

KURSDAGENE 2018, Trondheim 9.-10. januar 2018

ANVENDT BERGMEKANIKK

(5) BERGMEKANISKE FORHOLD AV SPESIELL BETYDNING FOR DAGBRUDDSTABILITET

Bjørn Nilsen, Institutt for geovitenskap og petroleum, NTNU

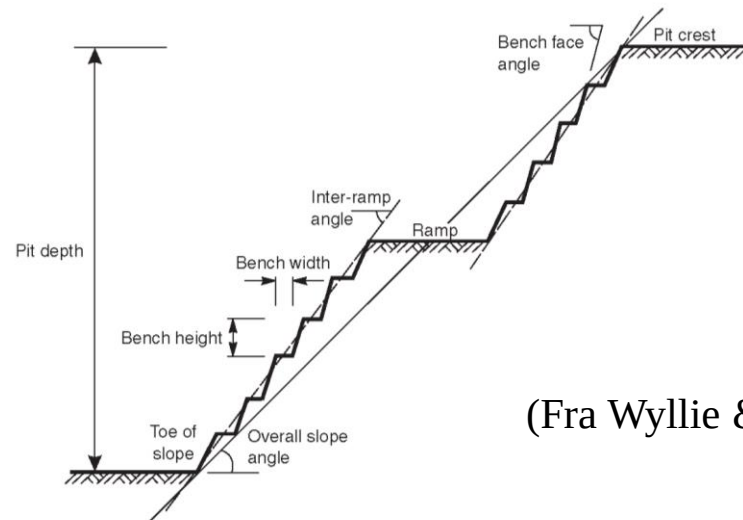
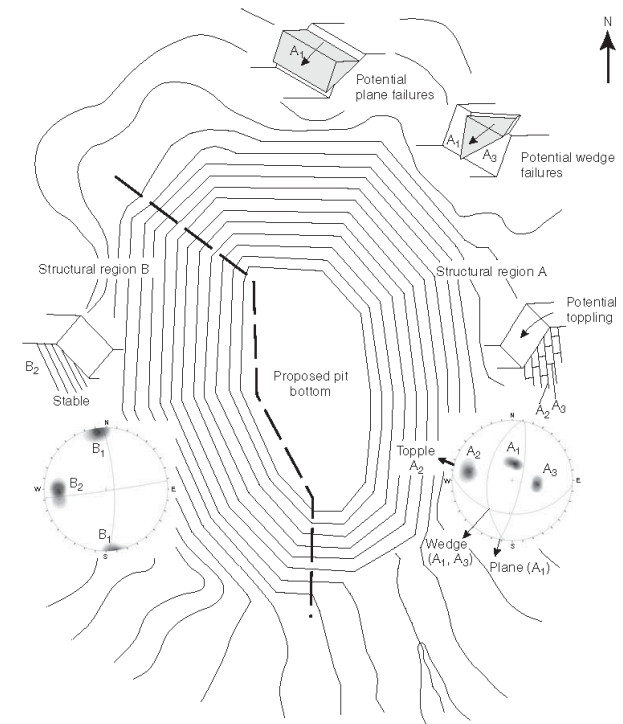
- Designprosessen
- Bergartsstyrke og karakter
- Sprekker, svakhetssoner
- Grunnvann
- Bergspenninger
- Vibrasjoner, rystelser



DESIGN PROSESSEN

Godt kjennskap til ingeniørgeologiske og bergmekaniske forhold viktig for planlegging og beslutninger mht:

- Designsektorer
- Geometri
 - totalvinkel
 - veggvinkel
 - hyllebredde, etc.
- Bruddutvikling mot dypet,
 - «push-backs» etc.
- Eventuell bergsikring
- Dreneringsopplegg
- Overvåkningsopplegg etc.



