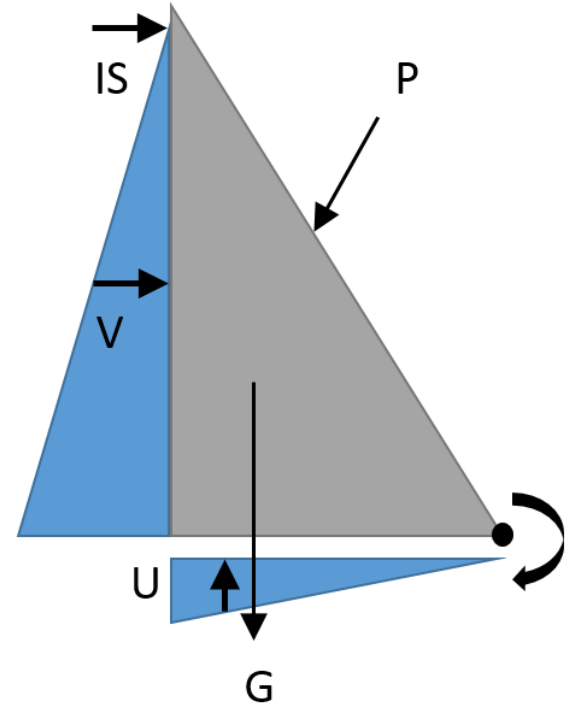
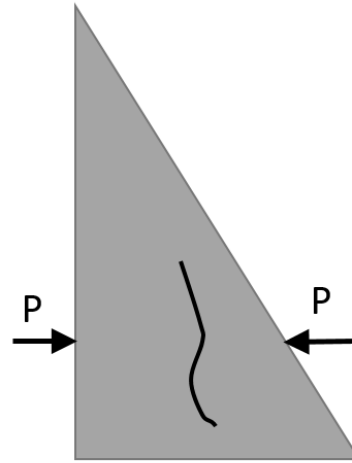


Bergförankrade spännstag inom vattenkraften

Peter Lundqvist, Anders Marklund, Christian Bernstone, Carl-Oskar Nilsson

Spännstag inom vattenkraften

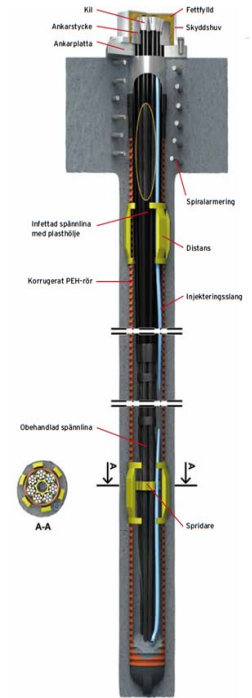
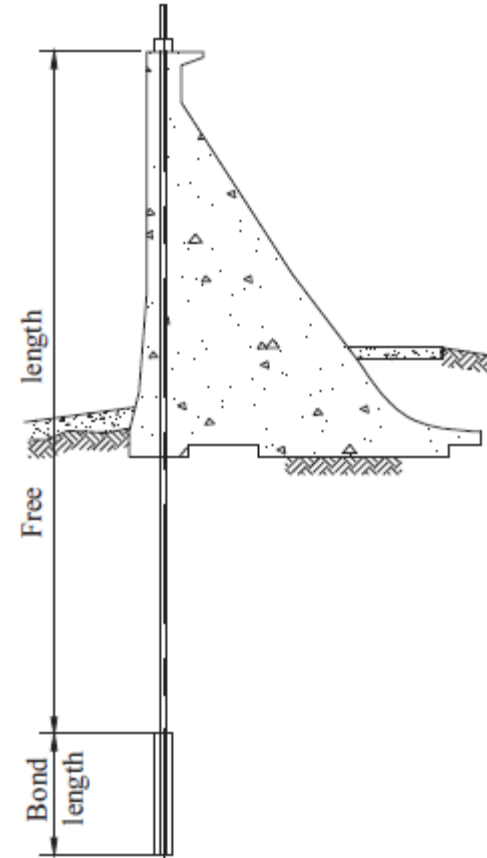
- Ökad stabilitet.
- Motverka sprickor.
- Förankra mekanisk utrustning.



Installation av spännstag



Foto: Uniper



Produktdatablad VSL

Spännarmering inom vattenkraften

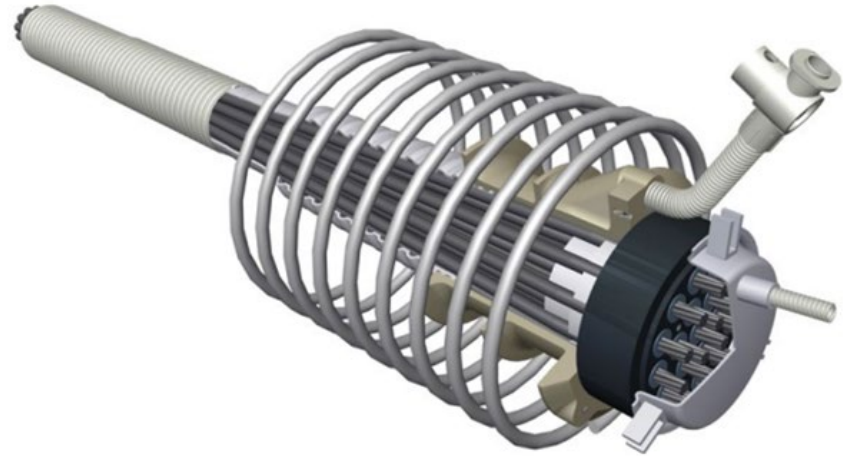
- 4 etapper sedan 2016.
- Syfte: Branschgemensam strategi för hantering av spännstag.
- Energiforsk betongtekniska program inom vattenkraft.



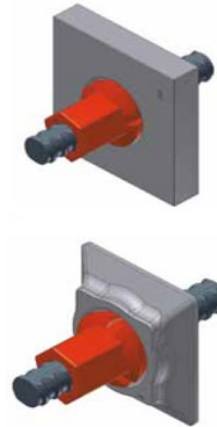
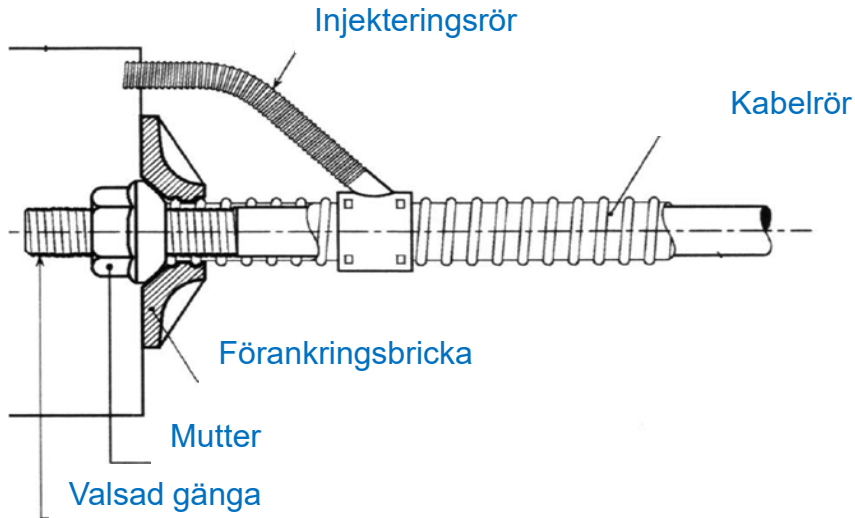
Spännstagssystem

Två principiellt olika system:

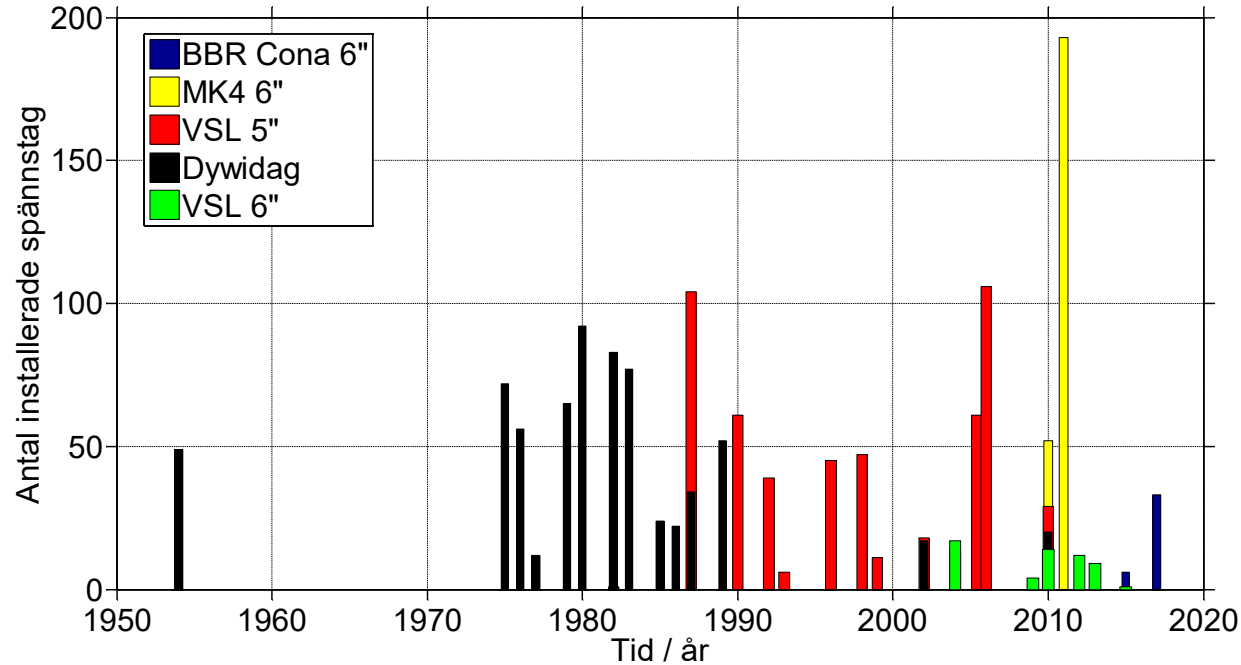
- Linbaserade system
- Stångbaserade system



