

|   |                          |   |                 |  |
|---|--------------------------|---|-----------------|--|
| Rapport nr. 94.058  |                          | ISSN 0800-3416  | Gradering: Åpen |  |
| Tittel:<br>Grunnvann i fjell - Hvalerprosjektet. Kapasitetsøkning ved hydraulisk trykking i borebrønner   |                          |   |                 |  |
| Forfatter:<br>Erik Rohr-Torp  |                          | Oppdragsgiver:<br>NGU/Norsk hydrologisk komité            |                 |  |
| Fylke:<br>Østfold   |                          | Kommune:<br>Hvaler  |                 |  |
| Kartbladnavn (M=1:250.000)<br>Oslo  |                          | Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)<br>1913 III Fredrikstad |                 |  |
| Forekomstens navn og koordinater:<br>Pulservik, Kirkeøy 6149 65509<br>Reffsgård, Kirkeøy 6161 65496   |                          | Sidetall: 13  | Pris: kr 35,00  |  |
| Feltarbeid utført:<br>1990 - 1994   | Rapportdato:<br>22.06.94 | Prosjektnr.:<br>63.2462.00                                | Ansvarlig:      |  |
| <p>Sammendrag:</p> <p>Fem borehull som i utgangspunktet ga lite eller ikke noe vann er hydraulisk trykket. Mansjettplassering (dyp) er valgt ut fra borehullsloggene. Tre av brønnene, der leire antas å tette sprekesonene ga moderat kapasitetsøkning. To brønner som sannsynligvis ikke har leire på sprekkene ga god - meget god kapasitetsøkning.</p> <p>Det synes som sprekeretningen parallelt med største spenning er gunstigst for boreresultatene, uten at det vites om "paleospenningene" eller "dagens spenninger" er avgjørende. Dette fordi de to har tilnærmet samme orientering på Kirkeøy.</p> |                          |   |                 |  |
| Emneord: Hydrogeologi   | Grunnvann                |   | Grunnvannsbrønn |  |
| Berggrunn   |                          |   |                 |  |
|   |                          |   | Fagrapport      |  |

## INNHold

|   |  |   |
|---|--|---|
| 1 | INNLEDNING . . . . .                               | 4 |
| 2 | FORSØKSFELTENE . . . . .                           | 4 |
| 3 | KAPASITETSØKNING VED HYDRAULISK TRYKKING . . . . . | 5 |
| 4 | KONKLUSJON . . . . .                               | 5 |
| 5 | LITTERATUR FRA PROSJEKTET . . . . .                | 6 |

## TABELL

Tabell 1. Resultater fra kapasitetsøkning ved hydraulisk trykking av borebrønner på Kirkeøy.

## FIGURER

Figur 1. Kart over Kirkeøy.

Figur 2. Kart over forsøksfelt Pulservik

Figur 3. Borehullslogg og mansjettplassering. Forsøksfelt Pulservik.

Figur 4. Orientering av dagens spenningsfelt og borhullsplasseringer i relasjon til sprekkesoner. Forsøksfelt Reffsgård.

Figur 5. Borehullslogg og mansjettplassering for de tre borebrønnene i Reffsgård.

## 1 INNLEDNING

Norges geologiske undersøkelse (NGU) har siden 1989 hatt et hydrogeologisk forskningsprosjekt gående på den nordlige delen av Kirkeøya i Hvaler kommune. Prosjektet har vært økonomisk støttet av Norsk hydrologisk komité og Norges allmennevitenskapelige forskningsråd (nå Norges forskningsråd).

Prosjektets hovedmål har vært å fremskaffe en bedre forståelse av grunnvannets opptreden i krystalline bergarter. Resultater fra prosjektet er beskrevet i en rekke publikasjoner og rapporter (se litteraturlisten). Området ble valgt på grunn av den homogene berggrunnen (Iddefjordsgranitt) og sprekkemønseret som (i første omgang) virket regelmessig.

En introduksjon til områdets geologi, tektonikk og hydrogeologi er gitt av D. Banks et al. i NGU Bulletin 422 (1992).

## 2 FORSØKSFELTENE

To områder er valgt som forsøksfelter, de betegnes Pulservik og Reffsgård. Beliggenheten fremgår av figur 1.

**Forsøksfelt Pulservik** ligger i et markert sprekketryss. Detaljene fremgår av Figur 2. De fire boringene som er ansatt her, er basert på antagelsen om at sprekkeene er dannet i et gammelt spenningsfelt med maks. kompresjon NNE - SSV. Borehull 1 og 2 er i tråd med dette ansatt mot skjærsprekker, hull 3 er rettet loddrett mot tensjonssprekkeretningen og hull 4 parallelt med denne, uten at klare tensjonssprekker sees i området. Teoretisk skal tensjonssprekker være mer åpne enn skjærsprekker.

Borehullene er angitt med dyp, fall og borlogg i Figur 3. Oppnådde kapasiteter var: hull 1 360 l/t, hull 2 - 65 l/t, hull 3 - 40 l/t og hull 4 - 22 l/t. Dette er lave kapasiteter som spesielt for hull 1 antas å skyldes tetting av sekundære leirmineraler. Det skal bemerkes at hull 3 ved boring hadde et betydelig vanninnslag på 24 m, men at denne åpne, antatte tensjonssprekken ikke kommuniserte med andre sprekkesystemer, og derfor representerte et svært begrenset reservoar. Hull 4 som var boret parallelt med tensjonssprekkeretningen, var som forventet nærmest "tørt". Muligheten til å treffe en tensjonssprekk var her meget liten.

