

Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

Diplomski sveučilišni studij

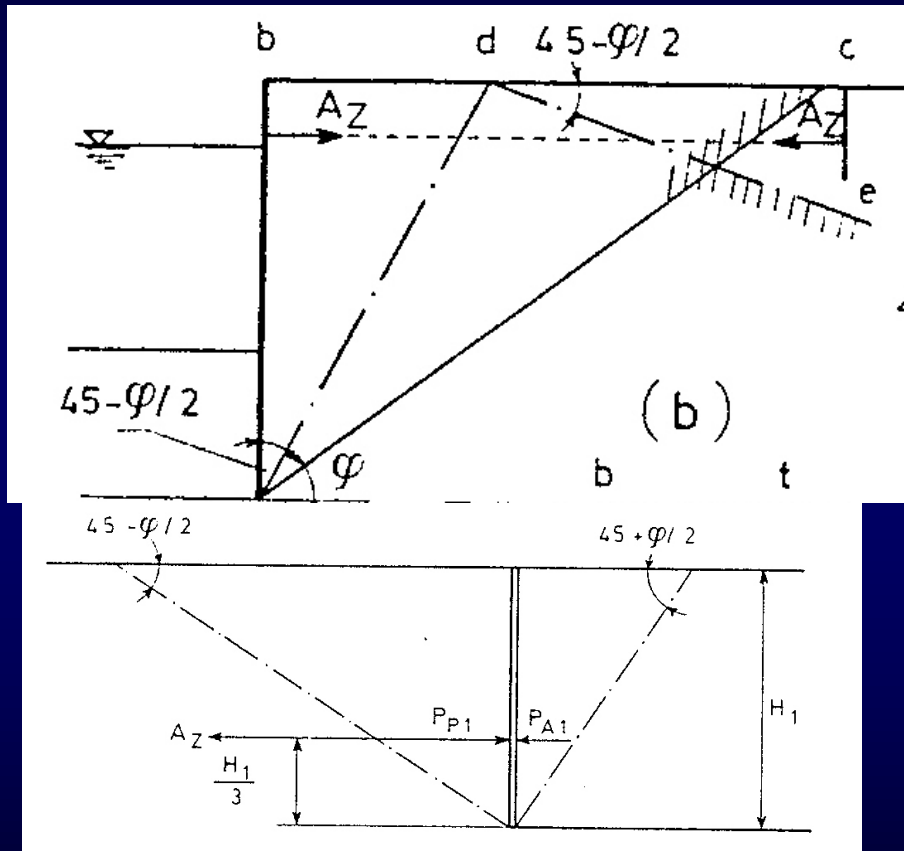
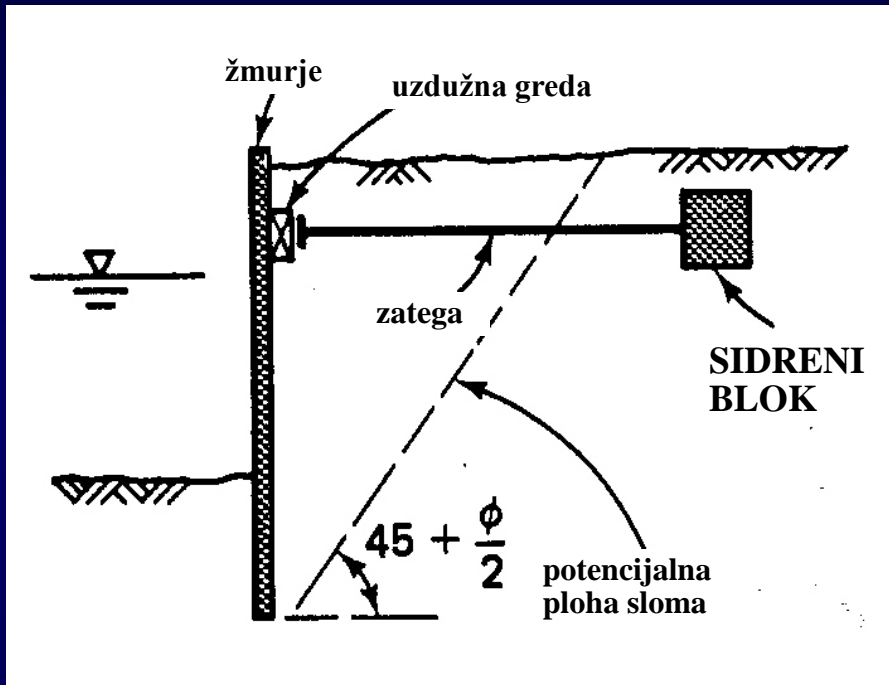
Smjer: **GEOTEHNIKA**

# Nasute i potporne građevine 12

Prof. dr. sc. Tomislav Ivšić  
Građevinski fakultet Zagreb

# Sidrenje ugrađenih potpornih stijena

## Položaj zida / bloka za usidrenje



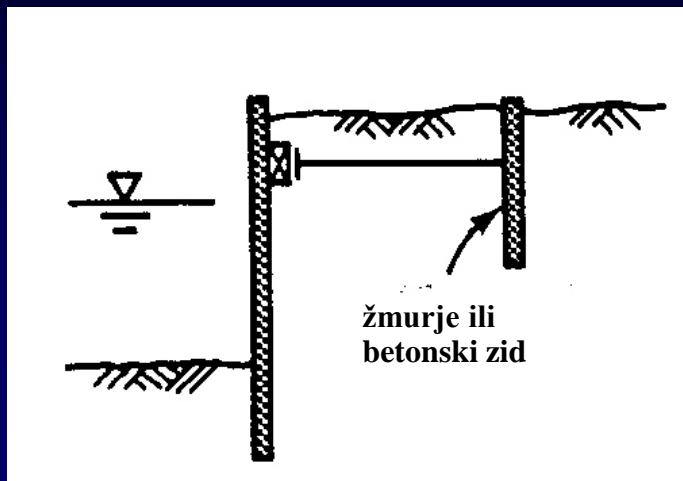
### SILA U ZATEZI

$$A_Z = (P_{P1} - P_{A1}) * L / F_S$$

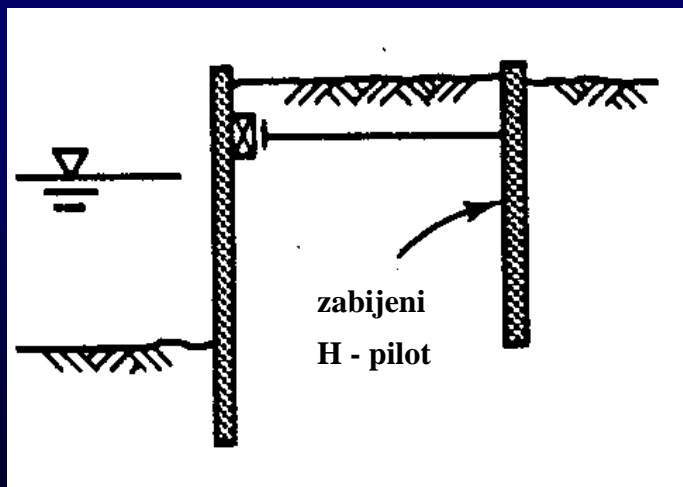
$$P_{P1} - P_{A1} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (K_P - K_A)$$