(Fra Wyllie & Mah, 2004)

BERGARTSSTYRKE OG KARAKTER

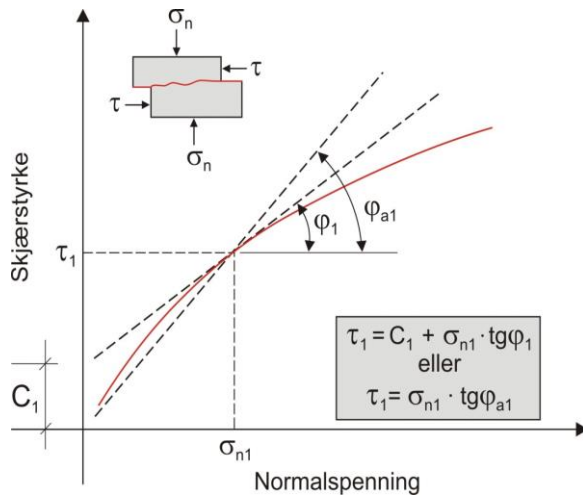
- Styrken innvirker på skjærfastheten
- Inngangsparametre i numeriske analyser
- Strukturen kan innvirke på utrasningstype



SKJÆRSTYRKE FOR POTENSIELT GLIDEPLAN

BARTON-BANDIS PARAMETRE

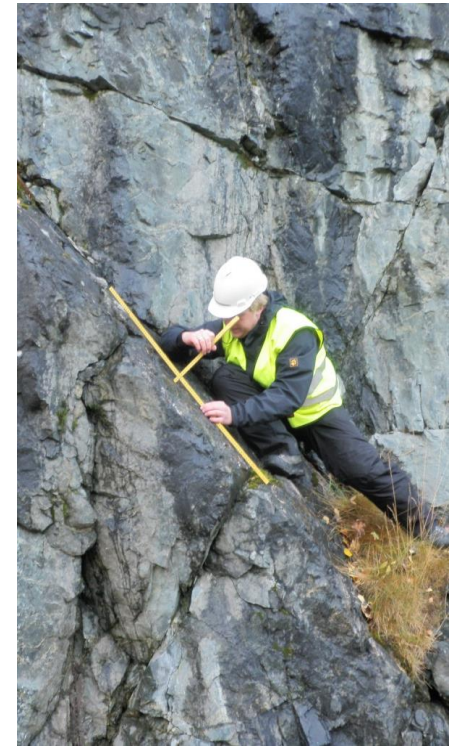
$$\tau = \sigma_n \cdot \tan [JRC \cdot \log(JCS/\sigma_n) + \varphi_r]$$



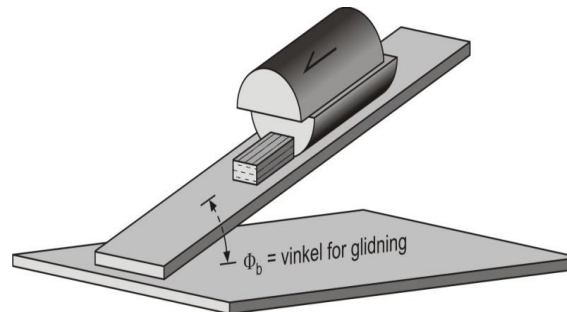
c , φ and φ_a er funksjoner av σ_n !



JCS



JRC



$$\Phi_b$$

$$\Phi_r = (\Phi_b - 20) + 20(r/R)$$

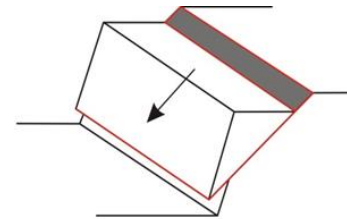
SPREKKER/SVAKHETSSONER

SPREKKEGEOMETRI, dvs. orientering, utholdenhet:

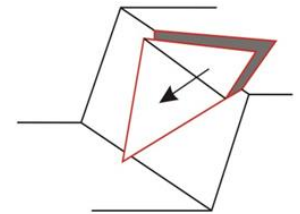
BESTEMMER UTRASNINGSTYPEN

SPREKKEKARAKTER, dvs. styrke, ruhet, belegg/fylling:

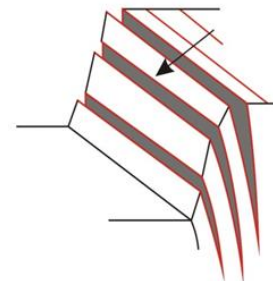
AVGJØR FRIKSJONEN



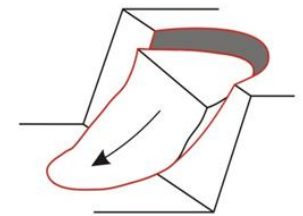
a) Utrasing langs en plan flate



b) Utrasing langs to plane flater



c) Utvelting ("toppling")



