti problemi



RUŠENJA JARBOLA SA ZATEGAMA I TORNJEVA

RUŠENJA UZROKOVANA GREŠKAMA U ODRŽAVANJU

Mnogo je primjera rušenja uslijed radova na održavanju:

- stup sa zategama u Houstonu visine 600 m
 - srušio se tijekom montiranja 6 t teške antene na njegov vrh
- Uzrok rušenja bilo je
 - puknuće spojnice na užetu za podizanje antene,
 - što je uzrokovalo padanje antene
 - koja je prilikom pada prerezala jednu od zatega za pridržanje stupa na visini od 300m
- Posljedica je bila
 - rušenje stupa pri čemu je
 - poginulo petero ljudi koji su radili na anteni
 - i još troje koji su se nalazili na krovu susjedne zgrade je ozlijeđeno

<http://www.youtube.com/watch?v=eqygUApfnZg>

RUŠENJA JARBOLA SA ZATEGAMA I TORNJEVA

RUŠENJA UZROKOVANA GREŠKAMA U ODRŽAVANJU

Mnogo je primjera rušenja uslijed radova na održavanju:

- rešetkasti stup u državi Missouri u SAD visine 610 m
 - (gotovo novi) srušio se prilikom zamjene elemenata spregova jer se utvrdilo da postojeći elementi imaju male pukotine u zavarima
- Elementi su zamjenjivani jedan po jedan,
 - pri čemu je korišteno lančano vitlo kao privremeno pridržanje
 - Prije rušenja zamijenjeno je 800 elemenata počevši od vrha prema dnu
- Vjeruje se da je uzrok rušenja
 - naglo prokliznuće vitla
 - u kombinaciji sa pukotinama zavara u dva postojeća elementa na visini od 146 m
- Poginulo je troje ljudi

RUŠENJA JARBOLA SA ZATEGAMA I TORNJEVA RUŠENJA UZROKOvana GREŠKAMA U ODRŽAVANJU

- Najveći odjek imalo je rušenje u to doba najviše građevine na svijetu
- rešetkasti tv stup sa zategama u Gabinu u Poljskoj 646 m visine, sagrađen 1975

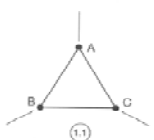
- Trokutasti presjek, sa stranicom 4,8 m.
- Vertikalne cijevi
 - promjera 245 mm,
 - debljine stijenki od 8 do 34 mm.
- Ukupno 86 elemenata
 - duljine 7,5 m.
- Tri zatege za pridržanje u 5 razina,
 - na visinama 121,78 m, 256,78 m, 369,28 m, 481,78 m, 594,28 m,
 - promjera 50 mm,
 - sidrene u pojedinačne temeljne blokove



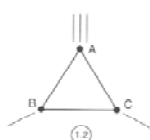
RUŠENJA JARBOLA SA ZATEGAMA I TORNJEVA RUŠENJA UZROKOvana GREŠKAMA U ODRŽAVANJU

- Najveći odjek imalo je rušenje u to doba najviše građevine na svijetu
- rešetkasti tv stup sa zategama u Gabinu u Poljskoj 646 m visine, sagrađen 1975
- Godine 1991 zaključeno je da se mora ići u zamjenu zatega za pridržanje stupa
 - zatege su korodirale, naročito na visini od 300 do 500 m, vjerojatno zbog čestih niskih oblaka
- Postupak zamjene zatega je bio slijedeći:
 - Postavljanje privremenih zatega oko zatega koja se zamjenjuje
 - Uklanjanje postojeće zatega, pri čemu privremene zatege osiguravaju stabilnost
 - Postavljanje nove zatega i uklanjanje privremenih zatega

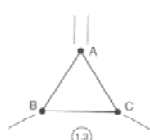
① Početi s najvišom razinom



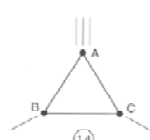
Postojeće stanje



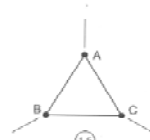
2 privremene zatege pričvršćene za mjesto A