VSL

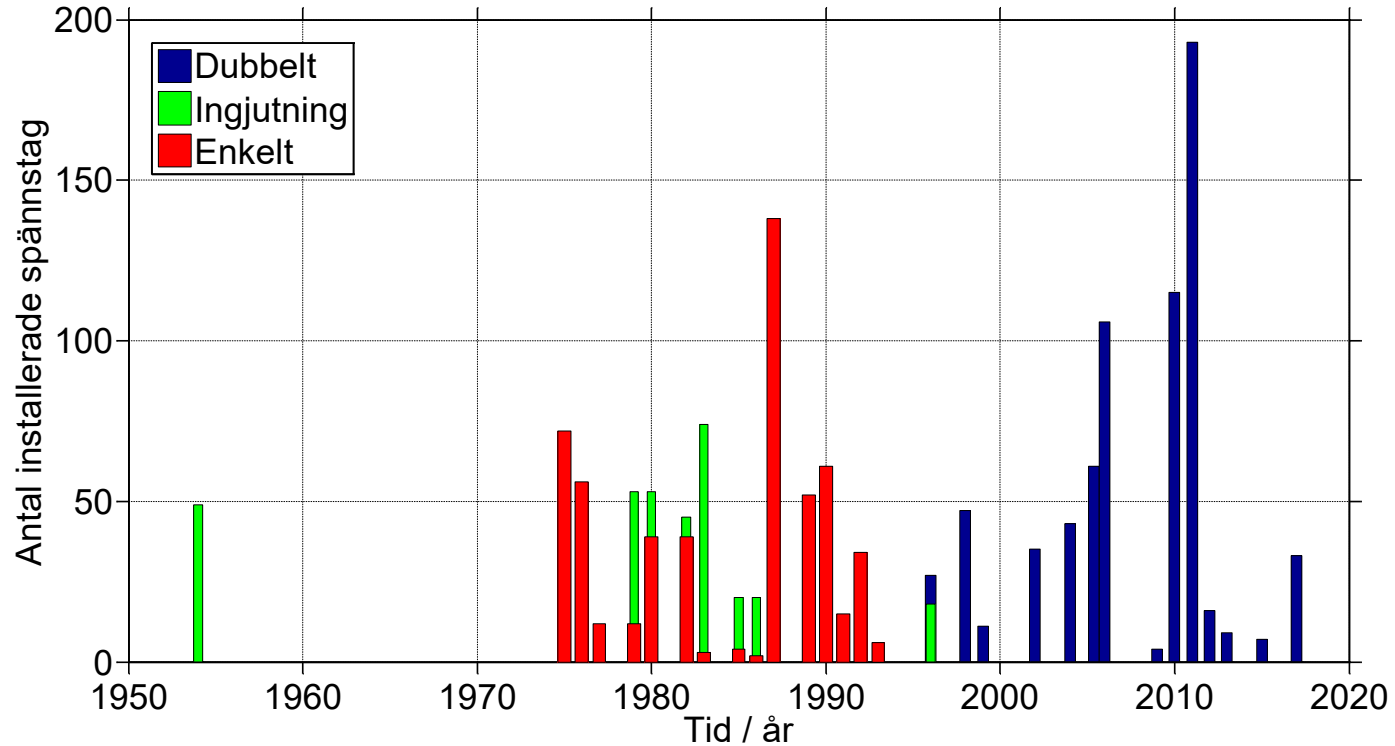


Spännstagssystem / Installationsår

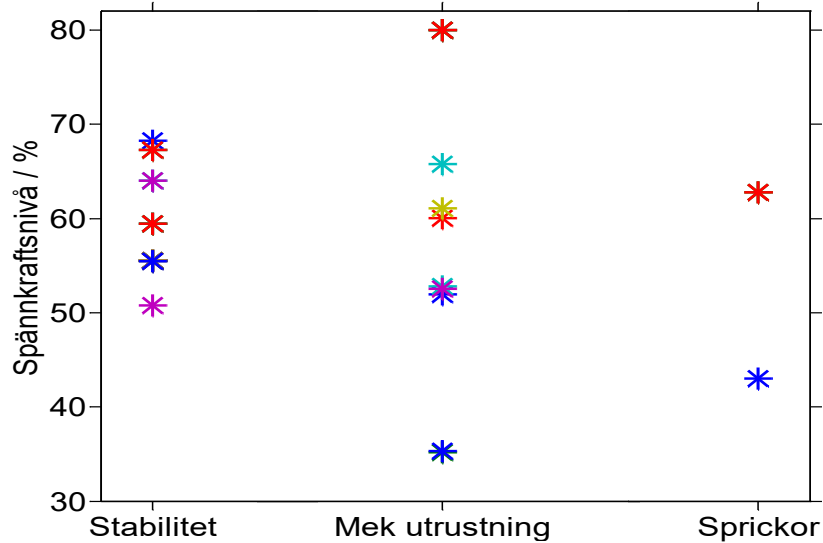


Stänger

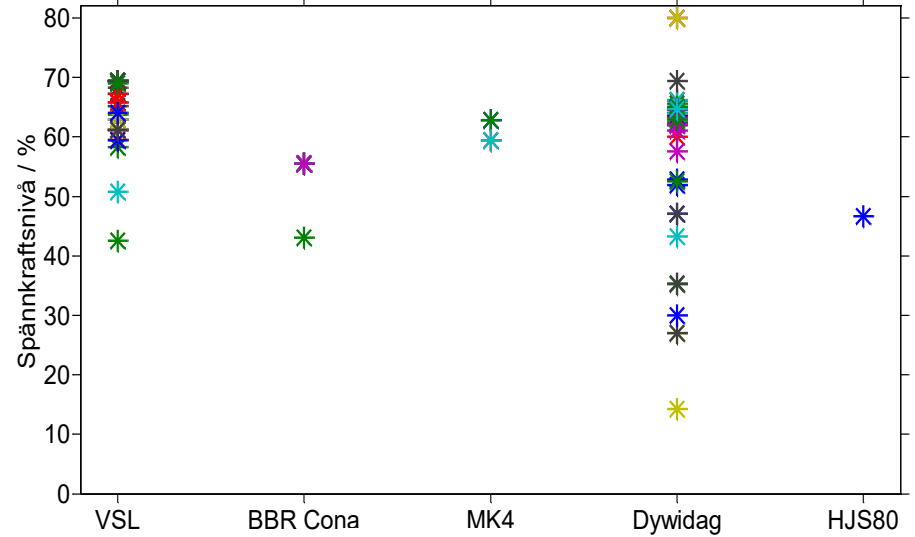
Spännstagssystem: Korrosionsskydd



Spännstagsystem / Syfte / Spännkrafter



Syfte



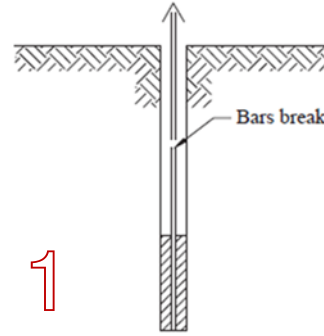
System

Förankringszonen i berg

Brottnoder

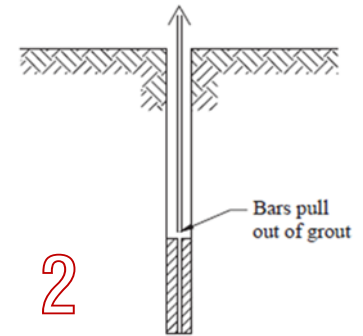
Spännstag har fyra (fem) brottmoder:

1. Brott i spännstålet.
2. a. Brott mellan stål och bruk.
b. Brott mellan bruk och foderrör.
3. Brott mellan bruk och berg.
4. Brott i bergmassan (bergkon).



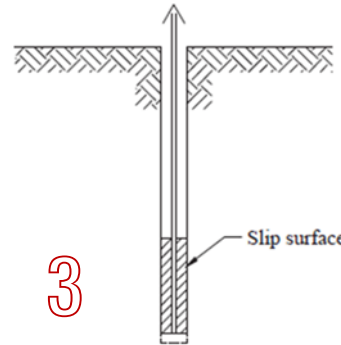
1

(a) Steel.



