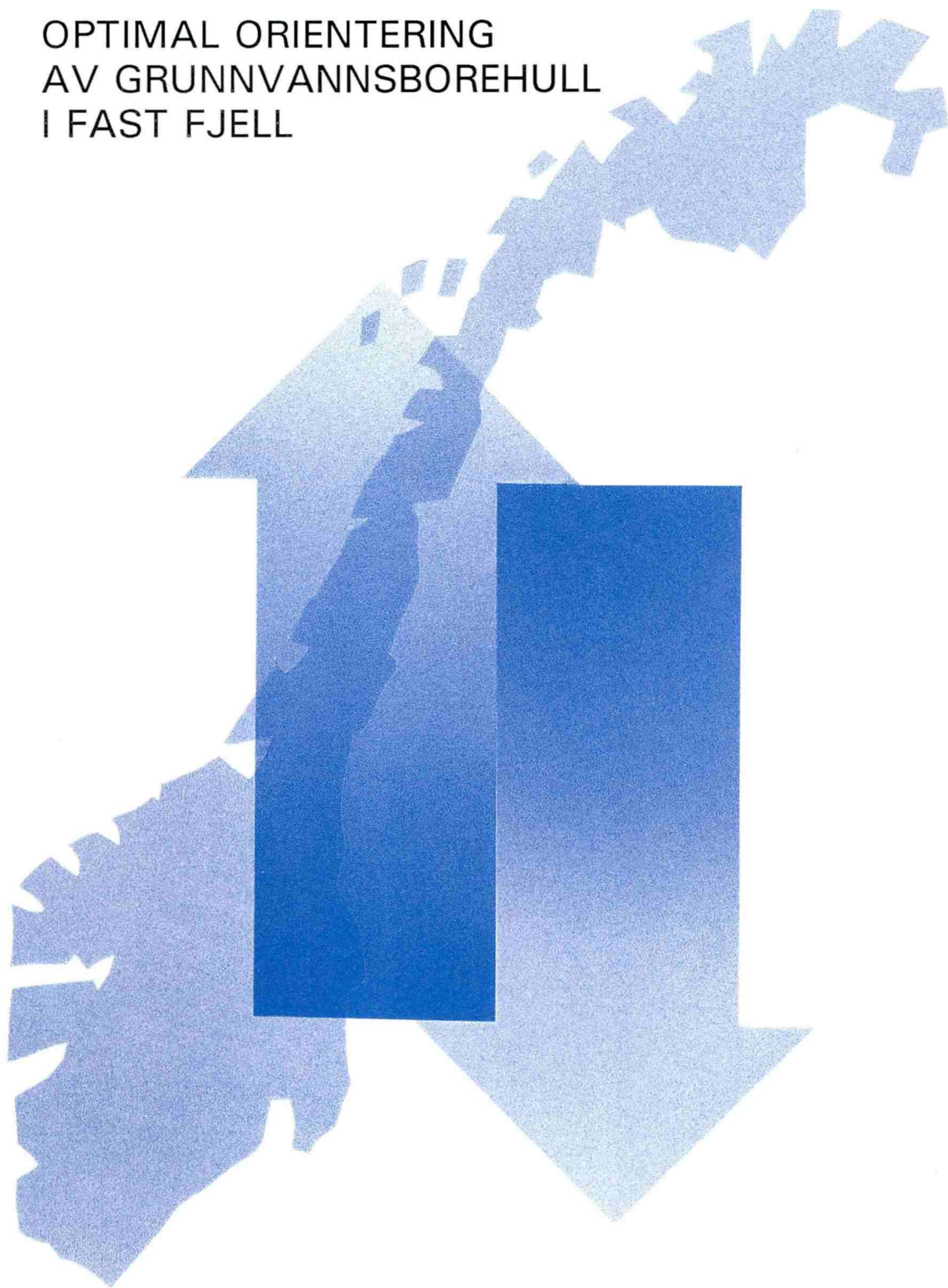




OPTIMAL ORIENTERING  
AV GRUNNVANNSBOREHULL  
I FAST FJELL



NGU Rapport 91.212

**OPTIMAL ORIENTERING  
AV GRUNNVANNSBOREHULL  
I FAST FJELL**

Rapport nr. 91.212		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Optimal orientering av grunnvannsborehull i fast fjell				
Forfatter: David Banks		Oppdragsgiver: NGU		
Fylke:		Kommune:		
Kartbladnavn (M=1:250.00)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 14	Pris: 34,-	
Feltarbeid utført:		Rapportdato: 11.11.91	Prosjektnr.: 63.2567.00	Seksjonssjef: GALT STORREP
<p><b>Sammendrag:</b></p> <p>Sannsynligheten for å treffe på en vannførende sprekk når man borer i fast fjell kan økes ved å bore et skrått hull med optimalt fall og retning. Rapporten beskriver hvordan man kan kalkulere hullets optimale orientering mht fall og retning for to vanlige sprekkesoner. Den diskuterer hvordan metoden kan benyttes i et mer generelt tilfelle. En finner at betydelige fordeler kan oppnås ved å bore med et stort avvik fra loddlinjen, i bergarter med godt utviklede, transmissive, vertikale eller sub-vertikale sprekker.</p>				
Emneord: Hydrogeologi		Grunnvannsbrønn		Bergrunn
Brønnboring		Sprekkesone		Fagrapport

