

Intern rapport nr. 2374

**Forankring med bergbolter
ved fundamentering av
støttemurer og landkar på
berg**

09.12.2004

Teknologiavdelingen

Intern rapport nr. 2374

Forankring med bergbolter ved fundamentering av støttemurer og landkar på berg

Sammendrag

Denne veiledningen er en revidert utgave av tidligere håndbok nr.135 som ble utgitt i 1987. Veiledningen utgis som foreløpig utgave i en intern rapport.

Veiledningen gjelder vertikale, ikke oppspente strekkbolter av kamstål i berg hovedsakelig med tanke på støttemurer og landkar.

Den gjelder ikke for spesielle konstruksjoner som f. eks. skråstagforankrede permanente spuntkonstruksjoner. Vanlige boltedimensjoner er 20, 25 og 32 mm. Normale boltedybder i berg kan variere fra 1 til 5 m. Senteravstand i en bolterekke vil normalt ligge mellom 0,5 og 3 m.

Bergmassen kan kartlegges ved hjelp av bergklassifiseringssystemer og bergmassens trykkfasthet kan anslås.

I vedleggene er det regneeksempler fra støttemurer på berg med ulik geometri og belastningsforhold.

Emneord: *Fundamentering, forankring, berg, bergbolter*

Kontor: *Geo- og tunnelteknikk*
Saksbehandler: *Knut Borge Pedersen, Åsmund Knutson* / *knutpe*

Statens vegvesen, Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen
Postboks 8142 Dep, 0033 Oslo
Telefon: 22 07 39 00 Telefax: 22 07 34 44

Veiledning

**FORANKRING MED BERGBOLTER VED
FUNDAMENTERING AV STØTTEMURER
OG LANDKAR PÅ BERG**

Foreløpig utgave
Des. 2004

Innhold

- 1. Innledning**
- 2. Prosjekteringsregler**
 - 2.1 Beregning, dimensjonering, materialfasthet**
 - 2.1.1 Bolter**
 - 2.1.2 Mørtel for fastgysing**
 - 2.1.3 Bergmassen**
 - 2.2 Beregningsprosedyre**
 - 2.2.1 Dimensjonering av vegg, såle og bolter**
 - 2.2.2 Beregning av nødvendig inngysningslengde**
 - 2.2.3 Beregning av dybde D til inngysningslengdens senter**
 - 2.2.4 Valg av vinkel v i bergfiguren og innbyrdes avstand mellom boltene**
- 3. Utførelse / kontroll**
 - 3.1 Bolter**
 - 3.2 Borehull**
 - 3.3 Mørtel, gysemetoder**
 - 3.4 Prøving**

Vedlegg 1. Bruk av bergmasseklassifikasjon til bestemmelse av bergmassens styrke

Vedlegg 2. Eksempler

Vedlegg 3. Symbolliste

Vedlegg 4. Litteratur

1. Innledning

Denne veiledningen gjelder vertikale, ikke oppspente strekkbolter av kamstål i berg hovedsakelig med tanke på støttemurer og landkar.

Den gjelder ikke for spesielle konstruksjoner som f. eks. skråstagforankrede permanente spuntkonstruksjoner. Vanlige boltedimensjoner er 20, 25 og 32 mm. og normale hulldybder i berg kan variere fra 1 til 5 m. Senteravstand i en bolterekke vil normalt ligge mellom 0,5 og 3 m.

En bergmasse kan klassifiseres på flere måter. Her gjør vi det enklest mulig og deler berget inn i to klasser. Berg med mer enn 20 sprekker pr. m³ frarådes til forankring av strekkbolter. Enkelte gode bergarter kan ha sprekke- eller råtasoner. Dersom disse ikke er mer enn ca. 2 m brede kan forankring normalt flyttes til omliggende friskt berg.

Ved vanskelige geologiske forhold kontaktes geologisk sakkyndige.

Første utgave av denne veiledningen hadde følgende arbeidsgruppe:

- Åsmund Knutson, Veglaboratoriet
- Einar Nærum, Bruavdelingen
- Knut Borge Pedersen, Veglaboratoriet

Revidert utgave av veiledningen er utført av:

- Siviling. Åsmund Knutson
- Siviling. Knut Borge Pedersen, Vegdirektoratet

2. Prosjekteringsregler

2.1 Beregning, dimensjonering, materialfastheter.

Beregning av jordtrykk og likevektsbetraktninger skal skje som for landkar og støttemurer på løsmasser og med bæreevneberegninger som for støttemurer på berg, se HB 016 Geoteknikk i vegbygging, kap. 9, eks. 9.2.2. Se også eksemplene i denne håndboken (135).

All beregning og dimensjonering av boltene skal skje i bruddgrensetilstand. Dimensjonerende materialfastheter for de konstruksjonsmaterialer som inngår er angitt nedenfor. Horisontalkrefter skal ikke regnes opptatt av bolter.

2.1.1 Bolter

Boltene dimensjoneres i bruddgrensetilstand. Stålkvaliteten av bergboltene skal være av typen B500C eller bedre.

Uansett stålkvalitet settes den dimensjonerende fasthet for bergbolter maksimalt til:

$$f_{\text{sbolt}} = \frac{f_{\text{sy}}(B500C)}{\gamma_m} = \frac{500}{2} = 250 \text{ N/mm}^2$$

Grunnen til at en setter γ_m så vidt høy er at en ønsker å begrense strekkøytningen i boltene. En begrenser da samtidig oppsprekningen av omliggende mørtel og dermed korrosjonsfaren. Når denne regelen følges kreves normalt ikke beregninger i bruksgrensetilstanden angående boltenes funksjonsdyktighet.

2.1.2 Mørtel for fastgysing

For mørtelen brukes karakteristiske fasthetsverdier som angitt i NS 3473 (Prosjektering av betongkonstruksjoner, beregnings- og konstruksjonsregler).

Ved beregning av dimensjonerende fastheter anvendes materialkoeffisienten $\gamma_m = 2,00$. Mørtelen skal minst tilfredsstillende fasthetsklasse B 30 (sylindrefasthet B 30 tilsvarer nesten terningfasthet C 37) eller mørtelfasthet for strekk $f_m = 1,80 \text{ N/mm}^2$.

Når det gjelder heftstyrke mellom mørtel og berg (i borehull) kan det, hvor bedre data ikke finnes , brukes en karakteristisk heftstyrke som angitt i tabell under punkt 2.1.3

Dimensjonerende heftstyrke mørtel / berg settes lik karakteristisk heftstyrke dividert med materialkoeffisient $\gamma_m = 2,00$.

Dersom dimensjonerende heftstyrke mørtel / berg antar større verdi enn dimensjonerende heftstyrke mellom mørtel og bolt beregnet ut fra mørtelfastheten (se under pkt. 2.2.2) så skal sistnevnte verdi også anvendes som dimensjonerende heftstyrke mellom mørtel og berg.

2.1.3 Bergmassen

Tabellen under viser enaksial trykkfasthet og heftfasthet for noen av de vanligste bergartene (uforvitret bergmasse).

Bergart	Tyngdetetthet KN / m ³	Trykkfasthet KN / m ²	Heftfasthet KN / m ²
Granitt	ca 26	90- 170 · 10 ³	2000
Gabbro	ca 28	18- 250 · 10 ³	2500
Gneis	ca 26	90- 130 · 10 ³	1500
Kvartsitt	ca 25	150- 170 · 10 ³	2500
Sandstein	ca 27	100- 140 · 10 ³	1200
Kalkstein	ca 24	70- 100 · 10 ³	2000
Leirskifer	ca 28	25- 60 · 10 ³	500

De fleste norske bergartene ligger i øvre del av tallområdet.

Enaksial trykkfasthet for inntakt berg er lite egnet til vurdering av en bergmasses fasthetsegenskaper. Den er avhengig av oppsprekningen, sprekkenes ruhet, sprekkebelegg eller sprekkemateriale samt eventuell forvitring.

Ved hjelp av bergmasseklassifisering (se vedlegg bakerst) kan man anslå bergmassens trykkfasthet når man kjenner RMR (rock mass rating) eventuelt GSI (geological strength index) samt bergartens inntakte enaksial trykkfasthet.

Klassifiseres bergartene etter enakset trykkfasthet (ISRM 1978) kan man ut fra empiriske data anslå bergmassens trykkstyrke.

Klassifisering	Enaksial trykkfasthet (MPa) Sprekkefritt bergstykke	Bergmassens trykkfasthet (MPa)
Lav styrke	$\sigma_{ci} = 5- 25$	$\sigma_{cm} = 0,25- 2$
Middels styrke	25- 50	2- 15
Høg styrke	50- 100	15- 50
Meget høg styrke	100- 250	50- 100
Ekstr. høg styrke	>250	>100

2.2 Beregningsprosedyre

Ved beregning og dimensjonering av bolter kan følgende framgangsmåte følges:

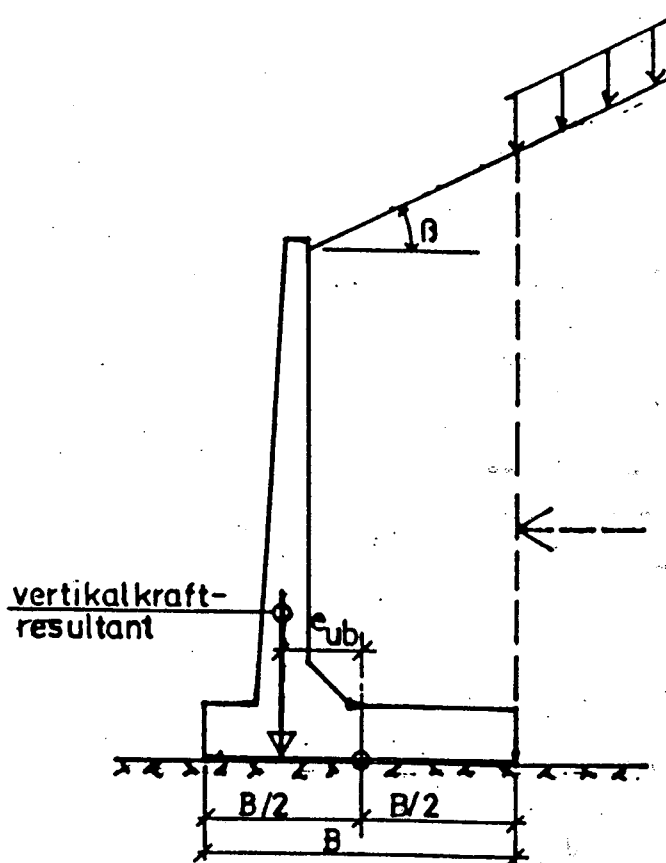
- Dimensjonering av vegg, såle og bolter.
- Beregning av nødvendig inngysningslengde (L) for bolter
- Beregning av dybde (D) til inngysningslengdens senter.

