

Rapport nr. 91.213		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Boring og prøvepumping av hydrogeologiske testhull i en grønnstein akvifer - Østmarkneset, Trondheim. Med en appendiks om kapasitetstesting av borehull i fast fjell.				
Forfatter: David Banks		Oppdragsgiver: NGU		
Fylke: Sør-Trøndelag		Kommune: Trondheim		
Kartbladnavn (M=1:250.00) Trondheim		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1621 IV, Trondheim		
Forekomstens navn og koordinater: Østmarkneset, Trondheim. UTM 5721 7374		Sidetall: 107		Pris: 127
Feltarbeid utført: Feb.-Juni 1991	Rapportdato: 31.12.91	Prosjektnr.: 63.2561.01	Seksjonssjef: GAUTE STORERØY	
Sammendrag: <p>To hydrogeologiske testhull er etablert på NGUs tomt i Trondheim, i en grønnstein akvifer. Hull 1 ble boret til 80 m med et fall på 64°. Den ga ca. 460 l/t vann under korttids-testing med en senkning på 14,8 m (skrått) / 13,3 m (vertikalt). Tilsynelatende transmissivitet og gjennomsnittlig hydraulisk konduktivitet beregnes til henholdsvis $1,1 \cdot 10^{-5}$ m²/s og $1,9 \cdot 10^{-7}$ m/s. Hull 2 ble boret til 81 m med 87° fall, og ga 28 l/t med senkning på 12,1 m. T og K-verdier beregnes til $6,6 \cdot 10^{-7}$ m²/s og $1,1 \cdot 10^{-8}$ m/s. Begge hull er dominert av kun ett hovedvanninnslag, på 39½ m (36 m vertikalt) i hull 1, og på 34,8 m i hull 2. Måling av vannet som ble blåst opp med trykkluft under boring, samt måling av gjenvinnelsen av vannstand etter endelig utblåsing, ga en tilfredstillende, grov oversikt over hullenes kapasiteter. Grunnvannet fra hullene var forholdsvis hardt, og av kalsium-bikarbonat type. Det var ingen tegn på inntrengning av saltvann fra fjorden. Prøvetaking under boring viste seg ikke å gi et tilfredstillende bilde av grunnvannets kjemi.</p> <p>Under analyse av prøvepumpingen ble det utviklet en metode for å lokalisere vannførende sprekker og deres respektive transmissiviteter, ved å plote Q_A (vanninnstrømning fra akviferen) mot senkning s. Gradienten Q_A/s (korrigert for hulllets fall) benevnes F, og er proporsjonal med den tilsynelatende transmissiviteten (T).</p> <p>Et litteratur-studium (appendiks) med temaet "kapasitetstesting av borehull i fast fjell" viste at de vanlige metodene for å beregne tilsynelatende transmissivitet (T) kunne oppsummeres ved ligningen:</p> $T = F / \text{ca.} 0,9.$				
Emneord: Hydrogeologi		Grunnvannsbrønn		Berggrunn
Prøvepumping		Permeabilitet		Sprekkesone
Grunnvannskvalitet		Fagrapport		

INNHALDSFORTEGNELSE

1. Sammendrag	2
2. Innledning	2
3. Gjennomføring	4
4. Prøvetaking av borekaks	5
5. Vannstandsmåling	6
6. Temperaturmålinger	7
7. Vurdering av hullenes kapasitet	8
a) Testhull 1	9
i) Vannoppblåsing under boring	9
ii) Gjenvinning etter utblåsing	9
iii) Prøvepumping	10
iv) Gjenvinning etter prøvepumping	13
v) Effekt av pumping på testhull 2	13
b) Testhull 2	14
i) Vannoppblåsing under boring	14
ii) Gjenvinning etter utblåsing	14
iii) Prøvepumping	16
iv) Gjenvinning etter prøvepumping	16
v) Effekt av pumping på testhull 1	16
8. Grunnvannskjemi	17
9. Oppsummering	22
Referanser	24
Figurene	27
Vedlegg	50
Appendiks - Kapasitetstesting av borehull i fast fjell	85

1.SAMMENDRAG

To hydrogeologiske testhull er etablert på NGUs tomt i Trondheim, i en grønnstein akvifer. Hull 1 ble boret til 80 m med et fall på 64°. Den ga ca. 460 l/t vann under korttids-testing med en senkning på 14,8 m (skrått) / 13,3 m (vertikalt). Tilsynelatende transmissivitet og gjennomsnittlig hydraulisk konduktivitet beregnes til henholdsvis $1,1 \cdot 10^{-5}$ m²/s og $1,9 \cdot 10^{-7}$ m/s. Hull 2 ble boret til 81 m med 87° fall, og ga 28 l/t med senkning på 12,1 m. T og K-verdier beregnes til $6,6 \cdot 10^{-7}$ m²/s og $1,1 \cdot 10^{-8}$ m/s. Begge hull er dominert av kun ett hovedvanninnslag, på 39½ m (36 m vertikalt) i hull 1, og på 34,8 m i hull 2. Måling av vannet som ble blåst opp med trykkluft under boring, samt måling av gjenvinnelsen av vannstand etter endelig utblåsing, ga en tilfredstillende, grov oversikt over hullenes kapasiteter.

Grunnvannet fra hullet var forholdsvis hardt, og av kalsium-bikarbonat type. Det var ingen tegn på inntrengning av saltvann fra fjorden. Prøvetaking under boring viste seg ikke å gi et tilfredstillende bilde av grunnvannets kjemi.

Under analyse av prøvepumpingen ble det utviklet en metode for å lokalisere vannførende sprekker og deres respektive transmissiviteter, ved å plote Q_A (vanninnstrømning fra akviferen) mot senkning s . Gradienten Q_A/s (korrigert for hullets fall) benevnes F , og er proporsjonal med den tilsynelatende transmissiviteten (T).

Et litteratur-studium (appendiks) med temaet "kapasitetstesting av borehull i fast fjell" viste at de vanlige metodene for å beregne tilsynelatende transmissivitet kunne oppsummeres ved ligningen $T = F / ca.0,9$.

2.INNLEDNING

Mellom februar og juni 1991 ble det boret og testet to hydrogeologiske testborhull til 80 m dyp, i Støren-grønnstein-akviferen på NGUs tomt på Østmarkneset i Trondheim. Hovedmålet med dette prosjektet har vært å gi NGUs hydrogeologiseksjon et lett tilgjengelig anlegg for å teste, vurdere og bli kjent med nytt og eksisterende utstyr, for eksempel:

i) Vannstandsmålere, både elektroniske og mekaniske. Erfaringer fra England tyder på at de nyere elektroniske instrumentene ofte er egnet for ganske små variasjoner i vannstand (dvs. overflatevann) og ikke nødvendigvis er tilpasset store vannstandsvariasjoner som i borebrønner i fjell. Grundig testing og sammenligning av elektroniske målere med manuelle og mekaniske målinger er nødvendig for å finne frem til de beste typer utstyr og deres begrensninger. Slik testing er ikke tidkrevende mht. ansatte, men lett adgang til et testborhull er nødvendig.

ii) Felt-baserte kjemiske analyse "kits" og måleinstrumenter. NGU har flere slike "kits" og instrumenter, men det er sjelden at man har anledning til å bli kjent med deres bruk. Flere av dem trenger periodsvis vedlikehold og recalibrering. NGU bør også satse mer på utvikling av "well-head" metoder for måling av parametre som O₂, alkalitet, pH, Eh osv. Dette blir langt lettere med adgang til et lokalt borhull med kjente kjemiske egenskaper.

iii) Utstyr for geofysisk borhullslogging.

iv) Grunnvannsovervåkingsbilen / automatisk overvåkningsstasjon.

Slike testhull vil også ha intern og ekstern undervisningsverdi, og muligens kommersiell nytteverdi. Hullene kan bli inkorporert i grunnvannsovervåkningsprogramet (LGN), og kan også overvåkes mht. eventuell reduksjon i hydrauliske egenskaper / vekst av jern-bakterier i tilknytning til prosjektet "Vedlikehold og rehabilitering av brønner i fast fjell".

I tillegg til dette hovedmålet, har det også vært mulig å videre utvikle metoder for prøve-pumping og prøvetaking av borhull i fast fjell med ganske lav ytelse. Underveis ble nyttige opplysninger skaffet om tilstedeværelse av vannførende sprekker i akviferen.

3. GJENNOMFØRING

Fjellgrunnen under NGUs tomt på Østmarkneset består av Støren grønnstein (med et regionalt bergartsfall på 25-35° mot ØSØ - Wolff, 1976), en tektonisk del av Støren-skyvedekket (Ofte Dahl, 1981). Grønnsteinen er delvis dekket av kvartære marine avsetninger (sand/silt/leir - Reite, 1983). Det er også en del antropogen grunn. Blotninger av fjell på tomta ble undersøkt for synlige sprekkesoner. To hull ble lokalisert slik at de skulle treffe den mest synlige, lineære sprekkesonen, som har strøk 230° og nesten vertikalt fall. Denne er vist i fig.1.

Testhull 1 ble boret ca. 25 m øst for sprekkesonen, og ble skrådd med rettvinkel mot sonen med et fall på 64°. Testhull 2 ble boret ca. 3½ m fra sonens vestlige kant, med en lik retning og et fall på 87°. Fallene ble valgt ut fra et ønske å etablere både et nær vertikalt og et betydelig skrådd hull for å teste utstyr i. Begge hull ble anboret i fast fjell (dvs. ingen løsmasser). Hull 1 ble boret til 80 m dyp (vertikalt dyp på 71.9 m), og hull 2 til 81 m (vertikalt dyp på 80.9 m). Antar man at sprekkesonen er vertikal, ville man treffe den på 57 m i hull 1, og komme igjennom den på 66 m i hull 2 (fig.2,3).

Hullene ble boret mellom den 13. og 15. februar, med bruk av NGUs NEMEK borerig. En eksentrisk borekrone ble benyttet med bruk av kun luft (og evt. innsigende grunnvann under grunnvannspeilet) som borevæske. Borediameteren ble vurdert som ca. 5½" (ca. 140 mm). Under boringen ble det tatt regelmessige prøver av borekaket, og boringshastigheten ble logget, samt kakets farge, "korn"størrelse og fuktighet. Ujevn boring (dvs. oppsprukket eller svakt fjell) og innslag av vann ble registrert. Detaljer er oppgitt i vedlegg 1, samt figurene 2 og 3.

Hull 1 ble boret i grønnstein hele veien. Borekaket var hovedsaklig grønt, men en rødlig farge ble ofte funnet i forbindelse med vannførende sprekker. Dette er også observert i forbindelse med NGUs Hvaler-prosjekt (Banks et al, 1991, 1992b) og under undersøkelser for Forsmark-anlegget i Sverige (Carlsson & Christiansson, 1987). I testhull 1 ble det truffet ett hovedvanninnslag på 39½-40 m dyp (ca. 36 m vertikalt). Mulige, små vanninnslag kunne være tilstede ved ca. 33½ m og ca. 60-61 m. Om man antar at sprekkesonen er vertikal, tilsier dette at hovedvanninnslaget ikke kom fra sprekkesonen. Et lite avvik fra vertikalen (79° fall) ville likevel tilsi at hullet traff sprekkesonen på 39½ m - fig.2. (Vannet trenger ikke å komme fra

hovedsprekkesonen - observasjoner i norske tunneler tyder på at de mest synlige sprekkesonene kan være forholdsvis tette (Nilsen, 1988; Nilsen, 1990; Banks, Solbjørg og Rohr-Torp, 1992a).

Hull 2 ble boret i ganske homogen grønnstein ned til 56m. Der ble det truffet en lys bergart som ga lyserødt/hvitt borekaks. Dette antas å være et lag av kvarts keratofyr. Man kom ikke gjennom keratofyren ved 81 m i hull 2. Denne bergartstypen er ikke uvanlig i Støren-grønnsteinen (Wolff, 1976). Det må bemerkes at keratofyren ikke ble truffet i hull 1. Dette kan skyldes bergartenes fall, et diskontinuerlig keratofyrlag, eller en forkastning. Hull 2 ga svært lite vann. Det eneste tydelige vanninnslaget som ble truffet under boring var på ca. 36 m, og dette var ganske lite (prøvepumping tydet senere på at den vannførende sprekken var lokalisert mer nøyaktig ved 34,8 m, og dette passer bedre med anomalien i boreloggen, Vedlegg 1).

I begge hull ble det installert 3 m foringsrør av stål, med diameter (I.D.) 184 mm i hull 1, og 153 mm i hull 2.

Borehastigheten varierte noe i ulike deler av hullene. I hull 1, over hovedvanninnslaget, ble den gjennomsnittlige hastigheten 202 sek/m. I selve sprekkesonen var den 118 sek/m, og under vanninnslaget (dvs. boring "under vann") var den 238 sek/m. I hull 2 var de gjennomsnittlige hastighetene 204 sek/m over vanninnslaget, 269 sek/m i grønnsteinen under vanninnslaget, og 234 sek/m i keratofyren.

4. PRØVETAKING AV BOREKAKS

Borekaks-prøver ble tatt på følgende dyp:

Hull 1 : 6½, 9½, 12½, 13½, 15½, 18½, 21½, 24½, 27½, 30½, 33½, 36½, 39½, 40¼, 51½, 55, 57½, 61¼, 63½, 66½, 69½, 71½, 72¾, 75½, 78½ m.

Hull 2: 4½, 7½, 8½, 10½, 11½, 13½, 16½, 17, 19½, 22½, 23, 25½, 28½, 31½, 34¾, 35¼, 36¼, 37½, 40½, 41, 43½, 46½, 49½, 50½, 52½, 55, 55½, 56, 56¾, 58½, 61½, 64½, 67½, 70½, 73½, 76½, 79½ m.

Prøver 36½, 39½, 61¼ og 71½ fra hull 1, og prøver fra 28½, 35¼ og 36¼ fra hull 2 ble sendt for Røntgen-pulverdiffraktometer-analysering (XRD) hos NGU. Prøvene ble først analysert ubehandlet v.h.a. XRD. Etterpå ble prøven tilsatt etylen-glycol og analysert igjen. Etylen-glycol-behandling sveller smektittmineraler, slik at smektitt-maksimalet flyttes fra 14-15 Å ($2\theta = \text{ca.}6,3^\circ$) til ca.17 Å ($2\theta = \text{ca.}5^\circ$). XRD-diffraktogrammene er vist i vedlegg 4. Det er ingen forskjell på vanlige og glykolerte diffraktogrammer; derfor kan man si at smektitt (svelleleire, montmorillonitt) ikke er tilstede i betydelige mengder. Man kan kommentere som følger om kaksets innhold utifra XRD-diffraktogrammene:

- Hull 1 - 36½ m - frisk uforvitret bergart - kvarts, feltspat, kloritt. Ikke glimmer og amfibol.
- Hull 1 - 39½ m - rødaktig kaks, ved vanninnslaget - hovedsakelig kvarts, lite feltspat og kloritt, ingen glimmer og amfibol.
- Hull 1 - 61¼ m - rett under mulig vanninnslag, fort boring, noen hvite mineraler sett i kakset - mye feltspat med kloritt og kvarts, noe amfibol, ingen glimmer.
- Hull 1 - 71½ m - litt rødaktig kaks - kvarts, feltspat, lite kloritt og glimmer, ingen amfibol.
- Hull 2 - 28½ m - frisk bergart - mye feltspat, med kvarts og kloritt, noe amfibol, ingen glimmer.
- Hull 2 - 35¼ m - svakt fjell, litt rødaktig kaks, like ved vanninnslaget (34,8 m iflg. prøvepumping) - kvarts, noe kloritt og amfibol, lite glimmer og feltspat.
- Hull 2 - 36¼ m - ganske frisk, upåvirket bergart, litt under vanninnslaget - mye kloritt og amfibol. Forholdvis lite kvarts og feltspat. Ingen glimmer.

Det kan selvfølgelig være andre mineraler tilstede som er vanskelig å skille ut fra diffraktogrammene. Man kan legge merke til at i friskt, uforvitret fjell finnes det mye feltspat, kvarts og kloritt. Ved vanninnslagene, er feltspat i hovedsak borte, og kakset består i stor grad av kvarts.

I tillegg ble en prøve tatt av det slamaktige vannet som ble blåst ut av hullet under boring på 46 m i hull 1. Prøven sto i et par dager slik at kakset sedimenterte ut i prøveflasken. Vannet ble da tatt ut og sendt til analysering hos NGU. Denne prøven vises i Vedlegg 3 som 46m/1.

5. VANNSTANDSMÅLING

Fra da hullene ble boret, har vannstanden blitt regelmessig overvåket, med bruk av elektrisk målebånd. Denne overvåkingen skal fortsette i fremtiden, og det håpes at hullene skal kunne inngå som en del av det landsomfattende grunnvannsnett (LGN - Kirkhusmo & Sønsterud, 1988). Hydrogrammene hittil er vist i fig. 4 (vannstanden er korrigert for hullenes fall). Hydrografene viser fire maksimaler hittil. Et av de kraftigste maksimalene oppsto i mars-måned

og skyldes antakelig snøsmelting. Det andre, kortere maksimumet skyldes betydelige mengder nedbør i begynnelsen av juli. Det tredje maksimumet skyldes høst-nedbør og finner sted i slutten av september. Det siste maksimumet, i november, skyldes total smelting av mye snø som kom i en kald periode, tidlig i november.

Hull 2 har den største reaksjonen på tilførselsepisoder (minst 3-4 ganger så stor som hull 1). Dette kan muligens skyldes mindre porøsitet (oppsprekking) i bergartene i nærheten av hull 2.

Hullene har ikke blitt nøyaktig nivellert, men hull 1 ligger ca. 29,5 m.o.h. Hull 2 ligger ca. 27,2 m.o.h. (fra fig. 1). Fordi grunnvannet i gjennomsnitt ligger ca. 22 m under bakken i begge hull, gir dette en absolutt grunnvannstand på henholdsvis 7,5 moh i hull 1 og 5,2 moh i hull 2. (Dette varierer mellom ca. 7 og 8,3 moh i hull 1, og 4,2 og 9,2 moh i hull 2. Hvis elevasjonsvurderingene er riktige betyr dette at vannstanden i hull 2 er høyere enn i hull 1 ved maksimalene.)

Antar man at det finnes saltvann som ligger under en ferskvannslinse i akviferen, og at tettheten av saltvannet ligner på vanlig sjøvann (1.025 g/cm^3), kan man kalkulere mektigheten av ferskvannslinsen under havenivået. Ghyben-Herzberg ligningen (Todd, 1980) oppgir at $z = 40h_f$, hvor h_f = grunnvannstand over havenivået og z = mektigheten av ferskvannslinsen under havenivået. Bruker man $h_f = 7,5$ og $5,2$ m, ville man forvente ferskt grunnvann ned til henholdsvis ca. 300 m og 208 m under havenivået i nærheten av hull 1 og 2. Dette er likevel en forenkling; saltvannsgrensen er sjelden en skarp grense. Den har en mer diffus karakter, slik at grunnvannet blir stadig mer saltholdig med dypet. Videre må det forventes store inhomogeniteter i en sprekkeakvifer.

6. TEMPERATURMÅLINGER I HULLENE

Temperaturmålinger ble utført i begge hull den 5. mars 1991, med bruk av et målebånd med termistor-sensor. Det ble ventet i fem minutter for å få målingene til å stabilisere seg.

Følgende resultatene ble funnet:

Dyp (under rørtopp)	Hull 1	(vertikalt dyp)	Hull 2	(vertikalt dyp)
40 m	6.4°C	36.0 m	6.7°C	39.9 m
60 m	6.6°C	53.9 m	6.8°C	59.9 m

7.VURDERING AV HULLENES KAPASITET

Det er flere metoder som kan benyttes for å vurdere et hulls kapasitet (vanngiverevne). For eksempel:

i) Vannmengde som blåses opp under boring

ii) Gjenvinningstester a) etter "øyeblikkelig" utblåsing/fort utpumping av hullet
 b) etter en lengere pumpeperiode

iii) Trinnsvis prøvepumping

iv) "Charge"/"Slug" tester, der man enten øyeblikkelig tilsetter eller tar ut et kvantum vann, og overvåker vannoppfyllingen i hullet. Type iia er et eksempel på denne type test.

Typene i, ii og iii ble utført på testhullene, og resultatene kan sammenlignes. Type iv ble ikke utført i denne omgangen, men kan være gjenstand for videre interessant arbeid.

7a. Testhull 1

i) Vannoppblåsing under boring

Hovedinnslag av vann ble truffet på ca. 39½-40 m i hull 1. Deretter kunne man samle vannet som ble blåst opp hullet under boring sammen med trykklufta, og kalkulere vanntilsiget til hullet. Følgende målinger ble tatt:

Boredyp	Vannoppblåsing
41-44 m	3,6 l/min = 216 l/t
47-50 m	6 l/min = 360 l/t
51½ m	3,75 l/min = 225 l/t
55 m	2,5 l/min = 150 l/t
69½ m	6 l/min = 360 l/t
75½ m	5 l/min = 300 l/t

Dette er selvfølgelig en veldig grov vurdering. Det kan være vanskelig å samle alt vann som kommer opp. Det kan også være mye kaks i det oppsamlede vannet. Metoden tilsier en kapasitet på ca. 200-300 l/t for hullet. Metoden har tradisjonelt vært antatt å gi en undervurdering av hullets ytelse på grunn av at en del av det tilsigende grunnvann blåses tilbake inn i sprekkene, og bare en del finner fram til rørtoppen. Dette synes riktig også i dette tilfellet, dersom prøvepumping viste en korttids kapasitet på ca. 460 l/t. For hull 1 er resultatet likevel ganske bra som en grov vurdering av hullets ytelse.

ii) Gjenvinning av vannnivået etter utblåsing av hullet.

Boring av hull 1 ble sluttet ca. 0935 den 14.februar. Hullet sto i ca. 55 minutter og så ble blåst tomt Kl.1030 fra 80 m med boreriggens trykkluft. Borerør og krone ble da tatt ut av hullet. På grunn av at dette er ganske tidkrevende, var det ikke mulig å måle vannstanden før alt utstyr var fjernet fra hullet Kl. 1258. Vannnivået i hullet var da 33.40 m under rørtopp, 148 minutter etter utblåsing. Dette tilsier et gjennomsnittlig innsig Q av grunnvann:

$$Q = \frac{\delta h * \pi * r^2}{\delta t}$$

hvor δh = stigning i grunnvannstand = 80m - 33.40 m = 46.6 m

r = hullets radius = 0.07 m

δt = tidsintervalen = 2.467 t

Dette gir $Q = 0.291 \text{ m}^3/\text{t} = 291 \text{ l/t}$

Denne metoden er tradisjonelt antatt å medføre en overvurdering av hullets ytelse på grunn av:

- a) tilbakerenning av vann ned langs borerøret etter utblåsing
- b) utblåsing tvinger vann tilbake inn i sprekkesystemet. Dette vannet vil etterpå renne ut fortere enn under naturlige pumpeforhold.

Men, i hull 1 ser metoden imidlertid ut til å gi en rimelig bra grov vurdering av hullets ytelse.

iii) Prøvepumping

Det ble benyttet en liten Grundfoss MP 1, 46 mm diameter, senkbar pumpe til et forsøk på skikkelig trinnsvis prøvepumping. Pumpen brukes i tilknytning til en nøyaktig frekvensregulator. Hovedproblemet med pumpens anvendbarhet er at pumperaten minker kraftig med senkning av grunnvannsstand i hullet. Det vil ha vært mulig, men tidkrevende, å kontinuerlig justere frekvensen for å holde pumperaten konstant, men det ble i stedet valgt å bare holde frekvensen konstant for hvert trinn, og la pumperaten minke stadig.

Pumperaten (ved fylling av en bøtte) og vannstand (med elektrisk måleband) ble kontinuerlig målt under prøvepumping. Det ble pumpet 1. trinn med frekvens 200 Hz i 1½ timer, 2. trinn med frekvens 230 Hz i 1½ timer, og 3. trinn med frekvensen 300 Hz i 2t 18m 20s. Resultatene vises i fig.5 og vedlegg 2.

Tradisjonelle metoder slik som Jacob, Theis etc (Kruseman & De Ridder, 1983) kan ikke anvendes til prøvepumping i et slikt hull av flere grunner:

- a) hullet er skrått
- b) akviferen er langt fra homogen

- c) hullets volum er ikke ubetydelig i forhold til de pumpede mengder
- d) pumperaten var langt fra konstant

Resultatene blir derfor vanskelig å analysere, og innenfor prosjektets tidsrammer var det ikke mulig med et omfattende analytisk arbeid. Det ble i stedet valgt å prøve å skille de pumpede mengder (Q) i to deler, dvs. vannet som pumpes ut fra hullets magasin-volum (Q_B), og vannet som kommer fra selve akviferen (Q_A). Det kan skrives på følgende måte:

$$Q = Q_A + Q_B$$

$$Q_A = Q + \frac{\delta h * \pi * r^2}{\delta t}$$

Hvor δh = endring i vannstand i et lite tidsintervall δt (positiv for stigning vannstand)
 r = hullets radius = 0.07 m

Dette er kalkulert for hele pumpetesten, med varierende verdier av Q . Resultatene ser ut til å være troverdige, og Q_A er vist i fig.5.

Man har også plottet Q_A mot vannstanden i et forsøk på å få frem en ytelse/senkning kurve. Denne vises i fig.6.

Med fjellbrønner kan det tenkes mulig å modellere prøvepumping på den følgende måten (se Appendiks). Hvis hullets vannledende sprekker har forholdsvis lav ledningsevne (sett i forhold til akviferens magasinkapasitet), vil hullets kapasitet bestemmes av transmissiviteten til disse "overførings"-sprekker, og ikke av den bredere akviferens magasinkapasitet. Derfor vil grunnvannspeilet i fjellet omkring hullet kun påvirkes i begrenset grad, og en tilnærmet likevekt vil etableres forholdsvis fort. Derfor kan instrømning gjennom en sprekk (Q_s) modelleres ved ligningen (det vises til Appendiks fig.5):

$$Q_s = (H - h) * F_s = s \cdot \sin \alpha * F_s$$

hvor H = vannhøyde i akvifer over sprekkenivået (m)

h = vannhøyde i borhull over sprekkenivået (m)

s = senkning i et skrått hull (m)

α = hullets fall

F_s = sprekkens spesifikke kapasitet (m^2/d) = ca. $T_s * 0,9$

T_s = sprekkens transmissivitet (m^2/s)

(eller, hvis man tillater ikke-lineære effekter:

$$s = \frac{Q_s}{F_s \cdot \sin \alpha} + CQ^n$$

hvor C = en brønntapskonstant og n = ca.2)

Hvis denne modellen gjelder ville Q_A bare avhenge av senkningen i hullet, og ikke av pumping-historien. Q_A mot h ville være en rett linje (eller en parabol hvis man tar brønntap, som vanligvis er proporsjonalt med Q^2 , i betraktning).

Det faktum at Q_A mot h (fig.6) ikke er en enkel linje tyder på at denne modellen ikke gjelder. Vanntrykket i akviferen holder seg ikke konstant, men pumpingen senker stadig grunnvannspeilet i akviferen under pumping. Derfor blir vanninnslaget fra akviferen under pumping stadig mindre for en gitt vannstand i hullet (fig.6). Dette gjelder for hvert trinn. Et likevektsforhold er ikke nådd under pumpeforsøket (bortsett fra ett tidspunkt - i trinn 1 ble et slags likevekt nådd, der vanninnslaget var konstant ca.20 l/t ved en vannstand på 25,2-25,3 m under rørtopp). Likevel kan man si at akviferen har en vanngiverevne i et "få timers" perspektiv på 400-500 l/t når vannstanden er sunket ned mot 39,3 m (14,8 m senkning = 13,3 m vertikalt).

Den første delen av kurven i fig.6 representerer den tidlige akvifer-responsen. Dens gradient gir en F-verdi på 1,84 m^2/d . Det er likevel mer forsvarlig å konstruere en ca.1½ timers senkningskurve (fig.6) og vurdere F (hullets spesifikke kapasitet) ut fra dette. Carlsson & Carlstedt (1977) mener at til tross for at et likevektsforhold ikke er nådd, kan man likevel benytte spesifikke-kapasiteten for å kalkulere den tilsynelatende transmissiviteten T. For noen få timers pumping i et vanlig fjell-hull antas det at $T = F / ca.0,9$. For 1½ timers-kurven er $F = 0,82 m^2/d$, som gir $T = 0,92 m^2/d = 1,1 \cdot 10^{-5} m^2/s$. Tilsynelatende permeabilitet = $T/(80m - 24,5m) = 1,9 \cdot 10^{-7} m/s$.

iv) Gjenvinning av vannnivået etter prøvepumping

Etter at prøvepumpingen var avsluttet ble pumpen tatt ut av hullet, og stigningen av vannstanden i hullet ble overvåket.

$$\text{Ligningen} \quad Q_A = \frac{\delta h * \pi * r^2}{\delta t}$$

kan benyttes til å kalkulere den øyeblikkelige vanninnstrømmingen (Q_A) fra akviferen hvor:

δh = stigning i vannstand i et lite tidsintervall δt

r = hullets radius = 0.07 m

Resultatene fra stigningen er vist i fig. 6 og 7.

Det må straks bemerkes at kurven for $Q_A = f(h)$ under gjenvinning ligger langt til høyre for kurven for pumping (fig.6). Dette tilsier at den enkle "konstant akvifertrykk" modellen ikke passer. Q_A avhenger både av vannstanden i hullet og av pumpingehistorien. Denne fenomenen heter "hysterese". Dvs. at for en gitt vannstand (f.eks. 36 m under rørtopp) er vanninnstrømming under pumping (ca.420 l/t) betydelig mer enn under gjenvinnelse (ca.150 l/t). Dette skyldes at i intervallet mellom pumping på 36 m og gjenvinnelse til 36 m, har akviferen blitt betydelig avvannet i nærheten av borehullet, og trykkgradienten mellom akviferen og hullet er derfor betydelig mindre.

Man kan oppsummere ved å si at konseptet om en bestemt "kapasitet" i et grunnvannsborhull er vanskelig å forsvare, da kapasiteten varierer både med senkningsnivået og pumpetid. Hullets tilsynelatende kapasitet minker vanligvis med pumpingens varighet.

v) Effekt på vannstand i testhull 2, ved pumping i hull 1

Prøvepumpingen skapte en maksimal observert senkning av ca.34 cm i testhull 2. Senkning ble ikke påvist før cirka ved begynnelsen av 3.trinn, og den maksimale verdien ble observert ca. 5½ timer etter pumpingens slutt (Fig.14). (Det er sannsynlig at den virkelige maksimale

senkning fant sted midt om natten den 11.-12. juni, og var noe mer enn 34 cm, men selv NGUs geologer trenger å sove av og til). Den forsinkede responsen skyldes sannsynligvis 2 faktorer:

- i) det var ikke før midveis i 2.trinn at det var en betydelig avgivelse av vann fra akviferen (i motsetning til hullets magasin-volum)
- ii) at vannet som først ble tatt ut i hull 1 kom fra elastiske responser og avvanning i det nærliggende sprekkesystemet. Det kan ha vært en forsinkelse før dette førte til en aktuell response i det fjernere sprekkesystemet i nærheten av hull 2.

7b. Testhull 2

i) Vannoppblåsing under boring

Boringen indikerte at hovedvanninnslaget ble truffet på ca. 36 m. Vanninnslaget var for lite til å måle vannoppkomsten under boring. Det kom bare fuktig kaks, og drypp av vann.

ii) Gjenvinning av vannnivået etter utblåsing av hullet.

Boring av hull 2 ble sluttet ca. 1451 på fredag den 15.februar 1991. Hullet sto urørt i løpet av helgen og så ble blåst rent fra 81 m med boreriggens trykkluft Kl.0825 den 18. februar. Borerør og krone ble da tatt ut av hullet. På grunn av at dette er ganske tidkrevende, var det ikke mulig å måle vannstanden før alt utstyr var fjernet fra hullet Kl. 1018. Vannnivået i hullet var da 75.94 m under rørtopp. Stigningen ble fulgt i flere dager. Vannstanden nådde ikke sitt "ro"nivå før den. 21 februar.

Fig.8 & 9 viser stigningskurven, og det kalkulererte vanninnsiget fra akviferen. Vanninnstrømmingen er ganske konstant på 26-28 l/t opp til ca. 34,8 m under rørtopp. Dette er fordi vannstanden er under den vannførende sprekken, og vanninnstrømmingen avhenger ikke av

vannstanden i hullet. Når vannstanden stiger over sprekken på 34,8 m dyp, avtar vanninnstrømningen i forhold til vannhøyden over sprekken.

Den lave gradienten på seksjonen av fig.9 som er under 34,8 m, skyldes enten:

a) at det er mindre vannførende sprekker ganske dypt i hullet (Hvis dette er riktig, har sprekken(e) $F_{s2} = 0,0017 \text{ m}^2/\text{d}$, som tilsier en tilsynelatende transmissivitet på $0,0019 \text{ m}^2/\text{d} = 2,1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$.)

eller: b) at grunnvannivået i den omkringliggende akviferen blir litt lavere på grunn av den lille, men stadige innstrømning av vann til hullet.

På tross av den lille gradient, kan man si at den bredere akviferens vanntrykk stort sett ikke er påvirket av innstrømningen til hullet under gjenvinnelse (ca. 1 døgn før gjenvinnelse til 34,8 m). Derfor passer modellen i Appendiks fig.5 ganske bra til hull 2. Kurven over 34,8 m ser ut til å være nesten lineære, altså kan den følgende ligningen gjelde:

$$Q_s = (H - h) * F_s = s \cdot \sin \alpha * F_s$$

hvor H = vannhøyde i akvifer

h = vannhøyde i borhull

s = senkning

F_s = sprekkes spesifikke kapasitet

α = hullets fall

Fra gradienten i fig. 9 over 34,8 m kan man derfor kalkulere at $F_s = 0,051 \text{ m}^2/\text{d}$. Dette tilsier en tilsynelatende transmissivitet på $0,057 \text{ m}^2/\text{d} = 6,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Tilsynelatende permeabilitet beregnes ved $T/(81\text{m} - 23\text{m}) = 1,1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$.

Ved denne gjenvinnelsestesten kan man si at:

a) det eneste betydelige vanninnslaget bekreftes ved ca. 34,8 m dyp

b) hullets kapasitet (under et få dagers perspektiv) er 26-28 l/t med ca. 11,8 m senkning.

c) transmissiviteten for sprekken(e) er ca. 0,057 m²/d

iii) Prøvepumping

Hullet ble pumpet trinnsvis på samme måte som hull 1: det 1. trinn på 200 Hz, det andre på 230 Hz, og det tredje på 300 Hz. Trinn 1 og 2 hadde varighet 1½ timer, og trinn 3 hadde varighet 45 m 30 s. (Pumpen ble slått av etter 45½ min i trinn 3 fordi vannet hadde sunket nesten ned til pumpeivået på 50 m).

Prøvepumpingen ble analysert på samme måten som hull 1. Resultatene vises på fig.10 og 11.

Her var metoden for å kalkulere Q_A fra $Q = Q_A + Q_B$ ikke anvendbar. Dette fordi Q_A var svært lite i forhold til Q_B , og små feil i målinger av Q og Q_B kunne føre til meget store feil i Q_A (f.eks. negative kalkulerte verdier - fig 11). Dette førte til svært spredte punkter på plottet Q_A mot h (fig.11). Til tross for at fig. 11 ikke kan analyseres direkte, kan man bemerke at alle punkt ligger omkring eller under linjene fra fig.9 & 13. Dette tyder på at pumping ga lignende resultater til gjenvinningstester (dvs at Q_A bare avhenger av h , og ikke av pumpehistorie, med andre ord, ingen hysteresis).

iv) Gjenvinning av vannstand etter prøvepumping

Gjenvinnelse av vannstanden etter prøvepumpingen ble overvåket (fig.12). Resultatene er nesten det samme som for gjenvinnelsen etter utblåsing (fig.13). Under 34,8 m ligger kapasiteten omtrent konstant (svak gradient) ved 28 - 30 l/t. Gradienten på seksjonen over 34,8 m tilsier at $F_s = 0,052$ m²/d. Dette gir $T = 0,057$ m²/d = $6,7 \cdot 10^{-7}$ m²/s. Tilsynelatende permeabilitet beregnes altså til $T/(81\text{m} - 22,7\text{m}) = 1,1 \cdot 10^{-8}$ m/s.

v) Effekt på vannstand i testhull 1, ved pumping i testhull 2

Dagen før prøvepumpingen var det en svær nedbørsperiode. Vannnivåene steg antakelig mye. Før, og under prøvepumping var det derfor en naturlig nedgang i vannnivået (fig. 14). Det er

ikke noe avvik i denne nedgangstendensen i hull 1 som tyder på påvirkning fra pumpingen i hull 2. Det støtter hypotesen om at det var liten påvirkning av vannnivået i det omkringliggende akviferen ved pumping av hull 2. Det var også kraftig regnvær dagen etter prøvepumpingen. Til tross for at Fig.14 tilsynelatende indikerer påvirkning fra pumping i hull 2 på hull 1, kan dette like gjerne skyldes naturlige nedbørseffekter.

8. GRUNNVANNSKJEMI

Som tidligere omtalt ble det tatt en prøve av vannet som ble blåst opp fra hullet under boring ved 46 m. Denne prøven inneholdt veldig mye kaks, og måtte stå en stund for å få slammet sedimentert ut. Klart vann ble deretter dekantert, og filtrert med 0.45 μm millipore filter. Prøven ble analysert for kationer (før og etter surgjøring) og anioner.

Prøver ble tatt fra begge hull under prøvepumping, på hvert trinn.

Prøve	Hull	Trinn	Tid	Tid etter begynnelsen av trinnet
TB1/1	1	1	1245-1255	75-85 min
TB1/2	1	2	1410-1420	70-80 min
TB1/3	1	3	ca.1615	105 min
TB2/1	2	1	1030-1050	60-80 min
TB2/2	2	2	1210-1225	70-85 min
TB2/3	2	3	1252-1256	22-26 min

For alle prøvene ble det tatt en ½ liters flaske for pH-, alkalitet-, og ledningsevne-analyser (ufiltrert, usurgjort), en 100 ml ufiltrert flaske, og en flaske der prøven ble filtrert gjennom en 0.45 μm millipore filter. Man kunne se litt gul farge på store volumer av vannet fra begge hull, og det var også litt gul/brun utfelling på filtrene. På grunn av mistanke om utfelling av jern på filteret, ble det valgt å analysere både filtrerte og ufiltrerte prøver på kationer. De ufiltrerte prøvene ble analysert på anioner. Før analysering på kationer ble alle (filtrerte og ufiltrerte)

prøver behandlet med en liten mengde saltpetersyre for å løse opp utfelte og adsorberte ioner. Resultatene fra analysene vises i vedlegg og fig. 15 a-f.

Alkalitet

Alkaliteten var ganske konstant under pumping, omkring 4,6 mmol/l i hull 1, og 3,1 mmol/l i hull 2 (henholdsvis 230 mg/l & 150 mg/l som CaCO₃).

Ledningsevne

Ledningsevnen var ganske konstant under pumping, omkring 510 µS/cm i hull 1, og 390 µS/cm i hull 2.

Surhetsgrad

pH var ganske konstant under pumping, 7,52-7,53 i hull 1, og 7,59 i hull 2. Dette ligger innen grensene for SIFF's krav for drikkevann (7,5-8,5) (SIFF 1987).