## Sammendrag

Sannsynligheten for å treffe på en vannførende sprekk når man borer i fast fjell kan økes ved å bore et skrått hull med optimalt fall og retning. Rapporten beskriver hvordan man kan kalkulere hullets optimale orientering mht fall og retning for to vanlige sprekkemønstre. Den diskuterer hvordan metoden kan benyttes i et mer generelt tilfelle. En finner at betydelige fordeler kan oppnås ved å bore med et stort avvik fra loddlinjen, i bergarter med godt utviklede, transmissive, vertikale eller sub-vertikale sprekker.

## Innledning

Det er uten tvil en vanskelig oppgave å lokalisere et borehull i fast fjell mhp vannforsyning (spesielt i Norden der man sjelden finner særlig mektighet av permeabelt forvitret fjell - dvs saprolitt). Et positivt utfall avhenger av at man treffer på betydelig vannførende og kommuniserende sprekker under boring. Sprekkesonens vannføreevne avhenger av faktorer slik som mineral-fyllinger, tetting med leireminerale (Banks & Rohr-Torp, 1990; Banks et al 1992) og tektonisk stress-felt (Olsson, 1979; Selmer-Olsen, 1981; Carlsson & Christiansson, 1987). Betydelige ressurser kan bli brukt for å lokalisere sprekker og sprekkesoner som ser ut til å være egnet til grunnvannsutak (ofte med negativt resultat - f.eks. Rueslåtten et al, 1984 a,b), men utformingen og den kunstige utviklingen av hullet har hittil stort sett blitt undervurdert i Norge. Teknikker slik som hydraulisk trykking (Smith, 1988) og bruk av sprengstoff til å "utvikle" hullets vannføreevne blir nå likevel mer vanlige. Moderne borerigger har også kapasitet til å bore hull med stort avvik fra loddlinjen. Fornuftig valg av hullets orientering mht sprekkemønsteret vil tillate hullet å treffe på et maksimalt antall sprekker, altså optimalisere muligheten for en brukbar vannnytelse. Rapporten retter seg mot det sistnevnte aspektet.

### Fast fjell med én hovedsprekkeretning

På bart fjell, med liten overdekning, er det ofte forholdsvis lett å oppdage orienteringen av de ulike sprekkeretningene, også den gjennomsnittlige avstanden mellom sprekkeene i hver retning. Antall sprekker (N) som et borehull vil treffe i en fast-fjell-akvifer med kun én godt utviklet sprekkeretning, gis av den følgende ligningen:

$$N = \frac{D \cdot \sin \beta}{a} \quad (1)$$

hvor: D = hullets lengde

a = gjennomsnittlig avstand mellom sprekkeene

$\beta$  = vinkel mellom hullet og sprekkeoverflaten (se fig. 1)

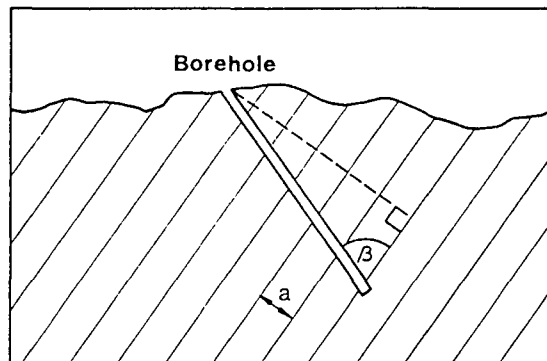


Fig.1 : Et borehull i oppsprukket fjell

Hullets optimale vinkel vil være vinkelrett på sprekkeoverflaten (dvs  $\beta = 90^\circ$ ), for å maksimalisere verdien N. Hvis de viktigste vannførende sprekker i en akvifer synes å være horisontale avlastningssprekker, bør derfor hullet bores vertikalt.

### Tre ortogonale sprekkeretninger

Dette er et spesielt vanlig sprekkemønster i flere massive typer fast fjell uten foliasjon (f.eks. granitter). Tre sprekkegrupper (A, B & C) er utviklet vinkelrett på hverandre; to vertikale, og én horisontal. Hvis disse sprekkegruppene har gjennomsnittlige spekkeavstander henholdsvis  $a$ ,  $b$  &  $c$  (fig.2), vil  $N$  sprekker treffes av et borehull med lengde  $D$ , avvik fra vertikal  $\theta$ , og retning (i det horisontale planet)  $\phi$  fra "A" sprekkegruppen.