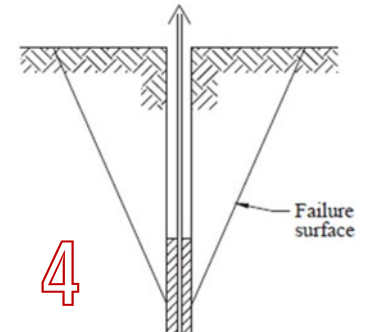
2

(b) Steel-grout interface.



3

(c) Grout-rock interface.

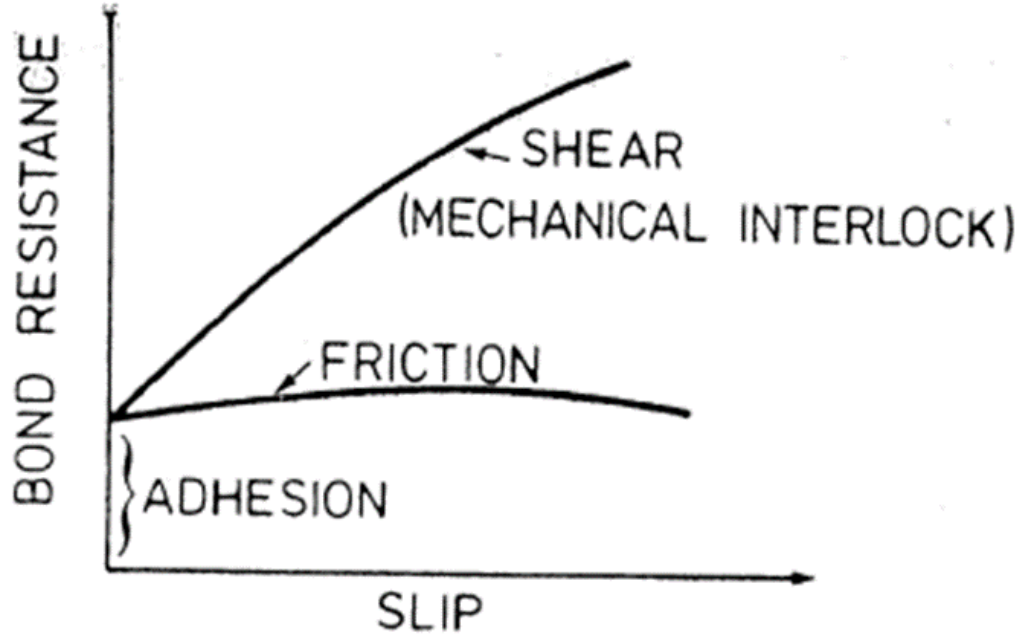
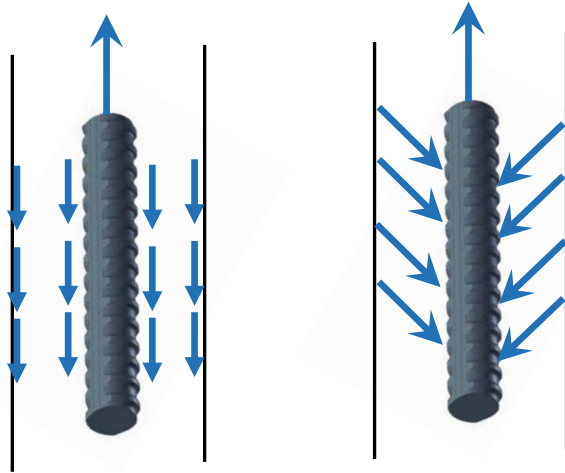


4

(d) Rock mass uplift.

Brott mellan stål, bruk och berg

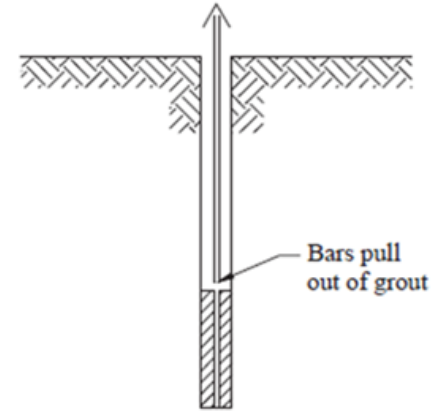
- Kraftöverförande mekanismer:
 - Adhesion (molekylär vidhäftning).
 - Friktion.
 - Mekaniska förtagningseffekter.



Littlejohn, Bruce, Rock anchors – state of the art, Ground Engineering 1975-1976

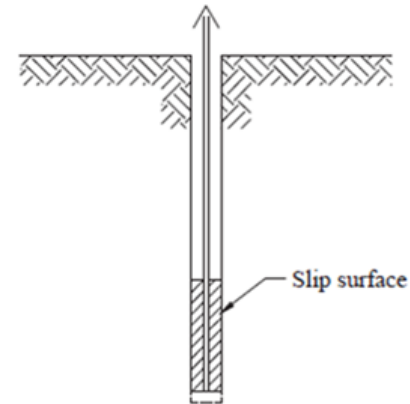
Dimensionering

- Jämn spänningsfördelning.
- Vidhäftningshållfasthet mellan stål och bruk.
- Stålets mantelarea som ger bärförmågan.



(b) Steel-grout interface.

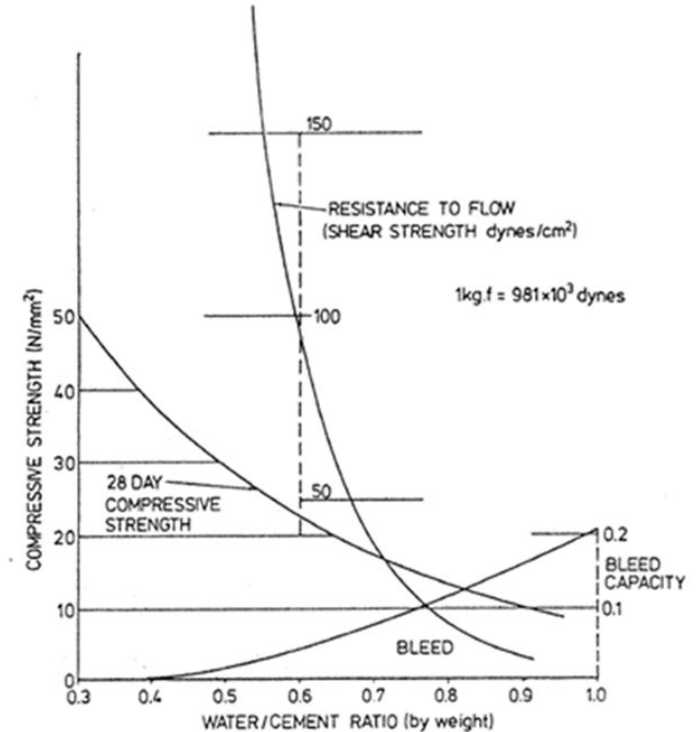
- Jämn spänningsfördelning.
- Vidhäftningshållfasthet mellan berg och bruk
- Borrhållets mantelarea som ger bärförmågan.



(c) Grout-rock interface.

Brott mellan stål, bruk och berg

- Faktorer med positiv inverkan på bärförmågan:
 - Vct vilket bl.a. styr brukets tryckhållfasthet och stabilitet.
 - Expanderande tillsatsmedel.
 - Injektering under tryck.
 - Normalspänningar i berget.
 - Minimera borrhålets diameter.



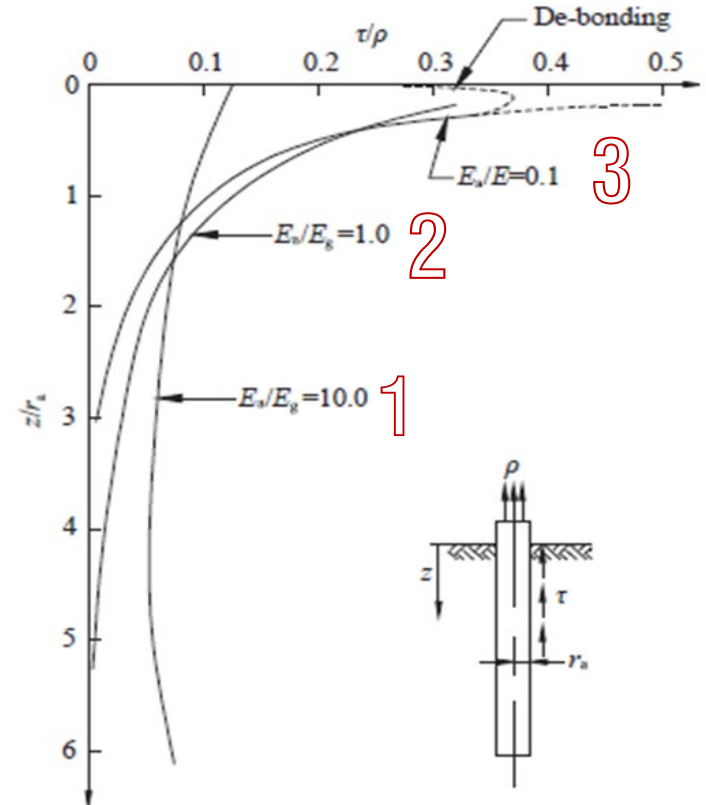
Littlejohn, Bruce, Rock anchors – state of the art, Ground Engineering 1975-1976