d) Utrasing langs en krum flate

EKSEMPEL PLAN UTGLIDNING, TELLNES



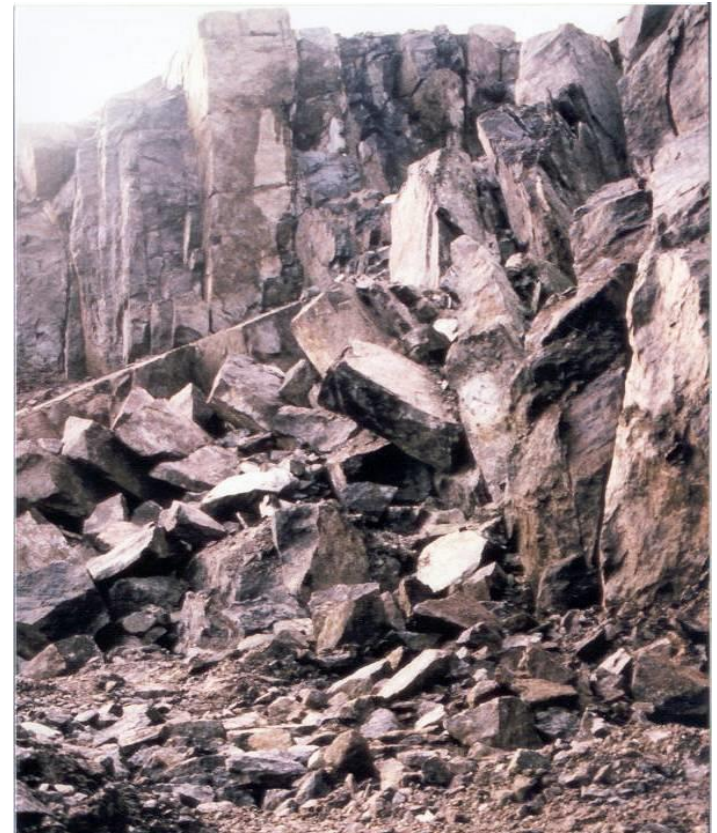
Januar 2005, under kraftig regnvær:

A) 1,000 t

B) 200 t



EKSEMPEL UTVELTING («TOPPLING»), TELLNES



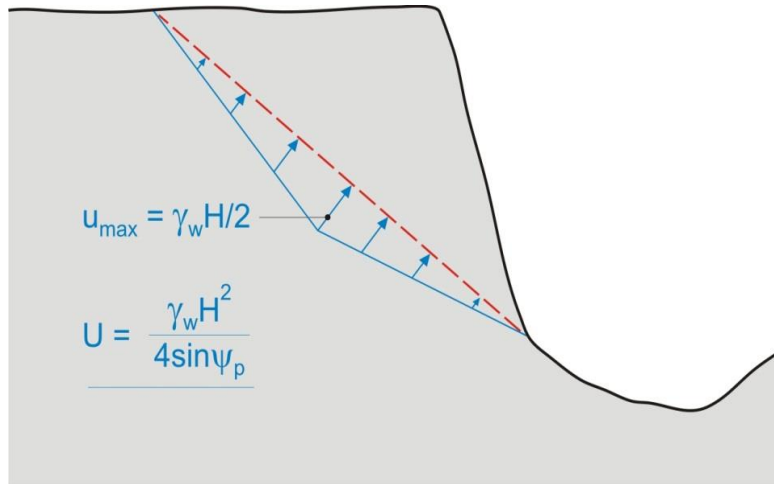
EKSEMPEL KILEFORMET («WEDGE»), GRANITE LAKE



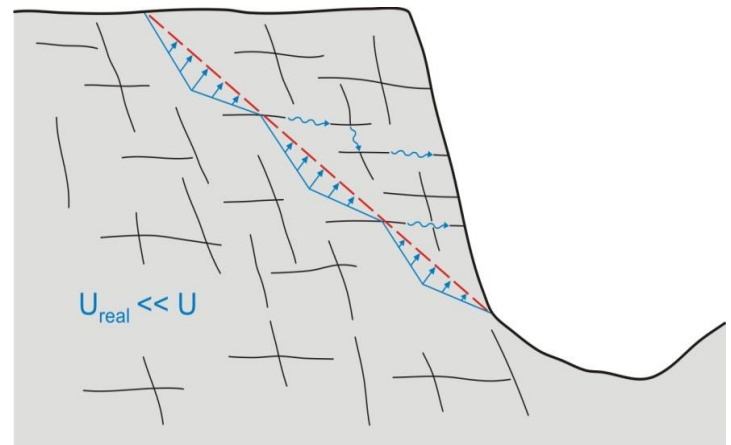
EKSEMPEL SVAKHETSSONE, AKSELBERG



GRUNNVANNSTRYKK



Ofte brukt som «worst case» scenario, representerer langvarig, kraftig regnvær



Mer realistisk «worst case scenario»?

