

SPECIJALNE INŽENJERSKE GRAĐEVINE

7. PREDAVANJE

**Čelični tornjevi, jarboli,
dimnjaci - projektiranje**

ČELIČNI TORNJEVI, JARBOLI

SADRŽAJ PREDAVANJA (1.dio)

- Tornjevi i jarboli (EN 1993-3-1)
 - Osnove projektiranja
 - Trajnost
 - Proračun konstrukcije
 - Parcijalni faktori za GSN
 - Spojevi
 - Podjela prema pouzdanosti
 - Parcijalni koeficijenti za djelovanja
 - Modeliranje djelovanja vjetra
 - Odgovor rešetkastih tornjeva na djelovanje vjetra
 - Odgovor jarbola pridržanih zategama na djelovanje vjetra
 - Opterećenje ledom i kombinacije leda i vjetra
 - Prigušivači zatega
 - Lom zatega
 - Izvedba
 - Izvijanje elemenata visokih stupova i tornjeva

TORNJEVI I JARBOLI

OSNOVE PROJEKTIRANJA

□ Osnovni zahtjevi:

- projektiranje čeličnih tornjeva i stupova pridržanih zategama se provodi u skladu s osnovnim pravilima navedenim u EN 1990
- treba primijeniti i odrednice iz EN 1993-1-1
- stupovi pridržani zategama (visoki stupovi) visoke pouzdanosti moraju se proračunati tako da izdrže pucanje jedne od zatega bez urušavanja
- preporuča se vijek trajanja od 30 godina

□ Djelovanja:

- elementi pod kutom do 30° u odnosu na horizontalu moraju biti projektirani tako da preuzimaju težinu radnika koja se u ovom slučaju može uzeti kao koncentrirano vertikalno opterećenje od 1 kN
- djelovanja na platforme ($2,0 \text{ kN/m}^2$) i
- horizontalna djelovanja na ogradu ($0,5 \text{ kN/m}$) se trebaju uzeti u obzir

TORNJEVI I JARBOLI

TRAJNOST

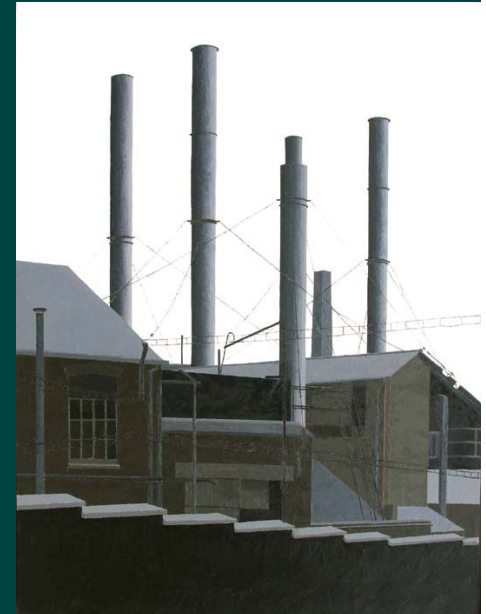
- Zatege za pridržanje jarbola:
 - ovisno o uvjetima okoliša užad od galvaniziranog čelika se treba zaštititi
 - dodatnim slojevima masti ili boje
 - kao alternativni način zaštite, kod galvanizirane čelične užadi promjera do 20 mm se može primijeniti
 - impregnacija polipropilenom pri čemu se ne zahtijeva dodatna zaštita osim u slučaju oštećenja metalne obloge tijekom gradnje ili korištenja



TORNJEVI I JARBOLI

PRORAČUN KONSTRUKCIJE

- Modeliranje za utvrđivanje posljedica djelovanja:
 - unutarnje sile i momenti imaju se odrediti koristeći elastičnu globalnu analizu
 - u proračunu se mogu koristiti značajke brutto poprečnog presjeka
 - kod proračuna treba uzeti u obzir deformacijske značajke temelja
 - ako deformacije imaju značajan utjecaj (npr. kod tornjeva s velikim opterećenjem na vrhu), potrebno je koristiti teoriju 2.reda
 - rešetkasti tornjevi se mogu u početku analizirati koristeći početnu geometriju (teorija 1.reda)
 - kod jarbola i dimnjaka pridržanih zategama potrebno je uzeti u obzir utjecaj deformacija na uvjete ravnoteže (teorija 2.reda)



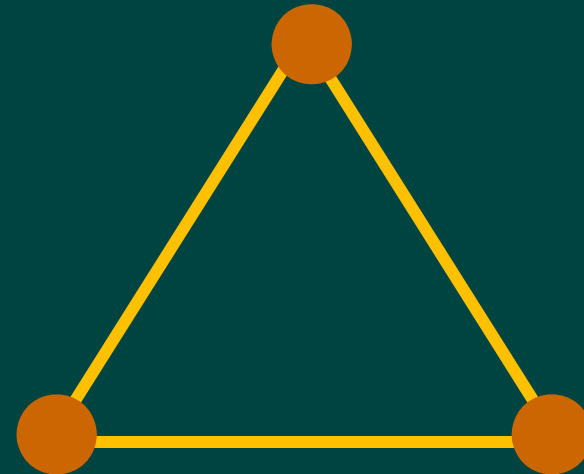
TORNJEVI I JARBOLI

PRORAČUN KONSTRUKCIJE

- Modeliranje spojeva

- Konstrukcije s trokutastim elementima (jednostavna ispuna)

- Kod jednostavnog oblikovanja može se pretpostaviti da se u spojevima između elemenata ne javljaju momenti.
 - U globalnoj analizi se može pretpostaviti da su elementi zgloбно spojeni.



TORNJEVI I JARBOLI

PARCIJALNI FAKTORI ZA GSN

□ Primjenjuju se sljedeći parcijalni faktori sigurnosti:

- otpornost elemenata na popuštanje: $Y_{M0} = 1,00$
- otpornost elemenata na izvijanje: $Y_{M1} = 1,00$
- otpornost netto presjeka na mjestu rupa za vijke: $Y_{M2} = 1,25$
- otpornost spojeva: *sljedeći slajd*
- otpornost zatega za pridržanje stupova i njihovo otkazivanje (prema EN 1993-1-11): $Y_{Mg} = 2,00$
- otpornost izolacijskog materijala: $Y_{Mi} = 2,50$

□ Nacionalni aneksi mogu sadržavati vrijednosti parcijalnih faktora sigurnosti. Preporučuju se vrijednosti dane narančastom bojom gore.

TORNJEVI I JARBOLI

PARCIJALNI FAKTORI ZA GSN

- Primjenjuju se sljedeći parcijalni faktori sigurnosti za spojeve:

otpornost elemenata i poprečnih presjeka	γ_{M0} , γ_{M1} i γ_{M2} - prema EN 1993-1-1	
otpornost vijaka	γ_{M2}	= 1,25
otpornost zakovica		
otpornost trnova		
otpornost zavara		
otpornost ploča u ležajevima		
otpornost na proklizavanje vijaka zadovoljena za - granično stanje nosivosti - granično stanje uporabivosti	γ_{M3} $\gamma_{M3,ser}$	= 1,25 = 1,10
otpornost injektiranih vijaka	γ_{M4}	= 1,00
otpornost spojeva u šupljim elementima rešetkastog nosača	γ_{M5}	= 1,00
otpornost trnova kod graničnog stanja uporabljivosti	$\gamma_{M6,ser}$	= 1,00
prednapinjanje visokovrijednih vijaka	γ_{M7}	= 1,10
otpornost betona	γ_c vidi EN 1992	

- Nacionalni aneksi mogu sadržavati vrijednosti parcijalnih faktora sigurnosti. Preporučuju se vrijednosti dane narančastom bojom gore.

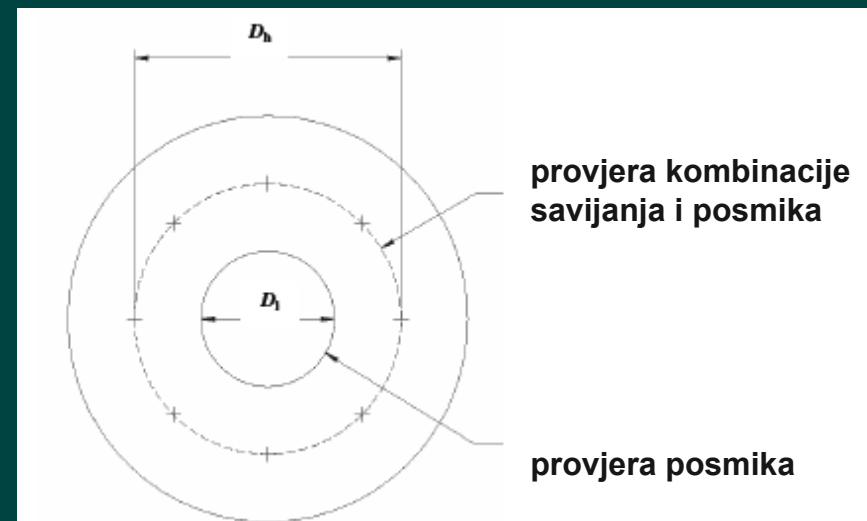
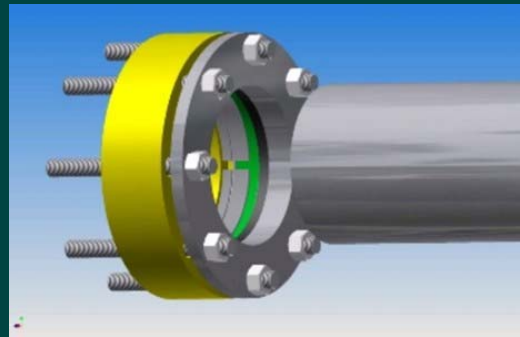
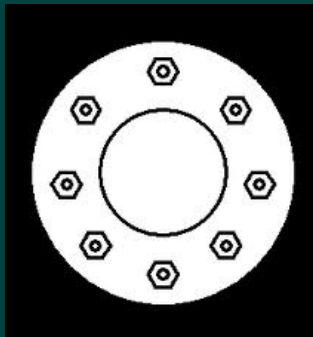
TORNJEVI I JARBOLI

SPOJEVI

- ❑ Vlačni vijci u krajnjim pločama (spojevi lamela)
 - prednapeti vijci moraju se koristiti u slučaju pojave vlaka poprijeko na spoj lamela
 - minimalni promjer vijka mora biti 12 mm
- kod određivanja debljine lamele, za kružne šuplje presjeke, važno je sljedeće:
 - ❑ posmična otpornost lamele uzduž ruba spojenog elementa kružnog presjeka
 - ❑ otpornost lamele na kombinaciju savijanja i posmika uzduž kružnice kroz rupe vijaka; moment savijanja se može uzeti kao:

$$M = N \cdot (D_b - D_i) \gamma 2$$

- N vlačna sila u pojasnom elementu
- D_b promjer kružnice kroz rupe vijaka
- D_i promjer pojasnog elementa



TORNJEVI I JARBOLI

SPOJEVI

□ Vlačni vijci u krajnjim pločama (spojevi lamela)

- za određivanje sile u vijcima, uzdužna sila N_b iznosi:

$$N_b = \frac{N \cdot k_p}{n}$$

- n broj vijaka
- N vlačna sila u pojasnom elementu
- k_p koeficijent koji uzima u obzir proklizavanje;
= 1,2 za prednapete vijke;
= 1,8 za neprednapete vijke

- Svi vijci moraju biti prednapeti za zamor

□ Spojevi zatega za pridržanje stupa

- svi spojevi zatega sa stupom ili sa temeljima trebaju omogućiti slobodnu rotaciju zatega u horizontalnom i vertikalnom smjeru



TORNJEVI I JARBOLI

PODJELA PREMA POUZDANOSTI

Razred pouzdanosti	
3	tornjevi i stupovi pridržani zategama u urbanim sredinama ili gdje će njihovo otkazivanje uzrokovati ozljede ili gubitak života; tornjevi i stupovi pridržani zategama koji se koriste za važna telekomunikacijska postrojenja; druge velike konstrukcije gdje su posljedice otkazivanja velike
2	svi tornjevi i stupovi pridržani zategama koji se ne mogu klasificirati u razred 1 ili 3
1	tornjevi i stupovi pridržani zategama izgrađeni za postrojenja bez ljudstva na otvorenom području; tornjevi i stupovi pridržani zategama čije otkazivanje vjerojatno neće uzrokovati ozljeđivanje ljudi

TORNJEVI I JARBOLI

PARCIJALNI KOEFICIJENTI ZA DJELOVANJA

Vrsta djelovanja	Razred pouzdanosti	Stalna djelovanja	Promjenjiva djelovanja (Q_s)
nepovoljno	3	1,2	1,6
	2	1,1	1,4
	1	1,0	1,2
povoljno	Svi razredi	1,0	0,0
Izvanredne situacije		1,0	1,0

TORNJEVI I JARBOLI

MODELIRANJE DJELOVANJA VJETRA

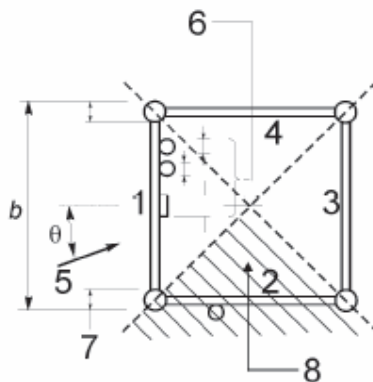
□ ***Ukupni koeficijent sile vjetra c_f***

(Postupak za kvadratne ili istostranične trokutaste rešetkaste konstrukcije)

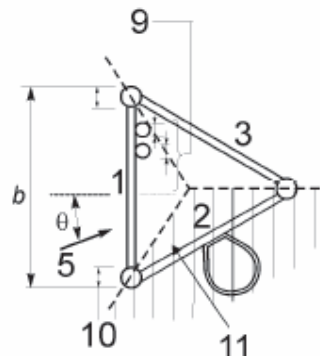
- u smjeru djelovanja vjetra na dio konstrukcije, uzima se kao:

$$c_f = c_{f,S} + c_{f,A}$$

- $c_{f,S}$ koeficijent sile vjetra samo za odsječak konstrukcije, (structure) koristeći koeficijent punoće konstrukcije φ
 - $c_{f,A}$ koeficijent sile vjetra za dodatne elemente (opremu), (ancillaries)
- dodatni elementi čije se projicirane površine na svaku stranicu nalaze unutar 10 % jedna od druge, mogu se uzeti kao odgovarajući konstruktivni elementi



Stranica 1 se treba uzeti u privjetrini tako da je $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$



Stranica 1 se treba uzeti u privjetrini tako da je $-60^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$. Vanjske ljestve se tretiraju kao zaseban element.

