

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Katedra za metalne konstrukcije

JEKLENE KONSTRUKCIJE I

10.0 NATEZNI ELEMENTI

prof. dr. Darko Beg

Sodelavci: Tomaž Rugelj, Blaž Čermelj

Skupine nateznih elementov

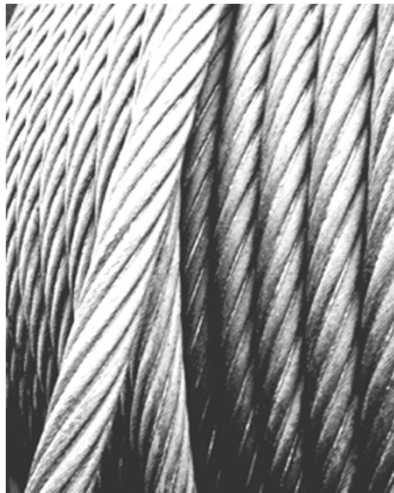
Skupina	Glavni natezni element	Komponenta
A	palica	sistem natezne palice, prednapeta palica
B	okrogla žica	vrv
	okrogla in Z-žice	zaprta vrv
	okrogla žica in pramen	vrv
C	okrogla žica	pramen iz vzporednih žic
	okrogla žica	vrv vzporednih žic
	pramen za prednapenjanje iz sedmih žic	vrv vzporednih pramenov

Značilnosti:

- ❑ uklon ni prisoten;
- ❑ prisotne koncentracije napetosti;
- ❑ potrebna kontrola stikov (**neto preseki, posebno oblikovani spoji**).

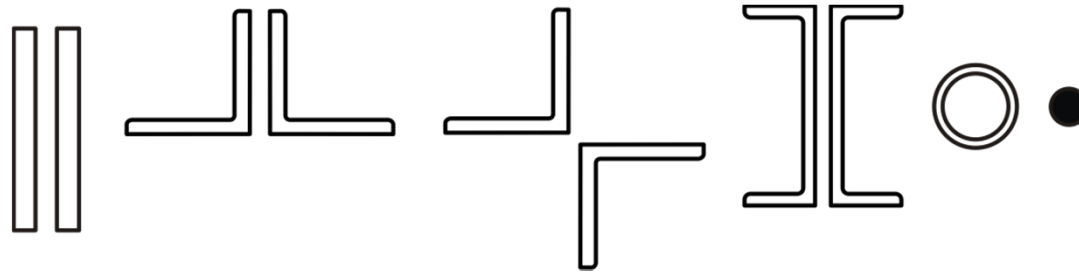
Delitev:

- ❑ upogibno toge (skupina A);
- ❑ gibke (odprte in zaprte vitke jeklene vrvi in jeklene vrvi iz paralelnih žic, skupina B,C).



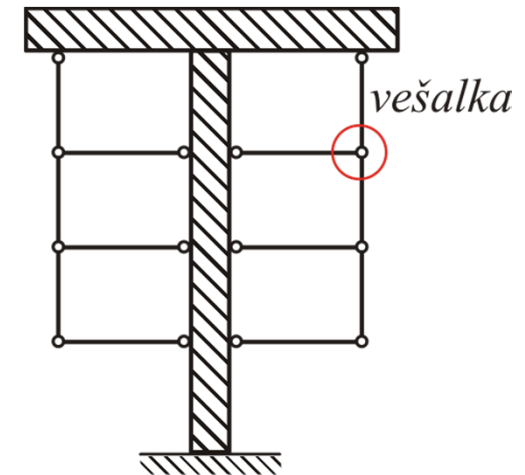
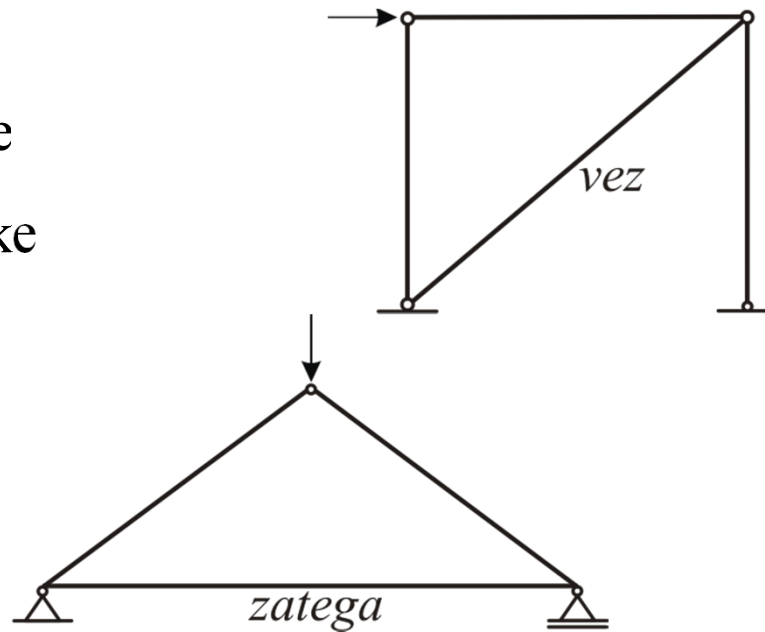
Toge palice (skupina A)

Značilni prerezi:



Delitev glede na uporabo:

- vezi
- zatege
- vešalke



Palice z enojnim homogenim okroglim prečnim prerezom

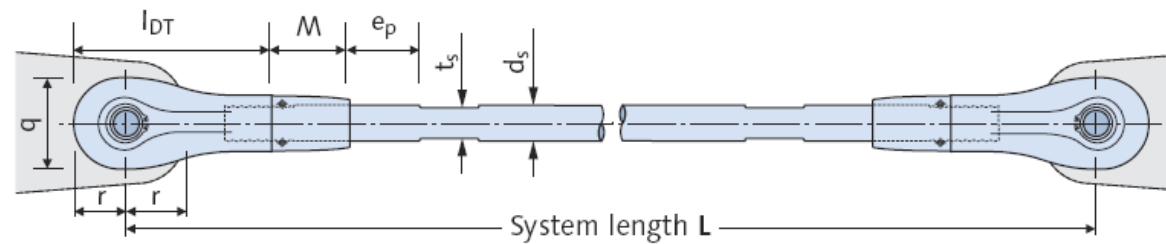
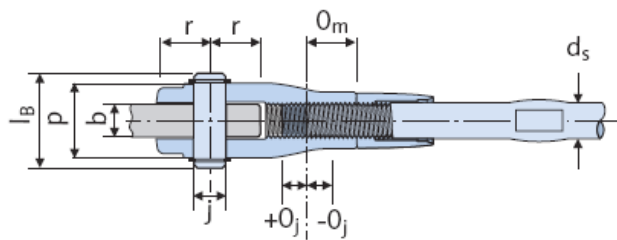
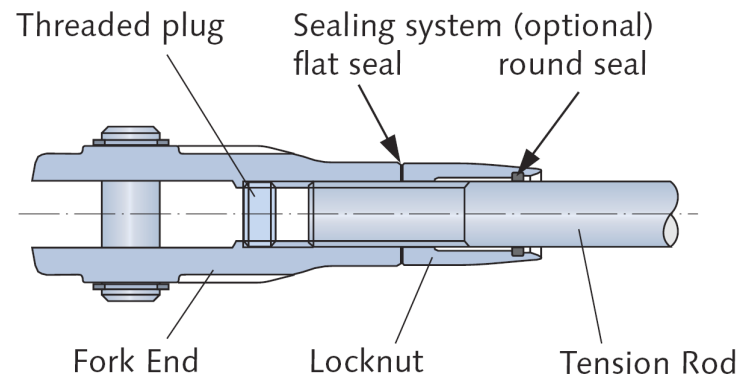
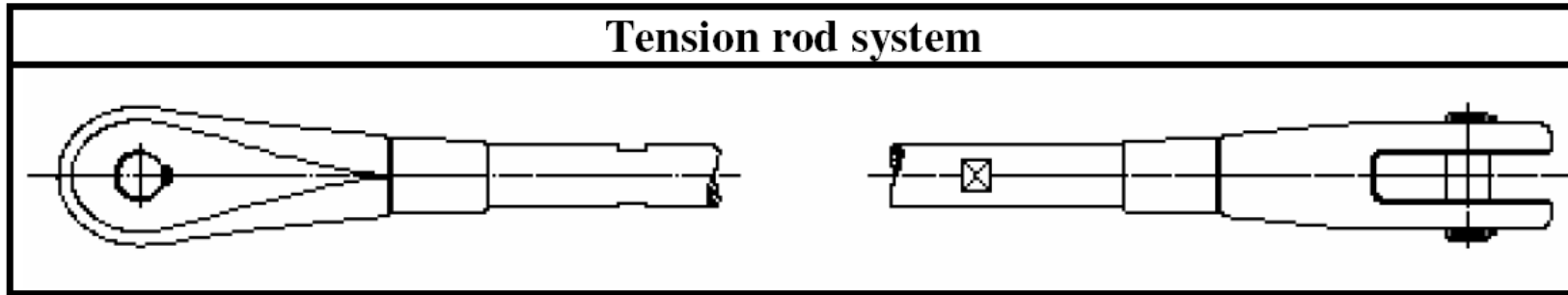
□ Pritrjevanje preko navoja.