Beregningsreglene utdypes nærmere i det etterfølgende, se også 9.2.1 a til e i HB 016.

2.2.1 Dimensjonering av vegg, såle og bolter

Dimensjonering av vegg, såle og strekkraft i bolter gjøres som angitt i HB 016.

I tillegg til de kriterier for dimensjonering som er gitt i denne skal følgende regler gjelde:



FIGUR 1

Eksentrisiteten e_{ub} (uten medvirkning av bergbolter) skal være mindre enn $B/2$.

Ved beregning av eksentrisiteten for denne kontrollen skal både γ_m og mobiliseringsgraden f for bakfyllmassen settes lik 1,0 ved bestemmelse av jordtrykkskoeffisienten. ($\tan \rho = \tan \phi$).

Dette kriterium vil ofte være avgjørende for bestemmelse av sålebredden.

For reglene under punkt A-C skal det ved beregning av jordtrykk fra bakfyllmassene regnes med :

$$tg\rho = tg\varphi / \gamma_m \text{ eventuelt } tg\rho = f\ tg\varphi$$

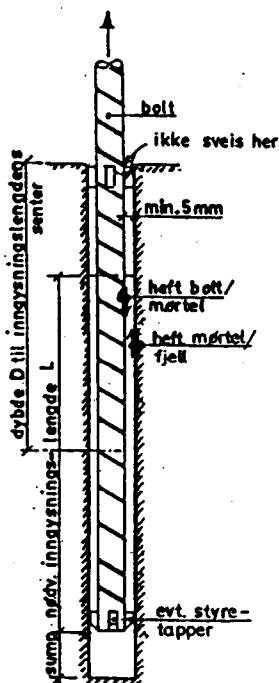
der γ_m , f og jordtrykkskoeffisienten bestemmes i henhold til HB 016, kap.9, Støttemurer og landkar.

- A. $e_{ub} > 0,4 B$.
Beregning av strekkraft i bolter
Boltetverrsnitt finnes ved å dividere strekkraft på f_{sbolt} .
- B. $0,3 B < e_{ub} < 0,4 B$.
Bruk minimumsbolting, $\varnothing 20$ mm. c 1500.
- C. $e_{ub} < 0,3 B$.
Bolter kan sløyfes.

Når en konstruksjon forankres med bergbolter bør det anvendes min. 3 stk. bolter selv om beregningsmessig antall skulle være mindre.

2.2.2 Beregning av nødvendig inngysningslengde

Ved beregning av denne settes dimensjonerende last lik karakteristisk bruddlast for bolter av type B500C (flytespenning $f_{sv} = 500$ N/ mm²)



Boltediameter, mm.	20	25	32
Kar. bruddlast, KN.	150	250	400

Nødvendig inngysningslengde bestemmes da ved kontroll av midlere heftpåkjening i grenseskiktene bolt/ mørtel og mørtel/ berg. Den største lengde for inngysningslengde velges.

Bestemt av grensesjiktet bolt/ mørtel vil inngysningslengder i mørtel av fasthetsklasser B30 og B35 være:

Mørtelfasthet, for strekk, f_{tn} N/ mm ²	Inngysningslengder, mm.			
	$\varnothing 20$	$\varnothing 25$	$\varnothing 32$	
B 30	1,80	1300	1700	2200
B 35	2,00	1200	1600	2000

FIGUR 2

Mørtelfasthet for strekk, f_{tn} er hentet ut fra NS 3473 side 27 tabell 5c.

Nødvendig inngysningslengde L bestemmes av grensesjiktet bolt/ mørtel og kan finnes fra formelen:

$$L = d_b \cdot f_{sy} / 4 \cdot f_{tn}$$

Kontroll av grensesjiktet mørtel/ berg vil avhenge av bergartstypen, se tabell side 3.

Nødvendig inngysningslengde avhengig av dette grensesjiktet kan beregnes av formelen:

$$L = d_b^2 \cdot f_{sy} / 4 \cdot f_{bf} \cdot d_h$$

I formelen er d_b = boltediameter

d_h = borhulldiameter

f_{sy} = stålets flytespenning

f_{tn} = dimensjonerende heftstyrke mellom kamstål og mørtel

f_{bf} = dimensjonerende heftstyrke mellom mørtel og berg

(når $f_{bf} \leq f_{tn}$ se under pkt. 1.1.2)

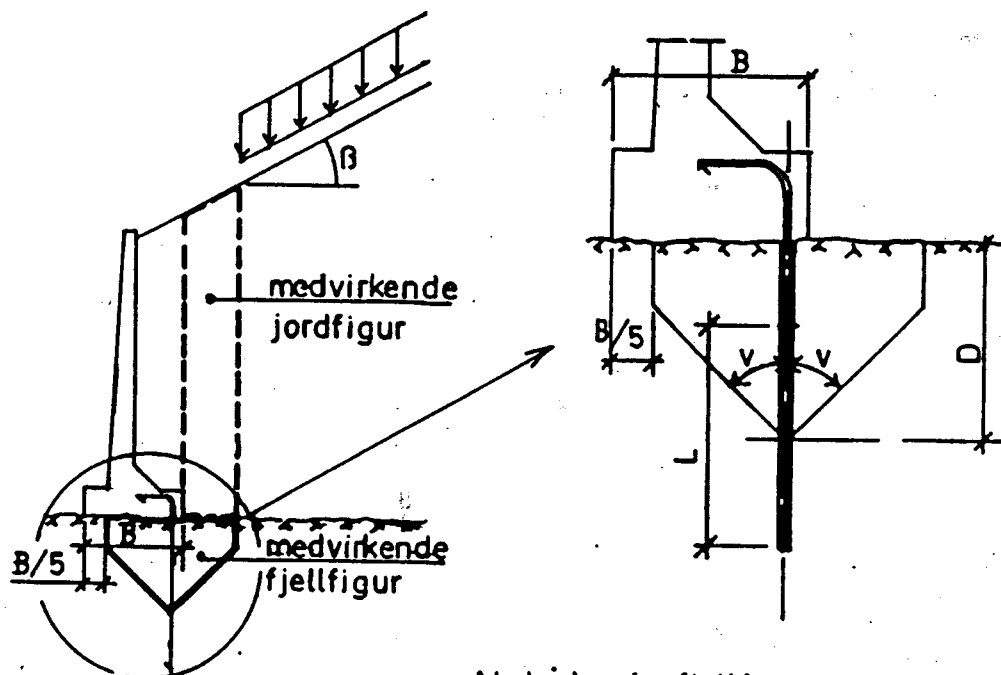
2.2.3 Beregning av dybde D til inngysningslengdens senter

Hensikten med denne beregningen er å få aktivisert nok stabiliserende påhengt last på boltene. Ved beregningen legges en todimensjonal betraktning til grunn, d.v.s. konstant geometri vinkelrett papirplanet i figur 3A og 3B.

Beregningen vil kunne gi en verdi av D som utgjør mer enn halvparten av beregningsmessig nødvendig inngysningslengde. Borehullet skal likevel alltid gyses opp til topp hull.

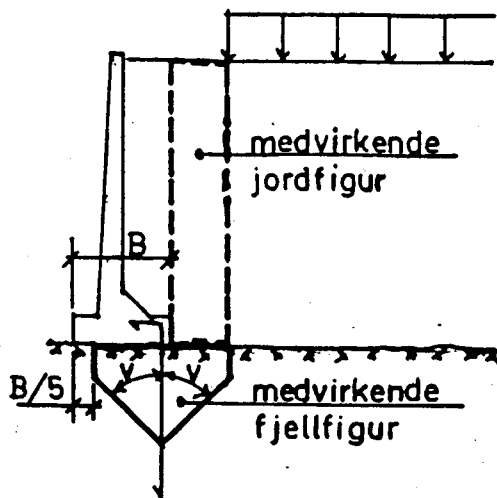
I denne beregningsmodellen har man altså sett bort i fra skjærfastheten i bergmassens sprekker. Dette gir ekstra sikkerhet i bergmasse med lite sprekker, men sikkerheten minker når oppsprekningen øker.

Tilfelle 1 : Støttemur med bakfyllmasse.