Bromid

Bromid avtok under pumping fra 71 ppb til 57 ppb i hull 1, og steg under pumping i hull 2 fra 47 ppb til 66 ppb.

Klorid

Klorid-innholdet varierte mellom ca. 14 og 17 ppm i hull 1, og var ganske konstant omkring 21 ppm i hull 2. Begge verdier ligger godt under maksimalverdien for drikkevann (100 mg/l - SIFF 1987). Slike verdier kan godt forklares ved oppkonsentrering av nedbørens saltinnhold ved evapotranspirasjon (sammenlign med Hvaler-verdiene, Banks & Rohr-Torp, 1990) og gir ikke indikasjon på stor intregning av sjøvann. (Nedbør i Kaldvella, sør for Trondheim og lengere borte fra sjøen, inneholder på gjennomsnitt ca. 2,25 mg/l Cl⁻ - Storrø, 1990).

Nitrat

Nitrat-innholdet ligger omkring 1,5 - 1,9 ppm (som NO₃⁻) i hull 1, og 0,56 - 0,62 ppm i hull 2. Dette er langt lavere enn SIFF's maksimale verdi (2,5 mgN/l = 11 mgNO₃/l = 11 ppm), men er i hull 1 likevel litt høyere enn forventes i uforurenset norsk grunnvann. Dette kan f.eks. skyldes en svak påvirkning fra menneskelig aktivitet i området.

Sulfat

Sulfat-innholdet stiger under pumping fra 31,6 til 35,6 ppm i hull 1, og fra 20,1 - 23,5 ppm i hull 2. Verdiene ligger under SIFF's maksimale verdi på 100 mg/l (SIFF, 1987).

Andre Anioner

I alle prøvene ligger fluorid og nitritt under 100 ppb, og fosfat under 50 ppb (unntatt prøve 46m/1 hvor fluorid-innholdet er 360 ppb).

Aluminium

Aluminium varierer en del i løpet av prøvepumping (men uten en klar tendens), og mellom filtrert og ufiltrerte prøver. De fleste prøvene har Al-innhold omkring 70-300 ppb. Filtrerte prøver har vanligvis høyere verdier etter filtering enn før, og dette er vanskelig å forklare. Surgjøring har økt Al-innholdet i prøven som ble tatt under boring. Det strider imot erfaringer fra Afrika der det er funnet at både filtrering og surgjøring fører til kraftig undervurdering av vannets Al innhold (McFarlane, 1991). Slike uventede effekter av surgjøring og filtrering er dokumentert i flere andre sammenhenger, bl.a. Storrø (1990) s.43.

Barium

Barium-innholdet var ganske konstant under pumping, omkring 80 ppb i hull 1, og 60 ppb i hull 2. Ufiltrerte prøver gir en litt høyere verdi enn filtrerte (pga at evt. partikler påvirker resultatet), og surgjøring gir et høyere resultat enn den usurgjorte prøven som ble tatt under boring (fordi surgjøring hindrer utfelling).

Bor

Bor varierer litt i løpet av pumpingen (uten klar tendens). De fleste prøver ligger omkring 20 ppb (deteksjonsgrensen). Det er ikke en klar tendens som peker på at filtrering påvirker resultatene. Prøven som ble tatt under boring ga de samme resultatene før og etter surgjøring.

Kalium

Kalium har et ganske konstant nivå under pumping. Filtrerte prøver har, med ett unntak, en lavere verdi enn ufiltrerte. For prøven som ble tatt under boring er den surgjorte verdien mindre enn den usurgjorte. Filtrerte verdier ligger omkring 3,2 ppm i hull 1, og ca. 2,6 - 2,8 ppm i hull 2.

Kalsium

Kalsium viser et likt mønster med barium, med verdier omkring 90 ppm for hull 1, og 50 ppm i hull 2. Dette viser ganske hardt vann etter norske forhold (SIFF anbefaler 15-25 mg/l), men dette må sees i sammenheng med EF's minimale hardhetskrav for bløtgjort/avherdet vann som svarer til 60 mg/l, benyttet av engelske vannselskap. Vannet fra hull 2 er "ulovlig" drikkevann i Norge pga. for høy Ca-innhold, og "ulovlig" i England pga for lite !

Kobber

Kobber har en stigende tendens under pumping, fra 6,6 til 13,2 ppb i hull 1 (filtrert) og fra 9,3 til 23,9 ppb i hull 2 (filtrert). Filtrerte prøver (med et unntak) har et høyere Cu-innhold enn ufiltrerte. Verdiene ligger under SIFF grensen på 100 ppb.

Krom

Krom-verdier som overstiger deteksjonsgrensen på 10 ppb finnes i bare to prøver.

Jern

Det ser ut til å være en avtagende tendens i jern-innhold under pumping, men det er stor variasjon mellom filtrerte og ufiltrerte prøver, spesielt i hull 2. De ufiltrerte prøvene har i hovedsak en høyere verdi enn filtrerte prøver. Dette svarer til at det ble observert noen gulaktig utfelling på filtrene under prøvetaking. I hull 2 er jerninnholdet omkring 150-180 ppb, og i hull 1 ca. 20-40 ppb (ufiltrert). SIFF-grensen for godt drikkevann ligger på 100 ppb.

Magnesium

Magnesium-nivået er ganske konstant i hull 1 under pumping (ca. 11,2-11,6 ppm), men viser en liten stigende tendens i hull 2 fra 7,8 til 8,9 ppm (filtrert). Mht. effektene av filtrering og surgjøring viser magnesium det samme mønsteret som barium.

Mangan

Mangan-nivåene er ganske konstante under pumping, omkring 100-120 ppb i hull 1 og 130-140 ppb i hull 2 (filtrert). Verdiene ligger over SIFF-grensen på 50 ppb (SIFF, 1987). Mht effektene av filtrering, viser mangan det samme forhold som barium.

Molybden & Vanadium

Begge viser forholdsvis høye innhold i prøven som ble tatt under boring. Under pumping lå verdiene under deteksjonsgrensen. Det er å mistenke at de høye verdiene forårsakes av kontaminasjon fra høyteknologimetaller fra borekronen.

Natrium

Natrium-innholdet er ganske konstant under pumping, og viser et likt mønster med barium når det gjelder effekten av filtrering og surgjøring. I hull 1 er det ca. 21 ppm og i hull 2 ca. 29 ppm (filtrert). Dette svarer til et Na/Cl forhold på ca. 1,4 i begge hull (0,55 i sjøvann). Dette er en verdi som kan forklares ved en kombinasjon av oppkonsentrasjon av nedbørens saltinnhold ved evapotranspirasjon (sammenlign med verdier fra Hvaler - Banks og Rohr-Torp, 1990), og en viss grad av forvitring av natrium silikater. (I Kaldvella, sør for Trondheim og lengere borte fra sjøen, er nedbørens gjennomsnittlige innhold ca. 1,25 mg/l Na - Storrø, 1990)

Silisium

Viser ganske konstante verdier under pumping, omkring 3,6 - 3,7 ppm i hull 1, og 3,7 - 3,9 i hull 2 (filtrert). Filtrering fører til lavere Si verdier. Surgjøring førte også til en nedsatt verdi i prøven som ble tatt under boring.

Sink

Sink viser en stigende tendense under pumping i hull 1 fra ca. 11 til 23 ppb (filtrert). I hull 2 finnes det sink-innhold mellom 10 - 15 ppb (filtrert). Effektene av filtrering varierer, men i fire av de fem prøvene er filtrerte verdier høyere enn ufiltrerte. Verdiene ligger godt under SIFF-grensen på 300 ppb.

Strontium

Strontium har et ganske konstant nivå under pumping i hull 1, mellom 266 og 278 ppb, og en svak stigende tendense i hull 2 fra 209-231 ppb (filtrert). Effektene av filtrering og surgjøring viser et likt mønster som barium.

Kjemisk sammensetning

Hullene er karakterisert av ganske hardt kalsium-bikarbonat-type vann. Vannet kan sees i kontrast til ferskt grunnvann fra det granittiske Hvaler-området (Banks og Rohr-Torp, 1990; Banks et al, 1991, 1992b), som har et lavere ioneinnhold, og i hovedsak er av typen natrium bikarbonat. Dette gjenspeiler bergartenes forskjellige kjemiske sammensetninger, at basiske bergarter har mer kalsium-rik plagioklas, og er mer utsatt for kjemisk forvitring.

Vannet fra hull 2 har en lavere ledningsevne og ionestyrke enn vann fra hull 1. Det er likevel noe rikere på natrium og klorid enn hull 1. Dette skyldes stort sett at hull 2 inneholder mindre av de øvrige ioner enn hull 1, men også at de absolutte natrium og klorid verdiene er litt høyere. Det er likevel ingenting som tyder på betydelig inntrengning av saltvann fra fjorden til hullene. Klorid-innholdet kan i hovedsak forklares ved nedbør og dens oppkonsentrering ved evaporasjon og transpirasjon.

Sulfat-innholdet i nedbør er omtrent 1 mg/l i Trøndelag (Soveri, 1982) (middelkonsentrasjon 1,36 mg/l i Kaldvella iflg. Storrø, 1990). Dette gir et $\text{SO}_4^-/\text{Cl}^-$ forhold på 0.44 i nedbør (0,14 i sjøvann, Lloyd & Heathcote, 1985). I testhull 1 og 2 er forholdet i grunnvannet henholdsvis ca. 2,2 og 1,0. Dette tyder derfor på en geologisk kilde i tillegg til nedbørens innhold. Det kan lett tenkes å være oksidasjon av kis-mineraler i grønnsteinen.

Vesentlige systematiske forandringer i hovedionenes grunnvannskjemi skjedde ikke mellom trinn 1 og 3 av prøvepumpingen i hull 1, bortsatt fra en økning på 13 % mht. sulfat. I hull 2 ble det

obeservert økninger i de fleste hovedionene, med en økning av sulfat på 17 %. Man kan likevel si at prøvetaking under trinn 1 var ganske representativ, dvs. at man ikke trenger å skifte ut alt vann fra et borhull i fast fjell for å få et bilde av grunnvannskjemien.

Prøven som ble tatt fra 46 m under boring har en helt annen sammensetning enn vannet under prøvepumping. Den er forholdsvis bløtt og er av natrium-bikarbonat type. Dette forhold er meget vanskelig å forklare. Natrium-innholdet skyldes ikke salt grunnvann (har ikke et tilsvarende høyt klorid innhold), heller ikke ionebytting (som muligens kan ha foregått da prøven sto i kontakt med borekaks under "sedimentering"), fordi prøvens totale ioneinnhold er langt lavere enn for de andre prøvene. Prøvetaking under boring gir derfor ikke et representativt bilde av grunnvannets sammensetning.

9. OPPSUMMERING

To testborehull i fjell har blitt etablert på NGU's tomt på Østmarkneset. Et av hullene er nesten vertikalt, det andre er betydelig skrådd. Ett av hullene (hull 1) har en forholdsvis stor kort-tids kapasitet (ca. 460 l/t med senkning på 14,8 m (skrådd) / 13,3 m (vertikalt)). Hull 2 har en meget liten kapasitet (28 l/t med senkning på 12,1 m). Tilsynelatende transmissivitet beregnes til $1,1 \cdot 10^{-5}$ m²/s i hull 1, og $6,6 \cdot 10^{-7}$ m²/s i hull 2. Dette svarer til gjennomsnittlige hydrauliske konduktiviteter av henholdsvis $1,9 \cdot 10^{-7}$ m/s og $1,1 \cdot 10^{-8}$ m/s. I begge hull var vanngiverevnen dominert av kun ett vanninnslag, på 39½ m (36 m vertikalt) i hull 1, og 34,8 m i hull 2.

Grunnvannskjemien viser at vannet fra hullene er forholdsvis hardt, og av kalsium-bikarbonat sammensetning. Det er ingen tegn på betydelig inntrengning av saltvann fra fjorden under kapasitetstesting. Vannets sammensetning varierte bare i mindre grad i løpet av prøvepumpingen. Man trenger derfor ikke nødvendigvis å tømme en brønn i fast fjell for å få et ganske representativt bilde av grunnvannskjemien. Prøvetaking av vannet som ble blåst opp under boringen ga ikke et representativt resultat.

Under analyse av prøvepumpingen ble det utviklet en metode for å lokalisere vannførende sprekker og deres respektive transmissiviteter, ved å plote Q_A (vanninnstrømning fra akviferen) mot senkning s . Gradienten Q_A/s (korrigert for hulllets fall) benevnes F , som er proporsjonal med transmissiviteten (T).

Et litteratur-studium av kapasitetstesting av borehull i fast fjell viste at alle de vanlige metodene for å kalkulere tilsynelatende transmissivitet var av følgende form:

$$F = C.T$$

der F = brønnens spesifikke kapasitet

og C = en konstant = ca. 0,9 (eller ca. 1,4 for Lugeon-testing av korte sekjoner).

Referanser:

Banks, D.C. 1972: **In-situ measurements of permeability in granite.** Proc. symp. on percolation through fissured rock. Section TI-A ISRM. Stuttgart, 1972.

Banks, D. & Rohr-Torp, E. 1990: **Hvalerprosjektet - et integrert studium av grunnvann i fast fjell.** Geonytt, Vol.17, No.4, ss. 25-26 & 59, Des. 1990.

Banks, D., Lauritsen, T., Skarphagen, H. & Rohr-Torp, E., 1991. **Hvaler-prosjekt - grunnvann i fast fjell. Boring og kapasitetstesting av fire hull, ved Pulservik, Kirkeøy.** Norges geol.unders. rapport 91.215.

Banks, D., Solbjørg, M.L. & Rohr-Torp, E. 1992a. **Permeability of fracture zones in a Precambrian granite.** Quarterly Journal of Engineering Geology (in preparation). 1992

Banks, D., Rohr-Torp, E. & Skarphagen, H. 1992b. **An integrated study of a Precambrian granite aquifer, Hvaler, Southeastern Norway.** Norges.geol.unders.Bulletin (skal publiseres). 1992.

Carlsson, L. & Carlstedt, A. 1977. **Estimation of transmissivity and permeability in Swedish bedrock.** Nordic Hydrology, 8, 1977, ss.103-116.

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.

Carlsson, L., Gidlund, G., Hansson, K. & Klockars, C-E. 1979. **Estimation of hydraulic conductivity in Swedish Precambrian crystalline bedrock.** Proc. OECD Nuclear Energy Agency workshop, 19-21. Mars., 1979

Jetel, J. & Krásny, J. 1968. **Approximate aquifer characteristics in regional hydrogeological study.** Vestnik Ustredniho ustavu geologickeho, 43, 1968. ss. 459-461.

Kirkhusmo, L.A. & Sønsterud, R. 1988. **Overvåking av grunnvann. Landsomfattende grunnvannsnett (LGN).** Norges geol. unders. rapport 88.046.

Kràsny, J. 1975. **Variation in transmissivity of crystalline rocks in southern Bohemia.** Vestnik Ustredniho ustavu geologickeho, 50, 1975. ss. 207-216.

Kruseman, G.P. & De Ridder, N.A 1983. **Analysis and evaluation of pumping test data.** International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI Bulletin 11. Wageningen, Netherlands. 1983. 200 ss.

Hult, A., Gidlund, G. & Thoregren, U. 1978. **Permeabilitetsbestämningar.** KBS Teknisk Rapport No.61, Kärnbränslesäkerhet, Stockholm, Jan.1978.

Lloyd, J.W. & Heathcote, J.A. 1985. **Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater - an introduction.** Clarendon Press, Oxford.

Mc.Farlane, M. 1991. **Aluminium menace in tropical wells.** New Scientist. 3.august 1991. ss.38-40.

Moye, D.G. 1967. **Diamond drilling for foundation exploration.** Civil Engineering Transaction. Inst. of Engineers, Australia, April 1967, 95-100.

Nilsen, B. 1988. **Norwegian sub-sea tunnels - A review with emphasis on water leakages.** In "Tunnels and Water", proceedings of the international congress on tunnels and water, Madrid, 12-15 June 1988, ed. Serrano J.M., Balkema, Rotterdam, ss. 913-918.

Nilsen, B. 1990. **Tunneler under fjorder og sund.** Geonytt, vol.3, 1990, ss. 3-5.

Oftedahl, C. 1981. **Norges geologi.** Tapir forlag, Trondheim. 1981. 207 ss.

Olkiewicz, A., Hansson, K., Almén, K-E. & Gidlund G. 1978. **Geologisk och hydrogeologisk grunddokumentation av Stripa försöksstation.** KBS Teknisk Rapport No.63, Kärnbränslesäkerhet, Stockholm, Feb.1978.

Reite, A.J. 1983. **Beskrivelse til kvartærgeologisk kart 1621 IV, M - 1:50,000. Trondheim.**
Norges geol. unders. 391 (Skrifter 46). Universitetsforlaget. 1983. 44 ss.

Rorabaugh, M.J. 1953. **Graphical and theoretical analysis of step-drawdown test of artesian well.** Proc. Amer. Soc. Civil Engineers, 79, separat utgave nr. 362, 23 pp.

SIFF 1987. **Kvalitetsnormer for drikkevann (G2).** Statens institutt for folkehelse.

Soveri, J. 1982 (red.). **Acid groundwater in the Nordic Countries.** Nordic Hydrological Programme NHP-report no.3. Compiled by the NHP working group for groundwater networks. Nordic Association for Hydrology. 1982. 29 ss.

Storrø, G. 1990. **Hydrokjemi, hydrologi og geologi i Kaldvellfeltet.** Doktor ing. avhandling. 1990:54. Norges tekniske høyskole, Inst. for geologi og berg, 1990.

Todd, D.K. 1980. **Groundwater hydrology. 2nd edition.** Wiley & Sons. 1981. 535 ss.

Wolff, F.C. 1976. **Geologisk kart over Norge. Berggrunnskart Trondheim. 1.250,000.**
Norges geol.unders.

Figurene

- 1) Lokalisering av testhullene
- 2) Utforming av testhull 1
- 3) Utforming av testhull 2
- 4) Vannstandsmålinger i testhullene, 1991
- 5) Trinnsvis prøvepumping i testhull 1 (senkning mot tid)
- 6) Q_A plottet mot vannnivå d, Trinnsvis prøvepumping, Testhull 1
- 7) Gjenvinnelse av vannnivået etter prøvepumping, Testhull 1
- 8) Vannnivå (d) og Q_A plottet mot tid. Gjenvinnelse etter boring. Testhull 2
- 9) Q_A plottet mot vannnivå (d). Gjenvinnelse etter boring. Testhull 2
- 10) Trinnsvis prøvepumping i testhull 2 (senkning mot tid)
- 11) Q_A plottet mot vannnivå d, Trinnsvis prøvepumping, Testhull 2
- 12) Vannnivå (d) og Q_A plottet mot tid. Gjenvinnelse etter prøvepumping. Testhull 2
- 13) Q_A plottet mot vannnivå (d). Gjenvinnelse etter prøvepumping. Testhull 2
- 14) Response av observasjonshullene under prøvepumping
- 15 a-f) Grunnvannskjemi under prøvepumping
- 16) Grunnvannets kjemiske sammensetning

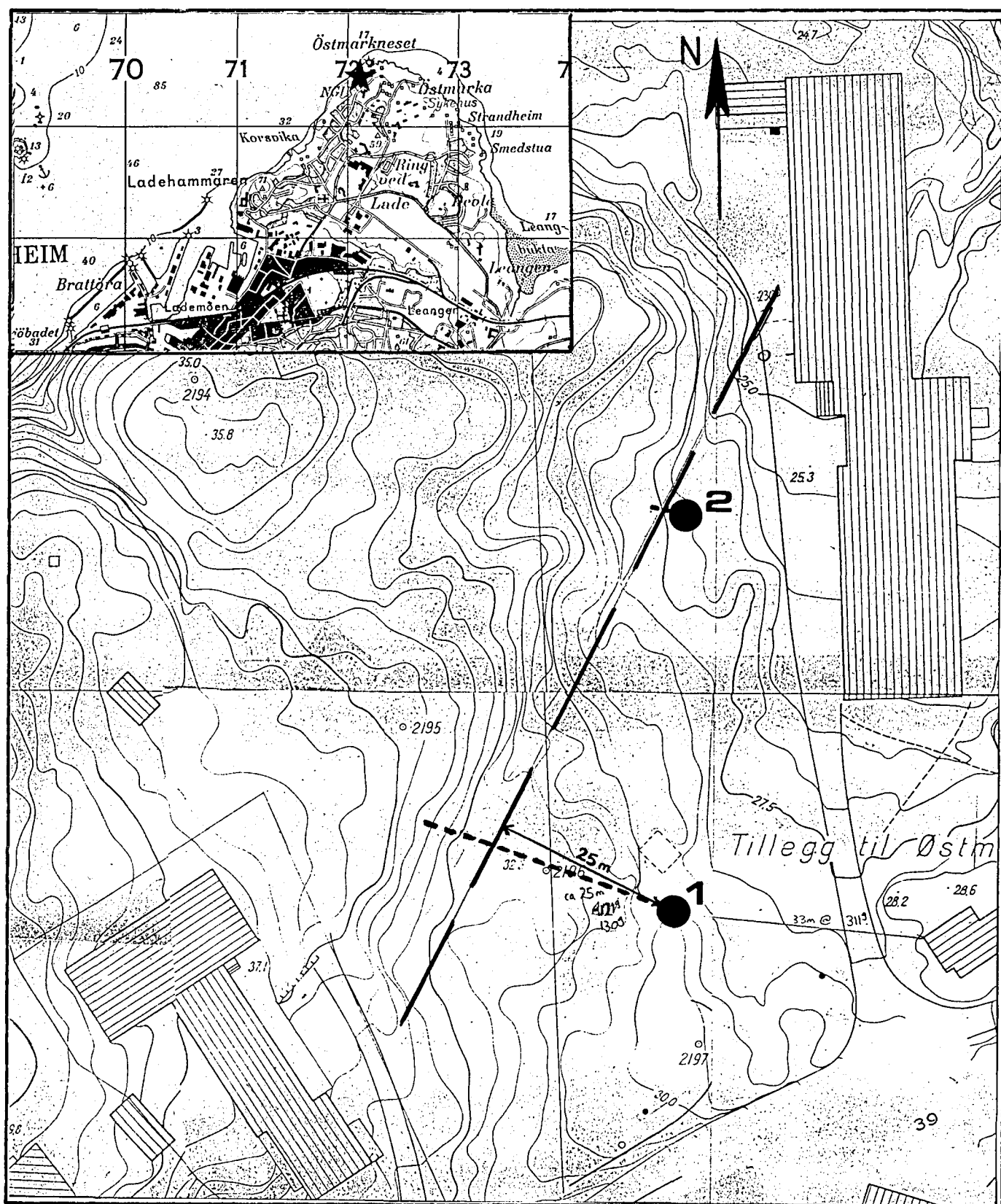


Fig.1 Lokalisering av testhullene. NGU Trondheim

● - - - - = Testhull med horisontal komponent av fallet

40 m



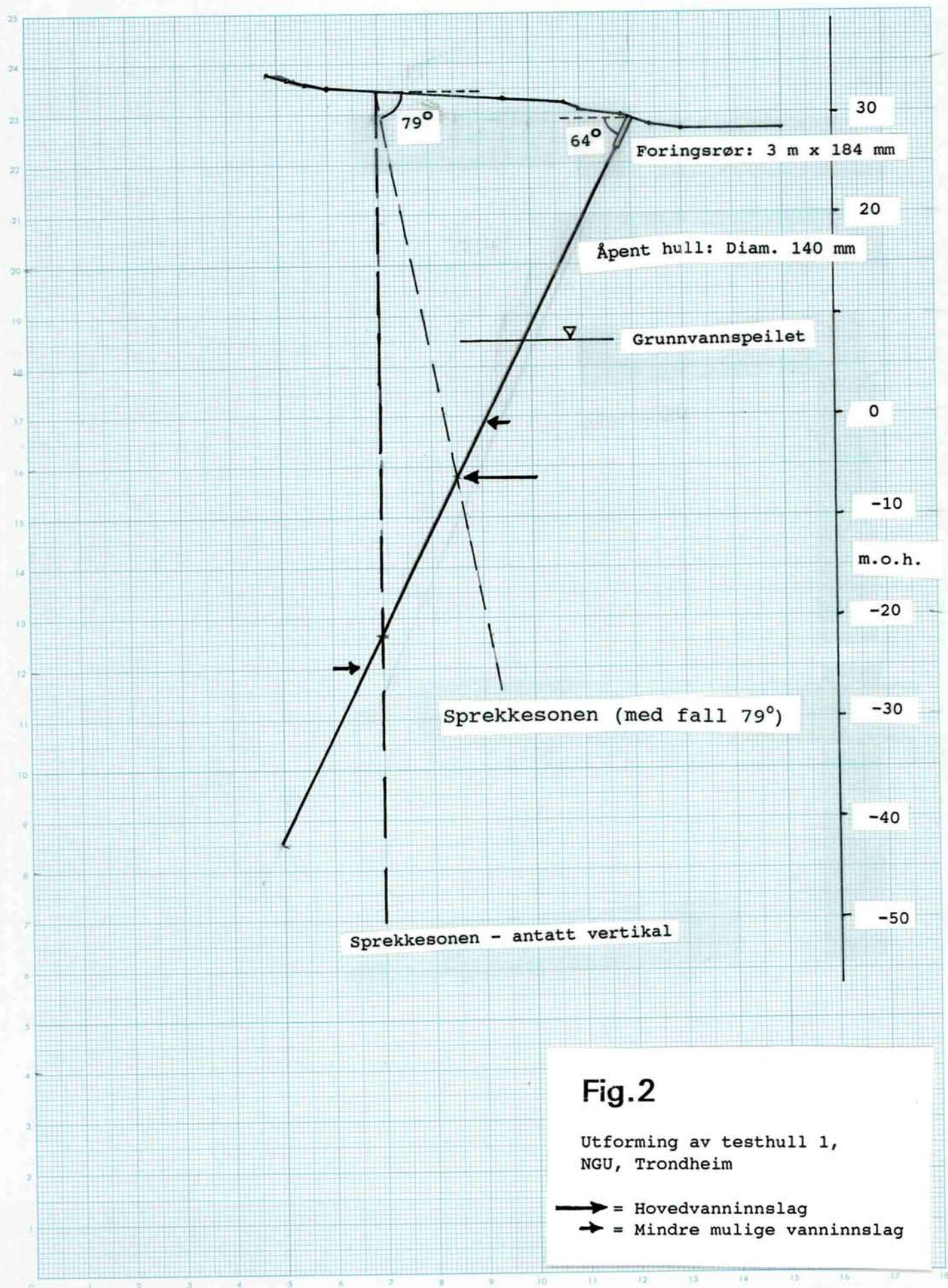


Fig.2

Utforming av testhull 1,
NGU, Trondheim

- = Hovedvanninnslag
- = Mindre mulige vanninnslag

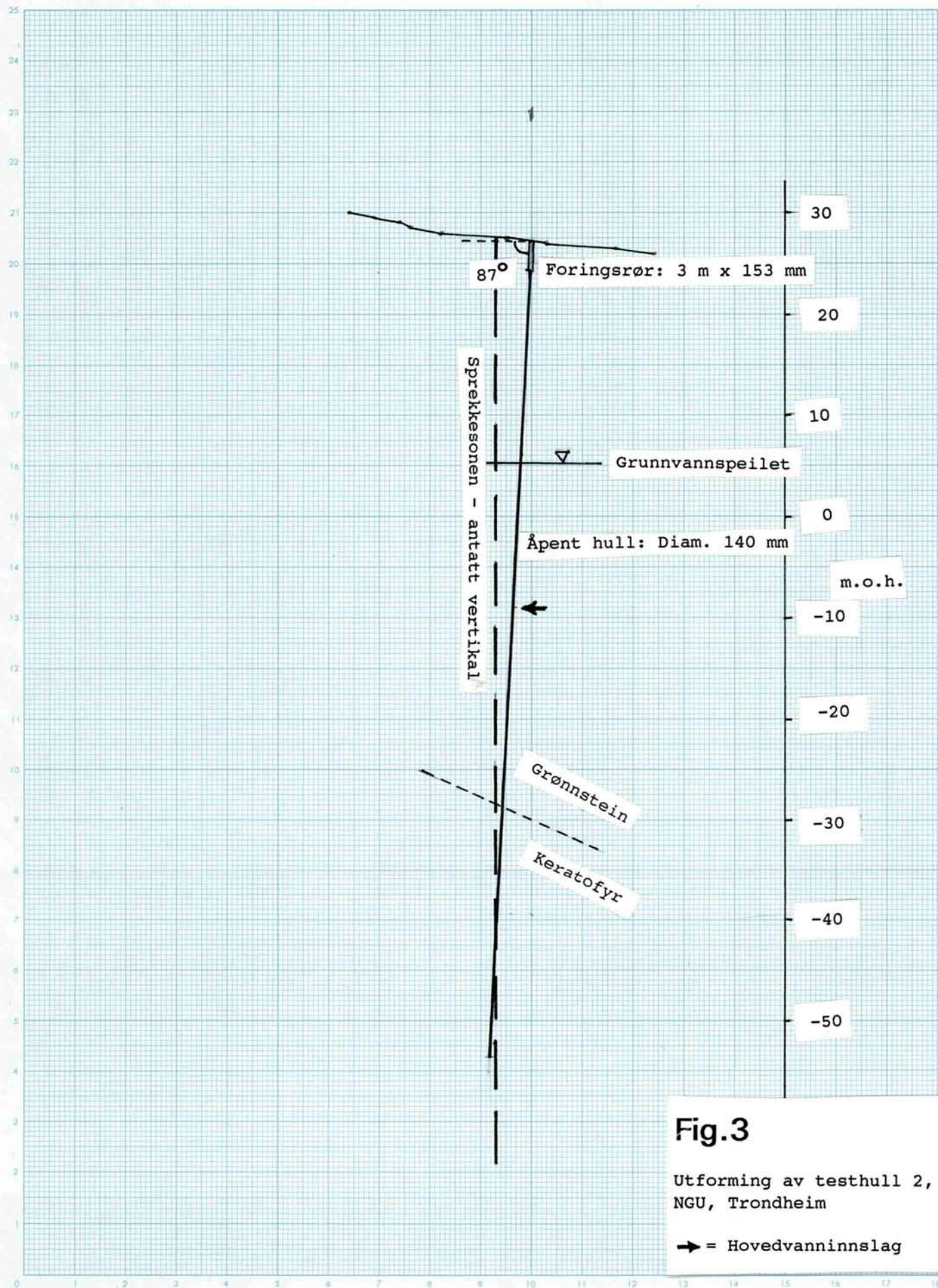
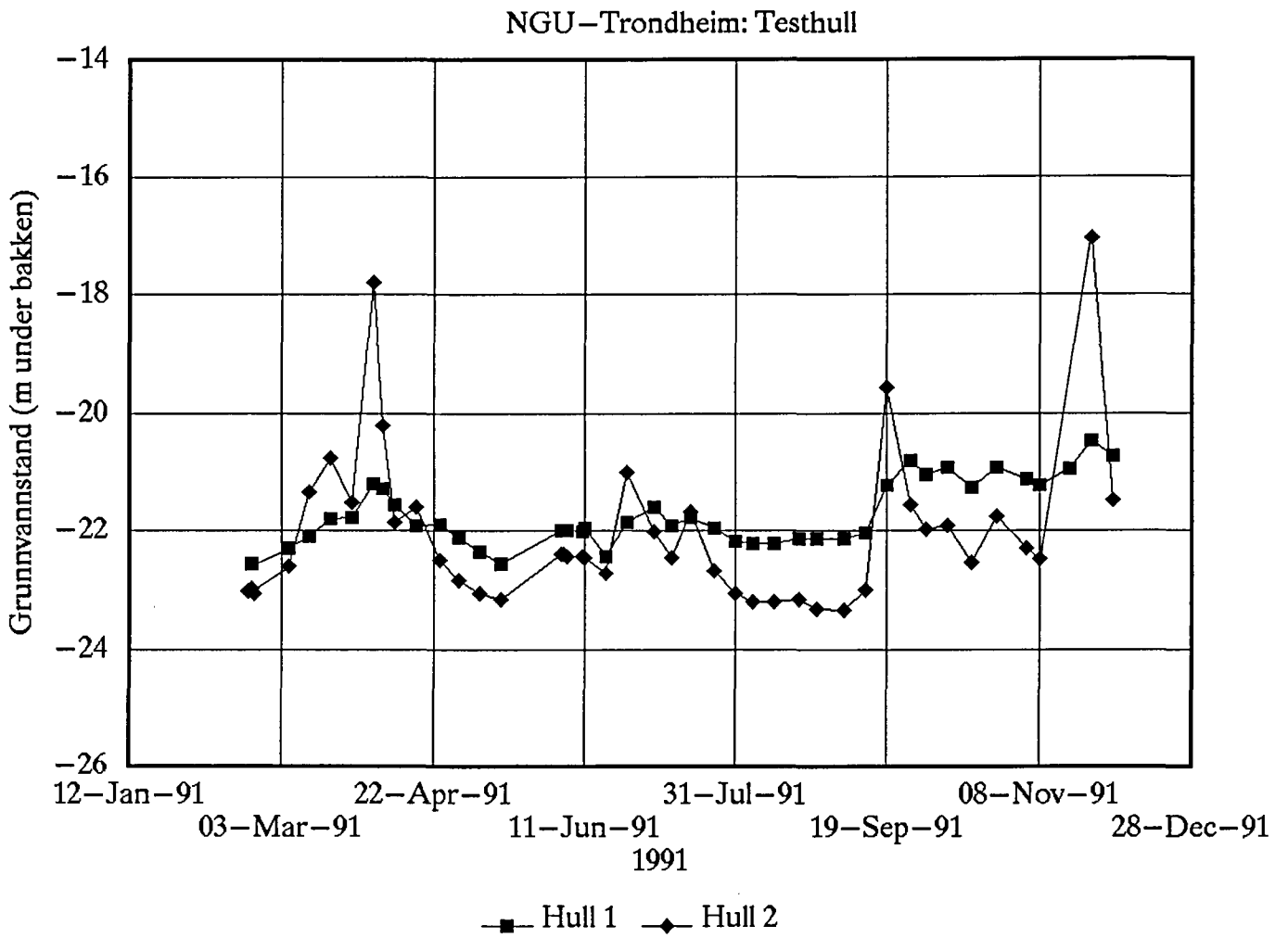


Fig.4

Vannstandsmålinger i testhullene, 1991
(m - vertikalt dyp under bakken)



