



foto: Željko Bačurin

RASPODJELA STATIČKIH SILA U KRAKOVIMA DVOSTRUKOG SIDRIŠTA

PIŠE: Dinko Stopić, dipl. ing.
Speleološko društvo "Karlovac"
Karlovac

(izvadak iz seminarskog rada "RASPODJELA STATIČKIH SILA U KRAKOVIMA DVOSTRUKOG SIDRIŠTA I UŽETU TIROLSKE PREČNICE" za stjecanje kategorije *Stariji speleolog* Hrvatskog speleološkog saveza)

Pretpostavke proračuna dvostrukog sidrišta

Proračuni sila u krakovima obavlja se uz nekoliko pojednostavljenja i idealizacija:

1. Zanemaruje se vlastita težina užeta i progibi od iste,
2. Uže nema otpornost na savijanje, tj. prenosi samo uzdužne vlačne sile,
3. Modul elastičnosti užeta je konstantan do trenutka loma užeta, zanemaruju se deformacije (izduženja) užeta pod opterećenjem,
4. Zanemaruju se sva trenja u sistemu,
5. Ubrzanje sile teže = 10 m/s^2 (umjesto 9.81 m/s^2).

Ad 1. Kod dvostrukog sidrišta koriste se kratki odsječci užeta čija je masa u usporedbi s opterećenjem koje se promatra zanemarivo mala. Kod tirolskih prečnica koriste se dulji komadi, ali njihova masa rijetko prelazi 5 % glavnog opterećenja te se kao takva zanemaruje.

Ad 2. Otpornost na savijanje užeta je zanemarivo mala tako da nema nikakvih utjecaja na nosivost samog užeta, odnosno uže nosi isključivo kao vlačni element.

Ad 3. U stvarnosti statička poliamidna užad imaju promjenjiv modul elastičnosti koji raste s prirastom opterećenja. Drugim riječima, za isti prirast sile deformacija (izduženje) užeta je veća kod manjih opterećenja. To bi za posljedicu imalo složenu preraspodjelu opterećenja između krakova, što bi dovelo do promjene geometrije sistema. S obzirom da se radi o kratkim odsječcima užeta ta izduženja su mala stoga se ovaj utjecaj zanemaruje.

Ad 4. Trenja koja se pojavljuju između užeta i karabinera zanemaruju se jer je sila koja se prenosi kontaktom zanemarivo mala u

odnosu na sile u užadi.

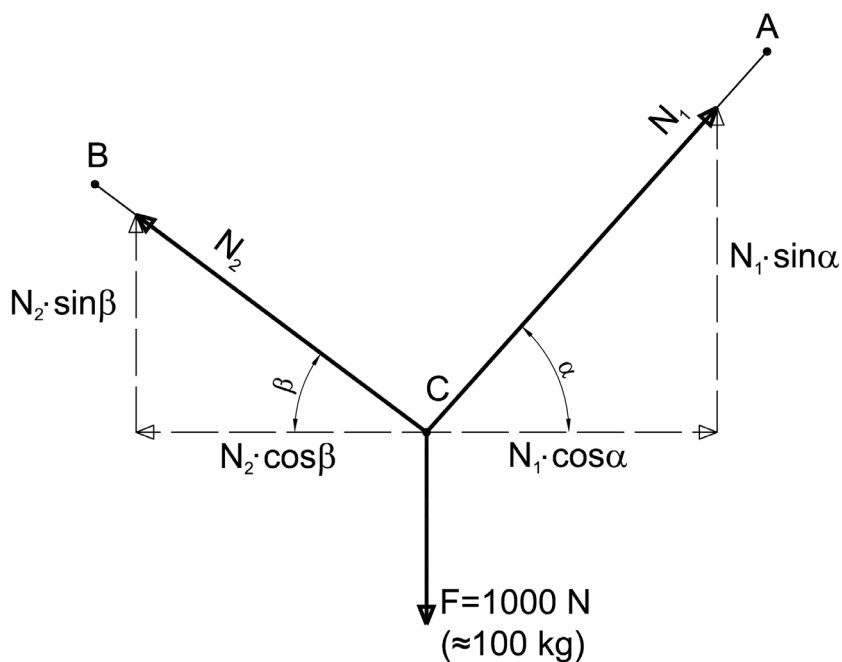
Ad 5. Radi pojednostavljenja ulaznih podataka koristi se gore navedena vrijednost. Generalno, za proračun je potpuno nebitno kolika je vrijednost konstante g . Ova vrijednost odabrana je da bi se slikovitije prevele jedinice uvriježene u svakodnevnoj uporabi (kilogrami [kg]) u inženjerske mjere (Newton [N]).