LANGTIDSDEFORMASJON/KRYP, Eks. Chuquicamata, Chile

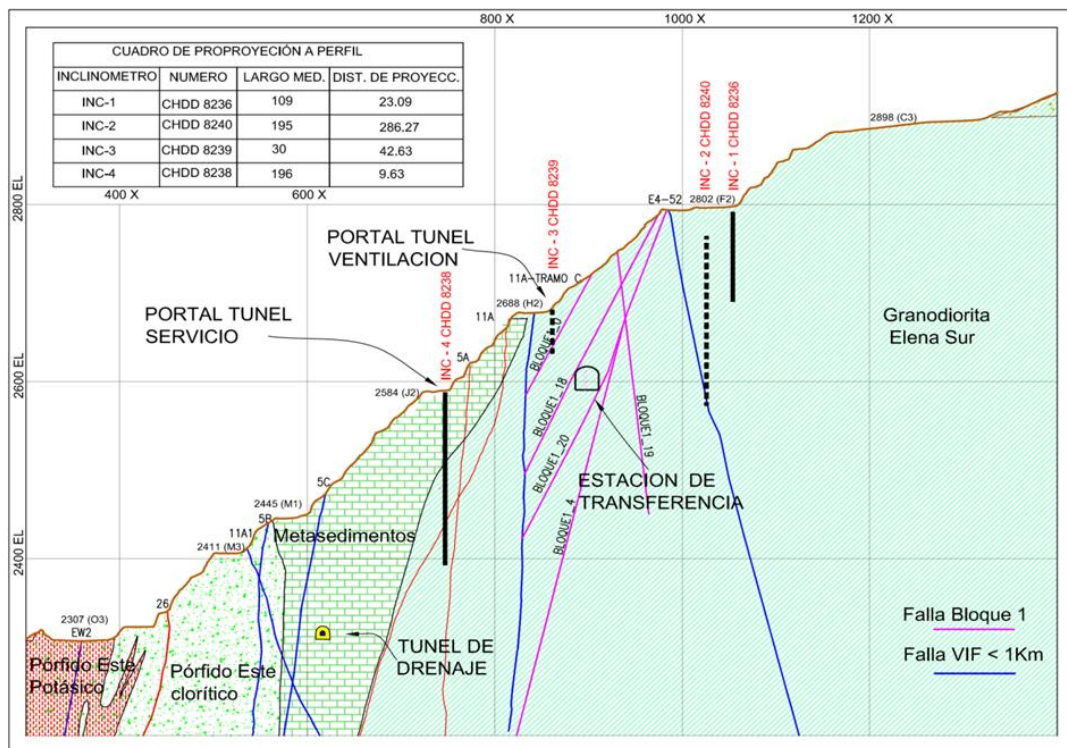


LANGTIDSDEFORMASJON/KRYP,

Eks. Chuquicamata, Chile

Eksempel fra SØ-veggen

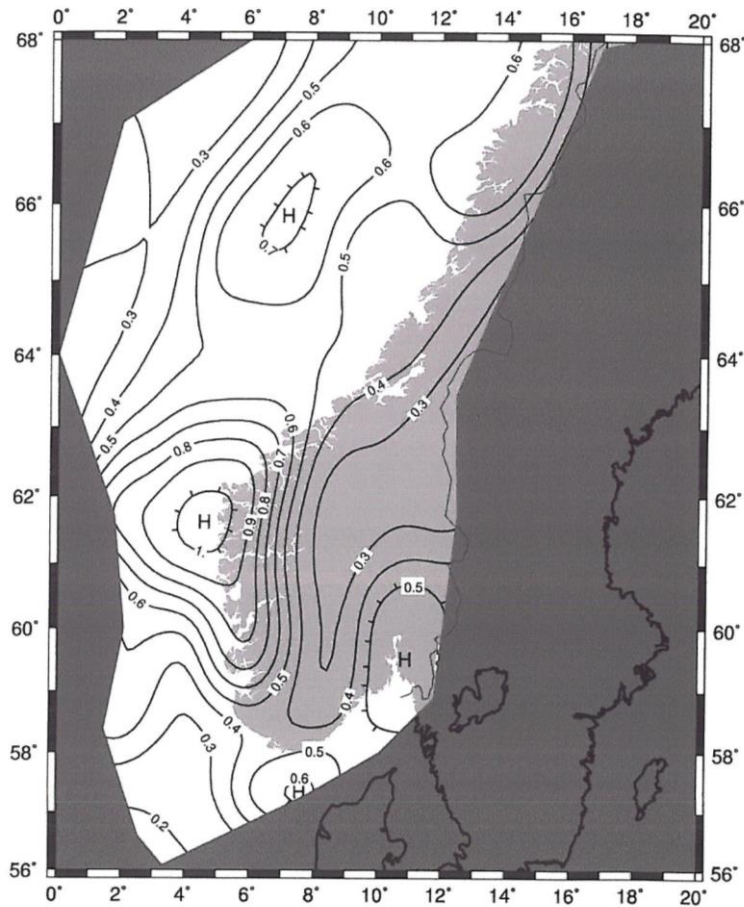
- Skråningsvinkel: 44-50°
- Granodioritt øverst, UCS 70-100 MPa
- Metasedimenter under, UCS rundt 50 MPa



Max bevegelse SØ-veggen:
0.5-1 cm/dag (SSR)

SEISMISK AKTIVITET

Skal tas med i beregningen iht Eurocode 7



Figur NA.3(901) – Seismiske soner i det sørlige Norge, a_{g40Hz} i m/s^2

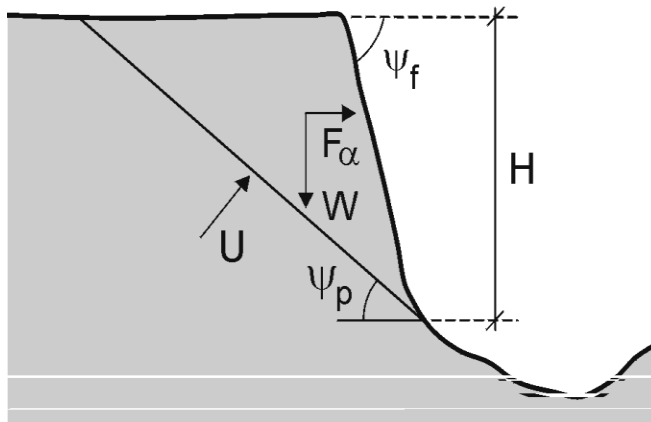
Fra NS-EN 1998-1: 2004+NA2008

Returperiode 475 år: $a_g = 0,4 \text{ m/s}^2 = 0,04 \text{ g}$

(10000 år: $a_g = 1,8 \text{ m/s}^2 = 0,18 \text{ g}$)

BEREGNINGSEKSEMPEL

Partialfaktor-metoden i henhold til Eurokode 7



$$H = 35\text{m}$$

$$\psi_f = 80^\circ$$

$$\psi_p = 40^\circ$$

$$W = 16.173 \text{ kN/m}$$

$$F_\alpha = m\alpha$$

Stabiliserende kraft: $(W \cdot \gamma_f \cdot \cos \psi_p - U \cdot \gamma_f - F_\alpha \cdot \gamma_f \cdot \sin \psi_p) \text{tg} \phi_{ka} / \gamma_m$

Drivende kraft: $(W \cdot \gamma_f \cdot \sin \psi_p + F_\alpha \cdot \gamma_f \cdot \cos \psi_p)$

ϕ_{ka} = karakteristisk aktiv friksjonsvinkel

γ_f = partiell faktor for last

γ_m = materialfaktor

F_k = karakteristisk last

R_k = karakteristisk motstand (styrke)

$\Sigma M_d = F_k \cdot \gamma_f$ = dimensjonerende last

$\Sigma F_d = R_k / \gamma_m$ = dimensjonerende motstand (styrke)

Partielle faktorer iht Eurocode 7
(NS-EN 1997-1:2004+NA:2008):