- 1 Stranica 1
- 2 Stranica 2
- 3 Stranica 3
- 4 Stranica 4
- 5 Vjetar
- 6 Dodatni elementi projicirani okomito na stranicu 1
- 7 Pojas projiciran okomito na stranicu
- 8 Dodatni elementi u tom području projicirani okomito na stranicu 2
- 9 Dodatni elementi projicirani okomito na stranicu (uključujući prečke ljestvi, zaštitne obruče itd.)
- 10 Pojas projiciran okomito na stranicu
- 11 Dodatni elementi u tom području pridruženi stranici 2

TORNJEVI I JARBOLI

MODELIRANJE DJELOVANJA VJETRA

□ Koeficijent sile vjetra za konstruktivne elemente $c_{f,S}$

za rešetkastu konstrukciju s kvadratnim tlocrtom ili tlocrtom u obliku jednakokraničnog trokuta, s jednakim površinama na svakoj stranici, ukupni koeficijent sile vjetra za odsječak u smjeru vjetra iznosi:

$$c_{f,S} = K_{\Theta} \cdot c_{f,S,0}$$

- $c_{f,S,0}$ koeficijent ukupnog normalnog pritiska odsječka j bez utjecaja na krajevima
- K_{Θ} koeficijent kuta djelovanja vjetra

TORNJEVI I JARBOLI

MODELIRANJE DJELOVANJA VJETRA

□ Koeficijent kuta djelovanja vjetra K_θ se može odrediti :

■ za konstrukcije s kvadratnim tlocrtom

$$K_\theta = 1,0 + K_1 \cdot K_2 \cdot \sin^2 2\theta$$

■ za konstrukcije s trokutnim tlocrtom

$$K_\theta = \frac{A_c + A_{c,sup}}{A_s} + \frac{A_f}{A_s} \cdot (1 - 0,1 \cdot \sin^2 1,5 \cdot \theta)$$

pri čemu je:

$$K_1 = \frac{0,55 \cdot A_f}{A_s} + \frac{0,8 \cdot (A_c + A_{c,sup})}{A_s}$$

$$K_2 = 0,2 \text{ za } 0 \leq \varphi \leq 0,2 \text{ i } 0,8 \leq \varphi \leq 1,0$$

$$= \varphi \text{ za } 0,2 \leq \varphi \leq 0,5$$

$$= 1 - \varphi \text{ za } 0,5 \leq \varphi \leq 0,8$$

- θ kut nagiba djelovanja vjetra u odnosu na normalu površine
- φ koeficijent punoće
- A_f ukupna projicirana površina gledana okomito prema licu elementa s ravnom plohom
- A_c ukupna projicirana površina gledana okomito prema licu elementa kružnog presjeka u pod-kritičnim režimima
- $A_{c,sup}$ ukupna projicirana površina gledana okomito prema licu elementa kružnog presjeka u nad-kritičnim režimima
- h visina promatranog elementa
- b ukupna širina presjeka

(Elementi su u pod kritičnom području kada je $Re \leq 4 \times 10^5$ i nad kritičnom za veće vrijednosti Re , bez leda)

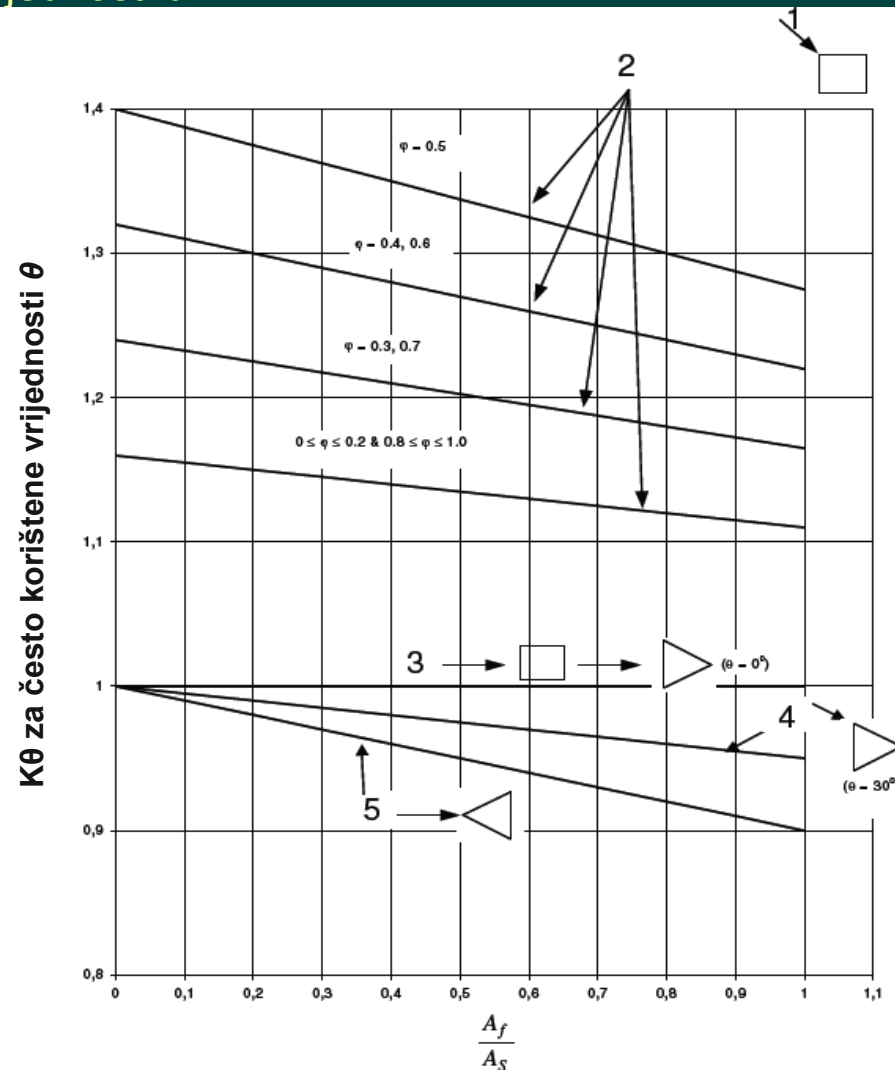
□ Napomena: $A_s = A_f + A_c + A_{c,sup}$

f: flet sided; c: circular section

TORNJEVI I JARBOLI

MODELIRANJE DJELOVANJA VJETRA

- Koeficijent kuta djelovanja vjetra K_θ :
 - za uobičajene vrijednosti θ



- 1 Vjetar
- 2 Tornjevi kvadratnog tlocrta, dijagonalni vjetar ($\theta = 45^\circ$)
- 3 Tornjevi kvadratnog i trokutastog tlocrta, lice okrenuto prema vjetru ($\theta = 0^\circ$)
- 4 Tornjevi trokutastog tlocrta, vjetar paralelan s licem ($\theta = 30^\circ$)
- 5 Tornjevi trokutastog tlocrta, vjetar na uglove ($\theta = 180^\circ$)

TORNJEVI I JARBOLI

MODELIRANJE DJELOVANJA VJETRA

□ Koeficijent ukupne normalne sile $c_{f,S,0}$

- Vrijednosti koeficijenata ukupne normalne sile $c_{f,S,0}$ koji su primjenjivi za odsječak kvadratnog tlocrta ili tlocrta u obliku jednakostraničnog trokuta j koji se sastoji i od ravnih elemenata i elemenata kružnog presjeka, određuju se prema:

$$c_{f,S,0,j} = c_{f,0,f} \cdot \frac{A_f}{A_s} + c_{f,0,c} \cdot \frac{A_c}{A_s} + c_{f,0,c,sup} \cdot \frac{A_{c,sup}}{A_s}$$

- $c_{f,0,f}$, $c_{f,0,c}$ i $c_{f,0,c,sup}$ koeficijenti sile za odsječke sastavljene od

- ravnih elemenata,

$$c_{f,0,f} = 1,76 \cdot C_1 \cdot [1 - C_2 \cdot \varphi + \varphi^2]$$

- elemenata sa pod-kritičnim kružnim i

$$c_{f,0,c} = C_1 \cdot (1 - C_2 \cdot \varphi) + (C_1 + 0,875) \cdot \varphi^2$$

- nad-kritičnim kružnim presjecima dani izrazima:

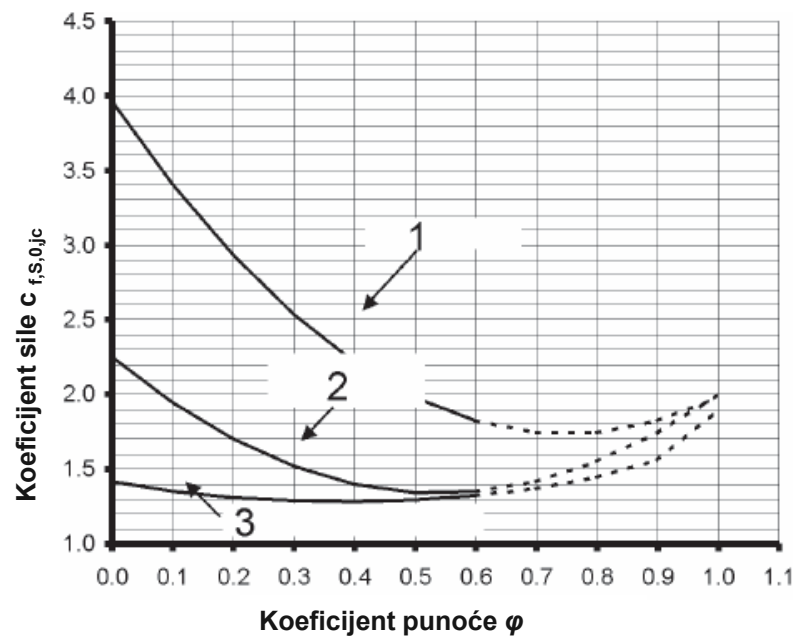
$$c_{f,0,c,sup} = 1,9 - \sqrt{\{1 - \varphi\} \cdot 2,81 - 1,14 \cdot C_1 + \varphi}$$

- C_1
 - = 2,25 za konstrukcije s kvadratnim tlocrtom
 - = 1,9 za konstrukcije s trokutastim tlocrtom
- C_2
 - = 1,5 za konstrukcije s kvadratnim tlocrtom
 - = 1,4 za konstrukcije s trokutastim tlocrtom

TORNJEVI I JARBOLI

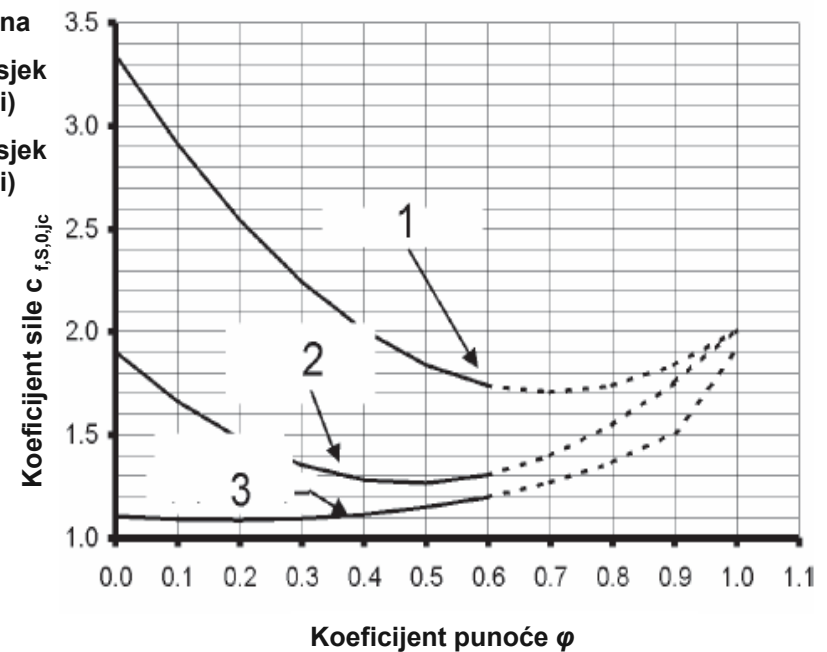
MODELIRANJE DJELOVANJA VJETRA

- Koeficijent ukupne normalne sile $c_{f,s,0}$
 - približne vrijednosti za kvadratne i trokutaste konstrukcije:



a) Kvadratne konstrukcije

- 1 Ravna strana
- 2 Kružni presjek (subkritični)
- 3 Kružni presjek (nadkritični)



b) Trokutaste konstrukcije

- Napomena: Za konstrukcije s $\varphi > 0,6$ treba uzeti u obzir mogućnost odgovora konstrukcije uslijed vrtložne uzbude

TORNJEVI I JARBOLI

MODELIRANJE DJELOVANJA VJETRA

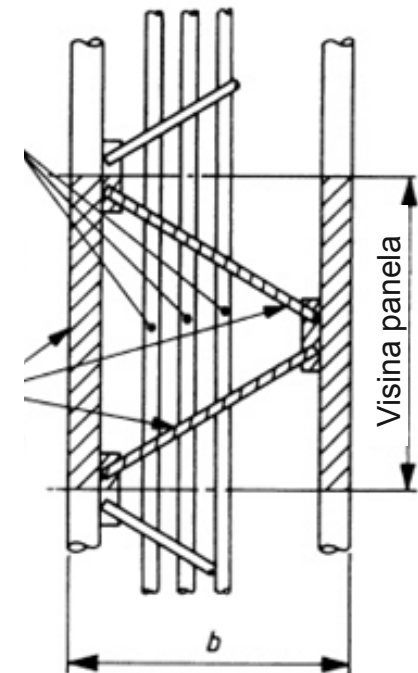
- Koeficijent sile vjetra za pravčaste dodatne elemente $c_{f,A}$
 - u smjeru djelovanja vjetra za bilo koji linearni dodatni element unutar visine panela određuje se prema:

$$c_{f,A} = c_{f,A,0} \cdot K_A \cdot \sin^2 \psi$$

- $c_{f,A,0}$ koeficijent ukupnog normalnog pritiska za odgovarajući element i njegov važeći Reynoldsov broj
- K_A redukcijski faktor koji uzima u obzir zaštitu elementa samom konstrukcijom i može se samo uzeti u obzir ako najmanje jedna strana konstrukcije djelotvorno štiti element (ili obratno)
- ψ kut djelovanja vjetra prema uzdužnoj osi linearnog elementa

Pomoćni dijelovi za projektiranu površinu A_A

Elementi konstrukcije za projektiranu površinu A_S



TORNJEVI I JARBOLI

MODELIRANJE DJELOVANJA VJETRA

▣ Redukcijski faktor, K_A , za dodatne elemente (opremu)

Položaj dodatnih elemenata	Redukcijski faktor, K_A	
	Kvadratni ili pravokutni tlocrtni oblik	Trokutasti tlocrtni oblik
Unutar odsječka	0,8	0,8
Izvan odsječka	0,8	0,8
Napomena: Ove vrijednosti mogu biti promijenjene u nacionalnim aneksima		

- K_A se treba uzeti sa vrijednošću 1,0 za nad-kritične kružne presjeke te ako dodatni elementi ne zadovoljavaju sljedeće:
 - a) ukupna projicirana površina dodatnih elem., pridružena strani koja se razmatra je manja od projicirane površine konstruktivnih elemenata prema toj strani
 - b) ukupna projicirana površina bilo kojeg unutarnjeg ili vanjskog dodatnog elem., okomito na bilo koju stranu konstrukcije, je manja od polovice brutto površine same strane
 - c) bilo koji dodatni element ne prelazi više od 10% ukupne širine strane konstrukcije na toj razini

TORNJEVI I JARBOLI

MODELIRANJE DJELOVANJA VJETRA

- Karakteristične vrijednosti koeficijenata normalnog pritiska, $c_{f,A,0}$ i $c_{f,G,0}$ za pojedinačne elemente (a: ancilliary, g: guys)