□ Uporaba:

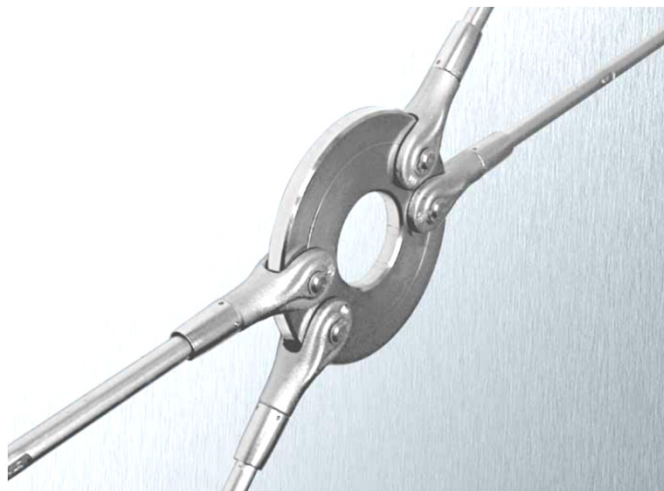
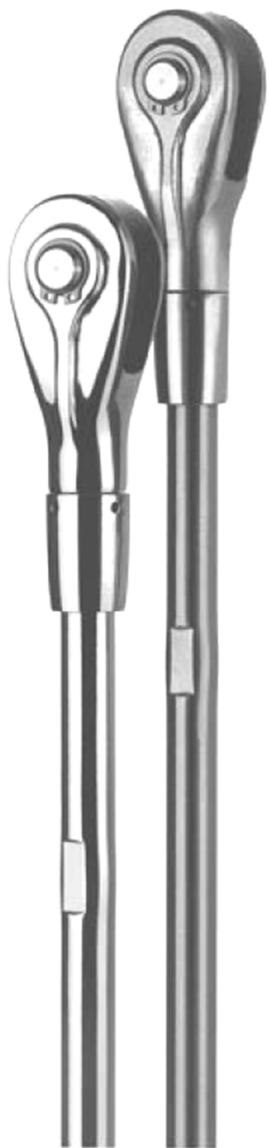
- povezja streh, zidov, nosilcev;
- vrvi za opiranje strešnih elementov, jeklenih stolpov in mostov;
- natezni sistemi pri jeklenih in lesenih paličnih konstrukcijah;
- natezni sistemi pri jeklenih konstrukcijah.



Sistem natezne palice

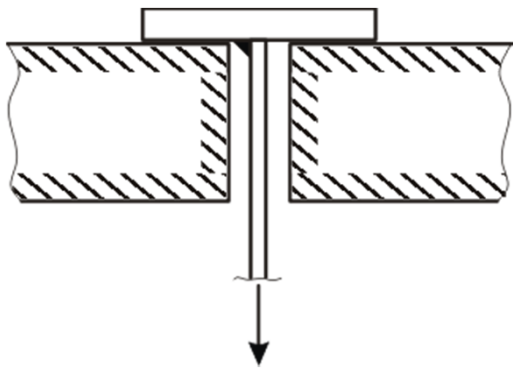


Sistem natezne palice

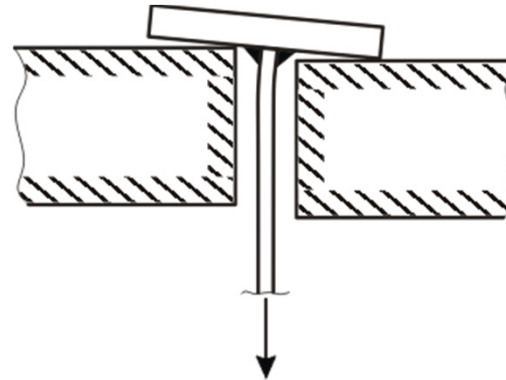


Primerna zasnova detajlov stikovanja

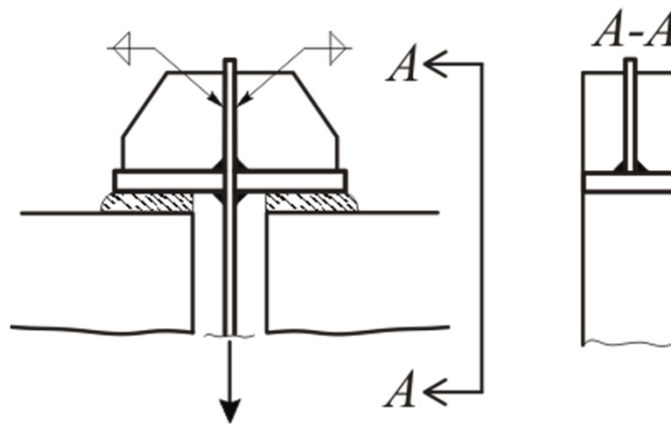
Nesimetričen zvar



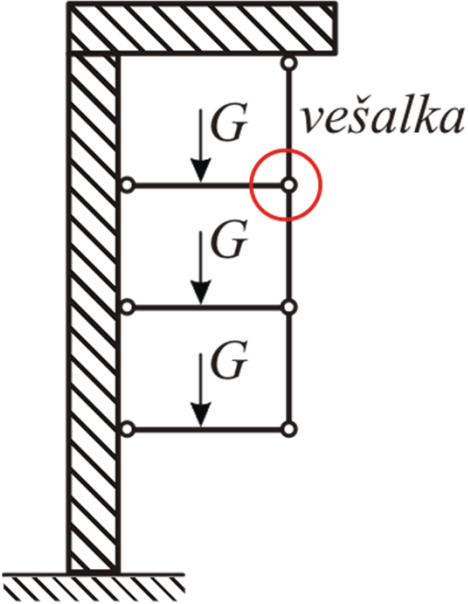
Neravno - podlitje



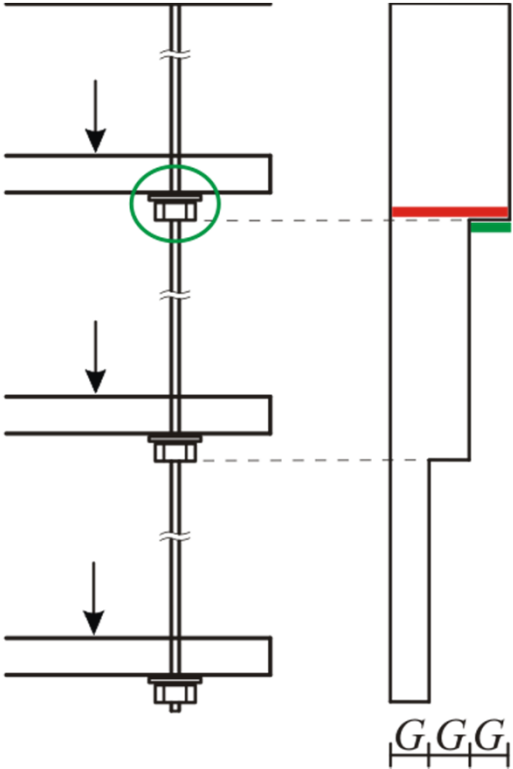
Izboljššan – duktilnejši stik



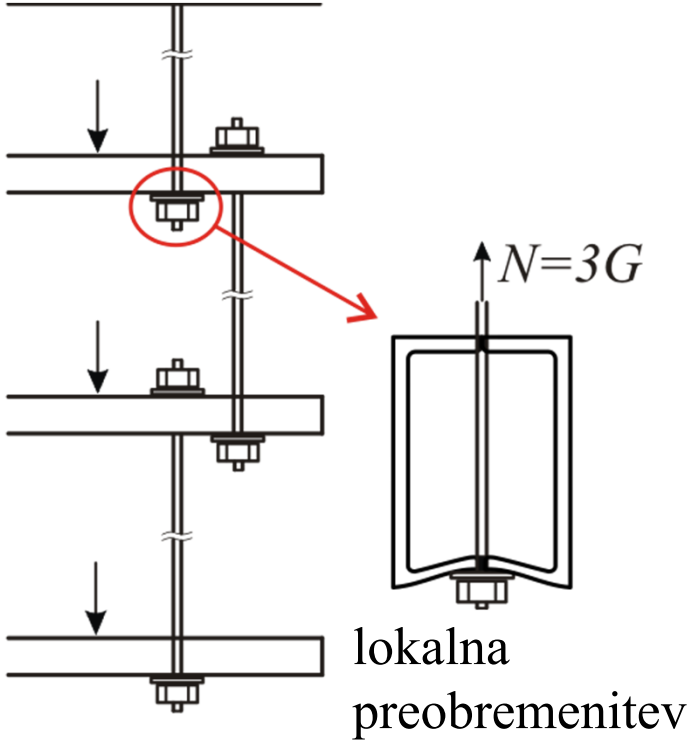
Detajl izvedbe stika vešalke



Projektirano!

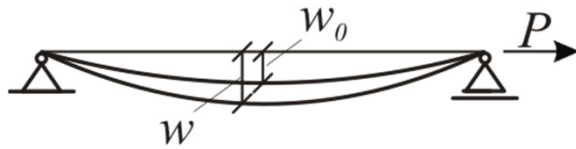


Izvedeno!