FIGUR 3A

Medvirkende fjellfigur regnes symmetrisk om ϵ bolt. Dersom figuren blir så liten at den ikke begrenses av vertikal-linjen $B/5$ fra forkant såle, „kuttet” den vertikalt 0,2m, se figur 4



FIGUR 3B

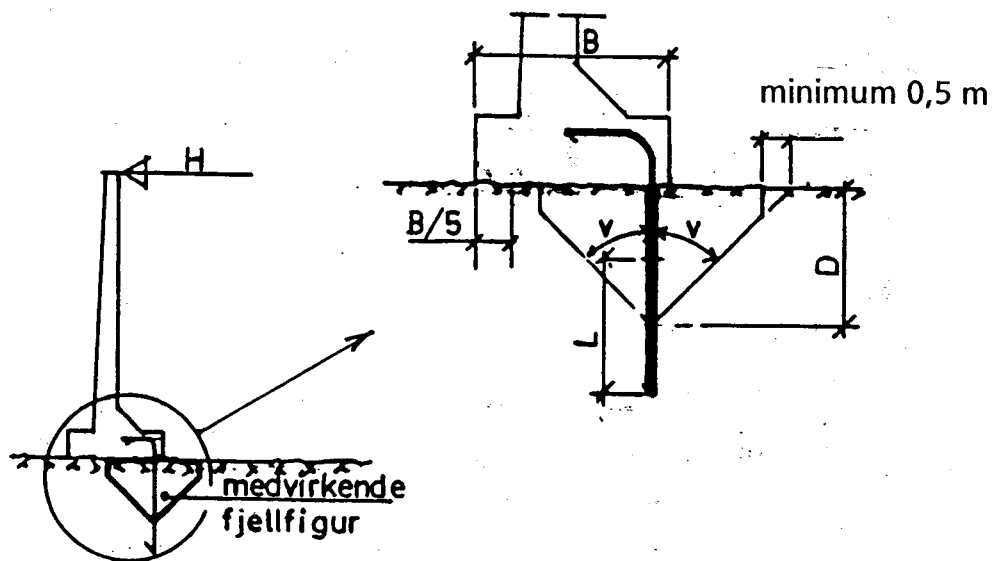
Medvirkende bergfigur regnes symmetrisk om senter bolt. Dersom figuren ikke begrenses av vertikallinjen $B/5$ fra forkant såle kuttes den vertikalt med $0,5/tg \cdot v$ (se illustrasjon i fig. 4).

Vedrørende vinkelen v , se punkt 2.2.4.

Dybden D til senter inngysningslengde bestemmes av følgende:

- Vekten av bergfigur (heltrukken tykk strek) pluss vekten av jordfigur (stiplet tykk strek). Begge tillegges lastfaktor 1,0 og denne lasten skal minst være lik dimensjonerende strekkraft i boltene (regnet pr. lm. vegg).
- Når D er bestemt, kontrolleres det at boltesenteravstand er mindre enn $D \cdot tg \cdot v$.
- Hvis ikke- reduseres boltesenteravstanden til kravet er oppfylt.

Tilfelle 2 : Horisontal last uten jordtrykk



FIGUR 4

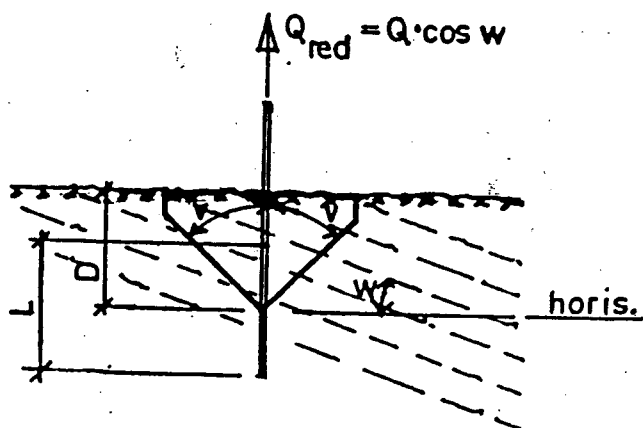
Dybde D til senter inngsningslengde bestemmes av følgende:

- Vekt av bergfigur (heltrukken tykk strek) regnes med lastfaktor 1,0 skal minst være lik dimensjonerende strekkraft i boltene (regnet pr. lm. vegg).
- Kontroller at boltesenteravstand er mindre enn $D \cdot \text{tg } v$. Hvis ikke – må denne reduseres til kravet er oppfylt.
- Vedrørende vinkel v , se pkt. 2.2.4.

2.2.4 Valg av vinkel v i bergfiguren og innbyrdes avstand mellom boltene

Det vises til illustrasjonene under tilfelle 1 og 2 på de foregående sider.

Dersom ingen annen metode anvendes , kan en bruke maksimalgrenser for vinkelen v som angitt nedenfor :



FIGUR 5

Grov bergbeskrivelse	Vinkelen v
Meget godt berg, bergmassens trykkstyrke >50 MPa. Ett sprekkesett med sporadiske sprekker. I bergmasse med to sprekkesett og sporadiske sprekker, bergmassens trykkstyrke 15- 50 MPa, kan man også bruke samme vinkel.	$v_{\text{maks}} = 45^\circ$
Tre sprekkesett med sporadiske sprekker, men mindre enn 20 sprekker pr. m^3 , bergmassens trykkstyrke <15 MPa. Dersom hovedsprekkeretningen i tillegg avviker fra horisontalplanet med en vinkel w , skal den fremkomne kapasiteten ut fra vektberegningen multipliseres med $\cos w$. Dette innebærer at kapasiteten blir null ved tett vertikal oppsprekning. Sementinjeksjon av bergmassen bør vurderes.	$v_{\text{maks}} = 30^\circ$

Erfaringer fra andre land tilsier at innbyrdes avstand mellom boltene i en rekke ikke bør overstige 0,5 multiplisert med inngyningslengden L . Hvis det er fare for at berget kan delaminere bør dybden D varieres.

3. Utførelse / kontroll

3.1 Bolter

Bolter skal være i kamstål av kvalitet minimum B 500 C. Boltene lengde skal være som beskrevet for hver enkelt konstruksjon. Boltene skal plasseres sentrisk i borehullene. Dette kan f. eks. oppnås ved at man trer på styretapper nederst på boltene og vanlige kiler ved topp hull. Boltene skal være korrosjonsbeskyttet med varmforsinking og pulverlakk.

3.2 Borehull

Differansen mellom boltene nominelle diameter og minste borehullsdiameter skal være minst 10 mm. Det er viktig at hullene spyles skikkelig rene etter boring. Hullene må ofte stakes nøye opp etter ferdigboring (f. eks. ved å kjøre boret opp og ned under full vannspyling). En vil derved kunne fjerne små ujevnheter som lett hindrer passasje av avstandshylser og lignende.

Skulle man treffe på så dårlig berg at det vanskeliggjør borearbeidet, bør boringen forsøkes flyttet eller alternativt kan hullene injiseres før boringen fortsetter.

Hullene skal, dersom ikke dette er tatt hensyn til på prosjekteringsstadiet, bores minimum 150 mm. dypere enn prosjektert nødvendig dybde da det er vanskelig å unngå sumpvirkning i bunnen av hullene.

3.3 Mørtel, gysemetoder

Til innstøpning av bolter benyttes ekspanderende sementmørtel med jevnt gradert sand som har $D_{100} = 2$ mm. Ved lave temperaturer i mørtelens herdeperiode, skal mørtelen være tilsatt antifrostmiddel. Ved bruk av verks blandet tørr-mørtel (som bare tilsettes vann på byggeplassen) skal mørtel leverandørens anvisning følges. Det er i alle tilfelle nødvendig at mørtelen har jevn konsistens og er uten klumper.

Når man har mange bolter som skal settes inn brukes vanligvis "Bergjet"- metoden. Man nytter her en mindre betongpumpe hvor mørtelen fylles i pumpebeholderen. Pumpeslangens ende føres ned til bunnen av borehullet og etter hvert som mørtelen fylles i, dras slangen langsomt ut. Bolten hamres inn med korte hammerslag eller vibreres inn med bormaskinen. Det er viktig at mørtelen har en plastisk til seigtflytende konsistens (mørtelen henger på hansken). Blir den for tynn, kan den lett siye ukontrollert ut i sprekker og hulrom.

Ved andre innfestningsmetoder vises til montasjeanvisning fra produsenten. En må da forvise seg om at metoden gir samme sikkerhet som velprøvde metoder.

3.4 Prøving

Feil ved forankring som skyldes selve boltetålet forekommer sjeldent. Vanligvis er årsaken feil installasjon av boltene. De vanligste årsakene kan listes opp som følger:

- For korte borehull
- Feil borehulldiameter
- Dårlig rengjorte borehull
- Ugunstig konsistens på mørtelen
- Urent stål

De metodene som er aktuelle for testing av boltene er prøvetrekking samt ultralydtesting. Til prøvetrekking for testing av innfesting, brukes en hydraulisk jekk som tres ned på bolten. Det er viktig at de boltene som skal testes er utstyrt med gjenger. Med et skjøtstykke skrus jekken fast, og ved hjelp av en hydraulisk pumpe med avlesningsutstyr, kan bolten prøvetrekkes.

Bolten kan f. eks. testes opp til arbeidslast, eller 1,2 til 1,5 ganger arbeidslast.

Det finnes også ultralydinstrumenter i markedet som er utviklet for å kunne analysere boltenes innfesting uten å belaste dem mekanisk. En spesiell sensor med piezoelektriske krystaller presses mot boltehodet, og denne både sender og mottar de bølge som forteller noe om kvaliteten på boltens innfesting. Det kreves trent personell til å betjene utstyret.

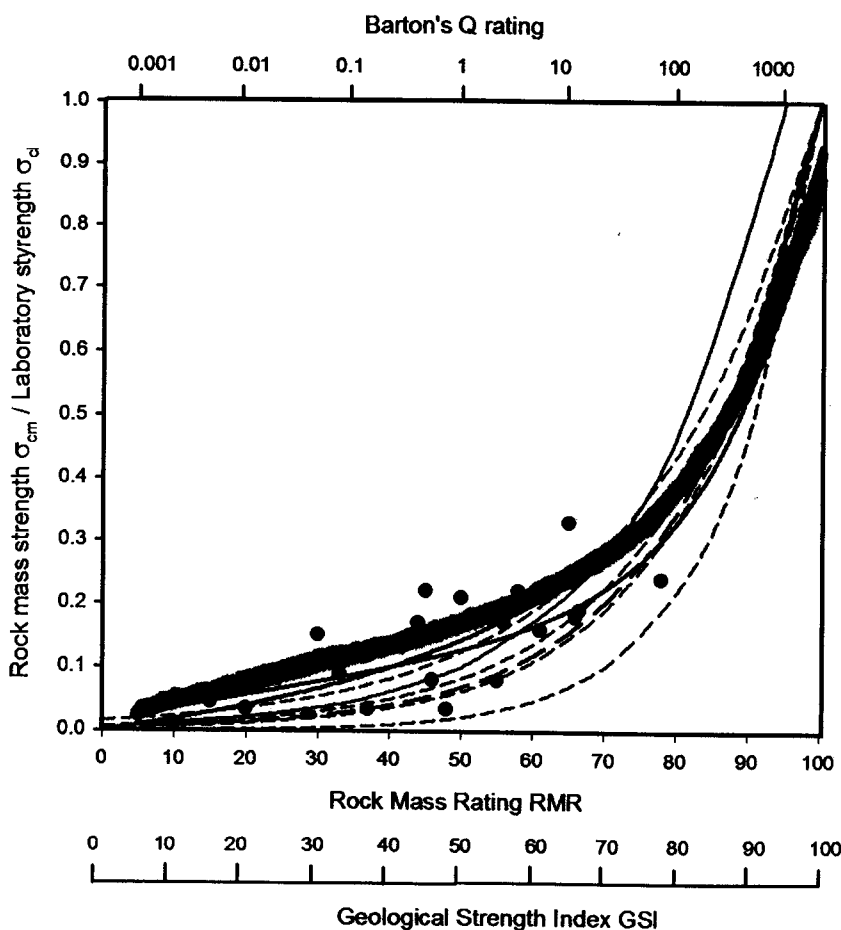
Graden av testing avgjøres i hvert enkelt tilfelle etter avtale med byggherre og utførende entreprenør.