**Forsøksfelt Reffsgård** ligger i et moderat oppsprukket område. Detaljene går frem av figur 4. De tre borehullene som er ansatt her er basert på dagens spenningsfelt i dette området.

Spenningsfeltets størrelse og retning ble målt av SINTEF Bergteknikk i to vertikale 30 m dype borehull med 76 mm diameter i feltet (SINTEF rapport STF36F93072, 1993).

Som det går frem av figur 4, er dagens spenningsfelt ikke mye forskjellig fra de gamle spenningsfeltet ved Pulservik (figur 2).

Borehull R1 er ansatt mot en tynn, steiltstående permisk diabasgang, borehull R2 er ansatt mot dagens laveste spenningsretning (antatt åpen sprekk) og borehull R3 mot en sprekkeseone som ut fra dagens spenningsfelt bør være lite permeabel. Hullene er skråboret: R1 - 73 m/fall 65°, R2 - 70 m/fall 69°, R3 - 70 m/fall 60°. Ingen av hullene ga vann ved boring. Geofysiske motstandsmålinger ble foretatt i borehullene. Borehullsloggene er vist i figur 5. Anomaliene som fremkommer er helt i overensstemmelse med loggen som ble ført ved boring og forventede sprekkeseoner målt fra overflaten.

### **3 KAPASITETSØKNING VED HYDRAULISK TRYKKING**

Høsten 1993 ble hullene 1 og 2 ved Pulservik og hullene R1, R2 og R3 ved Reffsgård hydraulisk trykket. Arbeidet ble utført av firmaet G. Meyer, 1850 MYSEN. Mansjettplasseringen fremgår av figur 3 og figur 5 samt tabell 1. Hullene ble prøvepumpet våren 1994. Resultatene er gitt i tabell 1. Prøvepumping ble foretatt i alle hullene med pumpeplassering 45 m under overflaten i en time, deretter ble pumpen senket til 65 m og ny pumping ble foretatt i en time. Vannet ble i begge nivåer senket til pumpeinntaket slik at prøvepumpingen registrerte tilrenningen på dette nivået. For alle brønnene bortsett fra R3, ble det oppnådd en stabil kapasitet i begge nivåer i løpet av pumpeperioden. R3 viste imidlertid en stadig avtagende kapasitet fra drøyt 800 l/t de første 20 minuttene på 45 m dyp, til 250 l/t ved slutten av pumpingen på 65 m dyp.

### **4 KONKLUSJON**

De fem borebrønnene som ble hydraulisk trykket hadde i utgangspunktet meget lave kapasiteter. Dette til tross for at de var boret mot klare sprekkeseoner. For brønnene 1, R1 og R3 synes de lave kapasitetene å skyldes gjentetting av sprekkeseonene av sekundære leirminerale. Dette sees i første rekke fra blågrått returvann ved trykking, og tilsvarende vann ved prøvepumpingen. Det gir seg også til kjenne ved at det ikke lar seg bygge opp trykk til mer enn ca 50 kg/cm<sup>2</sup>, og når det «sprekker» opp, skjer dette ved et langsomt trykkfall, bare på 10 - 15 kg/cm<sup>2</sup>. Brønn 1 som på forhånd hadde en kapasitet på 360 l/t, har såpass god hydraulisk kontakt ved hovedvanninnslaget på ca 62 m (figur 3), at trykket

ikke lot seg bygge tilstrekkelig opp. Hydraulisk trykking av borebrønnene med leirfylte sprekker har hatt en viss virkning, men gode kapasiteter er ikke oppnådd. De 250 timeliterne som er oppnådd i R3 antas å ville avta ytterligere ved lang tids pumping, antagelig ved at leira gradvis tetter igjen åpningen som ble skapt ved trykkingen.

Brønn 2 og R2 hadde begge svært lave kapasiteter, uten at dette synes å skyldes tetting av leire. Begge hadde relativt klart returvann og tilsvarende klart vann ved prøvepumpingen. Trykket bygget seg opp til 100 kg/cm<sup>2</sup> før sprekkesonene sprakk opp med et brått trykkfall på 55 og 60 kg/cm<sup>2</sup>. Det ble oppnådd god kapasitetsøkning i brønn 2, og meget god i R2. Brønn 2 er ansatt mot en skjærsprekke som i utgangspunktet kan forventes å være relativt tett, og R2 mot en sprekk med minimum trykk loddrett på sprekkesonen i dagens spenningsfelt. Mulighetene for å «åpne» sprekkeene ved hydraulisk trykking var derfor gode for begge disse brønnene som nå må betraktes som gode vannkilder.