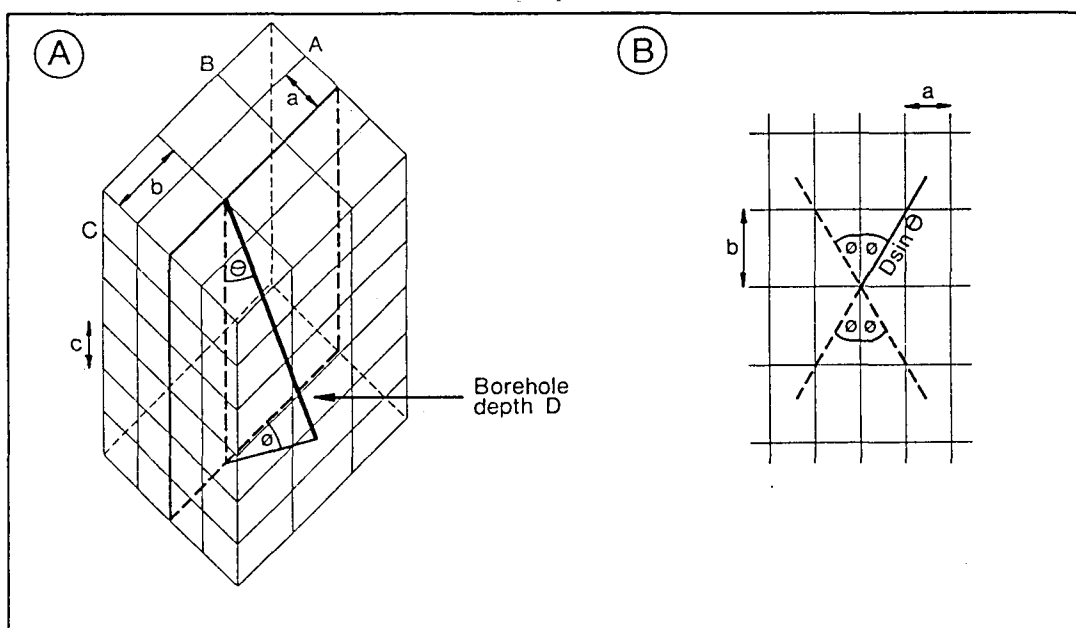


Fig.2 : Et borhull i en bergart med tre ortogonale sprekkeretninger: A) = blokk-diagram, B) = projeksjon i C-overflaten.

Hvor: 
$$N = N_C + N_B + N_A \quad (2)$$

og  $N_A$  = antall sprekker truffet som hører til "A"-sprekkegruppen, osv.

Dette blir:

$$N = \frac{D \cdot \cos \theta}{c} + \frac{D \cdot \sin \theta \cdot \cos \phi}{b} + \frac{D \cdot \sin \theta \cdot \sin \phi}{a} \quad (3)$$

hvor både  $\Theta$  and  $\phi$  ligger mellom  $0^\circ$  and  $90^\circ$  (slik at alle N-verdier holdes positive). Derfor:

$$\frac{\delta N}{\delta \phi} = D. \sin \Theta. \left[ \frac{\cos \phi}{a} - \frac{\sin \phi}{b} \right] \quad (4)$$

For å optimalisere hullets retning, slik at N blir et maksimum (dvs et maksimalt antall sprekker treffes), må  $\delta N / \delta \phi$  gjøres likt 0, som gir:

$$\tan \phi_{\text{opt}} = b/a \quad (5)$$

Derfor er  $\phi_{\text{opt}}$  uavhengig av  $\Theta$ , og kan kalkuleres.  $\phi_{\text{opt}}$  kan deretter brukes i ligning (3), og den resulterende ligningen kan differensieres mht  $\Theta$ :

$$\frac{\delta N}{\delta \Theta} = D. \left[ \frac{-\sin \Theta}{c} + \cos \Theta. \left( \frac{\cos \phi_{\text{opt}}}{b} + \frac{\sin \phi_{\text{opt}}}{a} \right) \right] \quad (6)$$

Gjør man denne  $\frac{\delta N}{\delta \Theta}$  likt 0, blir den optimale  $\Theta$ -verdien:

$$\tan \Theta_{\text{opt}} = c. \left[ \frac{a. \cos \phi_{\text{opt}} + b. \sin \phi_{\text{opt}}}{a.b} \right] \quad (7)$$

På grunn av sprekke mønsterets symmetri er det fire mulige optimale retninger for hullet, (inn mot hver av de fire "kvadranter" av sprekke mønsteret) som alle har en vinkel  $\phi_{\text{opt}}$  med sprekkeretningen "A" (fig.2).

I det spesielle tilfellet at  $a = b$  blir den optimale retning  $\phi_{\text{opt}} = 45^\circ$ . Hvis, i tillegg,  $c = a = b$ :

$$\tan \Theta_{\text{opt}} = \cos 45^\circ + \sin 45^\circ \quad (8)$$

som gir  $\Theta_{\text{opt}} = 54.7^\circ$  (se fig.3). Et optimalt orientert hull vil treffe 73 % mere sprekker enn et vertikalt hull.

Hvis kun to av de tre sprekkegruppene (f.eks. A og B) er tilstede (eller vannførende), kan man simulere dette ved å la  $c$  gå mot  $\infty$ . Dvs.  $\tan \theta_{\text{opt}} \rightarrow \infty$ , og  $\theta_{\text{opt}} \rightarrow 90^\circ$ , mens  $\tan \phi_{\text{opt}} = b/a$ .