Varijable i konstante proračuna

Na slici 1 prikazan je mehanizam djelovanja sila u čvoru C.

Proračunom u ovom poglavlju želi se prikazati ovisnost sila u krakovima dvostrukog sidrišta o kutovima koje krakovi zatvaraju spram horizontale. Kao konstantna vrijednost za opterećenje odabrana je sila od 1000 N odnosno približno 100 kg, što je otprilike masa prosječnog speleologa sa opremom i punom transportnom vrećom.

Varijabilne vrijednosti su kutovi α i β , koji su za promatrani slučaj dovedeni u međusobnu ovisnost u određenom omjeru. Drugim riječima, u prikazanim dijagramima



Slika 1. Raspodjela sila u čvoru C za statički sustav dvostrukog sidrišta

mijenja se kut α , a kut β ga automatski prati u omjeru navedenom ispod dijagrama.

Uvjet ravnoteže

Uvjet ravnoteže čvora C je da je suma svih sila koje djeluju u čvoru jednaka nuli. Ako rastavimo sile na horizontalne i vertikalne komponente u ovisnosti o kutovima pod kojim djeluje pojedina sila (odnosno pod kojim je položeno uže) dobivamo sustav dviju jednadžbi sa dvije nepoznanice (N_1 i N_2):

Suma svih vertikalnih sila u sistemu:

$$F = N_1 \cdot \sin \alpha + N_2 \cdot \sin \beta$$

Suma svih horizontalnih sila u sistemu:

$$N_1 \cdot \cos \alpha = N_2 \cdot \cos \beta$$

Rješenjem gornjeg sustava dobivamo izraze za sile u krakovima

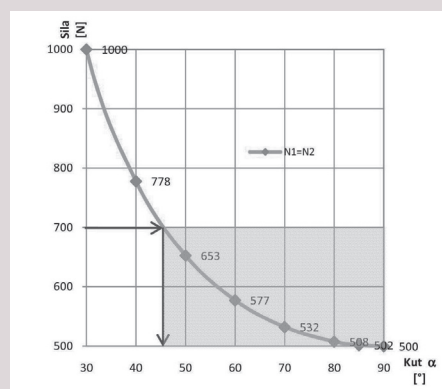
$$N_1 = \frac{F}{\sin \alpha + \cos \alpha \cdot \tan \beta}$$

$$N_2 = \frac{F}{\tan \alpha \cdot \cos \beta + \sin \beta}$$

Na dijagramima koji slijede daje se prikaz ovisnosti sila u krakovima o kutu α za raspon kuta od 30° do 90° . Za svaki dijagram vrijedi drugačiji odnos kutova β/α .

Osjenčano je područje dijagrama u kojem sila u bilo kojem kraku dvostrukog sidrišta ne prelazi 70% početnog opterećenja, odnosno u konkretnom slučaju 700 N.

Ta vrijednost je, prema vlastitom izboru, određena kao granična, pri kojoj ima smisla izrađivati dvostruko sidrište jer je smanjenje sila u krakovima u odnosu na početno opterećenje značajno. Ova pretpostavka nije sasvim opravdana jer u praksi uloga dvostrukog sidrišta nije samo preraspodjela osnovnog opterećenja na dva klina nego i njihovo međusobno osiguravanje.