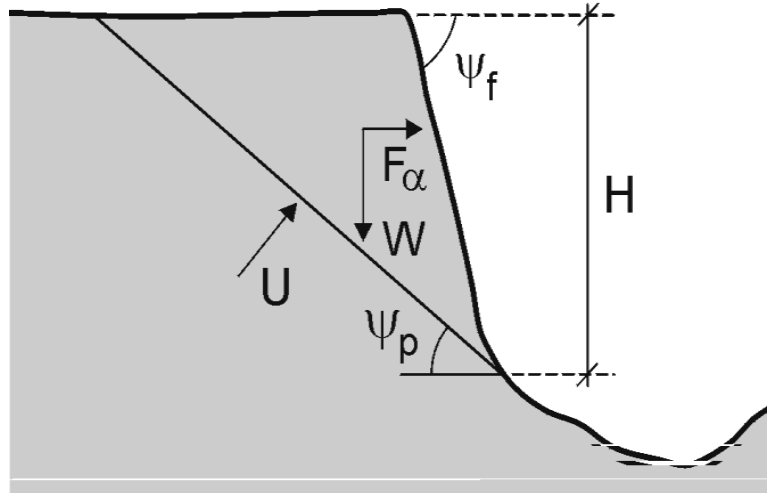
W, U : $\gamma_f = 1,0$

F_α : $\gamma_f = 1,3$

$\text{tg} \phi_a$: $\gamma_m = 1,25$

Konstruksjonen/designen tilfredsstillende dersom $M_d > F_d$

BEREGNINGSEKSEMPEL, PARTIAL-FAKTOR METODEN



Last: $F_d = F_k \cdot \gamma_f$
 Styrke: $M_d = M_k / \gamma_m$

$\gamma_f = 1,0$ for W og U

$\gamma_f = 1,3$ for F_α

$\gamma_m = 1,25$ for $\tan \varphi_a$

$\alpha = 0,04g$

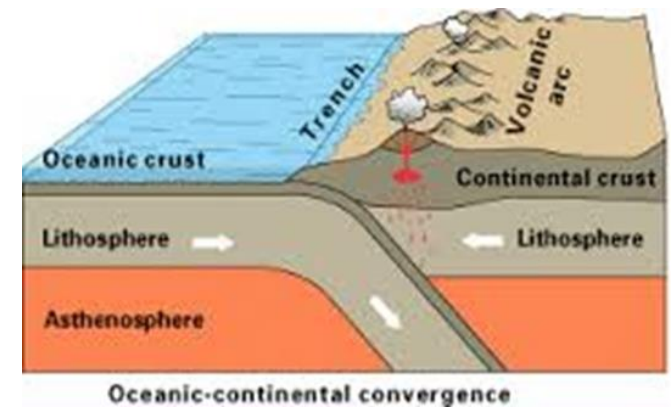
KRAV: $\Sigma M_d > \Sigma F_d \Rightarrow$

$(W \cdot \gamma_f \cdot \cos \psi_p - U \cdot \gamma_f - F_\alpha \cdot \gamma_f \cdot \sin \psi_p) \cdot (\tan \varphi_a / \gamma_m) > (W \cdot \gamma_f \cdot \sin \psi_p + F_\alpha \cdot \gamma_f \cdot \cos \psi_p)$

Situasjon	Worst case	Best case	Jordskjelv/ ikke vann	Vann/ikke jordskjelv
$F_\alpha \cdot \gamma_f$	841	0	841	0
σ_n	132	228	220	140
φ_a	65	56	56,5	64
ΣM_d (kN/m)	12126	14682	13784	12490
ΣF_d (kN/m)	11032	10391	11040	10391
$\Sigma M_d / \Sigma F_d$	1,10	1,41	1,25	1,20