Prosjektet har dessverre ikke gitt svar på om dagens spenningsfelt eller det gamle spenningsfeltet er avgjørende for om sprekker er åpne eller lukkede. Dette skyldes at de to har nesten samme orientering på Kirkeøy, med største hovedspenning orientert henholdsvis N 13° N ca 18°. De to boringene som er ansatt mot denne sprekkereetningen er R2, som klart har gitt best resultat av de ialt 7 borebrønnene som er ansatt i prosjektet, og brønn 3 som hadde et kraftig vanninnslag på 24 m, men som var uten betydning ved prøvepumpingen ettersom sprekkesonen ikke hadde hydraulisk forbindelse med andre sprekkesystemer.

## 5 LITTERATUR FRA PROSJEKTET

### Publikasjoner

- Banks, D. & Rohr-Torp, E. 1990: Hvaler-prosjektet - et intergrert studium av grunnvann fast fjell (The Hvaler-project - an intergrated study of groundwater in bedrock). *Geonytt*, 17, No. 4, 25-26 & 59, Dec. 1990.
- Banks, D. 1992: Optimal orientation of water supply boreholes in fractured aquifers. *Groundwater* 30-6, 895 - 900.
- Banks, D., Solbjørg, M. L. & Rohr-Torp, E. 1992: Permeability of fracture zones in a Precambrian granite. *Quart. J. Eng. Geol., London* 25, 377-388.
- Banks, D., Rohr-Torp, E. & Skarphagen, H. 1992: An intergrated study of a Precambrian granite aquifer, Hvaler, Southeastern Norway. *NGU Bulletin* 422, 47-66.
- Banks, D., Rohr-Torp, E. & Skarphagen, H. 1993: Groundwater resources in hard rock. Experiences from the Hvaler study, Southeastern Norway. In Banks, S. B. & Banks, D. (eds.): *Proc. XXIVth Congress Int. Assoc. Hydrogeol. «Hydrogeology of Hard Rocks»*, Ås, 28.06.93 - 02.07.93.

- Banks, D., Rohr-Torp, E. & Skarphagen, H. 1993: Groundwater chemistry in a Precambrian granite island aquifer, Hvaler, Southeastern Norway. *In Banks, S. B. & Banks, D. (eds.): Proc. XXIVth Congress Int. Assoc. Hydrogeol. «Hydrogeology of Hard Rocks», Ås, 28.06.93 - 02.07.93.*
- Banks, S. B. & Banks, D. 1993: Groundwater microbiology in Norwegian hard rock aquifers. *In Banks, S. B. & Banks, D. (eds.): Proc. XXIVth Congress Int. Assoc. Hydrogeol. «Hydrogeology of Hard Rocks», Ås, 28.06.93 - 02.07.93.*
- Banks, D., Rohr-Torp, E. & Skarphagen, H. 1994: Groundwater resources in hard rock - do any general rules exist? Experiences from the Hvaler study, Southeastern Norway. *Applied Hydrogeology No. 2.*

