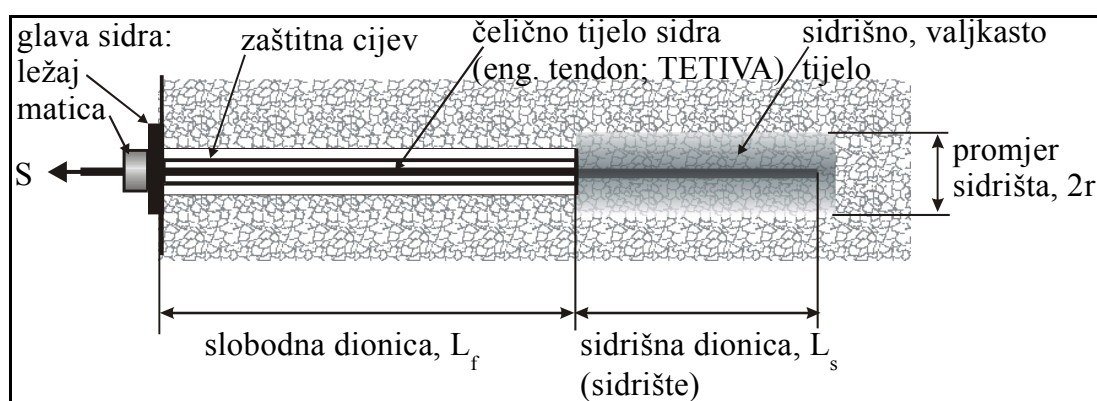


SIDRO - NAČIN PRIJENOSA SILE U TLO

Lom sidra može nastati na jedan ili više od slijedećih načina:

- lom po spoju injekcijskog (sidrišnog) tijela i tetive
- lom po spoju injekcijskog (sidrišnog) tijela i tla/stijene
- lom unutar mase tla/stijene
- lom čelične tetive ili njenih komponenti
- drobljenje injekcijskog tijela oko tetive
- lom naglavne konstrukcije sidra u grupi

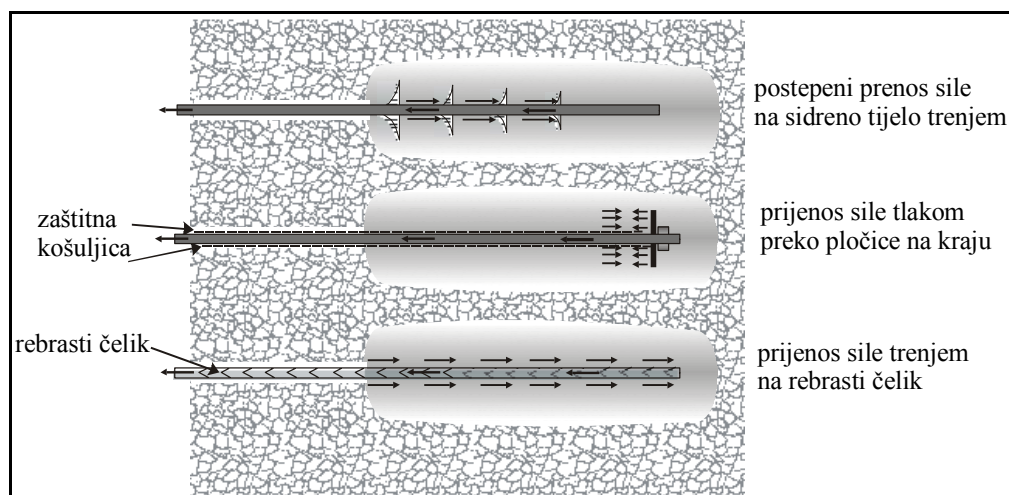
Potrebno je kod dimenzioniranja sidra provjeriti svaki od navedenih uvjeta. Posebno je potrebno provjeriti i globalnu stabilnost cijele konstrukcije koja je pridržana sa sidrima.



Skica dijelova sidra injektiranog na jednom dijelu

Lom po spoju injekcijskog (sidrišnog) tijela i tetive

Otpor na spoju čelično tijelo tetive i injekcijskog tijela ima iskustvene vrijednosti oko $0.23 - 1.10 \text{ N/mm}^2$ (za injekcijsko tijelo od cementa). Ovisi i o vrsti tetive (vrta čelika, način obrade površine,...).