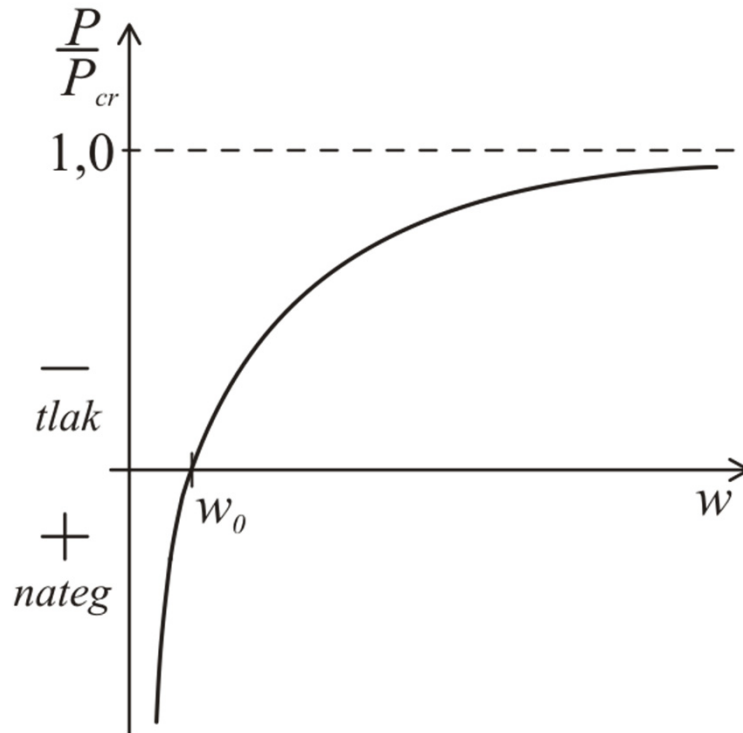
Vpliv TDR

Ugoden vpliv:



$$w^{II} = w_0 k_\delta$$

$$k_\delta = \frac{1}{1 + \frac{N}{N_{cr}}}$$



Natezna sila **zmanjšuje** vplive teorije drugega reda (TDR).

Gibke palice (skupina B, C)

Delitev:

- jeklene vrvi, kabli;
- verige (s členki).

Značilnosti:

- vitki elementi – vpliv vetra (vibracije);
- korozija;
- nelinearno obnašanje.



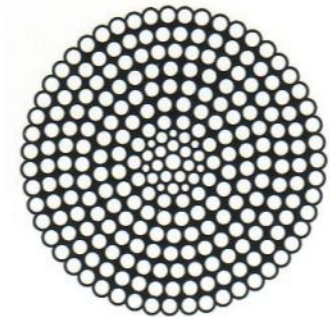
Produkti skupine B

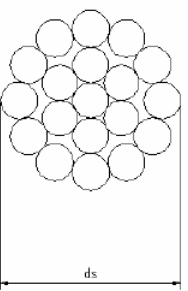
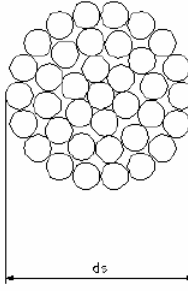
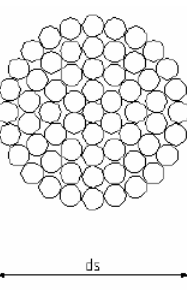
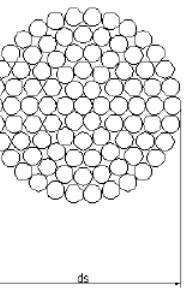
- Prečni prerezi sestavljeni iz posameznih žic.
- Sidranje – posebna izvedba.
- Primarna izdelava premerov od 5 mm do 160 mm (SIST EN 12385 – 2).

Spiralne vrvi

□ Uporaba spiralnih vrvi:

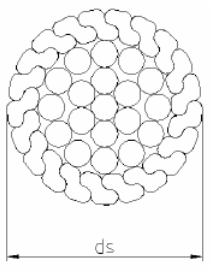
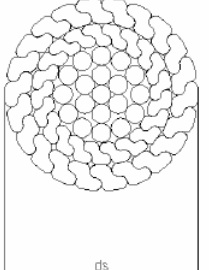
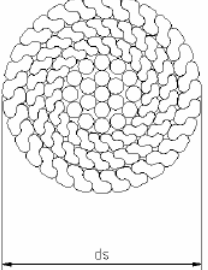
- vrvi za opiranje (zatege) anten, dimnikov, jamborov in mostov;
- nosilne vrvi in robne nosilne vrvi pri lahkih konstrukcijah;
- vešalke ali viseči kabli pri visečih mostovih;
- stabilizacijske vrvi pri lesenih in jeklenih paličjih;
- ograje stopnišč, balkonov, mostov, zaščitne ograje.

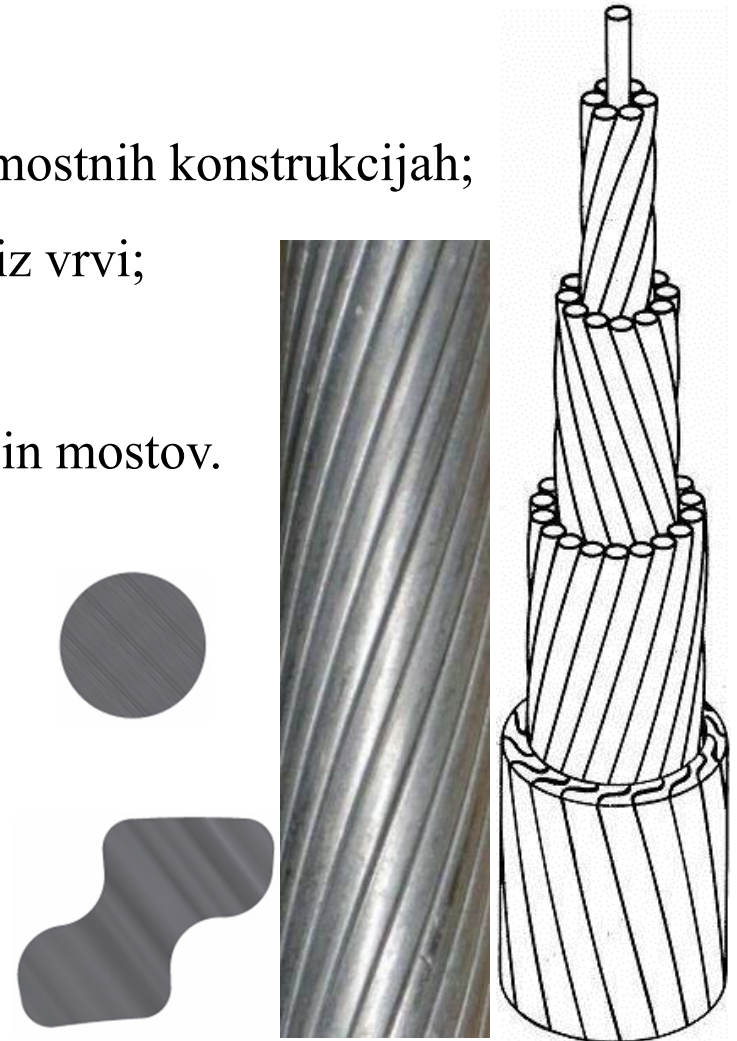


Spiral strand rope				
				
	d_s	d_s	d_s	d_s
Construction	1 × 19	1 × 37	1 × 61	1 × 91
Diameter d_s [mm]	3 to 14	6 to 36	20 to 40	30 to 52
Strand	1	1	1	1
Wire per strand	19	37	61	91
Outer wire per strand	12	18	24	30
Nominal metallic area factor C	0,6	0,59	0,58	0,58
Breaking force factor K	0,525	0,52	0,51	0,51

Zaprte vrvi

- ❑ Proizvodnja zaprtih vrvi premera od 20 mm do 180 mm.
- ❑ Uporaba zaprtih vrvi:
 - ❑ vrvi za opiranje, viseči kabli in vešalke pri mostnih konstrukcijah;
 - ❑ viseče vrvi in stabilizacijske vrvi v paličjih iz vrvi;
 - ❑ robne nosilne vrvi pri mrežah;
 - ❑ vrvi za opiranje anten, dimnikov, jamborov in mostov.

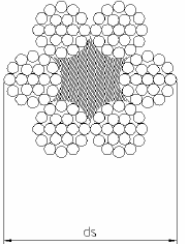
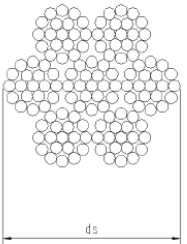
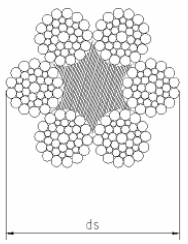
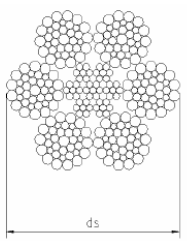
Fully locked coil rope			
			
Construction	1 layer Z-wires	2 layer Z-wires	≥ 3 layer Z-wires
Diameter d_s [mm]	20 to 40	25 to 50	40 to 180
Tolerance for d_s	+5%	+5%	+5%
Nominal metallic area factor C	0,636	0,660	0,700
Breaking force factor K	0,585	0,607	0,643
NOTE: Nominal metallic area factor and breaking force factor acc. EN 12385-2.			