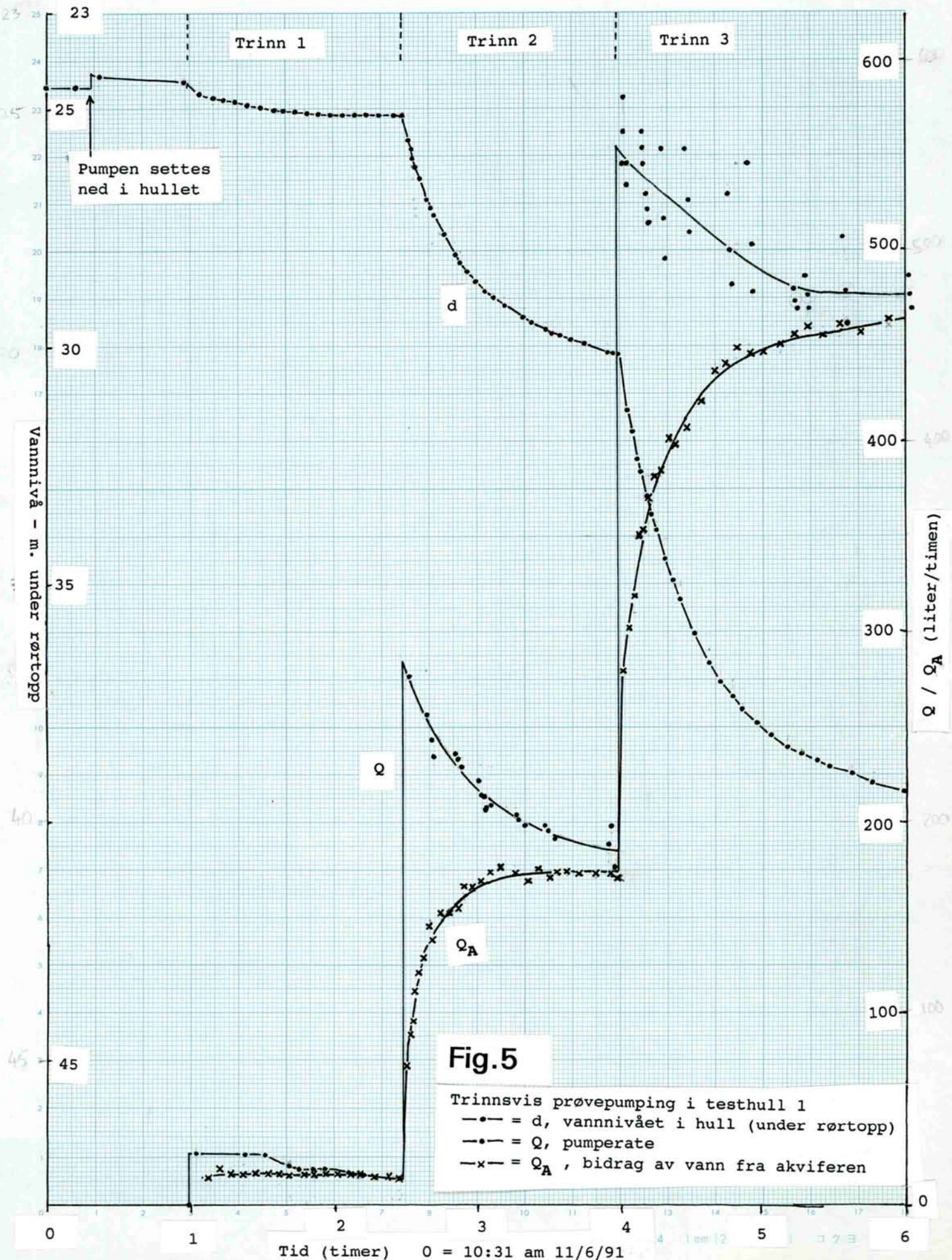
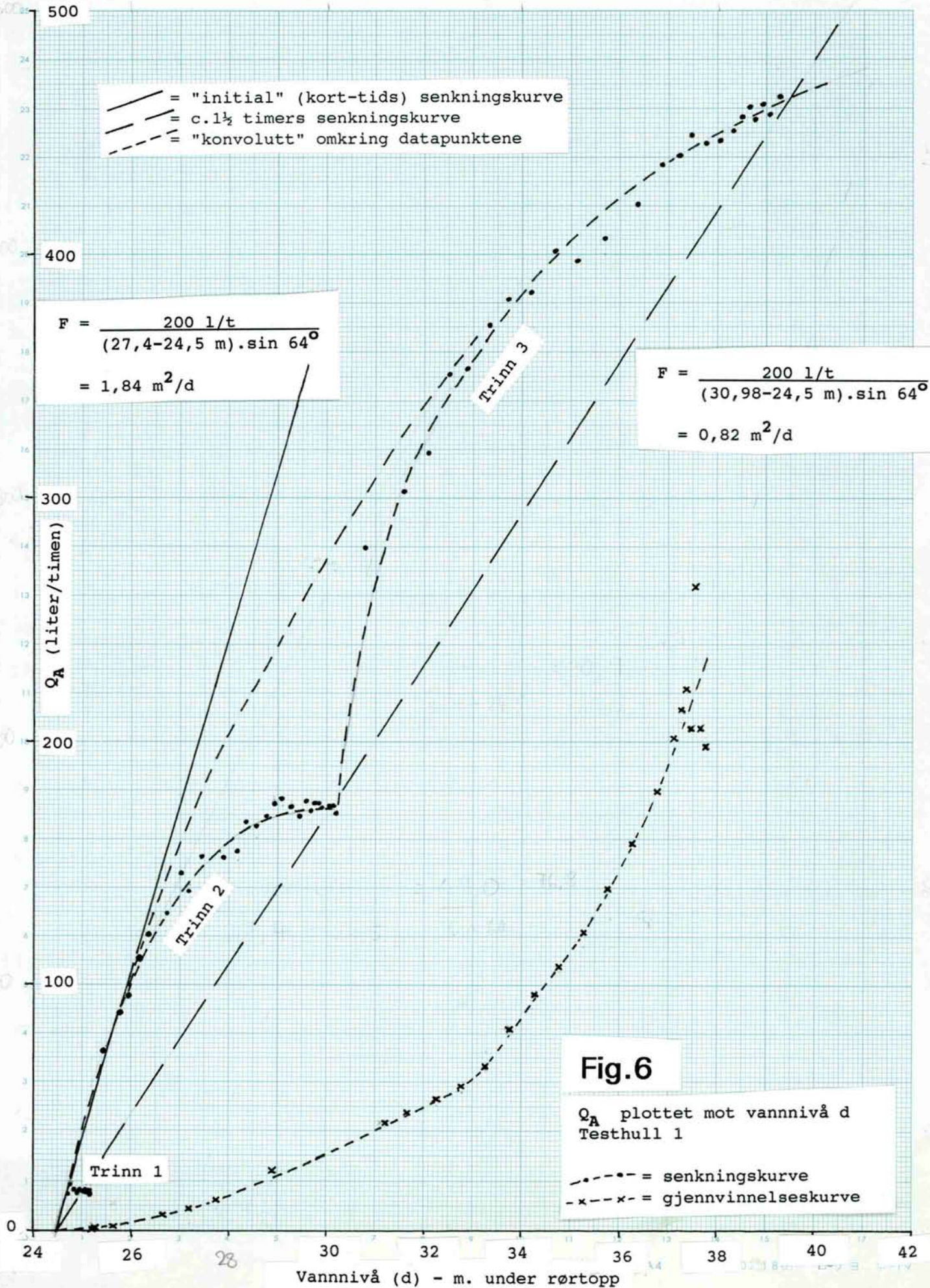
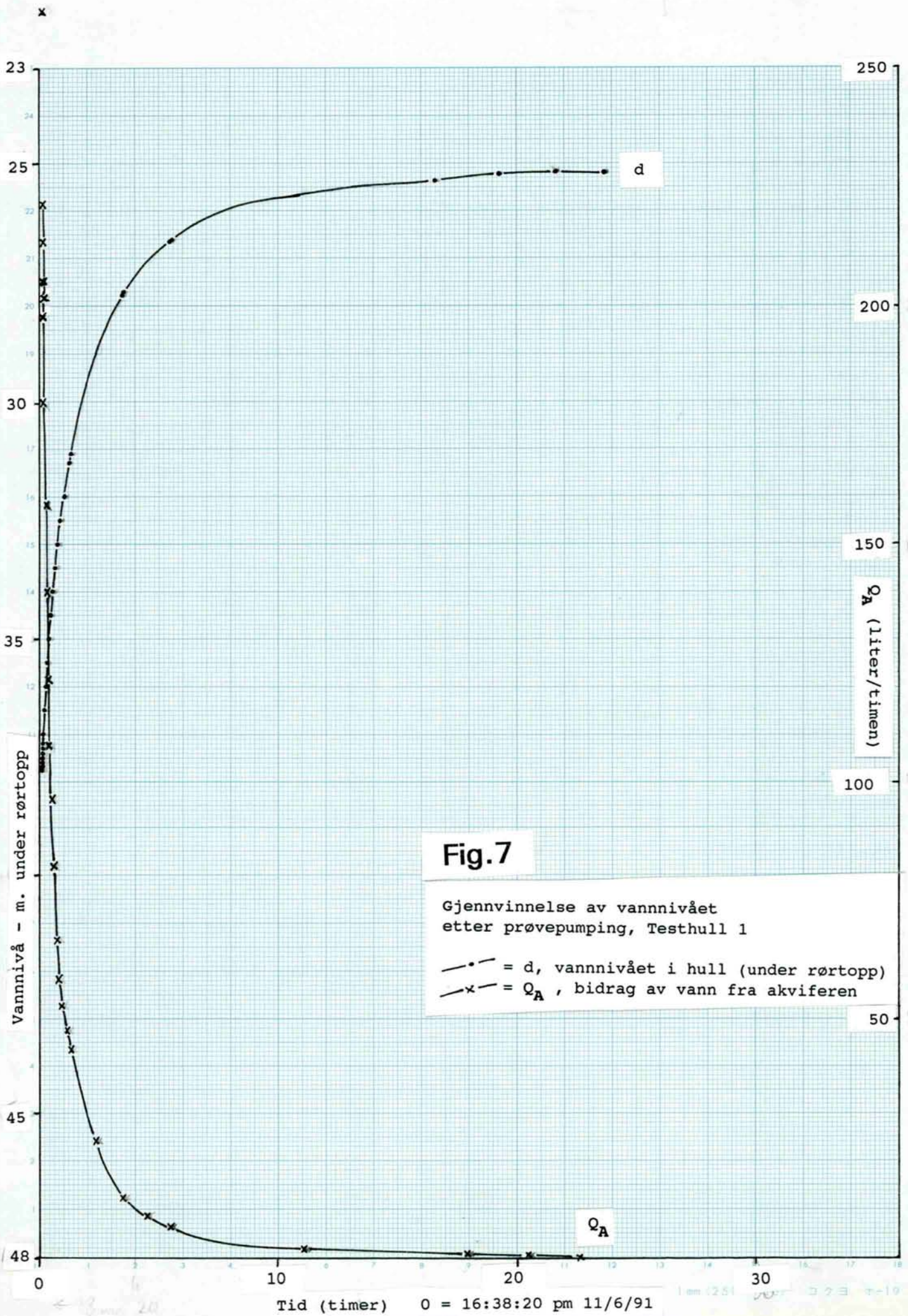
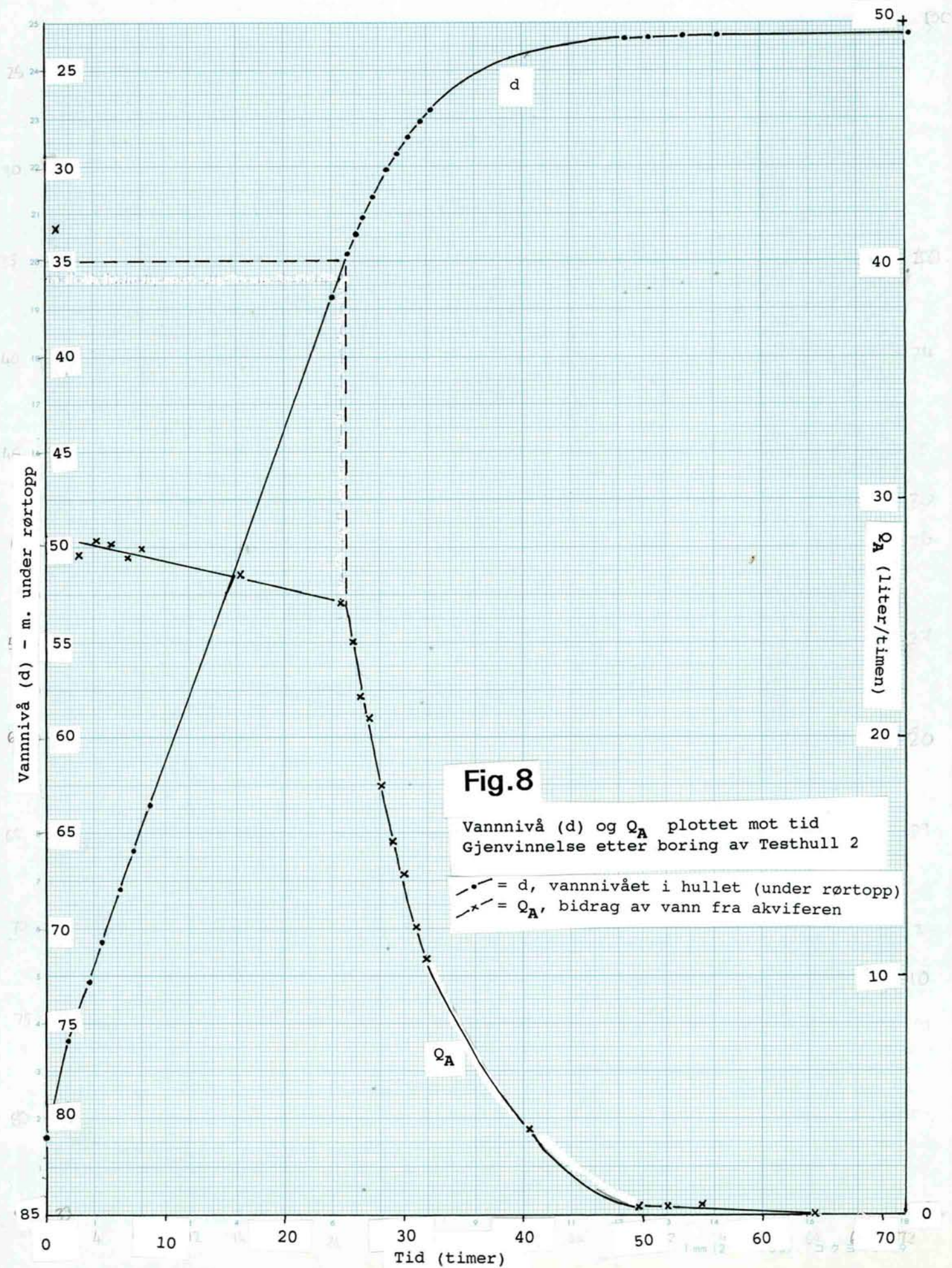


Fig.5

Trinnvis prøvepumping i testhull 1
 -●- = d, vannnivået i hull (under rørtopp)
 -●- = Q, pumperate
 -x- = Q_A, bidrag av vann fra akviferen







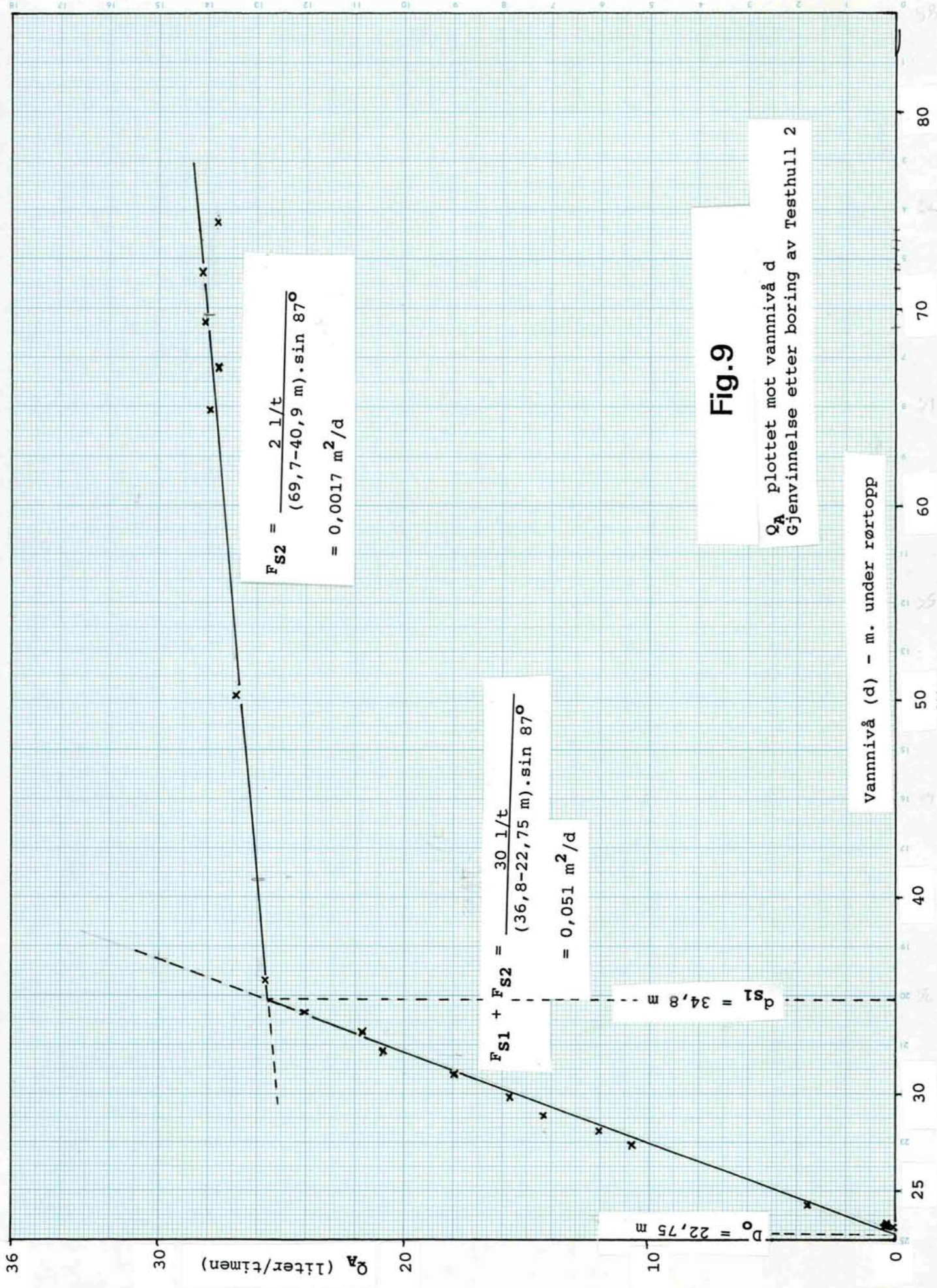
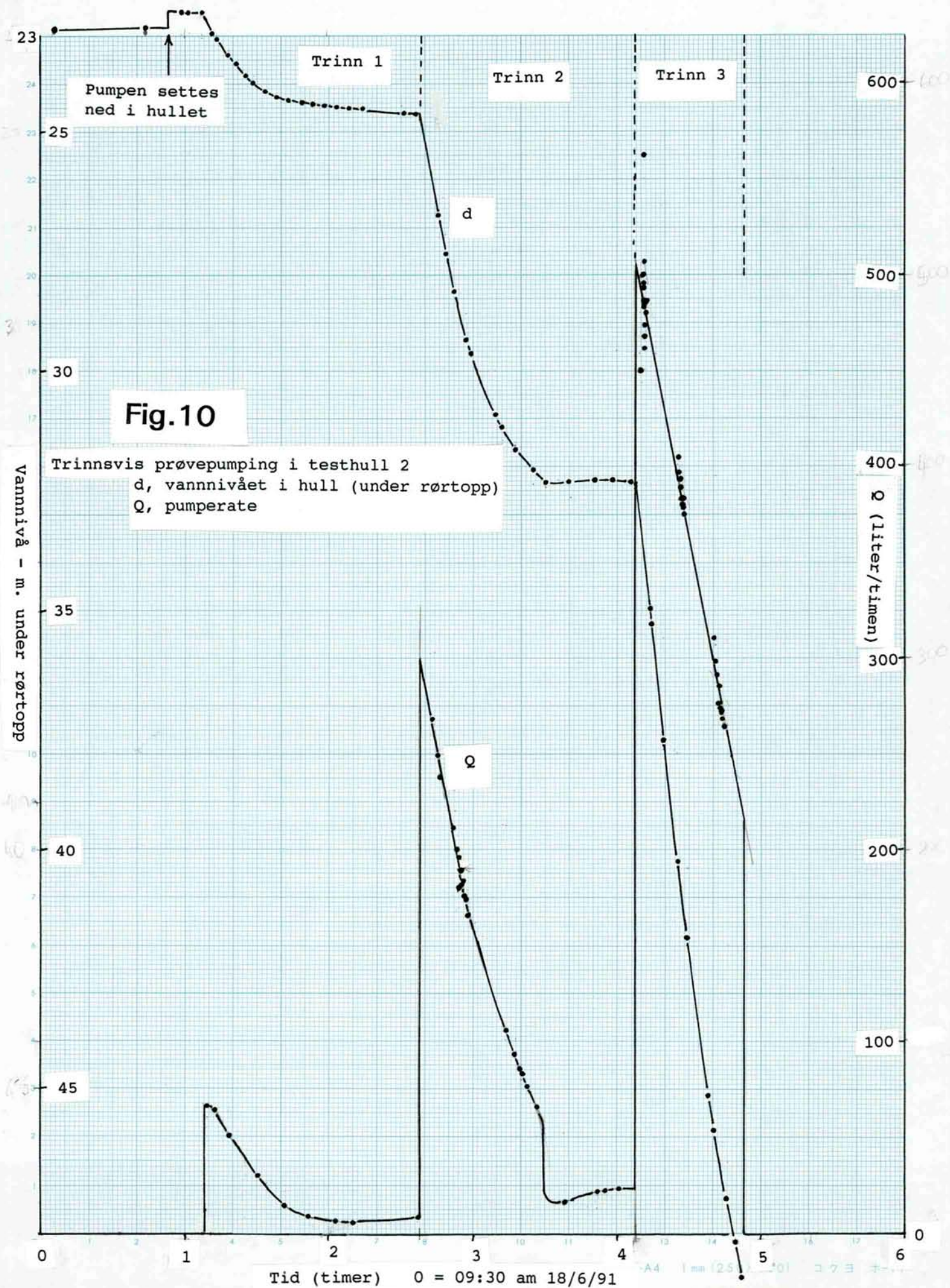


Fig.9
 Q_A plottet mot vannnivå d
 Gjenvinne etter boring av Testhull 2

JIS-A4 1 mm (250x180) □ 2 3 # -1 3



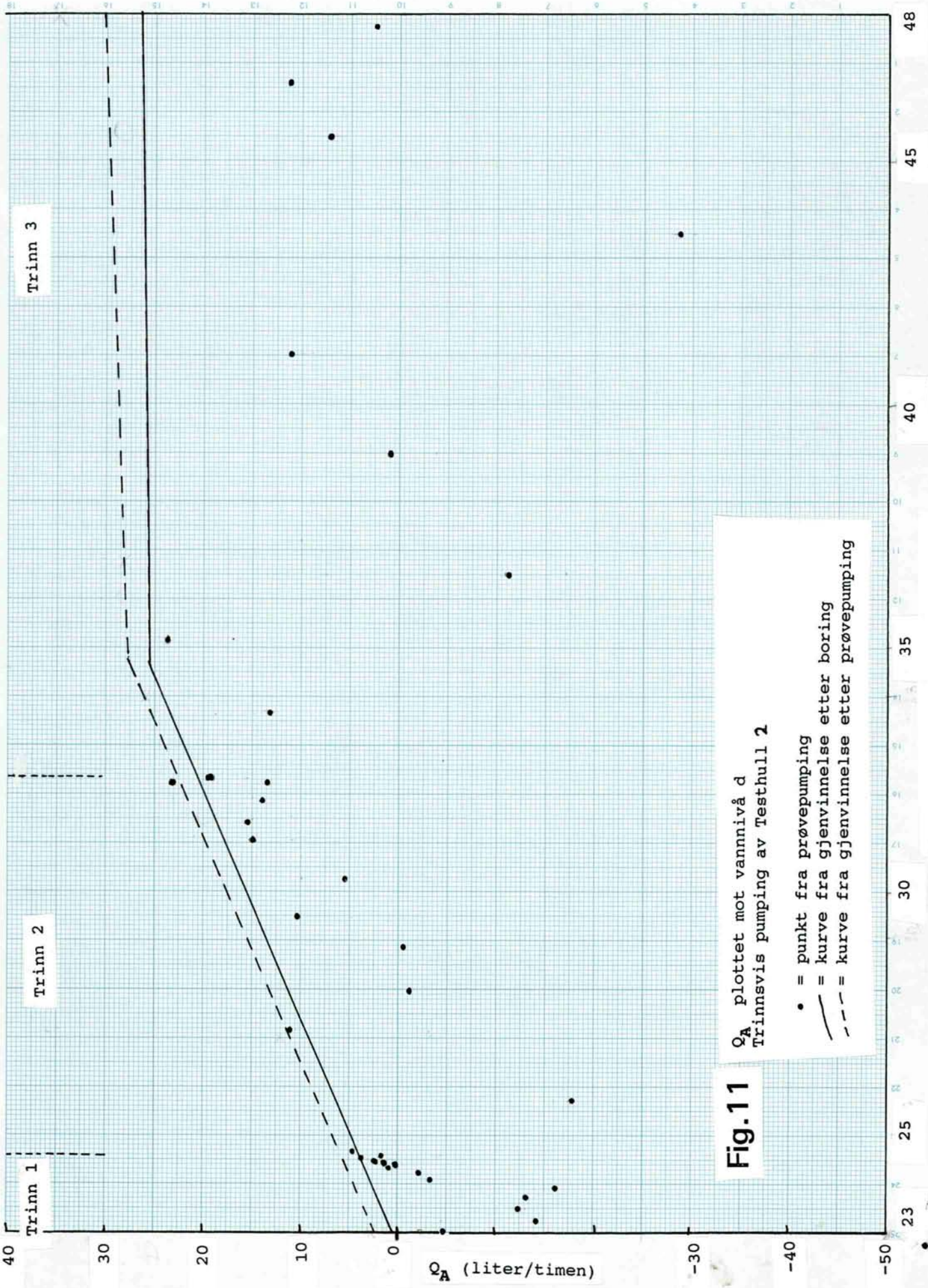
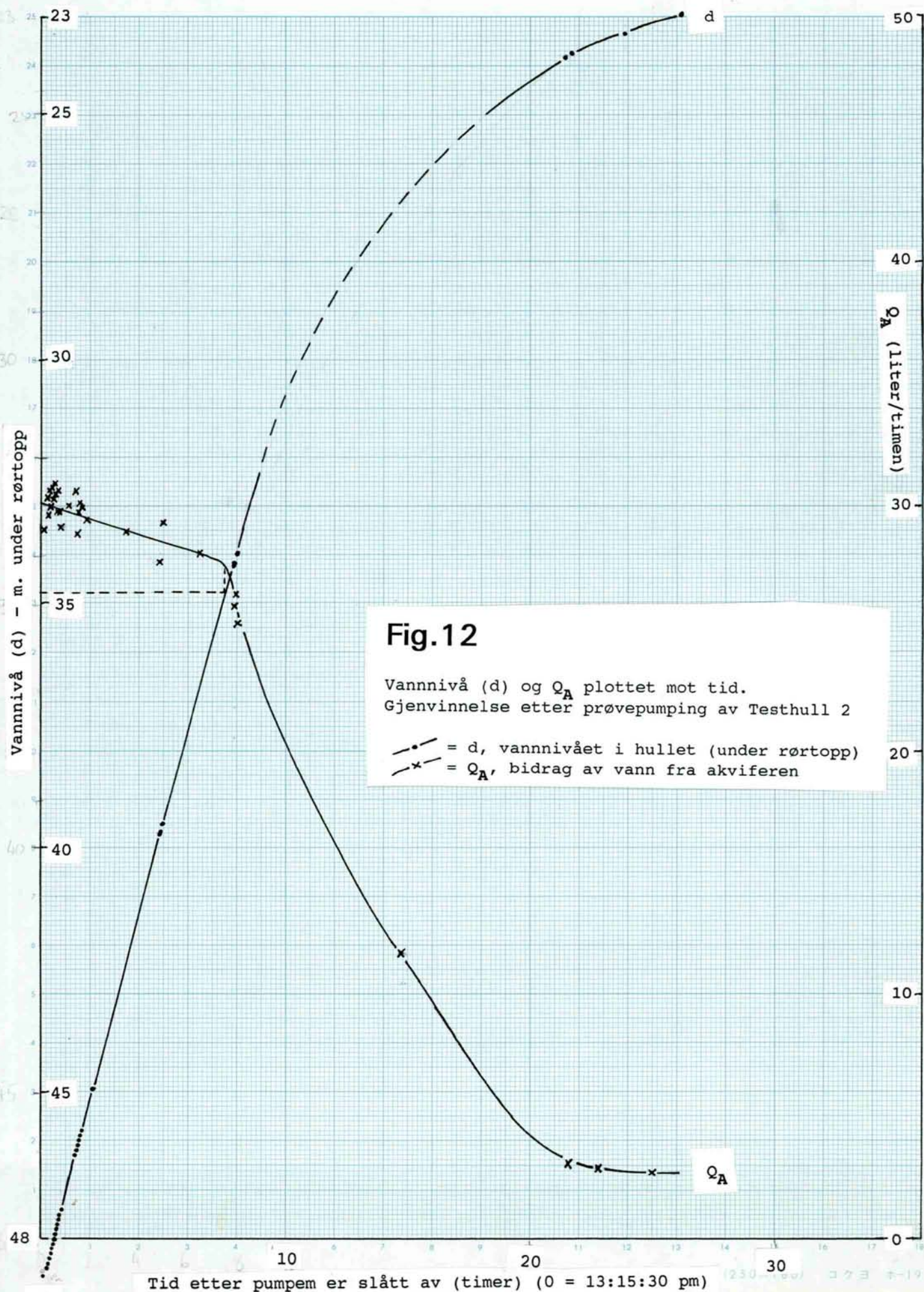


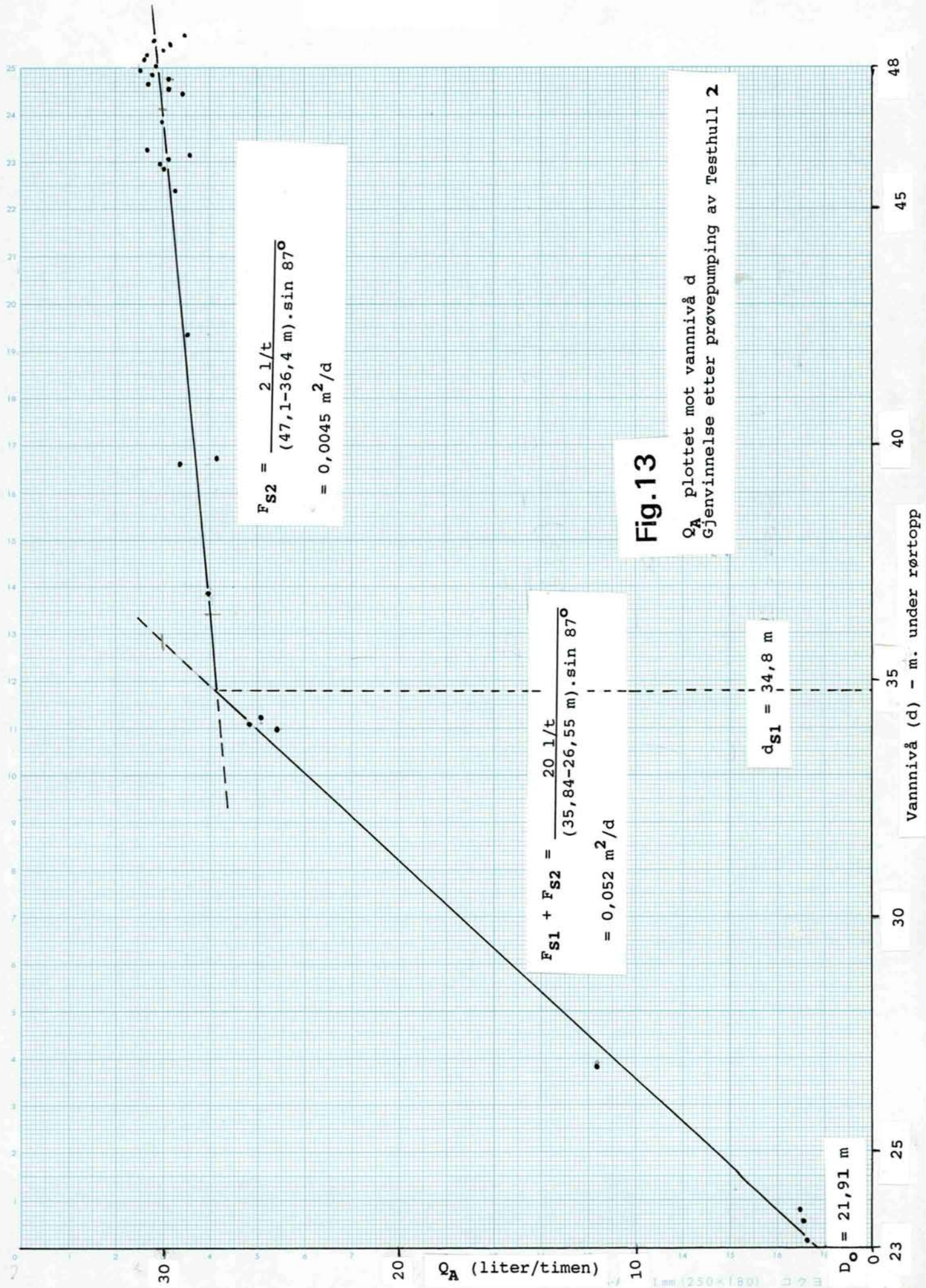
Fig. 11

Q_A plottet mot vannnivå d
Trinnvis pumping av Testhull 2

- = punkt fra prøvepumping
- = kurve fra gjenvinnelse etter boring
- - - = kurve fra gjenvinnelse etter prøvepumping