Postojeća zatega uklonjena s mjesta A



Nova zatega smještena u mjesto A



Uklanjanje privremenih zatega sa mjesta A

①.6 Postupak ponoviti za mjesta B i C

② Isti postupak ponoviti za iduću razinu ispod

Postupak zamjene zatega stupa Gabin

RUŠENJA JARBOLA SA ZATEGAMA I TORNJEVA

RUŠENJA UZROKOVANA GREŠKAMA U ODRŽAVANJU

- Najveći odjek imalo je rušenje u to doba najviše građevine na svijetu
- rešetkasti tv stup sa zategama u Gabinu u Poljskoj 646 m visine, sagrađen 1975
- Prilikom zamjene zatega
 - na predzadnjoj razini došlo je do loma vijaka koji su pridržavali gredu na koju su spajane privremene zatege
- Ustanovljeno je da je
 - greda bila spojena samo sa četiri vijka umjesto sa osam koliko je bilo potrebno,
 - a vijci nisu bili ni dovoljno stegnuti
- Pukom srećom nitko nije ozlijeđen
 - radnici su bili na pauzi kad se dogodilo rušenje



RUŠENJA JARBOLA SA ZATEGAMA I TORNJEVA

OŠTEĆENJA UZROKOVANA UDAROM ZRAKOPLOVA

- Udar zrakoplova obično uzrokuje oštećenje, ali ne i rušenje stupa
- Prvi zabilježeni slučaj je udar zrakoplova u 229 m visoki rešetkasti stup u Doveru
 - pilot je preživio i spustio se po stupu
- Najčešće se ovakvi incidenti događaju
 - prilikom vojnih vježbi kada zrakoplovi lete velikom brzinom na maloj visini
 - zatege za pridržanje stupova su za pilota nevidljive pa one najčešće stradavaju
- Moguća rješenja su
 - upoznavanje civilnih i vojnih vlasti sa položajem svih stupova sa zategama
 - označavanje zatega svjetlima
- U propise je uvedeno da se
 - mora dokazati stabilnost stupova kod loma jedne zatega



RUŠENJA JARBOLA SA ZATEGAMA I TORNJEVA OSTALA OŠTEĆENJA

- Nenamjerni događaji
 - npr. zapinjanje kрана dizalice za zatege prilikom radova u blizini stupa
- i namjerni događaji
 - namjerno oštećivanje zatega i stupova
- Rješenje je
 - postavljanje ograda oko stupova
 - i čeličnih obujmica na donji dio zatega



RUŠENJA JARBOLA SA ZATEGAMA I TORNJEVA POUKE NA TEMELJU RUŠENJA

- Veliki broj rušenja ovih konstrukcija ukazuje da je
 - potrebno pristupiti njihovom projektiranju, radioničkoj izradi, gradnji i održavanju s posebnom pažnjom
- Niska cijena je najčešće jedini kriterij pri odabiru najpovoljnijih ponuda.
 - Ponekad i malo povećanje cijene konstrukcije (cijena konstrukcije je najčešće manja od cijene antena i ostalih uređaja montiranih na stupu) bitno smanjuje rizik i rezultira boljom i sigurnijom konstrukcijom
- Investitor često zahtijeva postavljanje dodatnih antena na postojeće stupove,
 - čemu treba pristupiti sa velikim oprezom
- Potrebno je
 - sustavno održavanje i zaštita od vandalizma
 - suradnja projektanta i korisnika (investitora)



TEMELJENJE

SADRŽAJ PREDAVANJA (3.dio)

- Temeljenje
 - Općenito
 - Tipovi temelja
 - Temelji za preuzimanje odizne vlačne sile
 - Temelji otporni na prevrtanje
 - Temelji za preuzimanje vertikalne tlačne sile
 - Temelji za sidrenje zatega

