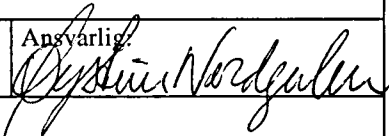


NGU Rapport 99.017

**Bruddsone geometri og grunnvannsstrøm;
resultater fra bruddstudier og testboringer i
Sunnfjord**

Rapport nr.: 99.017		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Bruddsone geometri og grunnvannsstrøm; resultater fra bruddstudier og testboringer i Sunnfjord				
Forfatter: Alvar Braathen, Silje Berg, Gaute Storrø, Øystein Jæger, Helge Henriksen, Roy Gabrielsen		Oppdragsgiver: NGU		
Fylke: Sogn og Fjordane		Kommune: Askvoll, Naustdal, Fjaler, Høyanger		
Kartblad (M=1:250.000) Måløy		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)		
Forekomstens navn og koordinater: Folvåg, Naustdal, Vadheim V, Vadheim Ø, Tyssegjelet, Holmedal		Sidetall: 68	Pris: 230,-	
Feltarbeid utført: 1997-1998		Rapportdato: 1999-03-01	Prosjektnr.: 2685.00	Ansvarlig: 
Sammendrag: Rapporten beskriver resultater fra arbeider som er utført for å testen en hypotese; <i>grunnvannspotensialet er størst i marginaldelen av bruddsone-lineamenter.</i> For å belyse problemstillingen er det fremskaffet følgende bakgrunnsmateriale: (1) Et stort datasett på bruddsystemer, (2) resultater fra fem brønnboringer inn mot lineamenter, (3) analyser av vannkjemi, og (4) en statistisk analyse av brønn databasen. Det er totalt i regi av prosjektet boret 14 brønner i Sunnfjord, hvorav 9 i brønnfeltet ved Holmedal, og 5 inn mot lineamenter. Sammenlignes vannføringene i brønnene, synes det klart at det gjennomgående er mer vann i de fem lineamentsnære brønnene, noe som antyder økt grunnvannspotensiale nær lineamentene. Et tilsvarende bilde er ikke etablert gjennom den statistiske analysen. Til tross for den store usikkerheten som hefter ved materialet i brønn databasen, viser analysen at (i) det er liten forskjell mellom vannføringen i brønner når topografisk plassering og bergartskategorier sammenlignes, (ii) brønner på åsrygger og nes har signifikant lavere kapasitet enn øvrige brønner, (iii) det ikke er signifikant forskjell på brønner i de ulike delene rundt lineamenter, og (iv) det er en høyere suksessrate for meget gode brønner (>3000 l/t) i marginaldelen. Bruddstudiene viser flere klare tendenser, som kan ha betydning for grunnvannspotensialet. Bl.a. (a) øker bruddfrekvensen inn mot lineamenter, (b) bruddåpning og konnektivitet er høyere for lineamentsnære brudd, (c) bruddlengden er størst utenfor lineamentenes sentral- og distaldel, og (d) bruddåpning og konnektivitet øker muligens med bruddlengde. Borloggene gir også klare indikasjoner på fordelingen av bruddsoner. Antall gjennomborete bruddsoner øker inn mot sentraldelen av lineamenter, det samme gjør antall vanninnslag i brønnene. De gjennomborete lineamentene har en smal sentraldel (0-2 meter) og en marginaldel som ikke overstiger 20 meter i bredde. Det synes derfor klart at nesten alle vanninnslag forekommer i marginaldelen til lineamentene, og muligens i sentraldelen. Konklusjonen fra boringene er derfor at lineamentenes marginaldel har det største grunnvannspotensialet.				
Emneord: Hydrogeologi		Grunnvann		Berggrunn
Prøvepumping		Grunnvannsstrøm		Fagrapport