Tip elementa	Važeći Reynoldsov broj Re (prema EN 1991-1-4)	Koeficijent pritiska $c_{f,A,0}$ ili $c_{f,G}$	
		Bez leda	S ledom
a) Odsječci ravnih strana ili ploče	Sve vrijednosti	2,0	2,0
b) Kružni odsječci i glatke žice	$\leq 2 \times 10^5$	1,2	1,2
	4×10^5	0,6	1,0
	$> 10 \times 10^5$	0,7	1,0
c) Kabeli od finih žica, npr. okrugli aluminijski vodič sa čeličnom jezgrom, zatvorena spiralna užad, spiralni čelični struk sa više od 7 žica	Bez leda: $\leq 6 \times 10^4$ $\geq 10^5$	1,2 0,9	
	Sa ledom: $\leq 1 \times 10^5$ $\geq 2 \times 10^5$		1,25 1,0

TORNJEVI I JARBOLI

MODELIRANJE DJELOVANJA VJETRA

- Karakteristične vrijednosti koeficijenata normalnog pritiska, $c_{f,A,0}$ i $c_{f,G,0}$ za pojedinačne elemente (a: ancillary, g: guys)

Tip elementa	Efektivni Reynoldsov broj Re (prema EN 1991-1-4)	Koeficijent pritiska $c_{f,A,0}$ ili $c_{f,G,0}$	
		Bez leda	S ledom
d) Deblji kabeli, npr. mala žičana užad, užad s okruglim strukovima, spiralni čelični strukovi sa samo 7 žica (1x7)	Bez leda: $\leq 4 \times 10^4$ $> 4 \times 10^4$	1,3 1,1	
	S ledom: $\leq 1 \times 10^5$ $\geq 2 \times 10^5$		1,25 1,0
e) Cilindri sa spiralom visine do 0,12D (Napomena 2)	Sve vrijednosti	1,2	1,2
Napomena 1: Za među-vrijednosti Re , $c_{f,A,0}$ se dobija linearnom interpolacijom Napomena 2: Ove vrijednosti su određene na osnovi ukupne širine, uključujući dvostruku visinu spirale Napomena 3: Vrijednosti za elemente sa ledom odgovaraju glatkom ledu; potrebno je obratiti pažnju ako se radi o hrapavom ledu Napomena 4: Ove vrijednosti mogu biti promijenjene u nacionalnim aneksima			

TORNJEVI I JARBOLI

MODELIRANJE DJELOVANJA VJETRA

□ Koeficijent sile vjetra $c_{f,G}$ za zatege za pridržanje stupova

- okomito na zatege u ravnini u kojoj se nalaze zatega i smjer vjetra, određuje se prema:

$$c_{f,G} = c_{f,G,0} \sin^2 \psi$$

- $c_{f,G,0}$ ukupni normalni koeficijent pritiska za odgovarajući važeći djelotvorni Reynoldsov broj
- ψ kut djelovanja vjetra prema užadi
- Napomena: *Sila vjetra na izolatore zatega, gdje je mjerodavna, se određuje koristeći odgovarajuće koeficijente sile vjetra za pojedinačne elemente ili uključivanjem njihovog efekta u $c_{f,G}$*

TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR REŠETKASTIH TORNJEVA NA DJELOVANJE VJETRA

□ Kriterij za primjenu ekvivalente statičke metode

- Ekvivalentna statička metoda uključuje rezervu za dinamičko povećanje odgovora konstr.
- može koristiti ako vrijedi:

$$\frac{7 \cdot m_t}{\rho_s \cdot c_{fT} \cdot A_T \sqrt{d_B \cdot \tau_0}} \cdot \left(\frac{5}{6} - \frac{h_T}{h} \right)^2 < 1$$

- $c_{f,t} A_T$ zbroj sila vjetra na panele (uključujući dodatne elemente), počevši od vrha tornja, tako da je $c_{f,t} A_T$ manji od jedne trećine ukupne sume $c_f A_T$ za cijeli toranj (u m²);
- ρ_s gustoća materijala konstrukcije tornja (u kg/m³);
- m_T ukupna masa panela koji čine $c_{f,t}$ (u kg);
- h visina tornja (u m);
- h_T ukupna visina panela koji čine $c_{f,t}$, ali ne veća od $h/3$ (u m);
- τ_0 konstanta volumen/otpornost uzeta kao 0,001 m;
- d_B visina u smjeru vjetra
jednaka stranici d (m) za pravokutne tornjeve
odnosno $0,75 d$ (m) za trokutaste tornjeve

TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR REŠETKASTIH TORNJEVA NA DJELOVANJE VJETRA

□ Opterećenje vjetrom

- Srednja vrijednost vjetrovnog opterećenja $F_{m,W}(z)$ u smjeru djelovanja vjetra na toranj:

$$F_{m,W}(z) = \frac{q_p}{1 + 7 \cdot I_v(z_e)} \cdot \sum c_f \cdot A_{r,f}$$

- Ekvivalentna vrijednost udara vjetra $F_{T,W}(z)$ u smjeru djelovanja vjetra na toranj:

$$F_{T,W}(z) = F_{m,W}(z) \left[1 + \left(1 + 0,2 \frac{z_m}{h} \right)^2 \frac{\left[1 + 7 \cdot I_v(z_e) \right] c_s c_d - 1}{c_o(z_m)} \right]$$

- I_v intenzitet turbulencije prema EN 1991-1-4
- $c_s c_d$ konstrukcijski faktor prema EN 1991-1-4
- z_m visina iznad razine na kojoj se traži utjecaj opterećenja
- h ukupna visina tornja
- c_o koeficijent terena (reljefa) prema EN 1991-1-4

TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR REŠETKASTIH TORNJEVA NA DJELOVANJE VJETRA

□ Opterećenje za određivanje sila u elementima ili sila na temelje

- Maksimalna sila u elementu $S_{\max}$, ili sile na temelje se određuju prema srednjoj vrijednosti vjetrovnog opterećenja $F_{m,w}$ i uvećavaju za faktor:

$$S_{\max} = S_{m,w} \left[1 + \left(1 + 0,2 \zeta_m / h \right)^2 \frac{\left[1 + 7 \cdot I_v \zeta_e \right] c_s c_d - 1}{c_o \zeta_m} \right]$$

- $S_{m,w}$ sila u elementu ili sila na temelj određena za srednju vrijednosti vjetrovnog opterećenja $F_{m,w}$

TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR REŠETKASTIH TORNJEVA NA DJELOVANJE VJETRA

□ Opterećenje za određivanje posmičnih sila

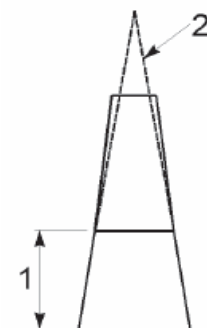
- Opterećenje za određivanje sila u elementima spregova mora se temeljiti na konfiguraciji tornja

- **Slučaj 1:** Za tornjeve kod kojih su nagibi pojaseva (nogu) takvi, da se njihove projekcije sijeku iznad vrha tornja, maksimalna sila u spregu ili posmik iznad promatrane razine se određuje kao i za sile u elementima pojasa ili sile za temelje

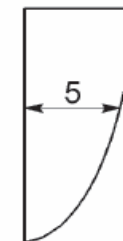
- **Slučaj 2:** Za tornjeve kod kojih su nagibi pojaseva (nogu) takvi, da se njihove projekcije sijeku ispod vrha tornja, potrebno je provesti dvije analize opterećenja:

- srednja vrijednost vjetr. opter. $F_{m,w}(z)$, ispod sjecišta i ekvivalentna vrijednost 'udara' vjetra, $F_{T,w}(z)$ iznad sjecišta
- srednja vrijednost vjetr. opter. $F_{m,w}(z)$, iznad sjecišta i ekvivalentna vrijednost 'udara' vjetra, $F_{T,w}(z)$ ispod sjecišta

- **Slučaj 3:** Za više od jednog takvog sjecišta, potrebno je provesti dvije takve analize opterećenja za svaki panel

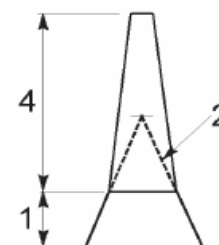


Slučaj 1

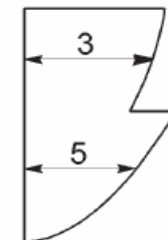
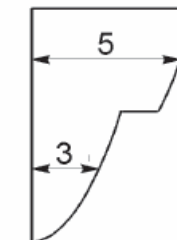


Posmično opterećenje određeno iz srednje vrijednosti vjetrovnog opterećenja i koeficijenta odgovora na nalet vjetra

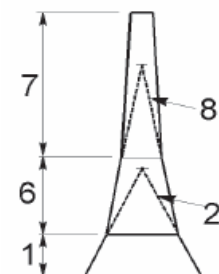
- 1 Odsječak "A"
- 2 Projekcije krakova iz panela "A"
- 3 Srednja vrijednost
- 4 Odsječak "A" kao u slučaju 1
- 5 Nalet vjetra
- 6 Odsječak "B"
- 7 Odsječak "B" kao u slučaju 2
- 8 Projekcija krakova iz odsječka "B"



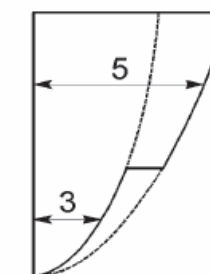
Slučaj 2



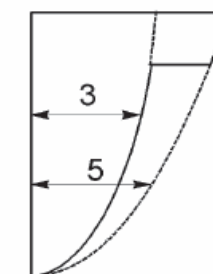
Opterećenje za odsječak "A"



Slučaj 3



Opterećenja za odsječak "A":



Opterećenja za odsječak "B":

Opterećenje 1: ———
Opterećenje 2: - - - - -

TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR REŠETKASTIH TORNJEVA NA DJELOVANJE VJETRA

□ Opterećenje na kabele i zatege pridržane tornjem

- Maksimalno opterećenje vjetra na kabele i zatege u smjeru djelovanja vjetra, $F_{c/Gw}(z)$:

$$F_{c/Gw} = \frac{q_p(z)}{1 + 7 \cdot I_v(z)} \sum c_{f,G} \cdot A_G \left[1 + \frac{[1 + 7 \cdot I_v(z)] c_s c_d - 1}{c_o(z)} \right]$$

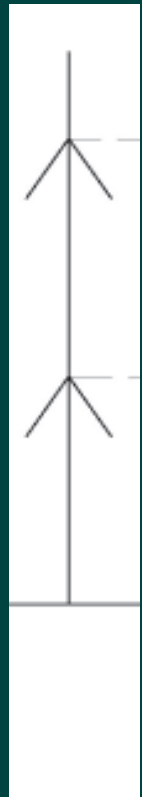
- $q_p(z)$ vršni pritisak vjetra na efektivnoj visini kabela, z metara iznad razine tla (1991-1-4)
- $\sum c_{f,G}$ ukupni koeficijent vjetrovnog opterećenja na zategu/kabel u smjeru djelovanja vjetra

TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR JARBOLA PRIDRŽANIH ZATEGAMA

□ Kriteriji za statičku metodu

- općenito se postupci statičke analize mogu primijeniti za određivanje reznih sila u jarbolu
- kod projektiranja značajnijih jarbola, čije bi otkazivanje imalo velike ekonomske posljedice, potrebno je provesti postupke provjere na dinamički odgovor, ako je to zatraženo projektnim specifikacijama
- postupci statičke analize se mogu primijeniti ako su zadovoljeni sljedeći kriteriji
 1. svaka konzola iznad razine gornje zatege ima ukupnu duljinu manju od polovine razmaka između prethodnih i gornjih zatega
 2. parametar β_s je manji od 1
 3. parametar Q je manji od 1
- ako niti jedan od gornja 3 kriterija nije zadovoljen, potrebno je provesti spektralnu analitičku metodu.



TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR JARBOLA PRIDRŽANIH ZATEGAMA

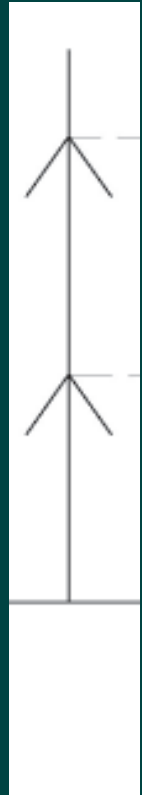
□ Kriteriji za statičku metodu

2. parametar β_s je manji od 1, pri čemu je:

$$\beta_s = \frac{4 \left(\frac{E_m I_m}{L_s^2} \right)}{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N K_{Gi} H_{Gi} \right)} < 1, \text{ sa } K_{Gi} = 0,5 N_i A_{Gi} E_{Gi} \cos^2 \alpha_{Gi} / L_{Gi}$$

- N broj razina zatega
- A_{Gi} površina popr.presjeka zatega na razini i
- E_{Gi} osni modul elastičnosti zatega na razini i
- L_{Gi} dužina zatega na razini i
- N_i broj zatega na razini i
- H_{Gi} visina i -te razine zatega iznad temelja visokih stupova;
- L_s prosječni razmak između razina zatega
- α_{Gi} nagib zatega prema horizontali na razini i

- E_m modul elastičnosti jarbola
- I_m prosječni moment tromosti jarbola



TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR JARBOLA PRIDRŽANIH ZATEGAMA

□ Kriteriji za statičku metodu

3. parametar Q je manji od 1, gdje je:

$$Q = \frac{1}{30} \sqrt[3]{\frac{HV_H}{D_o}} \sqrt{\frac{m_o}{HR}}$$

- m_o prosječna masa po duljini jarbola uključujući dodatne elemente
- D_o prosječna širina stranice jarbola (m)
- V_H prosječna brzina vjetra na vrhu jarbola (m/s)
- R prosječni pritisak vjetra (m²)
- H visina jarbola, uključujući konzolu ako postoji (m)

TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR JARBOLA PRIDRŽANIH ZATEGAMA

□ Ekvivalentne statičke metode

■ Jarbol se mora provjeriti na

- niz rasporeda statičkih opterećenja po dijelovima (*patch loadings*), temeljenih na prosječnom opterećenju vjetrom
- povećanih sa opterećenjem vjetrom po dijelovima (*patches*) da se uzme u obzir dinamički odgovor jarbola.