Vannnivå (d) - m. under rørtopp

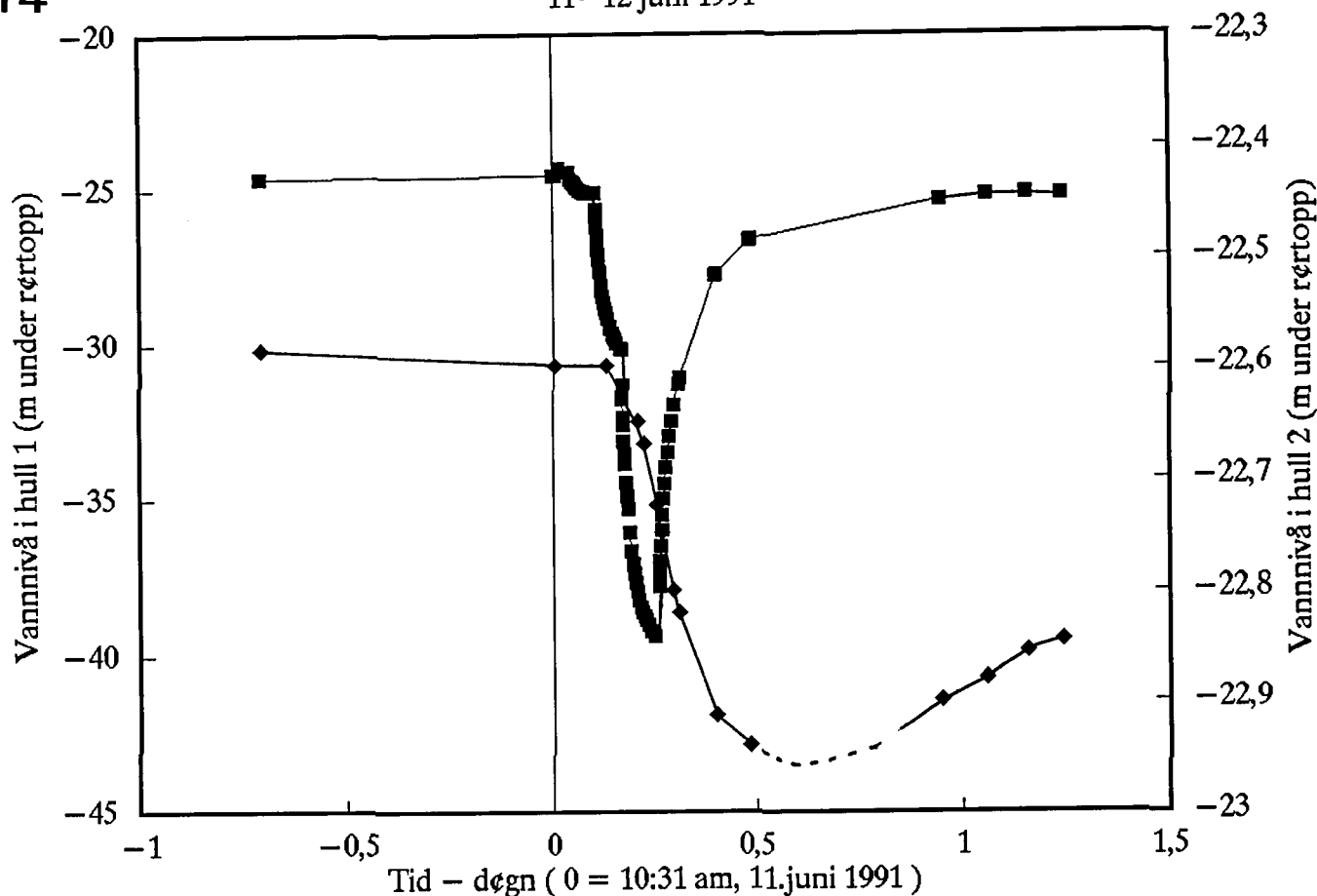




Pumpingtest i testhull 1 – NGU Trondheim

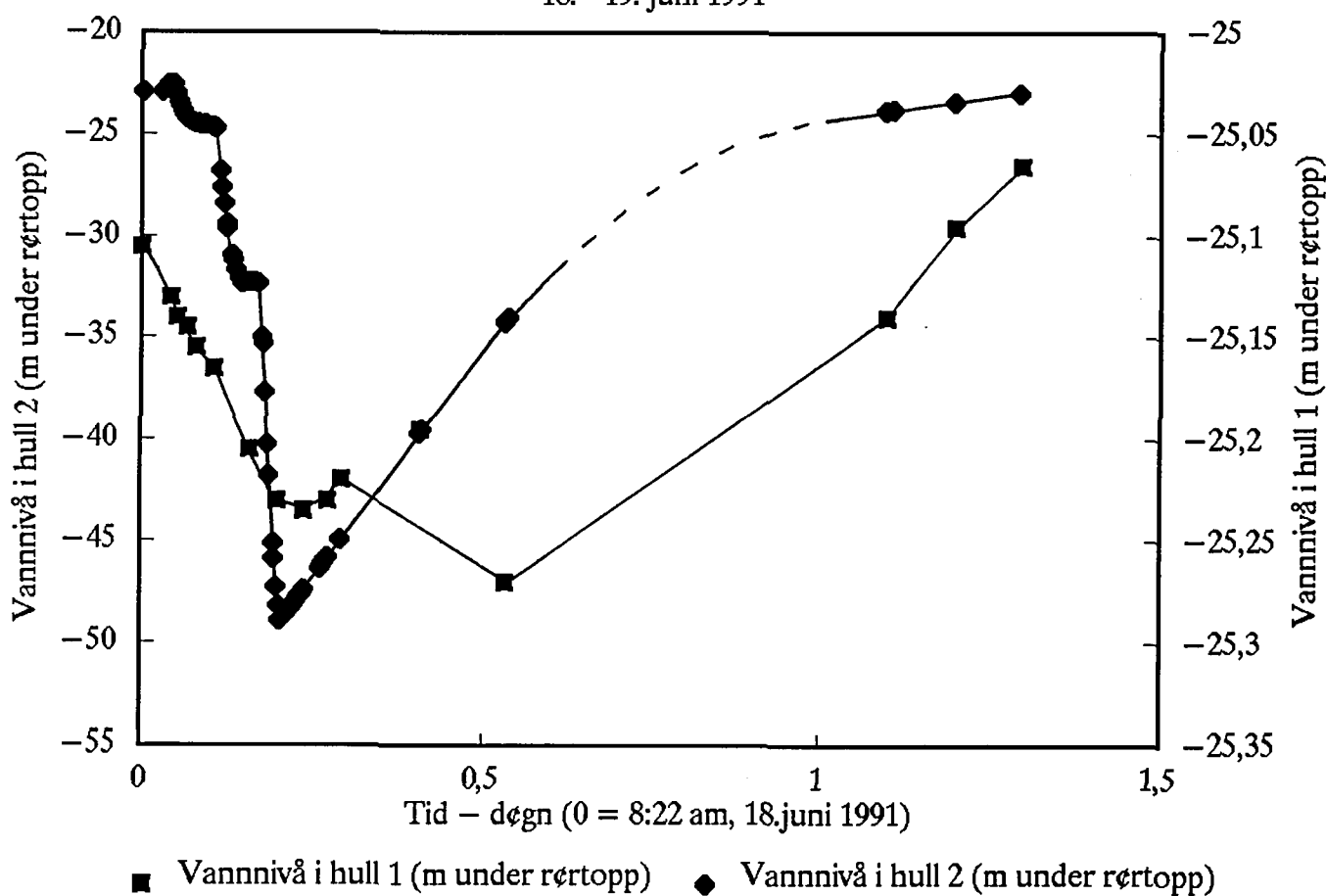
11–12 juni 1991

Fig. 14



Pumpingtest i testhull 2 – NGU Trondheim

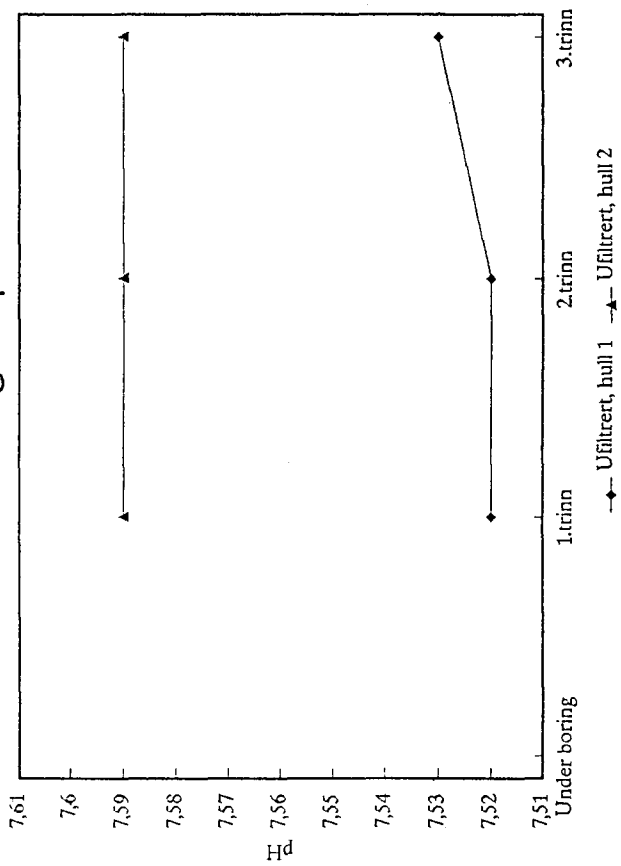
18.–19. juni 1991



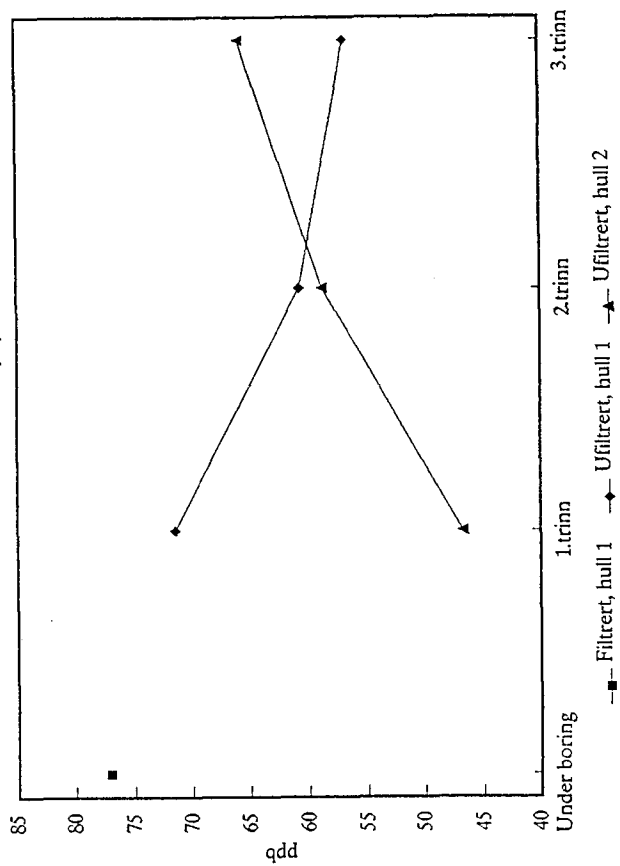
Figs.15 a-f

Grunnvannskjemi under boring og prøvepumping

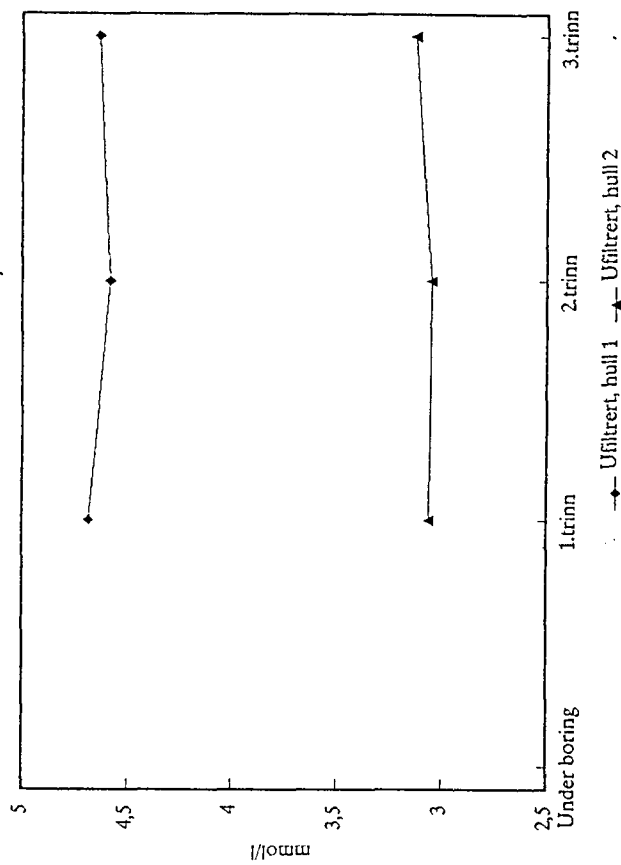
Surhetsgrad pH



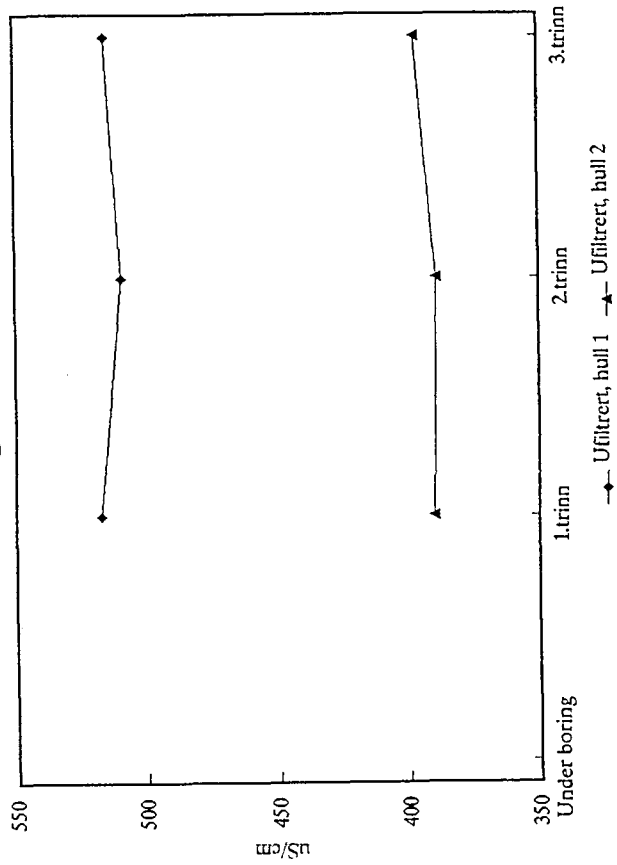
Bromid ppb



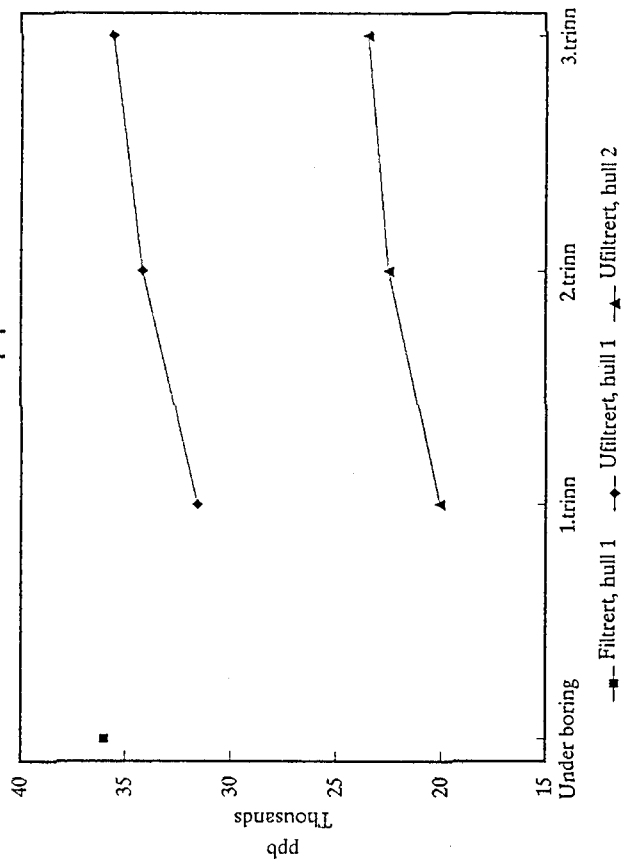
Alkalitet mmol/l



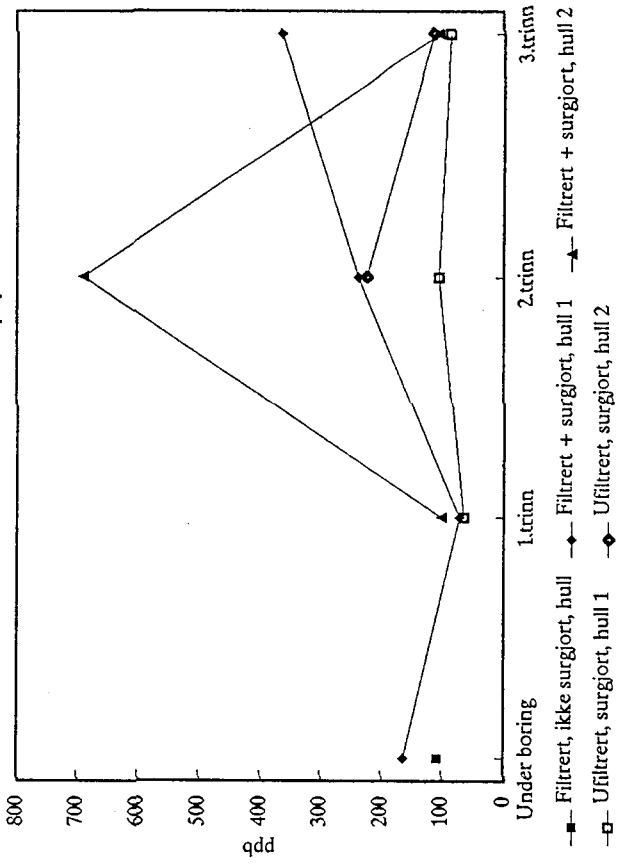
Ledningsevne uS/cm



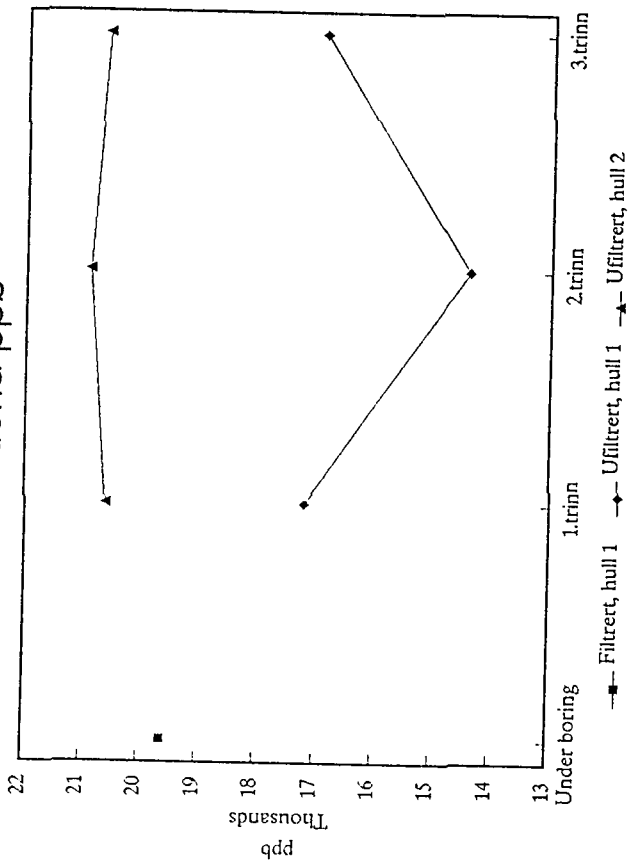
Sulfat ppb



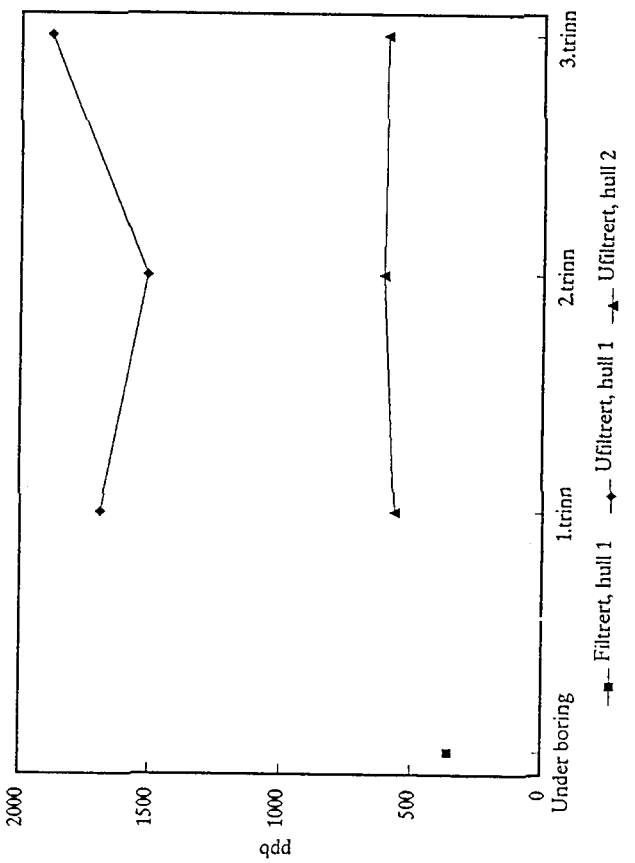
Aluminium ppb



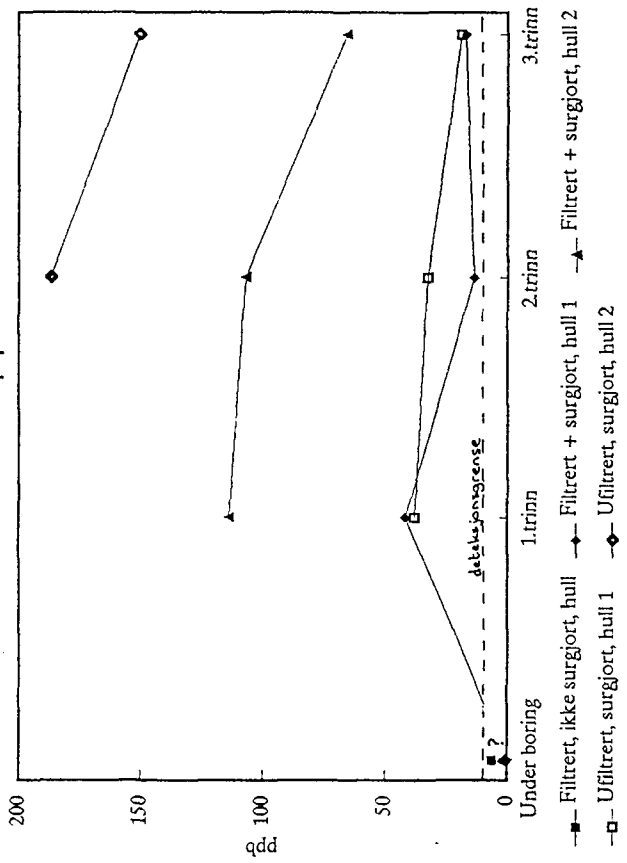
Klorid ppb



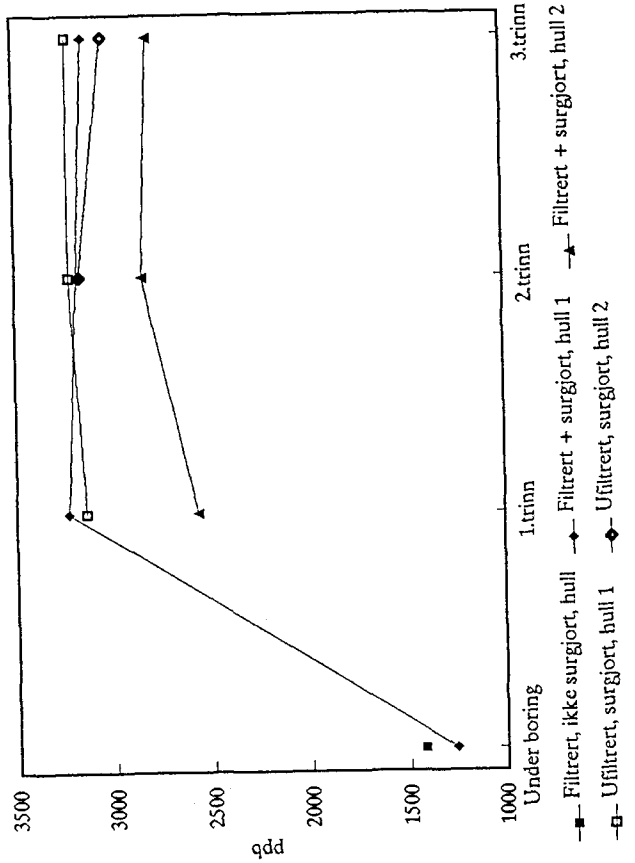
µg/l Nitrat som NO₃⁻



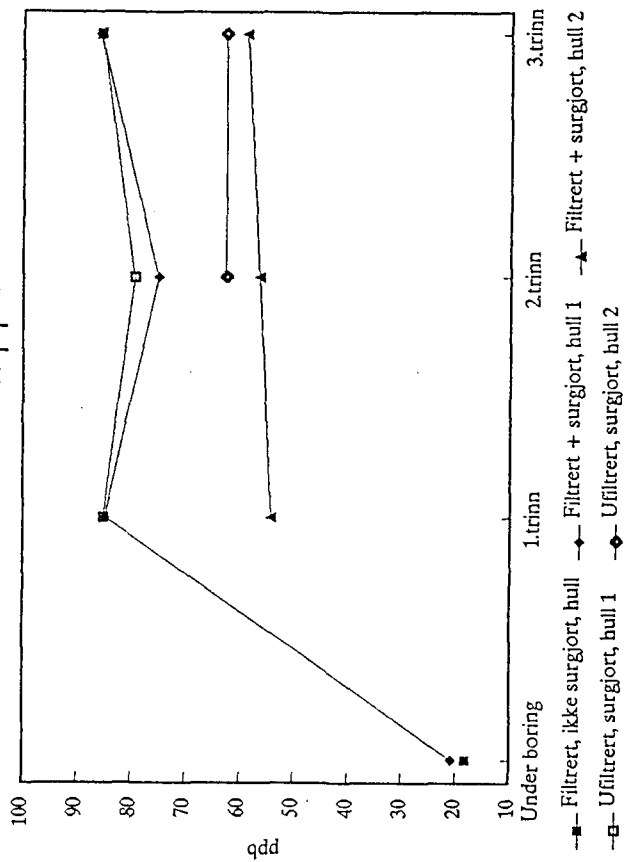
Jern ppb



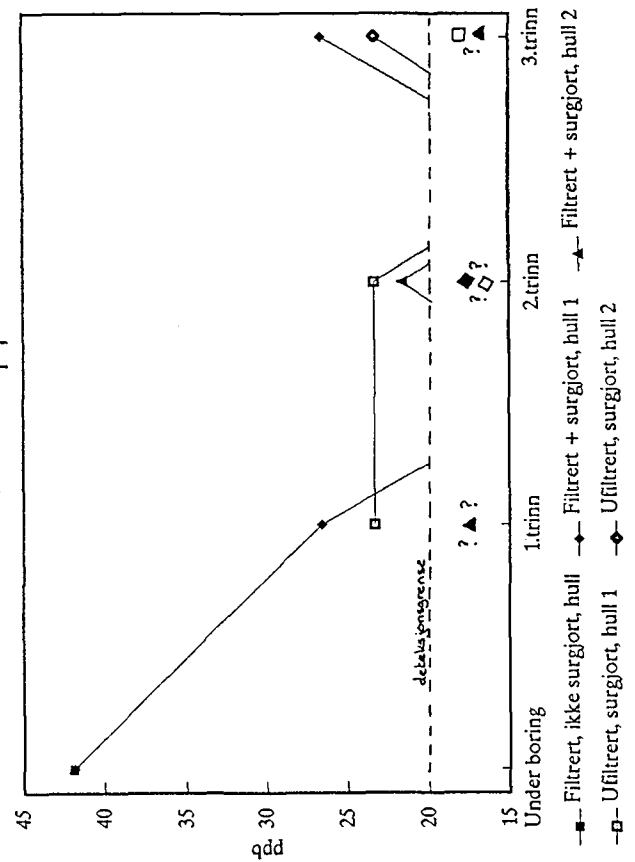
Kalium ppb



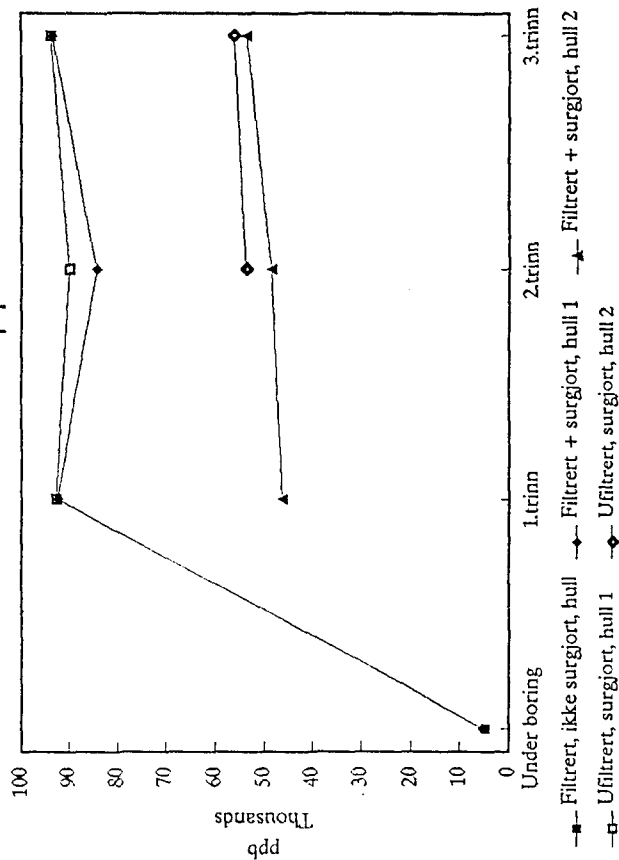
Barium ppb



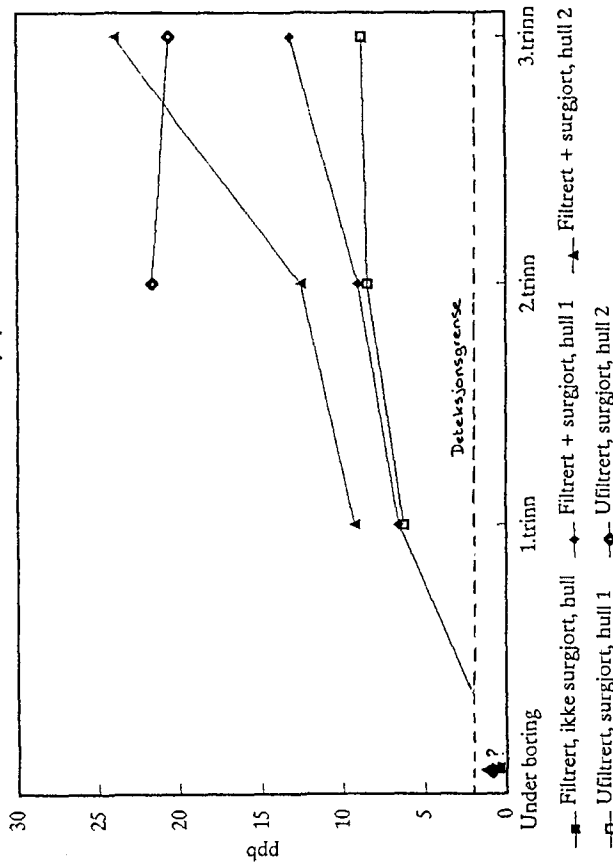
Bor ppb



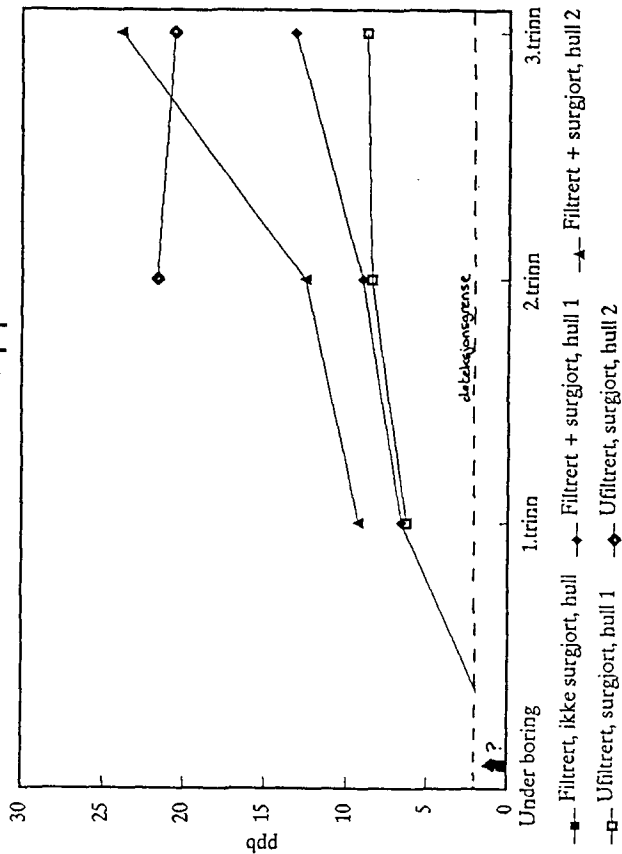
Kalsium ppb



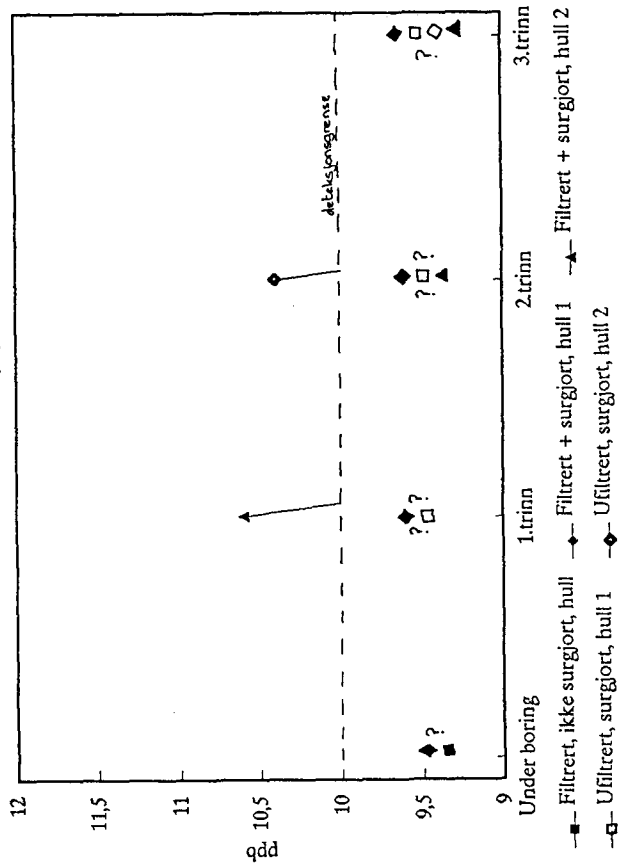
Kobber ppb

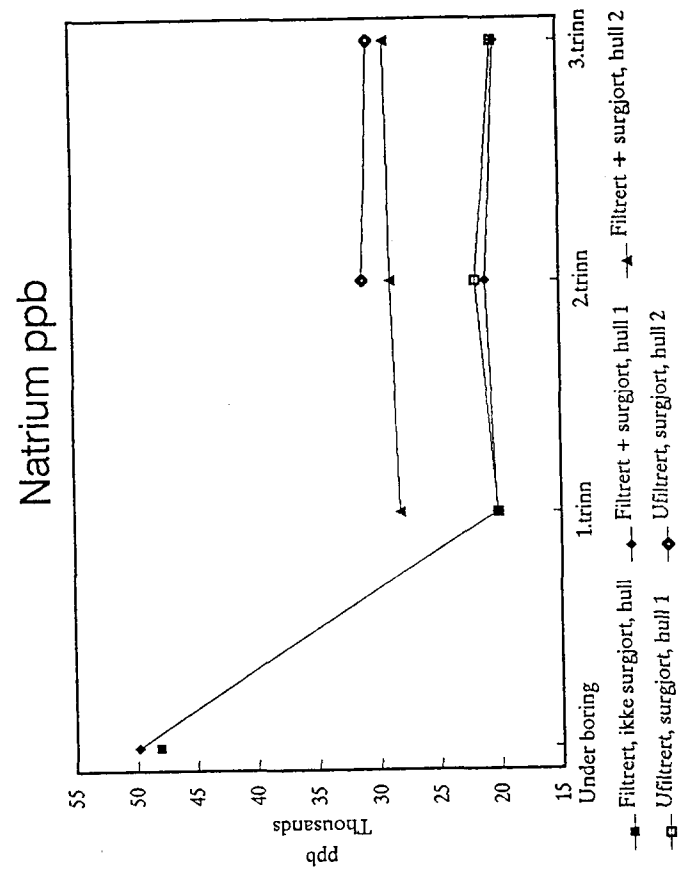
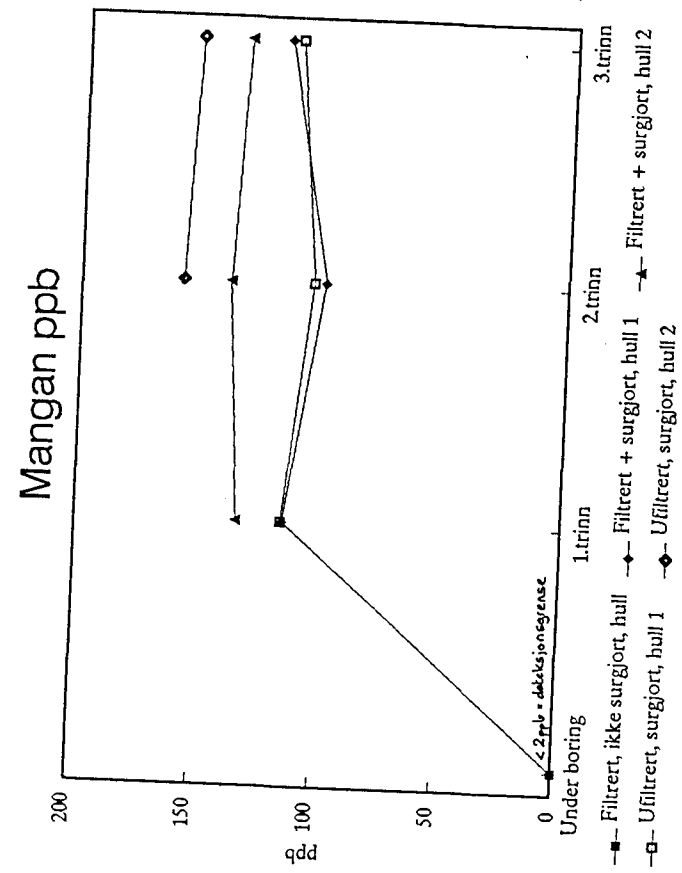
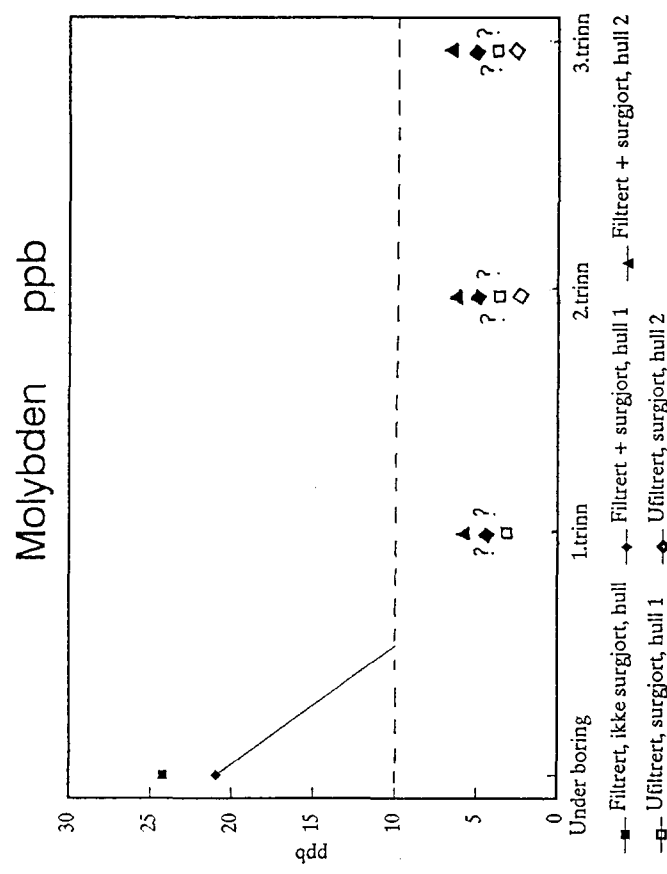
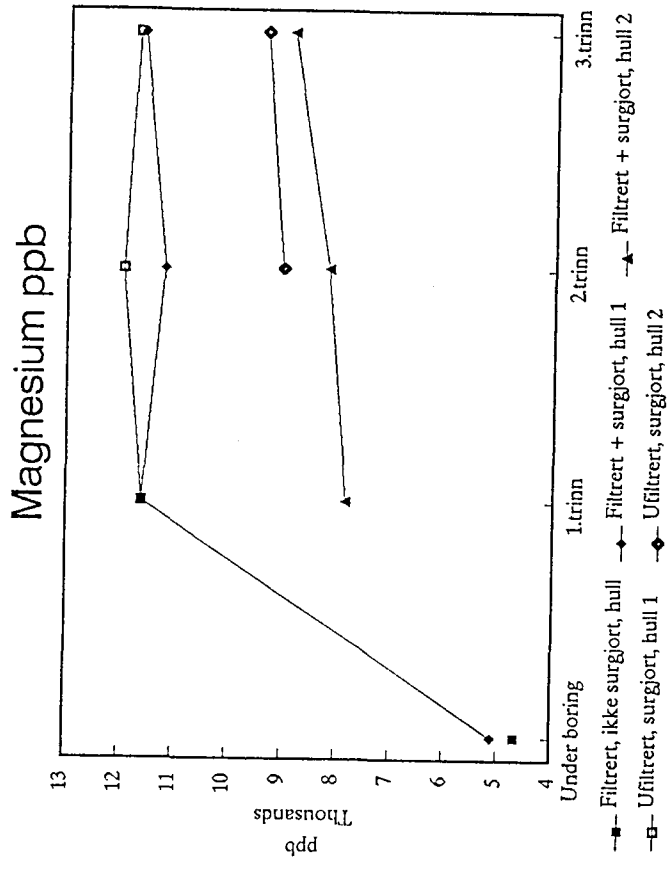


Kobber ppb

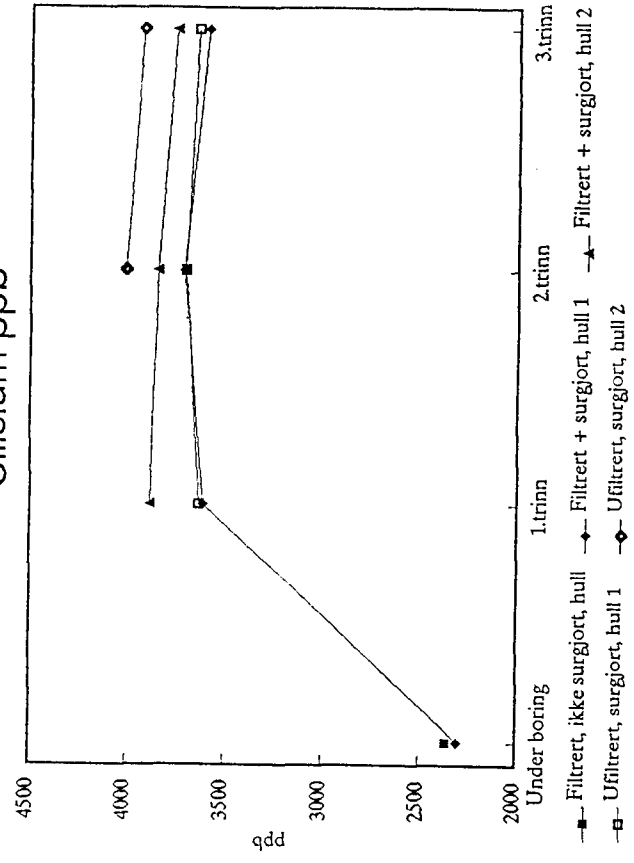


Krom ppb

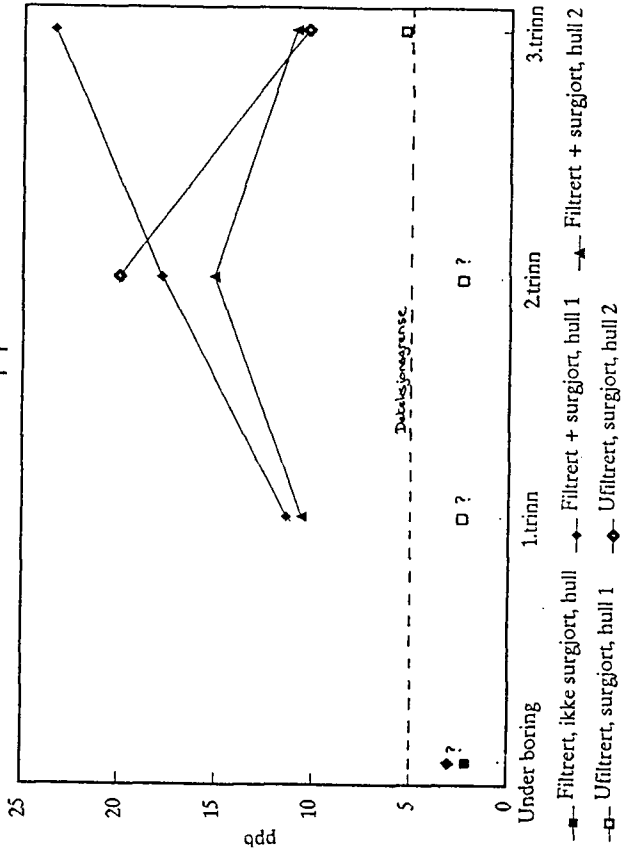




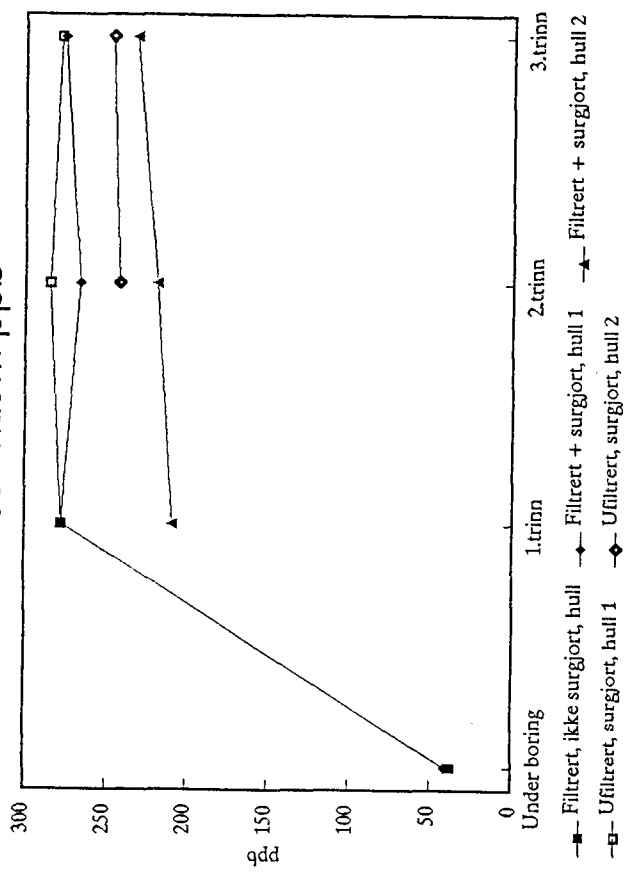
Silisium ppb



Sink ppb



Strontium ppb



Vanadium ppb

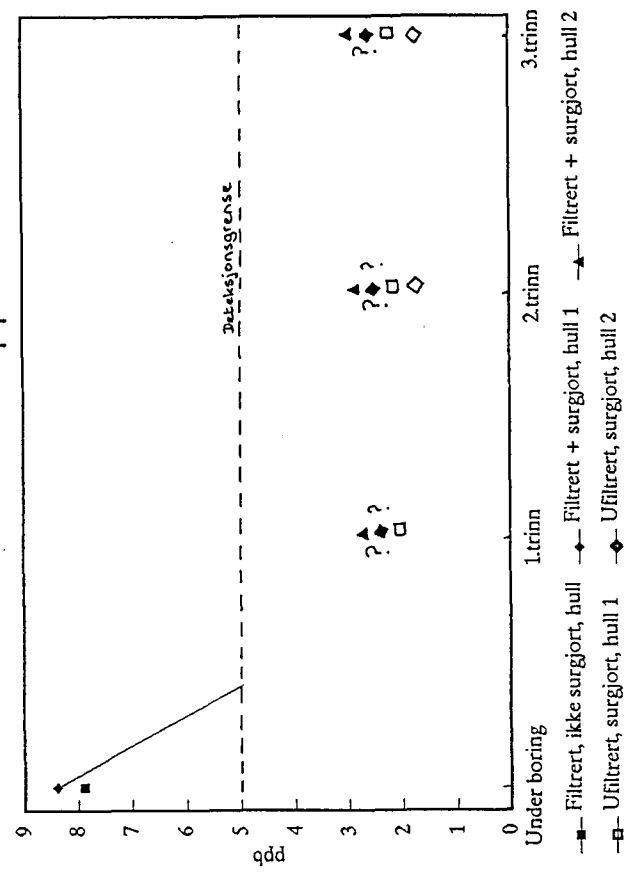
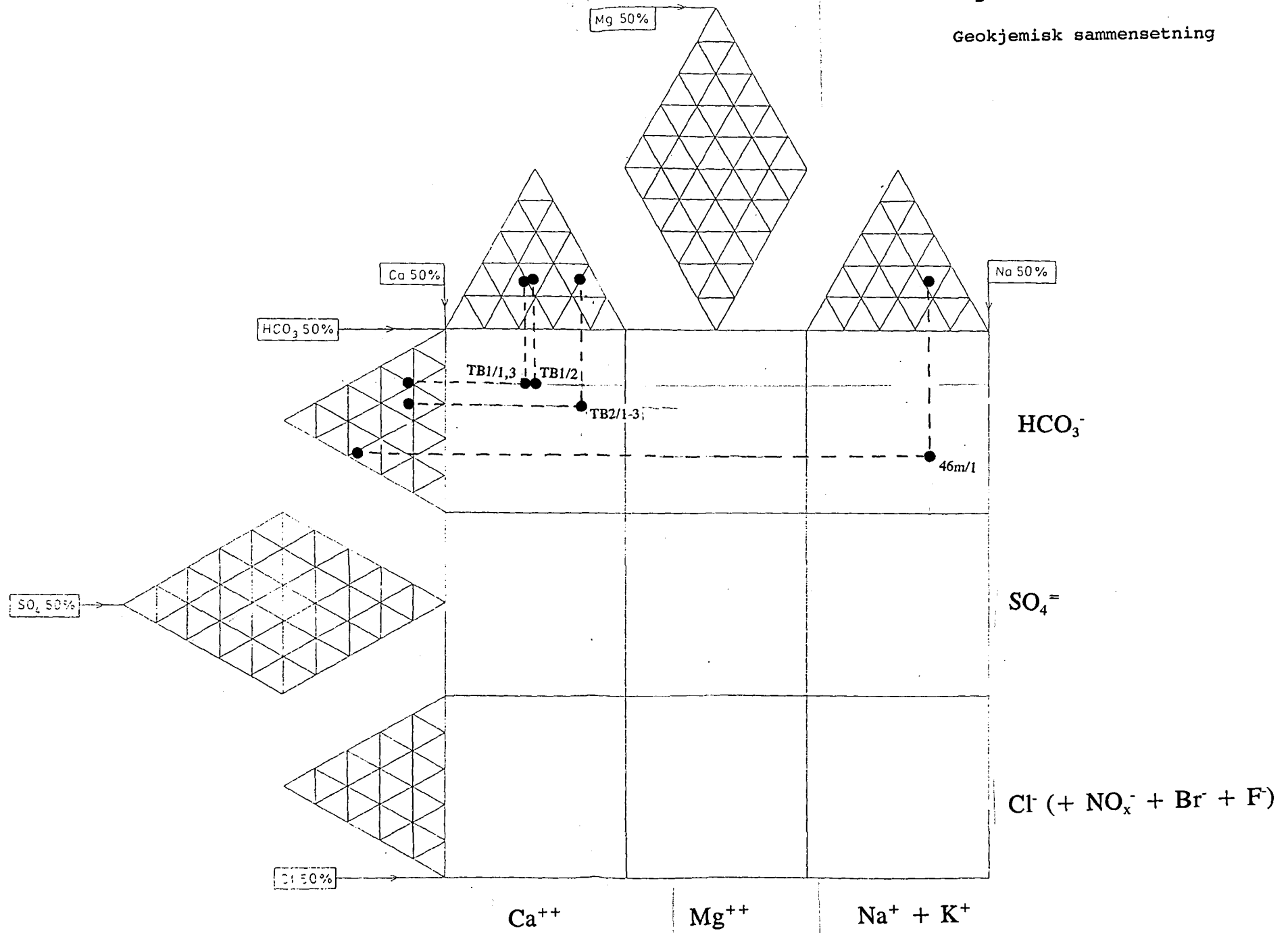


Fig.16

Geokjemisk sammensetning



Vedlegg

- 1) Beskrivelse av boringen
- 2) Prøvepumpingsdata
- 3) Kjemisk data
- 4) XRD-diffraktogrammene

Vedlegg 1

Beskrivelse av boringene

TESTHULL NR. 1 - NGU TRONDHEIM

Skrått hull med fall 64° (sirkel = 360°), og retning $124-125^{\circ}$ (mag) = $121-122^{\circ}$ (reell) (sirkel = 400°).