Spänningsfördelningen i förankringszonen

Spänningsfördelningen är en funktion av styvheten i berg (E_g) och spännstag/injekteringsbruk (E_a) :

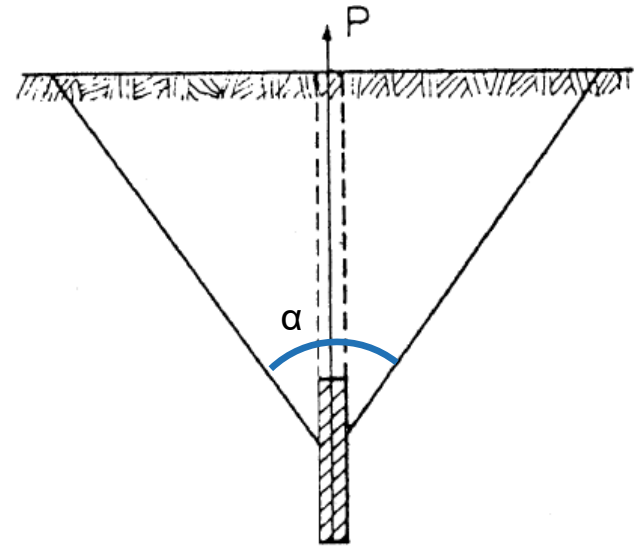
1. $E_g < E_a$ lång överföringslängd
2. $E_g > E_a$ kort överföringslängd
3. $E_g \gg E_a$ kort överföringslängd

Svenska förhållanden: 1 eller 2 → överdimensionering



Brott i bergmassan

- Bergets bärförmåga = bergkonens vikt,
- Bergets drag- och skjuvhållfasthet försummas.
- Aktuell bergkvalitet ger α :
 - Låg kvalitet 60° .
 - God kvalitet 90° .

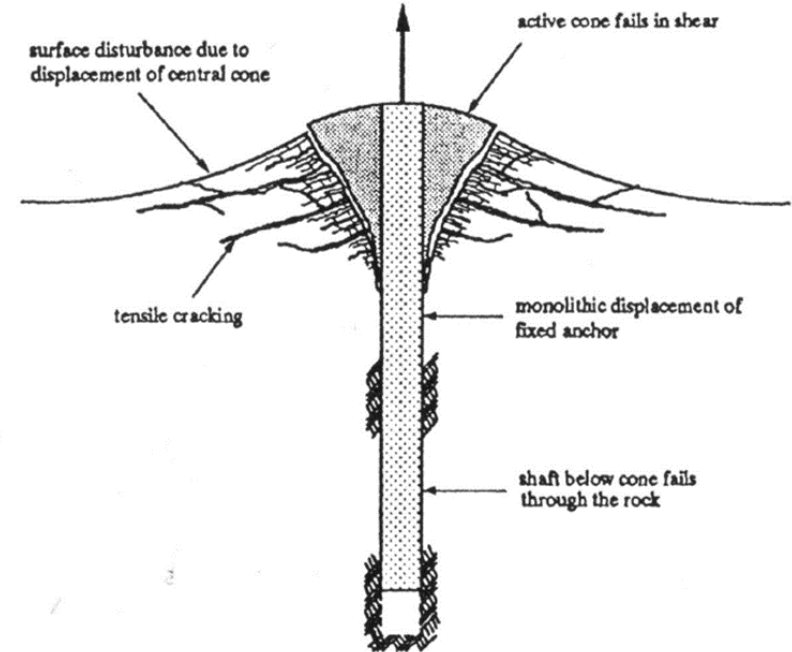


E.T. Brown / Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 7 (2015) 1-13

Bergets egenskaper

Resultat från utdragsförsök:

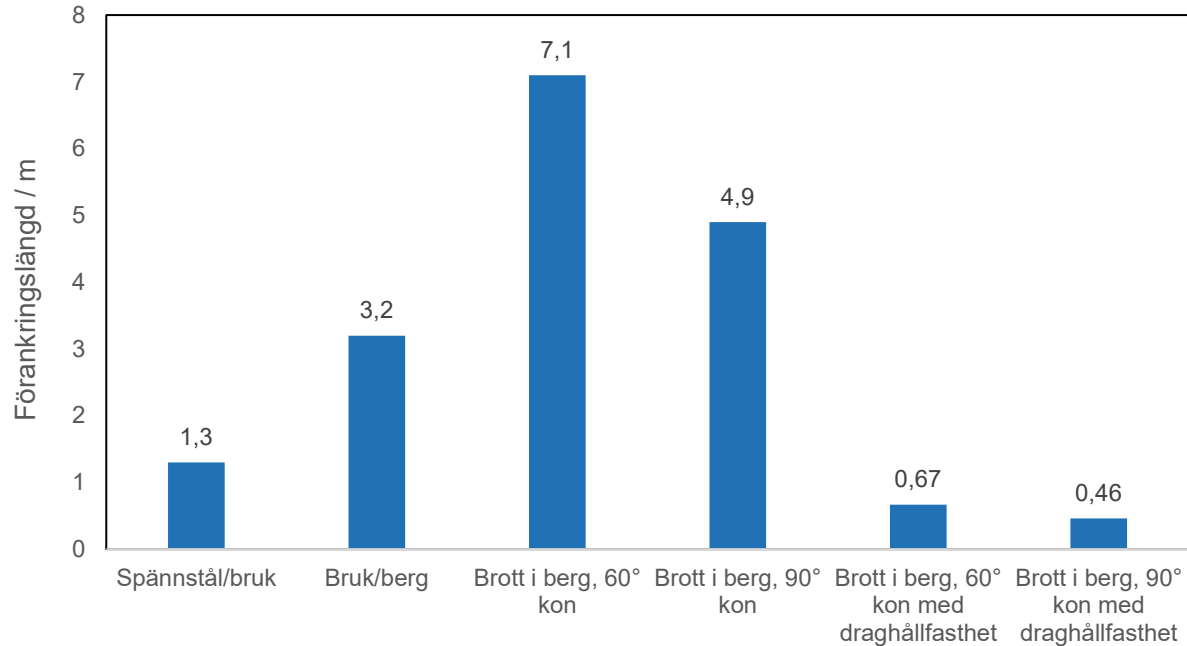
- Brott i berg vid förankringslängder $< 4,5$ m.
- Stångsystem < 1 m.
- Utdragskrafter = 7 - 65 större än bergkonens vikt.
- Ofta kombinerat brott.



Weerasinghe R.B., Littlejohn G.S., Ground anchorages and anchored structures, 1997.

Brottmoder: Beräkningsexempel

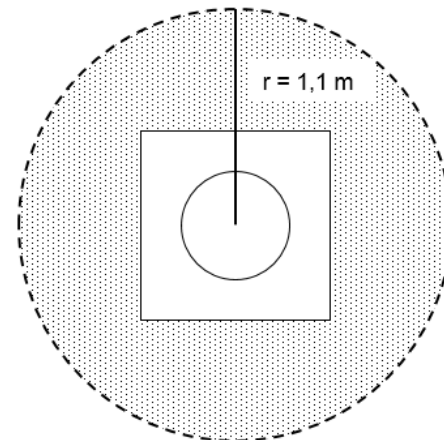
- Spännstag av lintyp / Spännkraft 2000 kN / Foderrör Ø 100 mm.
- Vidhäftningshållfasthet 3 MPa / Bergdraghållfasthet 3 MPa



Inspektionsprogram och spännkrafter

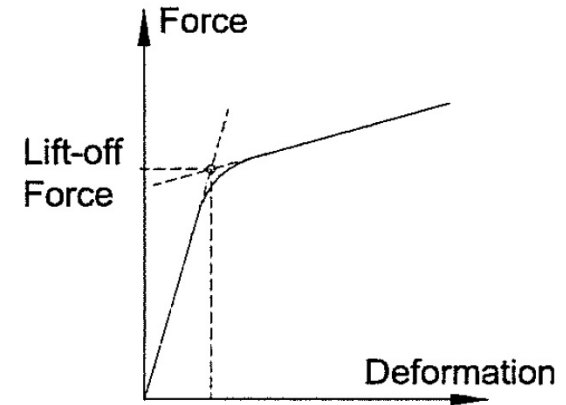
Inspektionsprogram

1. Årlig inspektion (okulär)
2. Inspektion med verifikationstest, vart femte år:
 1. Årlig okulär inspektion,
 2. Inspektion av rostskyddsfett,
 3. Spännkraftsmätning.