■ Taj postupak zahtijeva

- nekoliko statičkih analiza djelovanja vjetra
- za svaki razmatrani smjer djelovanja vjetra,
- pri čemu se rezultati kombiniraju da se dobije maksimalni odgovor konstrukcije

TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR JARBOLA PRIDRŽANIH ZATEGAMA

□ Prosječno opterećenje vjetrom

- opterećenje u smjeru djelovanja vjetra na stup, $F_{m,W}$, uslijed prosječnog djelovanja vjetra:

$$F_{m,W} = \frac{q_p(z)}{1 + 7 \cdot I_v(z)} \cdot \sum c_w(z) A$$

- $c_w(z)$ koeficijent sile vjetra na konstrukciju (i bilo koji dodatni element) u smjeru djelovanja vjetra na promatrani odsječak stupa, na visini z iznad razine tla
 - opterećenja djeluju u središtu površina strana (uključujući dodatne elemente) koje se nalaze u promatranom odsjeku
 - opterećenje okomito na zategu, F_{GW} , u ravnini koja sadrži zategu i smjer djelovanja vjetra, uslijed prosječnog opterećenja vjetrom se određuje prema:
- $$F_{GW} = \frac{q_p \cdot z}{1 + 7 \cdot I_v(z)} \cdot c_G(z) A$$
- $c_G(z)$ koeficijent sile vjetra na zategu
 - ako se primjenjuje jednoliko opterećenje, tada se $q_p(z)$ treba uzeti kao brzina vjetra na 2/3 visine priključka promatrane zatege na stup
 - utjecaji opterećenja S_m uslijed prosječnog opterećenja vjetrom trebaju se odrediti za svaki element stupa pomoću geometrijski nelinearne statičke analize uslijed prosječnih opterećenja $F_{m,W}$ i F_{GW}

TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR JARBOLA PRIDRŽANIH ZATEGAMA

□ Opterećenja po dijelovima jarbola (patch loads)

- opterećenja na dijelove jarbola se sukcesivno postavljaju prema sljedećem:
 - na svaki raspon jarbola između susjednih razina zatega (i na raspon između temelja i prve razine zatega);
 - na konzolu ako je značajno;
 - od sredine jednog do sredine drugog susjednog raspona;
 - od temelja do polovine visine prve razine zatega
 - od polovice raspona između najgornje i prethodne zatege do vrha jarbola; konzolu uključiti ako je značajna



TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR JARBOLA PRIDRŽANIH ZATEGAMA

□ Opterećenja po dijelovima jarbola (patch loads)

- opterećenje na jarbol od prosječnog vjetra određuje se prema sljedećem:

$$F_{PW} = 2 \cdot k_s \cdot \frac{q_p(z)}{1 + 7 \cdot I_v(z)} \cdot \frac{I_v(z)}{c_0(z)} \sum c_w(z) A$$

- $c_w(z)$ koeficijent sile vjetra za konstrukciju (ili bilo koji dodatni element) u smjeru djelovanja vjetra na odsječak jarbola koji se razmatra, na visini z metara iznad tla
- k_s skalirajući faktor koji uzima u obzir multi-modalni odgovor jarbola sa zategama; preporuča se vrijednost $k_s = 3,5$
- $I_v(z)$ intenzitet turbulencije koji ovisi o reljefu terena
- $c_0(z)$ koeficijent terena (reljefa) prema EN 1991-1-4.
- Napomena: *Zbog jednostavnosti mogu se koristiti jednolika opterećenja na dijelove jarbola pri čemu je z visina na vrhu odsječka za $I_v(z)$ i $q_p(z)$*

TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR JARBOLA PRIDRŽANIH ZATEGAMA

□ Opterećenja po dijelovima jarbola (patch loads)

- opterećenje na dijelove jarbola stupova treba dodati prosječnom opterećenju vjetrom
- za jarbole 50 metara visine, potrebno je razmotriti samo jedan slučaj, uzimajući u obzir anvelopu prosječnog opterećenja i opterećenja po dijelovima
- Napomene:
 - *u tim je slučajevima posmične spregove za svaki raspon potrebno proračunati za maksimalni posmik (i torziju) u tom rasponu*
 - *pojaseve i njihovi spojevi u svakom rasponu imaju se dimenzionirati na njihovo maksimalno (i minimalno) opterećenje u tom rasponu*
 - *ako jarbol stup podupire konzolu, tada je potrebno razmotriti:*
 - *(i) prosječno opterećenje i opterećenje po odsječcima na konzolu zajedno sa prosječnim opterećenjem na stup*
 - *(ii) prosječno opterećenje na konzolu zajedno sa prosječnim i opterećenjem po odsječcima na stup*

TORNJEVI I JARBOLI

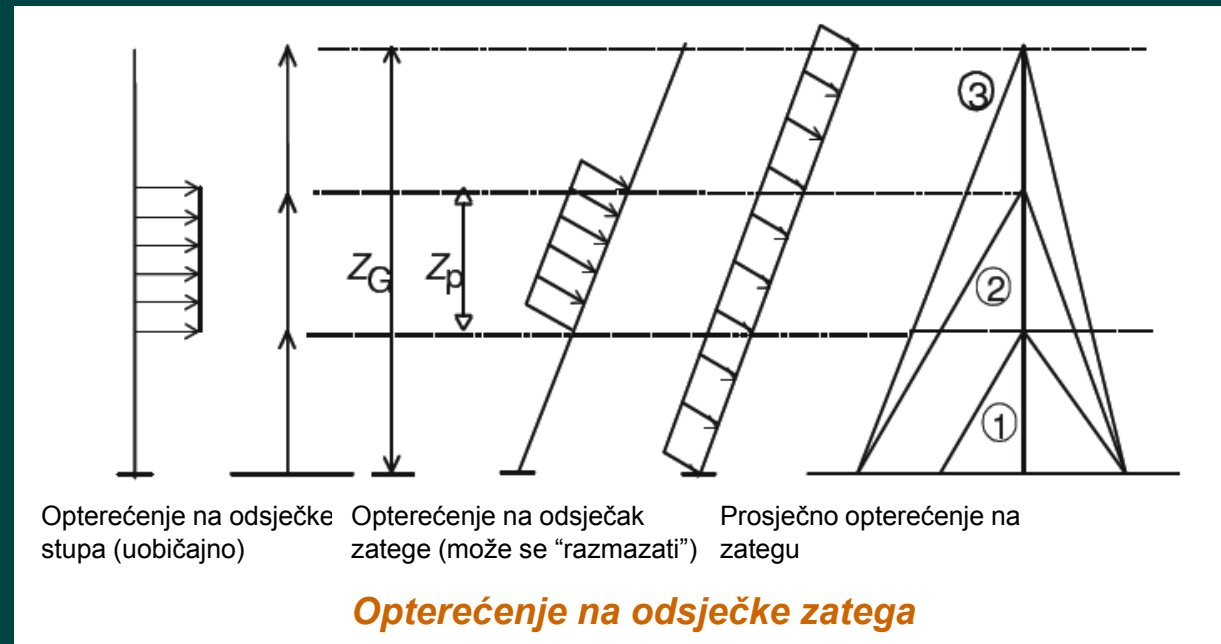
ODGOVOR JARBOLA PRIDRŽANIH ZATEGAMA

□ Opterećenja na zatege

- Za svako opterećenje na dijelove jarbola (*patch loading*), mora se zadati i *patch loading* F_{PG} - opterećenje na odsječke zatega unutar istih granica.
- Ta se opterećenja nanose okomito na svaku zategu u ravnini koja sadrži zategu i smjer djelovanja vjetra, te određuju se prema:

$$F_{PG} = 2 \cdot k_s \cdot \frac{q_p(z)}{1 + 7 \cdot \frac{I_v(z)}{c_0(z)}} \cdot \frac{I_v(z)}{c_0(z)} c_G(z) A$$

- k_s skalirajući faktor koji uzima u obzir multi-modalni odgovor jarbola sa zategama; preporuča se vrijednost $k_s = 3,5$
- $c_G(z)$ koeficijent sile vjetra okomito na zategu u ravnini koja sadrži zategu i smjer vjetra



TORNJEVI I JARBOLI

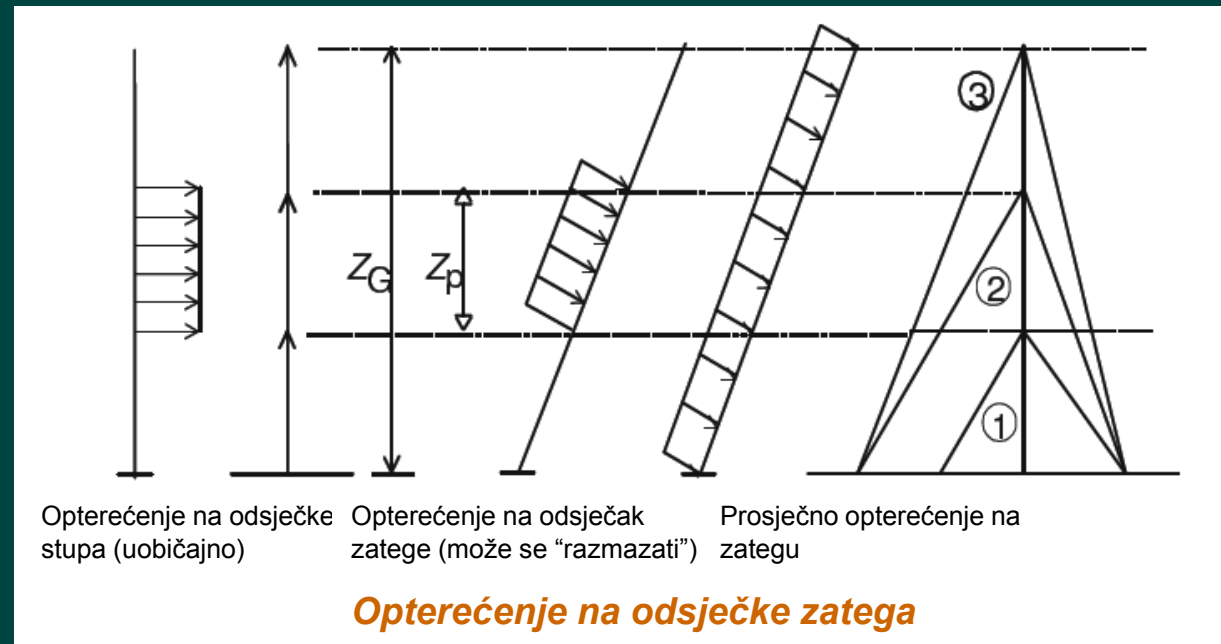
ODGOVOR JARBOLA PRIDRŽANIH ZATEGAMA

□ Opterećenja na zatege

- Zbog pojednostavnjenja, opterećenje na odsječke se može “razmazati” po ukupnoj visini promatranih zatega, množenjem opterećenja vjetrom, F_{PG} , sa omjerom

$$z_p/z_g$$

- z_p “visina” odsječka zatega
- z_g visina do priključka zatega na jarbol



TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR JARBOLA PRIDRŽANIH ZATEGAMA

□ Proračun odgovora konstrukcije za opterećenje po dijelovima (patch loading)

- Potrebno je proračunati utjecaj opterećenja u svakom elementu jarbola i zatega, S_{PLi} , izveden od svakog opterećenja na odsječke koji se nanose u nizu.
- To se radi računanjem razlike između
 - utjecaja od opterećenja na odsječke kombiniranog sa prosječnim opterećenjem i
 - utjecaja samo prosječnog opterećenja.
- Ti se utjecaji zatim kombiniraju kao korijen sume kvadrata:

$$S_P = \sqrt{\sum_{i=1}^N S_{PLi}^2}$$

- S_{PLi} utjecaj opterećenja (odgovor) od i-tog opterećenja u nizu;
- N ukupni broj potrebnih rasporeda opterećenja;
- S_P ukupni efektivni utjecaj od opterećenja na odsječke

TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR JARBOLA PRIDRŽANIH ZATEGAMA

□ *Ukupni utjecaji opterećenja*

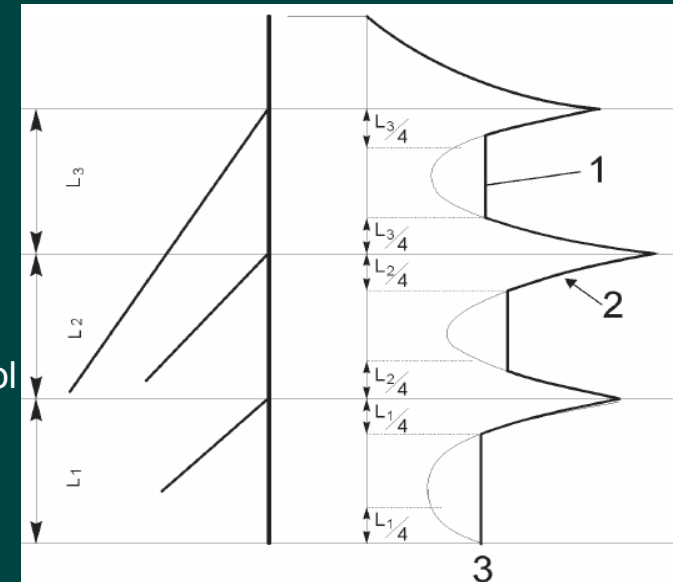
1. Ukupni utjecaji opterećenja za svaki element stupa visokih stupova, S_{TM} , se određuju prema:

$$S_{TM} = S_M \pm S_p$$

- S_M utjecaj opterećenja od prosječnog opterećenja vjetrom
- S_p fluktuirajući utjecaj od opterećenja na odsječke, sa predznakom koji daje najveći utjecaj

2. Kod proračuna ukupne sile u posmičnom spregu za svaki raspon jarbola sukladno prethodnoj točki 1, potrebno je

- minimalnu vrijednost unutar raspona uzeti kao najveću izračunatu na udaljenosti od 1/4 raspona
 - od ili susjedne razine priključka zatega na jarbol
 - ili od temelja.
- U skladu s tim, “raspon” se odnosi na razmak
 - između susjednih razina zatega ili
 - između baze stupa i najniže razine zatega.

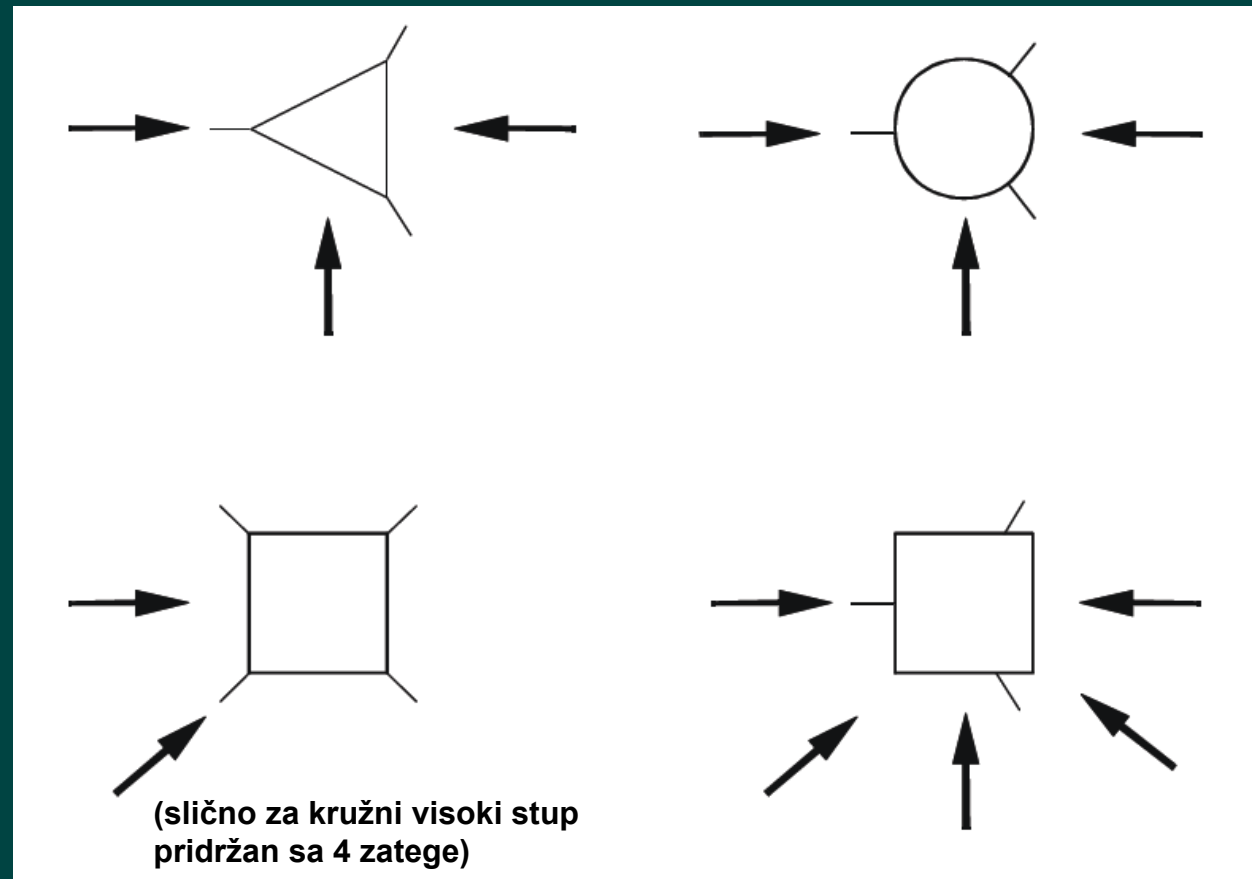


- 1 Minimalna vrijednost koja se koristi u tom rasponu
- 2 Anvelopa sila u ukrutnim elementima od opterećenja na odsječke
- 3 Sila u posmičnim ukrutama

TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR JARBOLA PRIDRŽANIH ZATEGAMA

- Smjerovi djelovanja vjetra koje je potrebno uzeti u obzir



TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR JARBOLA PRIDRŽANIH ZATEGAMA

□ Vibracije zatega

- Zatega jarbola potrebno je provjeriti na visoko frekventne vibracije uzrokovane
 - *vtložnom pobudom* ili
 - *na galopiranje zatega*,
osobito kad su zategi zaleđene.
- Ako se vibracije uoče, potrebno je instalirati prigušivače i stabilizatore.
- Provjeru zamora sidara mora se provesti ako je poznato da su nastupile takve vibracije i ako nisu provedene nikakve mjere za popravak

TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR JARBOLA PRIDRŽANIH ZATEGAMA

□ Vibracije zatega

■ a) *Vrtložna pobuda*

- Zatege mogu biti pod utjecajem rezonantnih vibracija niskih amplituda kod malih brzina vjetra uzrokovanih vrtložnom pobudom visokih frekvencija.
- Kako se pobuda može pojaviti kod visokih tonova, općenita pravila ne postoje.
- Međutim, iskustvo pokazuje da se takve vibracije vrlo vjerojatno javljaju ako vlačna naprezanja u zategama kod mirnih uvjeta prelaze 10% njihove sile sloma.