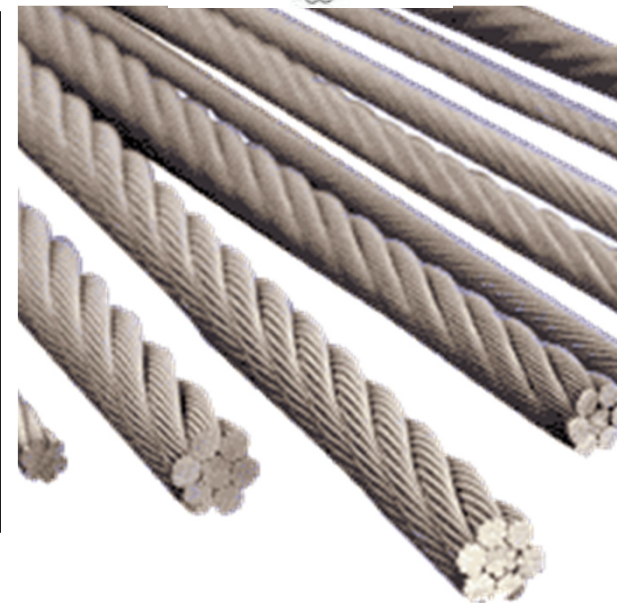


Spiralne konstrukcijske vrvi

- Uporaba spiralnih konstrukcijskih vrvi:
 - vrvi za opiranje anten, jamborov ,
 - vešalke pri visečih mostovih,
 - povezava spiralnih vrvi (razmik, dušenje),
 - robne nosilne vrvi membran,
 - ograje stopnišč, balkonov, mostov in tračnice.

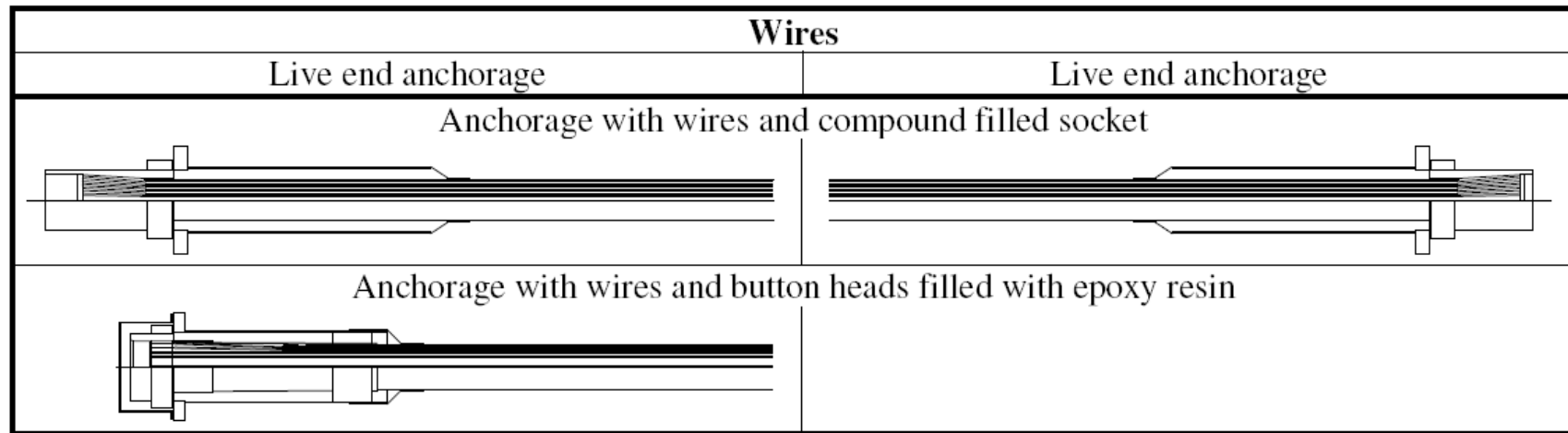


Strand rope				
				
	d_s	d_s	d_s	d_s
Construction	6 × 19 - CF	6 × 19 - CWS	6 × 36WS - CF	6 × 36 WS- CWR
Diameter d_s [mm]	6 to 40	6 to 40	6 to 40	6 to 40
Strand	6	6	6	6
Wire per strand	18	18	36	36
Outer wire per strand	12	12	14	14
Nominal metallic area factor C	0,357	0,414	0,393	0,455
Breaking force factor K	0,307	0,332	0,329	0,355

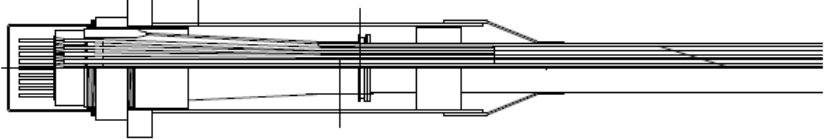
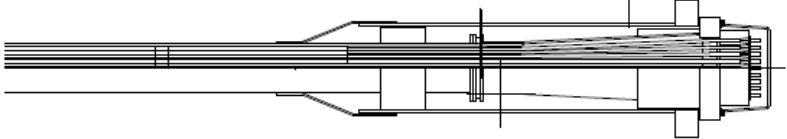
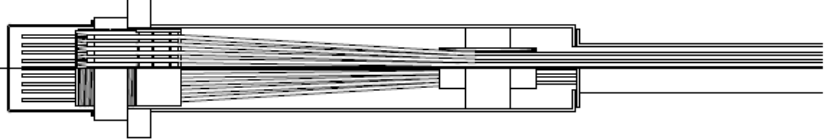
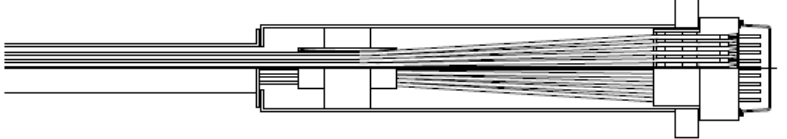
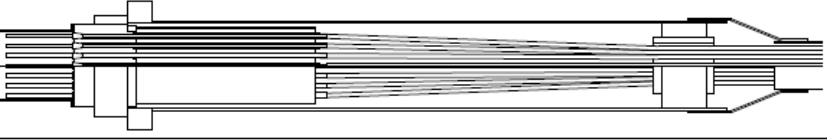
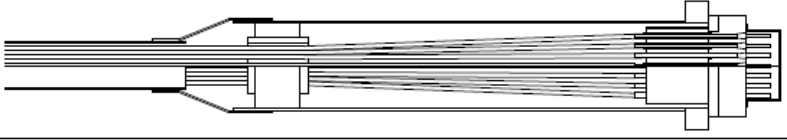
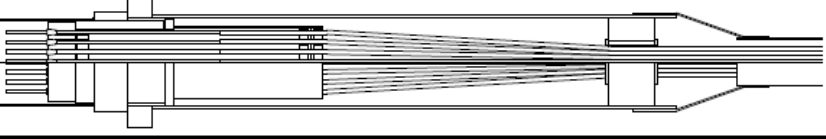
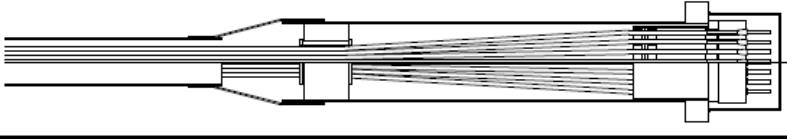


Produkti skupine C

- ❑ Individualno ali skupinsko sidranje.
- ❑ Uporaba sklopov vzporednih žic:
 - ❑ mostovi s poševnimi vrvmi, glavne vrvi visečih mostov, zunanje vrvi.
- ❑ Uporaba sklopov vzporednih vrvi:
 - ❑ sovprežni in jekleni mostovi s poševnimi vrvmi.

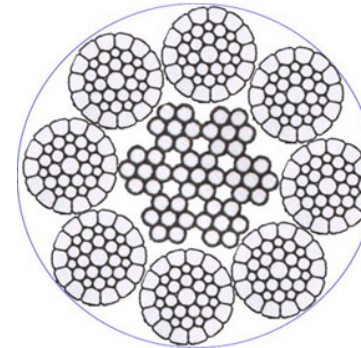
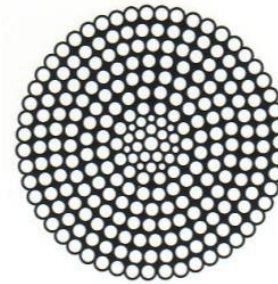
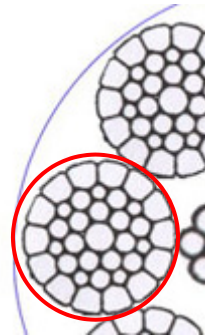


Produkti skupine C

Bare strands, PE- or epoxy-coated strands	
Live end anchorage	Live end anchorage
Anchorage with wedges and postgrouted bond socket – bare strands, PE- or epoxy-coated strands	
	