TEMELJENJE

OPĆENITO

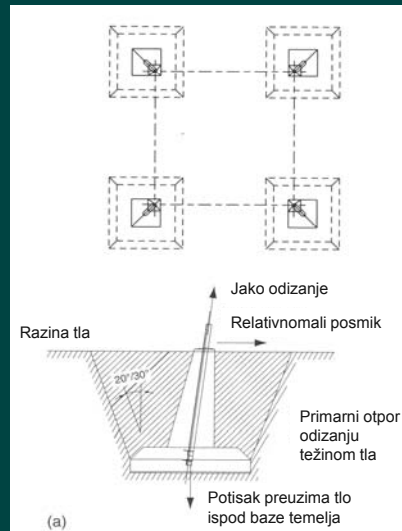
- Pri odabiru temelja potrebno je promatrati tri kritična slučaja opterećenja:
 1. Odizna (vlačna) sila
 2. Prevrtanje
 3. Vertikalna tlačna sila
- U normalnim tlima (ne u stijeni ili kad je potrebno temeljenje na pilotima) temelji se dijele na tri osnovna tipa, a često se rade i kombinacije osnovnih tipova.

Tip temelja	Glavno kritično opterećenje	Tip konstrukcije	Glavni oblik otpora tla
I	Velike vrijednosti odizne sile sa relativno malim posmikom na dnu temelja	Tornjevi sa širom bazom s dovoljno prostora između nogu (pojaseva) da se omogući zasebno temeljenje za svaki krak	Težina konusa tla se odupire potisku prema gore
II	Veliki moment prevrtanja s relativno malim posmikom i vertikalnim opterećenjima na vrhu temelja	Konzolni tornjevi s uskom bazom ili štapovi s pojedinačnim monolitnim temeljima	(i) bez baze temelja: pomoću bočnog djelovanja tla ili (ii) s bazom temelja: kombinacija težine tla i pritiska tla na dnu baze
III	Velike vrijednosti tlačne reakcije (centrično ili ekscentrično djelovanje)	Baze visokih stupova; tornjevi s velikim vertikalnim opterećenjem	Pomoću pritiska tla na dnu temelja
IV	Vlačna naprezanja u zategama	Stupovi pridržani zategama; sidra zatega	Pomoću težine sidra ili bočnim otporom tla

TEMELJENJE

TIPOVI TEMELJA: Tip I – za preuzimanje odizne vlačne sile

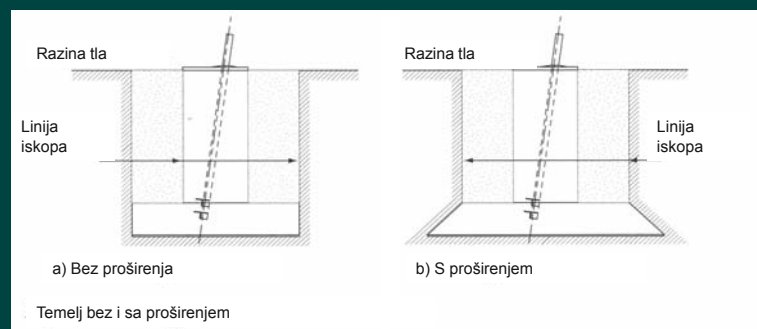
- Glavno kritično opterećenje
 - Velike vrijednosti odizne sile
 - sa relativno malim posmikom na dnu temelja
- Tip konstrukcije:
 - Tornjevi sa širom bazom s dovoljno prostora između nogu (pojaseva) da se omogući zasebno temeljenje za svaki krak tipova.
- Glavni oblik otpora tla:
 - Težina konusa tla se odupire potisku prema gore