### Rapporter

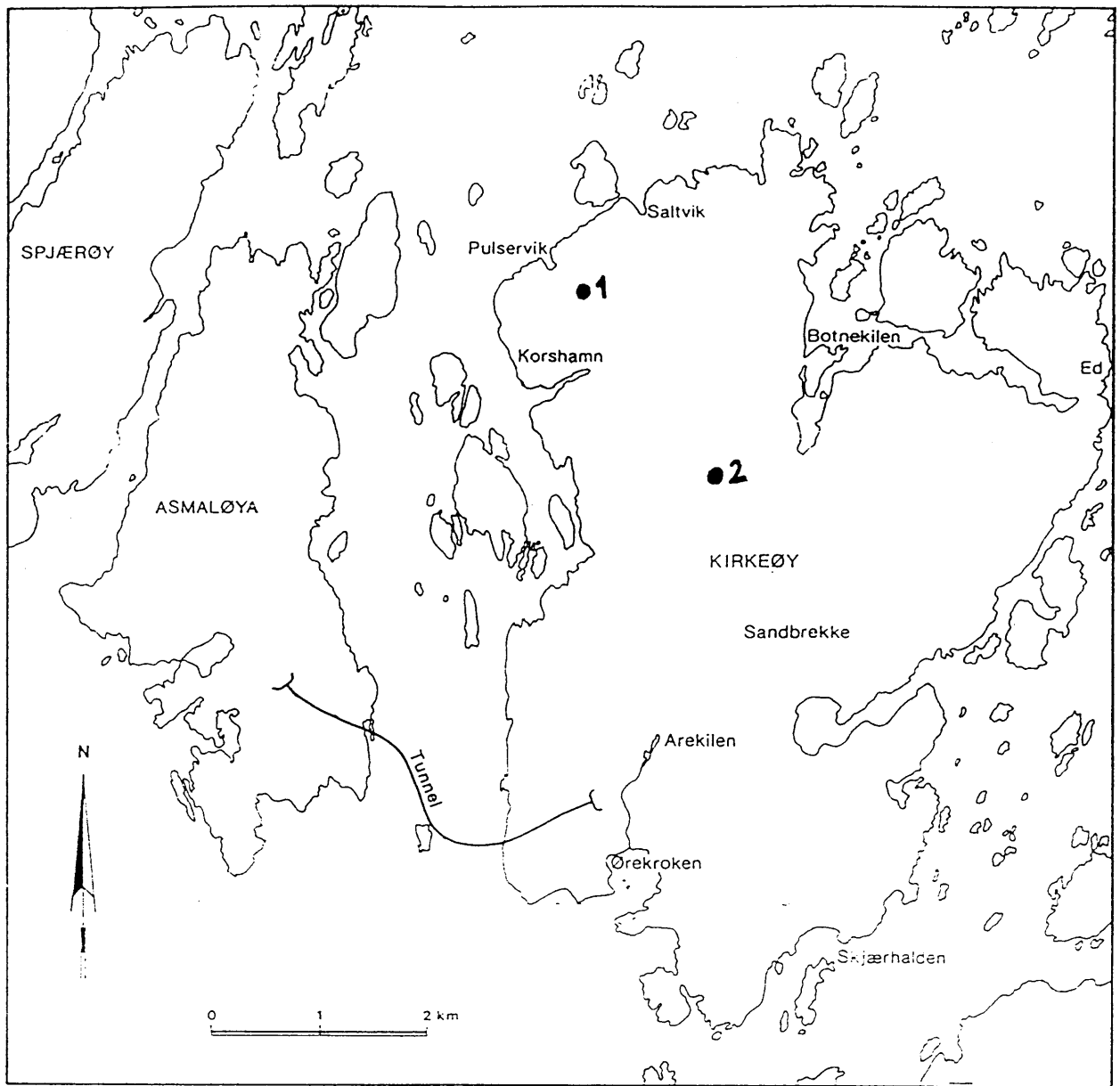
- Rohr-Torp, E. 1991: Grunnvann i krystallin berggrunn. Sluttrapport av forprosjektet. (Groundwater in crystalline bedrock. Final report from preliminary study). *NGU Rapport 91.189.*
- Banks, D. & Rohr-Torp, E. 1991: Hvaler-prosjekt - grunnvann fast fjell. Sprekkekartlegging: Iddefjordgranitten (Hvaler project - groundwater in bedrock. Fracture mapping in the Iddefjordgranite). *NGU Rapport 91.214.*
- Banks, D. Lauritsen, T., Rohr-Torp, E. & Skarphagen, H. 1991: Hvaler-prosjekt - grunnvann fast fjell. Boring og kapasitetstesting av fire hull ved Pulservik, Kirkeøy (Hvaler project - groundwater in bedrock. Drilling and capacity testing of four boreholes at Pulservik, Kirkeøy). *NGU Rapport 91.215.*
- Lauritsen, T. & Rønning, J. S. 1992: Geofysiske målinger over mulige vannførende sprekkesoner på Kjerkøy, Hvaler, Østfold. (Geophysical measurements over potentially water-bearing fracture zones on Kirkeøy, Hvaler, Østfold). *NGU Rapport 92.173.*
- Banks, D. Lauritsen, T., Rohr-Torp, E., Rønning, J. S. & Skarphagen, H. 1993: Groundwater in bedrock - Hvaler project. Investigations at Testsite Utengen. *NGU Rapport 93.117.*
- Banks, D. Lauritsen, T., Rohr-Torp, E., Rønning, J. S. & Skarphagen, H. 1993: Groundwater in bedrock - Hvaler project. Investigations at Testsite Reffsgård. *NGU Rapport 93.118.*
- Skarphagen, H., Banks, D., & Rohr-Torp, E. 1993: Groundwater in bedrock - Hvaler project. Investigations at Testsite Reffsgård, borehole 1. (Capacity enchainement using EDTA). *NGU Rapport 93.119.*
- Ruistuen, H. 1993: Fastlegging av spenningsfeltets størrelse og retning på Kirkeøy, Hvaler. *SINTEF Bergteknikk - rapport STF36F93072.*
- Rohr-Torp, E. 1994: Grunnvann i fjell - Hvalerprosjektet. Kapasitetsøkning ved hydraulisk trykking i borebrønner. *NGU Rapport 94.058.*

**Tabell 1. Resultater fra kapasitetsøkning ved hydraulisk trykking av borebrønner på Kirkeøy.**

| Hull nr. | Kap. før trykking liter/time | 45 m Kap. etter trykking liter/time | 65 m Kap. etter trykking liter/time | Bemerkninger til vannet                | Dyp til mansjett m | Maks. trykk kg/cm <sup>2</sup> | Min. trykk kg/cm <sup>2</sup> | Mengde av trykkevann liter | Bemerkninger til returvann | Kommentar                                |
|----------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|--|
| 1        | 360 *                        | 400                                 | 430                                 | Lukt av H <sub>2</sub> S<br>Leirholdig | 50                 | 60                             | 60                            | 4 500                      | Noe leirholdig             | Sprekker ikke opp. Mye returvann.        |
| 2        | 65                           | 430                                 | 490                                 | Ingen lukt,<br>relativt klart          | 36                 | 100                            | 40                            | 4 000                      | Relativt klart             | Brått trykkfall. Lite returvann.         |
| R1       | 0                            | 50                                  | 80                                  | Ingen lukt,<br>sterkt leirholdig       | 22                 | 50                             | 40                            | 4 000                      | Mye leire                  | Langsamt trykkfall.<br>Mye returvann.    |
| R2       | 0                            | 920                                 | 1 080                               | Ingen lukt,<br>relativt klart          | 45                 | 100                            | 45                            | 6 000                      | Relativt klart             | Brått trykkfall. Mye returvann.          |
| R3       | 0                            | 530                                 | 250                                 | Ingen lukt,<br>sterkt leirholdig       | 14,5 **            | 50                             | 35                            | 7 000                      | Mye brungrå leire          | Svært langsamt trykkfall. Mye returvann. |

\* Målt ved langtidsprøvpumping. Korttidspumping ga ca 400 l/t før hydraulisk trykking.