INNHOOLD

1.	INNLEDNING	4
1.1	Bakgrunn	4
1.2	Utforming og lokalisering av brønnene	5
2.	REGIONAL GEOLOGI OG HYDROGEOLOGI	11
2.1	Lineament arkitektur og hydrogeologisk modell	11
2.2	Bergartstyper i undersøkelsesområdene	13
2.3	Brønndatabasen	14
3.	BRUDDSTUDIER OG BORELOGGER	15
3.1	Metode for bruddstudier	15
3.2	Borelogging	18
3.3	Bruddfrekvens	19
3.4	Bruddlengde, åpning og konnektivitet	23
3.5	Bruddorienteringer og lineamentutvikling	29
3.6	Borelogger	31
3.6.1	Berggrunnstolkning	36
3.6.2	Borelogg vs bruddfrekvens	41
4.	RESULTATER FRA PRØVEPUMPING	43
4.1	Folvåg	43
4.2	Naustdal	47
4.3	Vadheim vest	47
4.4	Vadheim øst	47
4.5	Tyssegjelet	53
4.6	Diskusjon og sammenligning av pumperesultater	53
4.7	Analyse av vannprøver	54
5.	STATISTISK ANALYSE AV BRØNNDATABASEN	56
5.1	Brønndatabasen	56
5.2	Borebrønner ved Hesjedalen deponi	61
6.	DISKUSJON AV RESULTATER	63
6.1	Prøvepumping og vannføring	63
6.2	Sammenlignende analyser	63
7.	REFERANSER	65

Databilag 1

1. INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Norges geologiske undersøkelse har de senere år økt sin forskningsinnsats innen temaet grunnvann i fjell. Med bakgrunn i denne satsingen ble forskningsprosjektet "Bruddsoner og grunnvann i Sunnfjord" påbegynt i 1996. Følgende hovedmål for prosjektet ble definert: *Å fremskaffe en regional forståelse av deformasjonen langs større post-devonske lineamenter/bruddsoner i krystalline bergarter, og disse lineamentenes betydning for vanngiverevnen i borebrønner.* For å nå hovedmålet ble flere delmål definert, herunder å (1) vurdere oppsprekningen av berggrunnen langs større lineamenter, (2) vurdere (relativ) alder til -, bevegelsen langs - og skorpedypet for dannelsen av lineamentene, (3) belyse den regional-tektonisk betydningen av disse lineamentene og deres mekanisk forklaring, (4) vurdere muligheten for neotektonisk reaktivering av lineamentene og betydningen av in-situ spenninger, og (5) vurdere den optimale plasseringen av borebrønner for uttak av grunnvann langs lineamentene.

Prosjektarbeidet har resultert i (i) bergspenningsstudier (Hansen 1996; Midtbø 1996a) og betraktninger rundet betydningen av in-situ spenninger for vannstrøm på brudd/sprekker i berggrunnen (Midtbø 1996b), (ii) en modell for lineament-arkitektur basert på et større datasett om oppsprekking av berggrunnen rundt større lineamenter (oppsummert i Braathen & Gabrielsen 1998; se også Berg et al. 1997; Gabrielsen et al. 1997; Berg et al. 1999a,b), og (iii) en vurdering av lineamentenes geologiske historie og betydning (Braathen & Henriksen 1997; Braathen 1997, 1998, 1999).

Den krystalline og metamorfe berggrunnen i Norge er uten primær permeabilitet og porøsitet. All oppbevaring og transport av nyttbart grunnvann forekommer derfor på sprekker i fjellet. Med bakgrunn i studier av lineament-tilknyttede bruddsystemer har to hydrogeologiske modeller blitt definert (Braathen et al. 1997, 1999a,b):

- (I) I lineamentenes ytre del og i områder med generell oppsprekning (større avstand fra lineamentet) vil vannstrøm hovedsakelig foregå langs sprekker som er parallelle med den største bergspenningen.
- (II) Det største potensialet for uttak av grunnvann vil være i lineamentenes marginaldel hvor det er høy bruddfrekvens og mindre leirmineral-innfylling/omvandling.