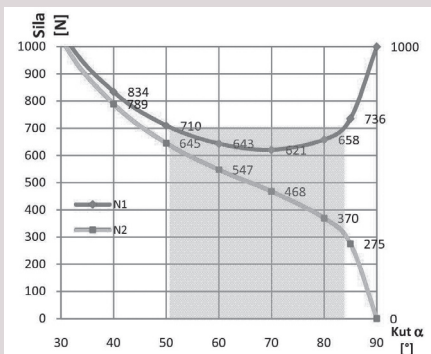


Dijagram 1. $\beta = \alpha$

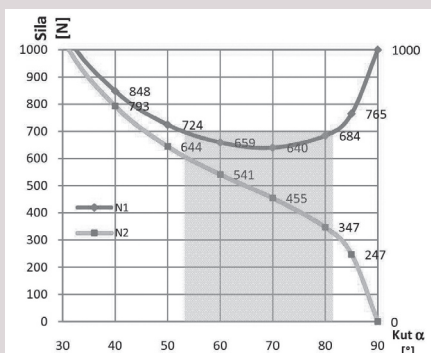
Iz prvog dijagrama vidljivo je da uz pretpostavku $\beta = \alpha$ pri kutu $\alpha = 30^\circ$ iznos sila u užadi $N_1 = N_2 = 1000$ kN, što je granična vrijednost. Pri daljnjem smanjivanju kutova, sile u krakovima dvostrukog sidrišta premašuju opterećenje samog sidrišta čime se gubi smisao njegove izrade.

Ako se promotri dijagram 2, vidljivo je da se interval u kojem je zadovoljen uvjet za ne prekoračivanje druge granične vrijednosti nalazi u granicama:

$$50^\circ < \alpha < 84^\circ, \text{ uz } \beta = 9/10 \cdot \alpha$$



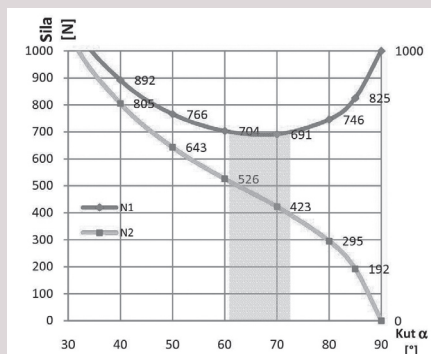
Dijagram 2. $\beta = 9/10 \cdot \alpha$



Dijagram 3. $\beta = 6/7 \cdot \alpha$

Za dijagram 3 vrijedi:

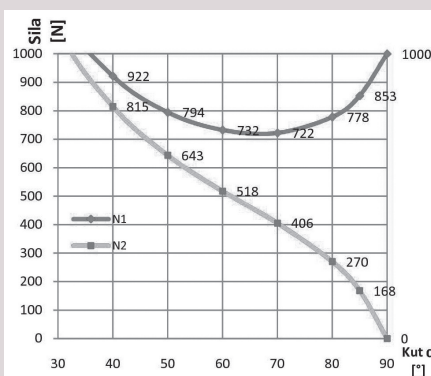
$$52^\circ < \alpha < 81^\circ, \text{ uz } \beta = 6/7 \cdot \alpha$$



Dijagram 4. $\beta = 4/5 \cdot \alpha$

Za dijagram 4 vrijedi:

$$61^\circ < \alpha < 73^\circ, \text{ uz } \beta = 4/5 \cdot \alpha$$



Dijagram 5. $\beta = 3/4 \cdot \alpha$

Ako se promotri dijagram 5, vidljivo je se da pri ovom omjeru kutova ne može zadovoljiti uvjet da sila u jednom kraku ne premaši 70% osnovnog opterećenja.