Boret av NGUs Nemek rig v/Geir Viken, Frank Sivertsvik 13-4/2/91

Boret på ca. $5\frac{1}{2}$ " diam.

Stål foringsrør, ca. 8" (184 mm intern diam.) til 3m dyp.

<u>Dyp</u>	<u>Støv/borekaks</u>	<u>Boresenk</u>	<u>Sprekker</u>
13/2/91			
0-3 m	Grønt/grått	Hard bergart	
3-13,5 m	Grønt/grått		
ca.13,5 m	Grønt/grått	Fort	Mulig sprekkeseone
14-20 m	Grønt/grått		
ca. 18,25 m	Grønt/grått	(Små soner m/	Mulige sprekker
ca. 19 m	Grønt/grått	(fort boring	" "
20-23 m	Grønt/grått	Ganske fort	
23-26 m	Grønt/grått	Ganske fort v/25 m	
26-32 m	Grønt/grått	Ganske fort v/31 m	
32-39 m	Grønt/grått		
ca.33,5 m	Mindre, og grovere kaks, men ingen særlig tegn på vann		Muligens <u>litt</u> vann
ca.39 m	Kakset blir litt rødaktig og fuktig		
39,5-40 m	Kakset forsvinner. Ferskt vanninnslag		Fersk, moderat vanninnslag
ca.40-41 m		Fort boring	
41-44 m	Veldig lite grønt kaks. Vann blåses opp hullet på 1l i 16/17s fra vanninnslaget ved 39,5-40m.		
44-47 m	Grønt vann/ slam		
47-50 m	Grønt vann/ slam, 1l pr. 10s, dvs. ca. 6 l/min. Ferskt.	Langsom boring	
50-53 m	V. grovt kaks og grønt slam/vann, ca. 1l pr. 16s. Ferskt.		
53-56 m	V. grovt kaks og grønt slam/vann, ca. 2½ l/min ved 55 m. Ferskt.		
56-59 m	Kaks + grønt slam/vann.		
59-62 m	Fremdeles grønt kaks + grønt slam/vann. I kaksprøven fra ca. 61½ m ser det ut til å være en del hvit mineral. Etter ca. 60 m ser det også ut til å være litt mer vann.	Fort ca.61-61½m	Muligens et annet lite vanninnslag

14/2/91

Da hullet ble blåst ut i morges var det en god mengde klart, ferskt vann stående i hullet.

62-71½ m	Grønt, ferskt slam/vann blåses kontinuerlig opp fra hullet. Ca. 1l pr.10 s ved 69½ m (= 1 l/min)		
71½-74 m	Rødaktig grønt fint kaks / ferskt slam/vann.		
72½-72¾ m	Rødt-grønt slam/vann/kaks, med en del svarte, pukkaktige korn.	Fort boring, borekronen tigger	Oppsprukket fjell
ca.73½ m	Blir vanlig grønt slam/kaks nå.		
74-80 m	Grønt, ferskt slam/vann blåses kontinuerlig opp hullet. Ca.5 l/min ved 75½ m.		

Etter boringen er ferdig, ble hullet stående i ro i ca. 55 min. Hullet ble da blåst ut og borekronen tatt opp.

Sammen drag

Ett hovedvanninnslag ble truffet på 39½-40 m. Under boring kunne dette bidra med ca. 4-6 l/min. Mulige, små vanninnslag kan være tilstede ved ca. 33½ m og ca. 60-61 m.

TESTHULL NR. 2 - NGU TRONDHEIM

Skrått hull med fall ca. 87° (sirkel = 360°), og retning 120° (mag) = 117° (reell) (sirkel = 400°).

Boret av NGUs Nemek rig v/Geir Viken, Frank Sivertsvik, 14-15/2/91

Boret på ca. 5½" diam.

Stål foringsrør, ca. 6" (153 mm intern diam.) til 3m dyp.

Rørtopp ligger ca. 3½ m fra kanten av sprekkesonen.

<u>Dyp</u>	<u>Støv/borekaks</u>	<u>Boresenk</u>	<u>Sprekker</u>
14/2/91			
0-3 m	Grønt støv og kaks		
3-6 m	Grønt støv/kaks med større svarte/mørkegrønne korn.		
6-9 m	Grønt støv/kaks	Ca.4 korte soner med fort boring mellom 7,75 og 8,5m	Oppsprukket fjell
15/2/91			
9-35,25 m	Grønt støv/kaks	En liten sone med fort boring omkring 17m.	
ca. 23 m	Hvitt kaks	En 30-50 cm tykk åre med Kwarts/kalsitt-fyllt sprekk nesten ren kvarts/kalsitt	
35,25-36 m	Litt brunaktig grønt kaks	Ganske fort	Svakt fjell
36-41 m	Mindre, grønt kaks. Litt fuktig, men ikke noe veldig tydelig innslag av vann.		Veldig lite vanninnslag
41-41½ m	Lite, lyserødt/brunt litt fuktig kaks		
41½-ca.46 m	Lite, grønt, litt fuktig kaks		
Pause i 1 t 25 min. Ved å begynne å bore igjen, en ganske liten mengde grønt vann ble blåst ut av hullet (samlet i hullet i løpet av pausen).			
46-46,75 m	Lite grovt grønt kaks. Stadig dryp med vann i blåseluft.		
46,75-50½ m	Mer, fuktig, grønt kaks. Ikke noe vann i blåseluft.		
50½-51 m	Kakset litt rødaktig.		
51-55 m	Kakset grønt igjen. Fremdeles fuktig.		
55-55½ m	Brunt-grønt kaks		
55½-56 m	Lysegrønt kaks		
56-57 m	Lyserødt-brunt/hvitt kaks		
57-60 m	Lyserødt-brunt/hvitt kaks (kanskje litt mørkere enn 56-57m). Fremdeles fuktig.		
60-81 m	Lyserødt-brunt/hvitt kaks		

Sammenheng

Veldig lite vann. Det eneste, tydelige vanninnslaget som ble truffet var på ca. 36 m, og dette var ganske lite. Hullet var i grønnstein ned til 56m, deretter ser hullet ut til å være i en tykk kvarts-keratofyr gang.

Hull: 1 Sted: NGU Trondheim

Hullets diameter

m under bakken
mm til
mm til

Første borelengde: m Føringør lengde: m x mm

Avvik fra vert = ° (0-90) Retning av skrått boring = ° (0-400)

Dyp (m)	Tid per 3m borelengde (min/sek)	Boresekk kommentarer fort/sakte	Kaks/slamm		Kaks/slamm lyshetsgrad		Kaks/slamm farge			Kaks fin midd. grov	Kronen tigger ?	Vann-innslag	Kommentarer
			Tørt kaks	Fuktig kaks	Våt kaks + slamm	Lyst	Mørkt	Svart	Grått				
26	06/35	Fort ved ca. 25m											
29	09/24												
32	09/27	Fort ved ca. 31m											
35	08/43												Muligens litt vann ved 33½m
38	09/34												
41	05/55	↑ Veilig fort 40-41 m											Middels/god vanninnslag 39¼-40m
44	09/58												
47	13/19												

STØVET FORSVINNER

Veilig lite/ikke noe kaks; bare slam/vann

Hull: 1

Sted: NGU Trondheim

Hullets diameter

m under bakken
m under bakken

Første borelengde: m Føringør lengde: m x m m m

Awik fra vert = ° (0-90) Retning av skrått boring = ° (0-400)

Dyp (m)	Tid per 3m borelengde (min/sek)	Boresenk kommentarer fort/sakte	Kaks/slam		Kaks/slam lyshetsgrad		Kaks/slam farge			Kaks fin mild, grov	Kronen tigger ?	Vann-innslag	Kommentarer
			Tørt kaks	Fuktig kaks	Våt kaks + slam	Lyst	Mørkt	Svart	Grøtt				
50	17/57	Sakte											
53	15/30												
56	10/48												
59	11/01												
62	10/07	Fort 61-61½ m										← ?	Mulig vanningslag ca. 60 m Noen hvit mineral i kaks ved 61¼ m
65	09/49												Mye rødlige/luse mineraler i kaks
68	09/06												
71	15/15												Veldig mye rødlige/luse mineraler i kaks

Hull: 2 Sted: NGU Trondheim

Første borelengde: m Føringsrør lengde: m x mm

Avvik fra vert = ° (0-90) Retning av skrått boring = ° (0-400)

Hullets diameter mm til m under bakken

mm til m under bakken

Dyp (m)	Tid per 3m borelengde (min/sek)	Boresenk kommentarer fort/sakte	Kaks/slam Tørt kaks	Kaks/slam Fuktig kaks	Kaks/slam Våt kaks + slam	Kaks/slam Lyst	Kaks/slam lyshetsgrad	Kaks/slam farge Svart Grått Grønn	Kaks/slam farge Rødt Brun	Kaks fin mild. grov	Kronen tigger ?	Vann-innslag	Kommentarer
27	07/54												
30	10/03												
33	10/05												
36	08/20												
39	12/54												
42	13/37												
45	14/23												
48	15/05												

Kort søng svakt fjell omkring 35 1/4 m
 Litt vann ca. 36 - 36 1/4 m

Hull: 2

Sted: NGU TRONDHEIM

Hullets diameter

m under bakken
m under bakken

Første borelengde: m Føringør lengde: m x mm

Dyp (m)	Tid per 3m borelengde (min/sek)	Boresenk kommentarer fort/sakte	Kaks/slam		Kaks/slam lyshetsgrad		Kaks/slam farge			Kaks fin midd. grov	Kronen tigger ?	Vann-innslag	Kommentarer
			Tørt kaks	Fuktig kaks	Våt kaks + slam	Lust	Mark	Svart Grått Grønn	Rødt Brun				
51	12/06												
54	14/24												
57	11/30												
60	11/16												
63	11/25												
66	11/22												
69	11/42												
72	12/12												

Retning av skrått boring =

° (0-90)

° (0-400)

Vedlegg 2

Prøvepumpingsdata

Vannstigningsforsøk i Testhull 2 den 18/2/91.

Det fulle hullet ble blåst ut med boreriggen Kl. 0825 på 81 m dyp
Borekronen ble tatt ut av hullet og måling begynte.

Dato	Klokka	Tid (Timer)	Vannnivå (m under rørtopp)	Vannnivå (l/t)	Gjenn. Tid (timer)	Gjenn. Vannnivå (m)
18-Feb-91	08:25 AM	0	81			
18-Feb-91	10:18 AM	1,883333	75,94	41,35889	0,941667	78,47
18-Feb-91	12:03 PM	3,633333	72,8	27,62086	2,758333	74,37
18-Feb-91	01:11 PM	4,766667	70,72	28,25213	4,2	71,76
18-Feb-91	02:41 PM	6,266667	67,98	28,11932	5,516667	69,35
18-Feb-91	03:48 PM	7,383333	65,98	27,57097	6,825	66,98
18-Feb-91	05:07 PM	8,7	63,59	27,94265	8,041667	64,785
19-Feb-91	08:26 AM	24,01667	36,87	26,85454	16,35833	50,23
19-Feb-91	09:46 AM	25,35	34,65	25,63066	24,68333	35,76
19-Feb-91	10:26 AM	26,01667	33,61	24,01431	25,68333	34,13
19-Feb-91	11:03 AM	26,63333	32,74	21,71773	26,325	33,175
19-Feb-91	11:50 AM	27,41667	31,68	20,83075	27,025	32,21
19-Feb-91	01:05 PM	28,66667	30,22	17,97995	28,04167	30,95
19-Feb-91	01:58 PM	29,55	29,32	15,68424	29,10833	29,77
19-Feb-91	02:51 PM	30,43333	28,5	14,29009	29,99167	28,91
19-Feb-91	03:57 PM	31,53333	27,64	12,03515	30,98333	28,07
19-Feb-91	04:47 PM	32,36667	27,06	10,71408	31,95	27,35
20-Feb-91	09:01 AM	48,6	23,34	3,527612	40,48333	24,2
20-Feb-91	11:00 AM	50,58333	23,3	0,310463	49,59167	23,32
20-Feb-91	01:53 PM	53,46667	23,23	0,373722	52,025	23,265
20-Feb-91	04:47 PM	56,36667	23,15	0,424656	54,91667	23,19
21-Feb-91	08:52 AM	72,45	23,12	0,028714	64,40833	23,135

Prøvepumping i testhull 1, den 11. juni 1991.

Dato	Klokke	Tid (timer)	Hull 1 Vannnivå (m under rørtopp)	Hull 2 Vannnivå (m under rørtopp)	Ytelse (l/t)					
10-Jun-91	05:30:00	PM -17,0167	24,635	22,585	0	11-Jun-91	01:11:40	PM 2,677778	27,1	234,7826
11-Jun-91	10:31:00	AM 0	24,56		0	11-Jun-91	01:12:35	PM 2,693056	27,26	
11-Jun-91	10:38:00	AM 0,116667		22,6	0	11-Jun-91	01:13:00	PM 2,7	27,66	
11-Jun-91	10:43:00	AM 0,2	24,56		0	11-Jun-91	01:17:05	PM 2,768056		236,8421
11-Jun-91	10:53:00	AM 0,366667	24,33		0	11-Jun-91	01:21:34	PM 2,842778		
11-Jun-91	11:28:30	AM 0,958333	24,455		0	11-Jun-91	01:22:00	PM 2,85	28,1	233,7662
11-Jun-91	11:30:00	AM 0,983333			0	11-Jun-91	01:22:52	PM 2,864444	28,26	229,2994
11-Jun-91	11:33:00	AM 1,033333			0	11-Jun-91	01:24:46	PM 2,896111		
11-Jun-91	11:35:00	AM 1,066667	24,7		0	11-Jun-91	01:27:00	PM 2,933333	28,445	
11-Jun-91	11:40:50	AM 1,163889	24,78		0	11-Jun-91	01:30:40	PM 2,994444	28,66	222,2222
11-Jun-91	11:45:00	AM 1,233333	24,815		0	11-Jun-91	01:31:21	PM 3,005833		214,2857
11-Jun-91	11:50:00	AM 1,316667	24,87		0	11-Jun-91	01:32:48	PM 3,03		213,2701
11-Jun-91	11:53:05	AM 1,368056			0	11-Jun-91	01:33:31	PM 3,041944		206,8966
11-Jun-91	11:55:00	AM 1,4	24,93		0	11-Jun-91	01:34:09	PM 3,0525		
11-Jun-91	12:00:20	PM 1,488889	24,985		0	11-Jun-91	01:34:50	PM 3,063889	28,86	207,6923
11-Jun-91	12:02:00	PM 1,516667			0	11-Jun-91	01:34:52	PM 3,064444	209,3023	
11-Jun-91	12:06:00	PM 1,583333	25,04		0	11-Jun-91	01:36:19	PM 3,088611		
11-Jun-91	12:10:00	PM 1,65	25,065		0	11-Jun-91	01:38:00	PM 3,116667	28,99	
11-Jun-91	12:12:00	PM 1,683333	25,085		0	11-Jun-91	01:41:00	PM 3,166667		22,6
11-Jun-91	12:15:00	PM 1,733333	25,085		0	11-Jun-91	01:43:00	PM 3,2	29,16	203,7736
11-Jun-91	12:16:00	PM 1,75			0	11-Jun-91	01:47:12	PM 3,27		201,3423
11-Jun-91	12:20:00	PM 1,816667	25,1		0	11-Jun-91	01:48:44	PM 3,295556	29,4	197,8022
11-Jun-91	12:22:00	PM 1,85			0	11-Jun-91	01:50:25	PM 3,323611		198,5294
11-Jun-91	12:25:00	PM 1,9	25,115		0	11-Jun-91	01:50:56	PM 3,332222	29,5	195,6522
11-Jun-91	12:27:00	PM 1,933333			0	11-Jun-91	01:53:30	PM 3,375		191,4894
11-Jun-91	12:30:00	PM 1,983333	25,13		0	11-Jun-91	01:59:16	PM 3,471111		
11-Jun-91	12:35:00	PM 2,066667	25,14		0	11-Jun-91	02:00:00	PM 3,483333	29,65	
11-Jun-91	12:37:00	PM 2,1			0	11-Jun-91	02:00:50	PM 3,497222	29,71	188,4817
11-Jun-91	12:40:00	PM 2,15	25,145		0	11-Jun-91	02:02:27	PM 3,524167		197,8022
11-Jun-91	12:43:00	PM 2,2			0	11-Jun-91	02:03:06	PM 3,535	30,155	176,4706
11-Jun-91	12:45:00	PM 2,233333	25,145		0	11-Jun-91	02:05:54	PM 3,581667		545,4545
11-Jun-91	12:50:00	PM 2,316667	25,15		0	11-Jun-91	02:10:44	PM 3,662222	30,18	562,5
11-Jun-91	12:56:50	PM 2,430556	25,15		0	11-Jun-91	02:15:37	PM 3,743611		580,6452
11-Jun-91	12:58:00	PM 2,45			0	11-Jun-91	02:25:46	PM 3,912778		545,4545
11-Jun-91	01:00:00	PM 2,483333	25,15		0	11-Jun-91	02:26:01	PM 3,916944		545,4545
11-Jun-91	01:01:40	PM 2,511111			0	11-Jun-91	02:27:02	PM 3,933889	31,36	
11-Jun-91	01:02:20	PM 2,522222	25,67		0	11-Jun-91	02:28:24	PM 3,956667		534,6535
11-Jun-91	01:02:45	PM 2,529167			0	11-Jun-91	02:28:28	PM 3,957778		
11-Jun-91	01:03:20	PM 2,538889	25,87		0	11-Jun-91	02:30:00	PM 3,983333	31,8	
11-Jun-91	01:04:20	PM 2,555556	26,06		0	11-Jun-91	02:32:26	PM 4,023889	32,39	
11-Jun-91	01:05:20	PM 2,572222	26,23		0	11-Jun-91	02:32:42	PM 4,028333	32,63	
11-Jun-91	01:07:00	PM 2,6	26,49		0	11-Jun-91	02:33:32	PM 4,042222		562,5
11-Jun-91	01:09:30	PM 2,641667			0	11-Jun-91	02:33:49	PM 4,046944		580,6452
11-Jun-91	01:10:05	PM 2,651389	26,92		0	11-Jun-91	02:34:00	PM 4,05		545,4545
11-Jun-91	01:11:25	PM 2,673611			0	11-Jun-91	02:34:04	PM 4,051111		
					0	11-Jun-91	02:35:40	PM 4,077778		
					0	11-Jun-91	02:38:05	PM 4,118056		
					0	11-Jun-91	02:39:15	PM 4,1375		
					0	11-Jun-91	02:40:26	PM 4,157222		
					0	11-Jun-91	02:40:42	PM 4,161667		562,5
					0	11-Jun-91	02:40:58	PM 4,166111		553,8462
					0	11-Jun-91	02:41:35	PM 4,176389		545,4545
					0					529,4118

- Pumpen salt i hull
- Trinn 1 begynner

- Trinn 2 begynner

- Trinn 3 begynner

11-Jun-91	02:41:50	PM 4, 180556	33, 15	521, 7391	11-Jun-91	04:45:44	PM 0, 123333	37, 4	0
11-Jun-91	02:41:51	PM 4, 180833		514, 2857	11-Jun-91	04:46:09	PM 0, 130278	37, 3	0
11-Jun-91	02:42:07	PM 4, 185278			11-Jun-91	04:46:35	PM 0, 1375	37, 2	0
11-Jun-91	02:44:00	PM 4, 216667	33, 54		11-Jun-91	04:47:30	PM 0, 152778	37	0
11-Jun-91	02:46:00	PM 4, 2, 25	33, 87		11-Jun-91	04:50:04	PM 0, 195556	36, 5	0
11-Jun-91	02:48:32	PM 4, 292222		553, 8462	11-Jun-91	04:52:59	PM 0, 244167	36	0
11-Jun-91	02:49:27	PM 4, 3, 075		517, 2414	11-Jun-91	04:54:30	PM 0, 269444		0
11-Jun-91	02:49:50	PM 4, 313889	34, 48		11-Jun-91	04:56:17	PM 0, 299167	35, 5	0
11-Jun-91	02:49:59	PM 4, 316389		495, 4128	11-Jun-91	05:00:05	PM 0, 3625	35	0
11-Jun-91	02:53:00	PM 4, 366667	34, 91		11-Jun-91	05:04:22	PM 0, 433889	34, 5	0
11-Jun-91	02:56:00	PM 4, 416667	35, 32		11-Jun-91	05:09:10	PM 0, 513889	34	0
11-Jun-91	02:58:33	PM 4, 459167		553, 8462	11-Jun-91	05:14:48	PM 0, 607778	33, 5	0
11-Jun-91	02:59:26	PM 4, 473889		526, 3158	11-Jun-91	05:21:45	PM 0, 723611	33	0
11-Jun-91	02:59:59	PM 4, 483056		509, 434	11-Jun-91	05:29:42	PM 0, 856111	32, 5	0
11-Jun-91	03:02:00	PM 4, 516667	36, 06		11-Jun-91	05:32:00	PM 0, 894444		0
11-Jun-91	03:08:00	PM 4, 616667	36, 66		11-Jun-91	05:38:26	PM 1, 001667	32	0
11-Jun-91	03:13:00	PM 4, 7	37, 05	529, 4118	11-Jun-91	05:52:00	PM 1, 227778	31, 3	0
11-Jun-91	03:16:04	PM 4, 751111		500	11-Jun-91	05:54:00	PM 1, 261111		0
11-Jun-91	03:17:00	PM 4, 766667			11-Jun-91	05:56:16	PM 1, 298889	31, 1	0
11-Jun-91	03:17:25	PM 4, 773611	37, 35		11-Jun-91	08:03:00	PM 3, 411111	27, 79	0
11-Jun-91	03:17:34	PM 4, 776111		482, 1429	11-Jun-91	08:06:00	PM 3, 461111		0
11-Jun-91	03:22:20	PM 4, 855556	37, 61		11-Jun-91	08:08:18	PM 3, 499444	27, 72	0
11-Jun-91	03:24:54	PM 4, 898333		545, 4545	11-Jun-91	10:02:30	PM 5, 402778	26, 66	0
11-Jun-91	03:25:51	PM 4, 914167		502, 7933	11-Jun-91	10:05:00	PM 5, 444444		0
11-Jun-91	03:26:24	PM 4, 923333		477, 8761	11-Jun-91	10:08:30	PM 5, 502778	26, 62	0
11-Jun-91	03:28:00	PM 4, 9, 95	37, 9		11-Jun-91	09:13:00	AM 16, 57778	25, 375	0
11-Jun-91	03:32:00	PM 5, 016667		22, 65	12-Jun-91	09:17:00	AM 16, 64444	22, 9	0
11-Jun-91	03:34:30	PM 5, 058333	38, 19		12-Jun-91	11:53:00	AM 19, 24444		0
11-Jun-91	03:41:00	PM 5, 166667	38, 42		12-Jun-91	11:55:00	AM 19, 27778	25, 22	0
11-Jun-91	03:43:37	PM 5, 210278		480	12-Jun-91	02:14:30	PM 21, 60278	25, 175	0
11-Jun-91	03:44:35	PM 5, 226389		473, 6842	12-Jun-91	02:18:00	PM 21, 66111		0
11-Jun-91	03:45:13	PM 5, 236944		469, 5652	12-Jun-91	04:16:30	PM 23, 63611	22, 855	0
11-Jun-91	03:47:00	PM 5, 266667	38, 58		12-Jun-91	04:20:00	PM 23, 69444	22, 845	0
11-Jun-91	03:48:47	PM 5, 296389		486, 4865					
11-Jun-91	03:49:45	PM 5, 3125		476, 1905					
11-Jun-91	03:50:22	PM 5, 322778		469, 5652					
11-Jun-91	03:53:10	PM 5, 369444	38, 7						
11-Jun-91	03:58:40	PM 5, 461111	38, 83						
11-Jun-91	04:04:35	PM 5, 559722		507, 0423					
11-Jun-91	04:05:34	PM 5, 576111		478, 7234					
11-Jun-91	04:06:10	PM 5, 586111		461, 5385					
11-Jun-91	04:07:40	PM 5, 611111	38, 98						
11-Jun-91	04:16:50	PM 5, 763889	39, 175						
11-Jun-91	04:30:00	PM 5, 983333	39, 35						
11-Jun-91	04:31:57	PM 6, 015833		486, 4865					
11-Jun-91	04:32:54	PM 6, 031667		476, 1905					
11-Jun-91	04:33:32	PM 6, 042222		469, 5652					
11-Jun-91	04:36:00	PM 6, 083333	22, 725						
11-Jun-91	04:38:20	PM 0		0					
11-Jun-91	04:44:15	PM 0, 098611	37, 75						
11-Jun-91	04:44:29	PM 0, 1025	37, 7						
11-Jun-91	04:44:56	PM 0, 11	37, 6						
11-Jun-91	04:45:17	PM 0, 115833	37, 5						

— Pumpen slått av & halvt ut av kullet

Prøvepumping i testhull 1, den 11. juni 1991.

Dato	Klokka	Tid (timer)	Ytelse Q (l/t)	QB (l/t)	Gjenn. tid (timer)	Gjenn. vannnivå (m)	QA (l/t)	
10-Jun-91	05:30:00	PM	-17,0167					
11-Jun-91	10:31:00	AM	0					
11-Jun-91	10:38:00	AM	0,116667					
11-Jun-91	10:43:00	AM	0,2					
11-Jun-91	10:53:00	AM	0,366667					
11-Jun-91	11:28:30	AM	0,958333					
11-Jun-91	11:30:00	AM	0,983333					
11-Jun-91	11:33:00	AM	1,033333					
11-Jun-91	11:35:00	AM	1,066667					
11-Jun-91	11:40:50	AM	1,163889	26,9	12,66689	1,115278	24,74	14,23311
11-Jun-91	11:45:00	AM	1,233333	26,8	7,758471	1,198611	24,7975	19,04153
11-Jun-91	11:50:00	AM	1,316667	26,7	10,1599	1,275	24,8425	16,5401
11-Jun-91	11:53:05	AM	1,368056					
11-Jun-91	11:55:00	AM	1,4	26,557	11,08353	1,358333	24,9	15,47347
11-Jun-91	12:00:20	PM	1,488889	26,3	9,524908	1,444444	24,9575	16,77509
11-Jun-91	12:02:00	PM	1,516667					
11-Jun-91	12:06:00	PM	1,583333	25	8,964619	1,536111	25,0125	16,03538
11-Jun-91	12:10:00	PM	1,65	22	5,772672	1,616667	25,0525	16,22733
11-Jun-91	12:12:00	PM	1,683333					
11-Jun-91	12:15:00	PM	1,733333	19	3,69451	1,691667	25,075	15,30549
11-Jun-91	12:16:00	PM	1,75					
11-Jun-91	12:20:00	PM	1,816667	18,2	2,770882	1,775	25,0925	15,42912
11-Jun-91	12:22:00	PM	1,85					
11-Jun-91	12:25:00	PM	1,9	18,4	2,770882	1,858333	25,1075	15,62912
11-Jun-91	12:27:00	PM	1,933333					
11-Jun-91	12:30:00	PM	1,983333	18,8	2,770882	1,941667	25,1225	16,02912
11-Jun-91	12:35:00	PM	2,066667	18	1,847255	2,025	25,135	16,15275
11-Jun-91	12:37:00	PM	2,1					
11-Jun-91	12:40:00	PM	2,15	17	0,923627	2,108333	25,1425	16,07637
11-Jun-91	12:43:00	PM	2,2					
11-Jun-91	12:45:00	PM	2,233333	16	0	2,191667	25,145	16
11-Jun-91	12:50:00	PM	2,316667	15,4	0,923627	2,275	25,1475	14,47637
11-Jun-91	12:56:50	PM	2,430556	15	0	2,373611	25,15	15
11-Jun-91	12:58:00	PM	2,45					
11-Jun-91	01:00:00	PM	2,483333	14,1	0	2,456944	25,15	14,1
11-Jun-91	01:01:40	PM	2,511111					
11-Jun-91	01:02:20	PM	2,522222	278	205,837	2,502778	25,41	72,16302
11-Jun-91	01:02:45	PM	2,529167					
11-Jun-91	01:03:20	PM	2,538889	273	184,7255	2,530556	25,77	88,27451
11-Jun-91	01:04:20	PM	2,555556	271	175,4892	2,547222	25,965	95,51078
11-Jun-91	01:05:20	PM	2,572222	268	157,0167	2,563889	26,145	110,9833
11-Jun-91	01:07:00	PM	2,6	265	144,0859	2,586111	26,36	120,9141
11-Jun-91	01:09:30	PM	2,641667					
11-Jun-91	01:10:05	PM	2,651389	258	128,8086	2,625694	26,705	129,1914
11-Jun-91	01:11:25	PM	2,673611					
11-Jun-91	01:11:40	PM	2,677778	251	105,0019	2,664583	27,01	145,9981
11-Jun-91	01:12:35	PM	2,693056					
11-Jun-91	01:13:00	PM	2,7	249	110,8353	2,688889	27,18	138,1647
11-Jun-91	01:17:05	PM	2,768056	243	90,47779	2,734028	27,46	152,5222
11-Jun-91	01:21:34	PM	2,842778					
11-Jun-91	01:22:00	PM	2,85	235	82,65683	2,809028	27,88	152,3432
11-Jun-91	01:22:52	PM	2,864444					
11-Jun-91	01:24:00	PM	2,883333	229	73,8902	2,866667	28,18	155,1098
11-Jun-91	01:24:46	PM	2,896111					
11-Jun-91	01:27:00	PM	2,933333	224	56,95703	2,908333	28,3525	167,043
11-Jun-91	01:30:40	PM	2,994444	220	54,15816	2,963889	28,5525	165,8418
11-Jun-91	01:31:21	PM	3,005833					

11-Jun-91	01:32:48	PM	3,03				
11-Jun-91	01:33:31	PM	3,041944				
11-Jun-91	01:34:09	PM	3,0525				
11-Jun-91	01:34:50	PM	3,063889	214	44,33412	3,029167	28,76 169,6659
11-Jun-91	01:34:52	PM	3,064444				
11-Jun-91	01:36:19	PM	3,088611				
11-Jun-91	01:38:00	PM	3,116667				
11-Jun-91	01:41:00	PM	3,166667	212	37,91734	3,090278	28,925 174,0827
11-Jun-91	01:43:00	PM	3,2				
11-Jun-91	01:47:12	PM	3,27	208	31,40333	3,158333	29,075 176,5967
11-Jun-91	01:48:44	PM	3,295556				
11-Jun-91	01:50:25	PM	3,323611				
11-Jun-91	01:50:56	PM	3,332222	203	29,88817	3,261806	29,28 173,1118
11-Jun-91	01:53:30	PM	3,375				
11-Jun-91	01:59:16	PM	3,471111	199	29,95549	3,349306	29,45 169,0445
11-Jun-91	02:00:00	PM	3,483333				
11-Jun-91	02:00:50	PM	3,497222	197	21,31448	3,429167	29,575 175,6855
11-Jun-91	02:02:27	PM	3,524167				
11-Jun-91	02:03:06	PM	3,535	194	22,61945	3,50375	29,68 171,3806
11-Jun-91	02:05:54	PM	3,581667				
11-Jun-91	02:10:44	PM	3,662222	193	18,74027	3,552917	29,745 174,2597
11-Jun-91	02:15:37	PM	3,743611	192	17,19858	3,621944	29,825 174,8014
11-Jun-91	02:25:46	PM	3,912778	190	17,02249	3,702917	29,915 172,9775
11-Jun-91	02:26:01	PM	3,916944	188	14,55964	3,828194	30,04 173,4404
11-Jun-91	02:27:02	PM	3,933889				
11-Jun-91	02:28:24	PM	3,956667				
11-Jun-91	02:28:28	PM	3,957778	186	12,27606	3,934722	30,1375 173,7239
11-Jun-91	02:30:00	PM	3,983333				
11-Jun-91	02:32:26	PM	4,023889	185	14,43168	3,97	30,1675 170,5683
11-Jun-91	02:32:42	PM	4,028333				
11-Jun-91	02:32:58	PM	4,032778				
11-Jun-91	02:33:32	PM	4,042222				
11-Jun-91	02:33:49	PM	4,046944				
11-Jun-91	02:34:00	PM	4,05	552	272,4701	4,016667	30,77 279,5299
11-Jun-91	02:34:04	PM	4,051111				
11-Jun-91	02:35:40	PM	4,077778	546	243,8376	4,063889	31,58 302,1624
11-Jun-91	02:38:05	PM	4,118056	544	225,4925	4,097917	32,095 318,5075
11-Jun-91	02:39:15	PM	4,1375	541	190,0034	4,127778	32,51 350,9966
11-Jun-91	02:40:26	PM	4,157222				
11-Jun-91	02:40:42	PM	4,161667				
11-Jun-91	02:40:58	PM	4,166111				
11-Jun-91	02:41:35	PM	4,176389				
11-Jun-91	02:41:50	PM	4,180556	539	185,9173	4,159028	32,89 353,0827
11-Jun-91	02:41:51	PM	4,180833				
11-Jun-91	02:42:07	PM	4,185278				
11-Jun-91	02:44:00	PM	4,216667	537	166,2529	4,198611	33,345 370,7471
11-Jun-91	02:46:00	PM	4,25	534	152,3985	4,233333	33,705 381,6015
11-Jun-91	02:48:32	PM	4,292222				
11-Jun-91	02:49:27	PM	4,3075				
11-Jun-91	02:49:50	PM	4,313889	531	146,9772	4,281944	34,175 384,0228
11-Jun-91	02:49:59	PM	4,316389				
11-Jun-91	02:53:00	PM	4,366667	527	125,4189	4,340278	34,695 401,5811
11-Jun-91	02:56:00	PM	4,416667	524	126,2291	4,391667	35,115 397,7709
11-Jun-91	02:58:33	PM	4,459167				
11-Jun-91	02:59:26	PM	4,473889				
11-Jun-91	02:59:59	PM	4,483056				
11-Jun-91	03:02:00	PM	4,516667	520	113,9141	4,466667	35,69 406,0859
11-Jun-91	03:08:00	PM	4,616667	513	92,36275	4,566667	36,36 420,6373
11-Jun-91	03:13:00	PM	4,7	509	72,04294	4,658333	36,855 436,9571
11-Jun-91	03:16:04	PM	4,751111				
11-Jun-91	03:17:00	PM	4,766667				
11-Jun-91	03:17:25	PM	4,773611	503	62,73696	4,736806	37,2 440,263
11-Jun-91	03:17:34	PM	4,776111				
11-Jun-91	03:22:20	PM	4,855556	498	48,84267	4,814593	37,48 449,1573
11-Jun-91	03:24:54	PM	4,898333				
11-Jun-91	03:25:51	PM	4,914167				

11-Jun-91	03:26:24	PM	4,923333				
11-Jun-91	03:28:00	PM	4,95	493	47,26799	4,902778	37,755 445,732
11-Jun-91	03:32:00	PM	5,016667				
11-Jun-91	03:34:30	PM	5,058333	488	41,20799	5,004167	38,045 446,792
11-Jun-91	03:41:00	PM	5,166667	483	32,6822	5,1125	38,305 450,3178
11-Jun-91	03:43:37	PM	5,210278				
11-Jun-91	03:44:35	PM	5,226389				
11-Jun-91	03:45:13	PM	5,236944				
11-Jun-91	03:47:00	PM	5,266667	481	24,63007	5,216667	38,5 456,3699
11-Jun-91	03:48:47	PM	5,296389				
11-Jun-91	03:49:45	PM	5,3125				
11-Jun-91	03:50:22	PM	5,322778				
11-Jun-91	03:53:10	PM	5,369444	478	17,97329	5,318056	38,64 460,0267
11-Jun-91	03:55:40	PM	5,411111				
11-Jun-91	03:58:40	PM	5,461111	477	21,83119	5,415278	38,765 455,1688
11-Jun-91	04:04:35	PM	5,559722				
11-Jun-91	04:05:34	PM	5,576111				
11-Jun-91	04:06:10	PM	5,586111				
11-Jun-91	04:07:40	PM	5,611111	477	15,39379	5,536111	38,905 461,6062
11-Jun-91	04:16:50	PM	5,763889	477	19,64808	5,6875	39,0775 457,3519
11-Jun-91	04:30:00	PM	5,983333	477	12,27606	5,873611	39,2625 464,7239
11-Jun-91	04:31:57	PM	6,015833				
11-Jun-91	04:32:54	PM	6,031667				
11-Jun-91	04:33:32	PM	6,042222				
11-Jun-91	04:36:00	PM	6,083333				
11-Jun-91	04:38:20	PM	0				
11-Jun-91	04:44:15	PM	0,098611				
11-Jun-91	04:44:29	PM	0,1025				
11-Jun-91	04:44:56	PM	0,11				
11-Jun-91	04:45:17	PM	0,115833				
11-Jun-91	04:45:44	PM	0,123333				
11-Jun-91	04:46:09	PM	0,130278				
11-Jun-91	04:46:35	PM	0,1375				
				Tid etter			
				switchoff			
				(timer)			
				0,100556			37,725 197,9202
				0,10625			37,65 205,2505
				0,112917			37,55 263,8936
				0,119583			37,45 205,2505
				0,126806			37,35 221,6706
				0,133889			37,25 213,1448
				0,145139			37,1 201,5187
11-Jun-91	04:47:30	PM	0,152778				
11-Jun-91	04:50:04	PM	0,195556				
11-Jun-91	04:52:59	PM	0,244167				
11-Jun-91	04:54:30	PM	0,269444				
11-Jun-91	04:56:17	PM	0,299167				
11-Jun-91	05:00:05	PM	0,3625				
11-Jun-91	05:04:22	PM	0,433889				
11-Jun-91	05:09:10	PM	0,513889				
11-Jun-91	05:14:48	PM	0,607778				
11-Jun-91	05:21:45	PM	0,723611				
11-Jun-91	05:29:42	PM	0,856111				
11-Jun-91	05:32:00	PM	0,894444				
11-Jun-91	05:38:26	PM	1,001667				
11-Jun-91	05:52:00	PM	1,227778				
11-Jun-91	05:54:00	PM	1,261111				
11-Jun-91	05:56:16	PM	1,298889				
11-Jun-91	08:03:00	PM	3,411111				
11-Jun-91	08:06:00	PM	3,461111				
11-Jun-91	08:08:18	PM	3,499444				
11-Jun-91	10:02:30	PM	5,402778				
11-Jun-91	10:05:00	PM	5,444444				
11-Jun-91	10:08:30	PM	5,502778				
12-Jun-91	09:13:00	AM	16,57778				
12-Jun-91	09:17:00	AM	16,64444				
12-Jun-91	11:53:00	AM	19,24444				
12-Jun-91	11:55:00	AM	19,27778				
12-Jun-91	02:14:30	PM	21,60278				
12-Jun-91	02:18:00	PM	21,66111				
12-Jun-91	04:16:30	PM	23,63611				
12-Jun-91	04:20:00	PM	23,69444				
				17,91111	25,2975	0,894764	
				20,42361	25,1975	0,293733	
				22,61944	25,1875	-0,18927	

Prøvepumping i testhull 2, den 18. juni 1991.