Resultatene innbærer at hvis de vertikale sprekkeene er nokså hyppige og/eller mere vannførende i forhold til de horisontale, kan betydelige fordeler vinnes ved å bore med et stort avvik fra vertikalt.

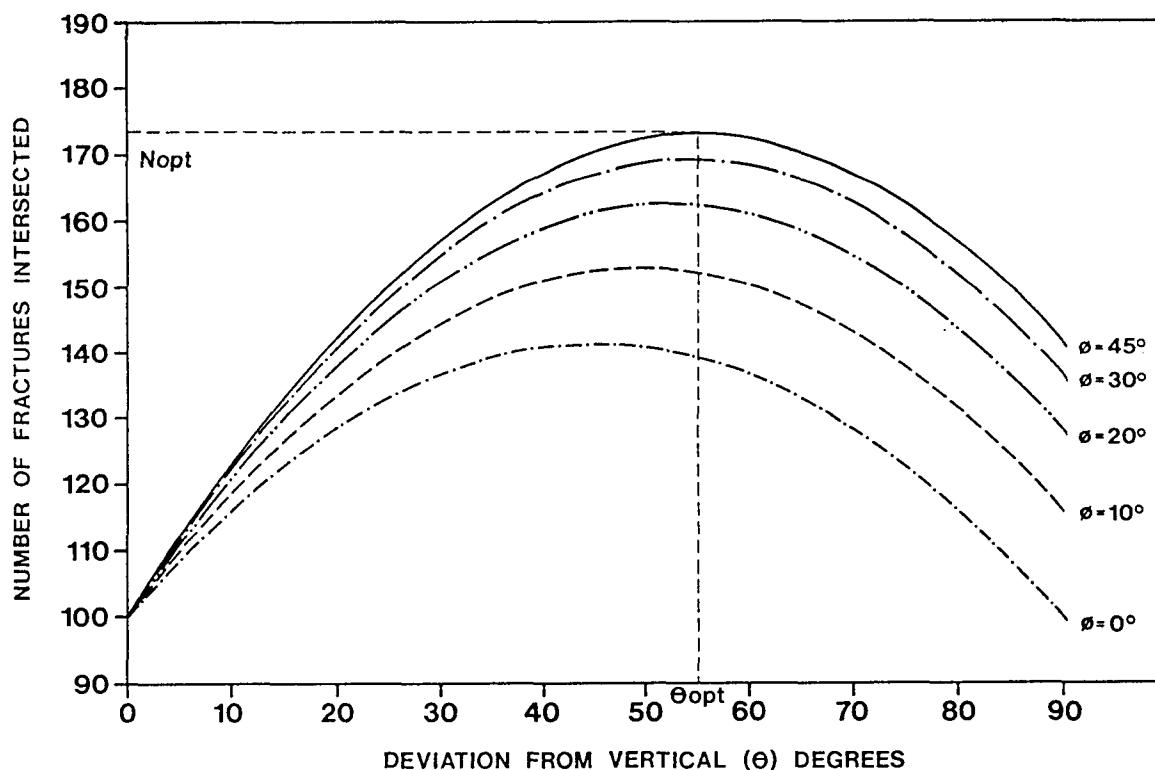


Fig.3 : Antall sprekker truffet av et 100m-dypt hull i forhold til hullets orientering i en oppsprukket bergart hvor  $a = b = c = 1$  m.

#### Tensjons-, skjær- og avlastningssprekker

Et annet vanlig sprekkemønster (i biaksial stress-teori iallefall, kanskje ikke i praksis i sin rene form !) er tensjonsprekken (T) og to symmetriske skjærsprekker ( $S_1$  &  $S_2$ ) som danner en vinkel  $\alpha$  (typisk mellom  $30^\circ$  &  $45^\circ$ ), med



tensjonsprekken. Man kan også inkludere de vanlige, horisontale, avlastningsprekker (C). Dette gir i alt fire sprekkegrupper (se fig. 4).

Antall sprekker (N) som et borehull, med lengde D og avvik  $\theta$  fra vertikalt, treffer gis ved:

$$N = N_C + N_{S1} + N_T + N_{S2} \quad (9)$$

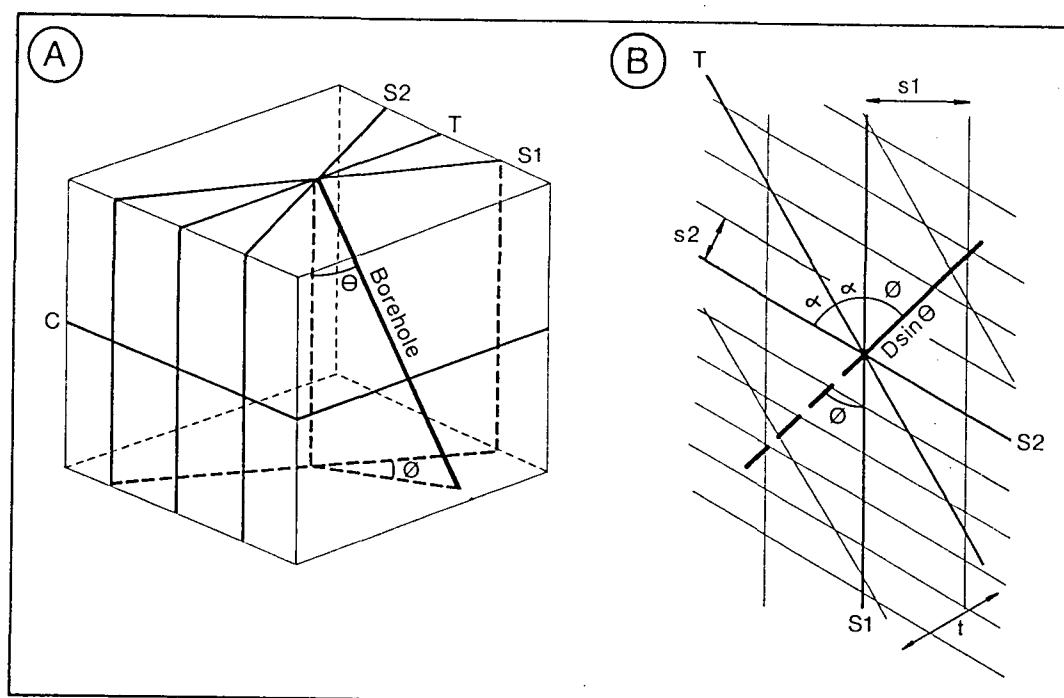


Fig.4 : : Et borhull i en bergart med tensjons-, skjær- og avlastningsprekkeretninger: A) = blokk-diagram, B) = projeksjon i C-overflaten.

Ligningen blir:

$$N = \frac{D \cdot \cos \theta}{c} + \frac{D \cdot \sin \theta \cdot \sin \phi}{s1} + \frac{D \cdot \sin \theta \cdot \cos((90^\circ - \phi) - \alpha)}{t} + \frac{D \cdot \sin \theta \cdot \cos((90^\circ - \phi) - 2\alpha)}{s2} \quad (10)$$

hvor:  $s2 < s1$ ;  $\alpha$  ligger mellom  $0^\circ$  og  $45^\circ$ ,  $\phi$  og  $\theta$  ligger mellom  $0^\circ$  og  $90^\circ$ ; og hvor  $\phi$  er hullets retning med hensyn til skjærsprekkegruppen ( $S_1$ ) med størst gjennomsnittlig sprekkeavstand, i den motsatte retningen til den bedre

utviklede skjærsprekkegruppen  $S_2$ . Ved å tenke litt vil man se at hullets to (pga rotasjonssymmetri) optimale retninger vil ligge i kvadrantene ved siden av kvadrantene som inneholder traceen av den bedre utviklede sprekkegruppen  $S_2$ . Disse betingelsene sikrer at alle N-verdier i ligning (9) alltid er positive.

Ligningen (10) blir:

$$N = \frac{D \cdot \cos\theta}{c} + \frac{D \cdot \sin\theta \cdot \sin\phi}{s_1} + \frac{D \cdot \sin\theta \cdot \sin(90^\circ - \phi) \cdot \sin\alpha}{t} + \quad (11)$$

$$\frac{D \cdot \sin\theta \cdot \cos(90^\circ - \phi) \cdot \cos\alpha}{t} + \frac{D \cdot \sin\theta \cdot \sin(90^\circ - \phi) \cdot \sin 2\alpha}{s_2} + \frac{D \cdot \sin\theta \cdot \cos(90^\circ - \phi) \cdot \cos 2\alpha}{s_2}$$

som deretter blir:

$$N = \frac{D \cdot \cos\theta}{c} + \frac{D \cdot \sin\theta \cdot \sin\phi}{s_1} + \frac{D \cdot \sin\theta \cdot \cos\phi \cdot \sin\alpha}{t} + \quad (12)$$

$$\frac{D \cdot \sin\theta \cdot \sin\phi \cdot \cos\alpha}{t} + \frac{D \cdot \sin\theta \cdot \cos\phi \cdot \sin 2\alpha}{s_2} + \frac{D \cdot \sin\theta \cdot \sin\phi \cdot \cos 2\alpha}{s_2}$$

Derfor:

$$\frac{\delta N}{\delta \phi} = D \cdot \sin\theta \cdot \left[ \frac{\cos\phi}{s_1} - \frac{\sin\phi \cdot \sin\alpha}{t} + \frac{\cos\phi \cdot \cos\alpha}{t} - \frac{\sin\phi \cdot \sin 2\alpha}{s_2} + \frac{\cos\phi \cdot \cos 2\alpha}{s_2} \right] \quad (13)$$

Setter man  $\frac{\delta N}{\delta \theta} = 0$ , får man:

$$\sin\phi_{\text{opt}} \left[ \frac{\sin\alpha}{t} + \frac{\sin 2\alpha}{s_2} \right] = \cos\phi_{\text{opt}} \left[ \frac{1}{s_1} + \frac{\cos\alpha}{t} + \frac{\cos 2\alpha}{s_2} \right] \quad (14)$$