Mogući načini prijenosa sile iz tetive na sidrišno tijelo. Prijenos sile preko ploče na kraju sidra stvara u sidrištu tlačna naprezanja i sprječava stvaranje pukotina u tijelu sidrišta.

Lom po spoju injekcijskog (sidrišnog) tijela i tla/stijene

Silu S , čelično tijelo sidra (tetiva) prenosi na sidrišno tijelo, a ono na tlo (lom po spoju injekcijskog tijela i tla/stijene). Pri tome je nosivost na plaštu sidrišnog tijela:

$$S_{fc} = \tau * (2r\pi) * L_s$$

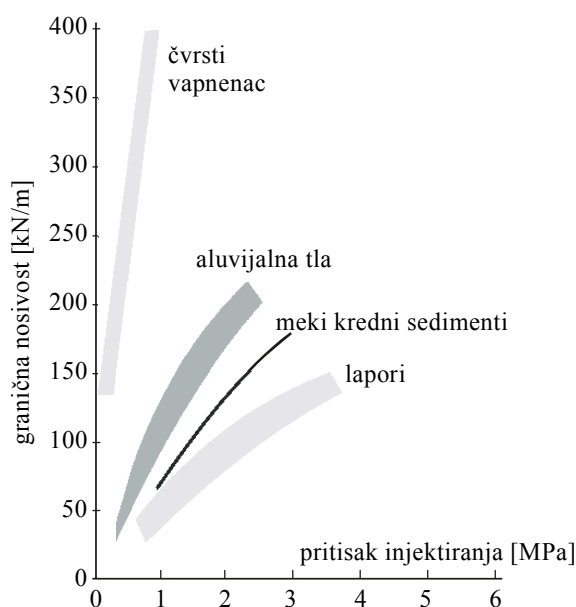
gdje su: L_s – dužina sidrišnog tijela
 r - polumjer presjeka sidrišnog tijela
 τ - prionjivost

Za koherentno tlo prionjivost se može odrediti kao: $\tau = \alpha \cdot c + \sigma_n \cdot \operatorname{tg}\varphi$

α - koeficijent prionjivosti (αc je adhezija)

σ_n – geostatičko naprezanje normalno (okomito) na površinu sidrišnog tijela

Prionjivost (τ) ovisi o vrsti tla u koje se sidro ugrađuje i o tlaku prilikom injektiranja.

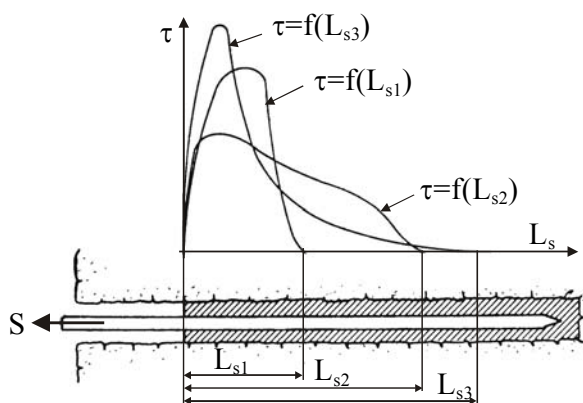


Nosivost sidrišne dionice u ovisnosti o vrsti tla i pritisku injektiranja

Iskustvene vrijednosti prionjivosti:

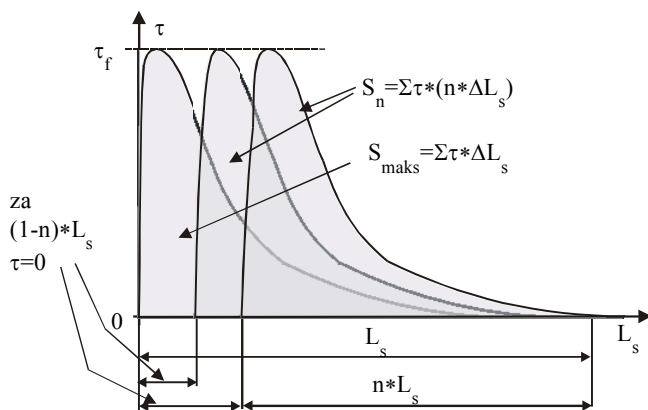
vrsta tla/stijene	τ (N/mm ²) pri lomu
granit	0.93 - 1.72
vapnenac	0.63 - 1.19 (3.0)
pješčenjak	0.30 - 1.44 (4.0)
lapor	0.60
šljunkovito tlo	0.20 - 0.30
pjeskovito tlo	0.15 - 0.22
koherentno tlo	0.10 - 0.15
	1 N/mm ² = 1000 kN/m ²

U prvom trenutku se čini da, što je sidrišna dionica duža, to je moguće u tlo predati veću silu. Međutim, pokusi su pokazali da dolazi do koncentracije posmičnih napreznaja na početku sidrišne dionice.