Dato	Klokka	Tid (timer)	Hull 1 Vannnivå (m under rørtopp)	Hull 2 Vannnivå (m under rørtopp)	Vtelse (l/t)	
18-Jun-91	08:22:00	AM	0			200
18-Jun-91	08:27:00	AM	0,083333			195,6522
18-Jun-91	09:05:00	AM	0,716667			180
18-Jun-91	09:15:00	AM	0,883333			188,6792
18-Jun-91	09:20:00	AM	0,966667			181,8182
18-Jun-91	09:23:00	AM	1,016667			183,6735
18-Jun-91	09:26:30	AM	1,075			175,8958
18-Jun-91	09:29:00	AM	1,116667			173,913
18-Jun-91	09:30:00	AM	1,133333			29,35
18-Jun-91	09:31:00	AM	1,15			165,1376
18-Jun-91	09:33:20	AM	1,188889			29,61
18-Jun-91	09:34:00	AM	1,2			30,92
18-Jun-91	09:35:08	AM	1,218889			31,195
18-Jun-91	09:37:30	AM	1,258333			105,2632
18-Jun-91	09:39:40	AM	1,294444			31,65
18-Jun-91	09:40:30	AM	1,308333			92,54499
18-Jun-91	09:42:40	AM	1,344444			82,56881
18-Jun-91	09:47:00	AM	1,416667			85,55133
18-Jun-91	09:50:00	AM	1,466667			76,05634
18-Jun-91	09:52:00	AM	1,5			32,09
18-Jun-91	09:55:00	AM	1,55			65,69343
18-Jun-91	09:57:40	AM	1,594444			32,33
18-Jun-91	10:00:00	AM	1,633333			16,92308
18-Jun-91	10:03:00	AM	1,683333			32,305
18-Jun-91	10:05:00	AM	1,716667			32,29
18-Jun-91	10:10:10	AM	1,802778			22
18-Jun-91	10:13:00	AM	1,85			22,24719
18-Jun-91	10:15:00	AM	1,883333			32,29
18-Jun-91	10:17:00	AM	1,916667			23,29412
18-Jun-91	10:20:00	AM	1,966667			450
18-Jun-91	10:25:00	AM	2,05			500
18-Jun-91	10:30:10	AM	2,136111			486,4865
18-Jun-91	10:31:55	AM	2,165278			562,5
18-Jun-91	10:36:00	AM	2,233333			483,2215
18-Jun-91	10:52:40	AM	2,511111			507,0423
18-Jun-91	10:55:00	AM	2,55			461,5385
18-Jun-91	10:58:00	AM	2,6			483,871
18-Jun-91	10:58:46	AM	2,612778			495,4128
18-Jun-91	11:04:37	AM	2,710278			467,5325
18-Jun-91	11:06:30	AM	2,741667			493,1507
18-Jun-91	11:07:00	AM	2,75			473,6842
18-Jun-91	11:07:38	AM	2,760556			473,6842
18-Jun-91	11:10:25	AM	2,806944			480
18-Jun-91	11:13:55	AM	2,865278			486,4865
18-Jun-91	11:14:00	AM	2,866667			34,97
18-Jun-91						35,29
18-Jun-91						37,7
18-Jun-91						40,26
18-Jun-91						404,4944
18-Jun-91						397,0588
18-Jun-91						393,4426
18-Jun-91						382,9787

-Pumpen salt i hullet

-Tynn 1 begynner

-11ann, tynn 2 begynner

-12:30am
Tynn 3 begynner

Prøvepumping i testhull 2, den 18. juni 1991.

Dato	Klokka	Tid (timer)	Ytelse (l/t)	QB (l/t)	Gjenn. vannnivå (m)	Gjenn. tid (timer)	QA (l/t)	
18-Jun-91	08:22:00	AM	0					
18-Jun-91	08:27:00	AM	0,083333					
18-Jun-91	09:05:00	AM	0,716667					
18-Jun-91	09:15:00	AM	0,883333					
18-Jun-91	09:20:00	AM	0,966667					
18-Jun-91	09:23:00	AM	1,016667					
18-Jun-91	09:26:30	AM	1,075					
18-Jun-91	09:29:00	AM	1,116667					
18-Jun-91	09:30:00	AM	1,133333					
18-Jun-91	09:31:00	AM	1,15					
18-Jun-91	09:33:20	AM	1,188889	65	119,1479	22,725	1,161111	-54,1479
18-Jun-91	09:34:00	AM	1,2					
18-Jun-91	09:35:08	AM	1,218889	62	66,70643	23,005	1,203889	-4,70643
18-Jun-91	09:37:30	AM	1,258333					
18-Jun-91	09:39:40	AM	1,294444	53	67,23465	23,235	1,256667	-14,2346
18-Jun-91	09:40:30	AM	1,308333					
18-Jun-91	09:42:40	AM	1,344444	46	58,49641	23,495	1,319444	-12,4964
18-Jun-91	09:47:00	AM	1,416667	38	51,15475	23,71	1,380556	-13,1548
18-Jun-91	09:50:00	AM	1,466667	33	49,26013	23,91	1,441667	-16,2601
18-Jun-91	09:52:00	AM	1,5					
18-Jun-91	09:55:00	AM	1,55	27	30,47971	24,0725	1,508333	-3,47971
18-Jun-91	09:57:40	AM	1,594444					
18-Jun-91	10:00:00	AM	1,633333	19	21,24343	24,2125	1,591667	-2,24343
18-Jun-91	10:03:00	AM	1,683333					
18-Jun-91	10:05:00	AM	1,716667	13	12,00716	24,3025	1,675	0,992843
18-Jun-91	10:10:10	AM	1,802778	10	9,832163	24,3625	1,759722	0,167837
18-Jun-91	10:13:00	AM	1,85					
18-Jun-91	10:15:00	AM	1,883333	8	6,688337	24,4075	1,843056	1,311663
18-Jun-91	10:17:00	AM	1,916667					
18-Jun-91	10:20:00	AM	1,966667	7	5,541765	24,44	1,925	1,458235
18-Jun-91	10:25:00	AM	2,05	6,9	4,618137	24,4675	2,008333	2,281863
18-Jun-91	10:30:10	AM	2,136111	6	3,575332	24,49	2,093056	2,424668
18-Jun-91	10:31:55	AM	2,165278					
18-Jun-91	10:36:00	AM	2,233333	6	2,375042	24,5075	2,184722	3,624958
18-Jun-91	10:52:40	AM	2,511111	8	6,373029	24,5725	2,372222	1,626971
18-Jun-91	10:55:00	AM	2,55					
18-Jun-91	10:58:00	AM	2,6	8	3,463603	24,64	2,555556	4,536397
18-Jun-91	10:58:46	AM	2,612778					
18-Jun-91	11:04:37	AM	2,710278					
18-Jun-91	11:06:30	AM	2,741667					
18-Jun-91	11:07:00	AM	2,75	249	266,8257	25,7	2,69	-17,8257
18-Jun-91	11:07:38	AM	2,760556					
18-Jun-91	11:10:25	AM	2,806944	230	218,9673	27,145	2,778472	11,03271
18-Jun-91	11:13:55	AM	2,865278					
18-Jun-91	11:14:00	AM	2,866667	205	206,2052	27,95	2,836806	-1,2052
18-Jun-91	11:14:45	AM	2,879167					
18-Jun-91	11:15:34	AM	2,892778					
18-Jun-91	11:16:10	AM	2,902778					
18-Jun-91	11:16:29	AM	2,908056					
18-Jun-91	11:16:59	AM	2,916389					
18-Jun-91	11:17:49	AM	2,930278					
18-Jun-91	11:17:53	AM	2,931389					
18-Jun-91	11:18:44	AM	2,945556					
18-Jun-91	11:19:25	AM	2,956944	170	170,5158	28,85	2,911806	-0,51584
18-Jun-91	11:19:32	AM	2,958889					
18-Jun-91	11:21:00	AM	2,983333	162	151,6694	29,48	2,970139	10,33065
18-Jun-91	11:31:23	AM	3,156389	122	116,5283	30,265	3,069861	5,47172

18-Jun-91 11:34:00 AM	3,2	112 97,06913	31,0575	3,178194	14,93087
18-Jun-91 11:35:51 AM	3,230833				
18-Jun-91 11:39:25 AM	3,290278	93 77,58471	31,4225	3,245139	15,41529
18-Jun-91 11:39:29 AM	3,291389				
18-Jun-91 11:42:20 AM	3,338889				
18-Jun-91 11:41:46 AM	3,329444				
18-Jun-91 11:44:37 AM	3,376944				
18-Jun-91 11:46:40 AM	3,411111	70 56,05463	31,87	3,350694	13,94537
18-Jun-91 11:48:15 AM	3,4375				
18-Jun-91 11:52:00 AM	3,5	55 41,56324	32,21	3,455556	13,43676
18-Jun-91 12:00:00 PM	3,633333				
18-Jun-91 12:02:00 PM	3,666667	17 -2,30907	32,3175	3,583333	19,30907
18-Jun-91 12:11:00 PM	3,816667				
18-Jun-91 12:12:40 PM	3,844444	22 -1,29885	32,2975	3,755556	23,29885
18-Jun-91 12:14:00 PM	3,866667				
18-Jun-91 12:17:00 PM	3,916667				
18-Jun-91 12:19:50 PM	3,963889	23 0	32,29	3,904167	23
18-Jun-91 12:27:00 PM	4,083333				
18-Jun-91 12:27:48 PM	4,096667	23 3,478095	32,305	4,030278	19,5219
18-Jun-91 12:31:50 PM	4,163889				
18-Jun-91 12:32:06 PM	4,168333				
18-Jun-91 12:32:26 PM	4,17375				
18-Jun-91 12:32:26 PM	4,173889				
18-Jun-91 12:32:44 PM	4,179028				
18-Jun-91 12:32:46 PM	4,179306				
18-Jun-91 12:33:02 PM	4,18375				
18-Jun-91 12:33:03 PM	4,184167				
18-Jun-91 12:33:04 PM	4,184583				
18-Jun-91 12:33:20 PM	4,189028				
18-Jun-91 12:33:23 PM	4,189722				
18-Jun-91 12:33:39 PM	4,194167				
18-Jun-91 12:33:40 PM	4,194444				
18-Jun-91 12:33:59 PM	4,199583				

18-Jun-91 12:34:18 PM	4,204861				
18-Jun-91 12:35:20 PM	4,222222	472 458,9102	33,645	4,177778	13,08981
18-Jun-91 12:36:00 PM	4,233333	467 443,3412	35,13	4,227778	23,65882
18-Jun-91 12:41:00 PM	4,316667	434 445,1884	36,495	4,275	-11,1884
18-Jun-91 12:47:00 PM	4,416667	395 394,081	38,98	4,366667	0,91895
18-Jun-91 12:47:04 PM	4,417917				
18-Jun-91 12:47:28 PM	4,424444				
18-Jun-91 12:47:52 PM	4,430972				
18-Jun-91 12:48:12 PM	4,436806				
18-Jun-91 12:48:15 PM	4,437639				
18-Jun-91 12:48:36 PM	4,443333				
18-Jun-91 12:49:00 PM	4,449861				
18-Jun-91 12:49:00 PM	4,45				
18-Jun-91 12:49:23 PM	4,456528				
18-Jun-91 12:49:47 PM	4,463056				
18-Jun-91 12:51:00 PM	4,483333	369 357,9056	41,035	4,45	11,09436
18-Jun-91 01:00:00 PM	4,633333	312 340,7159	43,47	4,558333	-28,7159
18-Jun-91 01:02:20 PM	4,672222	296 288,9634	45,495	4,652778	7,036552
18-Jun-91 01:02:38 PM	4,677222				
18-Jun-91 01:03:10 PM	4,68625				
18-Jun-91 01:03:44 PM	4,695417				
18-Jun-91 01:04:08 PM	4,702361				
18-Jun-91 01:04:18 PM	4,704861				
18-Jun-91 01:04:42 PM	4,711528				
18-Jun-91 01:05:14 PM	4,720556				
18-Jun-91 01:05:16 PM	4,720972				
18-Jun-91 01:05:48 PM	4,73				
18-Jun-91 01:06:21 PM	4,739167				
18-Jun-91 01:07:30 PM	4,758333	265 253,8486	46,57	4,715278	11,15142
18-Jun-91 01:09:00 PM	4,783333				
18-Jun-91 01:11:00 PM	4,816667	240 237,5042	47,73	4,7875	2,495796
18-Jun-91 01:14:00 PM	4,866667	222 221,6706	48,54	4,841667	0,32941
18-Jun-91 01:15:30 PM	0				Tid etter

18-Jun-91 01:23:00 PM	0,125				
18-Jun-91 01:28:15 PM	0,2125				
18-Jun-91 01:30:50 PM	0,255556				
18-Jun-91 01:33:57 PM	0,3075				
18-Jun-91 01:37:02 PM	0,358889				
18-Jun-91 01:40:03 PM	0,409167				
18-Jun-91 01:43:03 PM	0,459167				
18-Jun-91 01:46:06 PM	0,51				
18-Jun-91 01:49:05 PM	0,559722				
18-Jun-91 01:52:07 PM	0,610278				
18-Jun-91 01:55:13 PM	0,661944				
18-Jun-91 01:58:14 PM	0,712222				
18-Jun-91 02:01:20 PM	0,763889				
18-Jun-91 02:04:30 PM	0,816667				
18-Jun-91 02:38:19 PM	1,380278				
18-Jun-91 02:41:20 PM	1,430556				
18-Jun-91 02:44:32 PM	1,483889				
18-Jun-91 02:47:38 PM	1,535556				
18-Jun-91 02:50:42 PM	1,586667				
18-Jun-91 02:53:47 PM	1,638056				
18-Jun-91 02:56:00 PM	1,675				
18-Jun-91 03:20:45 PM	2,0875				
18-Jun-91 03:24:40 PM	2,152778				
18-Jun-91 06:07:10 PM	4,861111				
18-Jun-91 06:08:10 PM	4,877778				
18-Jun-91 06:10:40 PM	4,919444				
18-Jun-91 06:14:00 PM	4,975				
18-Jun-91 09:08:00 PM	7,875				
18-Jun-91 09:09:00 PM	7,891667				
18-Jun-91 09:11:50 PM	7,938889				
18-Jun-91 09:15:54 PM	8,006667				
18-Jun-91 09:17:00 PM	8,025				
19-Jun-91 10:40:40 AM	21,41944				
		switchoff			
		48,6675	0,16875	29,02829	
		48,5425	0,234028	30,39032	
		48,45	0,281528	29,63511	
		48,35	0,333194	29,95549	
		48,25	0,384028	30,61748	
		48,15	0,434167	30,78758	
		48,05	0,484583	30,28287	
		47,95	0,534861	30,95958	
		47,85	0,585	30,44926	
		47,75	0,636111	29,79443	
		47,65	0,687083	30,61748	
		47,55	0,738056	29,79443	
		47,45	0,790278	29,16718	
		46,85	1,098472	30,04407	
		46,25	1,405417	30,61748	
		46,15	1,457222	28,86336	
		46,05	1,509722	29,79443	
		45,95	1,561111	30,11829	
		45,85	1,612361	29,95549	
		45,37	1,862778	29,45561	
		42,3325	3,474306	28,94372	
		39,71	4,869444	27,70882	
		39,6025	4,926389	29,29219	
		36,8675	6,425	28,05386	
		34,211	7,883333	25,86157	
		34,0985	7,949167	26,37023	
		33,985	8,015833	25,18984	
		26,8	14,72222	11,66506	

19-Jun-91 10:44:00 AM	21,475				
19-Jun-91 10:58:00 AM	21,70833				
19-Jun-91 01:06:00 PM	23,84167				
19-Jun-91 01:10:00 PM	23,90833				
19-Jun-91 03:25:00 PM	26,15833				
19-Jun-91 03:29:00 PM	26,225				
		23,7915	21,56389	3,037313	
		23,5615	22,775	2,907983	
		23,15	25	2,790817	

Vedlegg 3

Kjemiske Data

46m/1 = prøve tatt under boring

TB1/1,2,3 = prøver tatt under prøvepumping i hull 1

TB2/1,2,3 = prøver tatt under prøvepumping i hull 2

Alkalitet, ledningsevne og pH ble målt på laboratoriet.

Ledningsevne oppgis for en standard temperatur på 25°C.

Anioner og andre parametre

Prøve nr	F'	Cl'	NO2'	Br'	NO3'	PO4''''	SO4''
46m/1	360 ppb	19.6ppm	<50.0ppb	77.1ppb	360 ppb	<50.0ppb	36.0ppm
Prøve nr	F'	Cl'	NO2'	Br'	NO3'	PO4''''	SO4''
TB1/1	<100 ppb	17.2ppm	<100 ppb	71.4ppb	1.69ppm	<50.0ppb	31.6ppm
2	<100 ppb	14.4ppm	<100 ppb	60.7ppb	1.51ppm	<50.0ppb	34.2ppm
3	<100 ppb	16.9ppm	<100 ppb	56.8ppb	1.88ppm	<50.0ppb	35.6ppm
Prøve nr	F'	Cl'	NO2'	Br'	NO3'	PO4''''	SO4''
TB2/1	<100 ppb	20.6ppm	<100 ppb	46.7ppb	567 ppb	<50.0ppb	20.1ppm
2	<100 ppb	20.9ppm	<100 ppb	58.8ppb	612 ppb	<50.0ppb	22.5ppm
3	<100 ppb	20.6ppm	<100 ppb	65.8ppb	598 ppb	<50.0ppb	23.5ppm

<u>Resultat:</u>		Ledn.evne	pH	Alkalitet
Nr.	Prøvemrk.	µS/cm		mmol/l
1.	TB1/1	517	7.52	4.68
2.	TB1/2	509	7.52	4.58
3.	TB1/3	515	7.53	4.63

<u>Resultat:</u>		Ledn.evne	pH	Alkalitet
Nr.	Prøvemrk.	µS/cm		mmol/l
1.	TB2/1	390	7.59	3.06
2.	TB2/2	389	7.59	3.05
3.	TB2/3	397	7.59	3.13

	Total hardhet mg/l CaCO ₃	Alkalitet mg/l CaCO ₃	Ikke-karbonat hardhet mg/l CaCO ₃	Ionisk sterk mmol/l
46m/1	34	73	0	3,55
TB1/1	279	234	44	9,30
TB1/2	257	229	27	8,85
TB1/3	281	232	49	9,41
TB2/1	148	153	0	5,85
TB2/2	155	153	2	6,06
TB2/3	170	157	14	6,42

Alkalitetsverdien for 46m/1 er kalkulert ut fra ionebalansen. Den er derfor usikker.

46m/1

	F	FS	TB1-1F	TB1-1U	TB1-2F	TB1-2U	TB1-3F	Tb1-3U	TB2-1F	TB2-2F	TB2-2U	TB2-3F	TB2-3U
Si	2.36	2.30	3.61	3.63	3.71	3.70	3.59	3.64	3.88	3.84	4.01	3.75	3.92
Al	107.6	161.9	72.1	64.4	236.2	104.1	364.8	87.1	101.2	688.2	222.4	105.8	114.5
Fe	<10.0	<10.0	41.5	38.0	13.8	32.8	17.3	19.0	114.1	107.2	186.7	65.7	150.4
Ti	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0
Mg	4.67	5.10	11.61	11.61	11.20	11.97	11.62	11.71	7.83	8.19	9.03	8.87	9.36
Ca	4.86	5.36	92.46	92.70	84.33	89.98	93.41	93.79	46.33	48.62	53.73	53.55	56.16
Na	48.13	49.92	20.24	20.14	21.05	21.89	20.18	20.37	28.19	28.86	31.21	29.26	30.61
K	1.42	1.26	3.23	3.14	3.18	3.22	3.14	3.22	2.57	2.85	3.17	2.81	3.04
Mn	<2.0	<2.0	114.4	115.2	99.8	104.4	117.0	112.8	133.5	138.8	158.3	133.7	153.6
P	<100.0	<100.0	<100.0	<100.0	<100.0	<100.0	<100.0	<100.0	<100.0	<100.0	<100.0	<100.0	<100.0
Cu	<2.0	<2.0	6.6	6.3	9.1	8.5	13.2	8.8	<10.0	12.6	21.7	23.9	20.6
Zn	<5.0	<5.0	11.4	5.0	17.8	5.0	23.4	5.4	10.6	15.1	20.0	11.0	10.4
Pb	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0
Ni	<40.0	<40.0	<40.0	<40.0	<40.0	<40.0	<40.0	<40.0	<40.0	<40.0	<40.0	<40.0	<40.0
Co	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0
V	7.9	8.4	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Mol	24.2	20.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0
Cd	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0
Cr	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0
Ba	18.2	20.9	85.0	85.3	74.9	79.4	85.9	85.6	54.2	56.4	62.6	58.7	62.6
Sr	37.0	40.7	277.6	277.9	266.6	285.0	276.1	278.3	208.6	218.5	241.9	231.3	246.2
Zr	<5.0	<5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
Ag	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0
B	41.9	41.9	26.6	23.3	23.3	23.3	26.6	20.0	<20.0	<20.0	<20.0	<20.0	<20.0
Be	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
Li	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
Sc	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
Ce	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0	<50.0
La	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0
Y	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0

Kationer
 For prøve 46m/1
 F = kun filtrert
 FS = filtrert + surgjort

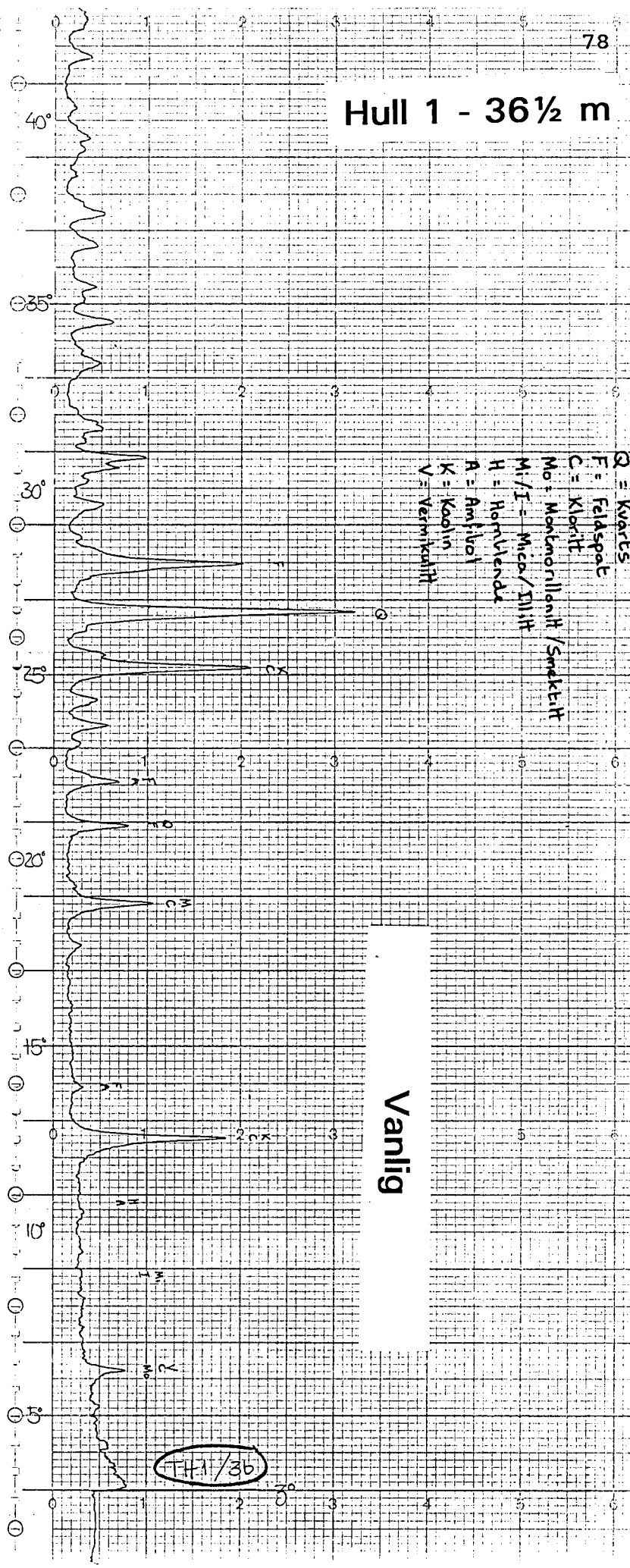
 For prøver TB....
 U = ufiltrert men surgjort
 F = filtrert + surgjort

Vedlegg 4

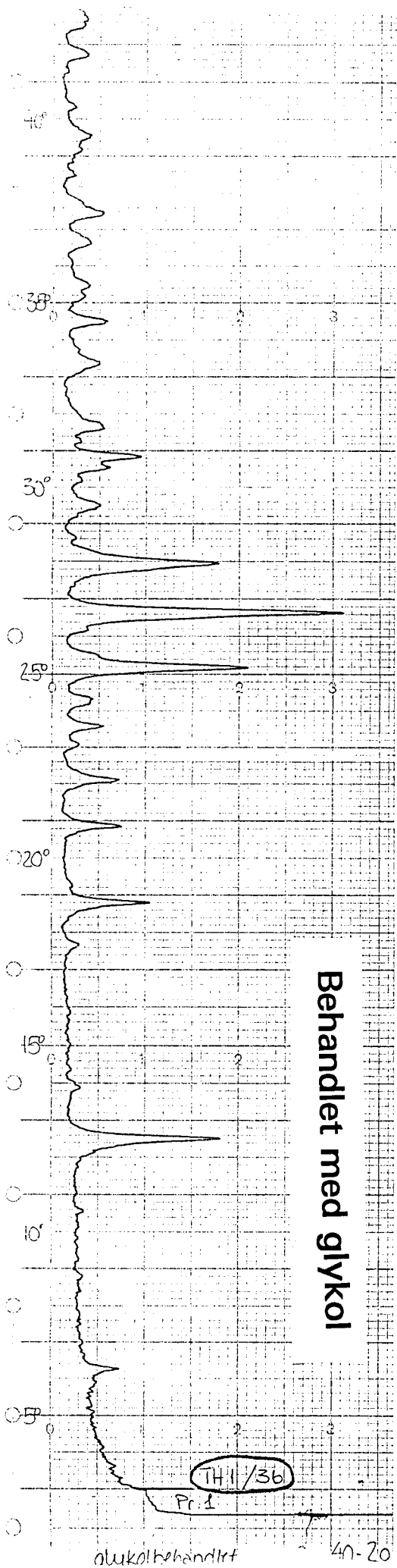
XRD-Diffraktogrammene

Hull 1 - 36½ m

- Q = Kvarter
- F = Feldspat
- C = Klorit
- Mo = Montmorillonit / Smektit
- Mi/I = Mica / Illitt
- H = Hornblenda
- A = Amphibol
- K = Kaolin
- V = Vermikulitt

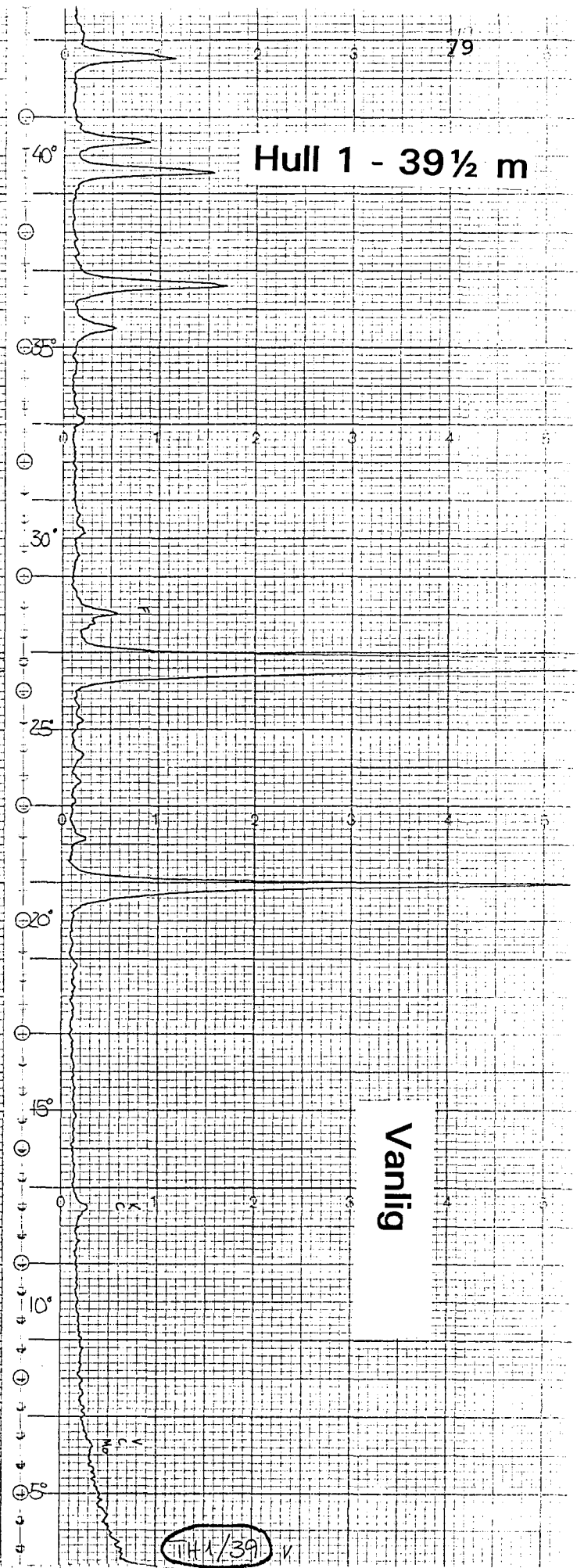
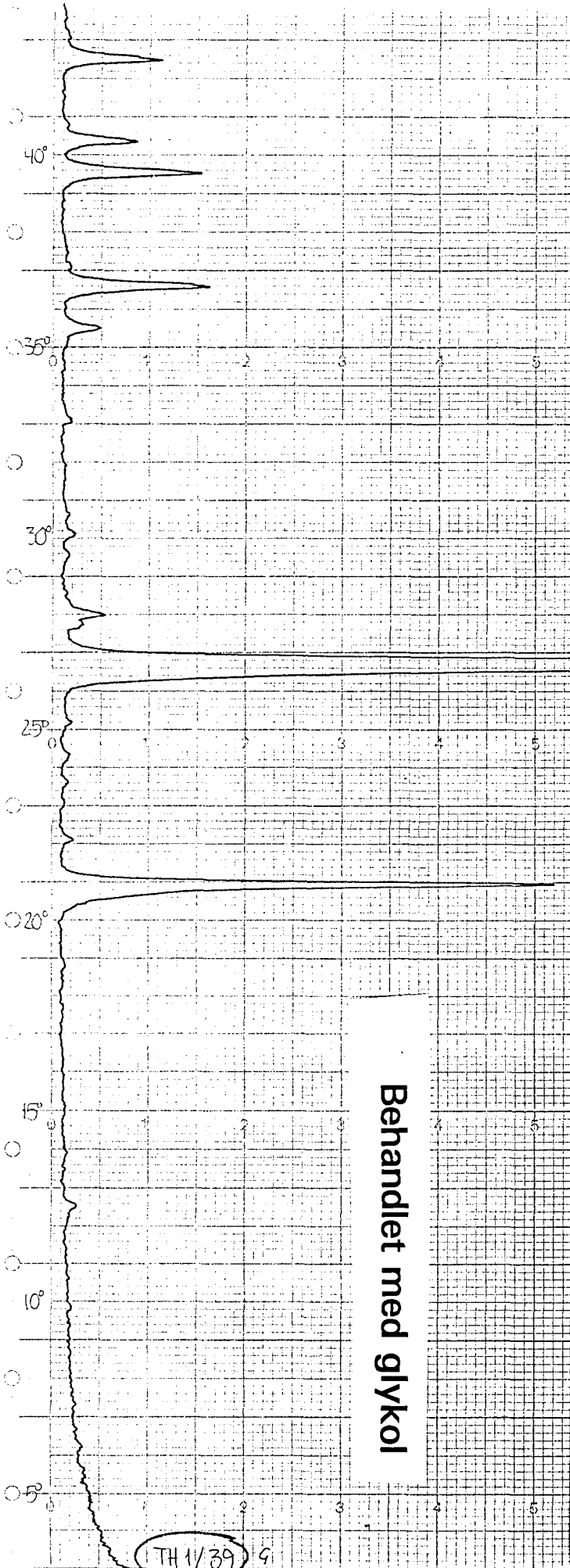


