

# Proračun sila za Tirolske prečnice

Svjetlan Hudec

**Komisija za speleologiju HPS**

*Objavljeno na Hrvatskom speleološkom poslužitelju 28.12.2008.*

## 1. UVOD

Prečnice se često koriste prilikom speleoloških istraživanja i postavljaju se tamo gdje je potrebno horizontalno napredovanje. Posebna varijanta prečnice je takozvana tirolska prečnica koja se koristi kod speleoloških spašavanja.

Radi se u stvari o varijanti žičare. Postavlja se noseće uže manje više horizontalno, a po njemu se speleolog ili sam povlači, ili se pridržava ili objesi. Kod spašavanja, na noseće uže objesi se nosilo s unesrećenim, a dodatnim užetom se pomiče horizontalno. Tako se može transportirati i oprema. U speleološkim i spasavalačkim krugovima postavlja se pitanje sila u užetima koje se pojavljuju primjenom raznih vrsta prečnica i pri različitim opterećenjima. Ovdje je proveden proračun za uže mammut pro-static, 11mm.

## 2. TEORIJSKA OSNOVA PRORAČUNA LANČANICE

Lančanicom se naziva ravnotežni položaj gipke niti koja nosi kontinuirano opterećenje intenziteta  $p(x)$ . Osnovna karakteristika lančanica je da je horizontalna komponenta sile u lančanicama (H) konstantna po luku, bez obzira na nagib lančanice u pojedinoj točki.

Lančanica je nosivi element koji mijenja svoj geometrijski oblik u ovisnosti o opterećenju u tolikoj mjeri, da se deformacije ne mogu zanemariti, jer one mijenjaju čitav sistem. Zbog toga za lančanice ne vrijedi princip superpozicije. Pri tome razlikujemo barem dva slučaja:

1. slučaj: uže se montira između ležaja A i B. Odmjerena je teorijska duljina L. Nakon montiranja uže se opterećuje vlastitom težinom.
2. slučaj: uže je montirano kao lančanica i opterećeno barem vlastitom težinom, a eventualno i drugim teretima (npr. prednaprezanje). Takvom stanju odgovara komponenta zatezanja  $H_1$  i duljina  $L_1$ , u koju je već uračunato elastično rastezanje  $\Delta L_1$ . Ako se takvo uže optereti kojim drugim opterećenjem, horizontalna komponenta zatezanja će se promijeniti i postat će  $H_2$ . Prema tome u užetu će se pojaviti razlika zatezanja  $H_2 - H_1$  (po približnoj pretpostavci), te će se njegova duljina promijeniti.

Kada je  $p(x) = p = \text{konst.}$  (kada je lančanica opterećena konstantnim opterećenjem po jedinici horizontalne projekcije) tada se dobiva parabolična lančanica. U slučaju kada su nit ili uže opterećeni konstantnim opterećenjem po jedinici luka dobiva se takozvana eksponencijalna ili hiperbolična lančanica. U tehničkim konstrukcijama u pravilu se koristi parabolična lančanica, pogotovo tamo gdje je težina niti relativno mala ili bez težine.

Kod pojednostavljenog proračuna prema Dvornik-Lazareviću (1), na veličinu sile dobivenu od vertikalnog opterećenja, sila prednaprezanja se samo pribroji.

Teorijski stroži pristup ima Andrejev (2), no postupak je znatno kompliciraniji.

### 3. PRORAČUN SILE PREDNAPREZANJA

Kod postavljanja prečnice uža (duljine  $L$ ) se postavi između točaka A i B. Udaljenost između tih točaka iznosi  $l$ . U tom momentu se ne zna "prava" duljina ( $L+\Delta L$ ) užeta već samo udaljenost između A i B, te eventualno progib. Taj progib je zbrojena veličina od "viška" duljine ( $L>l$ ) i progiba koji je nastao od opterećenja vlastitom težinom užeta duljine  $L$ . Zatim, obično na jednom kraju, se uža zateže (prednapreže). Pri tom se ustvari skraćuje duljina užeta ( $L+\Delta L$ ) za neki  $l_0$ . Cijeli sistem u stvari mijenja geometriju.

Bez obzira na veličinu prečnice (1) oni koji zatežu uža zatežu ga uvijek prema vlastitim mogućnostima, odnosno na istu mjeru (veličinu sile) bez obzira na veličinu prečnice. Prednaprezanje završi obično subjektivnom procjenom onoga koji zateže da je uža dovoljno napeto.

To ima za posljedicu da će veličina sile u užetu imati približno istu vrijednost bez obzira na veličinu prečnice dok će geometrijski uvjeti biti drugačiji, za svaki slučaj posebno.