Bruk av bergmasseklassifikasjon til bestemmelse av bergmassens styrke

Det er viktig å forstå at bergklassifikasjonssystemer aldri erstatter grundige geologiske analyser ute i terrenget og inne på laboratoriet. En grundig ingeniørgeologisk kartlegging med analyser av bergarter, bergmassekvalitet, sprekkesystemer, bruddsoner, bergspenninger og grunnvannsforhold er hovedplattformen for videre geologiske og ingeniørgeologiske tolkninger.

Under er det gjengitt noen diagrammer til hjelp for å kunne estimere bergmassens styrke.

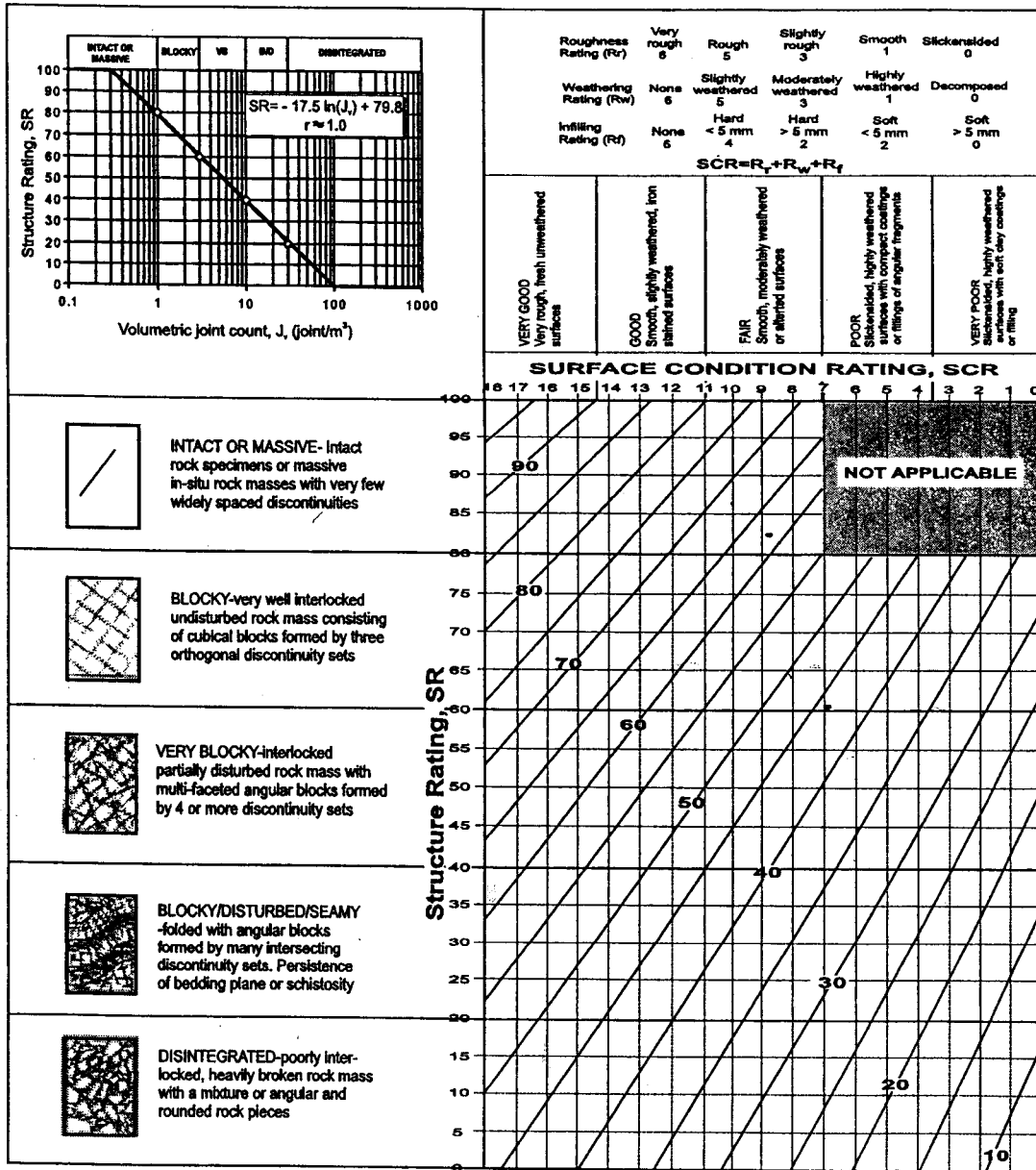
En nærmere innføring i de ulike klassifikasjonssystemer som Q- metoden, Bieniawski's RMR- metode samt Hoek og Brown's GSI- system finnes i litteraturlisten.



- | | | |
|-----|---|--|
| ● | In situ tests from construction sites in Turkey | Aydan, O and Dalgic, S, 1998 |
| --- | $\sigma_{cm} / \sigma_{ci} = \sqrt{\exp((RMR - 100) / 9)}$ | Hoek, E and Brown, E.T., 1980 |
| --- | $\sigma_{cm} / \sigma_{ci} = \exp(7.65((RMR - 100) / 100))$ | Yudhbir and Bieniawski, Z.T., 1983 |
| --- | $\sigma_{cm} / \sigma_{ci} = \exp((RMR - 100) / 24)$ | Kalamaris, G and Bieniawski, Z.T, 1993 |
| --- | $\sigma_{cm} / \sigma_{ci} = \exp((RMR - 100) / 20)$ | Sheorey, P.R. 1997 |
| --- | $\sigma_{cm} / \sigma_{ci} = \exp((RMR - 100) / 18.75)$ | Ramamurthy, T, 1986 |
| --- | $\sigma_{cm} / \sigma_{ci} = (RMR / (RMR + 6(100 - RMR)))$ | Aydan, O and Dalgic, S, 1998 |
| — | $m_i = 10$, for confined conditions with $D = 0$ | Hoek et al, 2002 |
| — | $\sigma_{cm} = 5\gamma(Q\sigma_{ci}/100)^{(1/3)}$, $\gamma = 2.6$, $\sigma_c = 100$ MPa | Barton 2000, Singh 1993 |

Sammenheng mellom bergmassens trykkfasthet (σ_{cm}), enaksial trykkfasthet på sprekkefritt bergstykke (σ_{ci}) og klassifikasjonssystemene RMR, Q-systemet og GSI.

Hoek og Brown's GSI (geologisk styrke indeks i modifisert utgave og H. Sønmez og R. Ulusay) er gjengitt under. Går man inn på internettsiden : [www. Rocscience.com](http://www.Rocscience.com) , vil man finne et gratis program, RockLab v1.0, som ved innsetting av enaksial trykkfasthet på sprekkefritt bergstykke og GSI regner seg fram til bergmassens styrke samt E-modul og friksjonsvinkel.



The modified quantitative GSI System suggested in this study.

Et enkelt eksempel på å finne bergmassens styrke.

Kvartsitt med enaksial trykkfasthet $\sigma_{ci} = 150000 \text{ KN/ m}^2$

Ruhet på kartlagte sprekker $R_r = 3$ (ru, bølgete)

Sprekkeoverflatenes forvitring $R_w = 3$ (moderat forvitret)

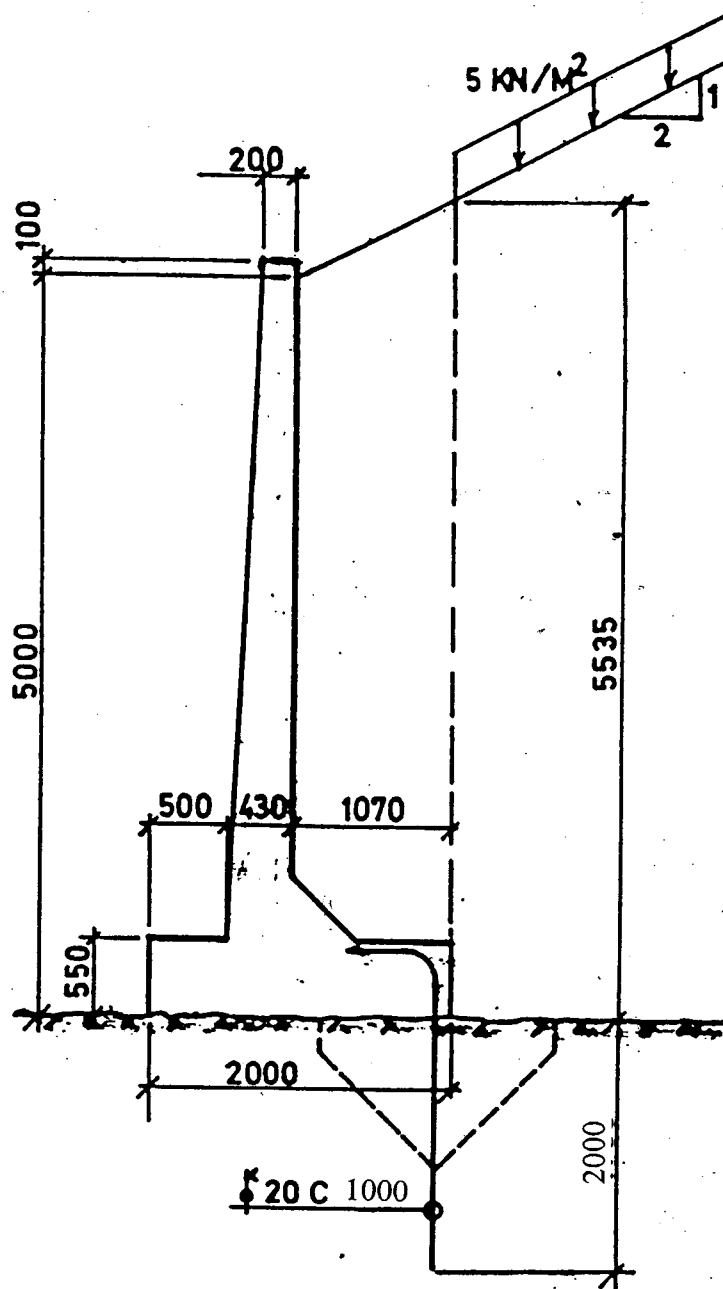
Sprekkefylling $R_f = 2$ (uoppbløtelig mineralbelegg)