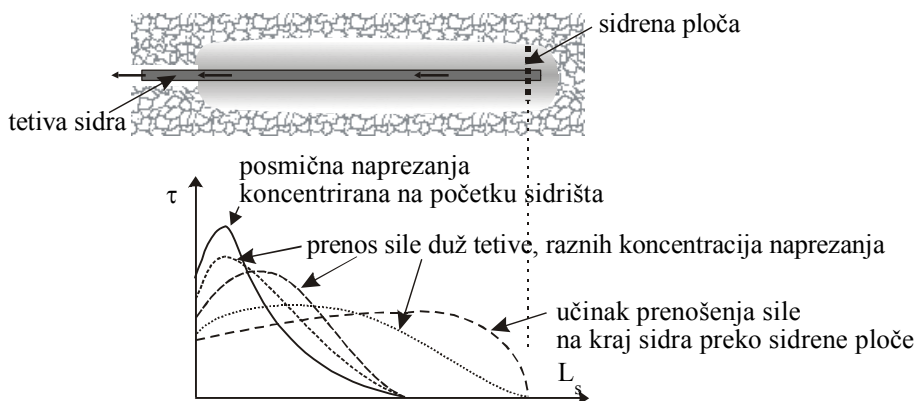


Raspodjela posmičnih napreznaja u ovisnosti o dužini sidrišta

Intenzitet koncentracije se smanjuje produžetkom sidrišne dionice, ali samo do neke mjere. To znači da se velikim duljinama sidrišne dionice ne može bitno povećati sila u sidru. Ako se sidrišna dionica poveća i poveća sila u sidru, doći će do prekoračenja čvrstoće na smicanja na početku sidrišne dionice, napreznaja će se «povući» dublje. Iz navedenog razloga sidrišne dionice obično nisu duže od 6-10 m.



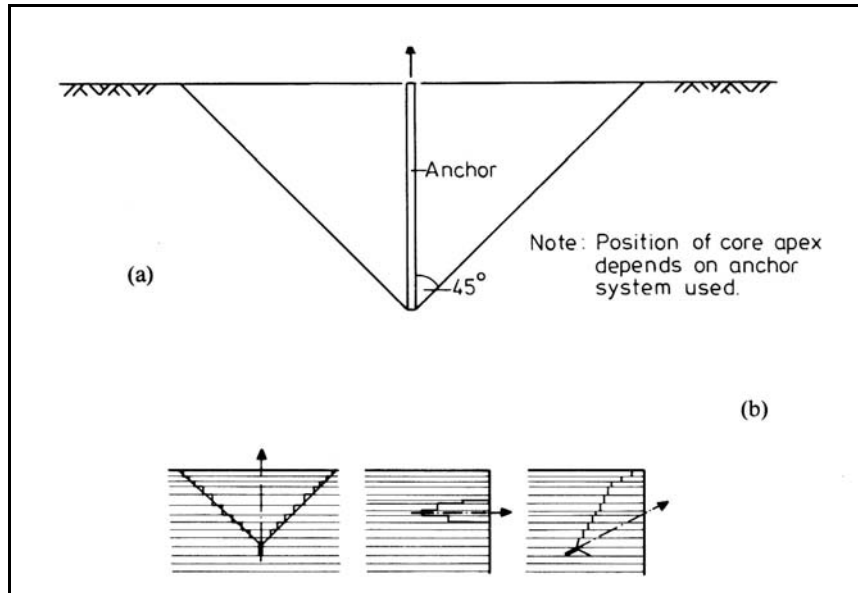
Pomak dijagrama posmičnog napreznaja duž sidrišta u slučaju dosega čvrstoće na smicanje na njenom početku



Mogući oblici raspodjele posmičnih napreznaja u sidrišnoj dionici

Lom unutar mase tla/stijene

Lom unutar mase tla/stijene može nastati samo kod kratkih sidara. Nosivost s obzirom na ovaj oblik loma se analizira na isti način kao i vlačni temelj.