Dammsäkerhetsklass	Andel spännstag som ingår i / %	Period då samtliga spännstag inspekteras / år
A, B	50	8 -12
C	33	15
E	20	25
D	20 eller 33	15 eller 25

Mätning av spännkrafter



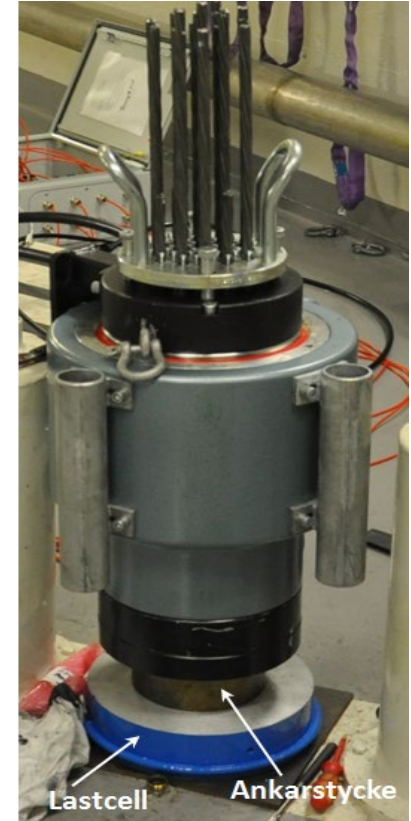
Mätmetoder

Osäkerheter i nuvarande metodik:

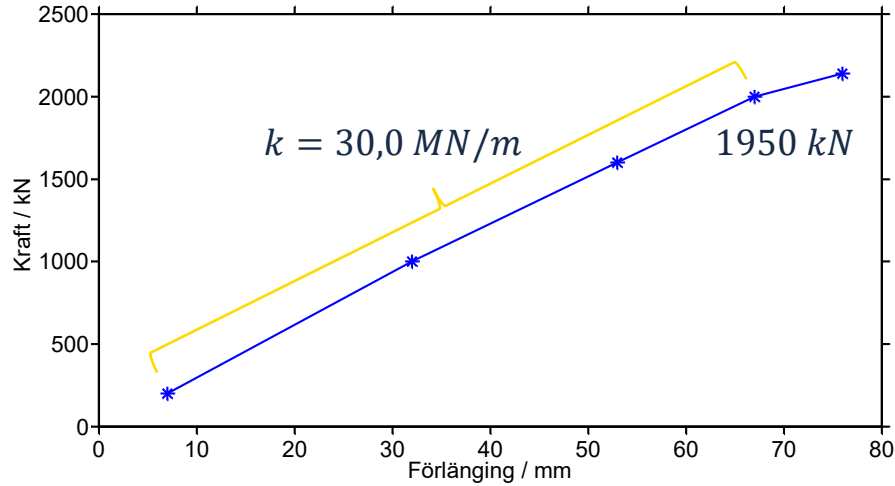
- Hur mätningen genomförs.
- Tolkning av lift-off kraften.
- Val av mätutrustning.

Detta medför att nuvarande metoder inte är jämförbara:

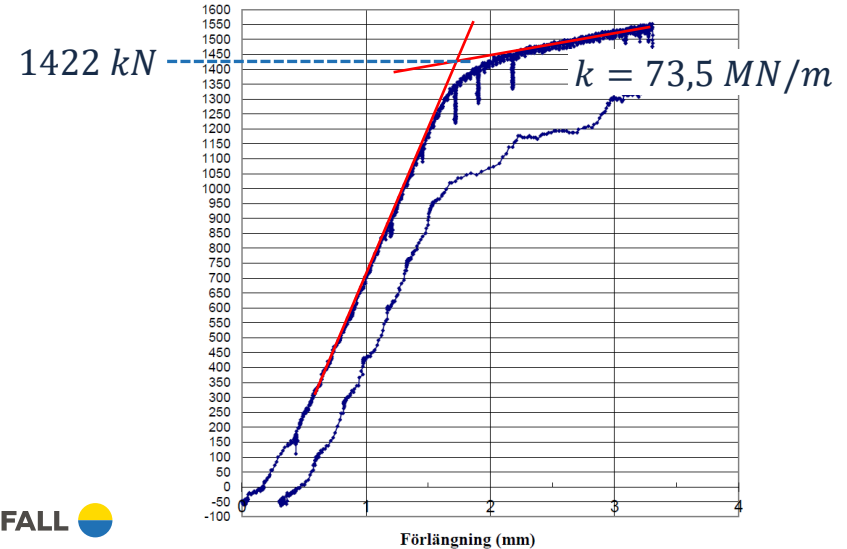
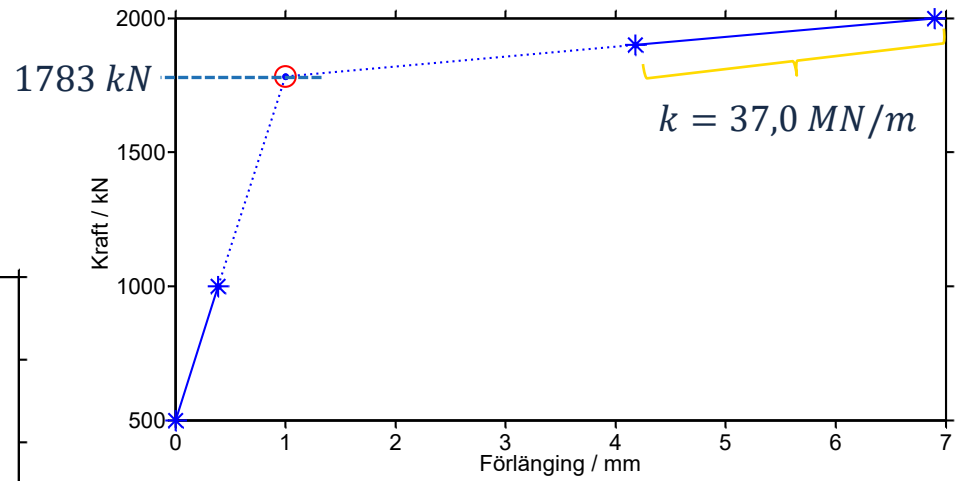
- Olika resultat mellan olika utförare,
- Olika resultat över tid.



Olika metoder



$$k_{teor} = \frac{195 \cdot 10^3 \cdot 1800}{11,61} = 30,2 \text{ MN/m}$$

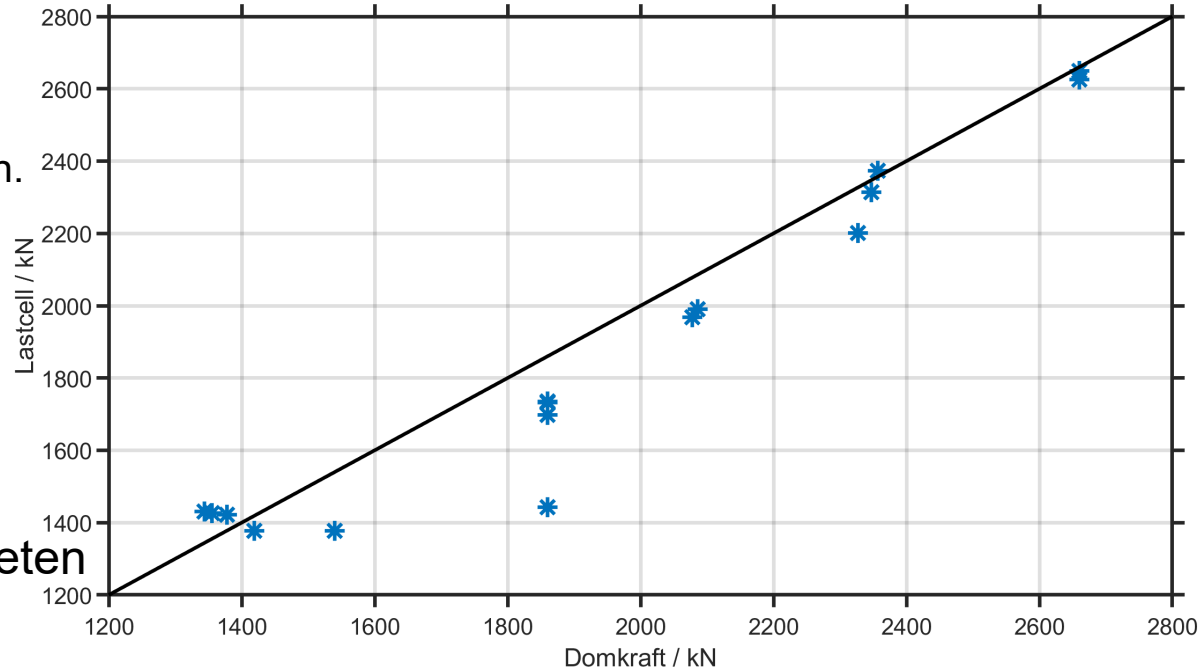


Mätningars noggrannhet

- Skillnader upp mot 30 %.
- Generellt överskattas spännkraften.