Anchorage with wedges and sealing plates – PE-coated strands	
	
Anchorage with wedges and pregrouted pipe – PE-coated strands	
	
Anchorage with wedges and wax filled transition pipe – PE-coated strands	
	

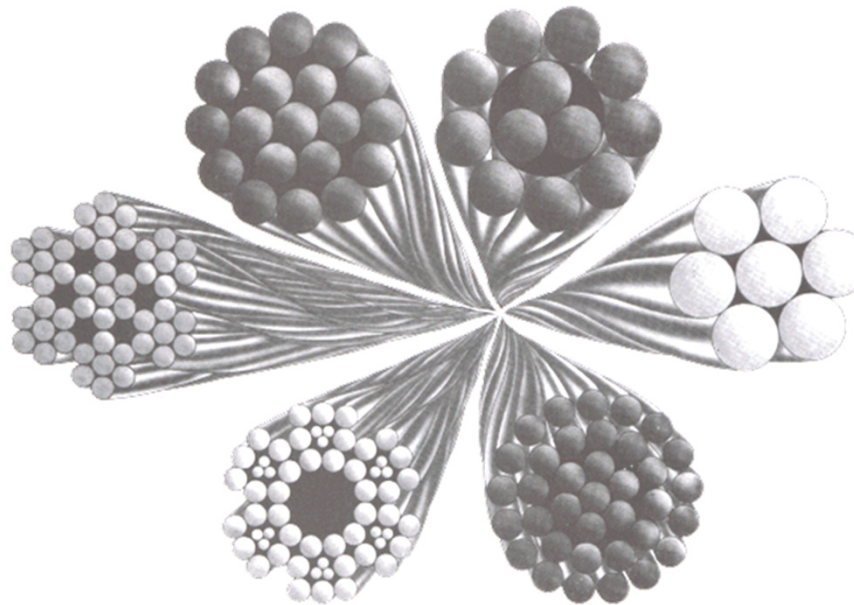
Kabli

ŽICA → PRAMEN → VRV → KABEL

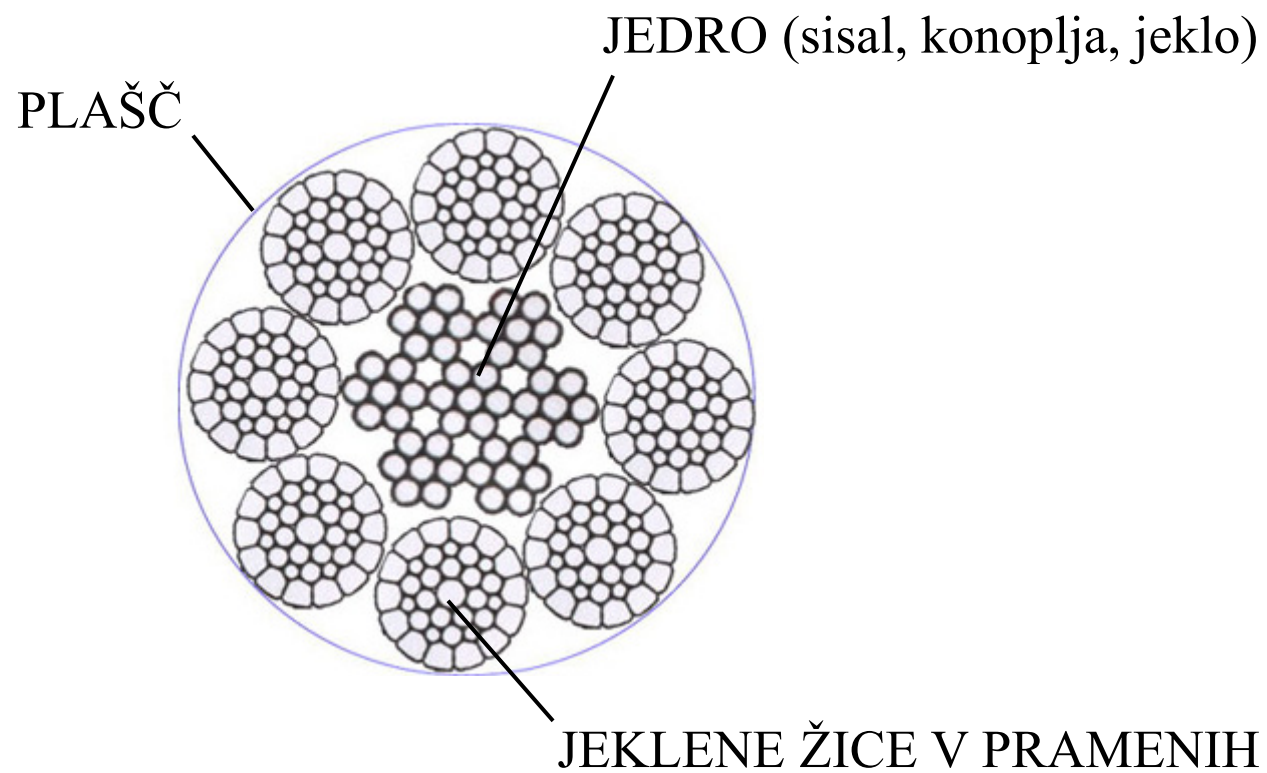


Kabli

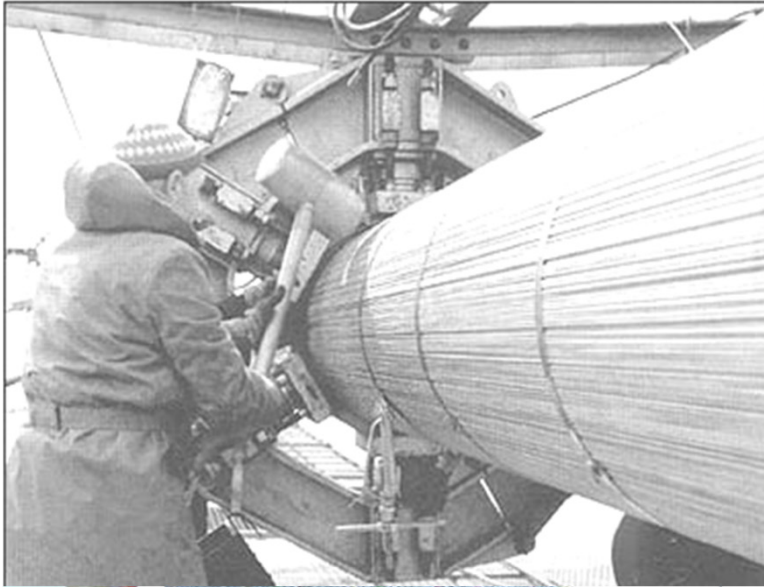
- viti;
- pleteni;
- ploščati;
- paralelni;
- odprti ali zaprti.



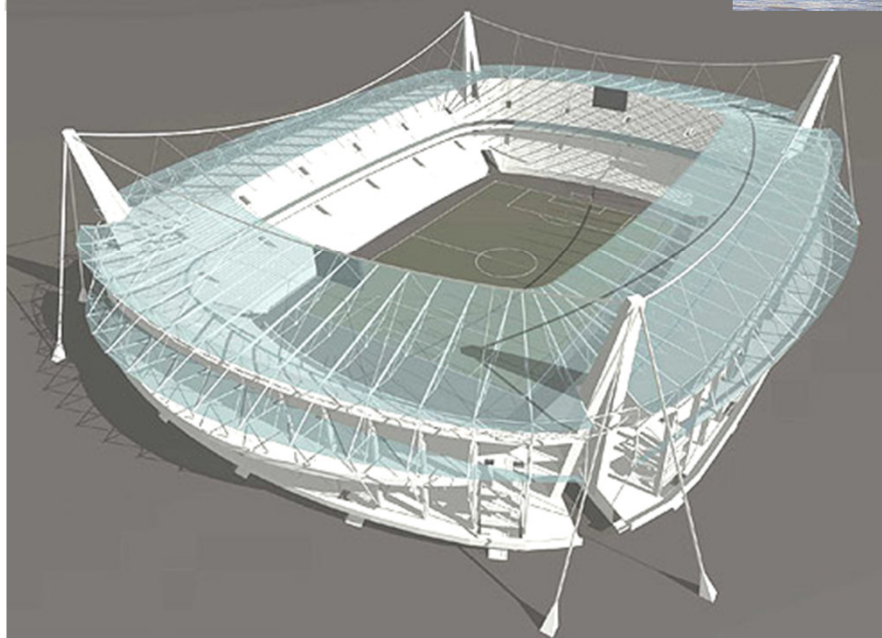
Sestava kabla



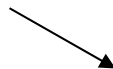
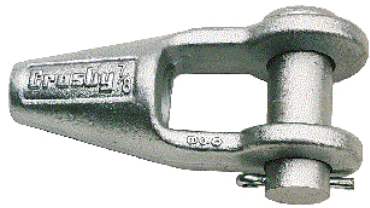
Tehnologija vgradnje



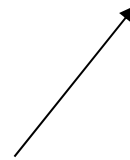
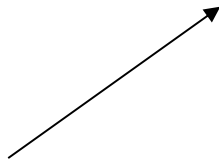
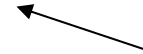
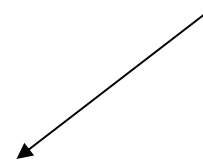
Primeri konstrukcij



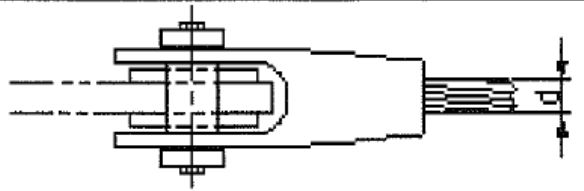
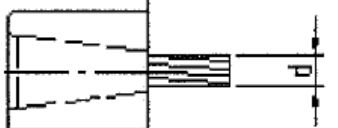
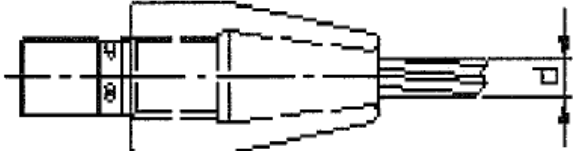
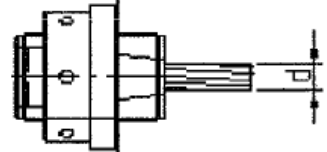
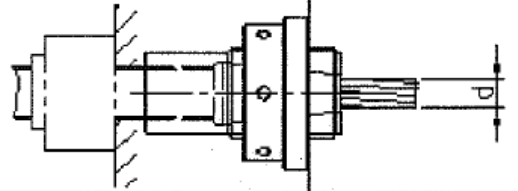