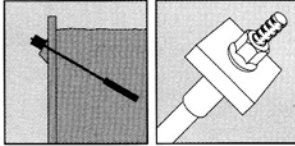


Formiranje zone loma (lom unutar mase tla/stijene) kod kratkog sidra

Lom čelične tetive ili njenih komponenti

Nosivost tijela (tetive) sidra ovisi o vrsti materijala (čelika, stakloplastike) od kojeg se tetiva izrađuje. Podatak se najčešće može dobiti od proizvođača ili se izračunava na osnovi svojstava materijala (dimenzioniranje čelične konstrukcije EC3)

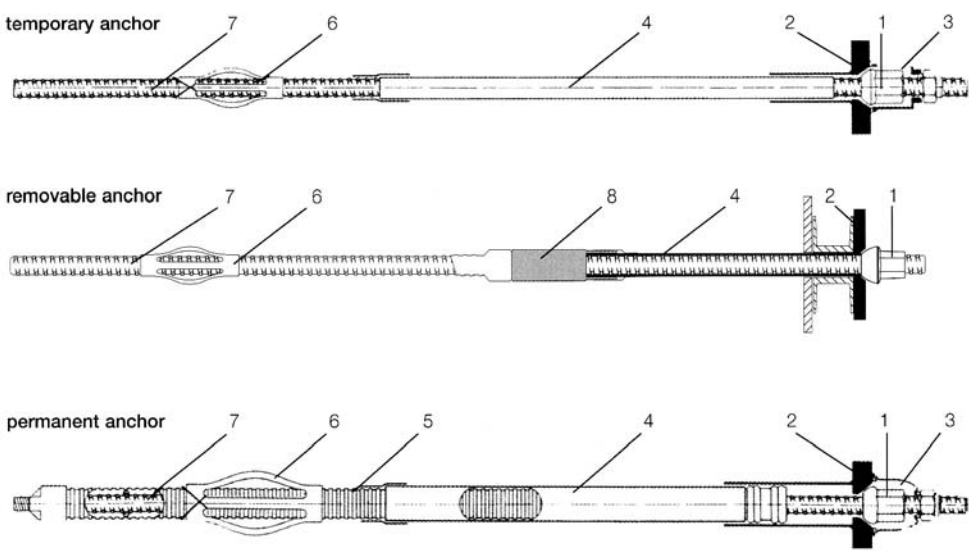
Za proračun se koristi granica popuštanja ("yield load") – ova vrijednost se prema EN 1537:1999 naziva "karakteristična otpornost tetive".



DYWIDAG Threadbar Anchors

threadbar dia. [mm]	grade $f_{p0.1k} / f_{tk}$ [N/mm ²]	cross sectional area A [mm ²]	yield load $P_{p0.1k} = f_{p0.1k} \cdot A$ [kN]	working load related to yield load $P_{p0.1k} / 1.75$ [kN]	ultimate load $P_{pk} = f_{pk} \cdot A$ [kN]	working load related to ultimate load $P_{pk} / 2.0$ [kN]
26.5	835/1030	551	460	263	568	284
32	835/1030	804	671	384	828	414
36	835/1030	1018	850	486	1048	524
26.5	900/1030 ¹⁾	551	496	283	568	284
32	900/1030 ¹⁾	804	724	414	828	414
36	900/1030 ¹⁾	1018	916	523	1048	524
26.5	1080/1230	551	595	340	678	339
32	1080/1230	804	868	496	989	495
36	1080/1230	1018	1099	628	1252	626

¹⁾ St 900/1030 (WR) dia. 26.5 mm - dia. 36 mm on request



temporary anchor

removable anchor

permanent anchor

1 domed hex nut 4 smooth sheathing 7 DYWIDAG Threadbar
 2 anchor plate 5 corrugated sheathing 8 coupler
 3 cap 6 spacer

Primjer podataka iz kataloga za štapno sidro

Za dimenzioniranje sidra mjerodavna je najmanja vrijednost od :

- granična sila (nosivost) na spoju injekcijskog (sidrišnog) tijela i tetive (S_t)
- granična sila na spoju injekcijskog (sidrišnog) tijela i tla/stijene (S_{fc})
- granična sila čelične tetive ili njenih komponenti (S_N)
- granična sila unutar mase tla/stijene (S_u)

Granična nosivost (karakteristična otpornost) je najmanja vrijednosti od prethodno definiranih.