# Sidrenje ugrađenih potpornih stijena

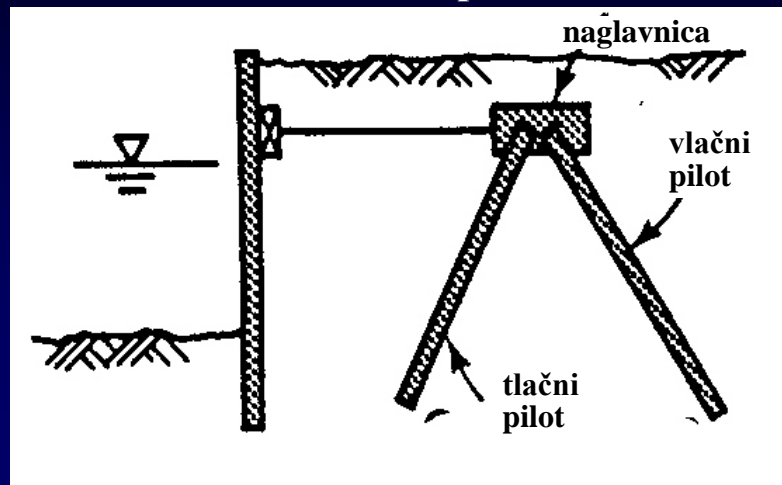
## Kontinuirani sidreni zid



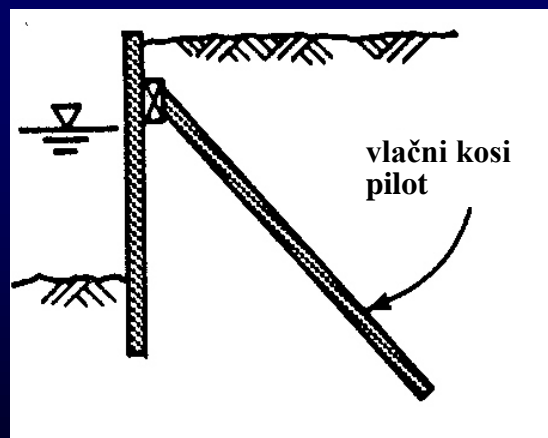
## Pojedinačni sidrišni piloti



## Sustav tlačni – vlačni piloti

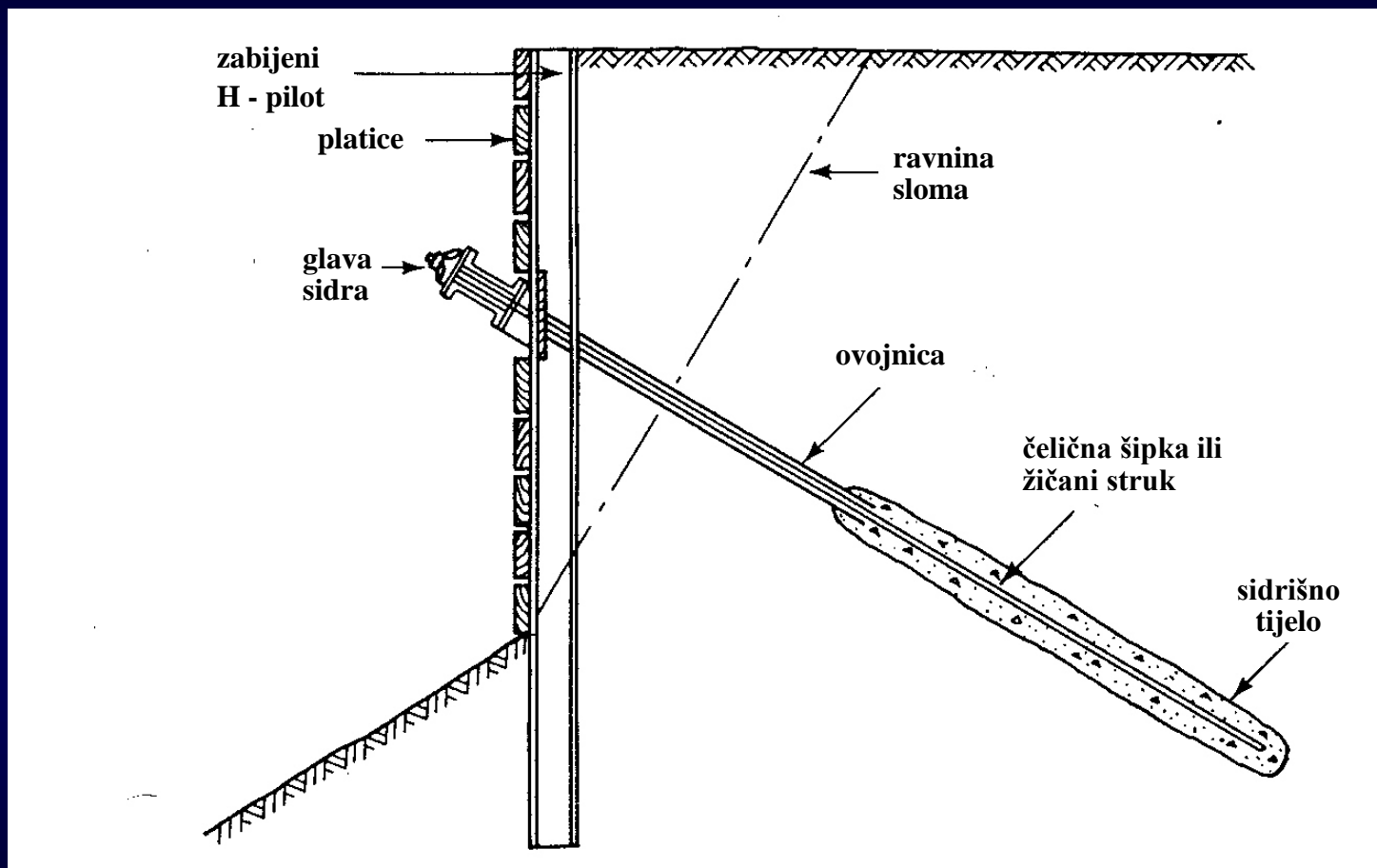


## Vlačni pilot i kosa podupora



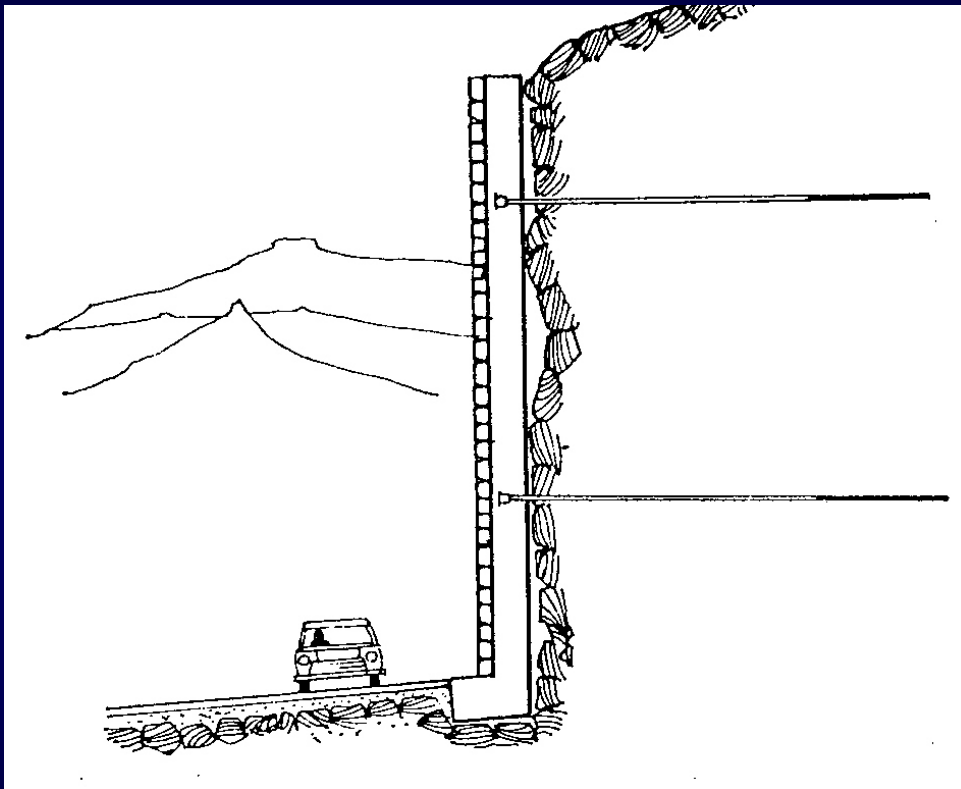
# Sidrenje ugrađenih potpornih stijena

## GEOTEHNIČKO SIDRO

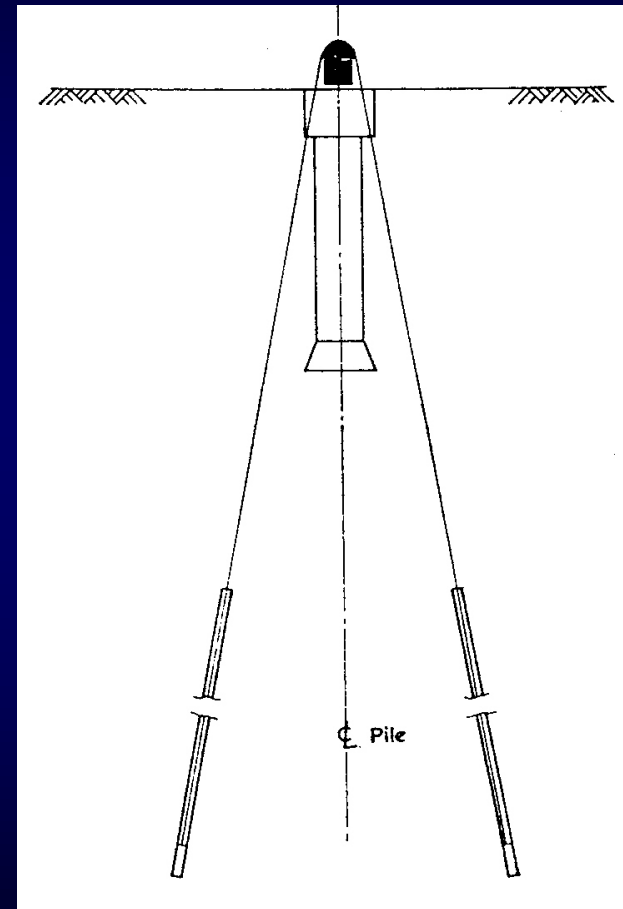


# Primjena geotehničkih sidara

## Trajno osiguranje usjeka

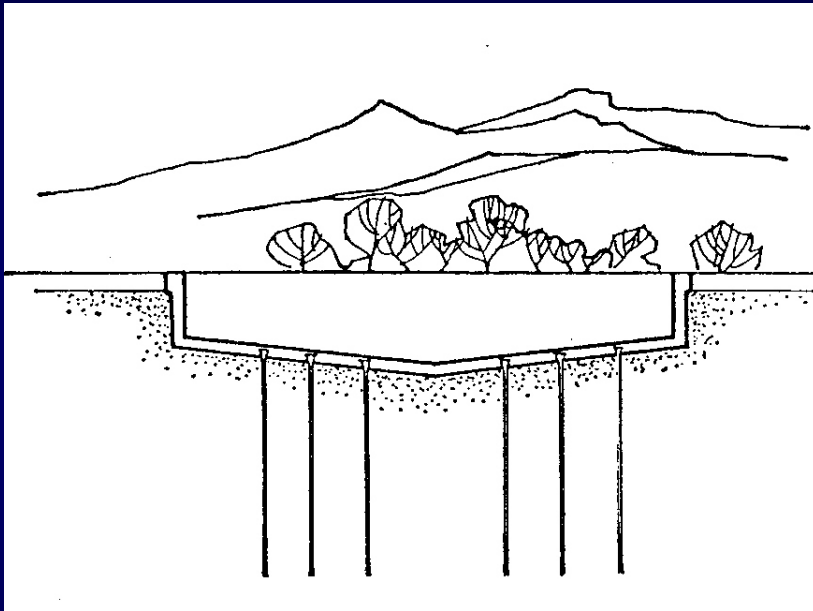