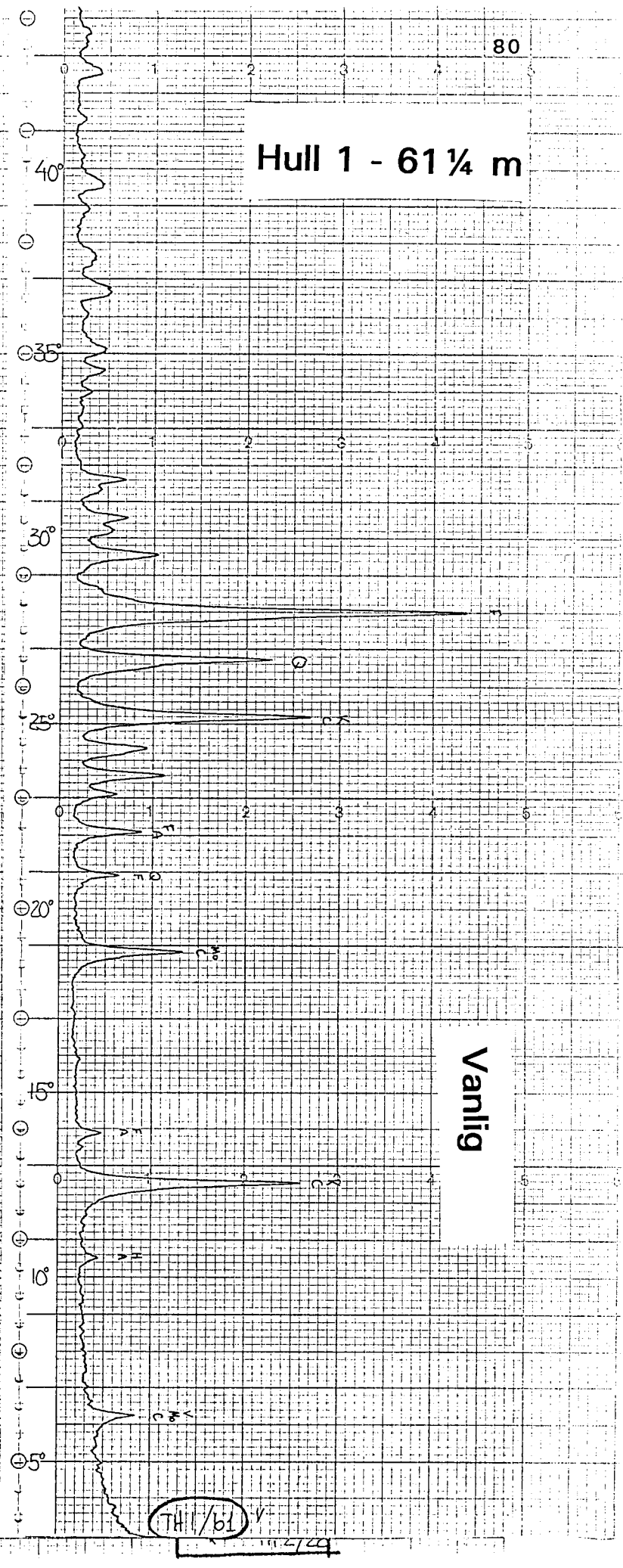
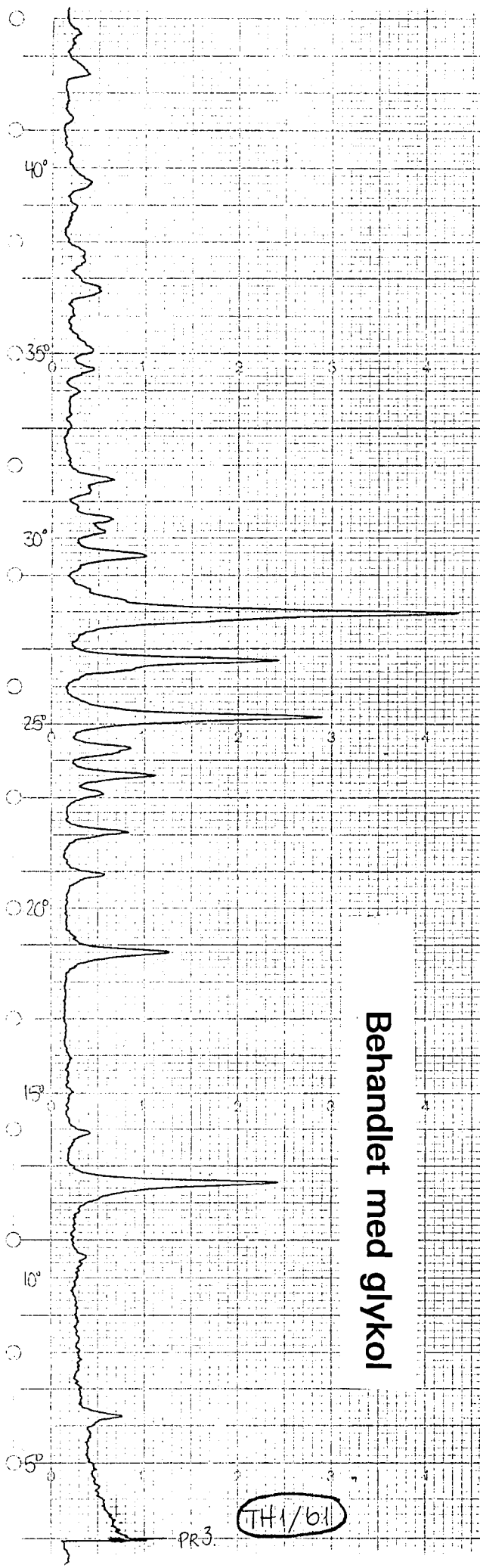
Vanlig



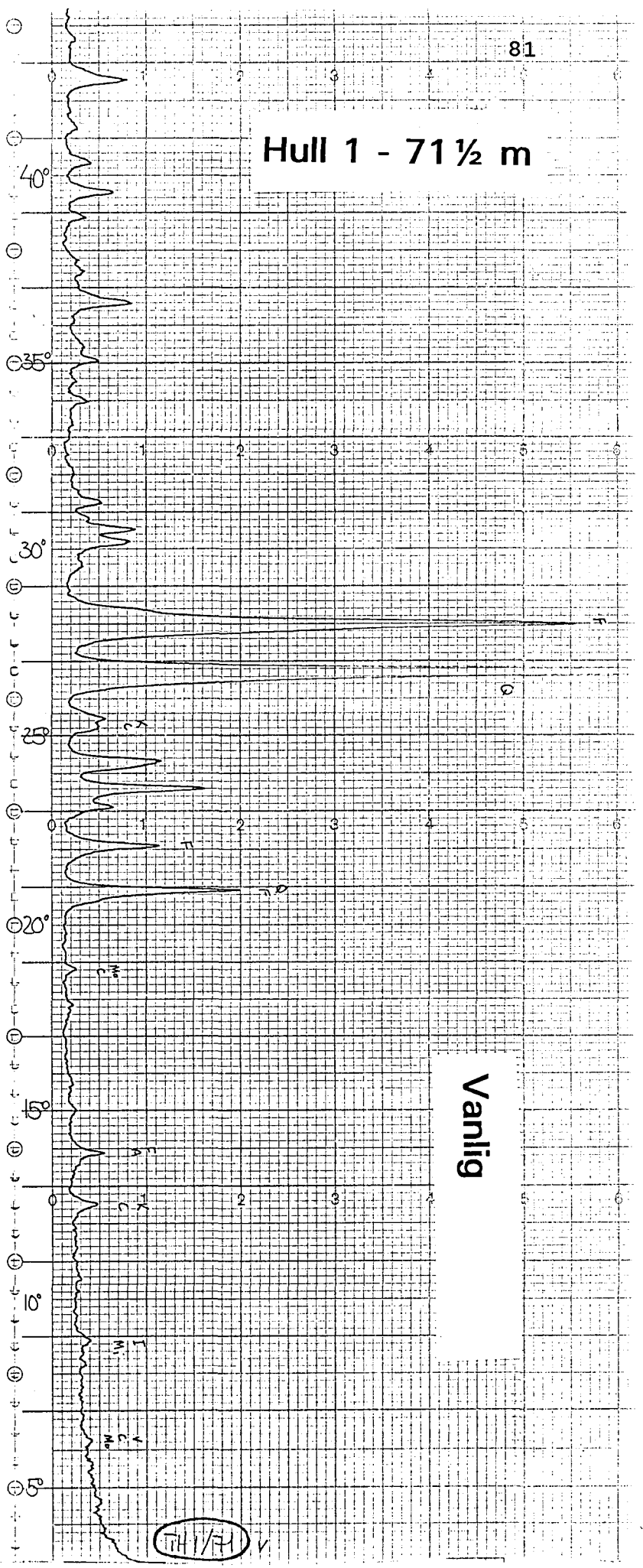
Behandlet med glykol

TH/1/36
Pr. 1
glykolbehandlet 40-20



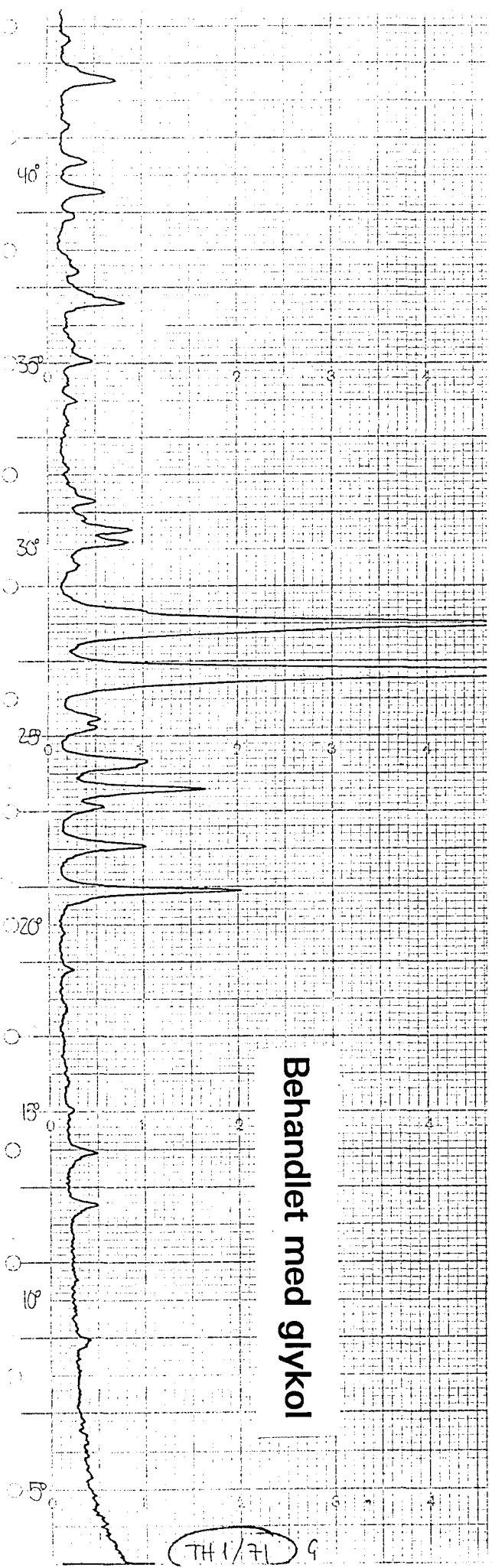


Hull 1 - 71 1/2 m



Vanlig

TH 1/71 V



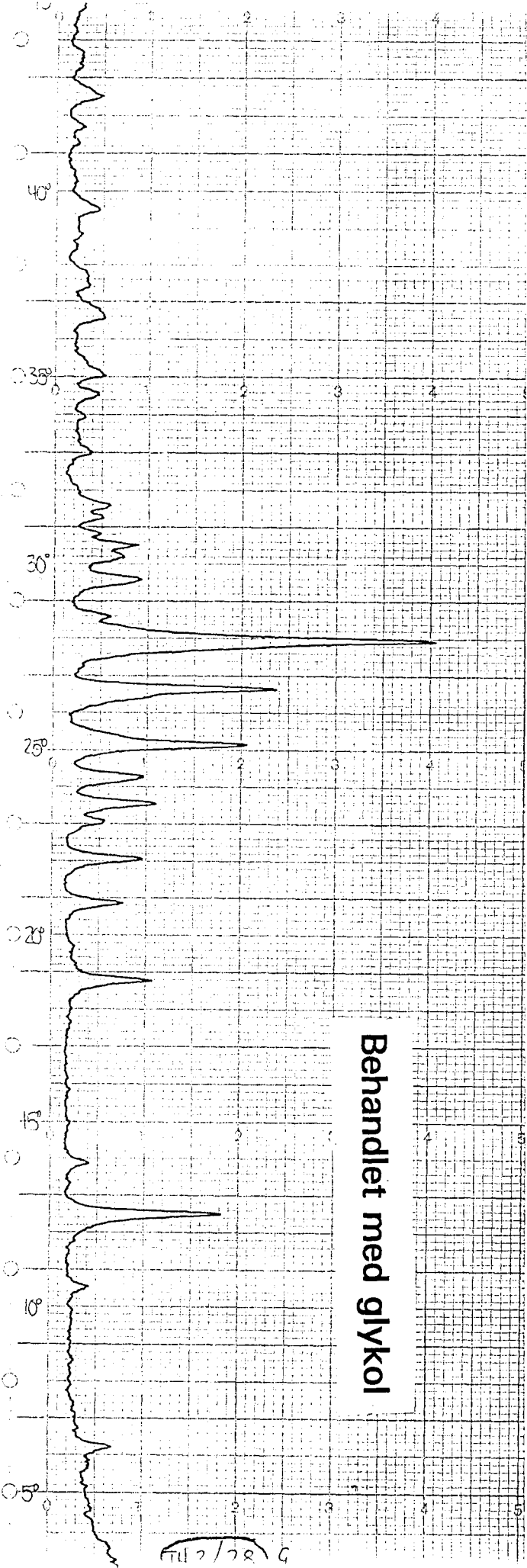
Behandlet med glykol

TH 1/71 G

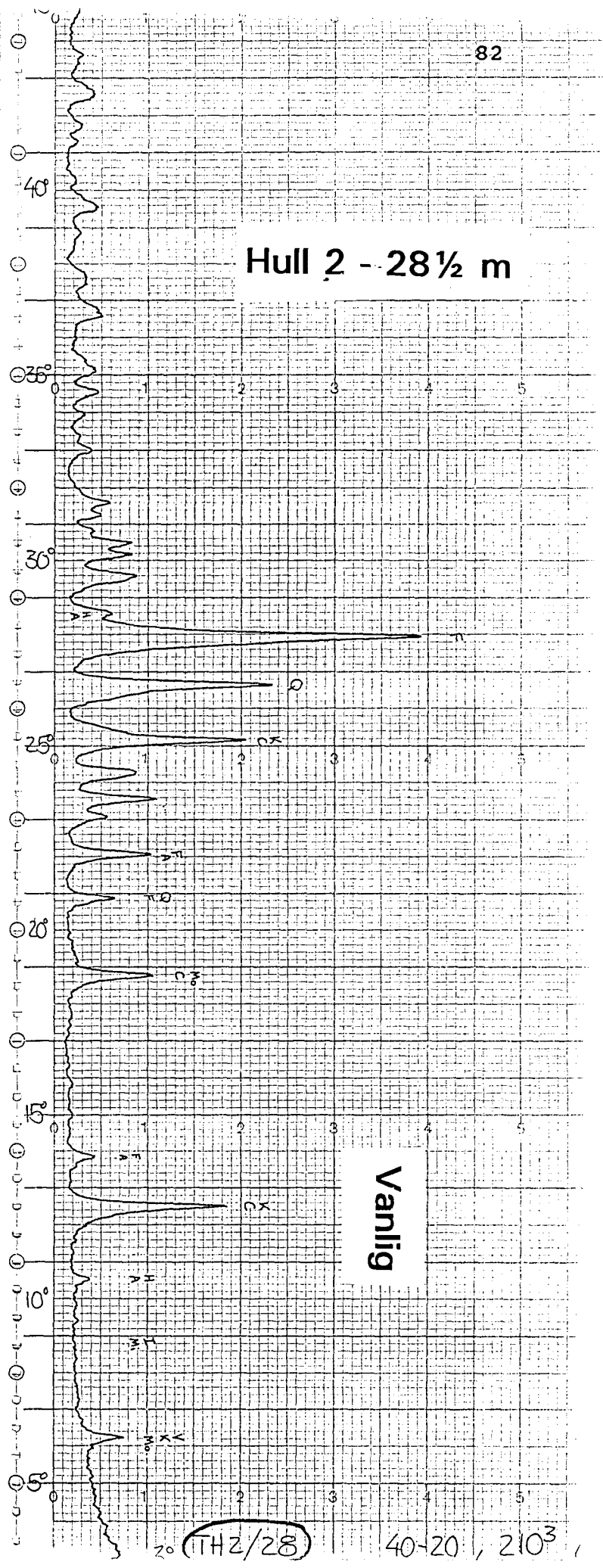
Hull 2 - 28 1/2 m

Vanlig

Behandlet med glykol



Hull 2/28 G

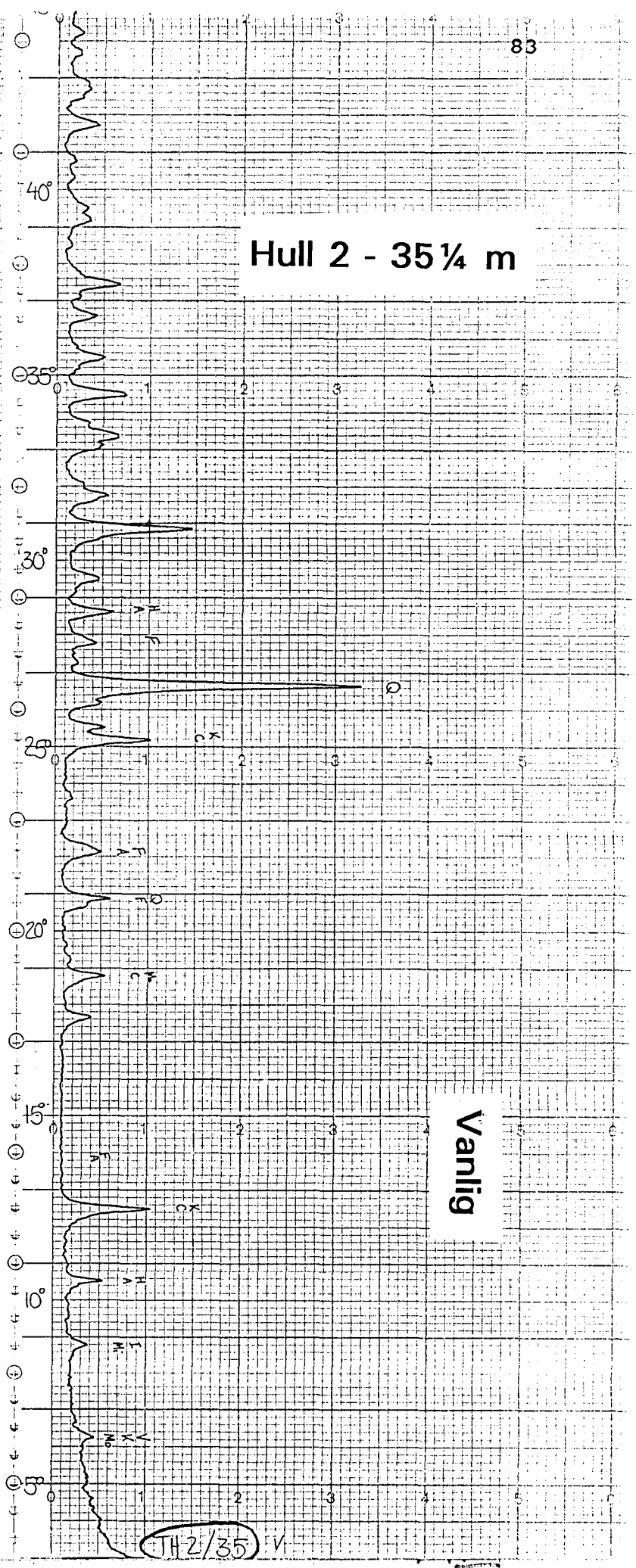


20 (THZ/28)

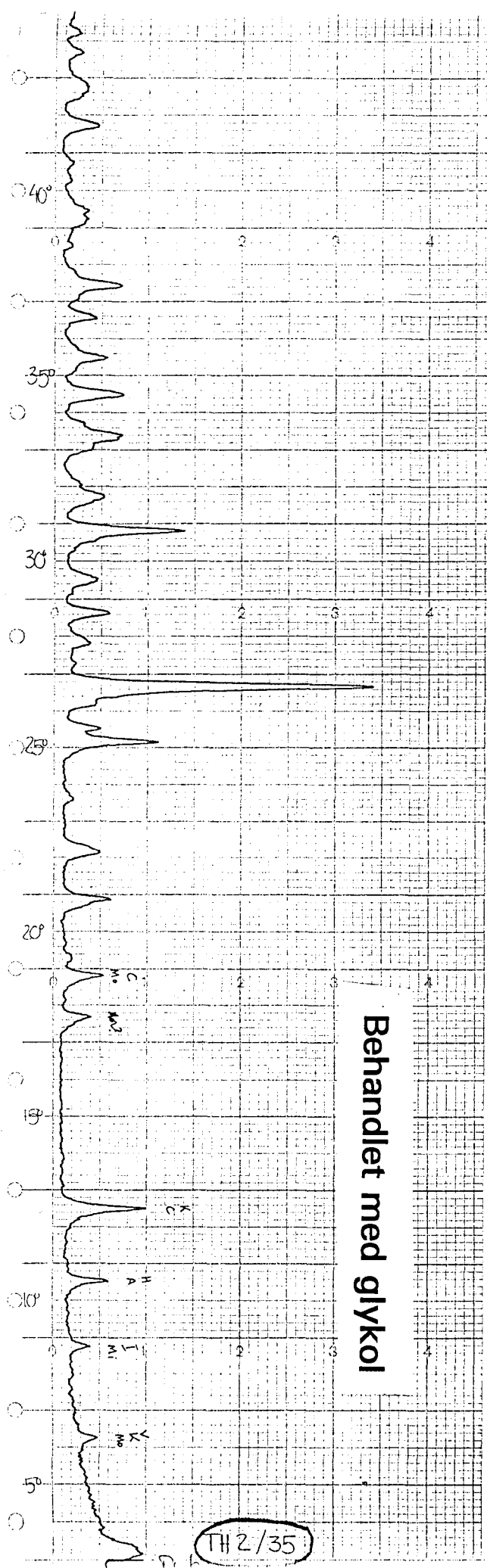
40-20, 210³,

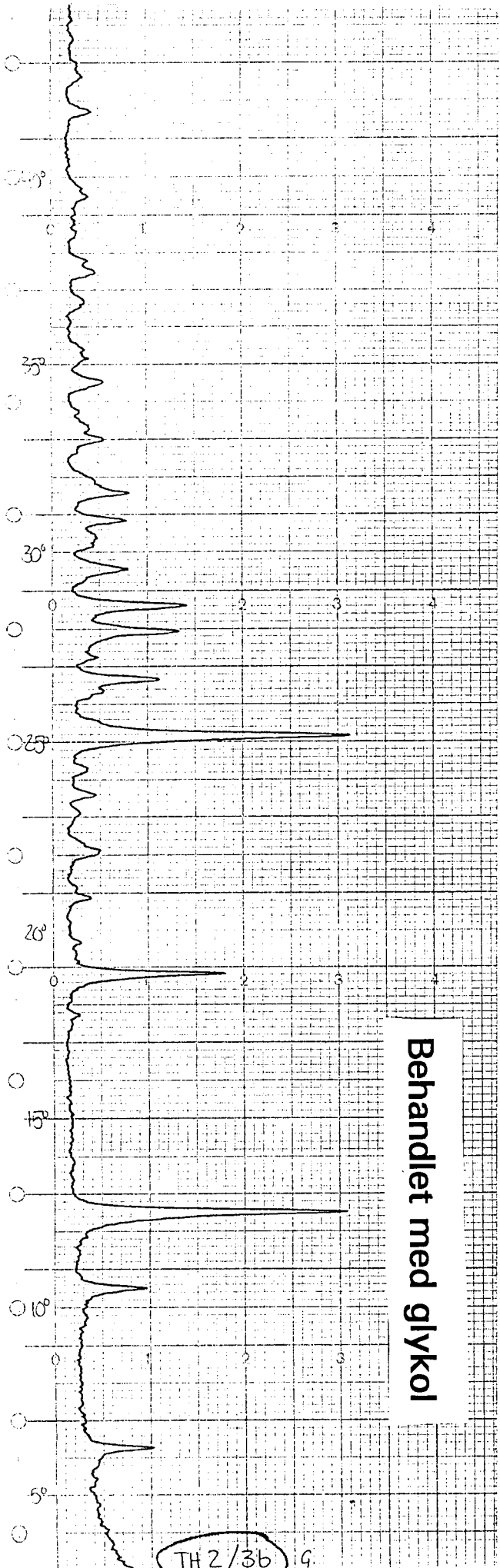
Hull 2 - 35 1/4 m

Vanlig

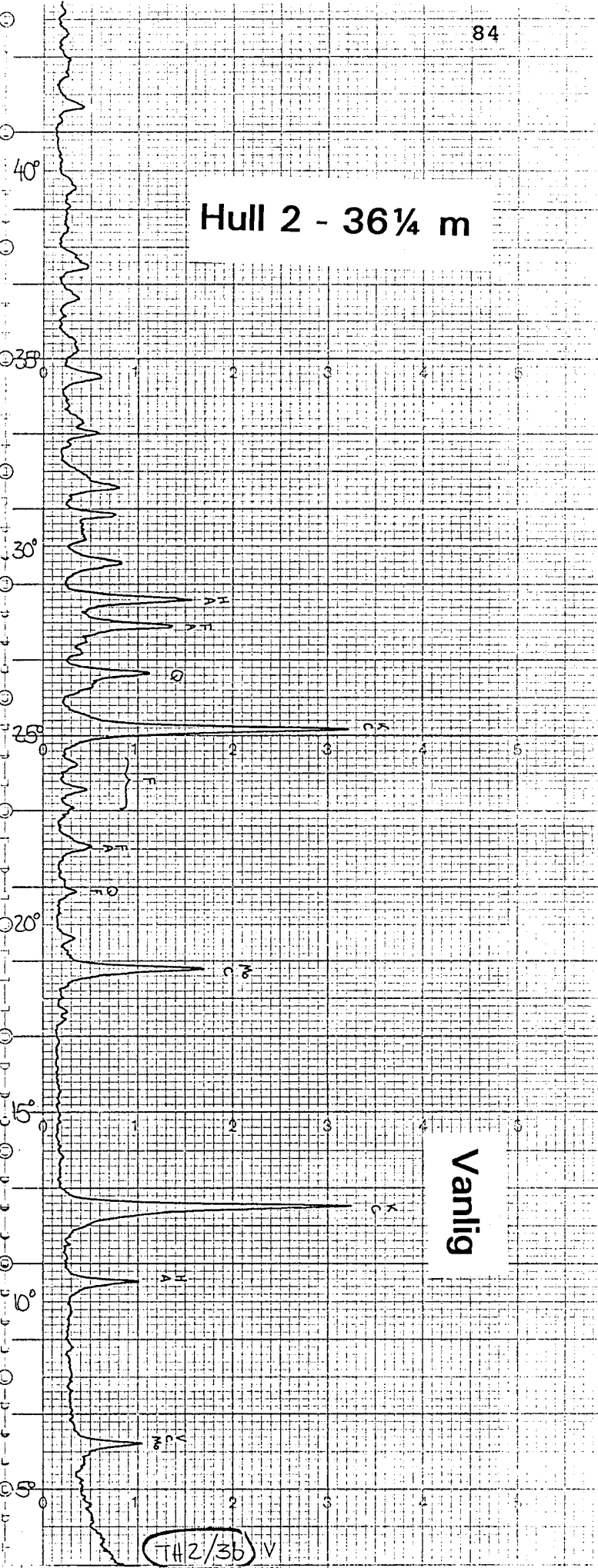


Behandlet med glykol





TH 2/3b G



TH 2/3b IV

Appendiks:
Kapasitetstesting av borehull
i fast fjell

Innholdsfortegnelse

1) Transmissivitet & permeabilitet i fast fjell	ii
2) Metoder benyttet i denne rapporten	iii
a) Likevekts-forhold under kapasitetstesting	iii
b) Identifisering av vannførende sprekker	iv
c) Hull med flere sprekkesoner	v
d) Skrådde hull	v
e) Ikke-likevektsforhold	vi
3) Møye (1967) & Banks (1972) metoden	vii
4) Lugeon testing	ix
5) Jetel & Krasny (1968) metoden	x
6) Logan approksimasjonen	xii
7) Carlsson & Carlstedt (1977) metoden for ikke-likevektsforhold	xii
8) Sammenligning av metodene	xiv

Appendiks - Kapasitetstesting av borehull i fast fjell

1. Transmissivitet & konduktivitet i fast fjell

En sprekk i fast fjell har en viss kapasitet til å føre vann under en gradient. Dette heter sprekkens **transmissivitet** T_s . En sprekkens transmissivitet = vannstrømningen langs sprekkene per meters bredde, ved en hydraulisk gradient av 1 m/m.

Transmissiviteten for en bestemt mektighet (D) av akvifer = vannstrømning gjennom 1 meters bredde av akviferen under en hydraulisk gradient 1 m/m. Hvis akviferen har ingen "bakgrunns-konduktivitet" er dette = $T_{s1} + T_{s2} + T_{s3} \dots$, hvor T_{s1} osv. er transmissivitetene til de ulike sprekkene i denne akviferseksjonen (fig.1a). Hvis det er en viss bakgrunnskonduktivitet K_b i bergartene er $T = K_b D + T_{s1} + T_{s2} + T_{s3} \dots$ (fig.1b)

Den gjennomsnittlige hydrauliske konduktiviteten K av en seksjon av en akvifer med mektighet D beregnes ved:

$$K = T/D = \frac{T_{s1} + T_{s2} + T_{s3} \dots}{D}$$

eller
$$\frac{K_b D + T_{s1} + T_{s2} + T_{s3} \dots}{D}$$

I virkeligheten tilsier K og T verdiene fra ett borhull lite om de "bulk" verdiene for akviferen. T og K fra korttidsprøvepumping er kun et uttrykk for hullets kapasitet, og de hydrauliske egenskapene til sprekkene som borhullet treffer. Man må anerkjenne at to lignende borhull, ett vertikalt og ett skrådd eller horisontalt, på ett sted vil treffe annerledes antall sprekker, ha forskjellige kapasiteter og derfor føre til forskjellige T og K verdier. Det anbefales derfor å tale om T - og K -verdiene derivert fra kapasitetstesting av enkelte hull som de **tilsynelatende** T - og K -verdiene for hullene.

2. Metoder benyttet i denne rapporten

Har man data fra en pumpings- eller gjenvinningstest kan man kalkulere Q_A , dvs. den delen av den totale ytelsen som akviferen bidrar med, fra den følgende ligningen:

$$Q_A = Q_{tot} - Q_B$$

hvor Q_B = den delen av ytelsen som kommer fra hullets magasinkapasitet.

$$\text{Derfor } Q_A = Q_{tot} + \frac{\delta h * \pi r^2}{\delta t}$$

hvor r = hullets radius

δh = endring i vannstand i hullet i en tidsinterval δt
(δh er negativt for en senking vannstand, og positivt for en stiging)

a) Likevektsforhold under kapasitetstesting

Hvis hullets vannledende sprekker har forholdsvis lav ledningsevne (sett i forhold til akviferens magasinkapasitet), vil hullets kapasitet bestemmes av transmissiviteten til disse "overførings"-sprekker, og ikke av den bredere akviferens magasinkapasitet. Derfor vil grunnvannspeilet i fjellet omkring hullet kun påvirkes i begrenset grad, og en tilnærmet likevekt vil etableres forholdsvis fort.

Hvis det nås et likevektsforhold under kapasitetstesting (hvor Q_A ville bli omtrent konstant for en spesifikk vannstand), kan man si at akviferen ikke blir stadig mer påvirket av pumping/-gjenvinning med tid. På en viss avstand (senkningskonens radius) fra hullet er ikke grunnvannstanden (H_0) i den omkringliggende akviferen sterkt påvirket av pumpingen/gjenvinning (dvs at en pseudo-likevekt eksisterer mellom akvifer og hull). Man kan derfor anta (fig.2) at:

$$Q_A = F_s * (H_0 - h)$$

Hvor H_0 = grunnvannsnivået ("rest"-nivået) i akviferen (m)

h = vannnivået i hullet (m)

F_s = Sprekkesonens "korttids"-spesifikke kapasitet (m^2/d)

Iflg. Rorabaugh (1953) er senkningen for en oppgitt ytelse avhengig både av trykktap i formasjonen og andre lineære faktor (akvifer-tap, B), og ikke-lineære faktor (brønn-tap, C):

$$(H_0 - h) = BQ_A + CQ_A^n$$

Hvor B = akvifer-tap faktor (dette avhenger av pumpingstid)

C = brønn-tap faktor

n = eksponent faktor, ofte ca. 2

Hvis man plotter $Q_A = f(h)$ vil man få en rett linje hvis C er neglisjerbar (dvs. ikke-lineære effekter er små). Linjens gradient = $-F_s = -1/B$, hvor B = kort-tids akvifer-tap (Fig.2).

b) Identifisering av vannførende sprekker

Hvis hullets vannstand ligger under en spesifikk sprekkesone vil innsiget fra sonen være omtrent konstant, og denne gis av:

$$Q_s = F_s * (H_0 - h_s)$$

hvor Q_s = innsiget av vann fra sprekkesone 1

F_s = korttids spesifikk kapasitet for sone 1

h_s = nivået på sprekkesone 1 i hullet

I et hull med kun en vannførende sprekk vil $Q_s = Q_A$ være konstant, dvs. $Q_s = F_s * (H_0 - h_s)$, hvis $h < h_s$ (Fig.2). Hvis $h > h_s$ vil $Q_s = F_s * (H_0 - h)$. Plotter man $Q_s = Q_A$ mot h, får man en horisontal linje for $h < h_s$, og en rett linje med gradient F_s , og kryssning med x-akse H_0 for $h > h_s$.

c) Hull med flere sprekkesoner

Man kan konstruere kurver for borehull med flere sprekkesoner, og kalkulere F-faktoren for hver sone. Metoden gjør det mulig å identifisere nivået på de forskjellige sprekkesoner. Dette illustreres i figs. 3 & 4.

d) Skrådde hull

Metoden kan lett anvendes til skrådde hull, men man må huske at :

$$H_o = [0\text{-nivå}] - D_o \sin\alpha$$

$$h = [0\text{-nivå}] - d \sin\alpha$$

$$h_s = [0\text{-nivå}] - d_s \sin\alpha$$

Hvor d = vannstand i hullet under rørtopp

d_s = dyp langs hullets akse til den vannførende sprekken

D_o = rest-vannstand i hullet under rørtopp

[0-nivå] = Målingspunkt på rørtopp (m.o.h.)

α = hullets fall

$$\text{Derfor } Q_A = Q_{\text{tot}} - \frac{\delta d * \pi r^2}{\delta t}$$

hvor r = hullets radius

δd = endring i vannstand i hullet i et tidsintervall δt

(δd er positivt for en senking i vannstand, og negativt for en stigning)

$$\text{og } Q_A = F_s * (H_o - h) = F_s * (d - D_o) \sin\alpha$$

Ved å plote Q_A mot d , får man derfor en linje med gradient $F_s \sin\alpha$, og kryssing med x-akse i $d=D_o$.

e) Ikke-likevektsforhold

Hvis antakelsen at borehullet er i likevekt med akviferen under kapasitetstesting ikke gjelder (dvs. at trykket i akviferen blir stadig mer påvirket med tid under pumping/gjenvinning), vil Q_A bli mindre enn $F_s \cdot (H_0 - h)$, fordi H (vanntrykk i akviferen) blir stadig mindre. Man vil få en kurve som ligner på fig.6 i hovedteksten der $Q_A/(H_0 - h)$ avtar med senking vannstand under pumping. Under gjenvinning ligger kurven til høyre for pumpingskurven. Denne effekten heter hysteresis (dvs. at ytelsen avhenger av pumpings historie, og ikke bare av den nåværende vannstanden i hullet).

Det er likevel mulig å vurdere den tilsynelatende transmissiviteten fra hullets spesifikke kapasitet, til tross for at likevektsforhold ikke er nådd (se Carlsson & Carlstedt, 1977, senere)

3. Moye (1967) & Banks (1972) metoden

Denne metoden er omtalt i bl.a. Moye (1967), Banks (1972), Hult et al (1978), Olkiewicz et al (1978) og Carlsson et al (1979). Metoden er egnet til trykktesting av korte, avpakkede seksjoner i borehull i fast fjell. Bergartens permeabilitet kan beregnes på grunnlag av målinger av vannmengdene som kan presses ut i bergarten gjennom en kort avpakket seksjon, samt målinger av det utpressede vannets trykk og trykknivået i akviferen. Målingene stabilisere seg vanligvis etter en ganske kort tid (Moye, 1967).

$$K = \frac{C \cdot Q}{L \cdot H_0} \quad \text{eller} \quad T = \frac{C \cdot Q}{H_0}$$

hvor L = lengde av den avpakkede seksjonen (m)
 H_0 = trykk i hullets seksjon - statisk trykk i den omkringliggende akviferen (m)
 Q = Vannstrømning inn i akviferen under trykkforskjellen H_0 (m³/d)
 C = sortløs konstant
 K = gjennomsnittlig hydraulisk konduktivitet i seksjonen (m/d)
 T = seksjonens transmissivitet (m²/d)

Iflg. Moye (1967) er konstanten $C = \frac{1 + \ln(L/d_0)}{2\pi}$

Hvor d_0 = den avpakkede seksjonens diameter

Metoden er derivert som følger (Moye, 1967):

h = trykk i akviferen på en avstand r fra hullets senter - statisk trykk i akviferen
 r_0 = hullets radius

Den hydrauliske gradienten i akviferen = $-\frac{dh}{dr}$

Vannstrømning per areal-enhet er derfor = $-K \cdot \frac{dh}{dr}$

Hvis L er stor sammenlignet med d_0 er vannstrømningen i nærheten av hullet nesten 2-dimensjonal (radial).

Vannstrømningen per m^2 gjennom en sylindrisk overflate med radius r , konsentrisk med hullet, er $Q/2\pi rL$

Derfor: $K \cdot \frac{dh}{dr} = -\frac{Q}{2\pi rL}$

Derfor $h - H_0 = -\int_{r_0}^r \frac{Q}{2\pi K r L} \cdot dr = -\frac{Q}{2\pi K L} \ln\left(\frac{r}{r_0}\right)$

hvor: H_0 = trykk i borehullet - statisk trykk i akviferen

På en avstand fra hullet som er stor sammenlignet med L , kan man anta at vannstrømningsforholdet slutter å være radially, og begynner å bli sferisk. Derfor er vannstrømningen per m^2 gjennom en sferisk overflate med radius r , konsentrisk med hullet, $Q/4\pi r^2$.

Derfor $\frac{dh}{dr} = -\frac{Q}{4\pi K r^2}$

Derfor, med integrasjon mellom r og ∞ :

$$h = \int_{\infty}^r -\frac{Q}{4\pi K r^2} \cdot dr = \frac{Q}{4\pi K r}$$

Hvis r = avstanden fra hullet der vannstrømningen endrer seg fra radial til sferisk, kan man si at:

$$H_0 - \frac{Q}{2\pi K L} \ln\left(\frac{r}{r_0}\right) = \frac{Q}{4\pi K r}$$

$$H_o = \frac{Q}{2\pi KL} \cdot \ln\left(\frac{r}{r_o}\right) + \frac{Q}{4\pi Kr}$$

Moye (1967) har nå antatt at $r = L/2$

$$\begin{aligned} H_o &= \frac{Q}{2\pi KL} \ln\left(\frac{L}{2r_o}\right) + \frac{Q}{2\pi KL} \\ &= \frac{Q}{2\pi KL} \left(1 + \ln\left(\frac{L}{2r_o}\right)\right) \end{aligned}$$

4. Lugeon testing

Lugeon-testing omfatter også vanntapsmålinger i avpakkede seksjoner. 1 Lugeon-enhet defineres som 1 liters vanntap per minutt per meter hull under et vanntrykk i hullet på 10 atm, som holdes vedlike i 10 minutter. Testen bør utføres i hull med diameter 46-74 mm, og i seksjoner ca. 2 m lange (Moye, 1967).