Iz granične nosivosti treba izračunati **radnu silu** (S_r) – "projektna otpornost (nosivost)". Radna sila se izračunava iz granične uporabom faktora sigurnosti. Veličina faktora sigurnosti ovisi o vrsti sidara (trajno ili privremeno, prednapregnuto ili ne), te ovisi o pristupu (globalni faktor sigurnosti ili parcijalni faktori sigurnosti s obzirom na komponente nosivosti). Radna sila u sidru se koristi u proračunu/dimenzioniranju konstrukcije koja je pridržana sa tim sidrom.

Prema EN 1537: 1999 ("Execution of special geotechnical work – ground ancors) potrebno je provjeriti granična stanja:

- vlačni lom sidra
- strukturni lom sidra kao posljedica posmičnih sila, loma glave sidra ili utjecaja korozije
- gubitak sile u sidru zbog značajnog razvlačenja uzrokovano popuštanjem glave sidra ili zbog puzanja i relaksacije
- lom ili značajne deformacije dijelova konstrukcije uzrokovanih primijenjenom silom iz sidra

U EN 1537:1999 koriste se pojmovi (u osnovi je pojam "nosivost" zamijenjen pojmom "otpornost"):

- otpornost na čupanje tetive (unutarnja otpornost sidra – "internal anchor pull-out resistance")
- otpornost na čupanje sidrišnog tijela (vanjska otpornost sidra – "external anchor pull-out resistance")
- karakteristična otpornost - R_k ("characteristic resistance") – (granična nosivost)
- projektna/proračunska otpornost – R_d ("design resistance")

U projektu je potrebno odrediti:

- veličinu unutarnjeg otpora sidra na čupanje
- veličinu vanjskog otpora sidra na čupanje
- provjeriti trajnost sidra
- odrediti potrebnu dužinu slobodne dionice sidra
- odrediti silu prednaprezanja ("anchor lock-off load" – sila koja je prenesena na glavu sidra neposredno nakon završetka postupka prednaprezanja)

Projektna otpornost se određuje iz (u biti ovo je radna sila):

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

gdje je prema EN1537:1999 $\gamma_R \geq 1.35$ za vlačno opterećena sidra, a za R_k se koristi manja karakteristična vrijednost od unutarnje ili vanjske otpornosti na čupanje. Ova veličina je trenutno u koliziji sa EN 1997-1:2004, gdje se navodi da je $\gamma_R = 1.1$. Ovo je posljedica zahtijeva da se SVAKO ugrađeno sidro ispita opterećenjem do projektne nosivosti (radne sile).

Karakteristična otpornost sidra na čupanje se može odrediti ispitivanjem probnih sidara ili proračunom.

Kod ispitivanja probnih sidara ("investigation test") sidra se opterećuju do loma (čupanja), a dobivena maksimalna sila je karakteristična vrijednost.

Ako se karakteristična otpornost sidra na čupanje određuje proračunom potrebno je odrediti vanjsku i unutarnju otpornost. Karakteristična unutarnja otpornost (nosivost tetive) određuje se pravilima za dimenzioniranje čelične konstrukcije (EC 3), najčešće u obliku:

$$R_{k,i} = \frac{\text{granica popuštanja}}{1.15}$$

Karakteristična vanjska otpornost (trenje po plaštu sidrišnog tijela) se određuje iz npr. izraza:

$$R_{k,a} = \tau * (2r\pi) * L_s$$

Koristi se manja od vrijednosti od $R_{k,i}$ i $R_{k,a}$, ali je preporuka da bude:

$$R_{k,a} \geq R_{k,i}$$

Ako se nosivost određuje proračunom potrebno je dobivene vrijednosti potvrditi ispitivanjem ugrađenih sidara ("suitability test" – test prikladnosti).

I pored prethodno navedenih ispitivanja, svako ugrađeno sidro potrebno je ispitati opterećivanjem do projektne (radne) sile ("acceptance test" – test prihvatljivosti).