Zaključak

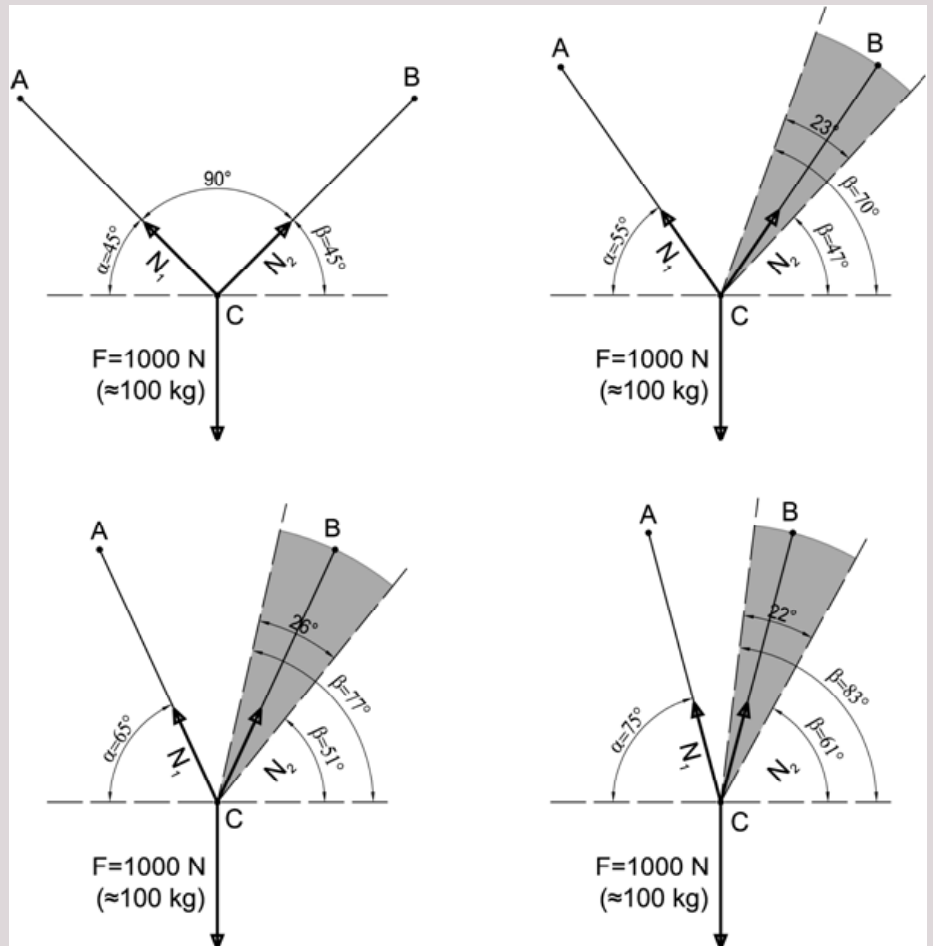
Iz gore prikazanih primjera međusobnog odnosa kutova α i β i njihovog apsolutnog iznosa spram horizontale mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. Najpovoljniji raspored sila u krakovima dobiva se za simetrično dvostruko sidrište. Da bi bio zadovoljen uvjet da sila u krakovima ne premašuje 70% osnovnog opterećenja kutovi $\alpha = \beta$ ne bi smjeli biti manji od 45° .

2. Ukoliko se postavlja asimetrično sidrište, potrebno je pripaziti na omjer kutova krakova spram horizontale (α i β). Iz gornjih primjera vidljivo je da ukoliko odnos kutova prelazi omjer 3/4 (dijagram 5) nije moguće zadovoljiti uvjet da sila u jednom od krakova ne prelazi odabranu graničnu vrijednost (70 % osnovnog opterećenja).

3. Najmanja vrijednost kuta α ne bi smjela biti ispod 45° spram horizontale. U tom slučaju pridruženi kut β trebao bi biti također 45° . Ukoliko povećavamo α , ostaje nam šira zona sigurnog odabira kuta β koja u prosjeku iznosi $\pm 10^\circ$ od odabranog vodećeg kuta α .

Svrha ovog rada nije bila postavljanje novih smjernica, normi ili pravila u opremanju speleoloških objekata. Želja mi je bila relativno jednostavnim proračunima i skicama pokazati nekome tko se ne susreće svakodnevno sa problemima



Slika 2. prikaz pripadajućih kutova β za odabrani kut α

statičke mehanike kako po prilici izgleda tok sila u dvostrukom sidrištu i koliko odabirom kutova krakova spram horizontale utječemo na sile u krakovima.

Besmisleno je prilikom postavljanja vertikalne mjeriti kutove krakova sidrišta i prema tome određivati položaj klinova. No ukoliko se

malo pripazi i dvostruko sidrište "od oka" postavi tako da mu krakovi ne odstupaju više od 10° jedan od drugog svakako će se postići bolja raspodjela opterećenja na klinove, a samim time i veća sigurnost sidrišta.

STATIC FORCES DISTRIBUTION IN DOUBLE ANCHOR LEGS

The article explains in laymen terms the distribution of forces in double anchor legs, illustrating the mechanism of forces in action and the conditions of balance in knots. In picture 1 there are variables (angles α and β) in a relation. The purpose of the calculation is to see which α and β meet the condition that there is no force bigger than 70% of the initial anchor load in any of the double anchor legs. The least value of angle α should not be under 45° in relation to a horizontal. If α is increased, there is a broader zone of angle β left, which amounts to $\pm 10^\circ$ of the leading angle α on average. (picture 2).