TEMELJENJE

TIPOVI TEMELJA: Tip I – za preuzimanje odizne vlačne sile

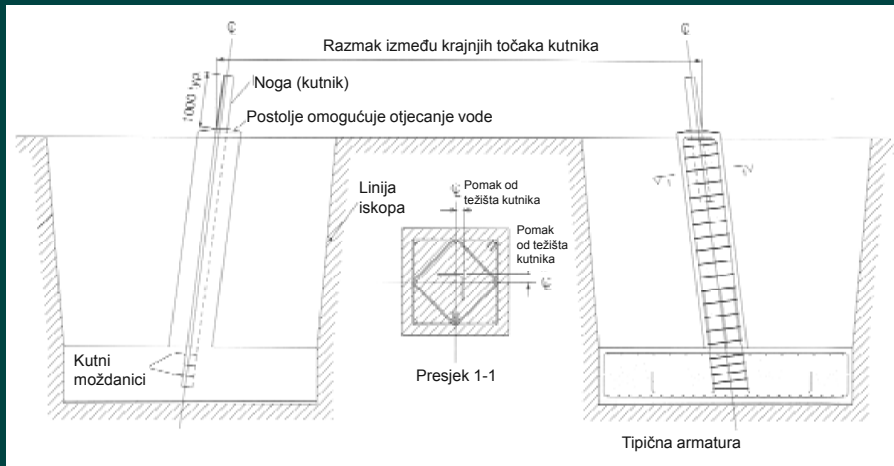
- Istraživanja su pokazala da su
 - temelji sa skošenim stranicama (proširenje prema dolje) daleko povoljniji od onih koji nemaju skošene stranice:
 - mogu preuzeti dva do tri puta veću odiznu silu (potrebno je napraviti ispitivanja *in situ* za svaku lokaciju)
 - imaju i znatno manje vertikalne pomake



TEMELJENJE

TIPOVI TEMELJA: Tip I – za preuzimanje odizne vlačne sile

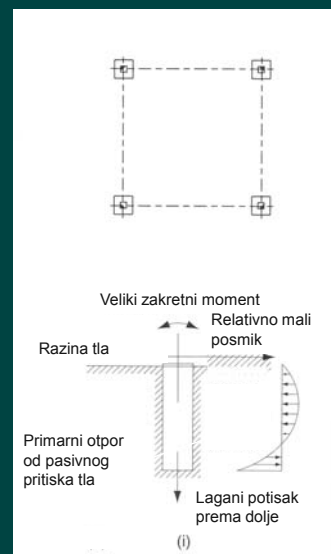
- Tipičan temelj tornja za preuzimanje odizne sile



TEMELJENJE

TIPOVI TEMELJA: Tip II – temelji otporni na prevrtanje

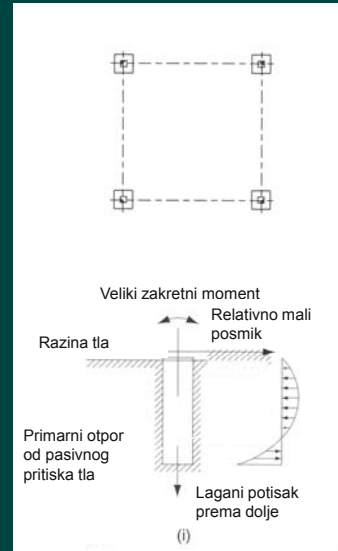
- Glavno kritično opterećenje
 - veliki moment prevrtanja s
 - relativno malim posmikom i vertikalnim opterećenjima na vrhu temelja
- Tip konstrukcije:
 - konzolni tornjevi s uskom bazom ili
 - štapovi s pojedinačnim monolitnim temeljima
- Glavni oblik otpora tla:
 - (i) bez baze temelja: pomoću bočnog djelovanja tla ili
 - Primjenjuje se kada je stup upet u temelj
 - Na temelj primarno djeluju moment savijanja i posmična sila
 - Aktivira se pasivni otpor tla koji je naročito učinkovit kod temelja čija je dubina znatno veća od širine i kod vertikalnih iskopa