PREDNAPREZANJE

U građevinama, u kojima je sidro temeljni dio podupore, za učinkovitost sidra bitno je PREDNAPREZANJE. Prilikom naknadnih pomaka u usidrenom tlu, u sidru nastaje SAMONAPREZANJE, povećanje sile uslijed novonastalog pomaka u tlu (koristi se kod pasivnih sidara).

Prema EN 1537:1999 preporuča se da sila prednaprezanja bude do 65% karakteristične nosivosti tetive sidra.

Kad bi se tlo ispod glave sidra s vremenom moglo pomaknuti baš za vrijednost Δl_e (izduženje tetive sidra pri prednaprezanju), u smjeru prednaprezanja, sila prednaprezanja bi pala na nulu. Prema tome, proizlazi zaključak da treba težiti za time da omjer $\Delta l_e / \Delta l_t$ (izduženje tetive/pomak tla ispod glave sidra), bude što veći. Kako je pomak tla ispod glave sidra funkcija svojstava tla pa se na to teško može utjecati, preostaje da se djeluje na vrijednost, Δl_e .

Ako je tetiva (užad ili štap) glavni dio sidra unutar kojeg se ostvaruje izduženje Δl_e , prema Hooke-ovu zakonu može se pisati:

$$\Delta l_e = S_p * \frac{L_f}{E * F}$$

To znači da će izduženje, Δl_e , pri nekoj sili, S_p , biti to veće, što je dulja slobodna dionica, L_f , manja površina presjeka tetive, F , i manji modul elastičnosti, E . Prema ENV 1997-1:1994, preporučena najmanja duljina slobodne dionice prednapregnutog sidra treba biti 5 m.

Sila prednaprezanja u sidro se može unijeti nakon što sidrišno tijelo očvrstne.

ISPITIVANJE SIDRA

Računski je nemoguće precizno odrediti čvrstoću na smicanje između tla/stijene i sidrišnog tijela, jer ona ovisi o parametrima koji nisu jednoznačni. Isto tako nije moguće precizno odrediti veličinu sidrišnog tijela koja će se stvarno izvesti u tlu/stijeni (ovisi o pritisku korištenom kod injektiranja i o zbijenosti/krutosti okolnog tla/stijene).

Iz tih se razloga uvijek zahtijeva ISPITIVANJE SIDARA. Rezultati ispitivanja daju najpouzdaniji podatak, a s kojim je potrebno izvršiti provjeru proračuna sidara u sidrenoj građevini.

Prema EN 1537:1999 provode se tri tipa ispitivanja:

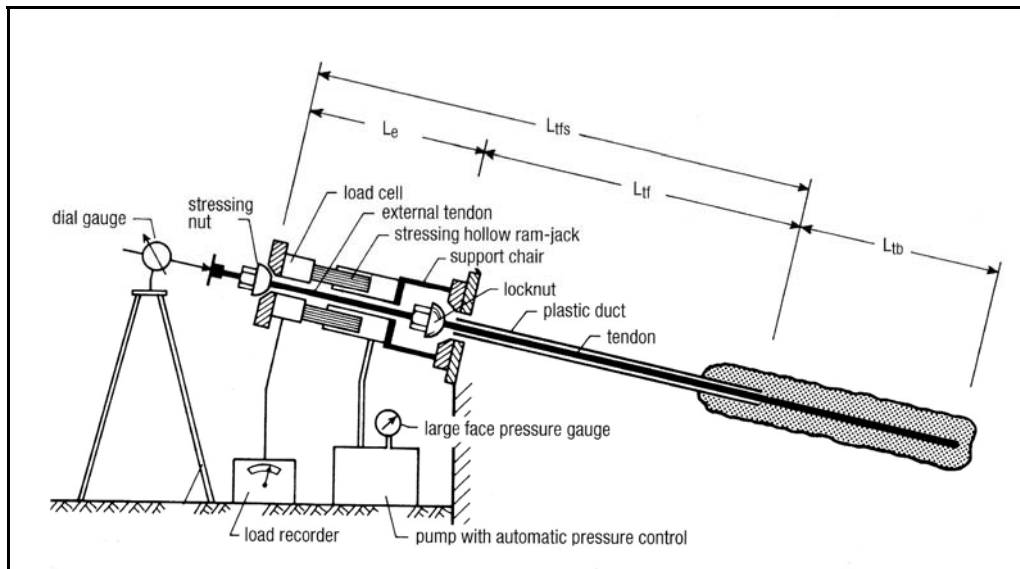
- ispitivanje probnih sidara ("investigation test") – mjeri se karakteristična otpornost sa kojom će se dimenzionirati sidra – opterećenje do čupanja
- test prikladnosti ("suitability test") – provjerava se dali sidro ima proračunom predviđenu karakterističnu otpornost – opterećenje do čupanja
- test prihvatljivosti ("acceptance test") – ispituje se svako ugrađeno sidro opterećivanjem do vrijednosti predviđene projektne otpornosti