SEISMISK AKTIVITET

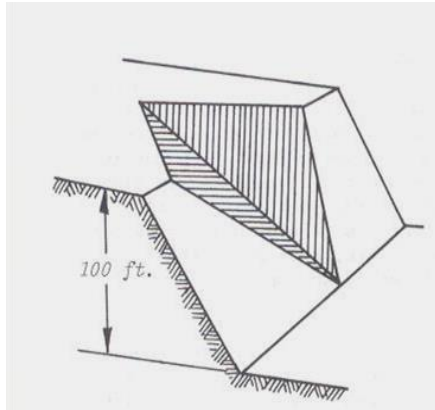
EKSEMPEL CHUQUICAMATA



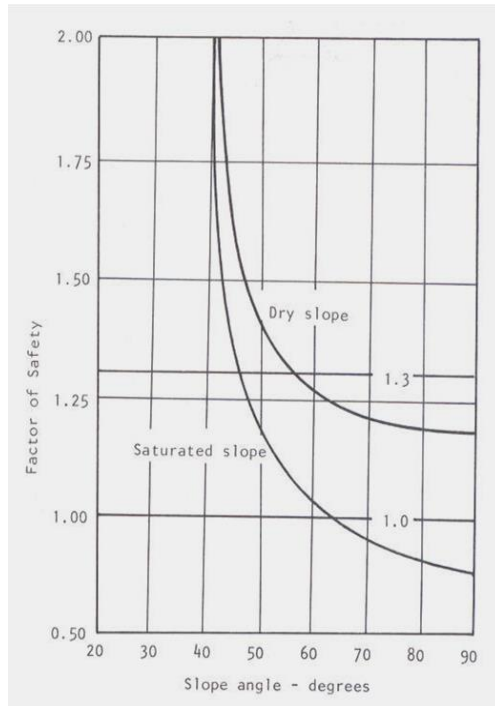
April 2014: Magnitude 8,2

Ingen skred/ras-hendelse av betydning!

VALG AV TILTAK/SIKRINGSMETODE, eks. Hoek & Bray (1991)



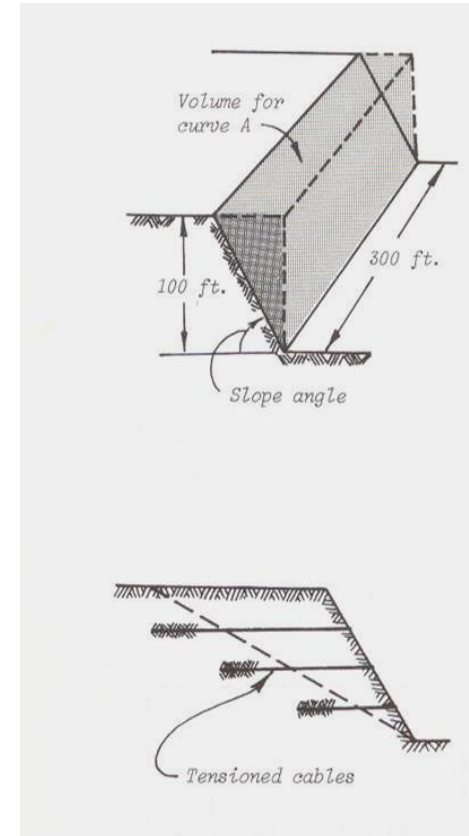
Planlagt skjæring med
potensielt problem



$F=1,3$ anses ok

Aktuelle tiltak:

- utflating: 300 ft



- forankring

- drenering

Tonn og kostnad for respektive alternative tiltak

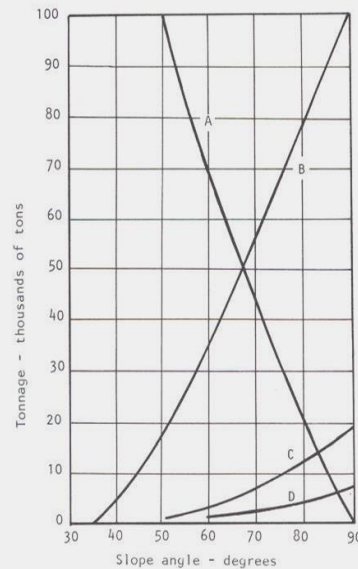
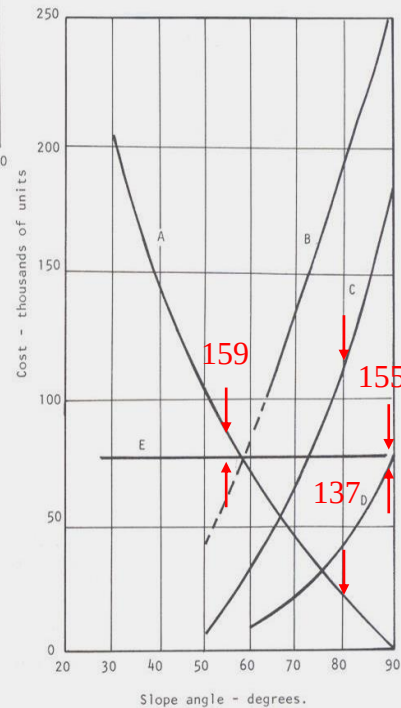


Figure 3 : Excavation tonnages and cable loads.