## Probno opterećenje pilota

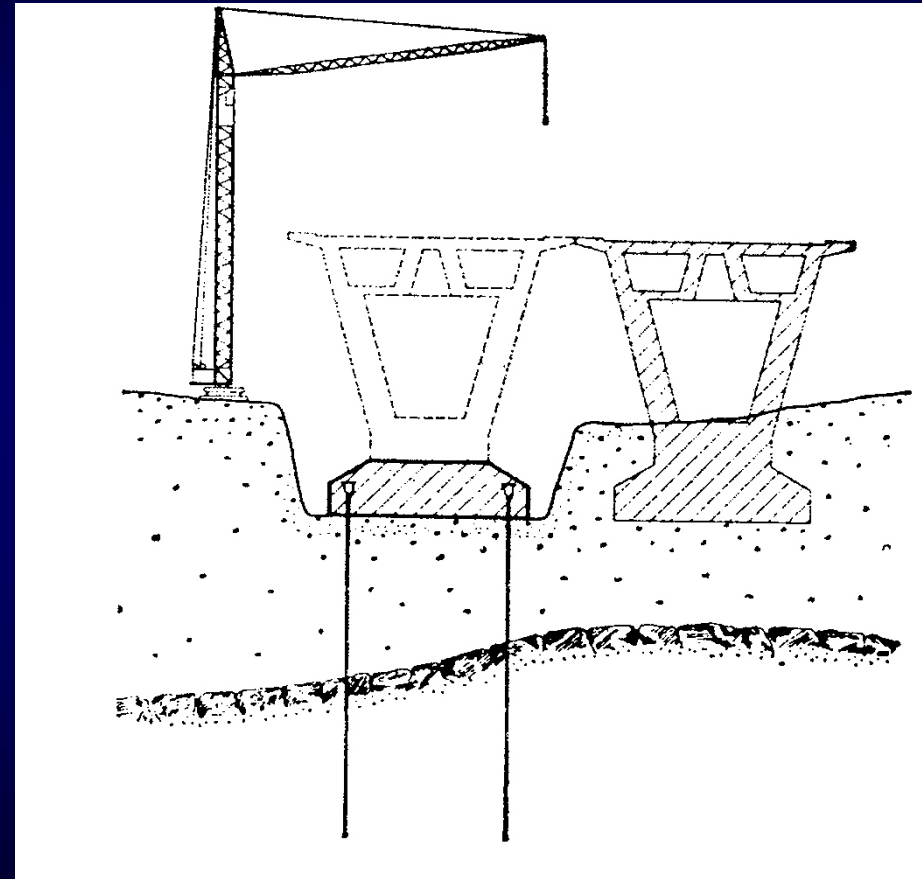


# Primjena geotehničkih sidara

## Otpor protiv uzgona

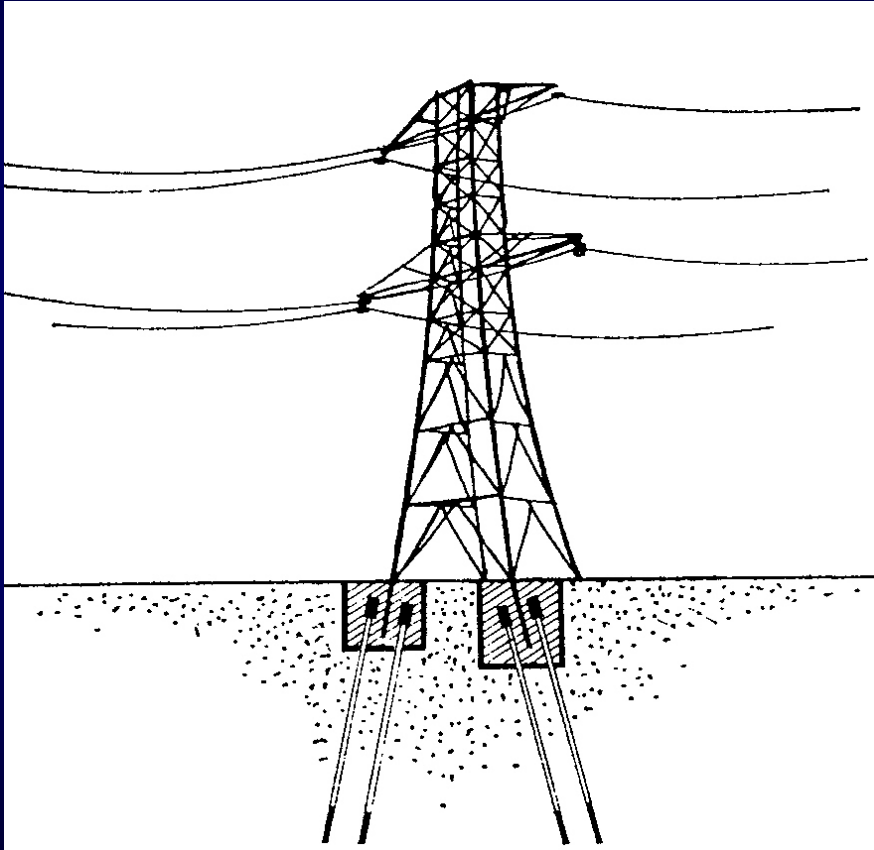


## Predopterećenje za smanjenje naknadnih slijeganja

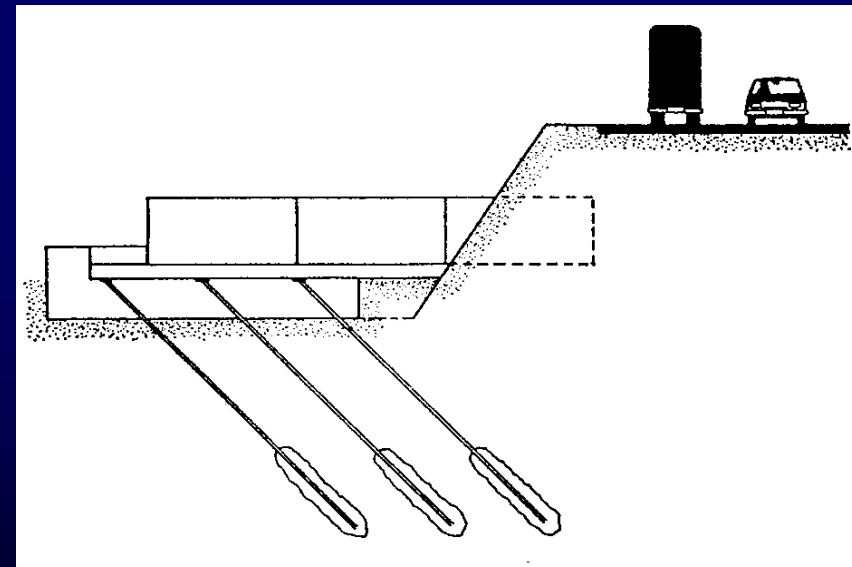


# Primjena geotehničkih sidara

## Povećanje otpora na prevrtanje

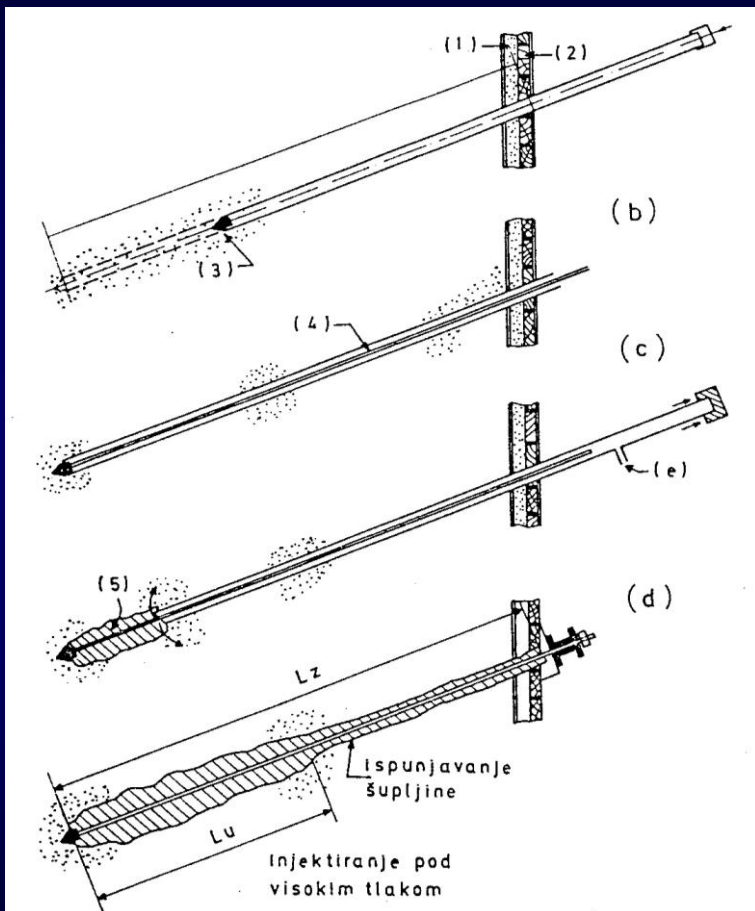


## Osiguranje od klizanja – sidrišni temelj

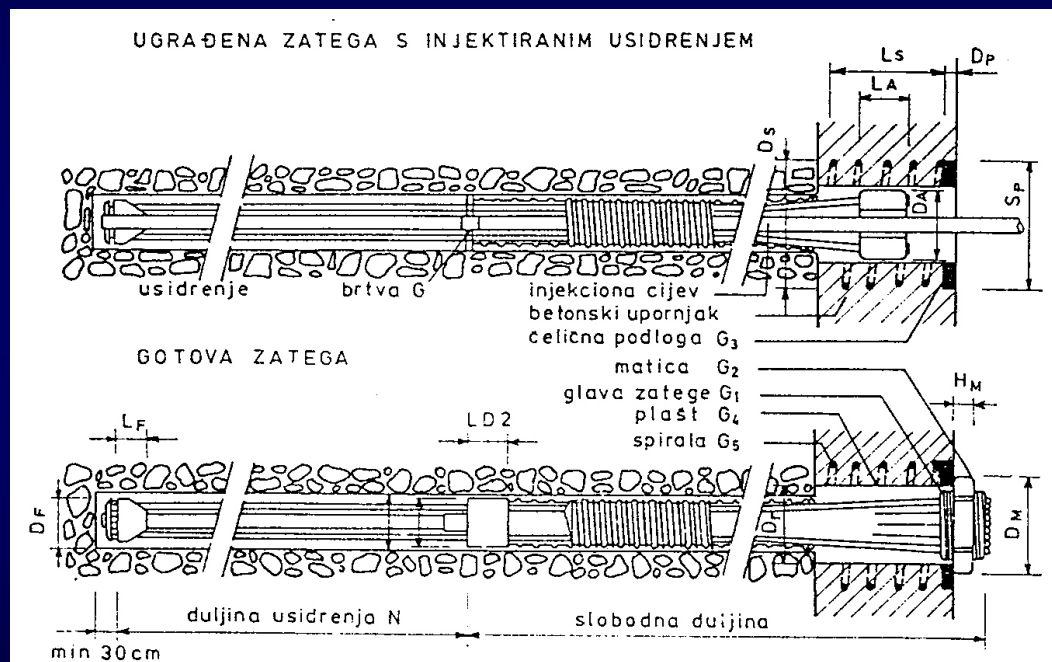