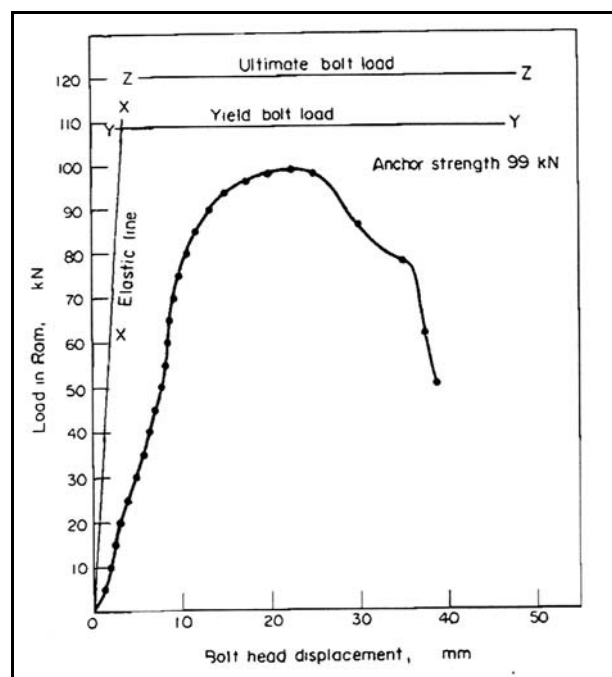
Tijesak (presa) za ispitivanje sidra

Prema HRN ENV 1997-1:2001 potrebno je ispitati najmanje 2% svih ugrađenih sidra (za trajna sidra), ili najmanje 1 sidro za svaki skup različitih uvjet u tlu/stijeni, a da bi se utvrdila karakteristična otpornost sidra na čupanje (granična nosivost).

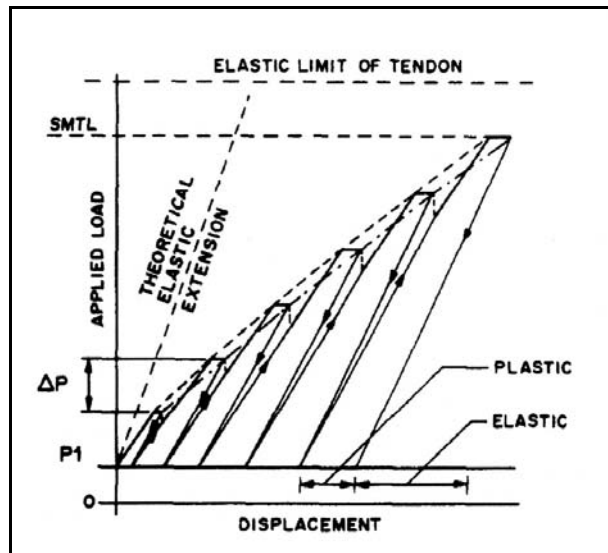
Prema "Suggested methods for rocbolt testing" (ISRM) potrebno je ispitati 5 sidara da bi se utvrdila granična nosivost štapnih sidara u određenoj stijenskoj formaciji.



Ispitivanje sidra



Prikaz primjera rezultata ispitivanja kratkog štapnog sidra; za primijenjenu silu u presi mjeri se pomak glave sidra (load – sila u presi; bolt head displacement- pomak glave sidra)



Prikaz primjera rezultata ispitivanja kabelskih sidara

Izmjereni pomak glave sidra se sastoji od izduženja tetive u dijelu slobodne dionice i pomaka sidrišnog tijela.

Prema EN 1537:1999 oprema za ispitivanje treba imati točnost mjerenja pomaka od 0.05 mm ako se analizira utjecaj puzanja, odnosno 0.5 mm ako se puzanje ne ispituje. Oprema za mjerenje sile treba imati točnost izmjerene sile veću od 2% najveće sile primijenjene tijekom testiranja.