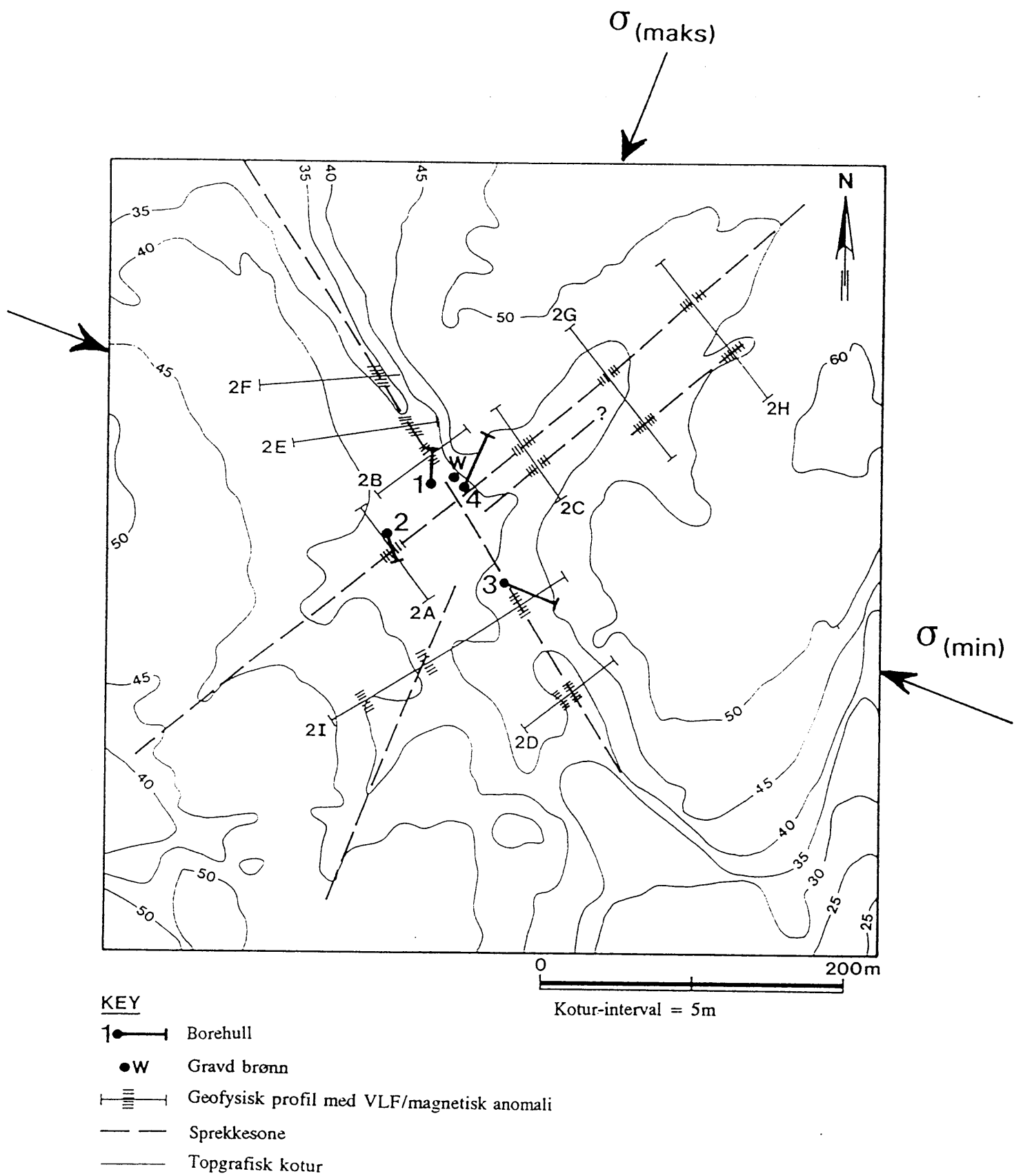
\*\* Mansjetten ble først satt 28,5 m ned i hullet. Da trykket steg, lekket vann forbi mansjetten og opp av hullet. Mansjetten ble hevet 2 m, det samme gjentok seg. Derpå ble mansjetten hevet til 14,5 m.