Derfor:

$$\tan\phi_{\text{opt}} = \frac{t \cdot s_2 + s_1 \cdot s_2 \cdot \cos\alpha + s_1 \cdot t \cdot \cos 2\alpha}{s_1 \cdot s_2 \cdot \sin\alpha + s_1 \cdot t \cdot \sin 2\alpha} \quad (15)$$

Bruker man denne  $\tan\phi_{\text{opt}}$ -verdien i ligning (12), og differensierer man med hensyn til  $\theta$ , får man:

$$\frac{\delta N}{\delta \theta} = D. \left[ \frac{-\sin \theta}{c} + \frac{\cos \theta \cdot \sin \phi_{\text{opt}}}{s_1} + \frac{\cos \theta \cdot \cos \phi_{\text{opt}} \cdot \sin \alpha}{t} + \right. \quad (16)$$

$$\left. \frac{\cos \theta \cdot \sin \phi_{\text{opt}} \cdot \cos \alpha}{t} + \frac{\cos \theta \cdot \cos \phi_{\text{opt}} \cdot \sin 2\alpha}{s_2} + \frac{\cos \theta \cdot \sin \phi_{\text{opt}} \cdot \cos 2\alpha}{s_2} \right]$$

Setter man  $\frac{\delta N}{\delta \theta} = 0$ , får man:

$$\frac{\sin \theta_{\text{opt}}}{c} = \cos \theta_{\text{opt}} \cdot \left[ \sin \phi_{\text{opt}} \cdot \left( \frac{1}{s_1} + \frac{\cos \alpha}{t} + \frac{\cos 2\alpha}{s_2} \right) \right. \quad (17)$$

$$\left. + \cos \phi_{\text{opt}} \cdot \left( \frac{\sin \alpha}{t} + \frac{\sin 2\alpha}{s_2} \right) \right]$$

Derfor:

$$\tan \theta_{\text{opt}} = c \cdot \sin \phi_{\text{opt}} \cdot \left[ \frac{1}{s_1} + \frac{\cos \alpha}{t} + \frac{\cos 2\alpha}{s_2} \right] \quad (18)$$

$$+ c \cdot \cos \phi_{\text{opt}} \cdot \left[ \frac{\sin \alpha}{t} + \frac{\sin 2\alpha}{s_2} \right]$$

Hvis de to skjærsprekkegrupper er like godt utviklet, dvs.  $s_1 = s_2 = s$  :

$$\tan \phi_{\text{opt}} = \frac{s^2 \cdot \cos \alpha + s \cdot t \cdot (1 + \cos 2\alpha)}{s^2 \cdot \sin \alpha + s \cdot t \cdot \sin 2\alpha} \quad (19)$$

$$= \frac{s \cdot \cos \alpha + t \cdot (1 + \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha)}{s \cdot \sin \alpha + t \cdot \sin 2\alpha} \quad (20)$$

$$= \frac{2t \cdot \cos^2 \alpha + s \cdot \cos \alpha}{2t \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + s \cdot \sin \alpha} \quad (21)$$

$$= \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = \frac{1}{\tan \alpha} = \tan(90^\circ - \alpha) \quad (22)$$

Dette viser at hvis begge skjærsprekkegrupper ser ut til å være like godt utviklet i en fast fjell-akvifer (dvs.  $s_1 = s_2$ ), er hullets optimale retning perpendikulær med flaten som halverer vinkelen  $2\alpha$  mellom skjær-sprekkene; dvs. perpendikulær mot tensjonsprekkene.

I det spesielle tilfellet at  $t = s_1 = s_2 = c$ , og  $\alpha = 30^\circ$  ;

$$\phi_{\text{opt}} = 90^\circ - \alpha = 60^\circ \quad (23)$$

$$\tan\theta_{opt} = \sin 60^\circ \cdot (1 + \cos 30^\circ + \cos 60^\circ) + \cos 60^\circ \cdot (\sin 30^\circ + \sin 60^\circ) \quad (24)$$