Line A - Tonnages excavated in flattening slope 100 ft. high x 300 ft. long.
Line B - Tonnage to be cleared up if wedge failure occurs.
Line C - Cable Load required for a factor of safety of 1.3 for a saturated slope.
Line D - Cable Load required for a factor of safety of 1.3 for a dry slope.

Figure 4 : Comparative cost options.

Line A - Cost per ton mined from face - from line A in Figure 3.
Line B - Cost of clearing up a slope failure.
Line C - Cost of installing cables in a saturated slope.
Line D - Cost of installing cables in a dry slope.
Line E - Cost of draining slope.



Mulige tiltak:

-Utflating (A)

-Forankring (C/D)

-Drenering (E)

(B: Ras)

Relativ kostnad:

A(80°)+C: 137

D+E: 155

A(55°)+E: 159

Kombinasjon av flere tiltak ofte best!

DETALJSTABILITET / PALLSTABILITET I DAGBRUDD – eksempel på sikringsstrategi ved fare for utglidning

BOLTING/BERGANKRE

- opptil 12 m lange ø32 mm kamstålbolter
- Stedvis bunter av 3 bolter i hvert hull

DRENERING

- subhorisontale drenshull

DIMENSJONERING AV BOLTING

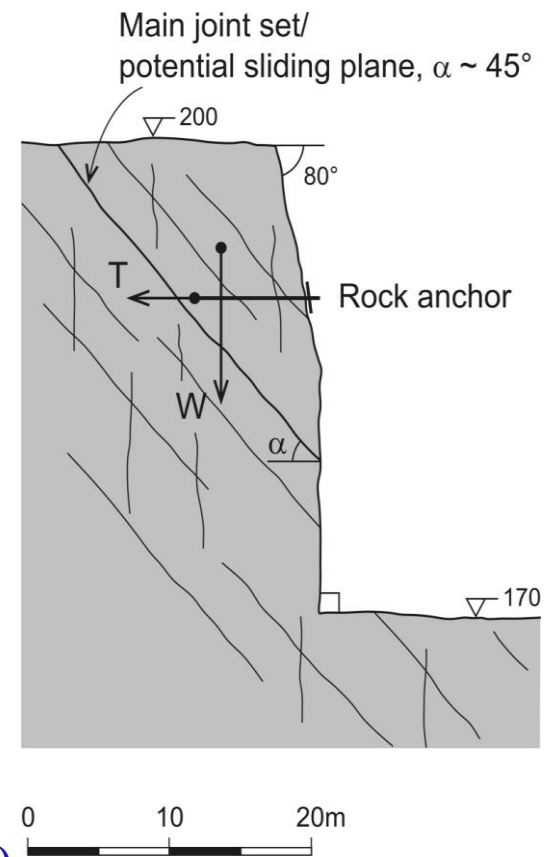
- før bolting, antar $FS \sim 1,0 \Rightarrow$

$$R = S = W \cdot \sin \alpha$$

- ved bolting $\Rightarrow$

$$(R + T \cdot \sin \alpha \cdot \tan \phi_a) / (S - T \cdot \cos \alpha) = FS$$

- målsetting: $FS \ 1,2-1,3$ (effekt av drenering ikke inkludert)



SLUTTKOMMENTARER

FULL FORSTÅELSE AV DAGBRUDDSSSTABILITET
FORUTSETTER INNSATS PÅ FLERE FELTER OG
TRINNVIS TILNÆRMING:

- 1) Identifisering av mulig stabilitetsproblem / forståelse av problemstillingen
- 2) Fastlegging av parametre som inngår i beregning og analyse
- 3) Beregning
- 4) Stabilitetskontroll/monitorering

Mest avgjørende for godt analyse/beregningsresultat:
kvaliteten av inngangsparametrene!

Grundige og planmessige felt- og lab.undersøkelser
av største viktighet!