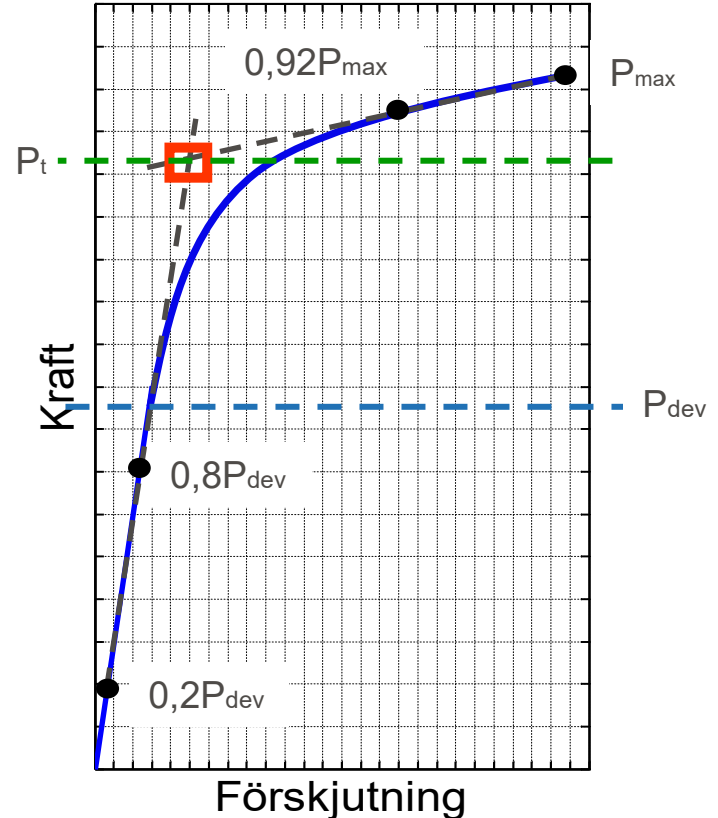


Negativ inverkan på säkerheten



Förslag på ny metod

1. Kontinuerlig (elektronisk) mätning och loggning av kraft och förskjutning,
2. Maxkraft: $\min \begin{cases} 1,2P_0 \\ \varepsilon = 0,1 \% \\ 0,75P_{uk} \end{cases}$
3. Visuell kontroll.



Instrumentering med lastceller

Fördelar gentemot domkraftsmätning:

- Kontinuerlig övervakning.
- Korrekt uppspänningskraft.

Nackdelar:

- Tillförlitlighet över tid, t.ex. drift.
- Mätningar utförs endast på instrumenterade kablar.
- Temperaturpåverkan.



Erfarenheter av lastceller

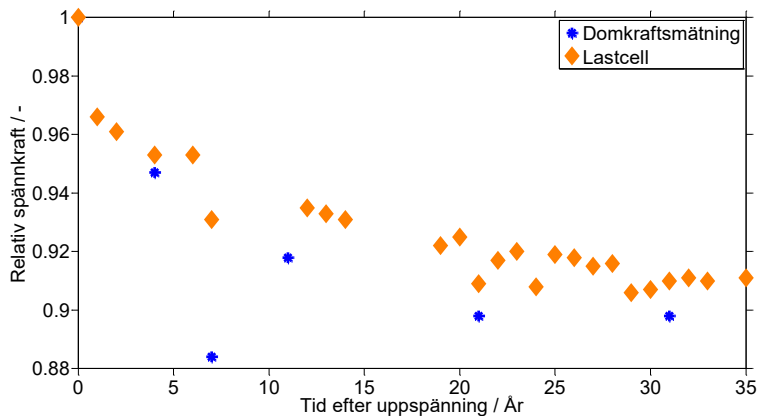
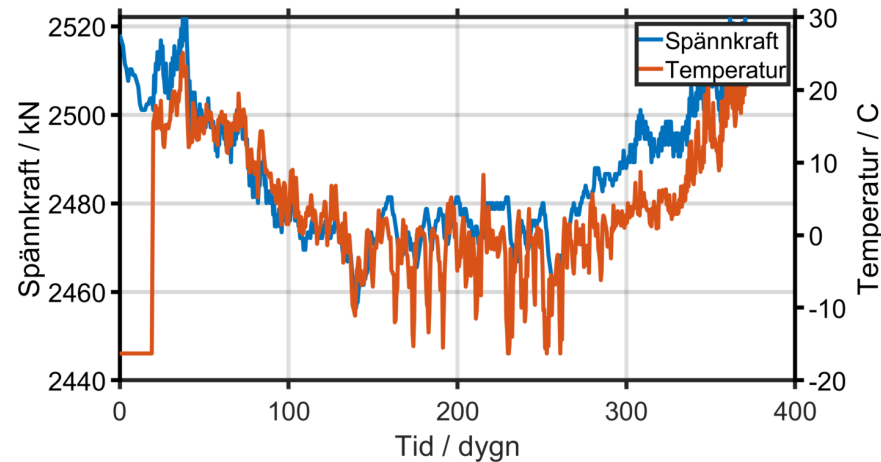
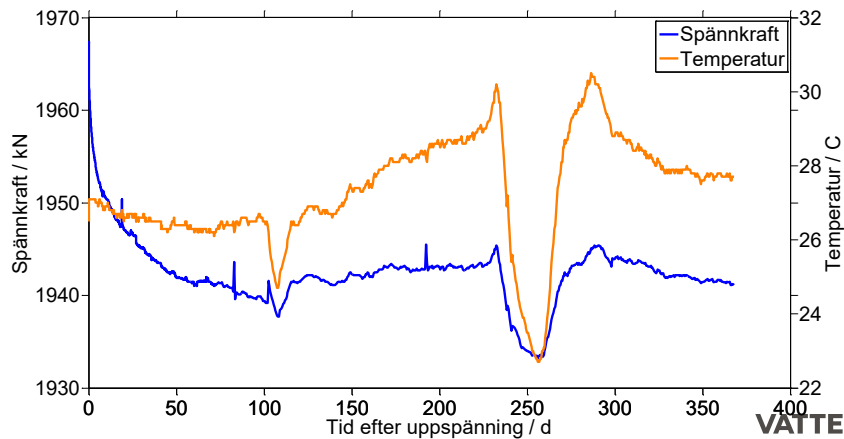


Foto: Glötzl

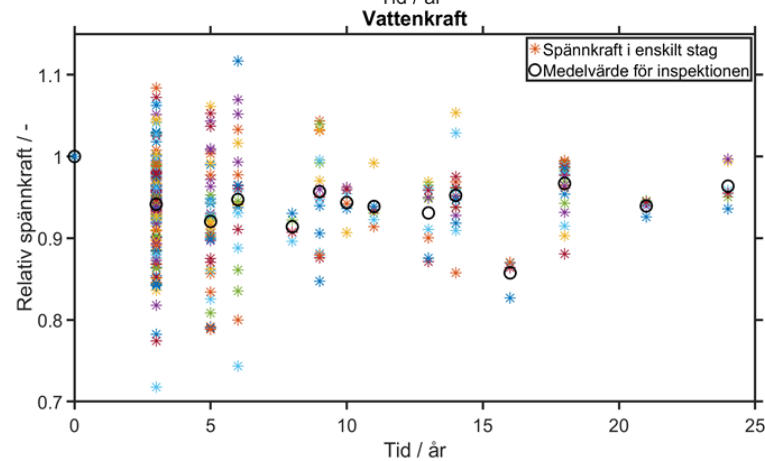
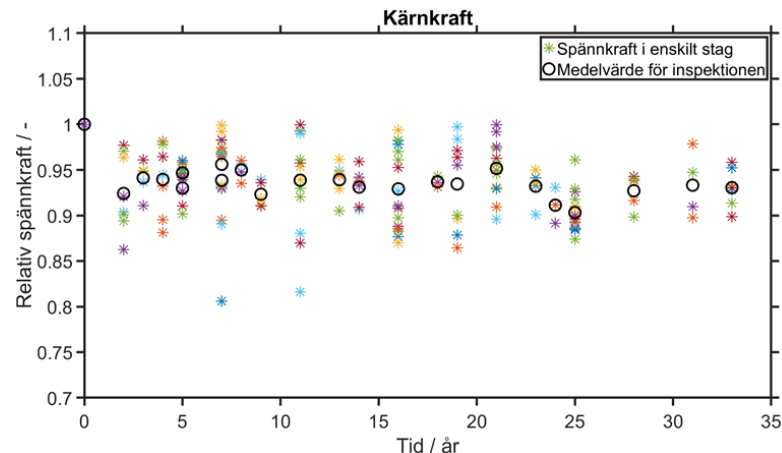
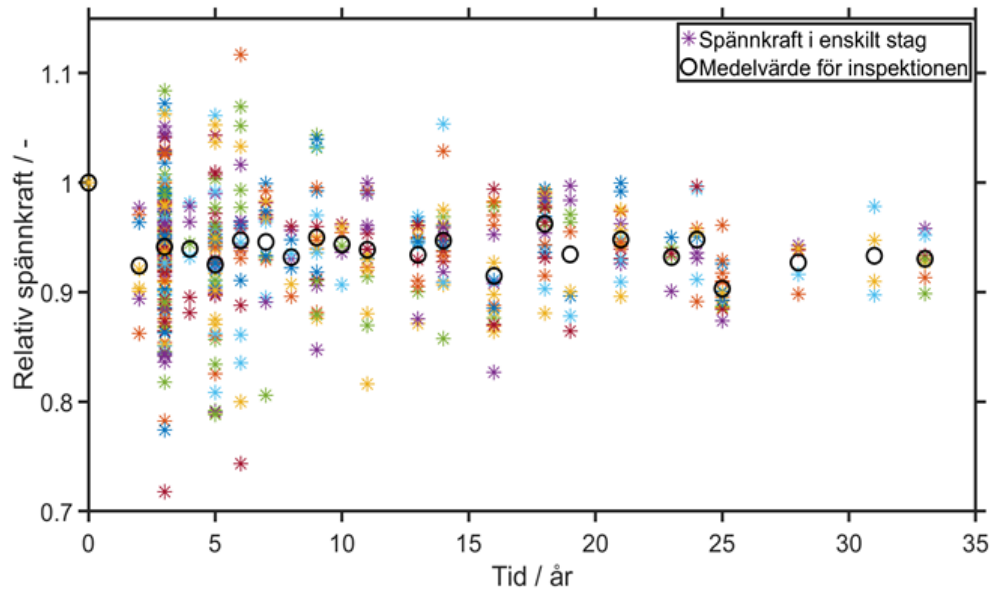