TORNJEVI I JARBOLI

ODGOVOR JARBOLA PRIDRŽANIH ZATEGAMA

□ Vibracije zatega

■ **b) Galopiranje** (uključujući kišom izazvane vibracije)

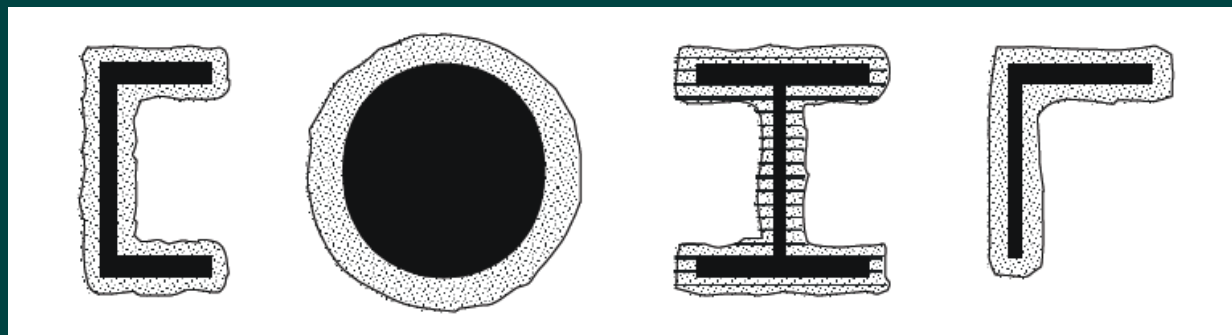
- Zatege mogu biti izložene galopirajućoj pobudi ako su obložene ledom ili gustim mazivom.
- Nakupine leda ili masti mogu izazvati aerodinamične oblike koje uzrokuju odižuće (*lift*) i pritisne (*drag*) nestabilnosti, što rezultira vibracijama niskih frekvencija i velikih amplituda.
- Slične vibracije mogu se pojaviti ako pada kiša.
- Opća pravila ne mogu se dati, jer pojava galopiranja bitno ovisi o naslagama leda ili profila maziva.
- Općenito će se pojaviti samo na zategama većih promjera i relativno su neosjetljive na početne vlačne sile zatega.

TORNJEVI I JARBOLI

OPTEREĆENJE LEDOM I KOMBINACIJE LEDA I VJETRA

□ Težina leda

- kod procjene težine leda na rešetkasti toranj ili stup visokih stupova, može se pretpostaviti
 - da su svi konstrukcijski elementi, dijelovi ljestvi, dodatni elementi itd. prekriveni ledom jednake debljine preko cijele površine elementa.



- ako su razmaci između elemenata mali (manji od 75 mm), može se pretpostaviti da su ispunjeni ledom

TORNJEVI I JARBOLI

OPTEREĆENJE LEDOM I KOMBINACIJE LEDA I VJETRA

□ Kombinacije leda i vjetra

- Potrebno je razmotriti dvije kombinacije vjetra i leda
 - i za simetrično i nesimetrično zaleđivanje:

- za dominantni led i prateći vjetar:

$$\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{\text{led}} \cdot Q_{k,\text{led}} + \gamma_W \cdot k \cdot \psi_w \cdot Q_{k,w}$$

- za dominantni vjetar i prateći led:

$$\gamma_G \cdot G_k + \gamma_W \cdot k \cdot Q_{k,w} + \gamma_{\text{led}} \cdot \psi_{\text{led}} \cdot Q_{k,\text{led}}$$

$\psi_w=0,5$; $\psi_{\text{led}}=0,5$; parcijalni koefic. slajd 12; k ovisi o razredu leda (ISO 12494)

TORNJEVI I JARBOLI

PRIGUŠIVAČI ZATEGA

- Kako bi se suzbile moguće vibracije koje se mogu pojaviti u zategama uslijed vjetra, potrebno je provesti jedan od sljedećih postupaka:
 - Montaža prigušivača na zatege u svim slučajevima kad je početni vlak veći od 10 % utvrđene čvrstoće pucanja zatege.
 - Gdje prigušivači nisu instalirani, zatege se moraju pregledavati tijekom prve godine korištenja da se osigura da nema pojave pretjeranih frekvencija i/ili amplituda vibracija. U protivnom je potrebna montaža prigušivača.
- Prigušivači za smanjivanje vrtložnih uzbuda i spriječavanje galopiranja
 - u svim slučajevima velikih vibracija uslijed vrtložnih uzbuda, potrebna je montaža prigušivača, s odgovarajućim tehničkim specifikacijama
 - Djelomična kontrola galopiranja i vibracija izazvanih kišom/vjetrom se može postići montažom užadi između zatega, koji povezuje točke maksimalnih amplituda dviju ili više zatega. Spojevi tih užadi na zatege moraju se provjeriti za jake brzine vjetra.
 - Viseći lanci se također mogu primijeniti za kontrolu galopiranja, ako djeluju na odgovarajućem rasponu frekvencija.

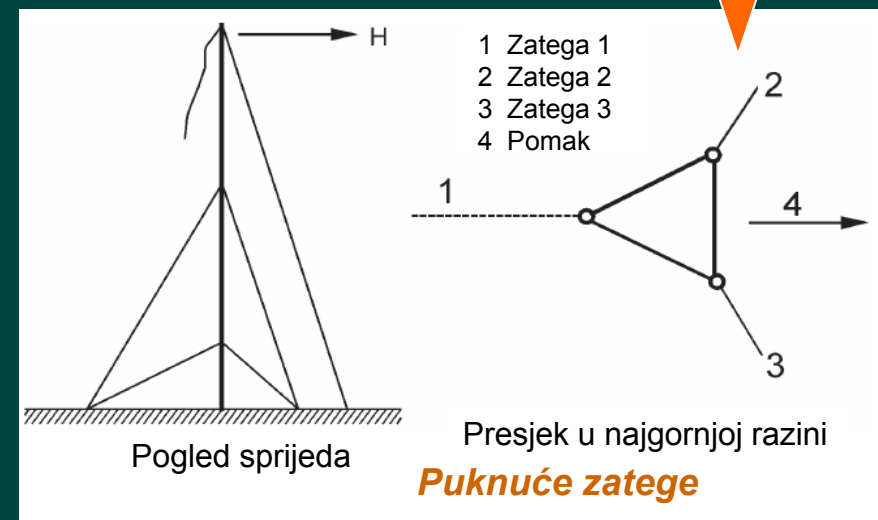


TORNJEVI I JARBOLI

LOM ZATEGE

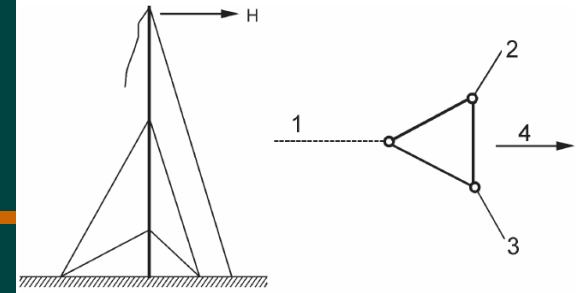
□ Pojednostavnjeni analitički postupak

- uslijed loma (puknuća) zatege kod jarbola, pretpostavlja se da su
 - dinamički utjecaji jednaki statičkoj sili
 - koja djeluje na stup u razini grupe zatege kod kojih se dogodilo puknuće
- za proračun ekvivalentne statičke sile $F_{h,dyn,Sd}$, pretpostavlja se sljedeće:
 - lom je jednostavan prerez kroz zategu - elastična energija zatege 1 prije loma se zanemaruje
 - prigušenje se ne uzima u obzir
 - opterećenje vjetrom se kod određivanja ekvivalentne sile zanemaruje



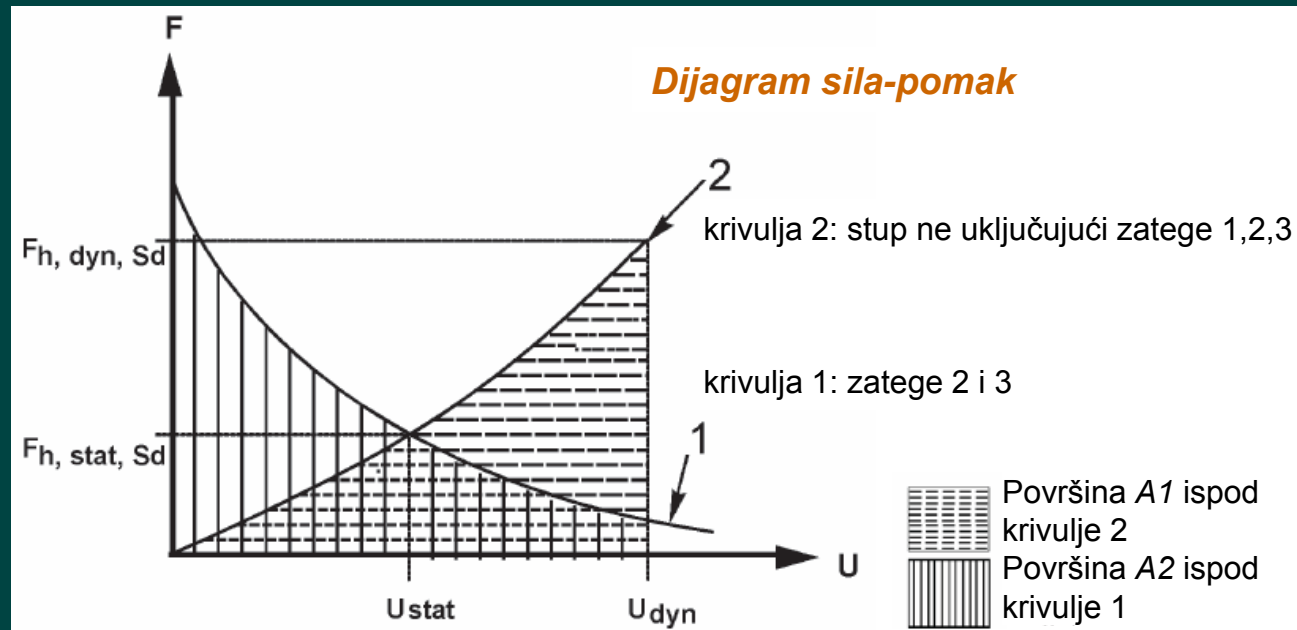
TORNJEVI I JARBOLI

LOM ZATEGE



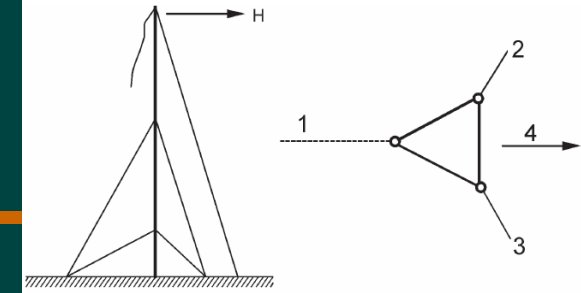
□ Pojednostavnjeni analitički postupak

- Za zadani pomak u zatege 2 i 3 djeluju na tijelo tornja sa silom $F_{h,Sd}$.
- Odnos je prikazan kao krivulja 1. Sila $F_{h,Sd}$ pada sa porastom pomaka uslijed otpuštanja zatege.
- Za konstrukcijski sustav tornja, osim za skup zatega na promatranoj razini, odnos između napadne horizontalne sile i pomaka čvora prikazan je kao krivulja 2.
- U sjecištu krivulja 1 i 2 dvije sile su jednake, tj. uspostavljena je statička ravnoteža. Sila koja djeluje na čvor je $F_{h,stat,Sd}$.