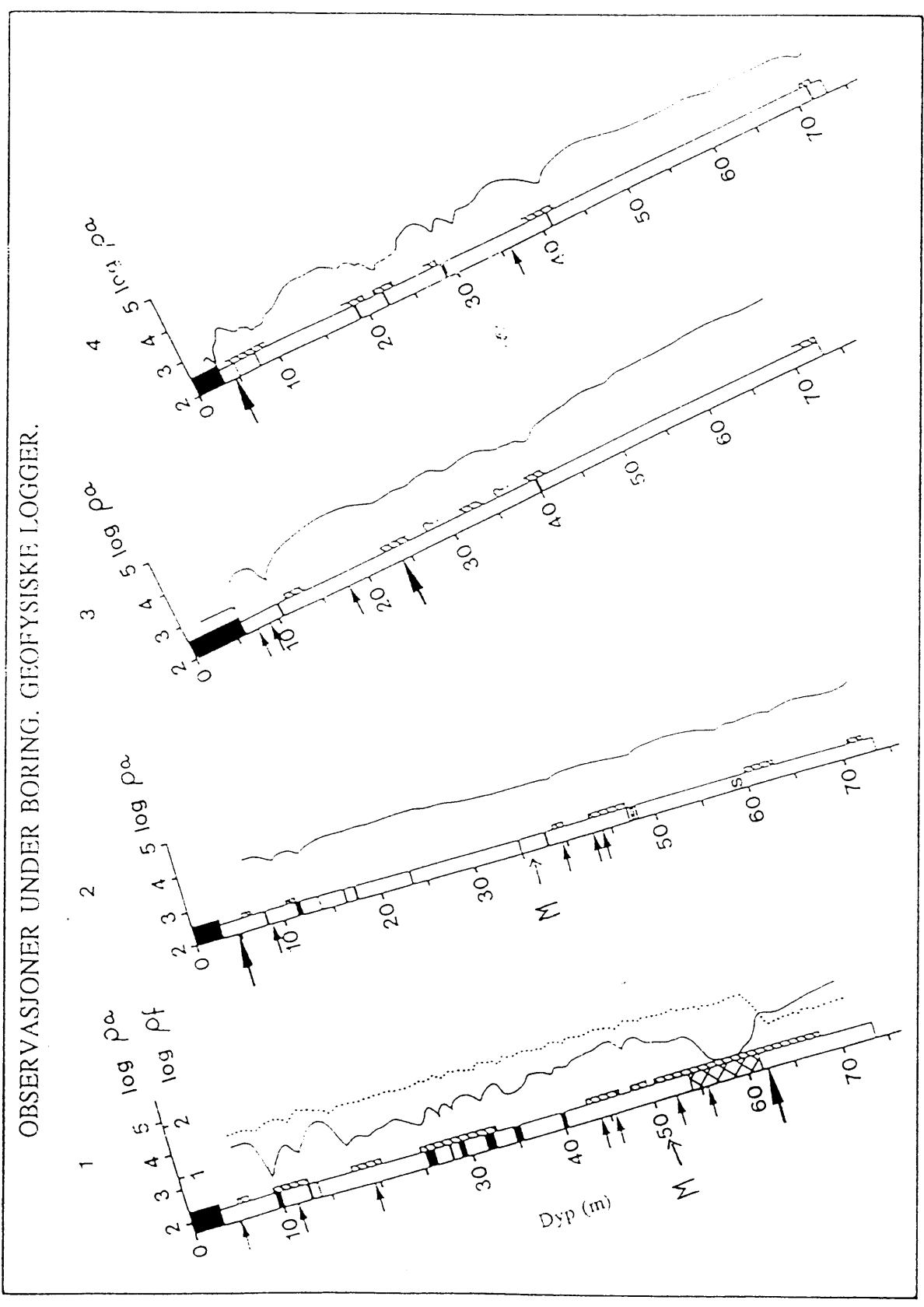
*Figur 1 Kart over Kirkeøy.*

*1 Forsøksfelt Pulservik. 2 Forsøksfelt Reffgård.*





Figur 2. Kart over forsøksfeltet Pulservik.



OBSERVASJONER UNDER BORING. GEOFYSISKE LOGGER.

KEY

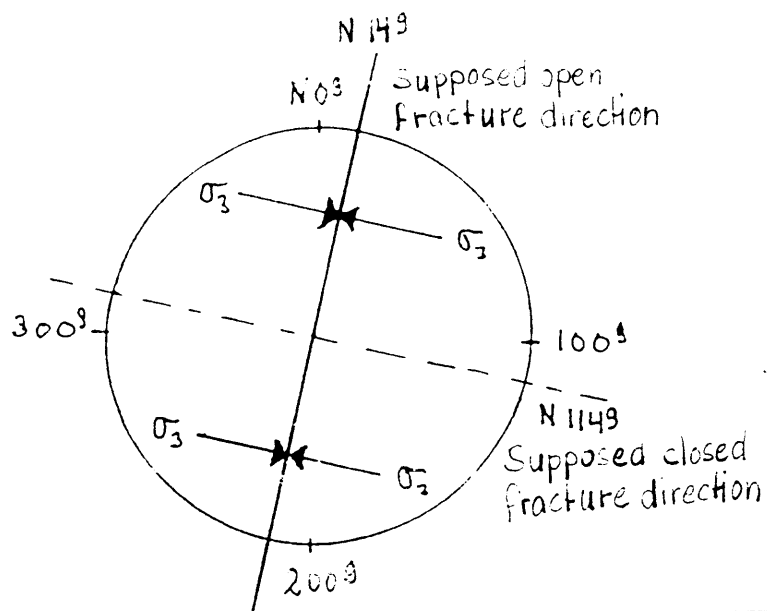
- Sprekk/løst fjell
- Rødtaktig kaks
- Fort boring
- Knusningsone