Rekommendationer för instrumentering

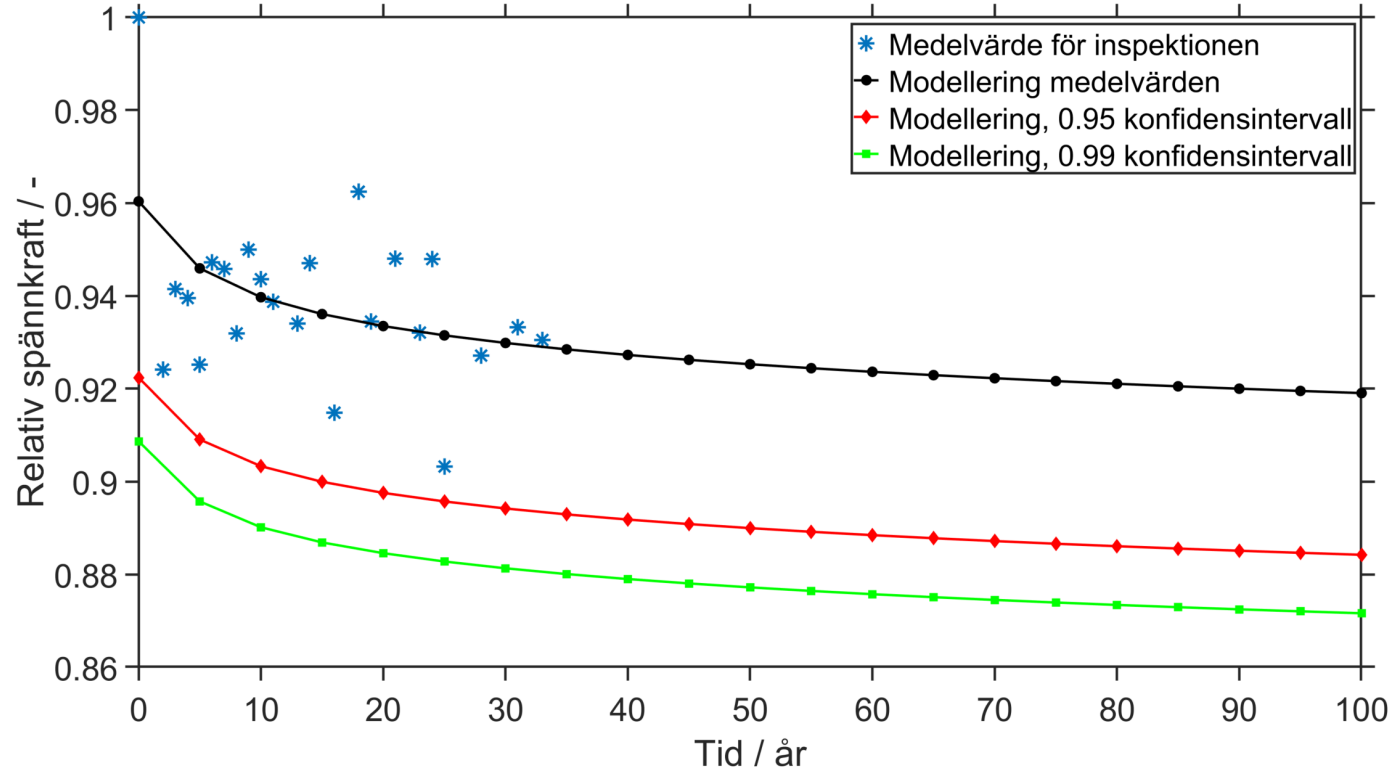
- Omfattning av installationen.
- Typ och egenskaper hos lastcell.
- Praktisk råd för installation.
- Kort beskrivning av datainsamlingsystem.