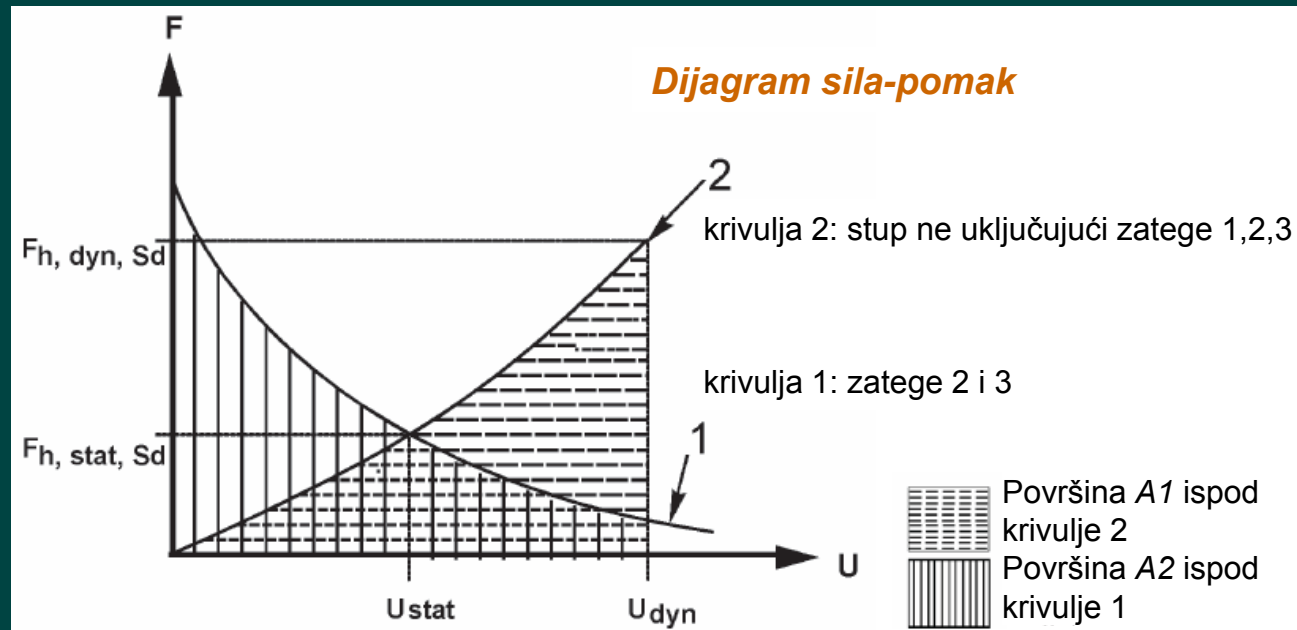
TORNJEVI I JARBOLI

LOM ZATEGE



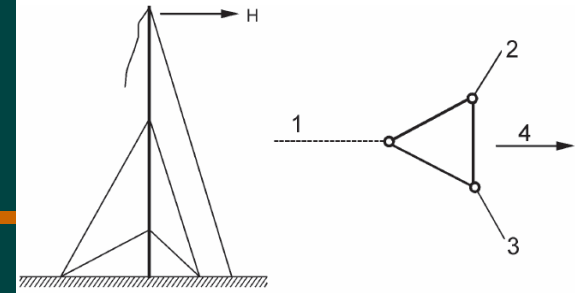
□ Pojednostavnjeni analitički postupak

- U trenutku puknuća u zategama 2 i 3 spremljena je energija. Kada se stup počinje horizontalno pomicati ta energija će se djelomično transformirati u kinetičku energiju.
- Za maksimalni pomak kinetička energija će biti jednaka nuli, jer se izgubljena energija u zategama 2 i 3 premjestila na stup kao elastična deformacijska energija u tijelu stupa i zategama. Prigušenje nije uzeto u obzir.
- Energija izgubljena u zategama 2 i 3 mora se uzeti jednaka površini **A2** ispod krivulje **1** na slici.
- Pomak koji nastaje kad su dvije površine **A1** i **A2** jednake uzima se kao dinamički pomak u_{dyn} .
- Dinamička sila $F_{h,dyn,Sd}$ odgovara tom dinamičkom pomaku.



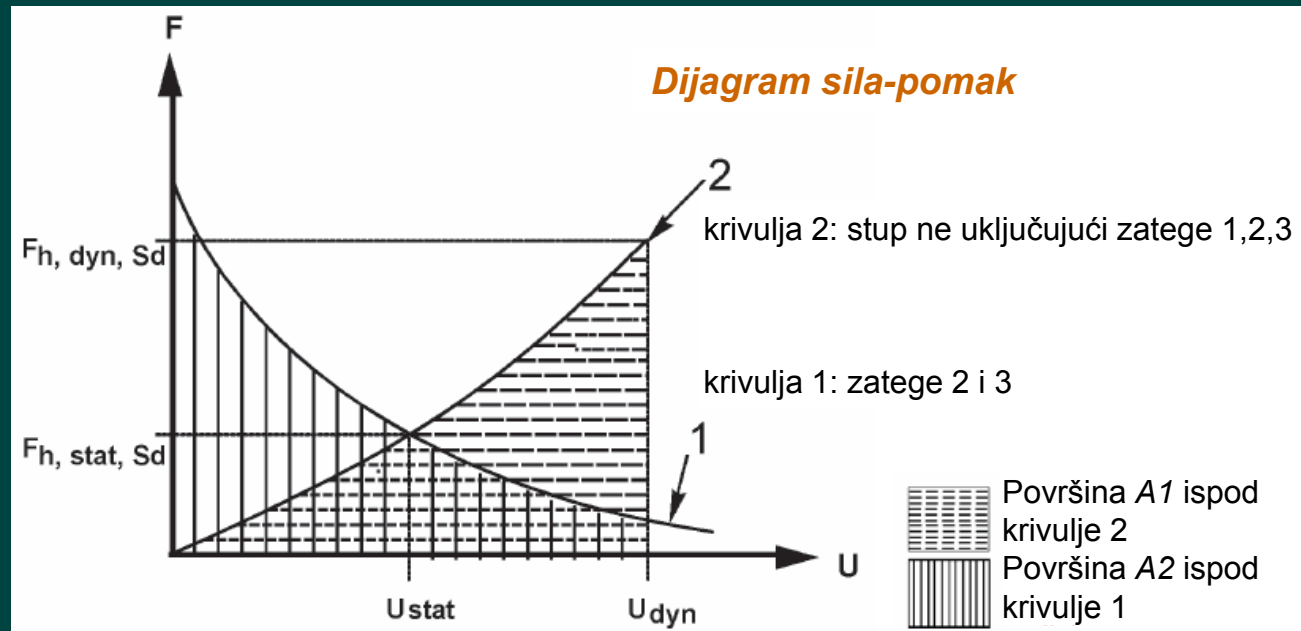
TORNJEVI I JARBOLI

LOM ZATEGE



□ Pojednostavnjeni analitički postupak

- Dinamički faktor Φ može se odrediti kao: $\Phi = F_{h,dyn,Sd} / F_{h,stat,Sd}$
- Ovaj postupak za proračun jarbola upravo nakon mogućeg loma zatege vrijedi za stup pridržan zategama u 3 smjera.
- Za stupove pridržane zategama u 4 (ili više) smjerova imaju se primijeniti slični postupci temeljeni na jednakim načelima.
- Ako se projektant, korisnik i nadležna institucija slože, navedena dinamička sila uslijed loma zatege ne mora se kombinirati sa meteorološkim opterećenjima.



TORNJEVI I JARBOLI

LOM ZATEGE

□ Konzervativna metoda

- horizontalna komponenta sile u zatezi prije loma se koristi kao
 - dodatna sila koja djeluje na jarbol (stup) bez pukle zatege
- rezultirajuće sile u zategama moraju se povećati s faktorom 1,3
 - u slučaju stupa s dvije razine zatega
 - ili ako se razmatra lom gornje zatega

□ Proračun poslije loma zatega

- Jarbol (stup) bez pukle zatega mora izdržati reducirano opterećenje vjetrom,
 - koje djeluje kao statičko opterećenje,
 - bez opterećenja vjetra po odsječcima (*patch wind loading*).
- Reducirano opterećenje vjetrom se uzima kao
 - 50 % vrijednost karakterističnog prosječnog opterećenja vjetrom,
 - koji djeluje u najnepovoljnijem smjeru.

TORNJEVI I JARBOLI

IZVEDBA

□ Vijčani spojevi

- svi vijčani spojevi kod tornjeva i jarbola sa zategama moraju biti tako izvedeni
 - da se spriječi otpuštanje matica tijekom korištenja
- rupe vijaka trebaju biti bušene,
 - ako se utjecaj zamora ne može zanemariti

□ Prednapinjanje zatega

- Prednapinjanje zatega mora se provesti ciklički:
 - do ukupne sile od 10% do 50% vrijednosti sile loma
 - Broj ciklusa ne bi trebao biti manji od 10.

TORNJEVI I JARBOLI

IZVEDBA

□ Dopušteno odstupanje tijekom gradnje – Stupovi pridržani zategama

- Konačno postavljanje i napinjanje zatega se provodi od najniže razine zatega prema gornjim. Preporučuju se sljedeće vrijednosti dopuštenih odstupanja:

1. Konačni položaj središnje osi stupa nalazi se

- unutar vertikalnog stošca s vrhom u bazi visokih stupova i s radijusom od $1/1500$ visine iznad baze stupa.

2. A) Rezultirajuća horizontalna komponenta početnih vlačnih sila u svim zategama

- na promatranoj razini ne smije prijeći 5% prosječne horizontalne komponente početne vlačne sile u zategi na toj razini.

2. B) Početna vlačna sila u bilo kojoj zasebnoj zatezi

- na promatranoj razini ne smije varirati više od 10% od projektne vrijednosti.

3. Maksimalni početni pomak stupa

- visokih stupova između dvije razine zatega iznosi $L/1000$,
- gdje je L razmak između promatranih razina,

4. odstupanje od poravnjanja triju uzastopnih priključaka zatega na stup,

- poslije izvedbe, je ograničeno na $(L1+L2)/2000$,
- gdje su $L1$ i $L2$ duljine dva uzastopna raspona na stupu

TORNJEVI I JARBOLI

IZVIJANJE ELEMENATA VISOKIH STUPOVA I TORNJEVA

□ Otpornost na izvijanje tlačnih elemenata

1. proračunska otpornost na izvijanje tlačnih elemenata u rešetkastom tornju ili visokom stupu se određuje prema:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

- za klase 1,2 i 3 poprečnih presjeka

- za klasu 4 poprečnih presjeka

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

2. Za elemente s konstantnim poprečnim presjekom pod konstantnim tlačnim opterećenjem faktor redukcije χ i faktor ϕ za definiranje χ se određuju pomoću efektivnog omjera vitkosti $\bar{\lambda}_{eff}$ umjesto λ . Efektivni omjer vitkosti se definira kao:

$$\bar{\lambda}_{eff} = k \cdot \bar{\lambda}$$

- k koeficijent efektivne vitkosti
- λ_1 je definiran u EN 1993-1-1
- λ vitkost odgovarajućeg oblika izvijanja

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

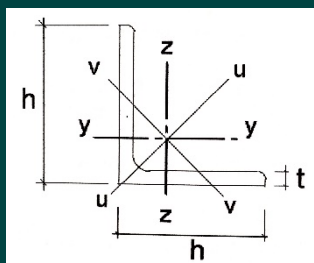
3. za pojedinačne kutnike koji nisu kruto vezani na oba kraja (barem sa 2 vijka, ako se radi o vijčanoj vezi), proračunska otpornost na izvijanje definirana u (1) ima se smanjiti s koeficijentom redukcije η .

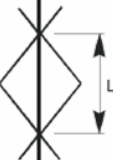
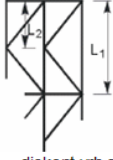
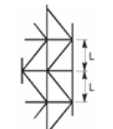
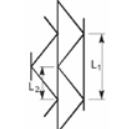
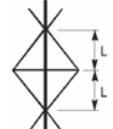
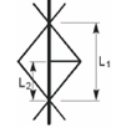
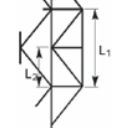
- $\eta = 0,8$ za pojedinačne kutnike spojene sa po jednim vijkom na svakom kraju
- $\eta = 0,9$ za pojedinačne kutnike spojene sa po jednim vijkom na jednom kraju te kontinuirano ili kruto na drugom kraju

TORNJEVI I JARBOLI

IZVIJANJE ELEMENATA VISOKIH STUPOVA I TORNJEVA

□ Koeficijent efektivne vitkosti k za elemente pojaseva (nogu)



Simetrični spregovi			Nesimetrični spregovi			
Odsječak	 ⁽³⁾		Odsječak	 ⁽³⁾		
Os	v-v	y-y	Os	v-v	y-y	y-y
 Slučaj (a) Primarni spregovi na oba kraja	$0,8 + \frac{\bar{\lambda}}{10}$ ali $\geq 0,9$ i $\leq 1,0$	1,0 ⁽¹⁾	 diskont.vrh s horizontalama	$1,2 \left(0,8 + \frac{\bar{\lambda}}{10} \right)$ ali $\geq 1,08$ i $\leq 1,2$ na L_2 ⁽²⁾	$1,2 \left(0,8 + \frac{\bar{\lambda}}{10} \right)$ ali $\geq 1,08$ i $\leq 1,2$ na L_1	1,0 na L_1 ⁽¹⁾
 asimetrično	$0,8 + \frac{\bar{\lambda}}{10}$	1,0 ⁽¹⁾	 Slučaj (d) Primarne ukrute na oba kraja	$0,8 + \frac{\bar{\lambda}}{10}$	$0,8 + \frac{\bar{\lambda}}{10}$	1,0 na L_1 ⁽¹⁾
 simetrično			 Slučaj (e) Primarne ukrute na oba kraja			
 Slučaj (c) Sekund. savijanje na oba kraja	$0,8 + \frac{\bar{\lambda}}{10}$ ali $\geq 0,9$ i $\leq 1,0$	1,0 ⁽¹⁾		ali $\geq 0,9$ i $\leq 1,0$ na L_2 ⁽²⁾	ali $\geq 0,9$ i $\leq 1,0$ na L_1	

Napomena 1: Redukcij.faktor može biti opravdan analizom

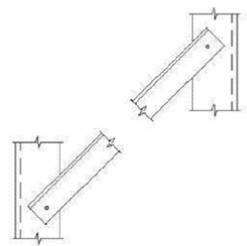
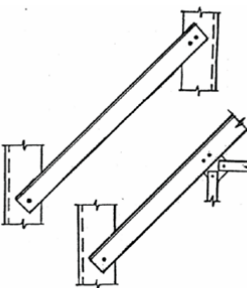
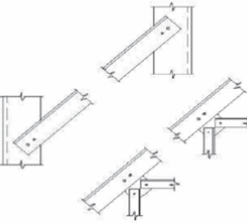
Napomena 2: Kritično samo ako se koriste vrlo nejednaki kutnici

Napomena 3: Navedene vrijednosti vrijede samo za kuteve od 90 °

TORNJEVI I JARBOLI

IZVIJANJE ELEMENATA VISOKIH STUPOVA I TORNJEVA

□ Koeficijent efektivne vitkosti k za elemente spregova

Vrsta ograničenja	Primjeri	Os	K
Diskontinuirana oba kraja (npr. po jedan vijak na oba kraja elementa)		v-v	$0,7 + \frac{0,35}{\lambda_v}$
		y-y	$0,7 + \frac{0,58}{\lambda_y}$
		z-z	$0,7 + \frac{0,58}{\lambda_z}$
Kontinuirani jedan kraj (npr. jedan vijak na jednom kraju te ili dva vijka ili kontinuirana veza na drugom kraju elementa)		v-v	$0,7 + \frac{0,35}{\lambda_v}$
		y-y	$0,7 + \frac{0,40}{\lambda_y}$
		z-z	$0,7 + \frac{0,40}{\lambda_z}$
Kontinuirana oba kraja (npr. po dva vijka na oba kraja, po dva vijka na jednom kraju te kontinuirana veza na drugom, ili kontinuirana veza na oba kraja)		v-v	$0,7 + \frac{0,35}{\lambda_v}$
		y-y	$0,7 + \frac{0,40}{\lambda_y}$
		z-z	$0,7 + \frac{0,40}{\lambda_z}$

Napomena 1:
Detalji su prikazani ilustrativno.

Napomena 2:
Detalji su prikazani za veze na kutnike.
Faktor K vrijedi i za veze na cijevne ili pune kružne pojaseve (noge) preko zavarenih čvornih ploča.

TORNJEVI I JARBOLI

IZVIJANJE ELEMENATA VISOKIH STUPOVA I TORNJEVA

- Koeficijent efektivne vitkosti k za elemente **spregova**
 - U slučaju horizontalnih elemenata K spregova koji imaju tlačno naprezanje na jednoj polovini svoje duljine i vlačno naprezanja na drugoj polovini, koeficijent efektivne vitkosti k za izvijanje poprečno na ravninu, množi se sa faktorom k_1 koji ovisi o odnosu vlačne sile N_t , prema tlačnoj sili N_c .

