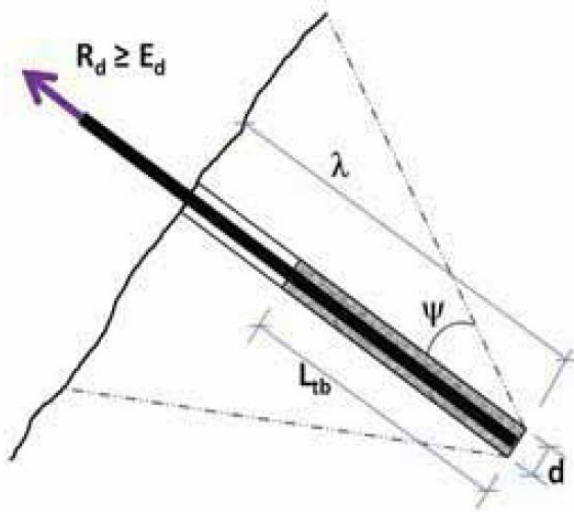


Bolter og ankere (stag) Forankringslengde i berg

16/02/2015

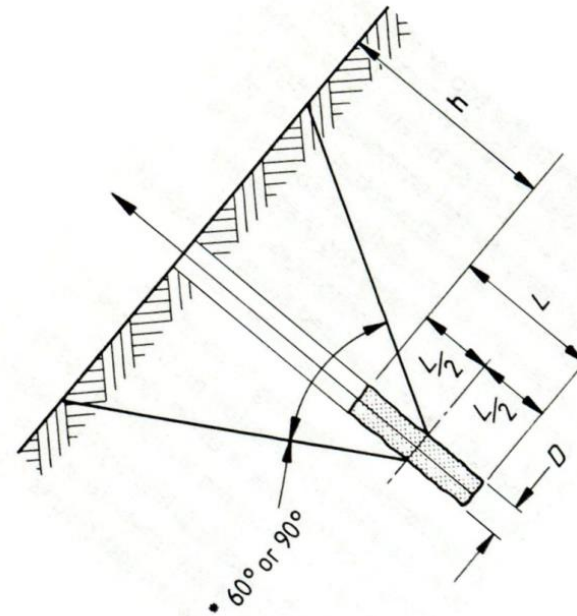
Arild Neby, Tunnel- og betongseksjonen, TMT, Vegdirektoratet

Slik?...



Figur 10.18 Forankringslengde i berg

...slik?..

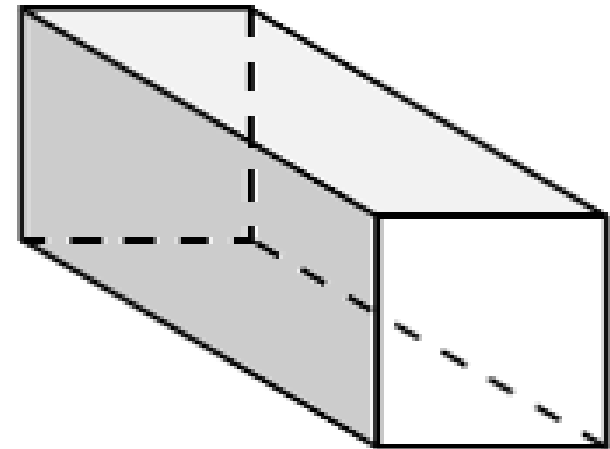
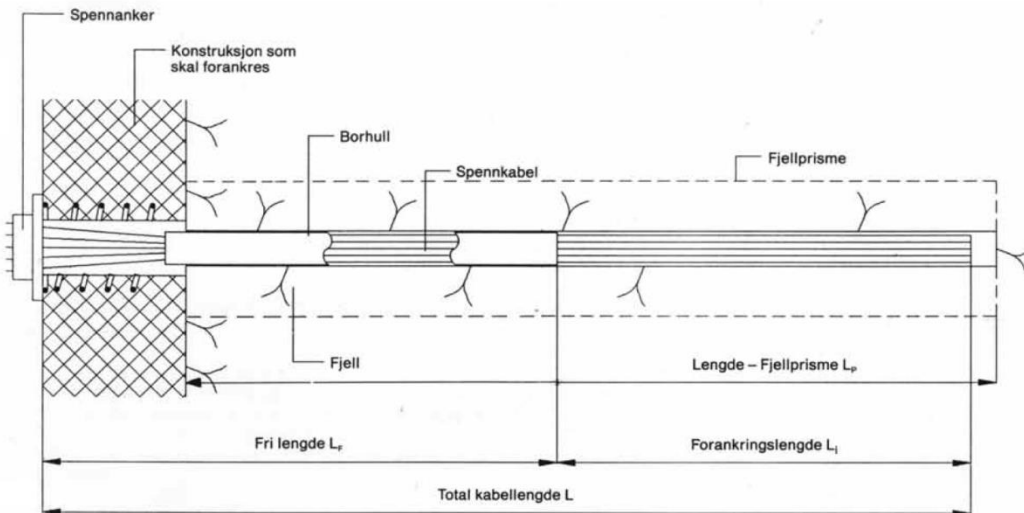


Bolter og ankere (stag) Forankringslengde i berg

16/02/2015

Arild Neby, Tunnel- og betongseksjonen, TMT, Vegdirektoratet

...eller slik?





Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

- Forankringer i berg er omtalt i Statens vegvesens Håndbok N200 (018), V220 (016), Håndbok V221 (274), Håndbok N500 (021), Håndbok R761 (025), Håndbok R762 (026), Håndbok V224 (215) og Håndbok N400 (0185) og Internrapport nr. 2374.
- I tillegg omhandler NS-EN 1997:2004+NA:2008 Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering – Del 1 med nasjonalt tillegg, NS-EN 1537:2013 Utførelse av spesielle geotekniske arbeider – Stagforankringer, og prEN ISO 22477-5; Geotechnical investigation and testing – Testing of geotechnical structures – Part 5: Testing of pre-stressed anchors, forankringer i berg.
- Bortsett fra Hb N200 og NS-EN 1537:2013 er alle de andre håndbøkene/standardene nevnt over i øyeblikket under revisjon.
- Norsk Betongforenings Publikasjon 14 Spennarmeringsarbeider er også under revisjon. Revisjonsutkastet inneholder et helt nytt kapittel om permanente bergforankringer, en type spennarmeringsarbeider som ikke tidligere har vært omtalt i Publikasjoner fra Norsk Betongforening.
- Det er opplagt et behov for samordning av hvorledes forankringer i berg i ulike former (aktive/passive ankere) skal håndteres, og det er en målsetting at dette vil bli gjort i den reviderte Håndbok V224 Bolter og stag/ankere i berg.



Statens vegvesen

Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

- Revisjon av tidligere håndbøker i bergbolting har pågått lenge...

Ny håndbok: V224 Bolter og stag





Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

- Vekt av utrivningslegeme eller heftfasthet i berg?
 - 3 skoler i Norge, hvor geometrien av utrivningslegemet er viktig:
 1. Vekt av legeme (*fullstendig avgrenset av sprekker, sprekkeflater uten skjærfasthet eller sprekkefriksjon, neddykket romvekt under grunnvannsnivå*)
 2. Heftfasthet rundt legeme (*skjærstyrken til intakte bergbroer langs bruddplanet, sprekkefriksjon på allerede eksisterende sprekker og kohesjon av eventuell sprekkefylling; angis som en konstant heftfasthet*)
 3. Vekt og heftfasthet (*legemet orientert parallelt stag og volumet er bestemt av minste sprekkeavstand*)



Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

• Litteratursøk

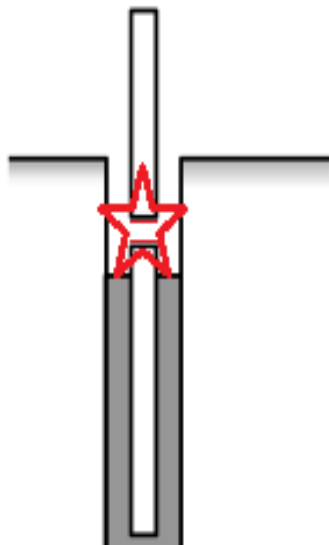
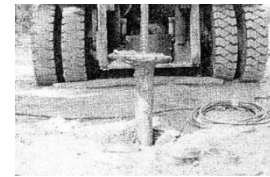
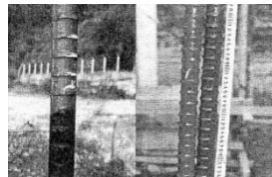
- British Standards Institution (1989): BS 8081:1989 "British Standard Code of Practice for ground anchorages"
- Duncan C. Wyllie (1999): "Foundations on Rock"
- G. S. Littlejohn and D. A. Bruce (1975): "Rock anchors - Design and Quality Control"
- G. S. Littlejohn and D. A. Bruce (1977): "Rock anchors - State of the art"
- Norges vassdrags- og energidirektorat (2005): "Retningslinjer for betongdammer", 2. utgave"
- Per Heimli (1978): "Forankring med kabelstag"
- Pålkommisjonen (2000): "Rapport 97: Stålkärnepålar - Anvisningar för projektering, dimensionering, utförande och kontroll"
- Standard Norge (2000): NS-EN 1537: "Utførelse av spesielle arbeider - Stagforankringer", 1. utgave"
- Standard Norge (2008): NS-EN 1997-1:2004+NA:2008, "Eurocode 7: Geoteknisk prosjektering - Del 1: Allmenne regler".
- Statens Vegvesen, Vegdirektoratet (2004): "Intern rapport nr. 2374 - Forankring med bergbolter ved fundamentering av støttemurer og landkar på berg".
- Statens Vegvesen, Vegdirektoratet (2010): "Håndbok 016 - Geoteknikk i vegbygging", kapittel 10.5.2 og 10.6.1.5"
- U.S. Army Corps of Engineers (1994): "Rock foundations". Engineer Manual 1110-1-2908
- U.S. Federal Highway Administration (1999): "Ground Anchors and Anchored Systems"
- T. Barley (1988): "Ten thousand anchorages in rock"
- A.D Barley and C. Windsor (2000): "Recent advances in ground anchor and ground reinforcement technology with reference to development of the art"
- G.A. Scott and D.A. Bruce (1992): "Full Scale Field Tests of High Capacity Rock Anchors"
- Hobst, L., Zajíc, J. (1977): "Anchoring in rock"
- Hobst, L., Zajíc, J. (1983): "Anchoring in rock and soil"
- T.H. Hanna (1982): "Foundations in Tension"
- C. Li, B. Stillborg: "Analytical models for rock bolts"
- D.H. Kim and S.R. Lee (2005): "Uplift Capacity of Fixed Shallow Anchors Subjected to Vertical Loading in Rock"
- P. Heimli (2006): "Bolter,stag og stålkjernepeler"
- J. Bergh-Christensen (2010): "Dimensjonering av strekkforankringer i berg. Diskusjonsgrunnlag"
- A. Ongstad, J. Bergh-Christensen (2010) : "Strekkforankring i berg"
- Lars Kristian Neby (2011): "Fjellbolter i dammer - forventet kapasitet"
- Capucine Thomas-Lepine (2012): "Rock bolts - Improved design and possibilities"

• Telefonsamtale med Donald A. Bruce

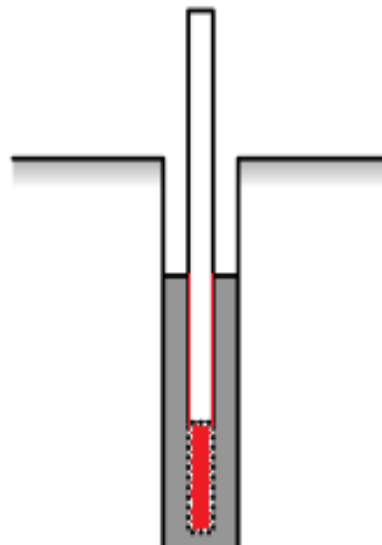
Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

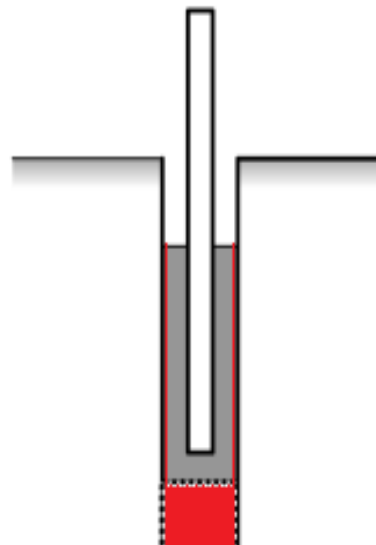
- Bør i prinsipp innbefatte både vekt av legeme og heftfasthet rundt antatt legeme



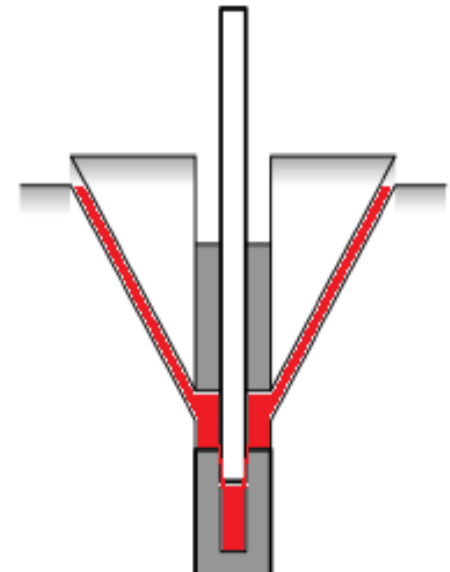
Brudd i stag



Brudd i heft
stag/mørtel



Brudd i heft
mørtel/berg



Brudd i berg

Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

- Fordeling av skjærspenning langs et stag
 - C. Li & B. Stillborg:

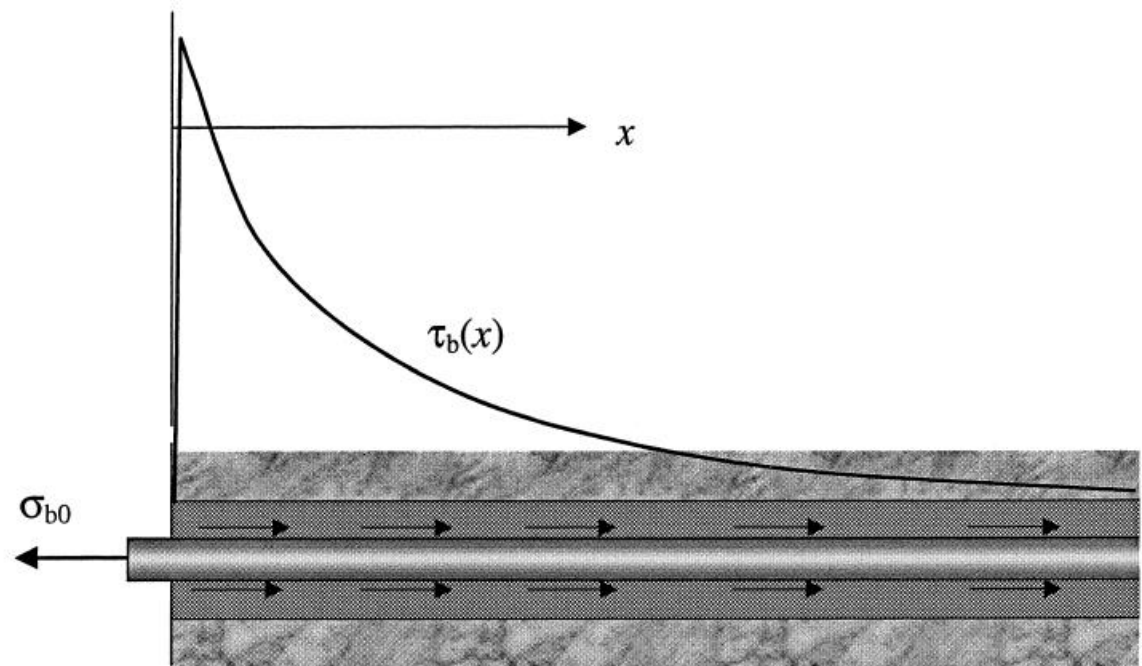


Fig. 6. Shear stress along a fully coupled rock bolt subjected to an axial load before decoupling occurs.

Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

- Fordeling av skjærspenning langs et stag
 - C. Li & B. Stillborg:

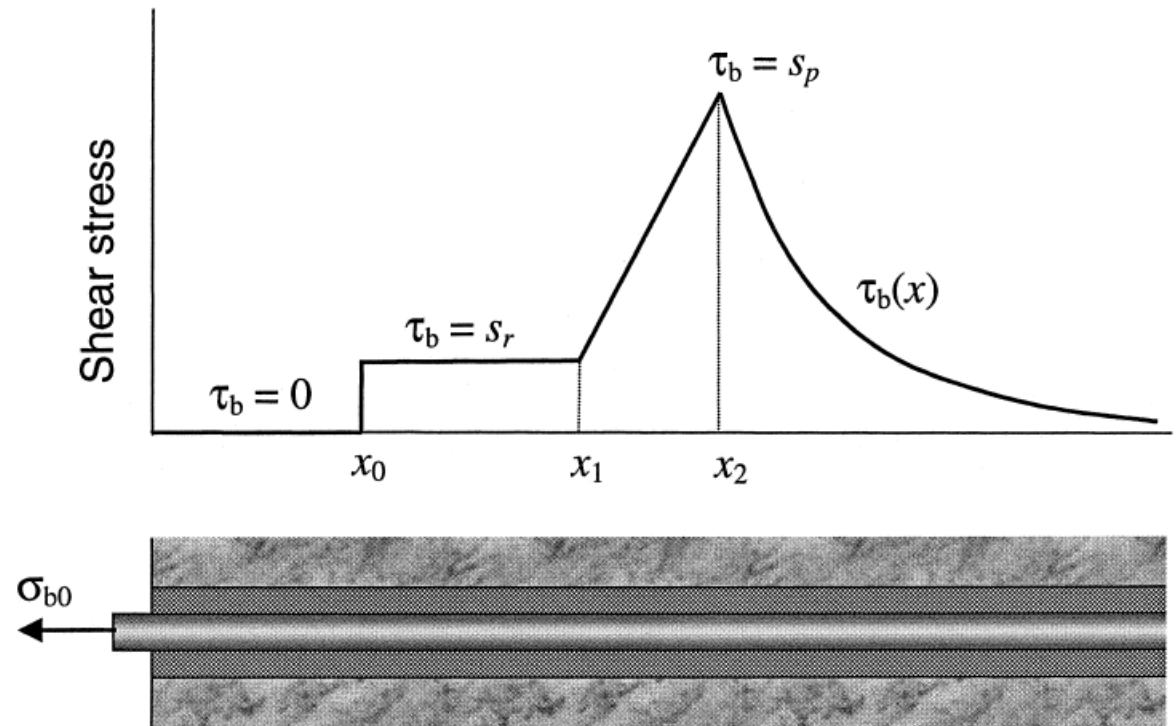
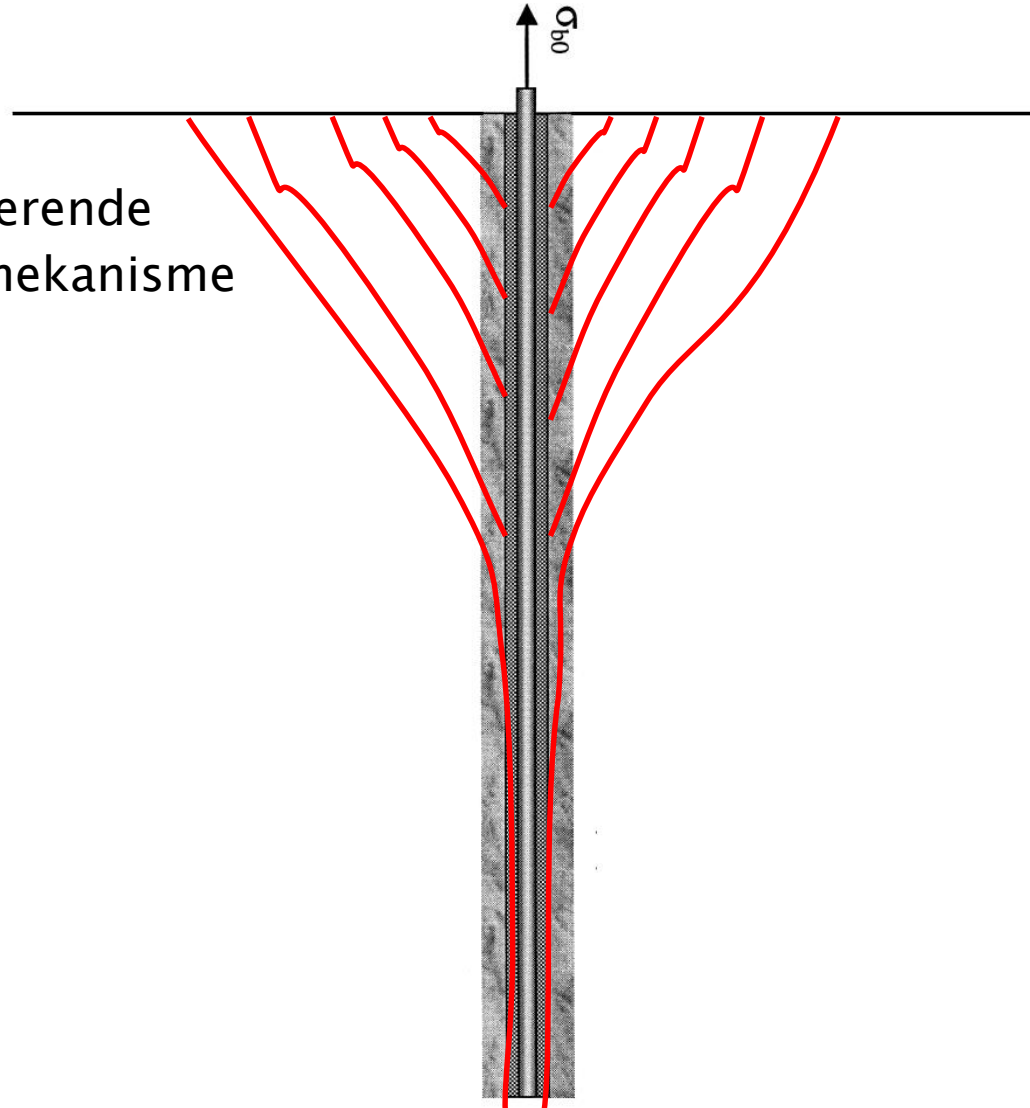


Fig. 4. Distribution of shear stress along a fully grouted rock bolt subjected to an axial load.

Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

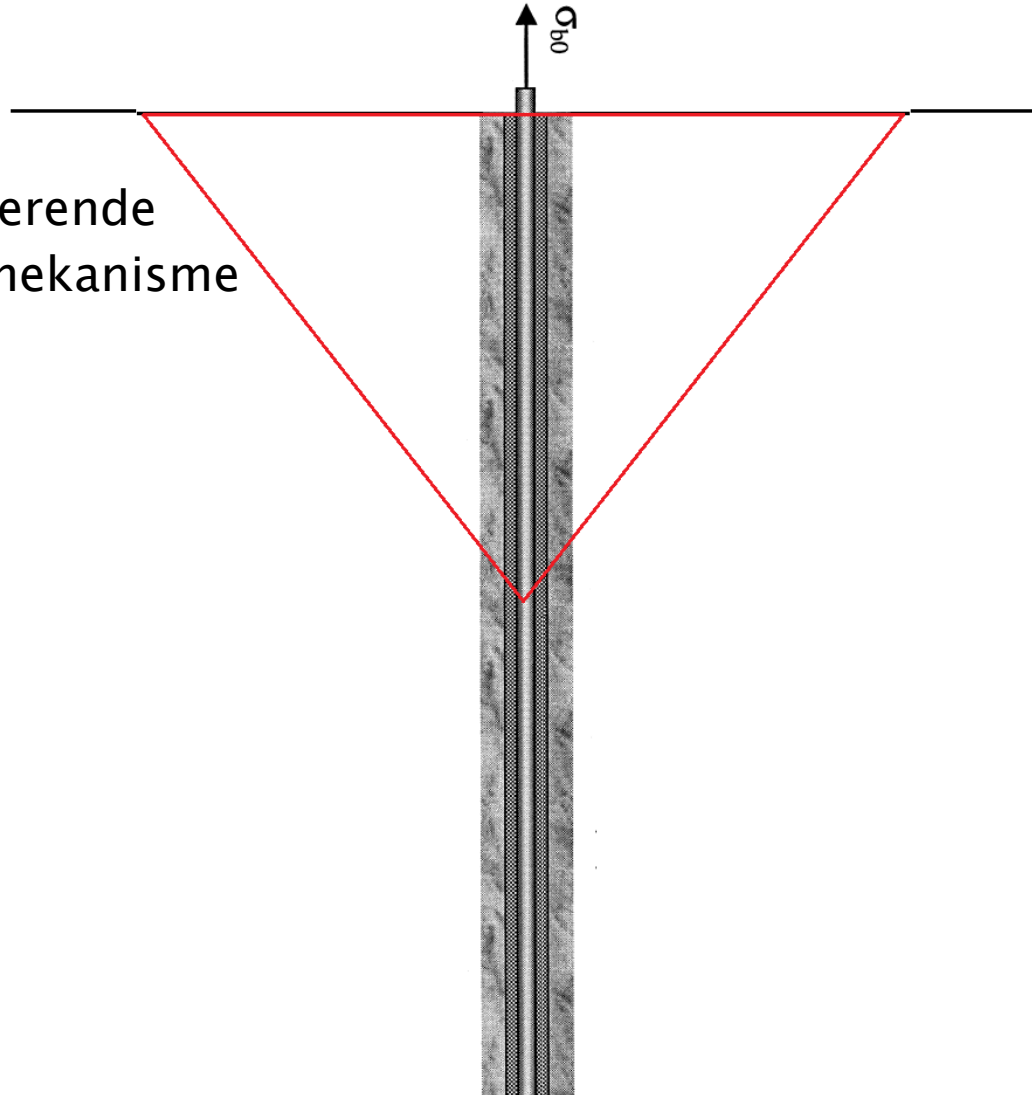
- Propagerende bruddmekanisme i berg:



Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

- Propagerende bruddmekanisme i berg:



Anvendt bergmekanikk

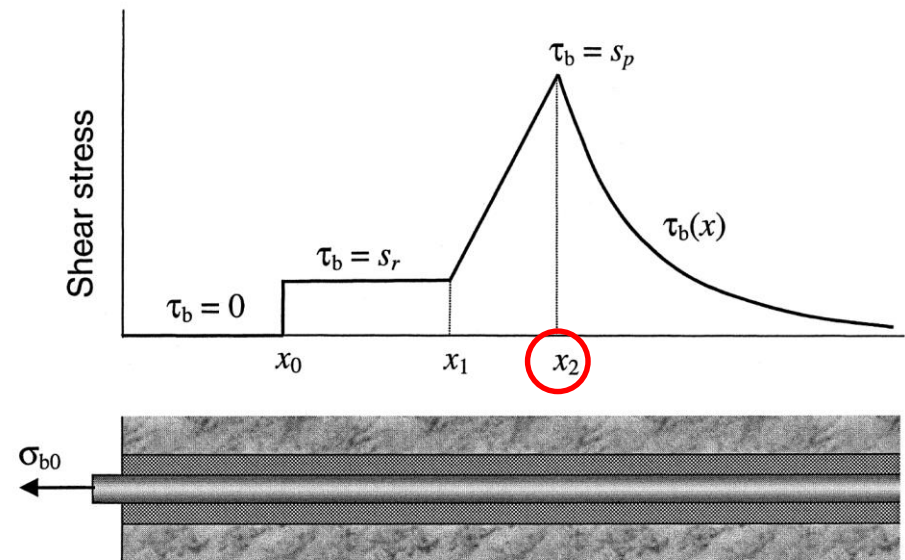
Forankringslengde i berg

- Propagerende frikobling av stag
 - C. Li & B. Stillborg:

x_2	1,1838569 m
P0-faktor	1,75
P_0	219 kN
x_0	0 m
L	3 m
d_b	0,025 mm
d_g	0,048 mm
$d_0=10d_g$	0,48 mm
ω	0,1
P_{0max}	0,2192296 MN
σ_{b0}	111,996977 MPa
s_p	12,8 MPa
α	0,2285776
Δ	0,1
G_r	18 GPa
G_g	12 GPa
E_r	45 GPa
E_g	30 GPa
E_b	210 GPa
$\nu_r=\nu_g$	0,25

the expression for the position of the decoupling front, x_2 , as:

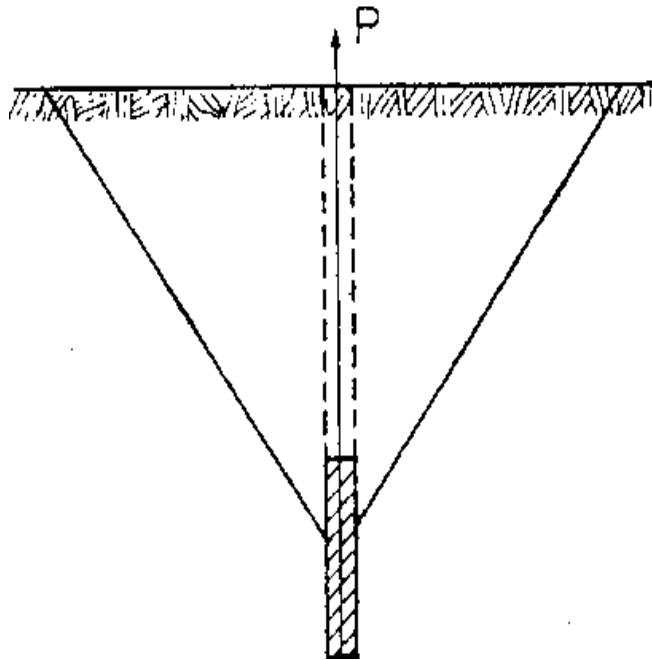
$$x_2 = x_0 + \frac{1}{2\omega} \left[\frac{2P_0}{\pi d_b s_p} - \frac{d_b}{\alpha} - (1 - \omega)\Delta \right] \quad (9)$$



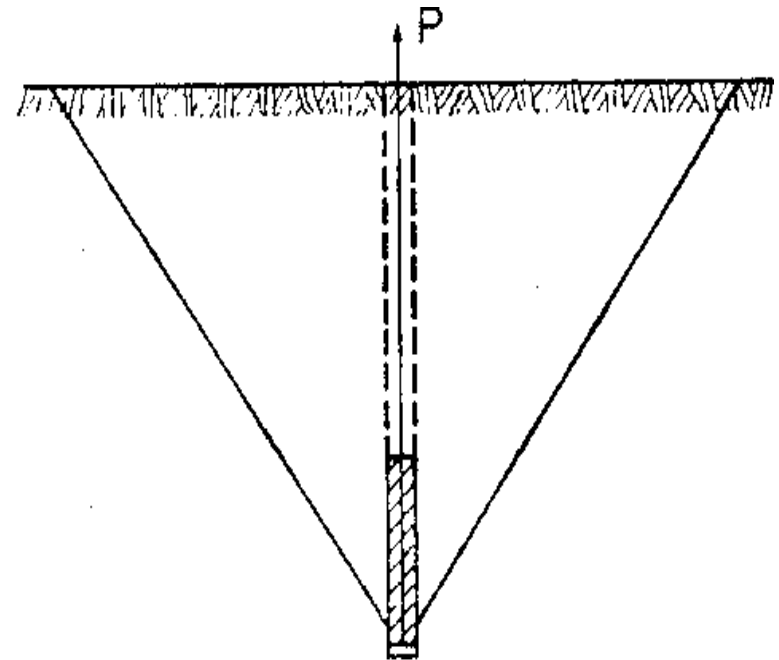
Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

- Littlejohn and Bruce, 1977:



(a) LOAD TRANSFERRED BY BOND.



(b) LOAD TRANSFERRED BY END PLATE.



Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

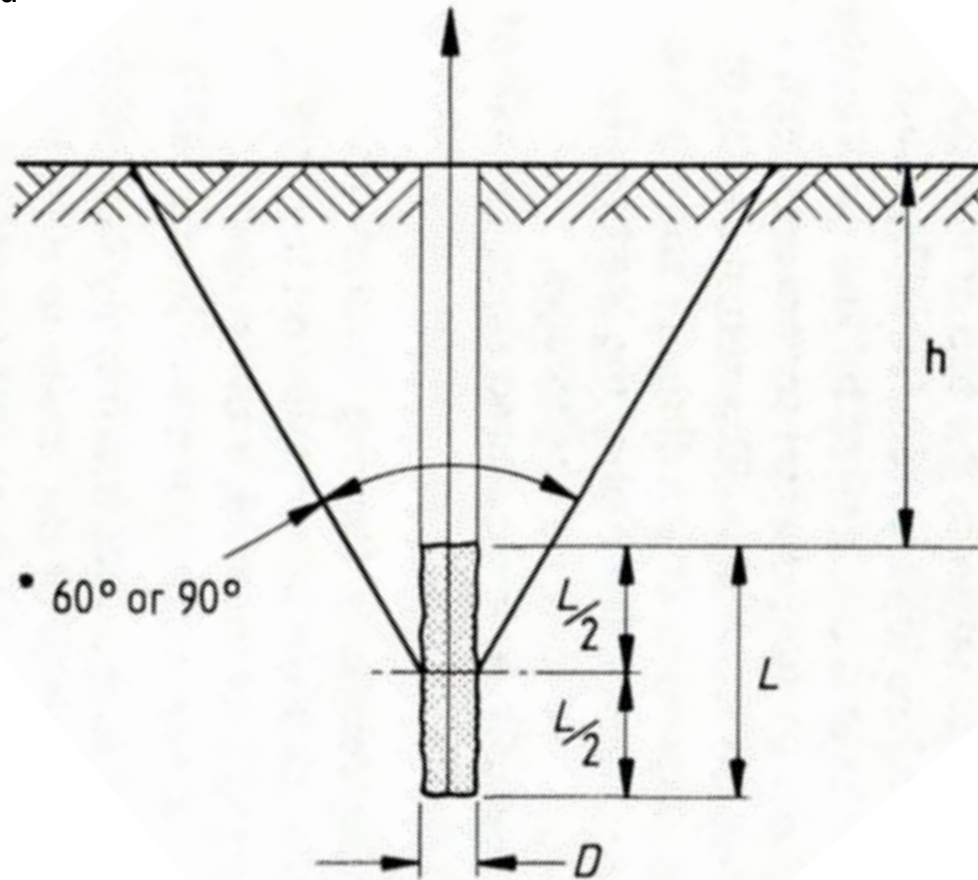
- Internasjonal praksis:

Geometry of Inverted Cone			
Included Angle	Position of Apex	Source	
60°	Base of Anchor	Canada	Saliman & Schaefer [1968]
60°		USA	Hilf [1973]
90°	Base of Anchor	UK	Banks [1955]
90°		UK	Parker [1958]
90°		Czechoslovakia	Hobst [1965]
90°		USA	Wolf et al [1965]
90°		Canada	Brown [1970]
90°		Australia	Longworth [1971]
90°		USA	White [1973]
90°		USA	Lang [1972]
90°	Base of Anchor (where load is transferred by end plate or wedges)	West-Germany	Stocker [1973]
90°	Middle of Grouted Fixed Anchor (where load is transferred by bond)	West-Germany	Stocker [1973]
90°	Middle of Anchor	UK	Morris & Garrett [1956]
90°		India	Rao [1964]
90°		USA	Eberhardt & Veltrop [1965]
90°	Top of Fixed Anchor	Australia	Rawlings [1968]
90°		Austria	Rescher [1968]
90°		Canada	Golder Brawner [1973]
*60-90°	Middle of Fixed Anchor (where load is transferred by bond)	UK	Littlejohn [1972]
*60-90°	Base of Fixed Anchor (where load is transferred by end plate or wedges)	UK	Littlejohn [1972]
90°	Top of Fixed Anchor	Australia	Standard CA 35 [1973]
60°	Base of Fixed Anchor	Australia	Standard CA 35 [1973]

Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

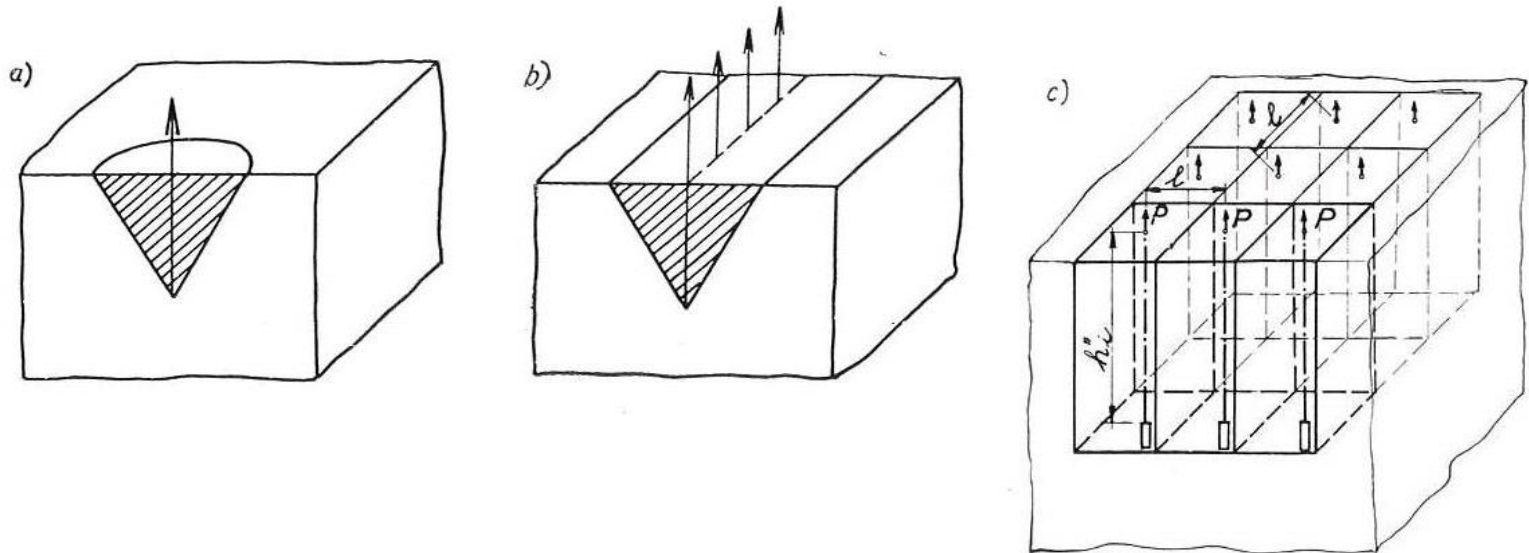
- British Standard



Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

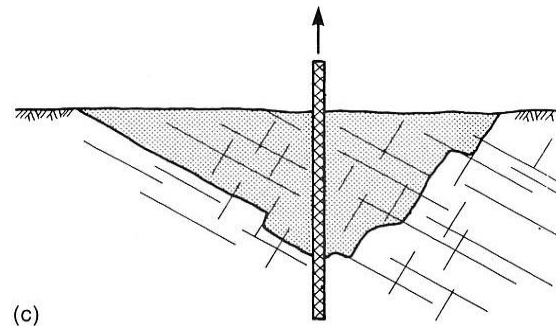
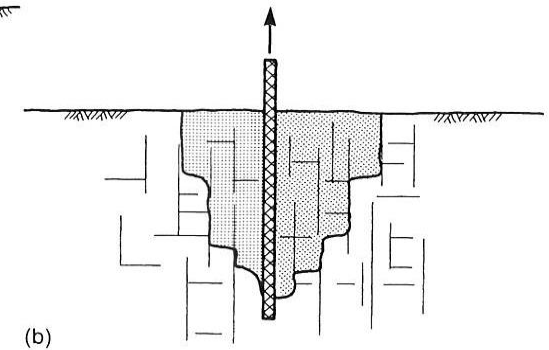
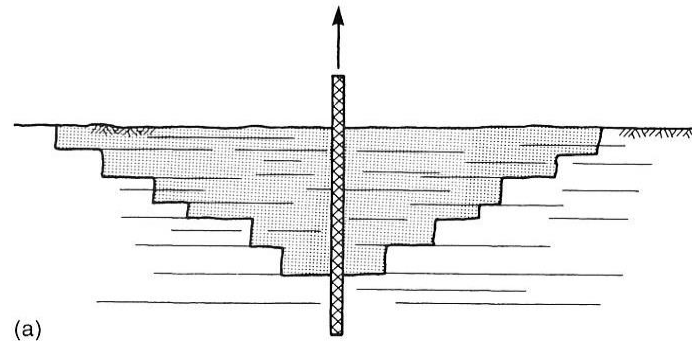
- Hobst and Zajic 1983:



Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

- Wyllie 1999:
 - Geologisk betinget form på utrivningslegeme



Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

- Knut B. Pedersen (SvVd):
 - Forslag til sjonglering mellom vekt av utrivningslegeme og heftfasthet i berg:

Rock type	Formula for depth of cone		Remarks
	One anchorage	Line of anchorages	
'Sound' homogeneous rock	$\sqrt{\left(\frac{S_f T_w}{4.44 \tau}\right)}$	$\frac{S_f T_w}{2.83 \tau s}$	S_f 2 to 4 Bergkl. A-B Apex angle = 90° (assumed)
Irregular fissured rock	$\sqrt[3]{\left(\frac{3S_f T_w}{\gamma \pi \tan^2 \phi'}\right)}$	$\sqrt{\left(\frac{S_f T_w}{\gamma_s \tan \phi'}\right)}$	Bergkl. C-D
Irregular submerged fissured rock	$\sqrt[3]{\left(\frac{3S_f T_w}{(\gamma - \gamma_w) \pi \tan^2 \phi'}\right)}$	$\sqrt{\left(\frac{S_f T_w}{(\gamma - \gamma_w) s \tan \phi'}\right)}$	Lavere klasser bør forinjiseres

τ is the shear strength of rock (in kN/m²);

S_f is the factor of safety against failure (a value of 2 to 3 is customary);

s is the spacing of anchorages (in m);

ϕ' is the active friction across fracture in rock mass (in degrees);
mass (in degrees);

T_w is the working load on anchorage (in kN);

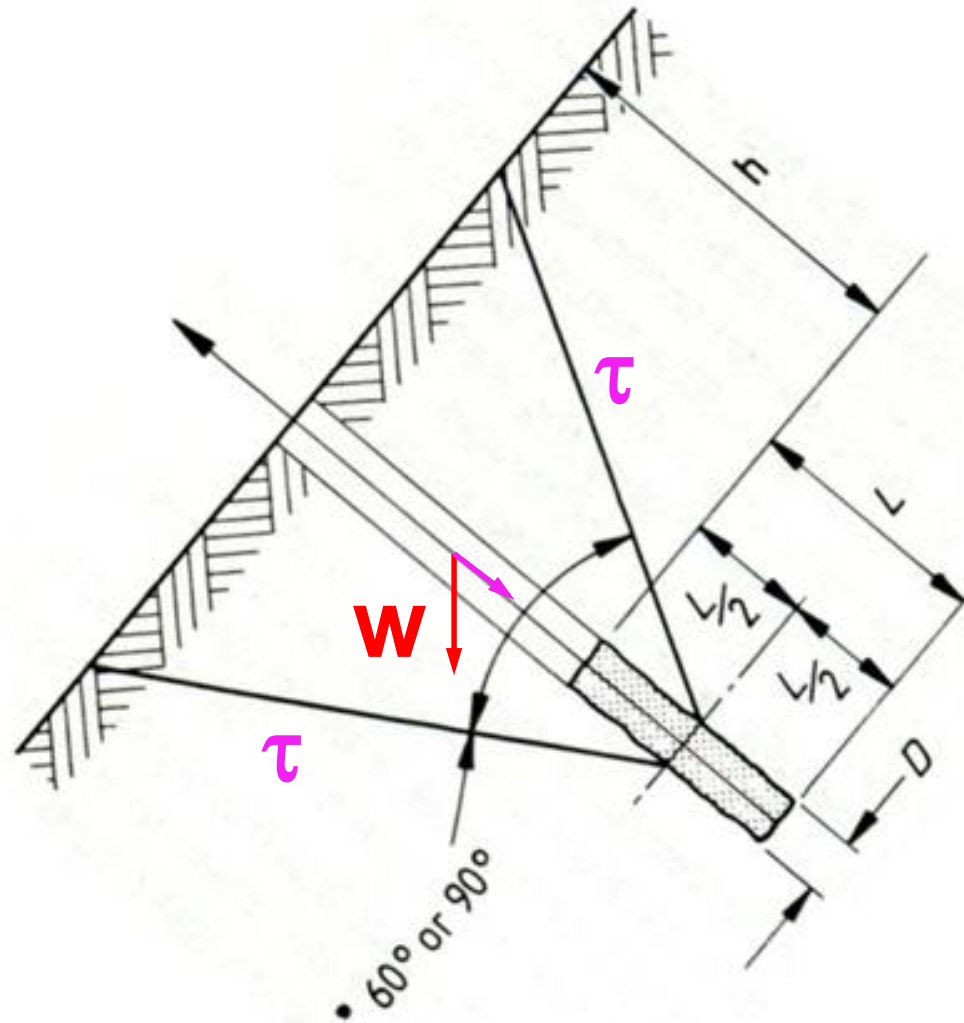
γ is the bulk density of rock (in kN/m³);

Etter Hobst, L., Zajíc, J.