# Osnovne vrste geotehničkih sidara

## Kruta (pasivna) sidra

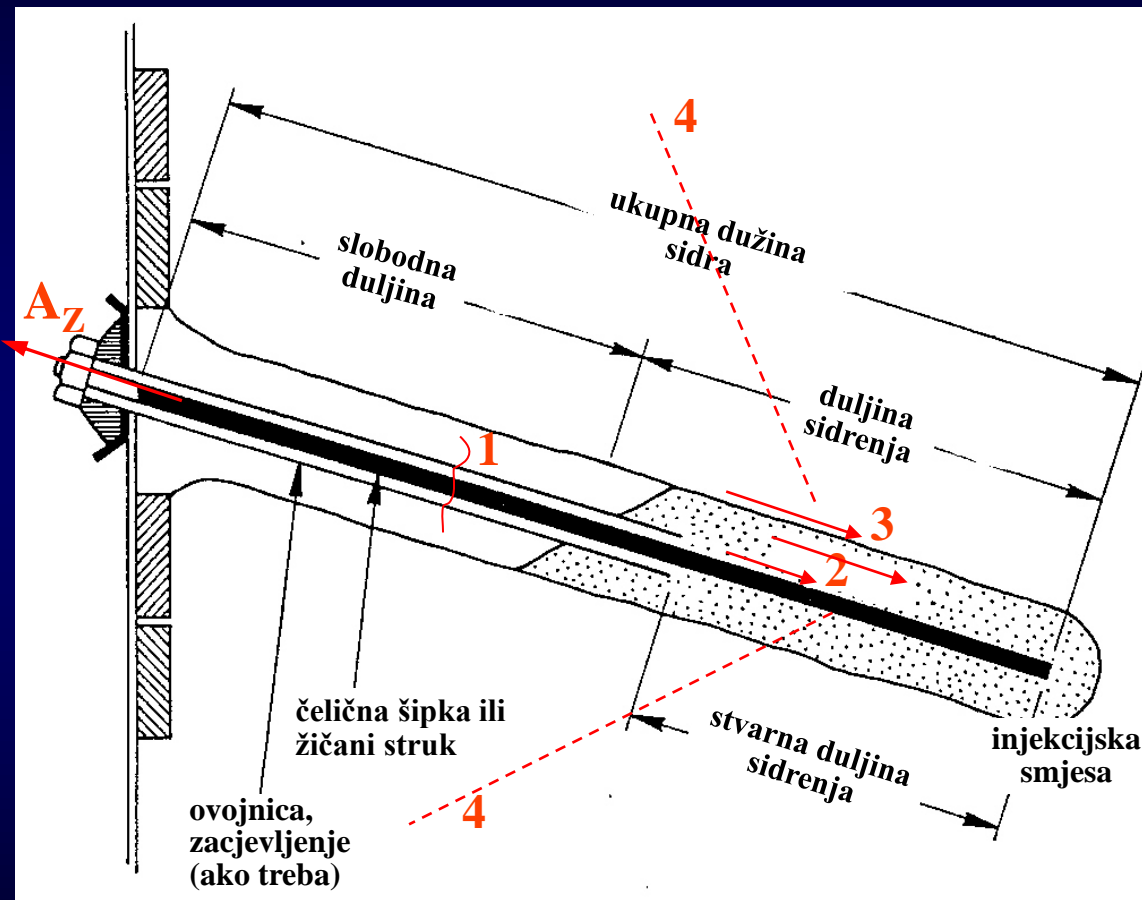


## Prednapeta (geotehnička) sidra





# Dijelovi sidra i koncept preuzimanja sile u sidru



## PROVJERE NOSIVOSTI SIDRA

1. presjek čelične žice ili šipke
2. prionjivost čeličnog elementa i injekcijske smjese
3. trenje između sidrišnog tijela i okolnog tla / stijene
4. globalni slom - "čupanje" iz zemljane ili stijenske mase (kod stijena ovisi o pukotinskom sustavu)