Overflate faktor $SCR = R_r + R_w + R_f = 3+3+2 = 8$

Antall sprekker pr m^3 berg, J_v 20- 25 dette gir en SR 25- 28

I diagrammet på foregående side gir dette en GSI (geologisk styrkeindeks) på 33- 35, eller en snittverdi på 34.

Diagrammet over GSI og $\sigma_{cm} / \sigma_{ci}$ gir da en trykkfasthet på bergmassen $\sigma_{cm} = 15000 \text{ KN/ m}^2$

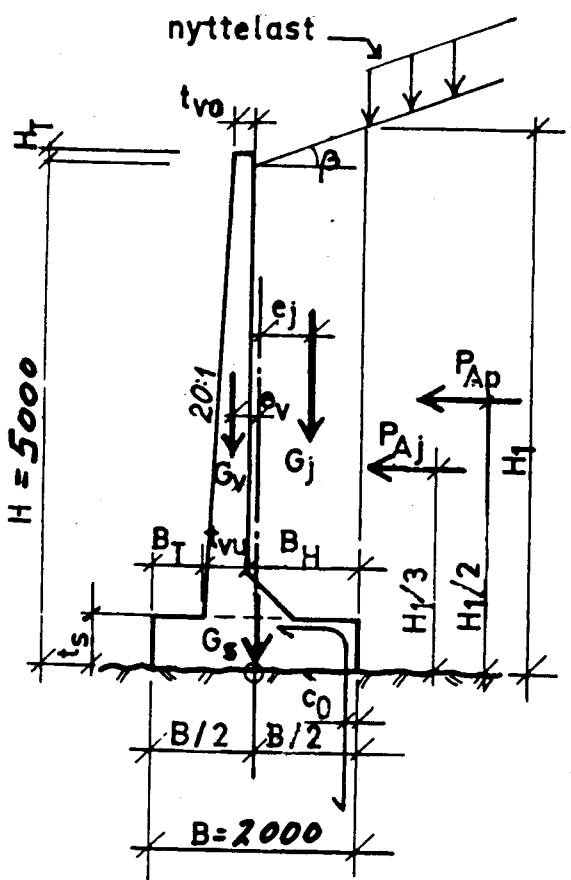
Eksempel 1:

Ved dimensjonering av støttemuren sjekkes først at $e < B/2$ uten medvirkning fra fjellbolter. Ved bestemmelse av K_a for dette tilfelle settes $\gamma_m = f = 1$. I eksemplene 1 til 3 har vi benyttet en ruhet $r = 0$. Og vi har nøyet oss med å se at kravet er oppfylt.

Dersom det er viktig å benytte minst mulig sålebredde (B) for muren kan vi bestemme K_a for inntil $r = 1$. En må imidlertid sørge for at sålebredden gir rimelig fjellfigur og boltingsforhold.

STØTTEMUR PÅ FJELL: **EKSEMPEL 1**

Geometri, laster, materialer



Geometri (mm) $\beta = 27^\circ$
 $\text{tg } \beta = 0.5$

Vertikale mål:

H	H _t	t _s	H ₁	H/3	H/2
5000	100	550	5535	1845	2767

Horisontale mål:

t _{vo}	B _T	t _{vu}	B _H	B	C ₀
200	500	430	1070	2000	100

$e_v = 0,5B - B_T - 0,25(3t_{vu} - t_{vo}) = 228 \text{ mm}$
 $e_j = 0,5(B - B_H) = 465 \text{ mm}$

Karakteristiske laster (kN, m)

Permanente laster:

$G_s = B \cdot t_s \cdot \gamma_{bet} = 27.5 \text{ kN/m}$
 $G_v = 0,5(t_{vo} + t_{vu})(H + H_t - t_s) \gamma_{bet} = 35.8 \text{ kN/m}$
 $G_j = [(H - t_s)B_H + 0,5B_H^2 \text{tg}\beta] \gamma_{bakfyll} = 95.9 \text{ kN/m}$

Variable laster:

Jevnt fordelt nyttelast $p = 5 \text{ kN/m}^2$

Diverse parametre

Fjellbolter B 500 C
 Mørtelfasthet B 30

Husk: Lastkoeffisienter på egenlast jord/fyllmasse og jordtrykk som skyldes egenlast jord/fyllmasse er 1.0

Materialer

Bergart fjellgrunn *granitt*

Kar.enakset bruddstyrke
 $\sigma_{ci} = 150000 \text{ KN/m}^2$
 $\sigma_{cm} = 75000 \text{ KN/m}^2$

Bakfyllmasse: *Springstein*

$\text{tg}\phi = 0.9$ $\gamma_{bakfyll} = 19 \text{ kN/m}^3$
 $a = 0 \text{ kN/m}^2$

Skadekonsekvens *alvorlig*

Brudmekanisme *neutral*

Veggens fleksibilitet *normal*

Ruhet $r = 0$ ved mur på fjell

STØTTEMUR PÅ FJELL: **EKSEMPEL 1**

Beregning av dimensjonerende lastvirkninger

Last type	Last nr	Lastvirkning Last	Last fakt.	Vertikale lastresult.		Horisontale lastresult.		Moment om pkt. O (pos. mot urviseren)	Merknader
				P _v	e _{ov}	P _H	e _{OH}		
		Egenl. såle	1.0	27.0	0	XXXXX	XXXXXX		
		Egenl. vegg	1.0	35.8	0.228	XXXXX	XXXXXX	8.162	
P1		Sum Egenl. betong	1.0	63.3		XXXXX XXXXX	XXXXXX XXXXXX	8.162	
P2		Bakfyllmasse over såle	1.0	95.9	-0.465	XXXXX XXXXX	XXXXXX XXXXXX	-44.594	
P3		Jordtrykk fra bakfyllmasser	1.0			XXXXX XXXXX XXXXX	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	291.1 1.845 536.976	Jordtrykkskoeff. = 1
V1		Jordtrykk fra nyttel. på bakfyllm.	1.0			XXXXX XXXXX XXXXX	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	27.7 2.767 76.708	Jordtrykkskoeff. = 1

Lastkombinasjoner

Kombinasjon 1, hensikt: Sjekke at eksentrisitet $< B/2$ uten medvirkning fra fjellbolter. Ved bestemmelse av jordtrykkskoeffisient K_A for dette tilfelle settes $\gamma = f = 1. K_A = 0.28$.
Bruker lastkoeffisienter 1.0 på egenlast betong og 1.3 på nyttelast

$$(P1 \cdot 1.0 + P2 \cdot 1.0) + (P3 \cdot K_A \cdot 1.0) + (V1 \cdot K_A \cdot 1.3) :$$

Kombinasjon 1:	159.2	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	91.6	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	141.8	$e = \frac{141.8}{159.2} = 0.89$
----------------	-------	----------------------------	------	----------------------------	-------	----------------------------------

Resultat $e < B/2 \rightarrow o.k.$

Kombinasjon 2, hensikt: Dimensjonere nødv. fjellbolting. Ved denne beregning bestemmes jordtrykkskoeffisient som angitt i Bruprosjektering - 03 $K_A = 0.47$

Kombinasjon 2a, lastkoeff. 1.0 på egenlast betong

$$(P1 \cdot 1.0) + (P2 \cdot 1.0) + (P3 \cdot K_A \cdot 1.0) + (V1 \cdot K_A \cdot 1.3) :$$

Kombinasjon 2a:	159.2	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	153.7	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	262.8	$e = \frac{262.8}{159.2} = 1.65$
-----------------	-------	----------------------------	-------	----------------------------	-------	----------------------------------

Kombinasjon 2b, lastkoeff. 1.2 på egenlast betong

$$(P1 \cdot 1.2) + (P2 \cdot 1.0) + (P3 \cdot K_A \cdot 1.0) + (V1 \cdot K_A \cdot 1.3) :$$

Kombinasjon 2b:	171.9	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	153.7	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	264.4	$e = \frac{264.4}{171.9} = 1.53$
-----------------	-------	----------------------------	-------	----------------------------	-------	----------------------------------

Beregning av nødvendig bolting

$$B_0 = B - 2 \cdot e$$

$$B_{0\gamma=1.0} = 2 - 2 \cdot 1.65 = -1.30 < \begin{matrix} B \\ 5 \end{matrix}$$

$$B_{0\gamma=1.2} = 2 - 2 \cdot 1.53 = -1.06 < \begin{matrix} B \\ 5 \end{matrix}$$

$$P_{\text{bolt}} = \frac{2(5 \cdot M_0 - 2 \cdot B \cdot P_v)}{9 \cdot B - 10 \cdot c_0}$$

$$P_{\text{bolt}\gamma=1.0} = \frac{2 \cdot (5 \cdot 262.8 - 2 \cdot 2 \cdot 159.2)}{9 \cdot 2 - 10 \cdot 0.1} = 79.6 \text{ kN/m}$$

$$P_{\text{bolt}\gamma=1.2} = \frac{2 \cdot (5 \cdot 264.4 - 2 \cdot 2 \cdot 171.9)}{9 \cdot 2 - 10 \cdot 0.1} = 74.6 \text{ kN/m}$$

Nødvendig boltetverrsnitt:

$$A_{\text{sbolt}} = \frac{79.6 \cdot 10^3}{250} = 318 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{Ø 20 c 1000}$$

Beregning av nødvendig inngysningslengde

Bestemt av skiktet bolt/mørtel er nødvendig inngysningslengde 1.3m for Ø 20 som har en karakteristisk bruddlast 150 kN.