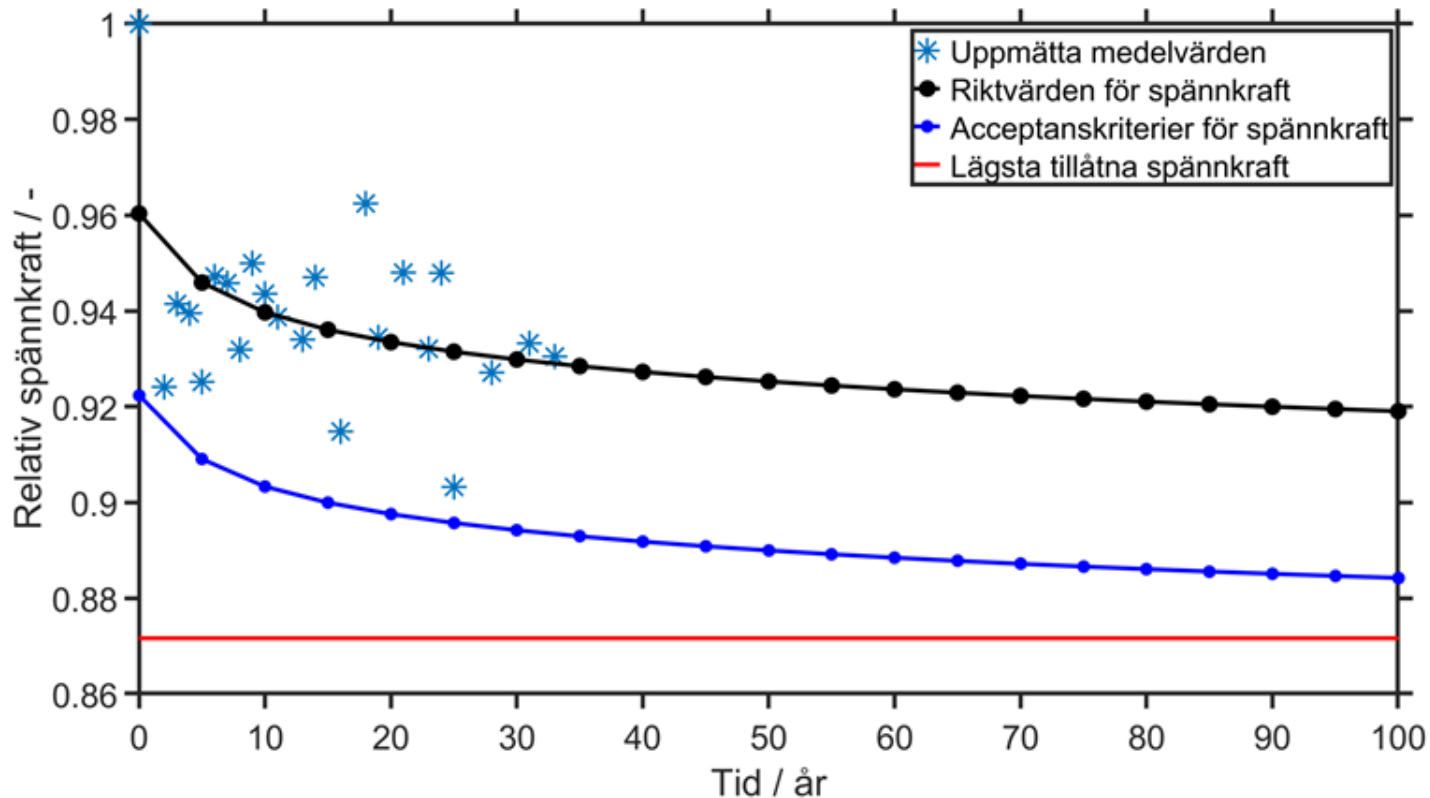
Uppmätta spännkrafter



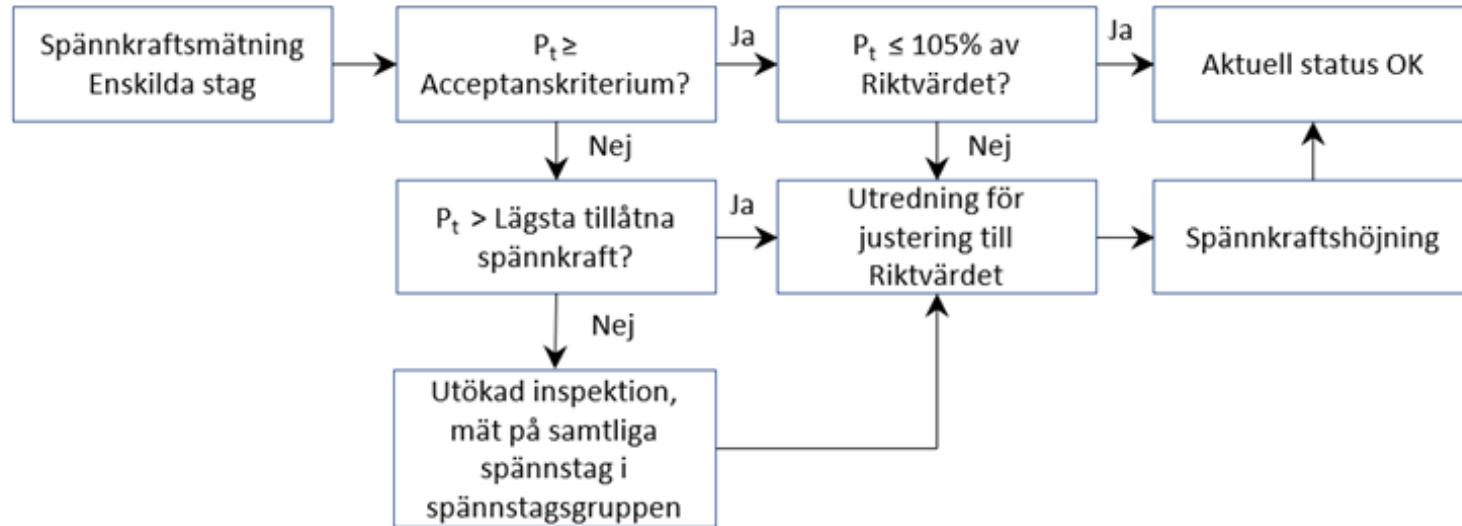
Modellering av spännkrafter över tid



Acceptanskriterier och marginaler



Utvärdering av spännkraftsmätning



Anläggningsägares kravställning

Kravställning för hantering av spännstag

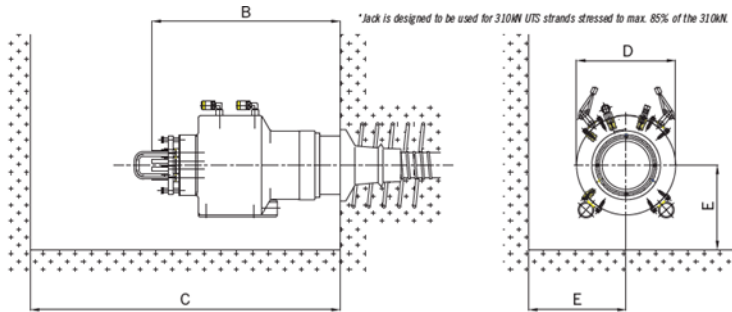
Rekommendationer till kravställning/riktlinjer för:

- Spännstagsdimensionering
- Installationsutförande
- Spännkraftsmätning
- Arbetsmiljöaspekter

Spännstagsdimensionering

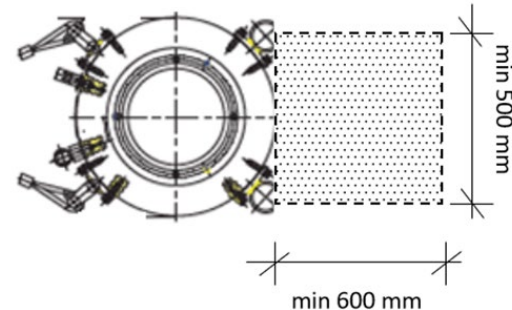
Rekommendationer angående bl.a.:

- Statusbedömning som grund för dimensioneringen,
- Detaljutformning, t.ex. nedspänning, fria längden, åtkomst vid mätning.
- Val av spännkraft, t.ex. begränsning av uppspänningskraft, anvisning för uppspänning och godkännandeprov.
- Krav på injekteringsbruket:
 - Hänvisning till relevanta normer (SS-EN 1537, SS-EN447) samt tillägg till normkrav,
 - Krav på förprovning och kontinuerlig provning under injektering, bl.a. tryckhållfasthet och stabilitet,
 - Acceptanskriterier utifrån förprovningen.



VSL

VATTENFALL 



VSL

Installationsutförande

Rekommendationer angående:

- Håltagning, bl.a. krav på undersökningar och dokumentation
- Täthetsprovning
- Täthetsinjektering av berg/betong
- Hantering av spännstag
- Injekteringsarbeten

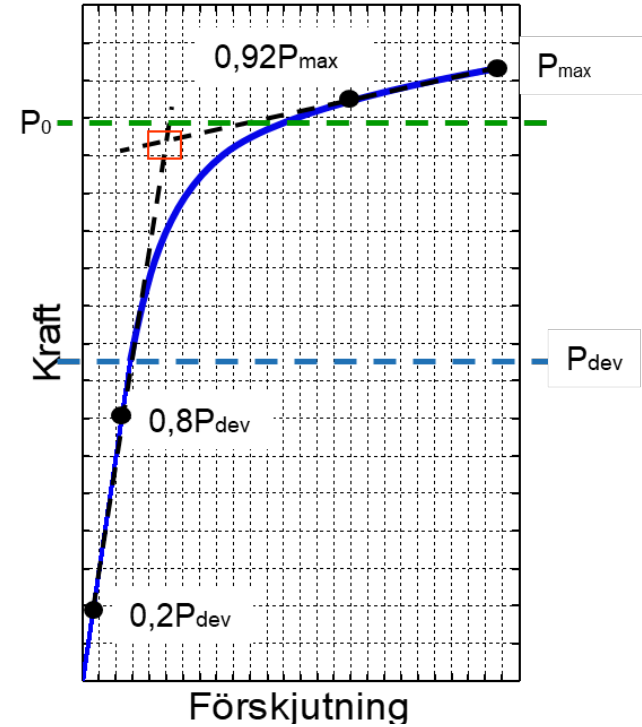
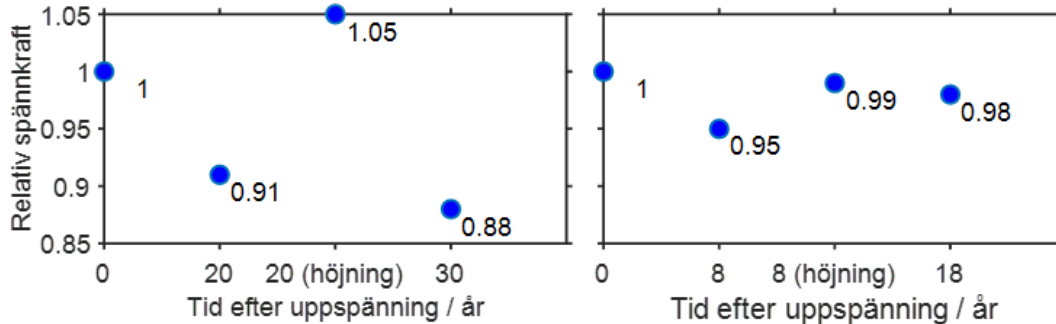


Foto: Uniper

Spännkraftsmätning

Rekommendationer för:

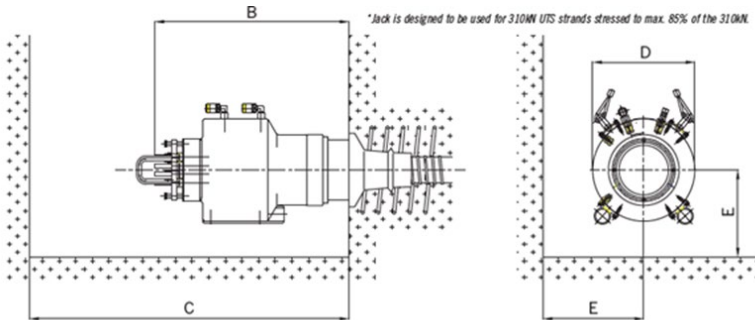
- Mätmetod i del 2 ska användas,
- Höjningar av spännkraft sker till nivåer som är lägre än ursprungliga uppspänningskraften



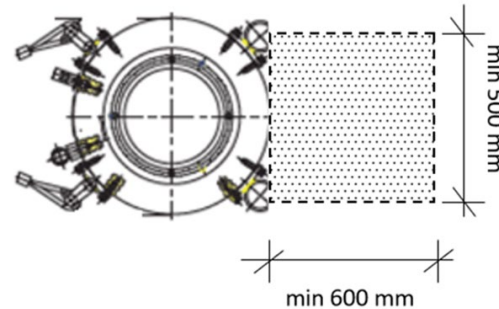
Arbetsmiljö

Tydliga rekommendationer för uppspänning och mätningar m.a.p. personsäkerhet:

- Hänvisning till relevanta föreskrifter från AMV
- Placering och användning av domkraft.
- Hjälpmedel såsom lyftverktyg/kranar ska kunna användas
- Utrymme för eventuellt ställningsbyggande ska finnas
- Utrustning och verktyg som används ska vara godkända enligt gällande normer
- Tillräckligt utrymme kring spännstag



VSL



VSL



SLUT!