TEMELJENJE

TIPOVI TEMELJA: Tip II – temelji otporni na prevrtanje

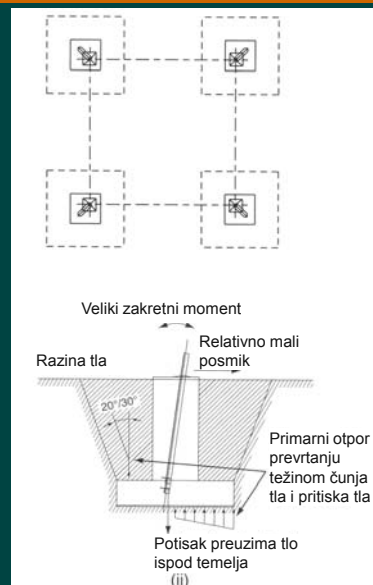
- Glavno kritično opterećenje
 - veliki moment prevrtanja s
 - relativno malim posmikom i vertikalnim opterećenjima na vrhu temelja
- Tip konstrukcije:
 - konzolni tornjevi s uskom bazom ili
 - štapovi s pojedinačnim monolitnim temeljima
- Glavni oblik otpora tla:
 - (i) bez baze temelja: pomoću bočnog djelovanja tla ili
 - Pretpostavke proračuna:
 - Temelj je krut
 - Linija pritiska je parabola
 - Pasivni otpor tla po jedinici deformacije razlikuje se prema dubini
 - Cilj je izbjeći rotaciju temelja, pa granična naprezanja tla nemaju veliki značaj
 - Ukoliko se provjeravaju, potrebno ih je odrediti ispitivanjima tla (iznimno se mogu koristiti rezultati dobiveni na sličnim tlima)



TEMELJENJE

TIPOVI TEMELJA: Tip II – temelji otporni na prevrtanje

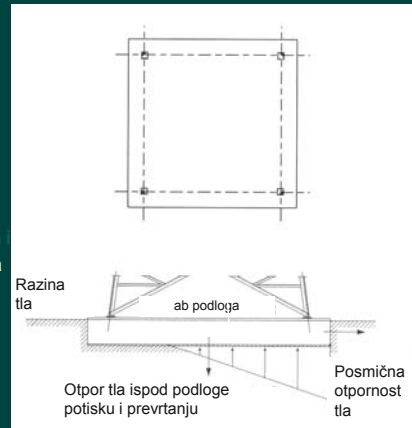
- Glavno kritično opterećenje
 - veliki moment prevrtanja s
 - relativno malim posmikom i vertikalnim opterećenjima na vrhu temelja
- Tip konstrukcije:
 - konzolni tornjevi s uskom bazom ili
 - štapovi s pojedinačnim monolitnim temeljima
- Glavni oblik otpora tla:
 - (i) bez baze temelja: pomoću bočnog djelovanja tla ili
 - (ii) s bazom temelja: kombinacija težine tla i pritiska tla na dnu baze



TEMELJENJE

TIPOVI TEMELJA: Tip II – temelji otporni na prevrtanje

- Glavno kritično opterećenje
 - veliki moment prevrtanja s
 - relativno malim posmikom i vertikalnim opterećenjima na vrhu temelja
- Tip konstrukcije:
 - konzolni tornjevi s uskom bazom ili
 - štapovi s pojedinačnim monolitnim temeljima
- Glavni oblik otpora tla:
 - (i) bez baze temelja: pomoću bočnog djelovanja tla
 - (ii) s bazom temelja: kombinacija težine tla i pritiska tla na dnu baze