# Primjeri geotehničkih sidara i izvedbe



# Primjeri geotehničkih sidara i izvedbe



# Primjeri geotehničkih sidara i izvedbe



Izvedba sidara

Testiranje sidara



# Primjeri geotehničkih sidara i izvedbe



# Primjeri geotehničkih sidara i izvedbe



# Dijelovi sidra i koncept preuzimanja sile u sidru

**Nosivost i ponašanje sidara ovisi o:**

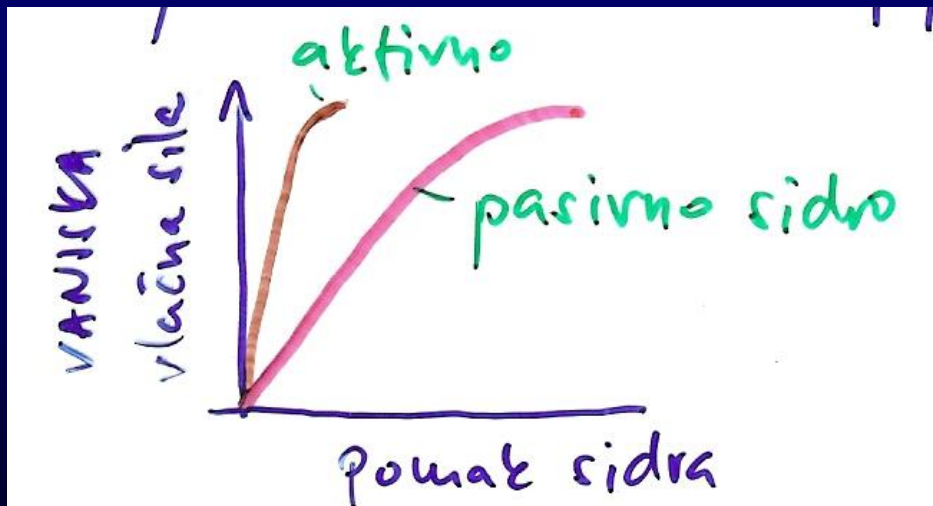
- Osobine temeljnog tla – posmična čvrstoća
  - Postupci ugradnje npr. učvršćenje sidrišne dionice
  - Kvaliteta izrade koja se može postići na terenu
  - Potpuna prognoza (ili inženjerski proračun) nije moguća
- iskustvo s različitim sustavima sidenja ili sidara
- pokusna opterećenja sidara (radna i slomna – EC7)

- **SIDRA U TLU** – dobra u čvrstoj glini, zbijenim prahovima, pijesku, šljunku (meka glina – mali  $s_u$ , puzanje)
  - sidrišna dionica: “ravni” plašt, proširenja (zvona), sidr. pločice
- **SIDRA U STIJENI** – znatno veća čvrstoća od tla
  - ravni plašt, znatno veće sile o tla
- **PRIVREMENA SIDRA** – ograničena trajnost, postaju nepotrebna nakon neke faze gradnje, 6-18 mjeseci nije bitna antikorozivna zaštita, ograničeni monitoring
- **TRAJNA SIDRA** – uređaji koji moraju dugotrajno funkcionirati
  - osiguravaju trajnu stabilnost građevina
  - obvezna antikorozivna zaštita ( $t > 18$  mj.) i praćenje (naknadne kontrole sile, eventualna dotezanja zbog gubitka uslijed puzanja)
  - radna sila : predvidjeti projektne situacije za dugotrajnu stabilnost, karakteristike puzanja i mogućeg popuštanja veziva



# Dijelovi sidra i koncept preuzimanja sile u sidru

- **AKTIVNA SIDRA ( PREDNAPETA)** – unose početnu silu u konstrukciju koju podupiru neovisno o konačnoj interakciji tlo-konstrukcija.
- sila traje dok se ne pojave relativni pomaci konstrukcije i sidra
- **PASIVNA SIDRA** – reagiraju na silu tek kad se poduprta konstrukcija pomiče npr. prilikom iskopa ( “čavli”)

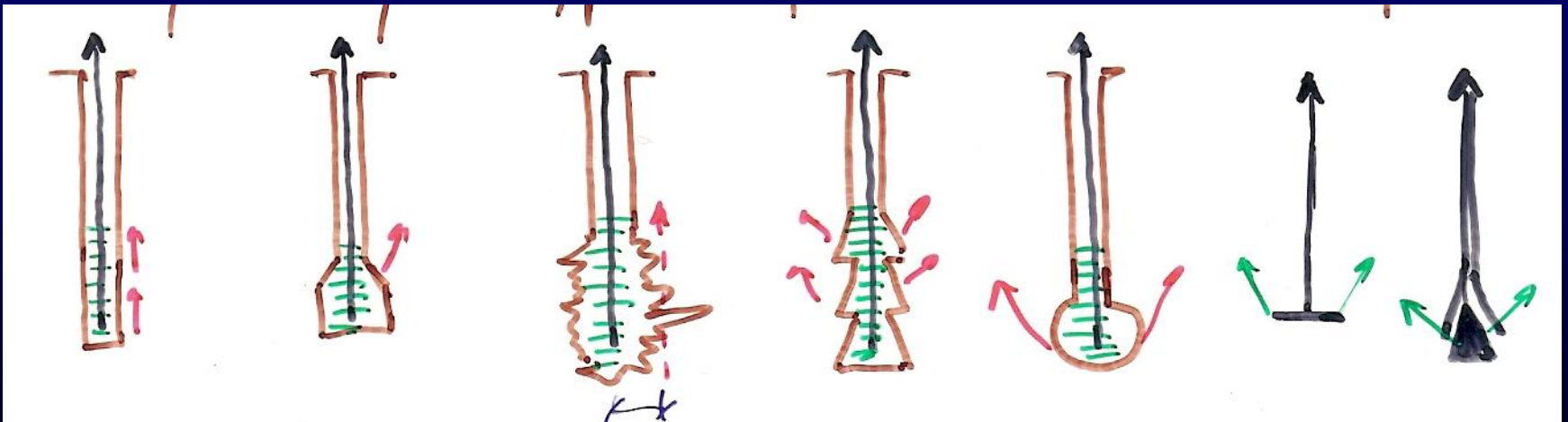


→ često se koriste **DJELOMIČNO PREDNAPETA** sidra ( do  $\frac{1}{2}$  -  $\frac{2}{3}$  projektne sile)  
→ smanjuju pomake konstrukcije a dopuštaju aktivni tlak

# Dijelovi sidra

## 1. SIDRIŠNA DIONICA (sidrišna duljina, tijelo sidra)

- projektna duljina duž koje se sila preko ispune prenosi na okolno tlo ili stijenu (trenjem po plaštu ili proširenjem sid. tijela)
- najčešće se proizvodi injektiranjem cementne smjese pod pritiskom. Smjesa ujedno i štiti od korozije.
- za trajna sidra čelična zatega se smješta u naboranu cijevu (ovojnicu), pa se provodi dvostruko injektiranje