Omjer $\frac{N_t}{N_c}$	Modif.faktor, k_1
0,0	0,73
0,2	0,67
0,4	0,62
0,6	0,57
0,8	0,53
1,0	0,50
Vrijednost 1,0 se primijenjuje kada je omjer N_t/N_c negativan (npr. kada su oba elementa u tlaku)	

TORNJEVI I JARBOLI

IZVIJANJE ELEMENATA VISOKIH STUPOVA I TORNJEVA

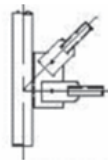
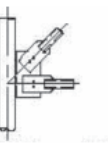
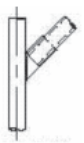
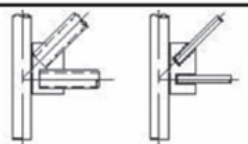
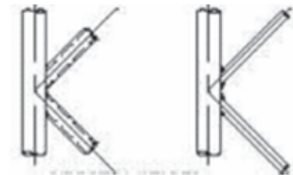
□ Koeficijent efektivne vitkosti k za **ukrutne elemente**

Napomena 2:
Redukcija samo za stvarnu duljinu, ali ne manje od razmaka između krajnjih vijaka

Napomena 3:
Gdje krajevi nisu isti koristi se prosječna "K" vrijednost

Napomena 4:
Gornji detalji su prikazani amo ilustrativno

Napomena 5:
Gornje vrijednosti su za elemente spregova (ispune) s jednakim priključkom na oba kraja

Pojaasevi (moge) od cijevi ili šipki	Vrsta	Os	$K^{(3)(5)}$
	 cijev s jednim vijkom	u ravnini	0,95 ⁽²⁾
		izvan ravnine	0,95 ⁽²⁾
	 cijev s 2 vijka	u ravnini	0,85
		izvan ravnine	0,95 ⁽²⁾
	 zavarene cijevi s krajnjim pločama	u ravnini	0,85
		izvan ravnine	0,95 ⁽²⁾
	 zavarene cijevi i šipke s čvornim elem.	u ravnini	0,70
		izvan ravnine	0,85
	 direktno zavarene cijevi i šipke	u ravnini	0,70
		izvan ravnine	0,70
	 zavarene savinute šipke	u ravnini	0,85
		izvan ravnine	0,85

TORNJEVI I JARBOLI

IZVIJANJE ELEMENATA VISOKIH STUPOVA I TORNJEVA

□ Vitkost

- elemenata pojaseva (nogu), općenito ne bi trebala biti veća od 120.
- elemenata ispune λ , se određuje prema:

- za kutnike

$$\lambda = \frac{L_{di}}{i_{vv}}$$

- za cijevne profile

$$\lambda = \frac{L_{di}}{i_{yy}}$$

Tipični primarni uzorci					
paralelni ili s postepenim sužavanjem		obično s postepenim sužavanjem		obično s paralelni	
I Jednostr.rešetka $L_{d1}=L_d$		I Križna ispuna $L_{d1}=L_{d2}$		V spreg s višestrukom rešetkom	VI Vlačni spreg
Tipični oblici sekundarne ispune (spregova)					
I A	II A Križna ispuna $L_{d1}=L_{d1}$	III A K-spreg $L_{d1}=L_{d1}$ $L_{d1}=L_{d2}$ kod pravok.osi	IV A Križna ispuna sa sekundarnim elementima $L_{d1}=L_{d1}$	Napomena: Vlačni elementi u uzorku V su proračunati da preuzimaju ukupni posmik u vlaku;npr.	
				 ili 	

ČELIČNI DIMNJACI

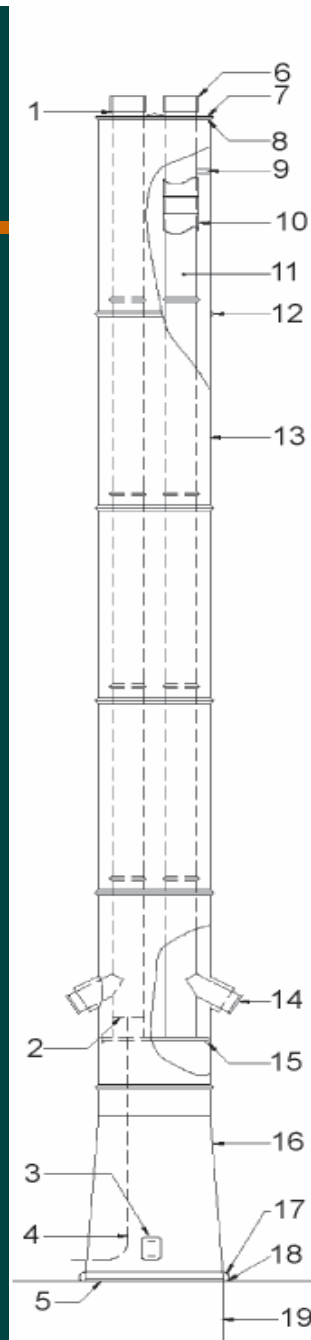
SADRŽAJ PREDAVANJA (2.dio)

- Dimnjaci (EN 1993-3-2)
 - Osnovni pojmovi
 - Trajnost
 - Proračun konstrukcije
 - Granično stanje uporabljivosti
 - Podjela prema pouzdanosti
 - Parcijalni koeficijenti za djelovanja
 - Arodinamičke mjere i mjere za prigušenje vibracija
 - Izvedba

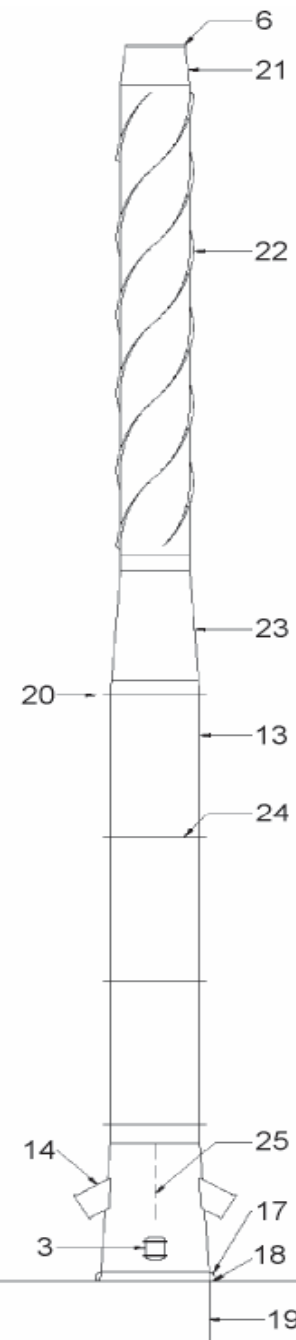
ČELIČNI DIMNJACI

OSNOVNI POJMOVI

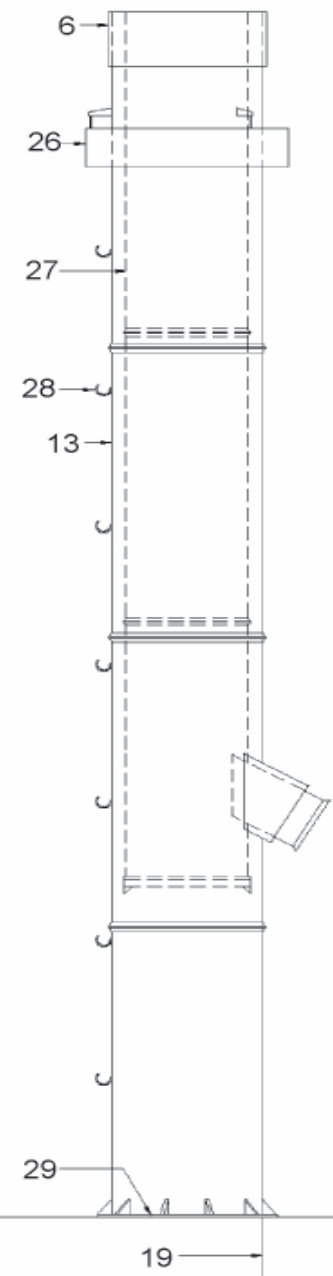
- 1 Traka
- 2 Slivnik
- 3 Pristupna vrata
- 4 Odvodna cijev
- 5 Baza ili ležajna ploča
- 6 Poklopac ispusta
- 7 Pokrovna ploča
- 8 Kut
- 9 Bočni podupirači
- 10 Izolacija mineralnom vunom
- 11 Cijevi
- 12 Povezujuća lamela
- 13 Nosiva ljuska
- 14 Ulazna cijev
- 15 Linearna osnovica
- 16 Bazni konus
- 17 Tlačni prsten
- 18 Bazna stolica
- 19 Sidreni vijci
- 20 Mogući ukrutni prsten
- 21 Gornji konus
- 22 Spiralni aerodinamični stabilizatori
- 23 Srednji konus
- 24 Povezujuća lamela
- 25 Vezna ploča
- 26 Uređaj za prigušivanje
- 27 Cijev
- 28 Pristupne kuke
- 29 Bazna ploča



*Dimnjak s više
dimnih kanala*



*Dimnjak s
jednim zidom*



*Dimnjak s dvo-
strukim zidom*

ČELIČNI DIMNJACI

TRAJNOST

▣ Dodatak na debljinu za koroziju izvana

Sustav zaštite	Period izlaganja	
	Prvih 10 godina	Svaki dodatni period od 10 godina
Obojani karbonski čelik (bez planiranog plana ponovnog bojanja)	0	1 mm
Obojani karbonski čelik (s planiranim planom ponovnog bojanja)	0	0 mm
Obojani karbonski čelik zaštićen izolacijom i vodootpornom oblogom	0	1 mm
Nezaštićeni karbonski čelik	1,5 mm	1 mm
Nezaštićeni "weathering" čelik	0,5 mm	1 mm
Nezaštićeni nehrđajući čelik	0	0,3 mm
Nezaštićena unutrašnja površina nosive ljuske i nezaštićena vanjska površina cijevi u dimnjacima s više cijevi (za karbonski i "weathering" čelik)	0,2 mm	0,1 mm

ČELIČNI DIMNJACI

PRORAČUN KONSTRUKCIJE

□ Proračun unutarnjih sila - Analiza nosive ljuske

■ Za neukružene vertikalne cilindrične ljuske

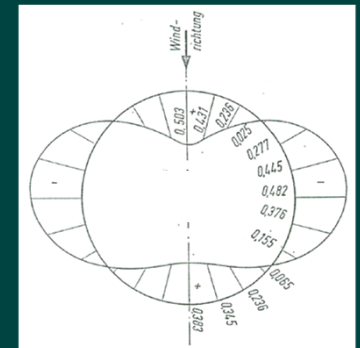
(EN 1993 -1-6)

- membranska naprezanja od vanjskih djelovanja se mogu odrediti prema mebranskoj teoriji,
- pri čemu se cilindar promatra kao globalna greda sa zanemarivanjem utjecaja savijanja ljuske,
- osim prstenastih momenata savijanja uslijed nejednolike raspodjele pritiska vjetra uzduž opsega

■ Napomene: *Preporučeni kriterij za zanemarivanje efekata ljuske:*

- l ukupna visina
- r_m srednji radijus ljuske
- t debljina korodirane ploče

$$l / r_m \geq 0,14 \cdot r_m / t + 10$$



■ Prstenasti momenti savijanja na jedinicu duljine se mogu približno definirati kao:

- w_e opterećenje vjetrom, koji djeluje na vanjsku površinu konstrukcije (5.1 EN 1991-4; z visina dimnjaka)

$$m_y = 0,5 \cdot r_m^2 \cdot w_e$$

■ Napomene: *Prstenasti momenti savijanja uslijed opterećenja vjetrom se mogu zanemariti u neukrućenim cilindričnim ljuskama ako je:*

$$r_m / t \leq 160$$

ČELIČNI DIMNJACI

PRORAČUN KONSTRUKCIJE

□ Proračun unutarnjih sila - Analiza nosive ljuske

■ Za cilindrične ljuske s ukrutnim prstenovima

ili za sklopove od cilindričnih i konusnih, prstenovima ukrućenih ljuski,

- membranska naprezanja se mogu, neovisno o odnosima l/r_m i r_m/t , odrediti prema membranskoj teoriji pri čemu se konstrukcija tretira kao globalna greda.
- Utjecaji savijanja ljuske se mogu zanemariti, ako su ispunjeni sljedeći uvjeti:
 - ukrutni prstenovi za preuzimanje pritiska vjetra su proračunati za prstenaste (obodne) momente savijanja
 - ukrutni prstenovi na prijelazima između cilindara i konusa su proračunati za ravnotežne sile koje su rezultat promjene smjera meridijanskih membranskih sila

ČELIČNI DIMNJACI

PRORAČUN KONSTRUKCIJE

▣ Proračun unutarnjih sila - Imperfekcije

- horizontalne imperfekcije samostojećih konzolnih dimnjaka se uzimaju pretpostavkom bočnog pomaka , Δ u [m], na vrhu u odnosu na vertikalu:

$$\Delta = \frac{h}{500} \cdot \sqrt{1 + \frac{50}{h}}$$

- ▣ h ukupna visina dimnjaka u [m]

ČELIČNI DIMNJACI

PRORAČUN KONSTRUKCIJE

□ Proračun unutarnjih sila – Globalna analiza

- Kada se nosiva ljska promatra kao greda, može se proračunati prema globalnoj teoriji prvog reda ako je:

$$\frac{N_b}{N_{crit}} \leq 0,10$$

- N_b je proračunska vrijednost ukupnog vertikalnog opterećenja u podnožju ljske
 - N_{crit} elastična kritična vrijednost za slom u podnožju ljske
-
- Kada se nosiva ljska računa kao greda, a mora se primijeniti globalna teorija drugog reda, momenti savijanja drugog reda M'_b se mogu približno odrediti iz momenata savijanja prvog reda M_b , prema:

$$M'_b = M_b \cdot \left(1 + \frac{\eta^2}{8} \right), \text{ sa } \eta = h \cdot \sqrt{\frac{N_b}{EI}}$$

- h ukupna visina ljske
- EI fleksijska krutost u podnožju ljske

ČELIČNI DIMNJACI

GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI

□ Pomaci i amplitude vibracija:

- maksimalna vrijednost pomaka, $\delta_{\max}$,
uslijed karakteristične vrijednosti opterećenja vjetrom,
u smjeru djelovanja vjetra na vrhu samostojećeg dimnjaka,
mora biti ograničena te se preporuča sljedeća vrijednost:

□ h ukupna visina dimnjaka.

$$\delta_{\max} = h/50$$

- maksimalna vrijednost amplituda vibracija
na vrhu samostojećeg dimnjaka
uslijed vrtložne pobude mora biti ograničena

Razred pouzdanosti	Ograničenja amplitude uslijed vibracija	
3	0,05	vanjskog promjera
2	0,10	vanjskog promjera
1	0,15	vanjskog promjera

ČELIČNI DIMNJACI

PODJELA PREMA POUZDANOSTI

Razred pouzdanosti	
3	dimnjaci na strateški važnim lokacijama, npr. u sklopu atomskih elektrana, ili u gusto naseljenim područjima.; veliki dimnjaci u sklopu industrijskih postrojenja kojima upravljaju ljudi gdje su ekonomske i društvene posljedice otkazivanja vrlo velike
2	svi uobičajni dimnjaci u sklopu industrijskih postrojenja ili na drugim lokacijama, koji se ne mogu definirati kao razred 1 ili 3
1	dimnjaci na otvorenom prostoru čije otkazivanje ne može izazvati ozljedu; dimnjaci niži od 16 m u sklopu postrojenja bez ljudi.