Anvendt bergmekanikk

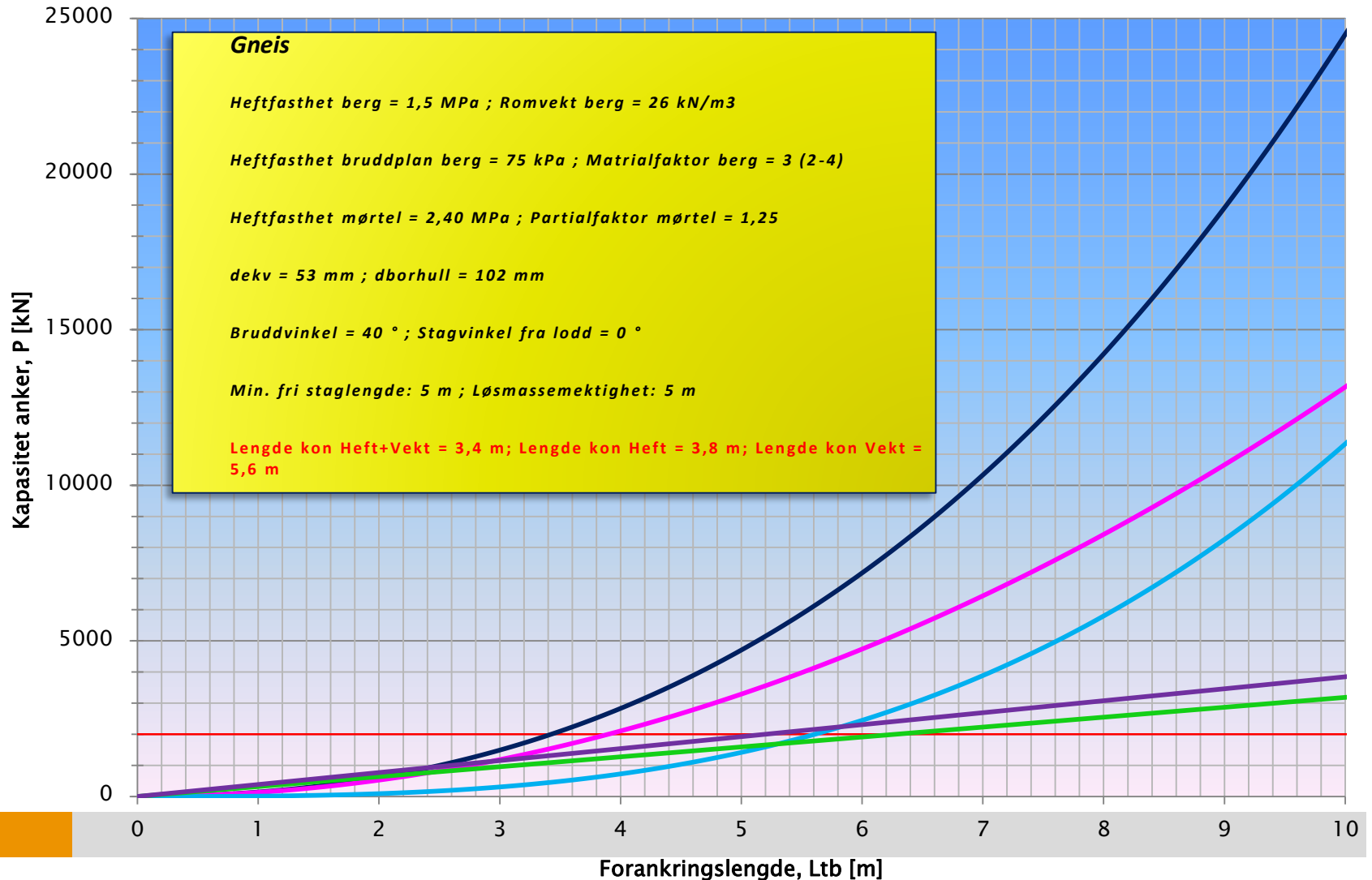
Forankringslengde i berg





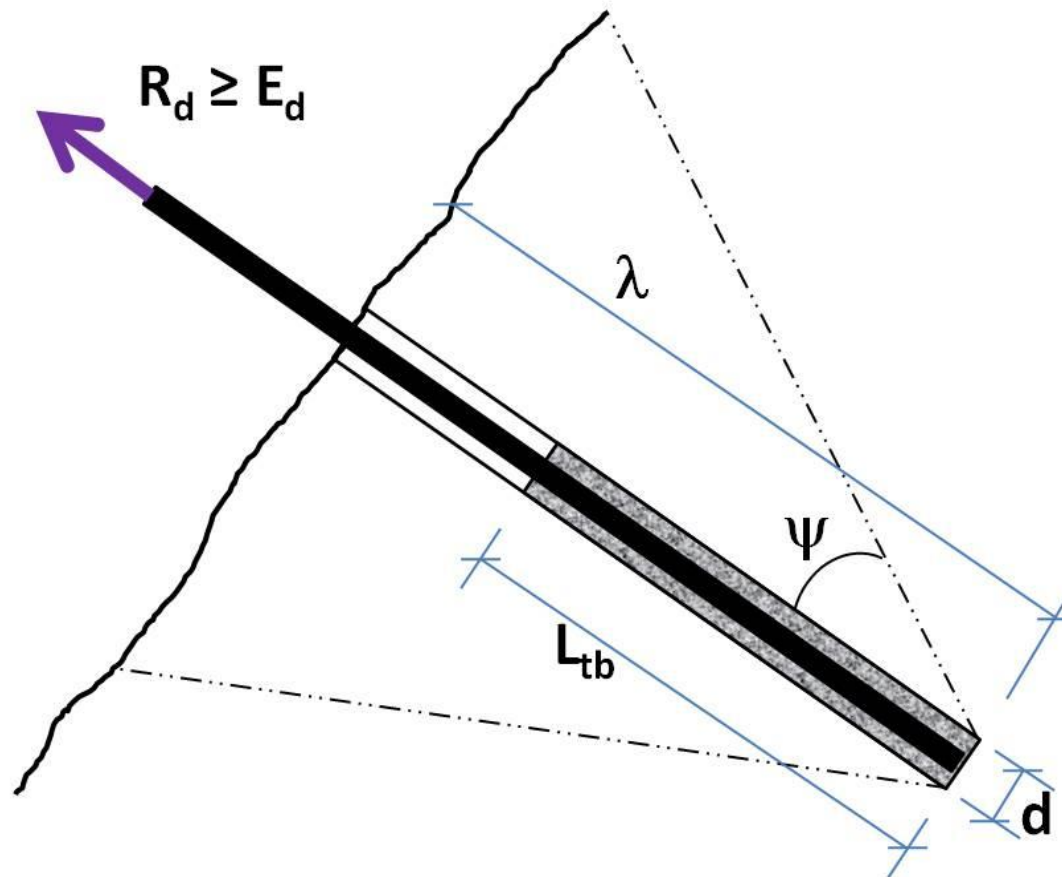
Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg



Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg





Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

- *Alle stag skal prøveoppspennes*
- *Indre kapasitet*

Den indre dimensjonerende kapasiteten av stagstålet $R_{i,d}$ kan beskrives på følgende måte, der:

f_a	Reduksjonsfaktor
f_{tk}	Karakteristisk strekkfasthet i materialet
g_M	Partialfaktor for materialfasthet, normalt 1,15
A_t	Tverrsnittsareal av stagmaterialet

Reduksjonsfaktoren f_a settes til

$$f_a = 0,9 \text{ for midlertidige stag}$$

$$f_a = 0,7 \text{ for permanente stag}$$

Da blir installert kapasitet for stagmaterialet:

$$R_{i\text{-midlertidig}} = 0,65 \cdot f_{tk} \cdot A_t$$

$$R_{i\text{-permanent}} = 0,50 \cdot f_{tk} \cdot A_t$$



Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

- *Ytre kapasitet*

Stagets ytre forankringskapasitet R_a bestemmes av:

Brudd mellom stagmaterialet og mørtel

Brudd mellom mørtel og berg (eller jord)

Stabilitet av berg mot uttrekking

Det kriteriet som gir største forankringslengde er dimensjonerende. Ved dimensjonering bestemmes først stagets indre kapasitet og deretter dimensjoneres den ytre kapasiteten slik at denne blir minst like stor som den indre kapasiteten

For den ytre kapasiteten er det innboringslengden i berg l og inngysingslengden L_{tb} (forankret staglengde) som er avgjørende. l og L_{tb} beregnes for P_p .

Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

- *Brudd mellom stagmaterialet og mørtel*

Kapasiteten avhenger av heften mellom stål og mørtel. Det antas at lasten overføres jevnt fordelt langs hele forankringslengden. Ved bruk av mørtel tilsvarende B 30 vil karakteristisk heftfasthet være 2,4 MPa. Med en partialfaktor for materialfasthet på 1,25 blir dimensjonerende heftfasthet $t_{d;stål-mørtel} \approx 2,0$ MPa.

Normalt installeres lissestag ved at lissene tres ned enkeltvis i borhullet uten bruk av avstandsholdere i forankringssonen. Ved skrå og horisontale borhull vil lissene da bli liggende som en samlet bunt i bunnen av borhullet. Det vil i slike tilfeller være riktig å benytte en ekvivalent diameter d_{ekv} av den samlede bunten med lisser ved beregning av nødvendig forankringslengde og ikke summen av enkeltlisser.

$$L_{tb} = \frac{P_p}{\tau_{d;stål-mørtel} \cdot d_{ekv} \cdot \pi} \quad \text{hvor} \quad d_{ekv} = \sqrt{1,2 \cdot n} \cdot d_{lisse}$$

Ved permanente stag installeres lissene med avstandsholdere og summen av enkeltlissenes kapasitet kan da benyttes i beregningene. Dette gir vesentlig kortere forankringslengde og blir ikke dimensjonerende.



Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

- *Brudd mellom mørtel og berg*

Heft mellom mørtel og berg er normalt lavere enn mellom stål og mørtel. Typiske karakteristiske verdier er vist i nedenstående tabell. Her forutsettes mørtel som minst tilfredsstillende fasthetsklasse B 30 (NS-EN 1992)

Bergart	Tyngdetetthet kN/m ³	Trykkfasthet MPa	Heftfasthet MPa
Granitt	ca. 25 - 28	90 – 170	2,0
Gabbro	ca. 27 - 31	18 – 250	2,5
Gneis	ca. 25 - 28	90 – 130	1,5
Kvartsitt	ca. 21 -25	150 – 170	2,5
Sandstein	ca. 20 - 26	100 – 140	1,2
Kalkstein	ca. 25 - 28	70 – 100	2,0
Leiskifer	ca. 20 - 27	25 - 60	0,5

Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

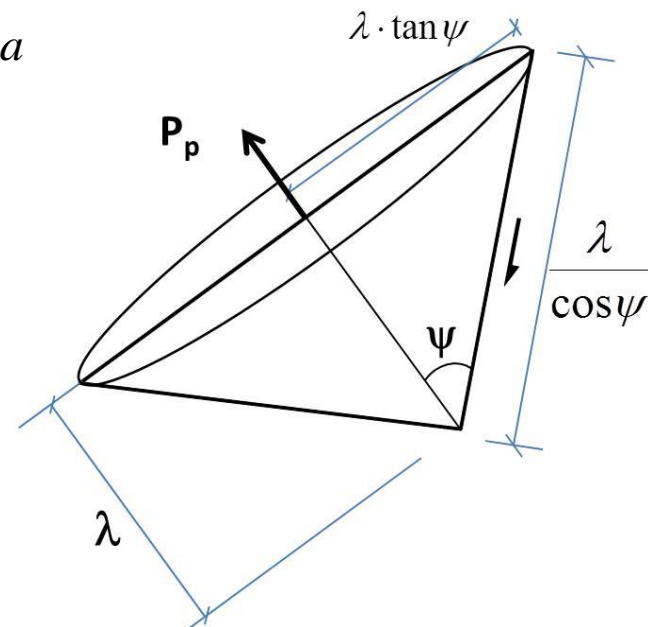
- *Dimensjonerende heftfasthet*

Dimensjonerende heftfasthet beregnes ved å dividere karakteristisk heftfasthet med en partialfaktor for materialfasthet $g_M = 1,25$.

Ved forankring i gabbro blir da:

$$\tau_{d,m\ddot{o}rte\text{-}berg} = \frac{\tau_{k,m\ddot{o}rte\text{-}berg}}{1,25} = \frac{2,5}{1,25} = 2,0 \text{ MPa}$$

$$L_{tb} = \frac{P_p}{\tau_{d,m\ddot{o}rte\text{-}berg} \cdot d_{borhull} \cdot \pi}$$





Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

- *Stabilitet av berg mot uttrekking*

Normalt vil bergets sprekkesystem og mulig mobiliserbar heftfasthet langs sprekkeplanene i det aktuelle forankringsområdet ikke være kjent. Bergartstype kan imidlertid undersøkes og indikasjoner på grad av oppsprekking vurderes.

For enkeltstag utledes følgende formel basert på en karakteristisk heftfasthet t_k langs bruddlegemets kjegleoverflate:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\gamma_M \cdot P_p}{\tau_k \cdot \pi \cdot \tan \psi}}$$

Hvor P_p = prøvekraft per stag i kN

γ_M = partialfaktor (vanligvis 2 – 3)

ψ = bergmassens bruddvinkel

t_k = bergmassens karakteristiske heftfasthet på bruddplanet i kPa



Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

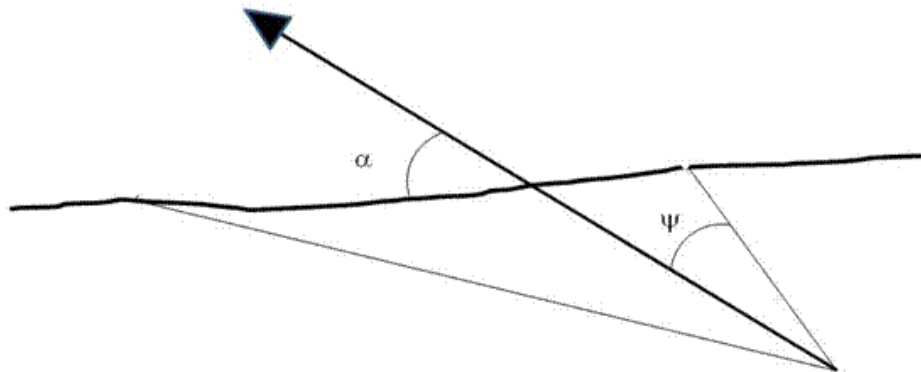
- *Valg av bruddvinkel i bergmassen*

Beskrivelse av bergart	Hefthasthet på bruddplan τ_k kPa	Bruddvinkel ψ°
Meget godt berg, ett sprekkese sett med sporadiske sprekker, bergmassens trykkstyrke > 50 MPa.	100 -200	$\psi_{\text{maks}} \leq 45^\circ$
Bergmasser med to sprekkese sett og sporadiske sprekker, bergmassens trykkstyrke 15 – 50 MPa	50 - 100	$\psi_{\text{maks}} \leq 40^\circ$
Tre sprekkese sett med sporadiske sprekker, men mindre enn 20 sprekker pr. m ² , bergmassens trykkstyrke < 15 MPa.	50	$\psi_{\text{maks}} \leq 30^\circ$
Ved sterkt oppsprukket berg bør sementinjeksjon i bergmassen vurderes		

Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

- *Spiss vinkel* - mellom stagretning og bergoverflate



Stagvinkel α	Bruddvinkel ψ	Kommentar
$90^\circ \geq \alpha > 40^\circ$	$\psi_{\text{maks}} \leq \psi * \sin \alpha$	
$40^\circ \geq \alpha \geq 30^\circ$		Beregnet λ_α usikker
$30^\circ > \alpha$		Beregningsmetoden uegnet

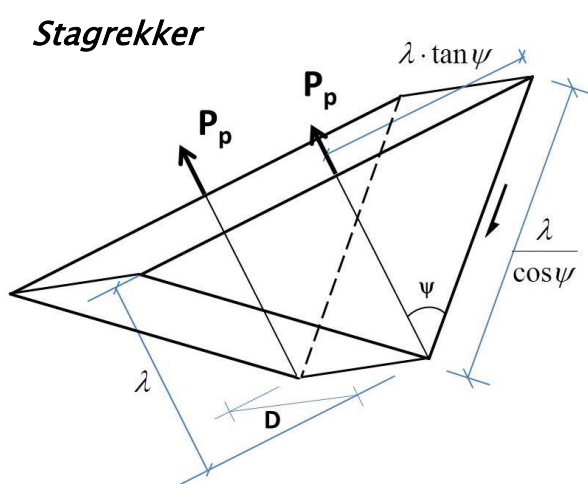
Anvendt bergmekanikk

Forankringslengde i berg

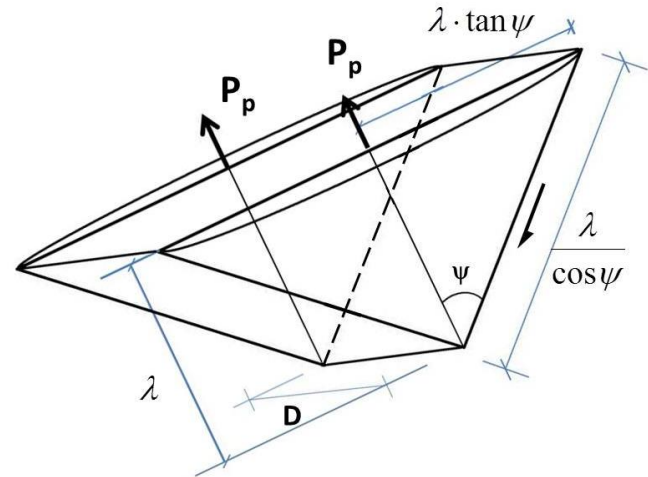
- Formelen for λ_α hvor effekten av stagvinkelen er medregnet, blir da

$$\lambda_\alpha = \sqrt{\frac{\gamma_M \cdot P_p}{\tau_k \cdot \pi \cdot \tan(\sin \alpha \cdot \psi)}} \quad \text{for } 90^\circ \geq \alpha \geq 30^\circ.$$

- Stagrekker



$$\lambda = \frac{-(\eta-1) \cdot D \pm \sqrt{(\eta-1)^2 \cdot D^2 + \frac{\pi \cdot \tan \psi \cdot \eta \cdot P_p \cdot \gamma_M}{\tau_k}}}{\pi \cdot \tan \psi}$$



$$\lambda_\alpha = \frac{-(\eta-1) \cdot D \pm \sqrt{(\eta-1)^2 \cdot D^2 + \frac{\pi \cdot \tan(\sin \alpha \cdot \psi) \cdot \eta \cdot P_p \cdot \gamma_M}{\tau_k}}}{\pi \cdot \tan(\sin \alpha \cdot \psi)}$$