Obzirom da je veličina horizontalne sile ( $H$ )

$$H = pL^2/8f$$

Gdje je:

$P$ .....vlastita težina užeta

$L$ .....duljina užeta

$f$ .....progib

Za promatrano uža (Mammut Pro-static, 11 mm, TYP A, od PA, produljenje od 3,5% pri opterećenju od 1,5 kN, statička prekidna sila 34 kN, maksimalna sila na čvoru 20 kN) i različite raspone dobivaju se za progib od 1cm sljedeće veličine sile:

Raspon (m)	5,0	10,0	20,0
Sila (kN)	0,31	1,25	5,0

Za silu od 3,0 kN za različite raspone dobivaju se sljedeće vrijednosti progiba:

Raspon (m)	5,0	10,0	20,0
Progib(mm)	1	4	16

Zbog relativno malih kutova (progiba) razlika između horizontalne sile  $H$  i

maksimalne sile u užetu  $S_{max}$  je minimalna i može se za ovaj slučaj zanemariti.

#### 4. PRORAČUN SILA LANČANICE OD VERTIKALNIH SILA

Proračun sila lančanice za vertikalno opterećenje lančanica provedena je prema Dvorniku-Lazareviću. Napravljena je procedura u Excelu pomoću koje su dobiveni sljedeći rezultati za prečnicu raspona 5m.

TIROLSKA  
PREČNICA

Uže Mammut Prostatic, 11 mm, Typ A, deformacija pri 1,5 kN...3,5%

<b>kar. užeta</b>	EF		42,8571	42,8571	42,8571	42,8571	42,8571	42,8571
<b>raspon</b>	l	m	5	5	5	5	5	5
<b>sila</b>	P	kN	1	2	3	4	5	6
<b>progib</b>	y	m	0,92985	1,1936	1,3895	1,5518	1,694	1,823
<b>hor. sila</b>	H	kN	2,6886	4,1890	5,3976	6,4441	7,3790	8,2282
	tg $\phi$		0,3719	0,4774	0,5558	0,6207	0,6776	0,7292
	fi	rad	0,3561	0,4454	0,5073	0,5555	0,5955	0,6301
	cos fi		0,9373	0,9024	0,8741	0,8496	0,8278	0,8080
<b>sila u užetu</b>	S	kN	2,8686	4,6420	6,1753	7,5846	8,9134	10,1835
<b>produljenje</b>	delta l	m	0,3347	0,5416	0,7205	0,8849	1,0399	1,1881
	l/2	m	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
<b>nova duljina</b>	l+delta l	m	5,3347	5,5416	5,7205	5,8849	6,0399	6,1881
		m	2,6673	2,7708	2,8602	2,9424	3,0200	3,0940
<b>progib</b>	y	m	0,9299	1,1947	1,3896	1,5518	1,6941	1,8229
	$\phi$	stupnjevi	20,4022	25,5217	29,0653	31,8287	34,1216	36,0995
	$\alpha$	stupnjevi	139,196	128,957	121,869	116,343	111,757	107,801

Rezultati proračuna za veličine sila su nezavisni od veličine raspona, i ovise o karakteristikama užeta i o opterećenju tako da se rezultati za promatrano uže mogu prikazati u skraćenom obliku:

Opterećenje	Sila u užetu	kut
(kN)	(kN)	stupnjevi
0	0	180
1	2,87	139
2	4,64	129
3	6,18	122
4	7,58	116

5	8,91	112
6	10,18	108

Ukupna sila u užetu se dobije kao zbroj sile prednaprezanja i sile u užetu iz tablice.

Za različite tehničke karakteristike užeta dobivaju se različiti rezultati. Za užeta koja se manje rastežu od promatranog veličine sila će biti veće.

## 5. UMJESTO ZAKLJUČKA

Sile koje se pojavljuju pri izvedbi Tirolske prečnice su značajne, te ne bi trebalo užeta previše prednaprezati. Također, ne preporuča se previše opteretiti prečnicu, a naročito ne padati. Jedan speleolog = 1,0 kN. Dinamičke sile prilikom padova su približno dvostruko veće od onih za statički slučaj. Vrlo je važno da je uže kvalitetno i neoštećeno, odnosno da je uže pravilno postavljeno i da ne dira stijenu.

## LITERATURA:

1. Dvornik, Lazarevic:Viseće konstrukcije od platna i užadi; Građevinski godišnjak '97, Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, 1997.
2. V. Andrejev: Mehanika I dio -Statika, Tehnička Knjiga, Zagreb 1969.
3. Deklaracija užeta Mammut PRO-STATIC