Zaključki za elemente skupin B in C



Wire rope end connectors swaged	
Open swaged socket	
Closed swaged socket	
Swaged fitting with thread	
Thimble with swaged aluminium ferrule acc. EN 13411-3	<p>SP</p>
U-bolt grip acc. EN 13411-5	



Zaključki za elemente skupin B in C

Wire rope end connectors - Metal or resin socketing acc. EN 13411-4	
Open spelter socket	
Cylindrical socket	
Conical socket with internal thread and tension rod	
Cylindrical socket with external thread and nut	
Cylindrical socket with internal and external thread and nut	
Cylindrical socket with internal thread and tension rod	

Osnove projektiranja

- ❑ Projektiranje v skladu s SIST EN 1990;
- ❑ upoštevana določila standarda SIST EN 1993-1-11;
- ❑ spoji nateznih elementov na konstrukcijo morajo biti zamenljivi in prilagodljivi;
- ❑ zaradi večje trajnosti je potrebno upoštevati razrede izpostavljenosti.

Preglednica 2.1: Razredi izpostavljenosti

Vpliv utrujanja	Korozijski vpliv	
	ni izpostavljeno zunanjim vplivom	izpostavljeno zunanjim vplivom
vplivi utrujanja zanemarljivi	razred 1	razred 2
utrujanje v smeri osi	razred 3	razred 4
utrujanje v osni in prečni smeri (veter in dež)	-	razred 5

Zahteve

(1) Projektiranje - mejna stanja:

- MSN: Projektna osna sila ne sme preseči projektne natezne nosilnosti.
- MSU: Omejitev napetosti in deformacij
- Utrujanje: Omejitev razlik napetosti

(2) Preprečevanje tlakov:

- Nenadzorovana stabilnost, utrujanje ali poškodbe na konstrukcijskih in nekonstrukcijskih delih konstrukcije.
- Preprečimo s prednapenjanjem nateznih elementov za stalni vpliv "G+P"

(3) Vsi elementi dodatki nateznim elementom, kot so sedla, spojke itd. morajo biti projektirani na porušno nosilnost jeklenih vrvi

Vplivi

Lastna teža

- (1) SIST EN 12385 → alternativno iz dejanskega prečnega prereza elementa in gostote materiala
- (2) Spiralne in zaprte vrvi ter vrvi iz žic

$$g_k = w A_m \quad , \quad A_m = \frac{\pi d^2}{4} f$$

w upošteva gostoto jekla in protikorozijsko zaščito

f faktor polnosti

Preglednica 2.2: Prostorninska teža w in faktorji polnosti f

		Faktor polnosti f						prostorninska teža w × 10 ⁻⁷ [N/mm ³]	
		Žice v jedru + 1 sloj Z-žic	Žice v jedru + 2 sloja Z-žic	Žice v jedru + > 2 sloja Z-žic	Število slojev žic okrog jedrne žice				
					1	2	3 - 6		> 6
1	Spiralne vrvi				0,77	0,76	0,75	0,73	830
2	Zaprte vrvi	0,81	0,84	0,88					830
3	Vrvi iz okroglih žic				0,56				930

Vplivi

(3) Vrvi iz vzporednih žic

$$A_m = n a_m$$

n število enakih žic ali spletov

a_m prečni prerez žice (dobljen iz premera žice) ali spleta (ustrezen standard)

(4) Natezni elementi skupine C

Lastno težo določimo iz lastne teže posameznih žic in spletov ter teže zaščitnih materialov (HDPE, vosek, ...).

Vplivi

Veter

- ❑ Statični vpliv vetra po SIST EN 1991-1-4 + vplivi zvijanja in upogibanja na koncih vrvi.
- ❑ Aerodinamični in drugi vplivi, ki lahko povzročijo nihanje kablov.

Led

- ❑ SIST EN 1993-3-1, Dodatek C

Toplotni vplivi

- ❑ Razlika temperature med vrvmi in konstrukcijo.
- ❑ Pri zunanjih vrveh se razlika temperatur upošteva po SIST EN 1991-1-5.

Vplivi

Prednapenjanje

- (1) Elementi morajo biti prednapeti tako, da pri delovanju vseh stalnih vplivov konstrukcija odgovarja geometrijskim pogojem in zahtevani porazdelitvi napetosti.
- (2) Predvidi se prednapenjanje in korelacijo vrvi.
- (3) Karakteristična vrednost sile prednapetja mora izpolnjevati pogoj (1).
- (4) Če korelacija ni predvidena, je potrebno pri projektiranju upoštevati padec sile prednapetja.

Utrujanje

→ glej SIST EN 1991

Zamenjava in izguba natezних elementov

- (1) Začasno projektno stanje → zamenjava vsaj enega nateznega elementa
- (2) Nezgodno projektno stanje → porušitev enega nateznega elementa

Projektna stanja in delni faktorji

(1) Začasno projektno stanje med fazo gradnje (**obtežni faktorji**)

Priporočene vrednosti:

$\gamma_G = 1,10$ kratkotrajno delovanje (nekaj ur) → montaža prvega pramena
pri sistemu gradnje pramen za pramenom

$\gamma_G = 1,20$ za montažo preostalih pramenov

$\gamma_G = 1,00$ za ugodne vplive

(2) Stalno projektno stanje med uporabo (**faktorji odpornosti**)

$\gamma_R = 0,90$ ali $1,00$ natezna nosilnost vrvi

$\gamma_{M,fr} = 1,65$ torzna nosilnost

$\gamma_{M,bed} = 1,00$ bočni pritisk vrvi

Material

Karakteristične vrednosti

- Jeklo → SIST EN 1993-1-1, SIST EN 1993-1-4
- Žice → SIST EN 10264, Deli 1 do 4
- Vrvi → SIST EN 12385, Deli 4 in 10
- Zaključki → SIST EN 13411-3
- Pramena → prEN 10138-3

- Priporočene najvišje vrednosti f_u , zaradi zagotavljanja trajnosti:

Jeklene žice	okrogle: $1770 \text{ N} / \text{mm}^2$
	Z: $1570 \text{ N} / \text{mm}^2$
Nerjavne jeklene žice	okrogle: $1450 \text{ N} / \text{mm}^2$

Modul elastičnosti

Natezni elementi skupine A

$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$, sistemi iz nerjavnega jekla \rightarrow SIST EN 1993-1-4

Natezni elementi skupine B

(1) Določimo iz testov.

Odvisen od nivoja napetosti, predhodnega raztegovanja in cikličnega obremenjevanja.

Natezna togost kablov za natezne elemente skupine B in C je enaka $E \cdot A_m$

(2) Približne vrednosti za skupino B \rightarrow Preglednica 3.1 in Slika 3.1

(3) Približne vrednosti za skupino C \rightarrow Preglednica 3.1

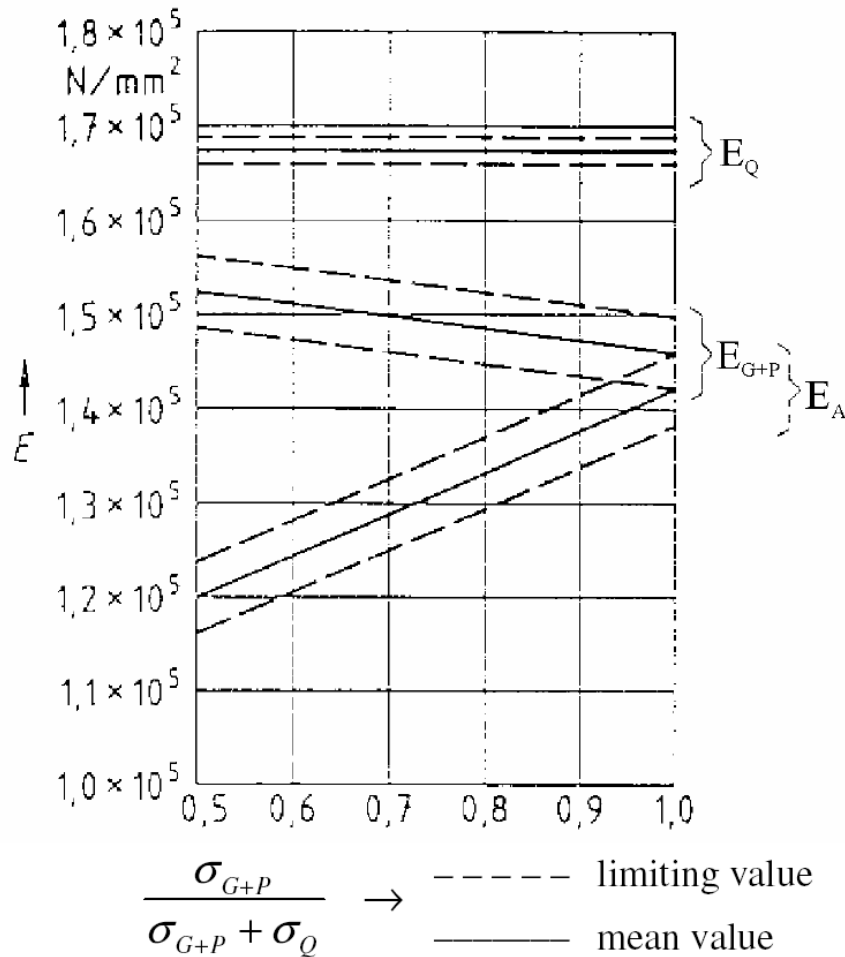
Modul elastičnosti

Preglednica 3.1: Modul elastičnosti E_Q , ki ustreza spremenljivi obtežbi Q

	Natezni elementi iz jekla visoke trdnosti	E_Q [kN/mm ²]	
		jeblene žice	jeblene žice iz nerjavnega jekla
1	Spiralni prameni	150 ± 10	130 ± 10
2	Polno zaščitene vrvi	160 ± 10	-
3	Prameni iz žičnatih vrvi s CWR	100 ± 10	90 ± 10
4	Prameni iz žičnatih vrvi s CF	80 ± 10	-
5	Vrv vzporednih žic	205 ± 5	-
6	Vrv vzporednih pramenov	195 ± 5	-