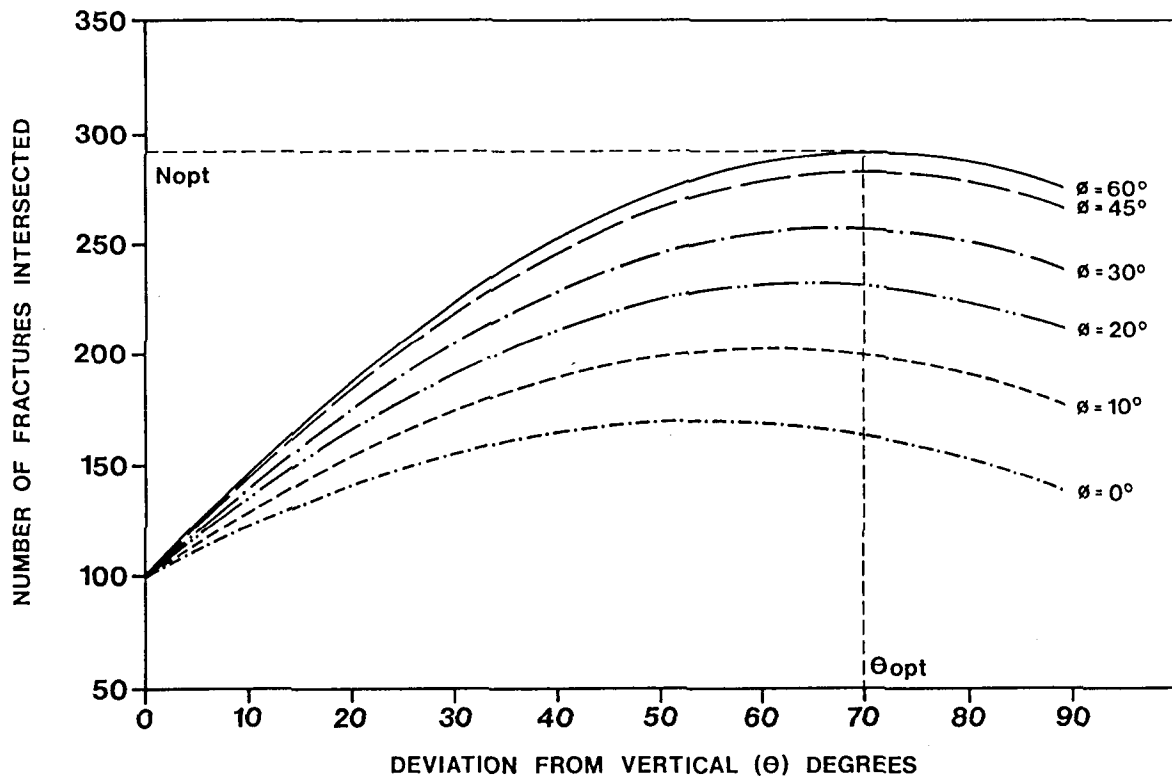


Fig.5 : Antall sprekker som krysses av et 100m-dypt hull, i forhold til hullets orientering i en oppsprukket bergart hvor  $t = s_1 = s_2 = c = 1$  m, og  $\alpha = 30^\circ$ .

Derfor er  $\theta_{opt} = 69.9^\circ$  (se fig.5), og den optimale orienteringen treffer 2,9 ganger mere sprekker enn et vertikalt hull.

Dette viser igjen at borehull med et betydelig avvik fra vertikalen kan gi store fordeler når det gjelder antall sprekker som krysses.

### Den generelle løsningen

Der ser ikke ut til å være noen grunn til at denne metoden kan ikke anvendes på hvilket som helst sprekke mønster, som består av sprekkegrupper A, B, C, D osv, hvor:

$$\begin{aligned}
 N_{\text{total}} &= N_A + N_B + N_C + N_D + \dots \\
 &= \frac{D \cdot \sin \beta_A}{a} + \frac{D \cdot \sin \beta_B}{b} + \dots
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

hvor  $N_{\text{total}}$  = antall sprekker truffet av et borehull

$D$  = hullets lengde

$N_A$  = antall sprekker truffet av sprekkegruppe A

$\beta_A$  = vinkel mellom hullet og sprekkeflaten til sprekkegruppe A (se fig.1)

$a$  = gjennomsnittlig avstand mellom sprekke i gruppe A

Løsningen til ligningen for sprekke mønstre med én eller to sprekkeretninger er ganske lett. Hvis tre eller mer sprekkeretninger er tilstede kan ligningen løses uten store problemer hvis alle sprekker er enten horisontale eller vertikale (i så fall er den optimale retning,  $\phi_{\text{opt}}$ , uavhengig av  $\Theta$ ). Virkelige sprekke mønstre kan ofte svare til en slik antakelse, men i mange tilfeller vil dette ikke være sant, og ligningens (25) løsning vil være langt fra triviell. I noen tilfeller kan problemet forenkles ved å velge en annerledes vinkel-konvensjon (i stedet for fall og retning, dvs. en annen "referanseramme") slik at den optimale verdien av én av de angulære koordinatene er uavhengig av den andre.

Man må likevel legge merke til at kun et mindretall av alle sprekker i virkeligheten vil være vannførende. Innenfor disse vil vannstrømning ofte være begrenset til en spesifikk "kanal" i sprekkeflaten. Derfor er  $N_{\text{total}}$

ikke det antall vannførende sprekker som treffes.  $N_{total}$  er bare antall sprekker, både vannførende og utransmissive. Siden man likevel ikke kan bestemme hvilke av sprekkegruppene som er vannførende på forhånd, vil sannsynligheten for å treffe en vannførende sprekk øke i forhold til antall sprekker truffet. Det oppnås derfor store fordeler ved å beregne vinklene  $\theta_{opt}$  og  $\phi_{opt}$  for å bore en brønn.