## 2. SLOBODNA DIONICA ( slobodna duljina, duljina zatege)

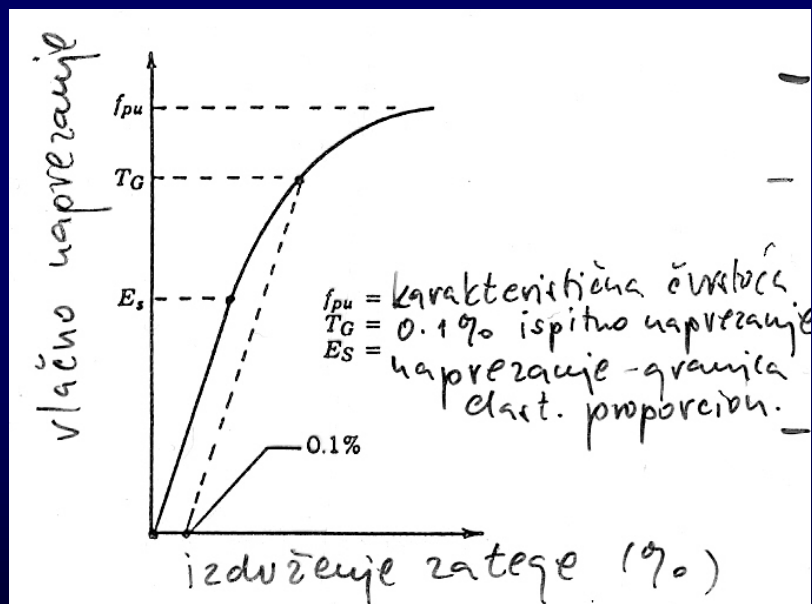
- duljina zatege između glave sidra i početka sidrišne dionice. Namjerno izolirana od okolnog tla i ostaje slobodna za produljenje pod opterećenjem
- kod trajnih sidara potrebna zaštite od korozije (naknadno injektiranje)
- “čavli” i većina krutih, pasivnih sudara nema izraženu ovu dionicu, nego cijelom duljinom tvore sidrišno tijelo

## 3. GLAVA SIDRA (sidrište, kraj sidra)

- završni sidra (često vidljiv) – prenosi vlačnu silu na površinu tla ili u konstrukciju
- pomoću jednostavnih mehaničkih uklještenja glava učvršćuje sidro na konstruktivnu poduporu, ali i omogućuje uvođenje sile prednapinjanja
- zavisno o proizvođaču postoje razni tipovi glava. Posebne su konstrukcije koje omogućuju kontrolu sila ili prednapinjanje

# Koncept preuzimanja sile u sidru

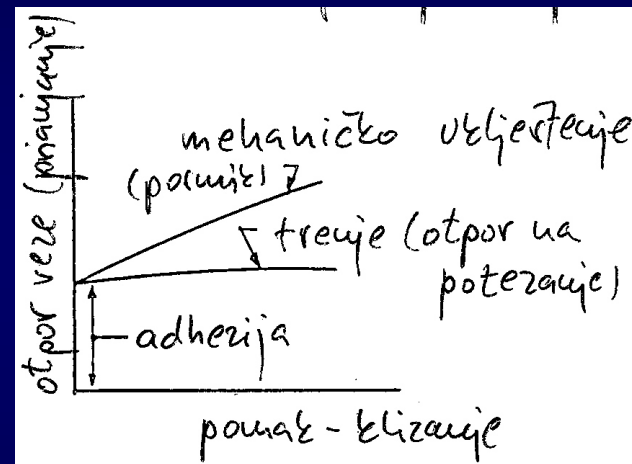
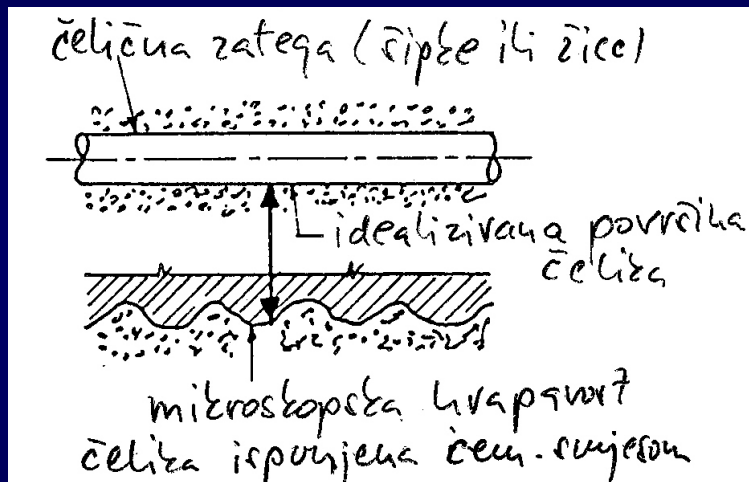
1. ČELIČNA ZATEGA – prvi element sidra koji preuzima vlačnu silu  
→ čelične šipke (“kruta” sidra, ravne ili rebraste),  
čelične žice, strukovi žica – užad  
→ od visokovrijednog čelika – nemaju jasno izraženu granicu popuštanja (karkt. čvrstoću > 95% rezultata)



- definiraju se različiti kriteriji sloma zavisno o deformaciji npr.  $T_G$  (sila za 0.1 % deformacija – 0.81-š do 0.89-ž od  $f_{PU}$ ) ili naprezanje na granici elastične proporcionalnosti ( 0.71-š – 0.67-ž od  $f_{PU}$ )
- trend ka konzervativnijem projektiranju  $F_S = 1.6$  za privremena do  $F_S = 2.0$  za trajna sidra ( prema  $f_{PU}$ )

## 2. VEZA ČELIK – INJEKCIJSKA SMJESA (beton)

- Injekcijska smjesa: cement, voda, dodaci, ispuna-eventualno
  - $w/c = 0.35 - 0.55$  (preporuka 0.40-0.45)
  - tlačna čvrstoća (7 dnevna)  $> 20-24 \text{ N/mm}^2$ , za prednapeta sidra čako do  $30 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$  treba projekt smjese



- Adhezija – privlačne sile na mikrorazini, popušta već kod malih pomaka
- Trenje – ovisi o norm. naprezanju, hrapavosti, veličini pomaka (popuštanje pri klizanju)
- Uklještenje – na rebrima, savinućima, spojevima ( slom izaziva pucanje cementnog tijela ili lokalno drobljenje

### • 3. SLOM VEZE TLO – SIDRIŠNO TIJELO

#### SIDRA U PIJESKU I ŠLJUNKU:

→ nosivost prvenstveno iskustveno određena (pokusi čupanja sidra do sloma). Ovisi o :

- gustoći i uniformnosti tla;
- geometriji sidrišne dionice (dužina, promjer);
- postupku injektiranja i primijenjenom pritisku
- Obilježjima “dilatancije” tla (rezultira većim normalnim naprezanjima)
- Donekle i o načinu bušenja ili opremi

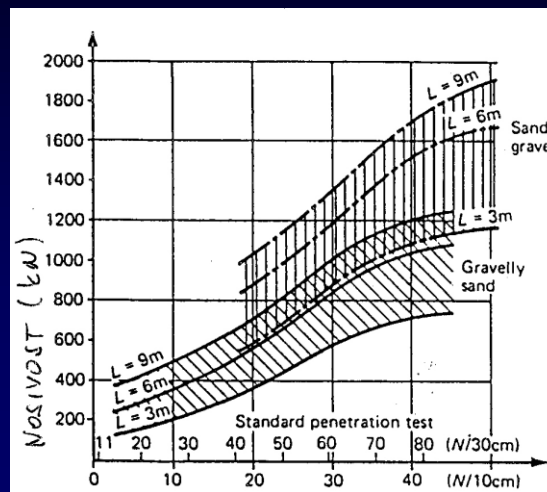
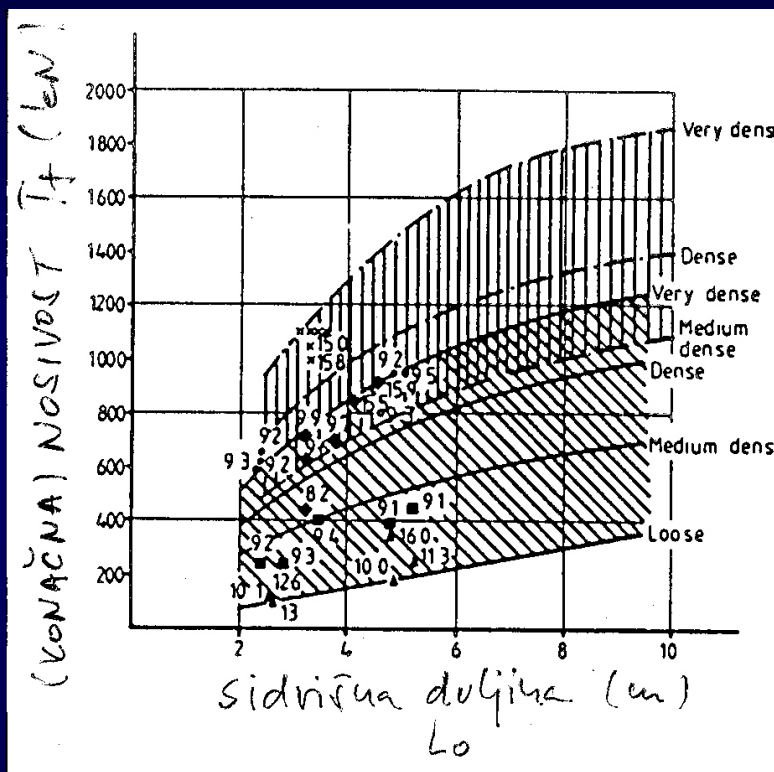
#### • **Ne može se potpuno objasniti klasičnim teorijama mehanike tla**