Ved å bruke disse verdiene i Moyes ligning:

$$\begin{aligned} \text{dvs. } H_o &= 10 \text{ atm} = 103.5 \text{ m} \\ Q &= 2 \text{ liter/min} = 2.88 \text{ m}^3/\text{d} \\ L &= 2 \text{ meter} \\ r_o &= 37 \text{ mm} = 0.037 \text{ m} \end{aligned}$$

$$K = 0.00951 \text{ m/d} = (11.4 \text{ ft/år}) = 1 \text{ Lugeon}$$

eller med $r_o = 0.023 \text{ m}$

$$K = 0.01057 \text{ m/d} = (12.7 \text{ ft/år}) = 1 \text{ Lugeon}$$

Derfor kan man si at 1 Lugeon = ca. 0.01 m/d hydraulisk konduktivitet

5. Jetel & Krasny (1968) metoden

Metoden er omtalt i Jetel & Krasny (1968) og representerer en måte å relatere spesifikk kapasitet til tilsynelatende transmissivitet i fast fjell. Metoden bygger på en klar forbindelse mellom tilsynelatende transmissivitet og en brønns spesifikke kapasitet. Forfatterene medgir likevel at denne forbindelsen er forstyrret av mange faktorer (f.eks. ikke-lineære forhold mellom ytelse og senkning, brønn-tap, hullets radius, delvis penetrerende brønn, ikke-likevektsforhold, hydrauliske grenser i akviferen osv.). Til tross for at transmissivitet ikke er fullt ut proporsjonal med spesifikk kapasitet, kan det likevel sies at det eksisterer en tilnærmet sammenheng. Derfor, ved å ta logaritmen av spesifikk kapasitet vil man få størrelsesorden av transmissiviteten uten å bry seg om små unnøyaktigheter. En parameter Z er definert:

$$Z = \log_{10}(10^9 [Q/s]/D)$$

hvor Q/s = hullets spesifikke kapasitet (Q = likevektsytelsen og s er den samsvarende vannstandssenkningen) - m^2/s

og D = akviferens mektighet (m)

eller, hvis akviferens mektighet ikke er kjent:

$$Z = \log_{10}(10^9 [Q/s]/L)$$

Hvor L = hullets åpne lengde (m)

Z benevnes brønnlengdens konduktivitets-størrelsesorden ("permeability magnitude")

Ellers kan man bruke tallet Y = brønnseksjonens transmissivitets-størrelsesorden

$$Y = \log_{10}(10^9 [Q/s])$$

Antar man et "pseudo-likevekts"-forhold, og anvender Theims ligning (Krusemann & De-Ridder):

$$[Q/s] = \frac{2\pi T}{\ln(R/r)}$$

$$= \frac{2\pi T}{2,303 \log_{10}(R/r)}$$

$$Y = 9 + \log_{10}(2\pi T) - \log_{10}(2,303 \log_{10}(R/r))$$

$$= 9 + 0,798 - 0,362 + \log_{10} T - \log_{10}(\log_{10}(R/r))$$

$$= C + \log_{10} T - \log_{10}(\log_{10}(R/r))$$

Hvor r = hullets radius

R = senkningskonens radius

C = konstant som avhenger av enhetene i bruk

hvis T har enhet m^2/s , Q har m^3/s og s, r & R har m , vil $C = 9,436$.

Denne metoden for å vurdere transmissivitetens størrelsesorden er i bruk i Sverige (Carlsson & Carlstedt, 1977). T eller K kan kalkuleres ved å si:

$$T = 10^{y-c} \cdot \log_{10}(R/r)$$

$$K = 10^{z-c} \cdot \log_{10}(R/r)$$

6. Logan Approksimasjonen

Denne (Jetil & Krasny) metoden er faktisk en form for Logan approksimasjonen (Krusemann & DeRidder). Logan antar at $R/r = 10^{3,33}$.

Dette gir:

$$[Q/s] = \frac{2\pi T}{\ln(R/r)}$$

$$= \frac{2\pi T}{2,303 \log_{10}(R/r)}$$

$$= T/1.22 = 0.82 T$$

7. Carlsson & Carlstedt (1977) metoden for ikke-likevektsforhold

Hvis det ikke eksisterer en likevekt eller "pseudo-likevekts-" forhold, pumpetiden er lang, og r er liten (dvs $u = r^2.S/4tT < 0,02$) mener Carlsson & Carlstedt (1977) at Jacob-metoden kan anvendes:

$$s = BQ + CQ^2$$

hvor $B =$ "akvifer-tap" og $C =$ "brønn-tap"

Iflg Theis-metoden:
$$BQ = \frac{W(u).Q}{4\pi T}$$

og med Jacob antakelsen:

$$BQ = \frac{2,303.Q}{4\pi T} \log_{10} \left(\frac{2,25T.t}{r^2.S} \right)$$

$$[Q/s] = \frac{1}{B + CQ} = \frac{1}{\frac{0,183 \cdot \log_{10}(2,25Tt/r^2S)}{T} + CQ}$$

Hvis "brønn-tap" er neglisjerbart kan man skrive

$$[Q/s] = \frac{T}{0,183 \cdot \log_{10}(2,25Tt/r^2S)}$$

Et borhulls spesifikk kapasitet er derfor nesten proporsjonal med dens tilsynelatende transmissivitet, og kan skrives:

$$[Q/s] = \alpha.K.L = \alpha.T$$

$$T = 10^{y-9}/\alpha = [Q/s]/\alpha$$

$$K = 10^{z-9}/\alpha = \frac{[Q/s]}{L.\alpha}$$

$$\text{og } \alpha = \frac{1}{0,183 \cdot \log_{10}(2,25Tt/r^2S)}$$

α kan finnes fra en nomogram (Carlsson & Carlstedt, 1977).

Hull med finitt "brønn-tap"

"Brønn-tap" C ser ut til å avhenge av hullets radius (r) og transmissivitet (T), og Carlsson & Carlstedt (1977) mener at det kan vurderes ved:

$$C \cdot r \cdot T^{1,25} = 1$$

Derfor:

$$\begin{aligned} \frac{1}{[Q/s]} &= \frac{0,183 \cdot \log_{10}(2,25Tt/r^2S)}{T} + CQ \\ &= \frac{1}{\alpha \cdot T} + \frac{Q}{r \cdot T^{1,25}} \end{aligned}$$

Carlsson & Carlstedt mener at "brønntapet" CQ^2 sjelden overstiger 25% av den totale senkningen s.

8. Sammenligning av metodene

Alle vanlige metoder for å finne transmissivitet (T) i fast fjell benytter en ligning som har den følgende form:

$$Q_A = F \cdot s$$

hvor Q_A = vannstrømning inn i eller ut fra akviferen til hullet (m^3/d)

s = trykkforskjell mellom borehull og akvifer, dvs. senkning (m)

F = spesifikk kapasiteten til sprekken/ seksjon av hull/ hull (m^2/d)

Hvor F er proporsjonal med T

Man kan finne, ved gjenvinningstesting beskrevet i denne rapporten, $F_{s1,s2,s3}$ etc for diverse sprekke(son)e(r) i hull, og dermed de individuelle sprekkenes transmissiviteter $T_{s1,s2,s3}$ etc.

Hvor F_{sn} er proporsjonal med T_{sn}

$$F_{\text{hull}} = F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + \dots$$

$$T_{\text{hull}} = T_{s1} + T_{s2} + T_{s3} + \dots$$

Diverse forbindelser mellom F og T har blitt omtalt, og man kan oppsummere som følger:

Moye (utarbeidet for packer-testing av korte borehull-seksjoner av lengde L og diameter d_0)

$$F = \frac{2\pi T}{1 + \ln(L/d_0)}$$

med **Lugeon** testing er $L = 2\text{m}$ og $d_0 = 0,06\text{ m}$, derfor er:

$$F = 1,39 T$$

For $L = 10, 100$ og $1000 \times d_0$, blir F henholdsvis 1.90, 1.12 og 0.79 T . Metoden er derfor ikke så veldig følsom når det gjelder seksjonens lengde og diameter.

Jetel og Krasny's metode er en form for **Logan**-approksimasjonen, hvor:

$$F = \frac{2\pi T}{\ln(R/r)}$$

Hvor R = senkningskonens radius og r = hullets radius.

Logan mener at $R/r = 10^{3.33}$, og at:

$$F = 0.82 T$$

Krasny (1975) benytter $R/r = 10^3$, derfor:

$$F = 0.91 T$$

Disse metodene antar at det eksisterer en slags pseudo-likevekt mellom akvifer og hull, dvs. at Q_A er ganske konstant mht. tid for en spesifikk senkning.

Carlsson & Carlstedt har utarbeidet en metode som ikke antar pseudo-likevektsforhold:

$$F = \alpha \cdot T$$

hvor α avhenger av tid, og forholdet T/S . For tider mellom 1 time og 1 uke, T/S mellom 10^4 og 10^2 m²/s, og brønn-diameterer mellom 110 og 250 mm, ligger α mellom ca. 0.5 og 2.4.

De mener at for vanlige svenske brønnhull med 110 mm diameter, med pumpetid under 1 dag, vil α -verdien ligge mellom 0.9 og 1.1. De benytter likevel $\alpha = \text{ca. } 0.84$ for å vurdere transmissiviteten i 4 svenske fjell-områder (Carlsson & Carlstedt, 1977).

Man kan oppsummere ved å si at :

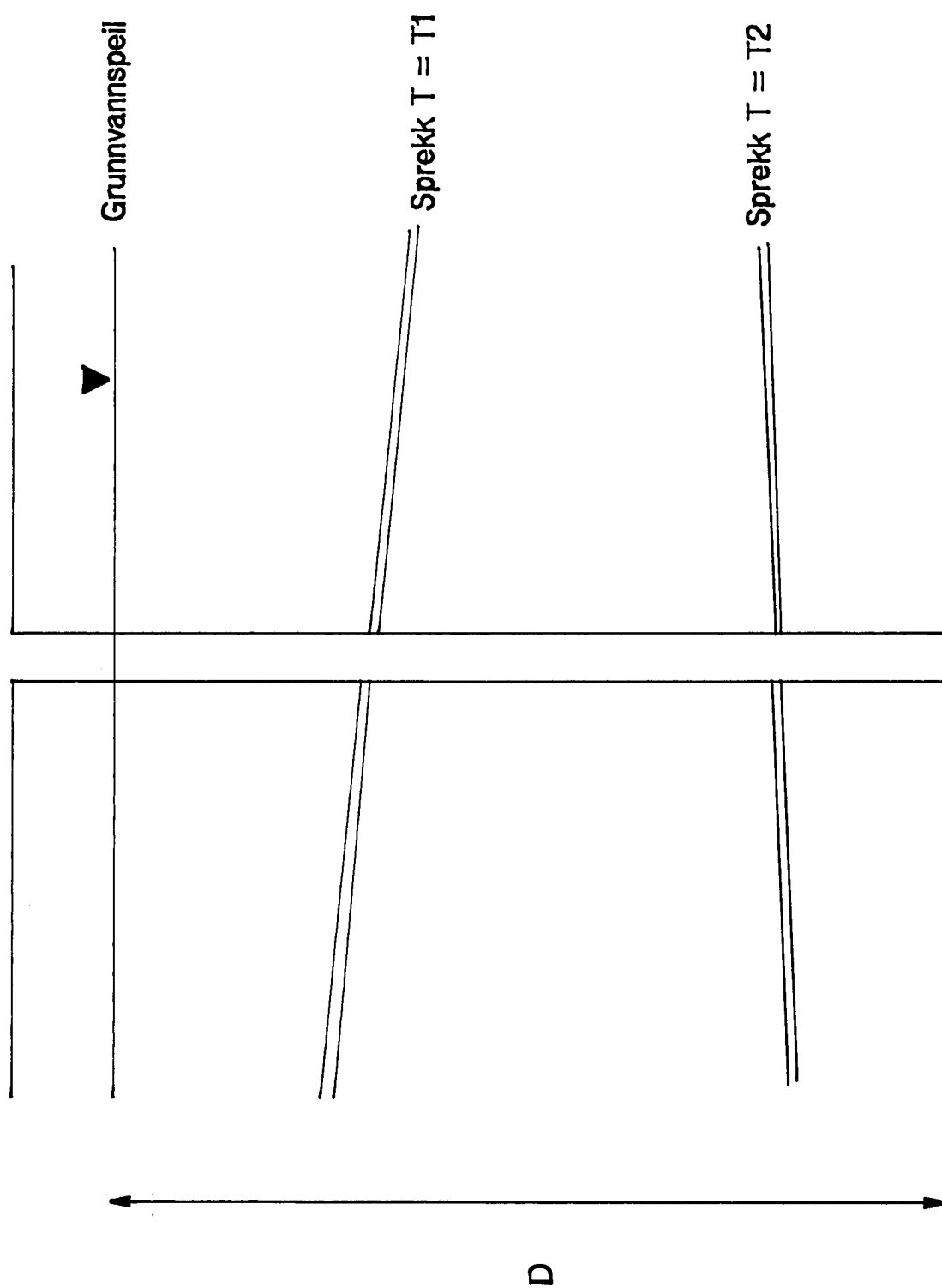
- 1) for Lugeon testing av korte hull-seksjoner, $F = \text{ca. } 1.4 T$
- 2) for kapasitetstesting av vanlige brønner, $F = \text{ca. } 0.9 T$

men, benytter man $F = T$, vil man ikke gjøre en stor feil, fordi alle metodene er ganske grove. De tar ikke hensyn til ikke-linære faktorer, "brønn-tap", delvis penetrerende borehull, hydrauliske grenser; og de benytter antakelser om f.eks. senkningskonens radius, overgang fra sferisk til radial strømning, eller forholdet T/S .

Figurene

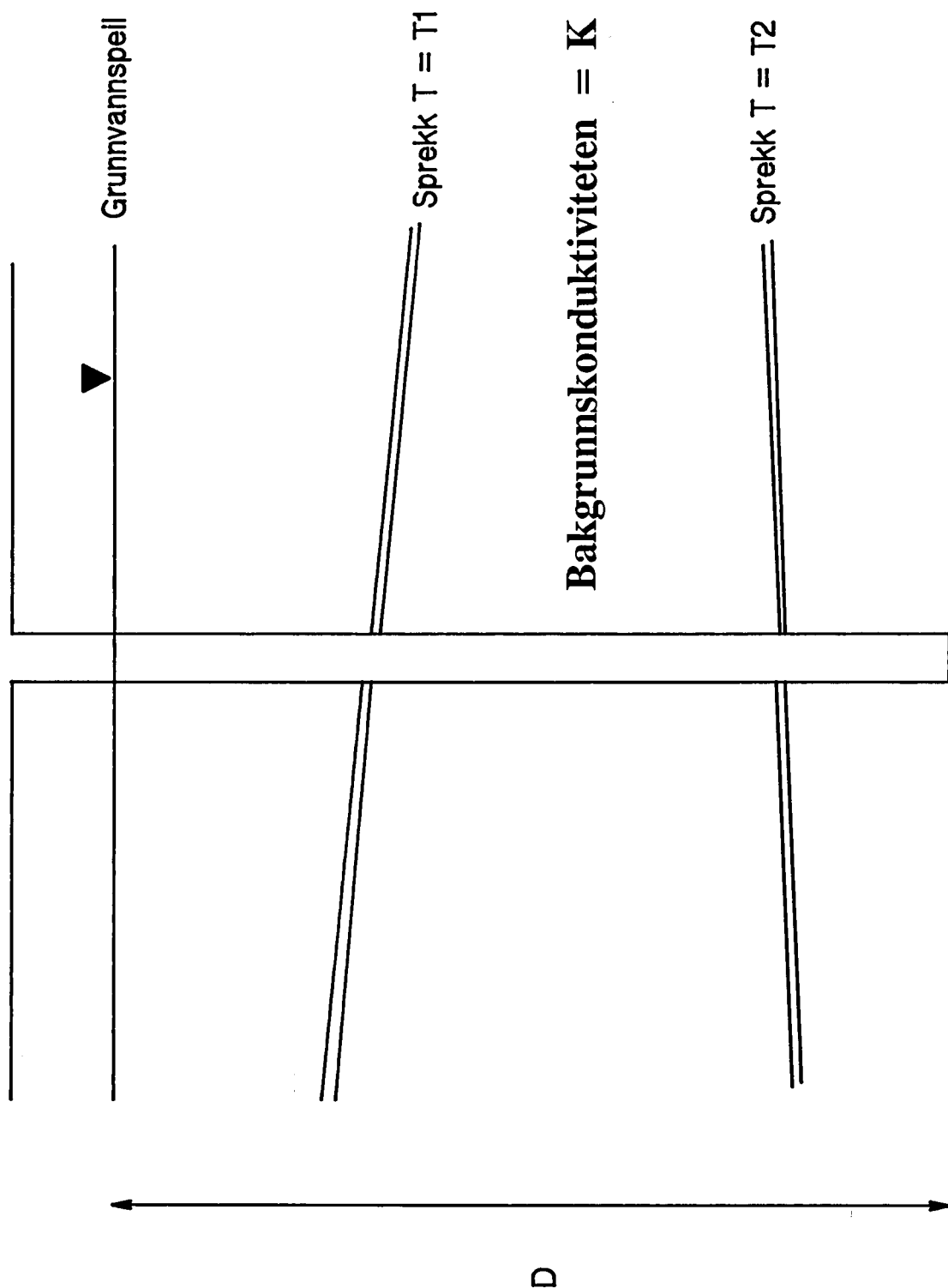
- 1a) Transmissivitet & hydraulisk konduktivitet hvor bakgrunnspermeabiliteten er neglisjerbar
- 1b) Transmissivitet & hydraulisk konduktivitet hvor bakgrunnspermeabiliteten ikke er neglisjerbar
- 2) Kapasitetstesting. Vertikalt hull, én sprekk
- 3) Kapasitetstesting. Vertikalt hull. To sprekker med samme H_0 .
- 4) Kapasitetstesting. Vertikalt hull. To sprekker med ulike H_0 .
- 5) Kapasitetstesting. Skrådd hull. To sprekker med samme H_0 .

**Appendiks: Fig 1a. Transmissivitet & hydraulisk konduktivitet
hvor bakgrunnskonduktiviteten er neglisjerbar.**

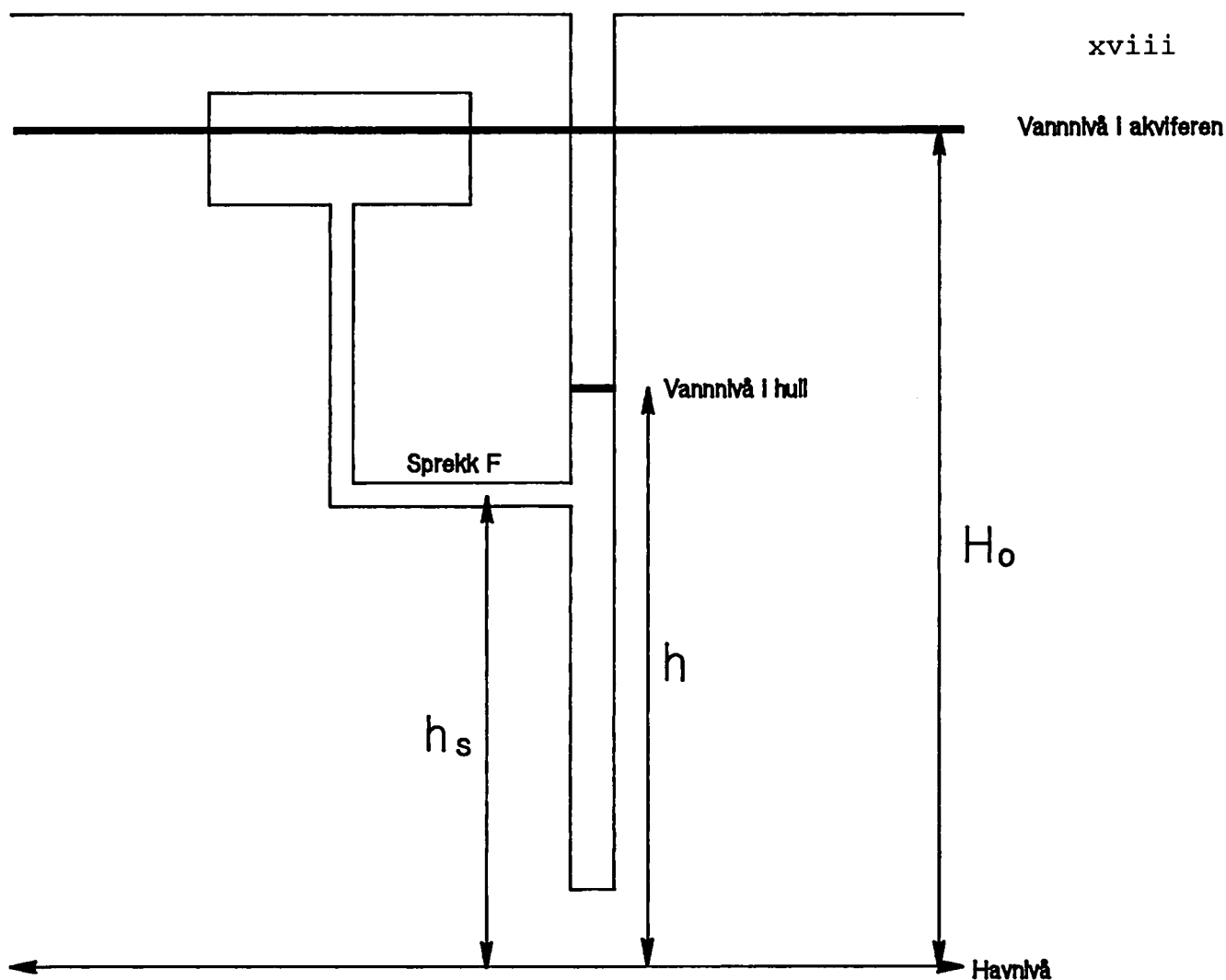


Tilsynelatende transmissivitet av borehullet = $T1 + T2$
Tilsynelatende hydraulisk konduktivitet = $(T1 + T2)/D$

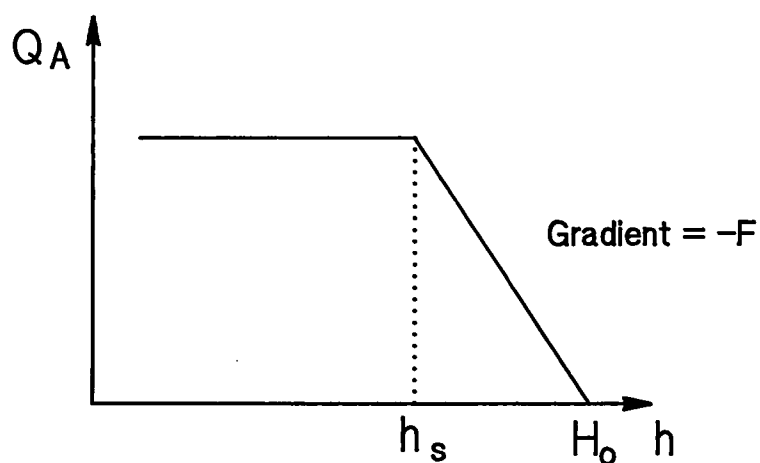
**Appendiks Fig 1b. Transmissivitet & hydraulisk konduktivitet
hvor bakgrunnskonduktiviteten ikke er neglisjerbar.**



Tilsynelatende transmissivitet av borehullet = $T1 + T2 + KD$
Tilsynelatende hydraulisk konduktivitet = $(T1 + T2 + KD)/D$

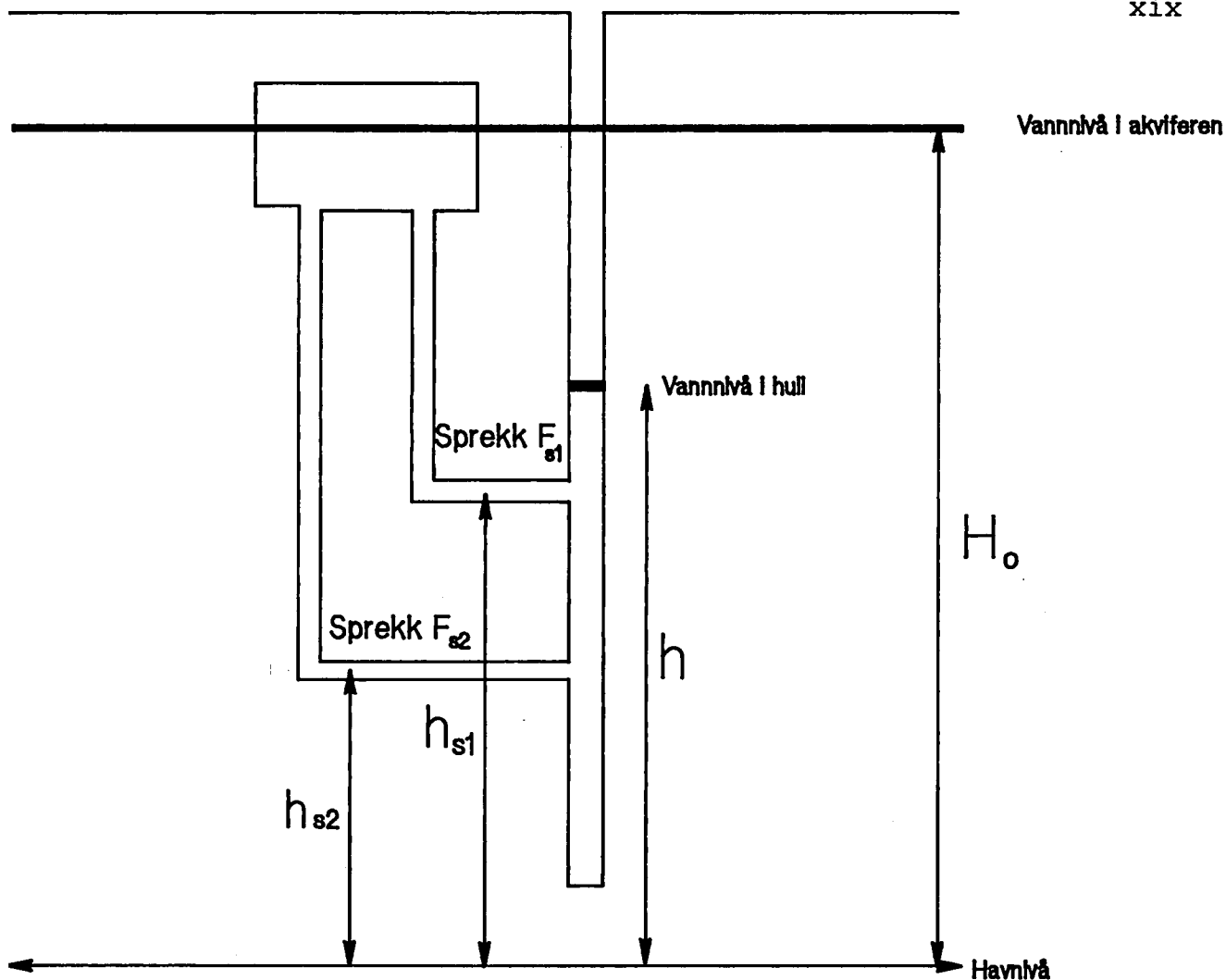


For $h > h_s$ $Q_A = F * (H_o - h)$
 For $h < h_s$ $Q_A = F * (H_o - h_s)$



Appendiks: Fig.2

Kapasitetstesting. Vertikalt hull, én sprekk

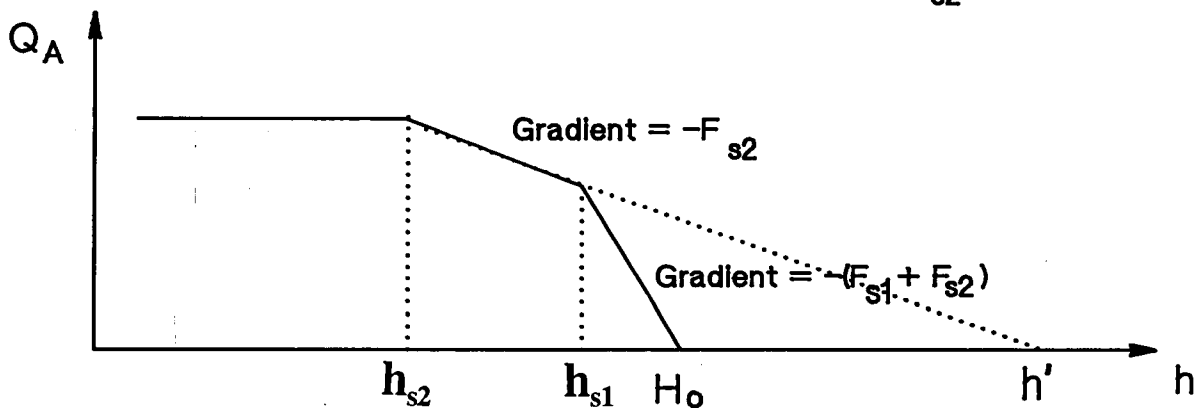


For $h > h_{s1}$ $Q_A = (F_{s1} + F_{s2}) * (H_0 - h)$

For $h < h_{s1}$ $Q_A = F_{s1} * (H_0 - h_{s1}) + F_{s2} * (H_0 - h)$

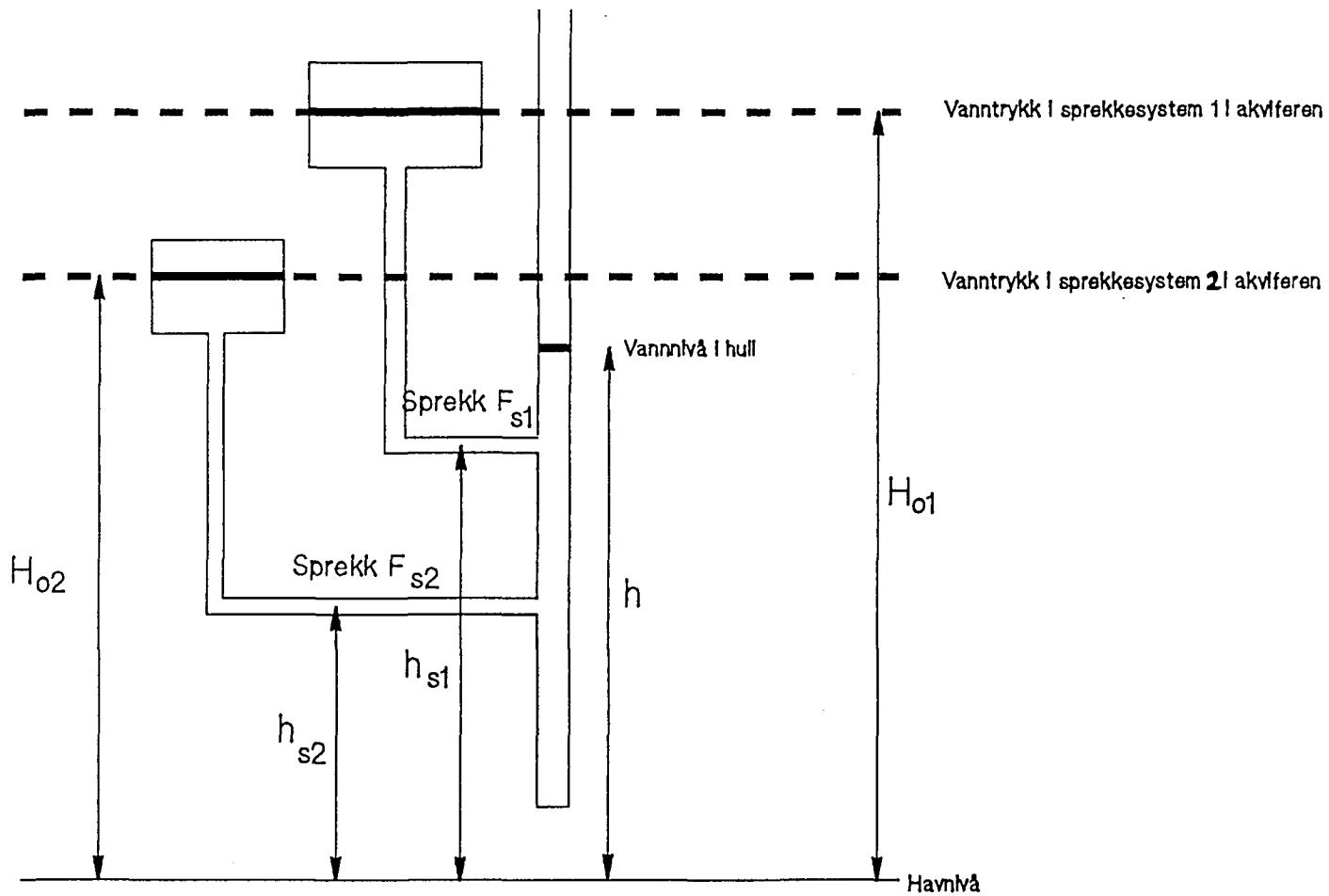
For $h < h_{s2}$ $Q_A = F_{s1} * (H_0 - h_{s1}) + F_{s2} * (H_0 - h_{s2})$

$$h' = \frac{H_0 (F_{s1} + F_{s2}) - F_{s1} h_{s1}}{F_{s2}}$$



Appendiks: Fig.3

Kapasitetstesting. Vertikalt hull. To sprekker med samme H_0 .



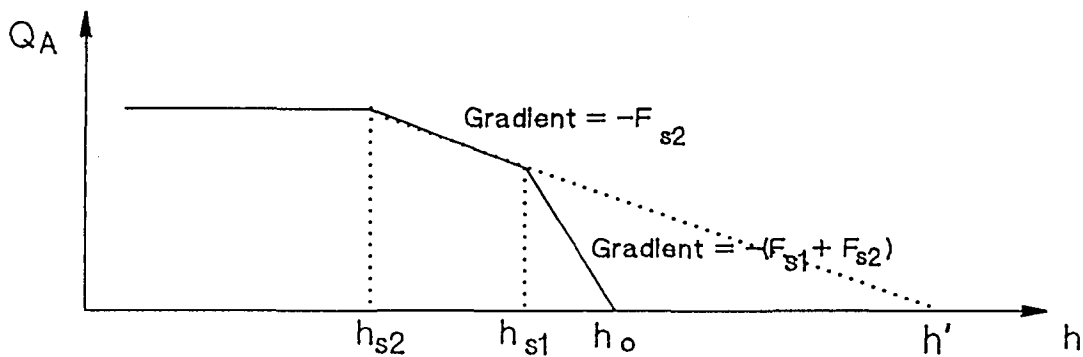
$$\text{For } h > h_{s1} \quad Q_A = h_o(F_{s1} + F_{s2}) - h(F_{s1} + F_{s2})$$

$$\text{For } h < h_{s1} \quad Q_A = h_o(F_{s1} + F_{s2}) - F_{s1} h_{s1} - F_{s2} h$$

$$\text{For } h < h_{s2} \quad Q_A = h_o(F_{s1} + F_{s2}) - F_{s1} h_{s1} - F_{s2} h_{s2}$$

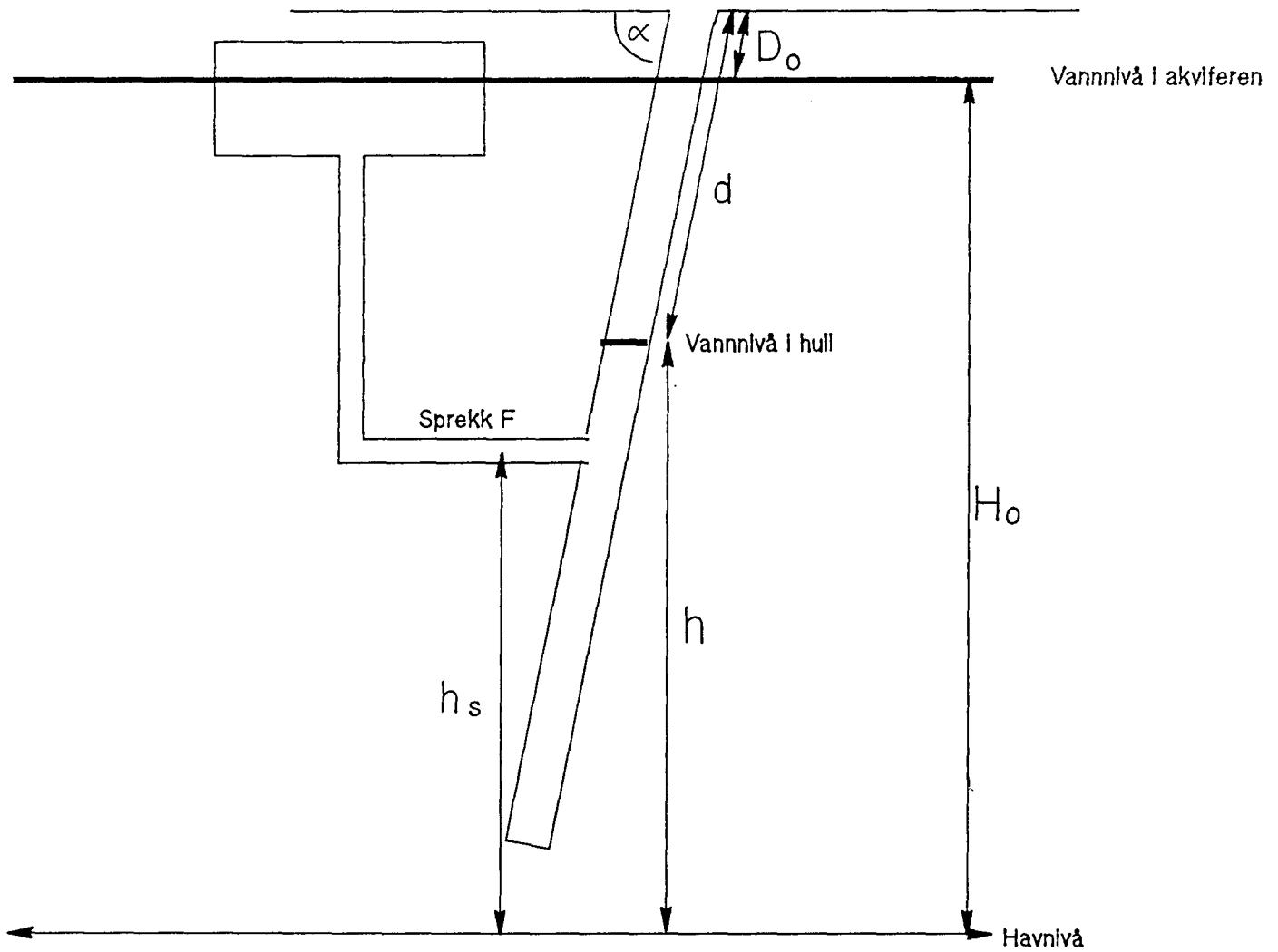
$$\text{Hvor } h_o = \frac{F_{s1} H_{o1} + F_{s2} H_{o2}}{F_{s1} + F_{s2}}$$

$$h' = \frac{h_o(F_{s1} + F_{s2}) - F_{s1} h_{s1}}{F_{s2}}$$



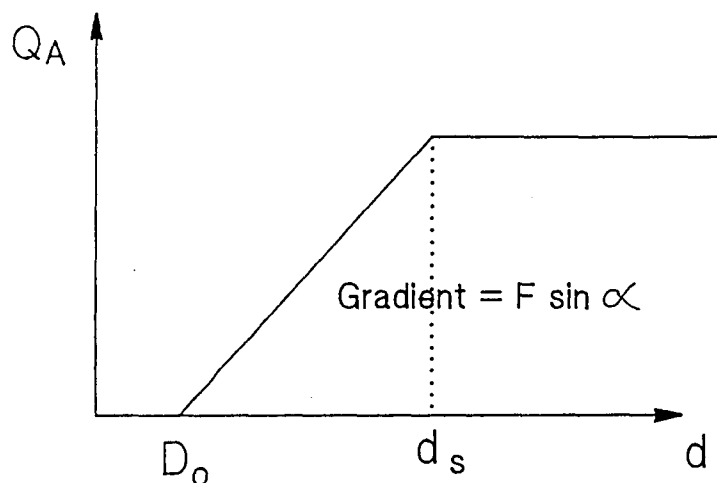
Appendiks: Fig.4

Kapasitetstesting. Vertikalt hull. To sprekker med ulike H_o .



$$\text{For } h > h_s \quad Q_A = F * (H_o - h) = F * (d - D_o) \sin \alpha$$

$$\text{For } h < h_s \quad Q_A = F * (H_o - h_s) = F * (d_s - D_o) \sin \alpha$$



Appendiks: Fig.5 Kapasitetstesting. Skrått hull. To sprekker med samme H_o .