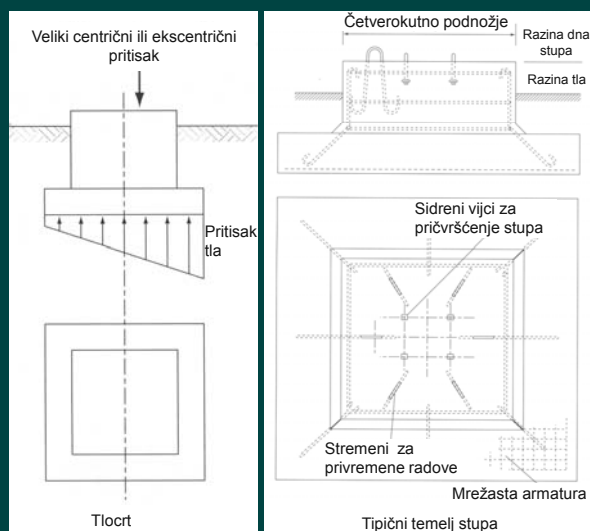


TEMELJENJE

TIPOVI TEMELJA: Tip III – temelji za preuzimanje vertikalne tlačne sile

- Glavno kritično opterećenje
 - Velike vrijednosti tlačne reakcije (centrično ili ekscentrično djelovanje)
- Tip konstrukcije:
 - baze visokih stupova;
 - tornjevi s velikim vertikalnim opterećenjem
- Glavni oblik otpora tla:
 - Pomoću pritiska tla na dnu temelja

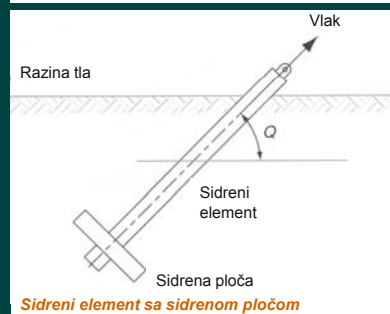
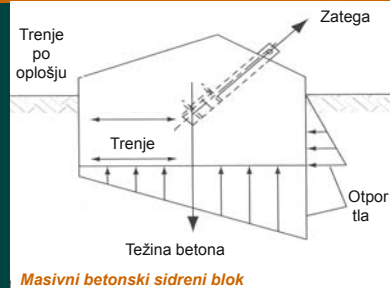
Koriste se tamo gdje je reakcija na temelj uvijek tlačna



TEMELJENJE

TIPOVI TEMELJA: Tip IV – temelji za sidrenje zatega

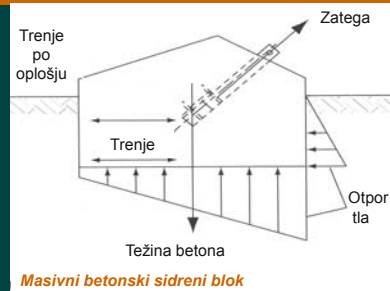
- Koriste se različiti tipovi,
 - ovisno o tlu
 - i o oscilaciji sile u zategama.
- Važno je da osiguraju
 - sidrenje zatege
 - i njezin ispravan položaj i nagib
- Velike sidrene sile najčešće se preuzimaju
 - masivnim betonskim temeljima
- Za manje stupove koristi se
 - sidreni element sa sidrenom pločom



TEMELJENJE

TIPOVI TEMELJA: Tip IV – temelji za sidrenje zatega

- Koriste se različiti tipovi,
 - ovisno o tlu
 - i o oscilaciji sile u zategama.
- Važno je da osiguraju
 - sidrenje zatege
 - i njezin ispravan položaj i nagib
- Velike sidrene sile najčešće se preuzimaju
 - masivnim betonskim temeljima

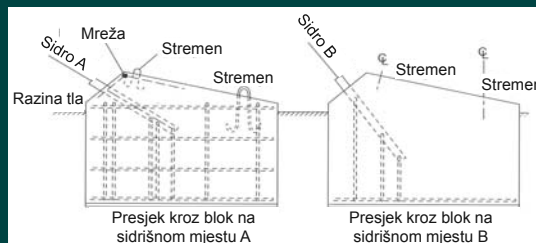
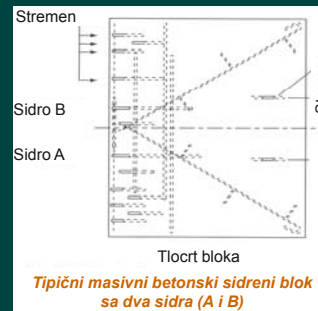