#### • EMPIRIJSKE PROCJENE NOSIVOSTI SIDARA (PRELIMINARNE):

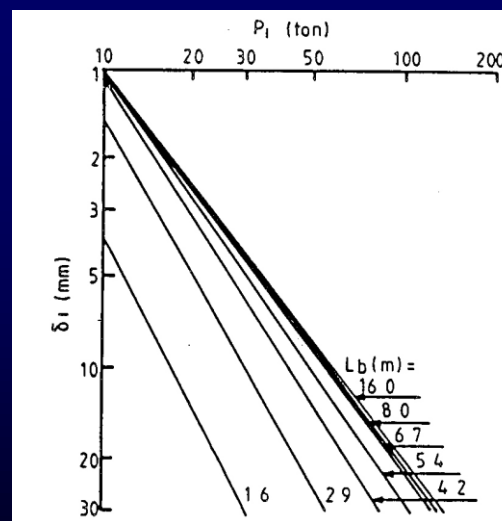
→ iz dijagrama nastalih na osnovi većeg broja probnih ispitivanja

→ empirijski (približni) izrazi

# Pokusna sidra u pijesku



KORELACIJE SA  
SPT



Utjecaj duljine  
sidrenja

- Opada nakon 10-12 m

# Sidra u pijesku i šljunku

- EMPIRIJSKI IZRAZI ZA PROCJENU NOSIVOSTI

1.  $T_f = L N' \operatorname{tg} \varphi$        $L$  – sidrišna duljina,  $\varphi$  - kut trenja  
 $T_f$  – konačna nosivost ( kN)

$N'$  – empirijska konstanta

$N' = 400-600 \text{ kN/m'}$  za šljunak    $N' = 130 - 165$  za pijesak

2.  $T_f = p' \pi D L \operatorname{tg} \varphi$     $D$  – efektivni promjer

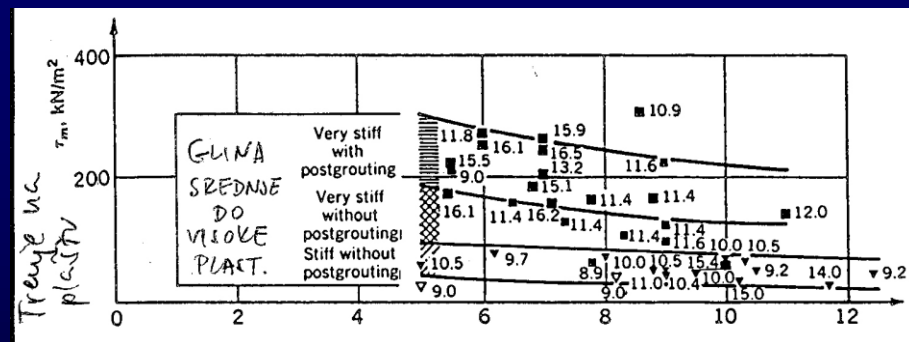
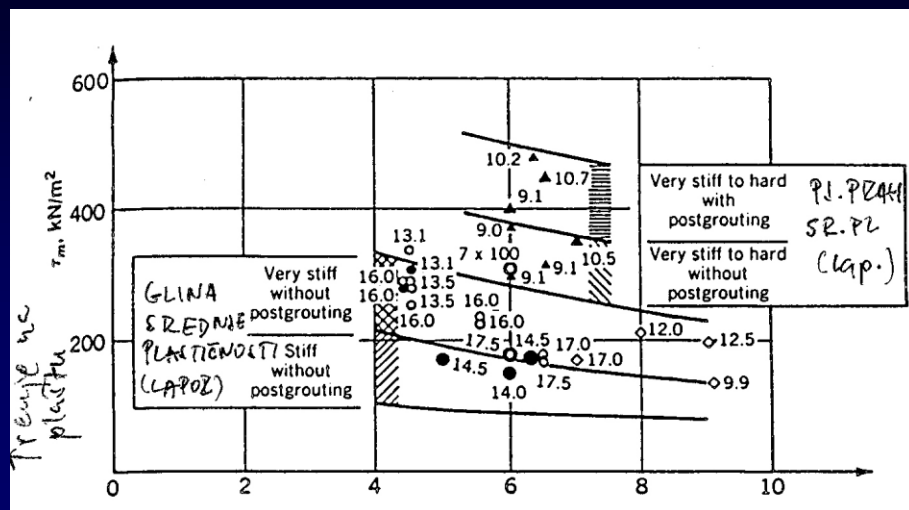
$p'$  – pritisak injektiranja ,

$p' \approx 45 \text{ kPa}$  po  $m'$  nadsloja iznad vrha sidrišne dionice

2a. Ili “zadržani”, rezidualni pritisak  $\frac{1}{2}$  do  $\frac{2}{3} p_g$  – stvarni pritisak injektiranja



# Sidra u glini



-Općenito male nosivosti

- često se pojavljuje puzanje (nije dobro za trajna sidra)

-Procjena  $T_f$  ( za tvrde gline):

$$T_f = \pi D L s_u a$$

$s_u$  - nedrenirana čvrstoća

$a$  – faktor adhezije, pada s povećanjem  $s_u$  (npr.  $a = 0.30-0.35$  za  $s_u > 90$  kPa )

Kanadski propisi:

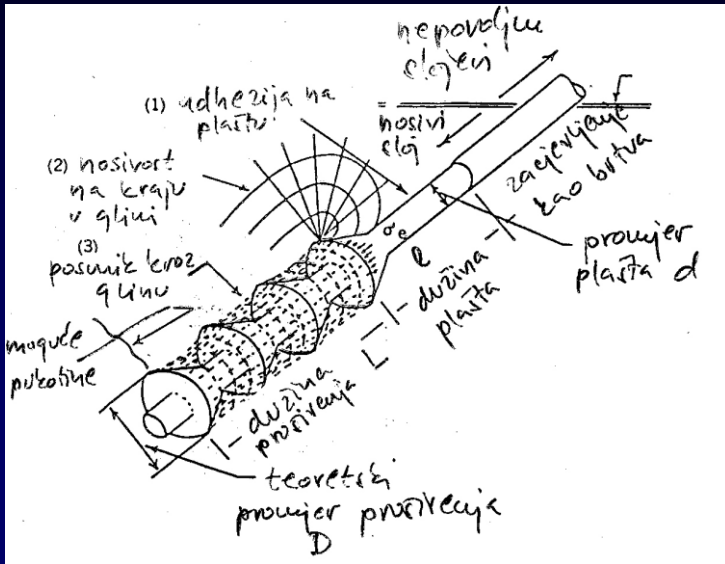
Do  $s_u = 50$  kPa – ne primjenjuje se

$$s_u = 50 \quad a = 0.75$$

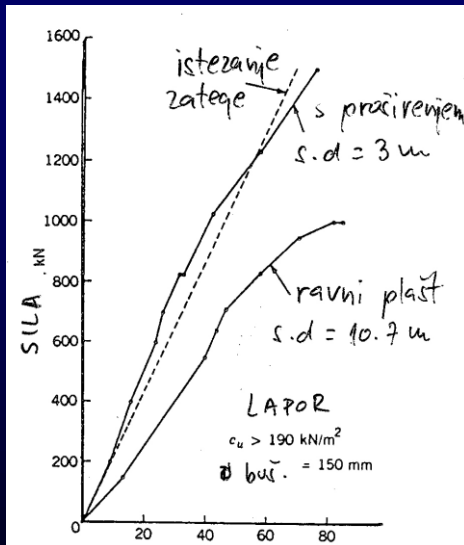
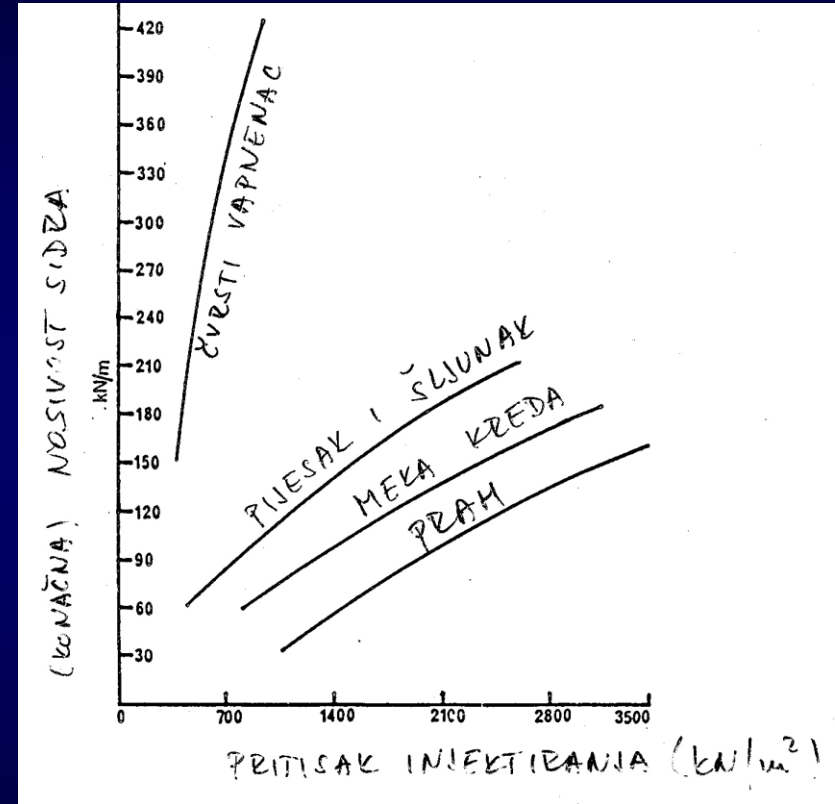
$$s_u = 80 \quad a = 0.5$$