- Føringsstor
- Hovedvanninnslag
- Mindre vanninnslag
- w

Geofysiske logger

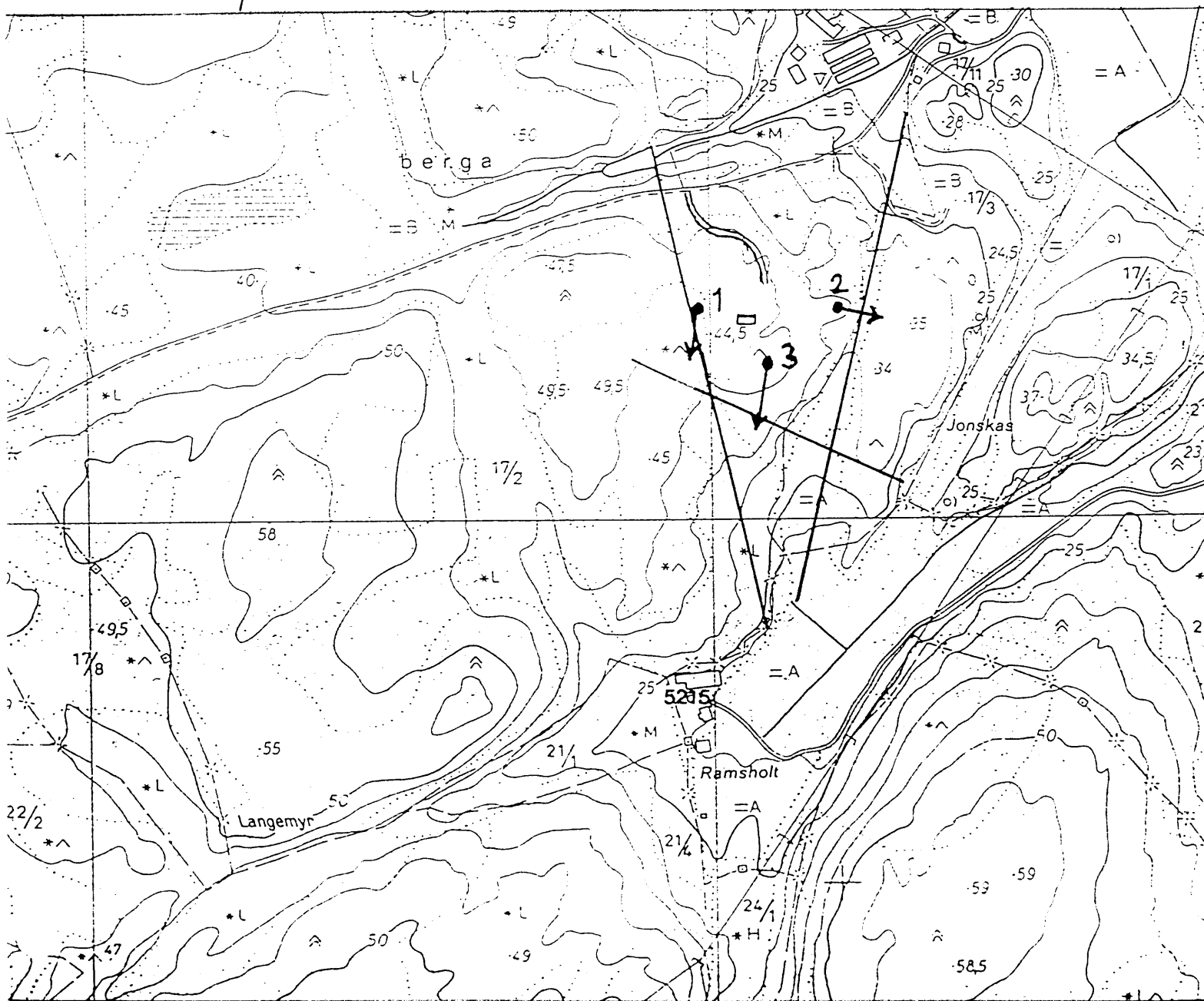
- Elektrisk motstand av bergart (16" elektroder) ohm-m
- Elektrisk motstand av vannet ohm-m
- Mansjettplassing ved hydraulisk trykking

Figur 3. Borhullslogg og mansjettplassing . Forsøksfelt Pulservik.