Bestemt av skiktet mørtel/fjell blir nødvendig inngysningslengde:

$$\frac{150 \text{ kN} \cdot 2.00}{2000 \text{ kN/m}^2 \cdot \pi \cdot 0.03} = 1,592 \approx 1,6 \text{ m}$$

idet fjellets karakteristiske heftstyrke er satt til 2000 kN/m² og borhulldiameter 30mm.

Beregning av dybde D

$$\text{Vinkel } \nu: = 45^0 \text{ (granitt); } \gamma_{\text{granitt}} = 26 \text{ kN/m}^3$$

Prøver med D=1,0m

$$\text{Vekt fjellfigur } (1,0^2 - 0,5^2) \cdot 26 \cdot 1,0 = 19,5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Vekt jordfigur } 0,6 \cdot 5,5 \cdot 19 \cdot 1,0 = 62,7 \text{ "}$$

$$79.6 < 82,2 \text{ o.k.}$$

$$\underline{82,2 \text{ kN/m}}$$

Kontroll av om boltesenteravstand er mindre enn D·tg γ :

$$D \cdot \text{tg} \gamma = 1,0 \text{ tg } 45^\circ = 1,0$$

Boltesenteravstand = 1,0 o.k.

$$\text{Hulldybde blir } 1,0 + \frac{1,60}{2} + 0,150 \text{ (sump)} = 1,95 \sim \underline{2,0 \text{ m}}$$

Kontroll mot glidning, kontroll av såletrykk

Krav til forholdet mellom dim. horis. last og dim. vert. last ($f < 1.0$)

$$f_{\gamma=1.0} = \frac{P_{H\gamma}}{P_{V\gamma} + P_{bolt\gamma}} = \frac{153.7}{159.2 + 79.6} = 0.64 < 1.0 \text{ o.k.}$$

$$f_{\gamma=1.2} = \frac{P_{H\gamma}}{P_{V\gamma} + P_{bolt\gamma}} = \frac{153.7}{171.9 + 74.6} = 0.62 < 1.0 \text{ o.k.}$$

Vertikalt, effektivt såletrykk:

$$q_{v\gamma} = \frac{5 \cdot P_{vb\gamma}}{B} = \frac{5 \cdot (P_{V\gamma} + P_{bolt\gamma})}{B}$$

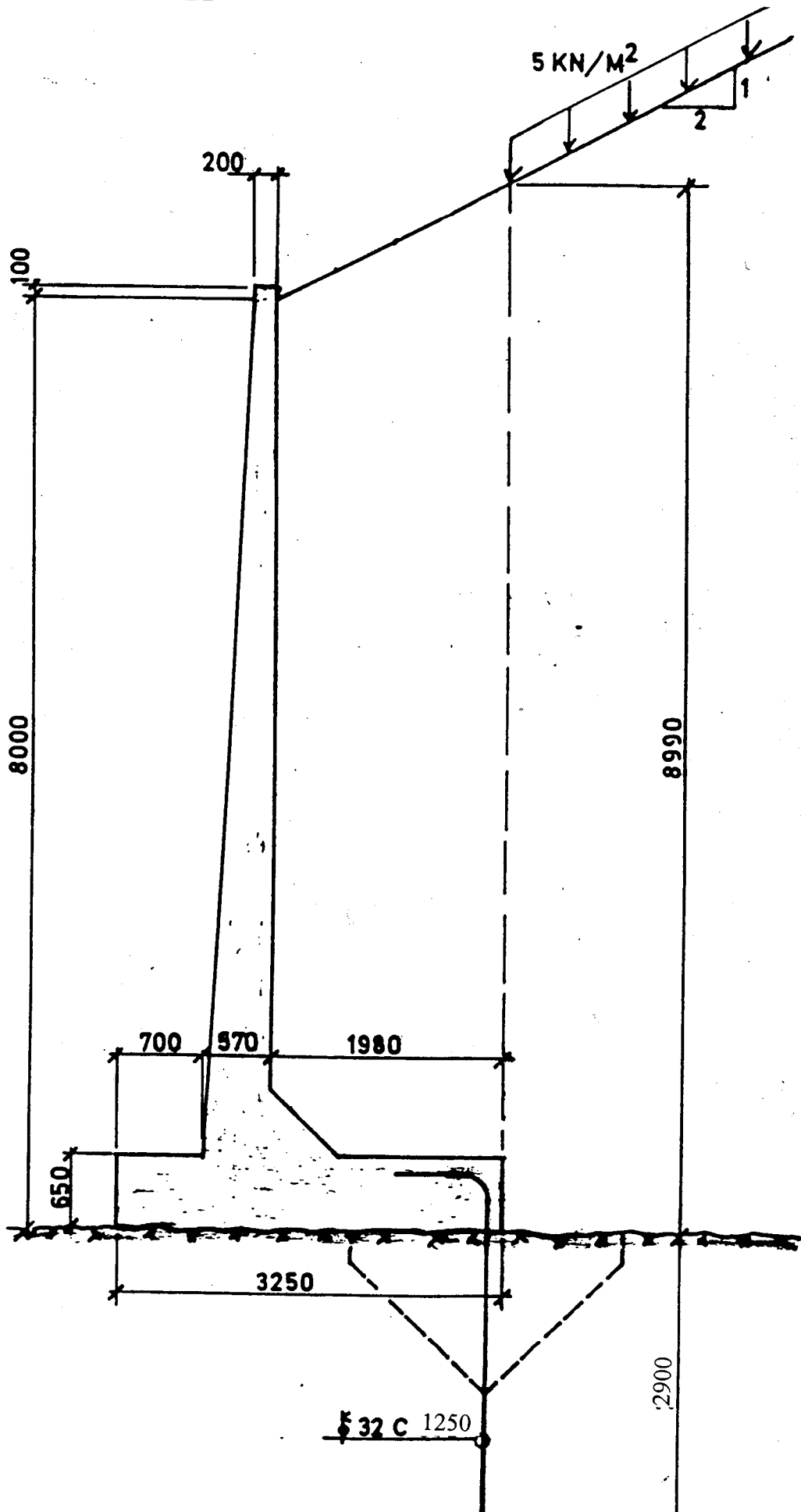
$$q_{v\gamma=1.0} = \frac{5 \cdot (159.2 + 79.6)}{2.0} = 597 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{v\gamma=1.2} = \frac{5 \cdot (171.9 + 74.6)}{2.0} = 616 \text{ kN/m}^2$$

Disse verdiene ligger godt under halvparten av fjellets karakteristiske enaksede trykkstyrke som i dette tilfelle er $15.000/2 = 75000/2 = 37500 \text{ KN/m}^2$ ok.

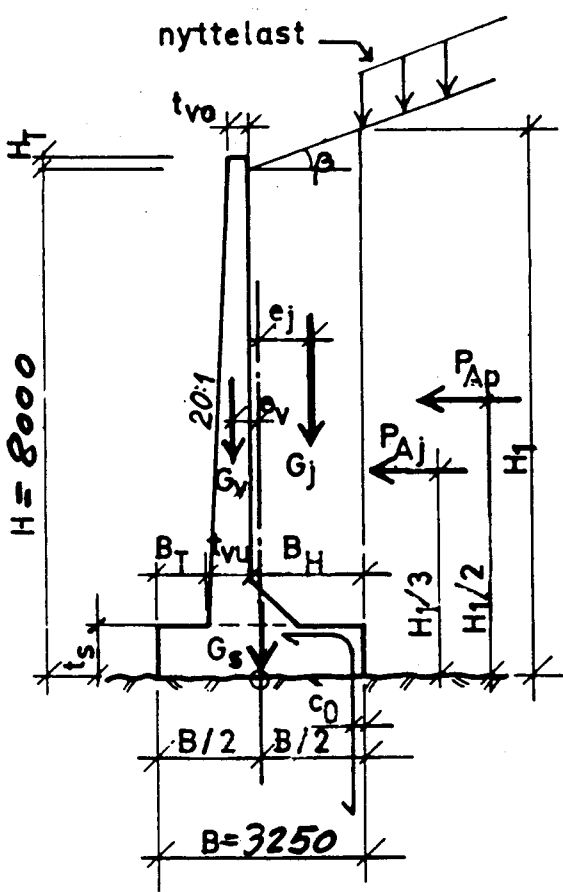
Eksempel 2:

Eksempler



STØTTEMUR PÅ FJELL: **EKSEMPEL 2**

Geometri, laster, materialer



Materialer

Bergart fjellgrunn **granitt**...

Kar.enakset bruddstyrke
 $\sigma_{ci} = 150000 \text{ KN/m}^2$
 $\sigma_{cm} = 75000 \text{ KN/m}^2$

Bakfyllmasse: **Sprengstein**

$\text{tg}\phi = 0.9$... $\gamma_{\text{bakfyll}} = 19 \text{ kN/m}^3$
 $a = 0 \text{ kN/m}^2$

Skadekonsekvens **alvorlig**.....

Brudmekanisme **neutral**.....