- Sidrena sila preuzima se težinom betona,
- klizanju se suprotstavlja pasivni otpor tla i trenje po oplošju i dnu temelja,
- a težina betona u kombinaciji sa pritiskom tla odupire se prevrtanju temelja

TEMELJENJE

TIPOVI TEMELJA: Tip IV – temelji za sidrenje zatega

- Koriste se različiti tipovi,
 - ovisno o tlu
 - i o oscilaciji sile u zategama.
- Važno je da osiguraju
 - sidrenje zatega
 - i njezin ispravan položaj i nagib
- Velike sidrene sile najčešće se preuzimaju
 - **masivnim betonskim temeljima**
 - Važno je pravilno unijeti silu u temelj
 - Posebnu pažnju potrebno je posvetiti antikorozijskoj zaštiti temelja



TEMELJENJE

TIPOVI TEMELJA: Tip IV – temelji za sidrenje zatega

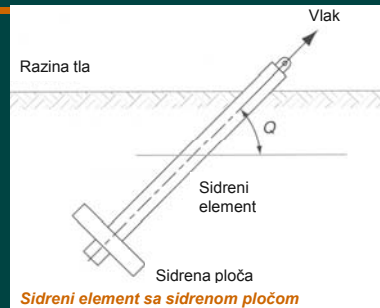
- Koriste se različiti tipovi,
 - ovisno o tlu
 - i o oscilaciji sile u zategama.
- Važno je da osiguraju
 - sidrenje zatega
 - i njezin ispravan položaj i nagib
- Velike sidrene sile najčešće se preuzimaju
 - **masivnim betonskim temeljima**
 - Nedostatak masivnih betonskih temelja je
 - velika količina materijala i
 - veliki uloženi rad,
 - kao i vrijeme potrebno za njihovu izvedbu
 - Količina materijala može se smanjiti
 - upotrebom obrnutog "T" temelja (pritisak tla na bazu zamjenjuje težinu betona)



TEMELJENJE

TIPOVI TEMELJA: Tip IV – temelji za sidrenje zatega

- Koriste se različiti tipovi,
 - ovisno o tlu
 - i o oscilaciji sile u zategama.
- Važno je da osiguraju
 - sidrenje zatege
 - i njezin ispravan položaj i nagib
- Za manje stupove koristi se
 - sidreni element sa sidrenom pločom
 - Sidrena sila preuzima se
 - formiranjem konusa tla na sidrenoj ploči
 - i trenjem
 - Potrebno je predvidjeti dovoljnu dubinu sidrenja (moguće duboko kopanje)
 - Sidreni element može biti
 - fleksibilan (čelična šipka)
 - ili kruti (čelična cijev i sl.)



TEMELJENJE

TIPOVI TEMELJA: Tip IV – temelji za sidrenje zatega

- Koriste se različiti tipovi,
 - ovisno o tlu
 - i o oscilaciji sile u zategama.
- Važno je da osiguraju
 - sidrenje zatege
 - i njezin ispravan položaj i nagib
- Za manje stupove koristi se
 - sidreni element sa sidrenom pločom
 - Posebnu pažnju potrebno je posvetiti točnosti izvedbe
 - (točan položaj i nagib sidra)
 - Može se pojednostavniti korištenjem montažne baze
 - prvo se postavlja baza na točno određenu dubinu,
 - oblik baze prilagođen je kutu zatege
 - postavlja se sidreni element i rotira u predviđeni položaj



**SPECIJALNE INŽENJERSKE GRAĐEVINE
SLJEDEĆE PREDAVANJE**

Pokretni mostovi