### Transmissivitetsfaktor

Hvis man likevel har informasjon som tilsier at sprekker med én retning har, i gjennomsnitt, en større sjanse til å være vannførende enn sprekker med andre retninger, kan et transmissivitetsfaktor betraktes i ligning (25). Faktorer slik som mineral-gjenfylling eller tektonisk stress kan gi ulik påvirkning på vanngiverevne for de ulike sprekkegrupper. Det er derfor behov for å modifisere ligning (25) slik at sprekker med høyere transmissivitet gis større matematisk vekt. Fordi strømming i en sprekk står i direkte forhold til dens transmissivitet (for en bestemt hydraulisk gradient), kan man anta at en økning i transmissiviteten ved et faktor  $T_A$  blant sprekkegruppene i sprekkegruppe A er akkurat det samme som å minke sprekkenes gjennomsnittlige avstand ved et faktor  $T_A$ . Derfor blir ligning (25):

$$T_{total} = \frac{T_A \cdot D \cdot \sin\beta_A}{a} + \frac{T_B \cdot D \cdot \sin\beta_B}{b} + \dots \quad (26)$$

Hvor  $T_{total}$  = antall "sprekketransmissivitet"-enheter truffet av borehullet. Som et eksempel kan man ta et ortogonalt sprekkemønster hvor den horisontale sprekkegruppen er i gjennomsnitt fire ganger mer transmissive enn A-gruppen; og B-gruppen er to ganger mer permeabel enn A-gruppen. Ligning (3) blir da:

$$T_{total} = \frac{4 \cdot D \cdot \cos\theta}{c} + \frac{2 \cdot D \cdot \sin\theta \cdot \cos\phi}{b} + \frac{D \cdot \sin\theta \cdot \sin\phi}{a} \quad (27)$$

dette gir:

$$\tan\phi_{opt} = \frac{b}{2a} \quad (28)$$

og:

$$\tan\theta_{\text{opt}} = \frac{2 \cdot c \cdot a \cdot \cos\phi + c \cdot b \cdot \sin\phi}{4 \cdot a \cdot b} \quad (29)$$

### Problemer

Rapporten har handlet om en analytisk metode for å analysere den optimale orienteringen av et borehull, slik at det treffer mest mulig sprekker. I virkeligheten er det sjelden at man kan måle/identifisere avstander mellom sprekker i gruppe, med nøyaktigheten som denne analytiske metoden krever. Likevel gir arbeidet noe innsikt i viktigheten av å bore med rett vinkel mot de mest transmissive sprekkeretningen, og de betydelige fordelene som kan oppnås ved å bore skråhull mht antall sprekker som krysses.

Skråtte hull kan likevel gi problemer, bl.a.:

- a) mulige stabilitetsproblemer
- b) begrenset muligheter for senkning av vannstanden i hull med et betydelig avvik fra loddrettlinjen.

Mht punkt b) vil et hull boret 100 m med et fall på 45° nå et vertikalt dyp av 70 m. I forholdene som er illustrert i figs. 3 & 5, vil et slikt hull treffe henholdsvis 1,7 og 2,6 ganger så mange sprekker som et vertikalt hull, ved å miste bare 30 % av sitt potensiale for grunnvannstandssenkning.

### Konklusjon

Det viser seg at den optimale orienteringen (mht antall sprekker som krysses) av en borebrønn i en oppsprukket fast-fjell-akvifer kan beregnes ved hjelp av forholdsvis ukomplisert trigonometri og beregning for flere ulike vanlige sprekke mønstre. En "relativ-transmissivitet faktor" kan også inkluderes for å ta hensyn til det faktum at ulike sprekkeretninger ofte har ulike gjennomsnittlige vanngiverevner på grunn av mineral-fyllinger, spennings-felt osv.

Det viser seg at i forhold hvor vertikale, eller steile, sprekker er godt utviklet i forhold til horisontale sprekker, kan betydelige fordeler realiseres ved å bore hullet med et stort avvik fra vertikalen, og en retning som er tilnærmet rettvinklet mot den mest vannførende sprekkegruppen.

#### Referanser:

BANKS, D., SOLBJØRG, M.L. & ROHR-TORP E. 1992. Permeability of fracture zones in a Precambrian granite. Akseptert i Quarterly Journal of Engineering Geology, London. 1992.

CARLSSON, A. & CHRISTIANSSON, R. 1987. Geology and tectonics at Forsmark, Sweden. Vattenfall, FUD-Rapport No. U(B) 1987/42, Statens Vattenfallsverk, Älvkarleby, Sweden, 91 ss.

OLSSON, T. 1979. Hydraulic properties and groundwater balance in a soil-rock aquifer system in the Juktan area, northern Sweden. Striae, Vol 12, Uppsala, 72 ss.

SELMER-OLSEN, R. 1981. Betrakninger over store vannlekkasjer i dyptliggende tunneller. Section 21 In "Fjellsprengningsteknikk, bergmekanikk, geoteknikk, 1981", red. Heltzen A.M.; Nilsen, B. & Mowinckel A. Tapir forlag, Trondheim.

SMITH, S.A. 1988. Manual of hydraulic fracturing for well stimulation and geologic studies. National Water Well Association, Dublin, Ohio. 66 ss.

RUESLÅTTEN, H.S, VESLEGARD, G., LILE, O.B. & FJELD, O.K. 1984a. Vann i fjell prosjektet, undersøkelsesrapport. Norges tekniske høyskole, Trondheim, 1984.

RUESLÅTTEN, H.S, VESLEGARD, G., LILE, O.B. & FJELD, O.K. 1984b. Vann i fjell prosjektet, sluttrapport. Norges tekniske høyskole, Trondheim, 1984.