Modul elastičnosti

(4) Nominalne vrednosti modula elastičnosti zaprtih vrvi



Predpostavke:

- dolžina kablov $> 10d$
- $\sigma_{\min} > 100 \text{ N/mm}^2$

σ_{\min} = spodnja meja elastičnega območja

σ_{G+P} stress under characteristic permanent actions

σ_Q maximum stress under characteristic variable actions

E_Q modulus of elasticity for persistent design situations during service

E_{G+P} modulus of elasticity for an appropriate analysis for transient design situations during construction phase up to permanent load $G+P$

E_A modulus of elasticity for cutting to length

σ_A stress for cutting to length

.1: Modulus of elasticity E for non pre-stretched fully locked coil ropes for bridges

Trajnost žic, vrvi in sklopov

Korozijska zaščita

Elementi skupin B in C ter razredov izpostavljenosti 2, 4 in 5:

- zaščita individualnih žic;
- zaščita notranjosti vrvi → preprečeno vstopanje vlage v vrv;
- zaščita zunanje površine vrvi.

(2) Skupina C → dva sloja sistema korozijske zaščite

(3) Pri sponah in sidriščih je potrebna dodatna korozijska zaščita → penetracija vode

(4) Transport, skladiščenje, izvedba → Dodatek B

Trajnost žic, vrvi in sklopov

Korozijska zaščita posameznih žic

- ❑ Skupini B in C → zaščitna plast cinka ali cinkove legure;
- ❑ skupina B → SIST EN 10264-2, Razred A (okrogle žice);
→ SIST EN 10264-3, Razred A (oblikovane žice);
- ❑ skupina C → pr EN 10138.

Korozijska zaščita notranjosti vrvi skupine B

- ❑ **Aktivna ali pasivna polnilna zaščita** – pod vplivi vode, toplote in vibracij mora ostati nepremična;
- ❑ **aktivna polnila**: poliuretansko olje, osnova prašno barvanje z barvo na osnovi cinka;
- ❑ **pasivna polnila**: trajni elastično-plastični vosek ali aluminijev prah v ogljikovodikovi smoli.

Trajnost žic, vrvi in sklopov

Korozijska zaščita zunanosti elementov skupine B

- Dodatna zaščita zaradi poškodb pri montaži in izgube cinka;
- poliuretanska obloga debeline $t = \frac{d}{15} \geq 3 \text{ mm}$;
- barva na osnovi cinka;
- kabli iz vrvi iz nerjavnega jekla, zaključkov iz nerjavnega jekla in brez korozijske zaščite morajo ustrezati relevantnim razredom korozijske odpornosti;
- zaščita žic z Zn95A15 zagotavlja 3x boljšo zaščito kot zaščita iz cinka v enakih pogojih.

Trajnost žic, vrvi in sklopov

Korozijska zaščita elementov skupine C

- Običajno jeklena ali poliuretanska zaščitna cev → prostor med cevjo in vrvjo zapolnjen s protikorozijsko mešanico ali cementno malto;
- alternativno: ekstrudiran polietilen ali epoksi zaščita posameznih spleto ali kablov;
- zaščita kablov ob sidriščih nepropustna;
- odprtine zapolnjene z neprekinjenim hidrofobnim materialom (mast, vosek ali mehka smola, cement);
- alternativno: cirkulacija suhega zraka znotraj zaščitne cevi;
- glavne vrvi visečih mostov in sidrišča → poseben pristop.

Mejno stanje nosilnosti

Prednapete palice in elementi skupine B in C

Projektiranje v MSN v skladu s standardoma SIST EN 1993-1-1
in SIST EN 1993-1-4

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1,0 \quad F_{Rd} = \min \left\{ \frac{F_{uk}}{1,5 \gamma_R}; \frac{F_k}{\gamma_R} \right\}$$

- F_{Ed} projektna vrednost osne sile
- F_{Rd} projektna natezna nosilnost
- F_{uk} karakteristična nosilnost na pretrg
- F_k karakteristična plastična nosilnost (zagotavljanje elastičnega območja tudi v MSN)
- γ_R parcialni faktor:
0,9 → ukrepi za zmanjšanje upogibnih napetosti.
1,0 → brez ukrepov.

**Preglednica 6.1: Karakteristična plastična nosilnost natezne
komponente**

Skupina	Pripadajoči standard	F_k
A	SIST EN 10138 - 1	$F_{0,1k} = A_m f_{0,1k}^*$
B	SIST EN 10264	$F_{0,2k} = A_m f_{0,2k}$
C	prEN 10138 - 1	$F_{0,1k} = A_m f_{0,1k}$

* Za prednapete palice glej SIST EN 1993-1-1 in SIST EN 1993-1-4

F_{uk}

Elementi skupine C:

$$F_{uk} = A_m f_{uk}$$

A_m ... površina jeklenega prereza

f_{uk} ... karakteristična vrednost natezne trdnosti

Elementi skupine B:

$$F_{uk} = F_{min} k_e$$

$$F_{min} = \frac{K d^2 R_r}{1000} \text{ [kN]}$$

Table 6.3: Loss factors k_e

Type of termination	Loss factor k_e
Metal filled socket	1,0
Resin filled socket	1,0
Ferrule-secured eye	0,9
Swaged socket	0,9
U-bolt grip	0,8 *)

*) For U-bolt grip a reduction of preload is possible.

K ... faktor minimalne sile pretrga, ob upoštevanju izgube vpliva vitja

d ... nominalni premer vrvi v mm

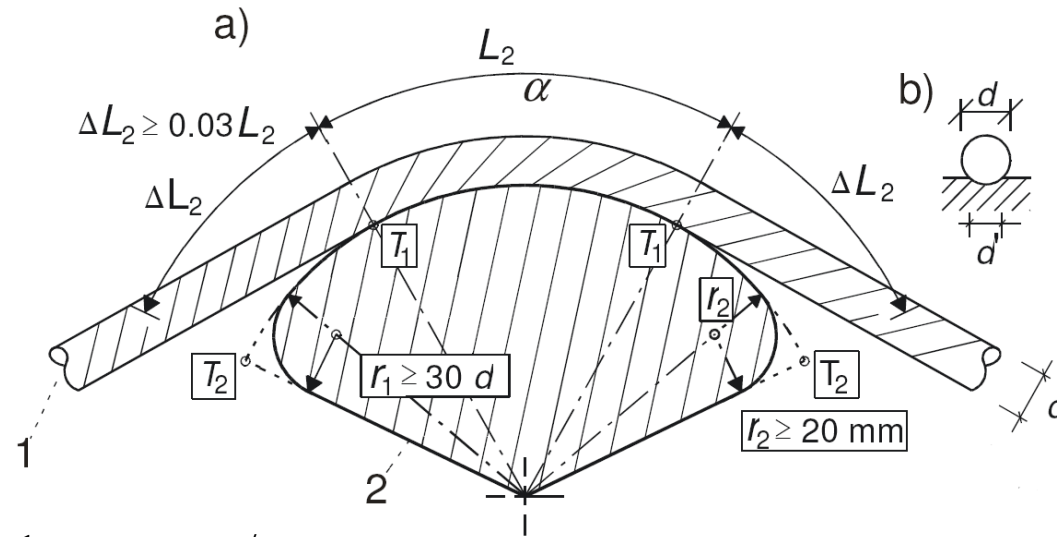
R_r ... kvaliteta vrvi v N/mm²

k_e ... faktor izgube, odvisen od tipa zaključka vrvi

K , d in R_r so za vse vrvi podani v SIST EN 12385-2

Sedla

Geometrijski pogoji



1 pramen / vrv

2 sedlo

L_2 dolžina pramena/vrvi med dvema teoretično tangentnima točkama T_1 za najbolj neugodno karakteristično kombinacijo obtežbe in verižnice

ΔL_2 dodatna dolžina

Projektiranje sedla

Geometrijski pogoji

$$r_1 \geq \max(30 d; 400\phi)$$

ϕ ... premer žice

d ... premer vrvi

Lego točk T_1 in T_2 se določi za ustrezne obtežne primere z upoštevanjem premikanja sedla in vrvi.