Veggens fleksibilitet **normal**

Ruhet $r = 0$ ved mur på fjell

Geometri (mm) $\beta = 27^\circ$
 $\text{tg } \beta = 0.5$

Vertikale mål:

H	H _t	t _s	H ₁	H ₃ '	H ₂ '
8000	100	650	8990	3000	4500

Horisontale mål:

t _{vo}	B _T	t _{vu}	B _H	B	C ₀
200	700	570	1980	3250	100

$e_v = 0,5B - B_T - 0,25(3t_{vu} - t_{vo}) = 548 \text{ mm}$
 $e_j = 0,5(B - B_H) = 635 \text{ mm}$

Karakteristiske laster (kN,m)

Permanente laster:

$G_s = B \cdot t_s \cdot \gamma_{\text{bet}} = 52.8 \text{ kN/m}$

$G_v = 0,5(t_{vo} + t_{vu})(H + H_t - t_s) \gamma_{\text{bet}} = 71.7 \text{ kN/m}$

$G_j = [(H - t_s)B_H + 0,5B_H^2 \text{tg}\phi] \gamma_{\text{bakfyll}} = 295.1 \text{ kN/m}$

Variable laster:

Jevnt fordelt nyttelast $p = 5 \text{ kN/m}^2$

Diverse parametre

Fjellbolter: B 500 C
 Mørtelfasthet: B 30

Husk: Lastkoeffisienter på egenlast jord/fyllmasse og jordtrykk som skyldes egenlast jord/fyllmasse er 1.0

STØTTEMUR PÅ FJELL: **EKSEMPEL 2**

Beregning av dimensjonerende lastvirkninger

Last type	Last nr	Lastvirkning Last	Last fakt.	Vertikale lastresult.		Horisontale lastresult.		Moment om pkt. 0 (pos. mot urviseren)	Merknader
				P_v	e_{0v}	P_H	e_{0H}		
		Egenl. såle	1.0	52.8	0	XXXXX	XXXXXX		
		Egenl. vegg	1.0	71.7	0.548	XXXXX	XXXXXX	39.29	
P1		Sum Egenl. betong	1.0	124.5		XXXXX XXXXX	XXXXXX XXXXXX	39.29	
P2		Bakfyllmasse over såle	1.0	295.1	0.635	XXXXX XXXXX	XXXXXX XXXXXX	-157.39	
P3		Jordtrykk fra bakfyllmasser	1.0	XXXXX XXXXX XXXXX	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	767.9	3.0	2303.37	Jordtrykkskoeff. = 1
V1		Jordtrykk fra nyttel. på bakfyllm.	1.0	XXXXX XXXXX XXXXX	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	44.9	4.5	202.28	Jordtrykkskoeff. = 1

Lastkombinasjoner

Kombinasjon 1, hensikt: Sjekke at eksentrisitet $< B/2$ uten medvirkning fra fjellbolter. Ved bestemmelse av jordtrykkskoeffisient K_A , for dette tilfelle settes $\gamma = f = 1$. $K_A = 0.28$.
Bruker lastkoeffisienter 1.0 på egenlast betong og 1.3 på nyttelast

$$(P1 \cdot 1.0 + P2 \cdot 1.0) + (P3 \cdot K_A \cdot 1.0) + (V1 \cdot K_A \cdot 1.3) :$$

Kombinasjon 1:	419.6	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	-	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	570.47	$e = \frac{570.47}{419.6} = 1.36$
----------------	-------	----------------------------	---	----------------------------	--------	-----------------------------------

Resultat $e < B/2 \rightarrow o.k$

Kombinasjon 2, hensikt: Dimensjonere nødv. fjellbolting. Ved denne beregning bestemmes jordtrykkskoeffisient som angitt i Bruprosjektering - 03 $K_A = 0.47$

Kombinasjon 2a, lastkoeff. 1.0 på egenlast betong

$$(P1 \cdot 1.0) + (P2 \cdot 1.0) + (P3 \cdot K_A \cdot 1.0) + (V1 \cdot K_A \cdot 1.3) :$$

Kombinasjon 2a:	419.6	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	388.3	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	1058.08	$e = \frac{1058.08}{419.6} = 2.52$
-----------------	-------	----------------------------	-------	----------------------------	---------	------------------------------------

Kombinasjon 2b, lastkoeff. 1.2 på egenlast betong

$$(P1 \cdot 1.2) + (P2 \cdot 1.0) + (P3 \cdot K_A \cdot 1.0) + (V1 \cdot K_A \cdot 1.3) :$$

Kombinasjon 2b:	503.5	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	388.3	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	1028.46	$e = \frac{1028.46}{503.5} = 2.04$
-----------------	-------	----------------------------	-------	----------------------------	---------	------------------------------------

Beregning av nødvendig bolting

$$B_0 = B - 2 \cdot e$$

$$B_{0\gamma=1.0} = 3.25 - 2 \cdot 2.52 = -1.79 < \frac{B}{5}$$

$$B_{0\gamma=1.2} = 3.25 - 2 \cdot 2.04 = -0.83 < \frac{B}{5}$$

$$P_{\text{bolt}} = \frac{2 (5 \cdot M_0 - 2 \cdot B \cdot P_V)}{9 \cdot B - 10 \cdot c_0}$$

$$P_{\text{bolt}\gamma=1.0} = \frac{2 \cdot (5 \cdot 1058.06 - 2 \cdot 3.25 \cdot 419.6)}{9 \cdot 3.25 - 10 \cdot 0.1} = 181.4 \text{ kN/m}$$

$$P_{\text{bolt}\gamma=1.2} = \frac{2 \cdot (5 \cdot 1028.46 - 2 \cdot 3.25 \cdot 503.5)}{9 \cdot 3.25 - 10 \cdot 0.1} = 132.35 \text{ kN/m}$$

Nødvendig boltetverrsnitt:

$$A_{\text{sbolt}} = \frac{181.40 \cdot 10^3}{250} = 726 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \emptyset 32 \text{ c } 1250$$

Beregning av nødvendig inngysningslengde

Bestemt av skiktet bolt/mørtel er nødvendig inngysningslengde 2.1m for $\emptyset 32$ som har en karakteristisk bruddlast 321 kN.

Bestemt av skiktet mørtel/fjell blir nødvendig inngysningslengde:

$$\frac{400 \cdot 2.00}{2000 \cdot \pi \cdot 0.045} = 2,837 \sim 2,80 \text{ m}$$

idet fjellets karakteristiske heftstyrke er satt til 2000 kN/m² og borhulldiameter er antatt til 45mm.

Beregning av dybde D

$$\text{Vinkel } v: = 45^0 \text{ (granitt); } \gamma_{\text{granitt}} = 26 \text{ kN/m}^3$$

Prøver med D = 1,3m

$$\text{Vekt fjellfigur} = (1,3^2 - 0,5^2) \cdot 26 \cdot 1.0 = 37,44 \text{ KN/m}$$

$$\text{Vekt jordfigur} = 0.9 \cdot 8.99 \cdot 19 \cdot 1.0 = 153.72 \text{ "}$$

$$191,16 \text{ KN/m}$$

191,16 > 181.4 o.k.

Kontroll av om boltesenteravstand er mindre enn D tgv:

$$D \text{ tgv} = 1,3 \cdot 1,0 = 1,3$$

$$\text{Boltesenteravstand} = 1,25 \text{ ok.}$$

$$\text{Hulldybde blir } 1,3 + \frac{2,80}{2} + 0,15 = 2,85 \approx 2,9 \text{ m}$$

(D) (halve inn-
gysnings-
lengden) (sump)

Kontroll mot glidning, kontroll av såletrykk

$$f_{\gamma=1.0} = \frac{388.3}{419.6 + 181.4} = 0.64 < 1.0 \text{ o.k.}$$

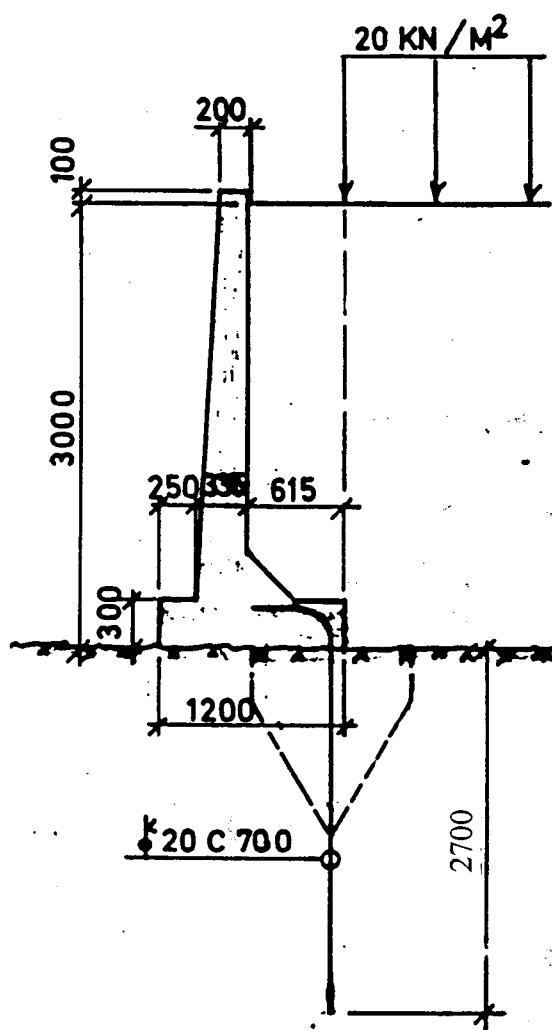
$$f_{\gamma=1.2} = \frac{388.3}{503.5 + 132.35} = 0.61 < 1.0 \text{ o.k.}$$

Vertikalt, effektivt såletrykk:

$$q_{v \gamma=1.0} = \frac{5 \cdot (419.6 + 181.4)}{3.25} = 924.6 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{v \gamma=1.2} = \frac{5 \cdot (503.5 + 132.35)}{3.25} = 978.0 \text{ kN/m}^2$$

Begge verdier ligger godt under halvparten av karakteristiske enaksede trykkstyrke som er 37500 kN/m²

Eksempel 3:

STØTTEMUR PÅ FJELL: **... EKSEMPEL 3 ...**

Beregning av dimensjonerende lastvirkninger

Last type	Last nr	Lastvirkning Last	Last fakt.	Vertikale lastresult.		Horisontale lastresult.		Moment om pkt. 0 (pos. mot urviseren)	Merknader		
				P _v	e _{ov}	P _H	e _{oH}				
		Egenl. såle	1.0	9.0	0	XXXXX	XXXXXX				
		Egenl. vegg	1.0	18.7	0.149	XXXXX	XXXXXX	2.79			
P1		Sum Egenl. betong	1.0	27.7		XXXXX XXXXX	XXXXXX XXXXXX	2.79			
P2		Bakfyllmasse over såle	1.0	31.5	-0.293	XXXXX XXXXX	XXXXXX XXXXXX	-9.23			
P3		Jordtrykk fra bakfyllmasser	1.0			XXXXX XXXXX XXXXX	XXXXXX XXXXXX	85.5	1.0	85.5	Jordtrykkskoeff. = 1
V1		Jordtrykk fra nyttel. på bakfyllm.	1.0			XXXXX XXXXX XXXXX	XXXXXX XXXXXX	60	1.5	90.0	Jordtrykkskoeff. = 1

Lastkombinasjoner

Kombinasjon 1, hensikt: Sjekke at eksentrisitet < B/2 uten medvirkning fra fjellbolter. Ved bestemmelse av jordtrykkskoeffisient K_A for dette tilfelle settes γ = f = 1. K_A = 0.20. Bruker lastkoeffisienter 1.0 på egenlast betong og 1.3 på nyttelast

$$(P1 \cdot 1.0 + P2 \cdot 1.0) + (P3 \cdot K_A \cdot 1.0) + (V1 \cdot K_A \cdot 1.3) :$$

Kombinasjon 1:	59.2	XXXXXX XXXXXX XXXXXX		XXXXXX XXXXXX XXXXXX	34.06	e = $\frac{34.06}{59.2} = 0.58$
----------------	------	----------------------------	--	----------------------------	-------	---------------------------------

Resultat e < B/2 + o.k

Kombinasjon 2, hensikt: Dimensjonere nødv. fjellbolting. Ved denne beregning bestemmes jordtrykkskoeffisient som angitt i Bruprosjektering - 03 K_A = 0.35

Kombinasjon 2a, lastkoeff. 1.0 på egenlast betong

$$(P1 \cdot 1.0) + (P2 \cdot 1.0) + (P3 \cdot K_A \cdot 1.0) + (V1 \cdot K_A \cdot 1.3) :$$

Kombinasjon 2a:	59.2	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	57.23	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	64.44	e = $\frac{64.44}{59.2} = 1.09$
-----------------	------	----------------------------	-------	----------------------------	-------	---------------------------------

Kombinasjon 2b, lastkoeff. 1.2 på egenlast betong

$$(P1 \cdot 1.2) + (P2 \cdot 1.0) + (P3 \cdot K_A \cdot 1.0) + (V1 \cdot K_A \cdot 1.3) :$$

Kombinasjon 2b:	71.0	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	57.23	XXXXXX XXXXXX XXXXXX	63.15	e = $\frac{63.15}{71.0} = 0.89$
-----------------	------	----------------------------	-------	----------------------------	-------	---------------------------------

Beregning av nødvendig bolting

$$B_0 = B - 2 \cdot e$$

$$B_{0\gamma=1.0} = 1.2 - 2 \cdot 1.09 = -0.98 < -\frac{B}{5}$$

$$B_{0\gamma=1.2} = 1.2 - 2 \cdot 0.89 = -0.58 < -\frac{B}{5}$$

$$P_{\text{bolt}} = \frac{2 \cdot (5 \cdot M_0 - 2 \cdot B \cdot P_V)}{9 \cdot B - 10 \cdot c_0}$$

$$P_{\text{bolt}\gamma=1.0} = \frac{2 \cdot (5 \cdot 64.44 - 2 \cdot 1.2 \cdot 59.2)}{9 \cdot 1.2 - 10 \cdot 0.1} = 36.8 \text{ kN/m}$$

$$P_{\text{bolt}\gamma=1.2} = \frac{2 \cdot (5 \cdot 63.15 - 2 \cdot 1.2 \cdot 71.0)}{9 \cdot 1.2 - 10 \cdot 0.1} = 29.7 \text{ kN/m}$$

$$A_{\text{s bolt}} = \frac{36.8 \cdot 10^3}{250} = 147 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \emptyset 20 \text{ c } 2,13 \sim 2,10$$

Beregning av nødvendig inngysningslengde

Bestemt av skiktet bolt/mørtel er nødvendig inngysningslengde 1.3m for $\emptyset 20$ med en karakteristisk bruddlast 150 KN

Nødvendig inngysningslengde bestemt av skiktet mørtel/fjell, med borhulldiameter 30mm og karakteristisk heftstyrke mørtel/fjell 1200 kN/m² er:

$$\frac{150 \cdot 2.00}{1200 \cdot \pi \cdot 0.03} = 2,65 \text{ m}$$

Beregning av dybde D

Vinkel v settes til 30^0 på grunn av sterk horisontal sprekkdannelse.

Tyngdetetthet for sandstein er 27 kN/m³.

Prøver med $D = 1.2\text{m}$. $D \cdot \text{tg}v = 1.2 \cdot 0.577 = 0.70$

$$\text{Vekt fjellfigur } (0.70 \cdot 1.2 - 0.5 \cdot 0.289) \cdot 27 \cdot 1.0 = 18.78 \text{ KN/m}$$

$$\text{Vekt jordfigur } 0.40 \cdot 3 \cdot 19 \cdot 1.0 = 22.23 \text{ "}$$

$$41.01 \text{ kN/m}$$

$$41.01 > 36.8 \text{ o.k.}$$

D tgv = $1.2 \cdot 0.577 = 0.70$ = boltesenteravstanden må da reduseres til 0.70m.

$$\text{Hulldybde blir } 1.2 + \frac{2.65}{2} + 0.15 = 2.68 \sim \underline{2.70 \text{ m}}$$

(sump)

Kontroll mot glidning, kontroll av såletrykk

$$f_{\gamma=1.0} = \frac{57.23}{59.2 + 36.8} = 0.59 < 1.0 \text{ o.k.}$$

$$f_{\gamma=1.2} = \frac{57.23}{71.0 + 29.7} = 0.57 < 1.0 \text{ o.k.}$$

Vertikalt, effektivt såletrykk

$$q_{V\gamma=1.0} = \frac{5 \cdot (59.2 + 36.8)}{1.2} = 400.0 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{V\gamma=1.2} = \frac{5 \cdot (71.0 + 29.7)}{1.2} = 419.5 \text{ kN/m}^2$$

Disse tallene ligger meget godt under halvparten av fjellets karakteristiske enaksede trykkstyrke, som i dette tilfelle er $50000 \text{ KN/m}^2 \cdot 0.5 = 25000 \text{ KN/m}^2$ o.k.

Symbolliste

symbol	dimensjon	betydning
A_{sbolt}	mm^2/m	tverrsnitt bolter
B	m	sålebredde
B_0	m	effektiv sålebredde
B_T	m	avstand forkant vegg til forkant såle (tåbredde)
B_H	m	avstand bakkant vegg til bakkant såle (helbredde)
β	o	terrenghelning bakfyllmasser
c_0	m	avstand fra bakkant såle til senter bolter
D	m	dybde til inngysningslengdens senter
d_b	m	diameter bolt
d_h	m	diameter borhull
e	m	eksentrisitet
e_{0V}	m	eksentrisitet vertikallast målt fra pkt. 0 sålemidte
e_{0H}	m	eksentrisitet horisontallast målt fra pkt. 0 sålemidte
e_{ub}	m	eksentrisitet vertikallast-resultant ekskl. boltekraft
f	-	a. mobiliseringsgrad b. forhold mellom horisontallast og vertikallast
f_{sy}	N/mm^2	flytespenning stål
f_{sbolt}	N/mm^2	tillatt spenning i bolter
f_{bn}	N/mm^2	konstruksjonsfasthet heft-påkjønning
f_{bb}	N/mm^2	dimensjonerende heftfasthet bolt/mørtel
f_{bf}	N/mm^2	dimensjonerende heftfasthet mørtel/fjell
φ	o	friksjonsvinkel jordmasser

symbol	dimensjon	betydning
G_j	kN/m	resultant egenlast jord
G_s	kN/m	resultant egenlast såle
G_v	kN/m	resultant egenlast vegg
γ_m	-	materialkoeffisient
H	m	murhøyde
H_1	m	avst. u.k. såle til terreng målt i snitt ved bakkant såle
k_A	-	jordtrykkskoeffisient
$k_{A'}$	-	jordtrykkskoeffisient når $\gamma_m = f = 1$
L	m	inngysningslengde
M_0	kNm/m	moment om pkt. 0
P_{Aj}	kN/m	horisontalresultant fra jordtrykk p.g.a. egenlast jord
P_{Ap}	kN/m	horisontalresultant fra jordtrykk p.g.a. nyttelast
P_{bolt}	kN/m	kraft i bolter
P_v	kN/m	vertikal lastresultant
P_H	kN/m	horisontal lastresultant
q_v	kN/m ²	vertikalt effektivt såletrykk
t_{vo}	m	veggtykkelse o.k. vegg
t_{vu}	m	veggtykkelse u.k. vegg
t_s	m	såletykkelse
v	°	vinkel i medvirkende fjellfigur
w	°	vinkel mellom sprekkeplan og horisontalplan

Litteratur

- Bieniawski, Z. T. (1984) Rock mechanics design in mining and tunneling, A.A. Balkema / Rotterdam / Boston.
- Barton, N. Lien, R. Lunde, J. (1974) Engineering classification of rock masses for design of tunnel support, Rock Mech. vol 6, pp. 189-236.
- Barton, N. (2002) Some new Q- values correlations to assist in site characterisation and tunnel design, I. J. Rock Mech. & Min. Sci.
- Hoek, E. (1994) Strength of rock masses, News Journal of ISRM
- Hoek, E. Carranza- Torres, C. Corkum, B. (2002) Hoek – Brown failure criterion- 2002 edition.