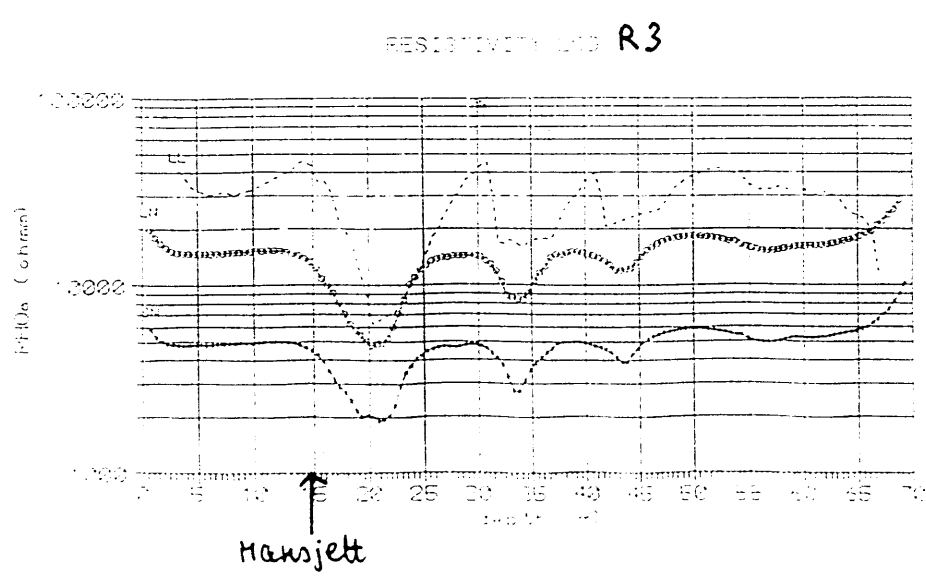
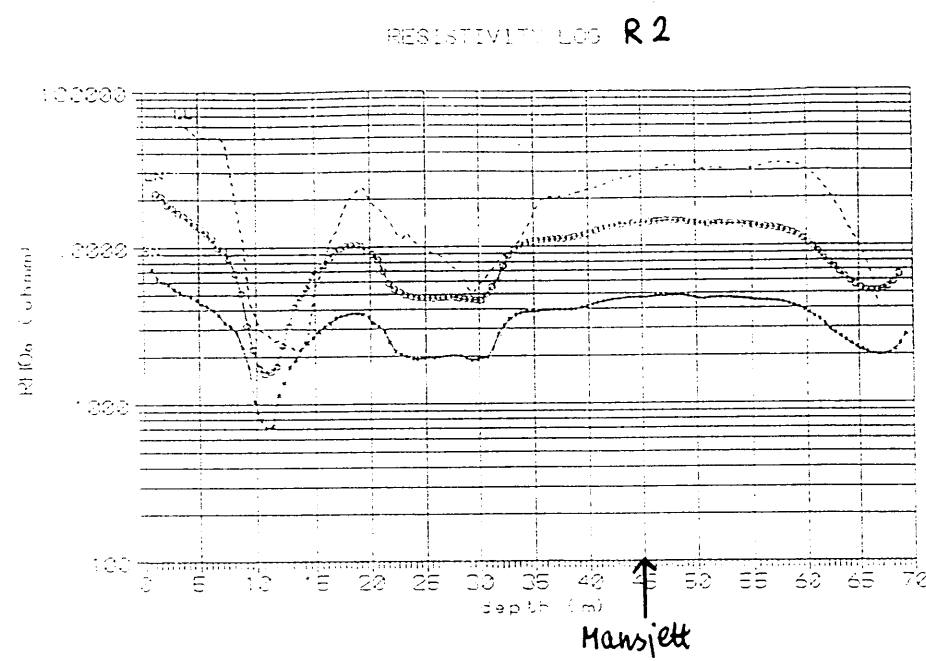
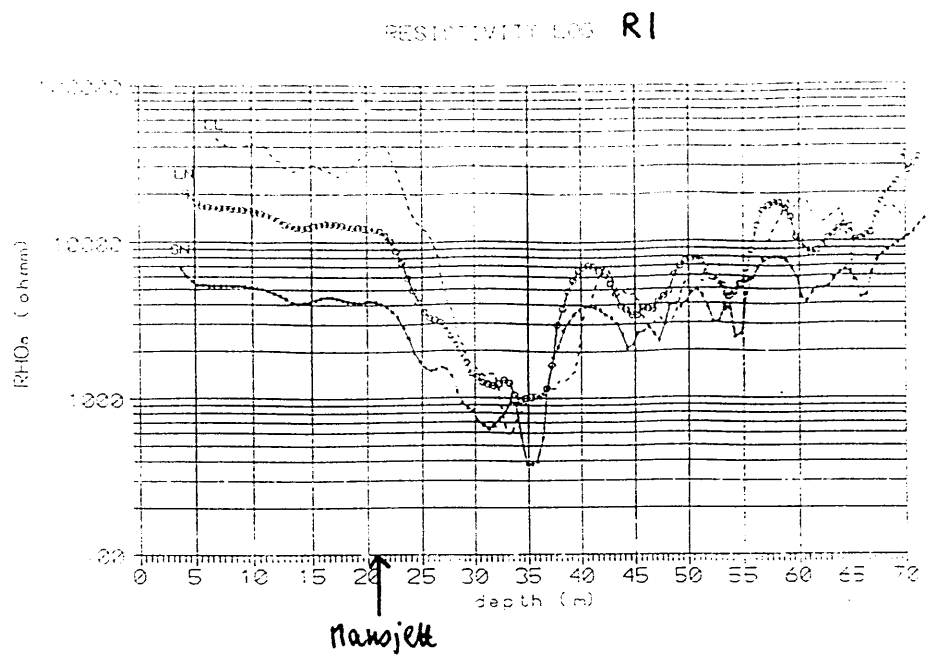


PRESENT STRESS

Orientation of  $\sigma_3$  (minimum principal compressional stress) and theoretically open - and closed fracture directions.



Figur 4 Orientering av dagens spenningsfelt og borehullsplasseringer i relasjon til sprekkesoner. Forsøksfelt Refsgård.



Figur 5. Borehullslogg og mansjettplassering for de tre borebrønnene i forsøksfelt Refsgård.