Kadar sedlo ustreza vsem geometrijskim pogojem, se napetosti zaradi ukrivljenosti vrvi lahko zanemarijo.

Projektiranje sedla

Sedla je potrebno projektirati na silo $k \times$ karakteristična natezna nosilnost vrvi:

$$F_{Ed} = k F_{uk}$$

Priporočena vrednost: $k = 1,1$

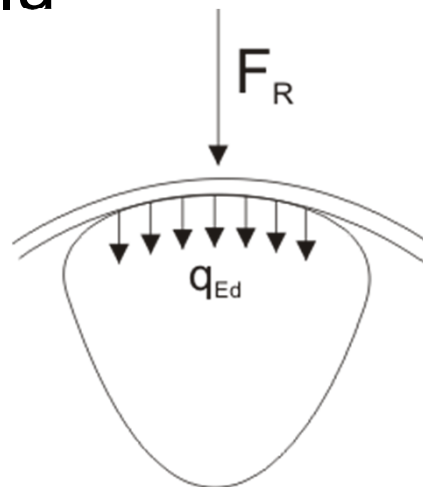
Potrebno je kontrolirati tudi zdrs kabla v sedlu.

Prečni pritisk q_{Ed} zaradi prednapetja z objemko v sedlu

$$\frac{q_{Ed}}{q_{Rd}} \leq 1,0$$

$$q_{Ed} = \frac{F_r}{d' L_2} \quad \text{pri} \quad 0,6 d \leq d' \leq d$$

$$q_{Rd} = \frac{q_{Rk}}{\gamma_{M,bed}}$$



q_{Rk} karakteristična vrednost določena s testom ali iz preglednice 6.4

Uporaba mejne vrednosti prečnega pritiska q_{Rk} iz Preglednice 6.4 in delnega faktorja $\gamma_{M,bed} = 1,0$ vodi v največ 3% redukcije nosilnosti na pretrg.

Preglednica 6.4: Mejne vrednosti q_{Rk}

Vrsta vrvi	q_{Rk} [N/mm ²]	
	Jeklene spone in sedla	Zaščitene spone in sedla
Polno zaščitena vrv	40	100
Spiralna vrv	25	60

Spone morajo biti zaščitene z mehko kovinsko ali cinkovo oblogo debeline vsaj 1 mm.

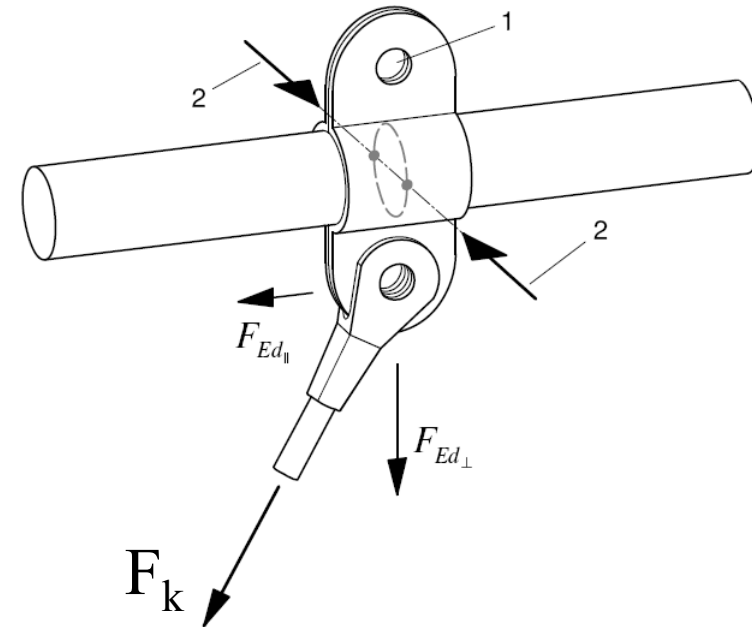
Spone

Kontrole:

- zdrs ($F_{Ed\parallel}$)
- kontrola prečnega pritiska

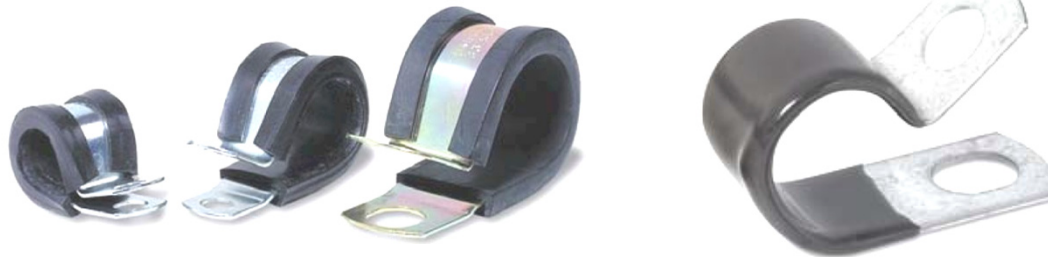
$$F_{Ed} = 1,15 F_k$$

F_k ... karakteristična nosilnost sekundarnih pripetih elementov



- 1 hole for preloaded bolts
- 2 preload F_r from preloaded bolts

Figure 6.2: Clamp



Mejno stanje uporabnosti

Mejno stanje uporabnosti

Kontrola dveh kriterijev v MSU:

1. Deformacije ali vibracije
2. Elastično stanje konstrukcije

Možna redukcija upogibnih momentov v sidriščih z ustreznimi ukrepi (npr. neoprenska podloga za prečno obtežbo).

Mejne napetosti

Določitev za karakteristično obtežno kombinacijo z namenom:

- napetosti ostanejo v elastičnem območju za ustrezna projektna stanja med gradnjo in uporabo,
- omejitev deformacij, da ukrepi proti koroziji niso prizadeti in zaradi nezanesljivosti projektiranja na utrujanje.

Povezava z nosilnostjo na pretrg:

→ faza gradnje

$$\sigma_{Ed} \leq f_{const.} = \begin{cases} 0,60 \sigma_{uk} & \text{za prve natezne elemente (nekaj ur)} \\ 0,55 \sigma_{uk} & \text{po montaži ostalih elementov} \end{cases}$$

→ faza uporabe

$$\sigma_{Ed} \leq f_{SLS} = \begin{cases} 0,50 \sigma_{uk} & \text{če so pri projektiranju na utrujanje upoštevane tudi upogibne napetosti} \\ 0,45 \sigma_{uk} & \text{če upogibne napetosti niso upoštevane} \end{cases}$$

Vibracije vrvi

- ❑ Aerodinamične sile na ceveh, ki jih povzročijo:
 - ❑ sunki vetra;
 - ❑ preostali vrtinci;
 - ❑ galloping;
 - ❑ wake galloping;
 - ❑ interakcija vetra, dežja in vrvi.

- ❑ Dinamične sile na drugih delih konstrukcije (nosilec, stolp).

Omejitev vibracij vrvi

- ❑ Konstrukcije, podprte z vrvmi → nadzor prekomernih vibracij zaradi vetra in dežja.
- ❑ Pri projektiranju potrebno predvideti namestitev opreme za merjenje vibracij med ali po montaži.
- ❑ Ukrepi lahko vključujejo:
 - ❑ obdelavo površine kablov (aerodinamična oblika)
 - ❑ dušilci
 - ❑ stabilizacija kablov (npr. z dodatnimi vmesnimi spoji)

Ocena nevarnosti

- ❑ Vibracije vrvi zaradi dežja in vetra je potrebno preprečiti s projektiranjem (uporaba primerne oblike kabla).
- ❑ Naraščanje vibracij z dolžino vrvi – pri kratkih vrveh (70 – 80m) ni nevarnosti nastanka vibracij (razen pri posebno nestabilni konstrukciji).
- ❑ Pri daljših vrveh potrebna montaža dušilcev (kritično dušenje vsaj 0,5%).
- ❑ Ocena nevarnosti resonance povezane z nestabilnostjo – *parametric resonance* (natančna študija uklonskih oblik konstrukcije in vrvi z upoštevanjem razmerja kotnih frekvenc in pomikov sidrišč za vsako uklonsko obliko).
- ❑ Ukrepi za preprečitev prekrivanja frekvenc (po potrebi uporaba stabilizacijskih vrvi).
- ❑ Omejitev amplitud vibracij zaradi varnosti in udobnosti uporabnikov (pri hitrosti vetra 15m/s amplituda vrvi $< L/500$).

Transport, skladiščenje, izvedba

- (1) Spiralne vrvi in polno zaprte vrvi se dobavljajo v zvitkih ali naviti na motku
- (2) Minimalni premer motka ($30 \times$ premer polno zaprte vrvi, $24 \times$ premer spiralne vrvi, $16 \times$ premer vrvi) je odvisen od zaščite, časa skladiščjenja in temperature (previdnost pri odvijanju pri $T < 5^{\circ}\text{C}$).
- (3) Vrvi v zvitkih je potrebno zračiti oz. preprečiti stik s tlemi \rightarrow pojav mehurjenja (*white blister*) zaradi kondenzacije vlage.
- (4) Pri rokovanju z vrvmi je potrebna skrajna previdnost, pri horizontalnem odvijanju zvitkov je potrebno vrtenje le teh.
- (5) Pri kablilih ni dovoljena(o):
 - odstranitev zaščite pred namestitvijo kabla;
 - ukrivljenje z radijem manjšim od $30 \times$ premer kabla;
 - vlečenje preko ostrih robov;
 - spiralna zvitost.