$$s_u > 100 \quad a = 0.4$$

# Sidra s proširenjima u glini



# Utjecaj pritiska injektiranja na nosivost sidra

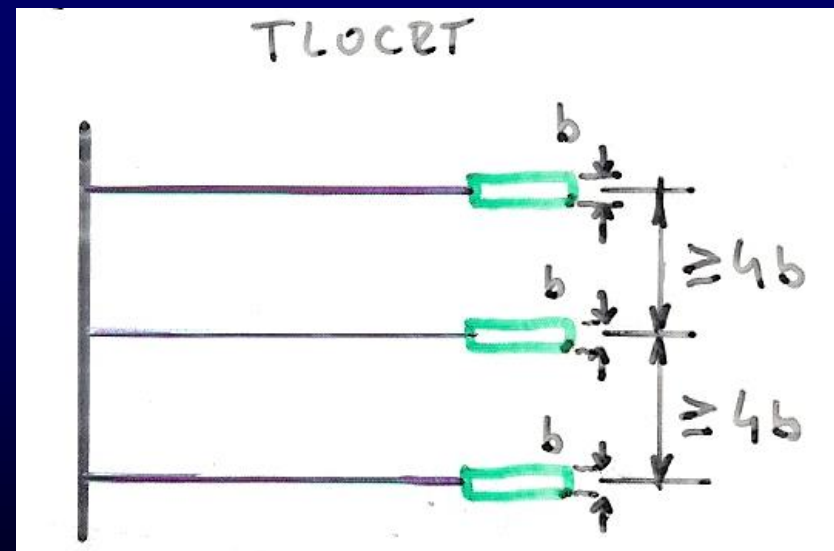
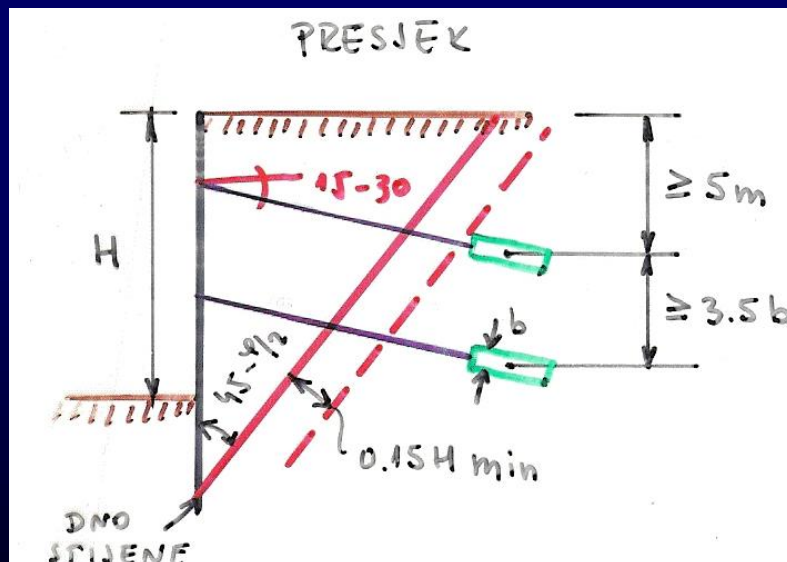


$$T_f = T_u + T_e + T_s$$

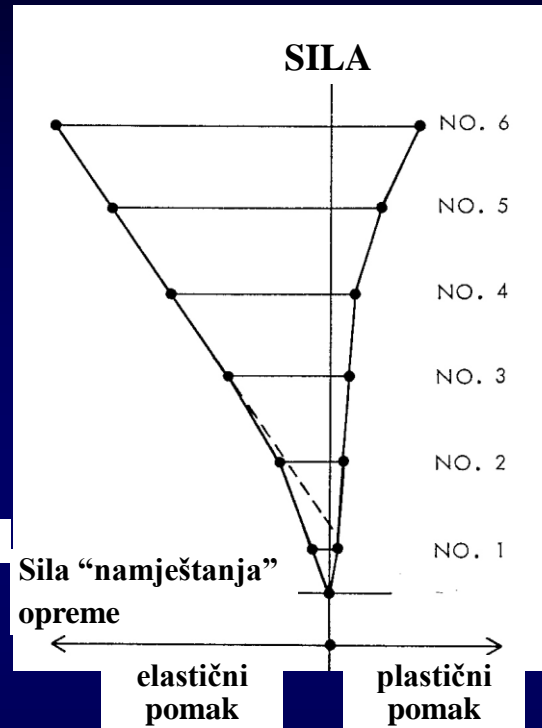
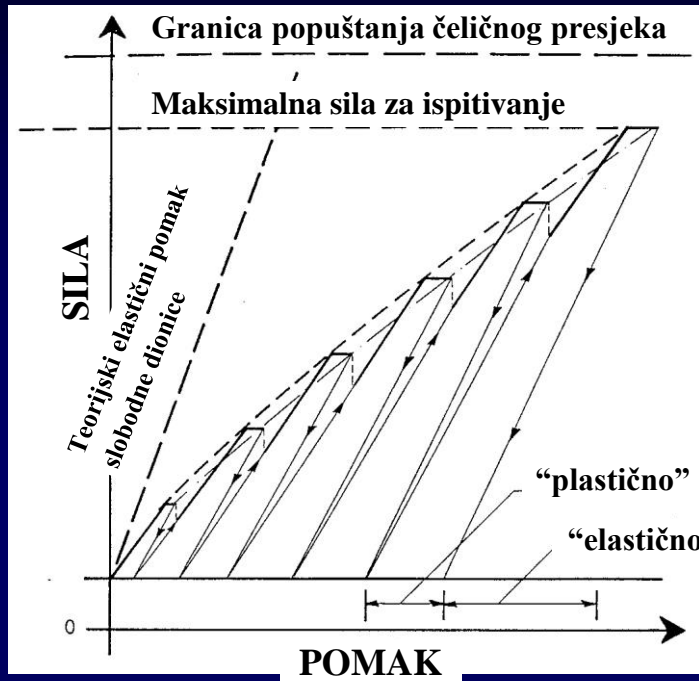
Bočni posmik na proširenju,  
rubna nosivost u glini  
i posmik duž plašta

# Projektiranje sidara

- Preliminarno: odrediti gornju granicu duljine sidrenja, procijeniti nosivost → ocjena prikladnosti pretpostavljenog tipa sidara
- Konačno projektiranje: nagib sidara; određivanje dimenzija, vrste i rasporeda zatege, injekcijska smjesa; određivanje horizont i vert. razmaka sidara; procjena slobodne i sidrišne duljine; određivanje nosivosti za statička i ciklička opterećenja; propisivanje prikladnog programa ispitivanja sidara; izbor i detalji antikorozivne zaštite; provjera stabilnosti sidrene konstrukcije



# Ispitivanje nosivosti sidara



## POSTUPAK ISPITIVANJA

1. opterećenje do 5% maksimalne sile (sila "namještanja")
2. opterećenje u inkrementima od ~ 20% maksimalne sile
3. zadržavanje sile na postignutom stupnju 5-10 min. s mjerenjem pomaka u vremenu
4. rasterećenje i ponovno opterećenje do veće ili maksimalne sile za ispitivanje