ČELIČNI DIMNJACI

PARCIJALNI KEFICIJENTI ZA DJELOVANJA

Vrsta djelovanja	Razred pouzdanosti	Stalna djelovanja	Promjenjiva djelovanja (Q_s)
nepovoljno	3	1,2	1,6
	2	1,1	1,4
	1	1,0	1,2
povoljno	Svi razredi	1,0	0,0
Izvanredne situacije		1,0	1,0

ČELIČNI DIMNJACI

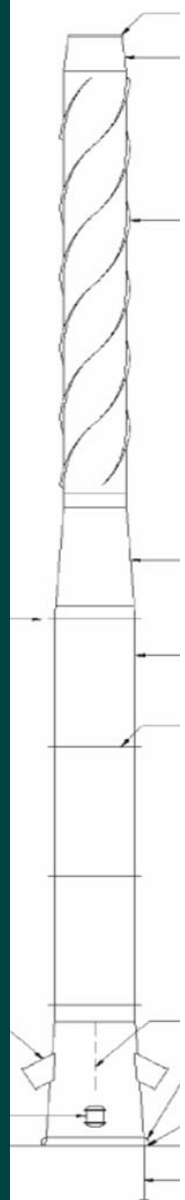
AERODINAMIČKE MJERE I MJERE ZA PRIGUŠENJE VIBRACIJA

□ Aerodinamičke mjere:

- ako su spirale raspoređene na vrhu dimnjaka, osnovna vrijednost odižućeg (*lift*) koeficijenta c_{lat} , na cijeloj visini dimnjaka može se pomnožiti s faktorom α određenog prema:

$$\alpha = \left(1 - \frac{l_s}{h}\right)^3$$

- l_s duljina ljuške na kojoj su postavljene spirale
- h ukupna visina dimnjaka
- prethodnu jednadžbu je moguće koristiti samo ako geometrija takvih spirala zadovoljava sljedeće:
 - tri početne spirale;
 - razmak (korak) spirala iznosi $h_s = 4,5 b$ do $5,0 b$; b je promjer dimnjaka
 - visina spirala iznosi $t = 0,10 b$ do $0,12 b$;
 - duljina ljuške na kojoj su postavljene spirale l_s , iznosi najmanje $0,3 h$, a obično između $0,3 h$ i $0,5 h$;
dopušta se odsječak na vrhu dimnjaka bez spirala maksimalne duljine $1,0 b$, a koji se može uključiti u duljinu l_s



ČELIČNI DIMNJACI

IZVEDBA

□ Dopuštena odstupanja tijekom izvedbe

- dozvoljeno horizontalno odstupanje Δ od vertikale čelične ljuske na bilo kojoj razini h (u metrima) iznad podnožja samostojećeg dimnjaka:

$$\Delta = \frac{h}{500} \cdot \sqrt{1 + \frac{50}{h}}$$

PROJEKTIRANJE KONSTRUKCIJA S VLAČNIM ELEMENTIMA

SADRŽAJ PREDAVANJA (3.dio)

□ Konstrukcije s vlačnim elementima (EN 1993-1-11)

- Osnovni pojmovi i definicije
- Trajnost
- Djelovanja
- Materijal
- Proračun konstrukcije
- Granično stanje nosivosti
- Granično stanje uporabljivosti
- Vibracije kabela

Grupa	Glavni vlačni element	Komponenta vlačnog elementa
A	šipka	Vlačna šipka, prednapeta šipka
B	Okrugla žica	Spiralni strukovi
	Okrugle i Z žice	Zatvorena spiralna užad
	Okrugle žice i žičani struk	Užad od žičanih strukova
C	Okrugla žica	Paralelnih žičanih strukova
	Okrugla žica	Snop paralelnih žica
	Uže sastavljeno od sedam žica	Snop paralelnih strukova

KONSTRUKCIJE S VLAČNIM ELEMENTIMA

OSNOVNI POJMOVI I DEFINICIJE

□ Faktor sile loma (K)

- empirijski faktor koji se koristi za utvrđivanje minimalne sile loma i određuje se prema:

$$K = \frac{\pi \cdot f \cdot k}{4}$$

- f faktor ispune za uže
- k faktor gubitka uslijed “pletenja”

□ Minimalna sila loma (F_{min})

- minimalna sila loma se određuje prema:

$$F_{min} = \frac{d^2 \cdot R_r \cdot K}{1000}$$

[kN]

- d promjer užeta u mm
- K faktor sile loma
- R_r razred užeta u N/mm²

KONSTRUKCIJE S VLAČNIM ELEMENTIMA

TRAJNOST

- za poboljšanu trajnost primjenjuju se sljedeći razredi izloženosti:

Vrsta zamora	Djelovanje korozije	
	bez vanjskog izlaganja	vanjska izloženost
bez značajnog djelovanja zamora	razred 1	razred 2
uglavnom osno djelovanje zamora	razred 3	razred 4
osno i bočno djelovanje zamora (vjetar i kiša)	-	razred 5

- veze vlačnih elemenata trebaju biti zamjenjive i sa mogućnošću prilagođavanja

KONSTRUKCIJE S VLAČNIM ELEMENTIMA

DJELOVANJA

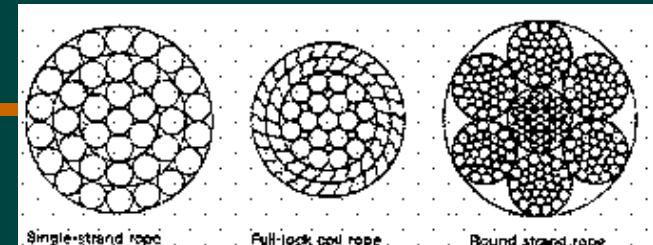
□ Vlastita težina vlačnih elemenata

- za spiralne strukove, zatvorenu spiralnu užad

ili nosivu žičanu užad srednja vrijednost vlastite težine se može odrediti prema:

$$g_k = w \cdot A_m$$

- w jedinična težina koja uzima u obzir gustoću čelika uključujući antikorozijsku zaštitu, N/mm^3
- A_m površina poprečnog presjeka metalnih komponenata u mm^2 $A_m = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot f$
- d vanjski promjer užeta ili struka u mm , uključujući oblogu antikorozivne zaštite
- f faktor ispune



		faktor ispune							jedinična težina w x 10 ⁻⁷ [N/mm³]
		Žice jezgre+1 sloj z žica	Žice jezgre+2 sloja z žica	Žice jezgre + > 2 sloja z žica	Broj slojeva žica oko žičane jezgre				
					1	2	3-6	>6	
1	Spiralni strukovi				0,77	0,76	0,75	0,73	830
2	Zatvorena spiralna užad	0,81	0,84	0,88					830
3	Užad sastavljena od strukova s kružnim žicama				0,56				930

KONSTRUKCIJE S VLAČNIM ELEMENTIMA

MATERIJAL

- Modul elastičnosti E_Q
 - za odgovarajuće promjenjivo djelovanje

	Vlačni elementi visoke čvrstoće	E_Q [kN/mm ²]	
		čelične žice	nehrđajuće čelične žice
1	Spiralni strukovi	150+/- 10	130+/- 10
2	Zatvorena spiralna užad	160+/- 10	-
3	Užad od žičanih strukova sa CWR-om	100+/- 10	90+/- 10
4	Užad od žičanih strukova sa CF-om	80+/- 10	-
5	Snop paralelnih žica	205+/- 5	-
6	Snop paralelnih strukova	205+/- 5	-

KONSTRUKCIJE S VLAČNIM ELEMENTIMA

PRORAČUN KONSTRUKCIJE

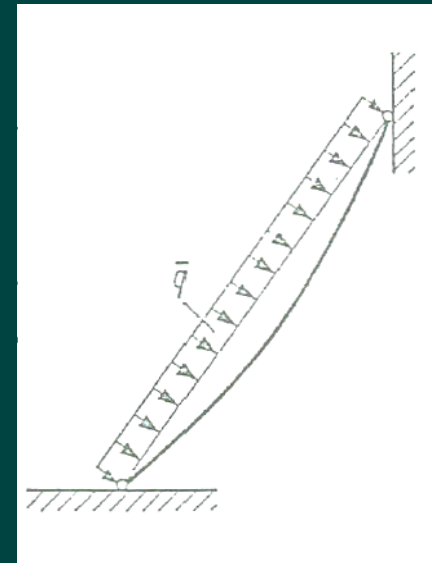
□ Nelinearni utjecaji od deformacija

■ Utjecaji lančanice

se mogu uzeti u obzir preko efektivnog modula E_t za svaki kabel ili za njegov segment:

$$E_t = \frac{E}{1 + \frac{w^2 \cdot l^2 \cdot E}{12 \cdot \sigma^3}}$$

- E modul elastičnosti kabela u N/mm^2
- w jedinična težina u N/mm^3
- l horizontalni raspon kabela u mm
- σ naprezanje u kabeu u N/mm^2



KONSTRUKCIJE S VLAČNIM ELEMENTIMA

PRORAČUN KONSTRUKCIJE

□ Nelinearni utjecaji od deformacija

■ Utjecaji deformacija na konstrukciju

- Kod analize prema teoriji II. reda za utjecaje od promjenjivih opterećenja
 - treba uzeti u obzir početni geometrijski oblik konstrukcije uslijed stalnog djelovanja “G+P” pri danoj temperaturi T_0 .
- Kod analize prema teoriji II. reda za GSU, utjecaji promjenjivih opterećenja
 - se trebaju odrediti koristeći *karakteristične* kombinacije opterećenja.
 - Ti se utjecaji mogu koristiti i kod provjera za GSN (ograničenja naprezanja).
- Kod analize prema teoriji II. reda za nelinearno ponašanje konstrukcije (nelinearni odgovor) kod GSN,
 - potrebni stalni geometrijski oblik konstrukcije kod referentne temperature T_0 je potrebno kombinirati s naprezanjima uslijed “ γ_G (G+P)”.
 - Proračunske vrijednosti promjenjivih djelovanja $\gamma_Q Q_{k1} + \gamma_Q \psi_2 Q_{k1}$ se mogu primijeniti s odgovarajućim pretpostavkama za imperfekcije konstrukcije.

KONSTRUKCIJE S VLAČNIM ELEMENTIMA

GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

□ Prednapete šipke i elementi iz grupa B i C

- Proračunska vrijednost vlačne otpornosti F_{Rd} se određuje prema:

$$F_{Rd} = \min \left\{ \frac{F_{uk}}{1,5 \cdot \gamma_R}; \frac{F_k}{\gamma_R} \right\}$$

- F_{uk} karakteristična vrijednost čvrstoće loma
- γ_R parcijalni faktor
- F_k karakteristična vrijednost dokazne čvrstoće vlačnih elemenata

Grupa	Odgovarajuća norma	Dokazna čvrstoća F_k
A	EN 10138-1	$F_{0,1k}^*$
B	EN 10264	$F_{0,2k}$
C	EN 10138-1	$F_{0,1k}$
* Za prednapete šipke pogledati EN 1993-1-1 i EN 1993-1-4		

■ **Napomene:**

- F_{uk} odgovara karakterističnoj vrijednosti granične vlačne čvrstoće
- provjera za F_k osigurava da će element ostati elastičan kada djelovanja dostignu svoje proračunske vrijednosti. Za element (npr. zatvorena spiralna užad) gdje je $F_k \geq F_{uk} / 1,50$ provjera nije potrebna
- eksperimentalne vrijednosti F_{uke} i F_{uk} zadovoljavaju zahtjeve, prema EN 12385, dio 1:
 $F_{uke} > F_{uk}$; $F_{ke} > F_k$
- Parcijalni faktor γ_R može biti definiran u Nacionalnim aneksima. Njegova vrijednost ovisi o tome da li su na krajevima užadi primijenjene mjere za smanjivanje momenata savijanja uslijed rotacije. Preporučuju se vrijednosti
 - $\gamma_R = 0,9$ ako su mjere primijenjene
 - $\gamma_R = 1,0$ ako mjere nisu primijenjene

KONSTRUKCIJE S VLAČNIM ELEMENTIMA

GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI

□ Ograničenja naprezanja

■ za faze montaže

Faza gradnje	f_{const}
Prvi vlačni elementi unutar nekoliko sati	$0,60 \sigma_{uk}$
Poslije montaže ostalih vlačnih elemenata	$0,55 \sigma_{uk}$

□ ograničenja naprezanja slijede iz:

$$f_{const} = \frac{\sigma_{uk}}{1,50 \cdot \gamma_R \cdot \gamma_F} = \frac{0,66 \cdot \sigma_{uk}}{\gamma_R \cdot \gamma_F}$$

- $\gamma_R \times \gamma_F = 1,0 \times 1,10 = 1,10$ za kratkotrajne situacije
- $\gamma_R \times \gamma_F = 1,0 \times 1,20 = 1,20$ za dugotrajne situacije

■ za uvjete uporabe

Uvjeti opterećenja	f_{SLs}
Proračun zamora uključujući naprezanja od savijanja *	$0,50 \sigma_{uk}$
Proračun zamora bez naprezanja od savijanja *	$0,45 \sigma_{uk}$
* Naprezanja od savijanja se mogu reducirati razradom detalja.	

□ ograničenja naprezanja slijede iz:

$$f_{sls} = \frac{\sigma_{uk}}{1,50 \cdot \gamma_R \cdot \gamma_F} = \frac{0,66 \cdot \sigma_{uk}}{\gamma_R \cdot \gamma_F}$$

- $\gamma_R \times \gamma_F = 0,9 \times 1,48 = 1,33$ sa napreznjima od savijanja
- $\gamma_R \times \gamma_F = 1,0 \times 1,48 = 1,48$ bez napreznja od savijanja

KONSTRUKCIJE S VLAČNIM ELEMENTIMA

VIBRACIJE KABELA

- Za kabele izložene vanjskim utjecajima potrebno je provjeriti sve moguće vibracije izazvane vjetrom tijekom i nakon gradnje i njihov utjecaj na sigurnost.
- Aerodinamičke sile na kabele mogu uzrokovati slijedeći uzroci:
 - a) **mahovitost** (od turbulencija u protoku zraka)
 - b) **vertložna pobuda** (od von Karmanovih vrtloga iza kabela)
 - c) **galopiranje** (samopobuda)
 - d) **potaknuto galopiranje** (fluidno-elastična interakcija susjednih kabela)
 - e) **interakcija vjetra, kiše i kabela**
- Napomena:
 - *Galopiranje nije moguće kod kabela sa kružnim poprečnim presjekom zbog simetrije. Do te pojave može doći kod kabela gdje je došlo do promjene oblika uslijed formiranja slojeva leda ili prašine.*
Sile uslijed c), d) i e) su u funkciji gibanja kabela i uzrokuju aeroelastičnu nestabilnost koja vodi do vibracija većih amplituda počevši od kritične brzine vjetra.
Kako se mehanizmi dinamičkog uzbuđivanja još ne mogu dovoljno točno modelirati u vidu dobivanja pouzdanih rezultata, potrebno je provesti mjere kako bi se te vibracije ograničile.
- Vibracije kabela mogu biti uzrokovane i
 - dinamičkim silama koje djeluju na druge dijelove konstrukcije (gredu, pilon).
 - Ta pojava uzrokuje vibracije velikih amplituda gdje dolazi do preklapanja vlastitih frekvencija zatega i konstrukcije.

**SPECIJALNE INŽENJERSKE GRAĐEVINE
SLJEDEĆE PREDAVANJE**

**Telekomunikacijske
strukture**