Disse modellene blir nå testet. I NGU rapportene 98.085 og 99.016 (Braathen et al. 1998; Gaut et al. 1999) presenteres resultater fra de første konkrete hydrogeologiske forsøket i prosjektet, som vurderer betydningen av sprekeorienteringer og in-situ bergspenning i et avgrenset felt bestående av ni borebrønner (modell I). Brønnefelt er lokalisert til Holmedal, nær Askvoll i Sunnfjord, i Sogn og Fjordane fylke.

I denne rapporten vurderes modell II, altså grunnvannspotensialets variasjon ut fra fordelingen av bruddsystemer langs lineamenter. Omfattende lineament studier i Sunnfjord (Braathen & Gabrielsen 1998) har dannet fundamentet for 5 skråboringer gjennom lineamenter. Resultatene støtter modellen, i og med at fordelingen av bruddsystemer ser ut til å ha betydning for lokaliseringen av vanninnslag i brønnene.

1.2 Utforming og lokalisering av brønnene

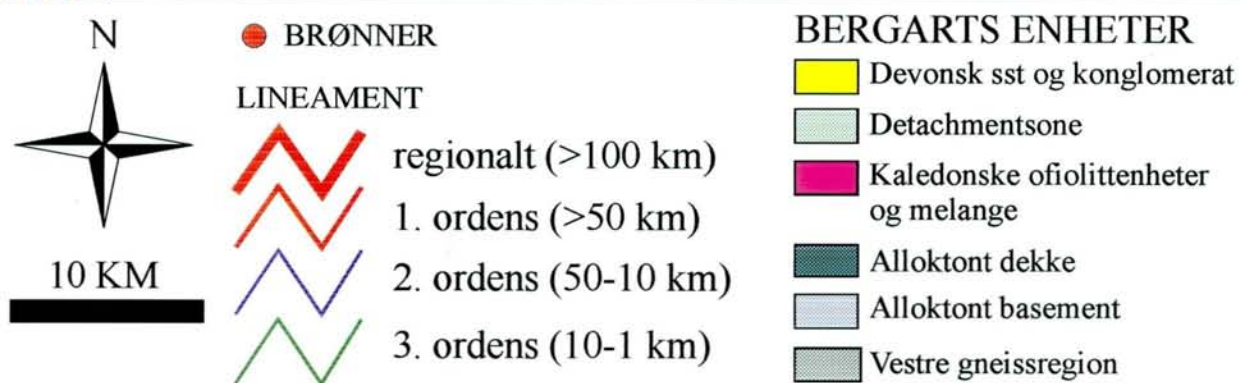
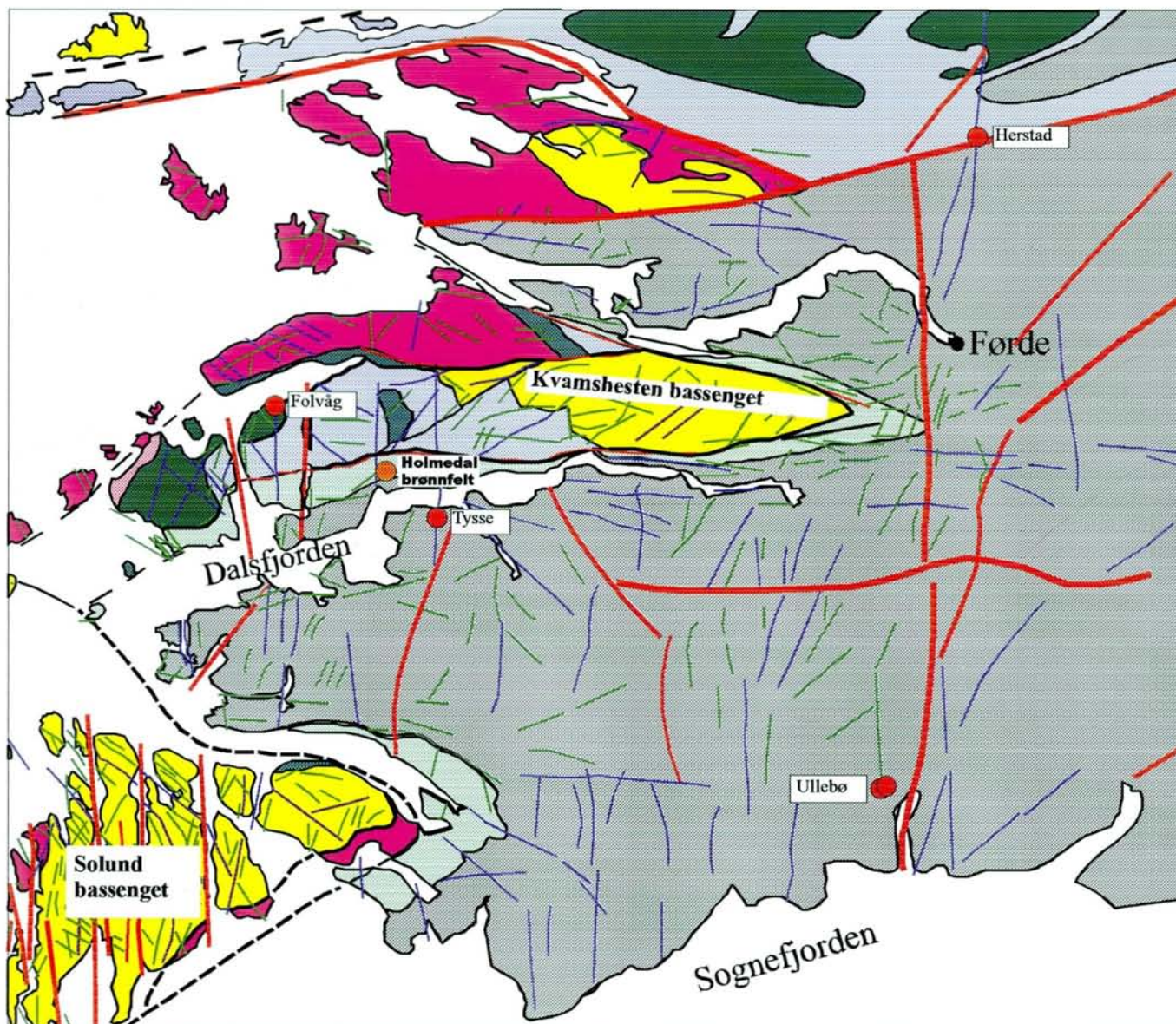
Brønnene er lokalisert i tilknytning til 4 nord-sør orienterte lineamenter (Fig. 1.1). Brønnene har en 60° stupning og skrår inn i lineamentenes sentrale og marginale deler (se avsnitt 2.1). Alle brønnene er boret i 100 meters lengde (Fig. 1.2.a). I et horisontalt snitt er en sone på 50 meter gjennomboret, mens det vertikale brønndypet er beregnet til 86,6 meter (Fig. 1.2.b). Brønnene ble boret av Hallingdal Bergboring i mai 1998. Det ble satt ned foringsrør som står 30 cm over bakken og som går 1-3 meter ned i berggrunnen.

Borelokalitetene er utvalgt på grunnlag av beliggenhet langs nord-sør lineamenter, god tilgjengelighet for bore- og pumpeutstyr, og nytteverdi for andre formål.

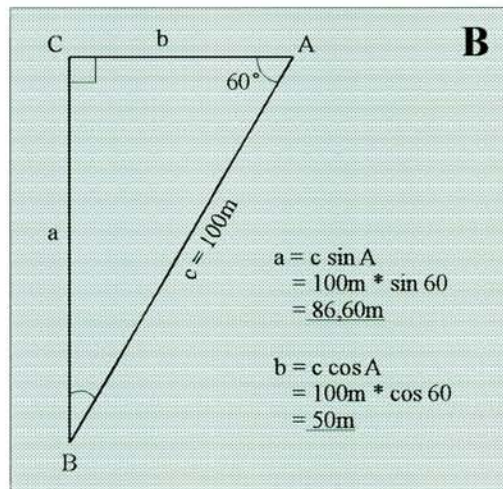
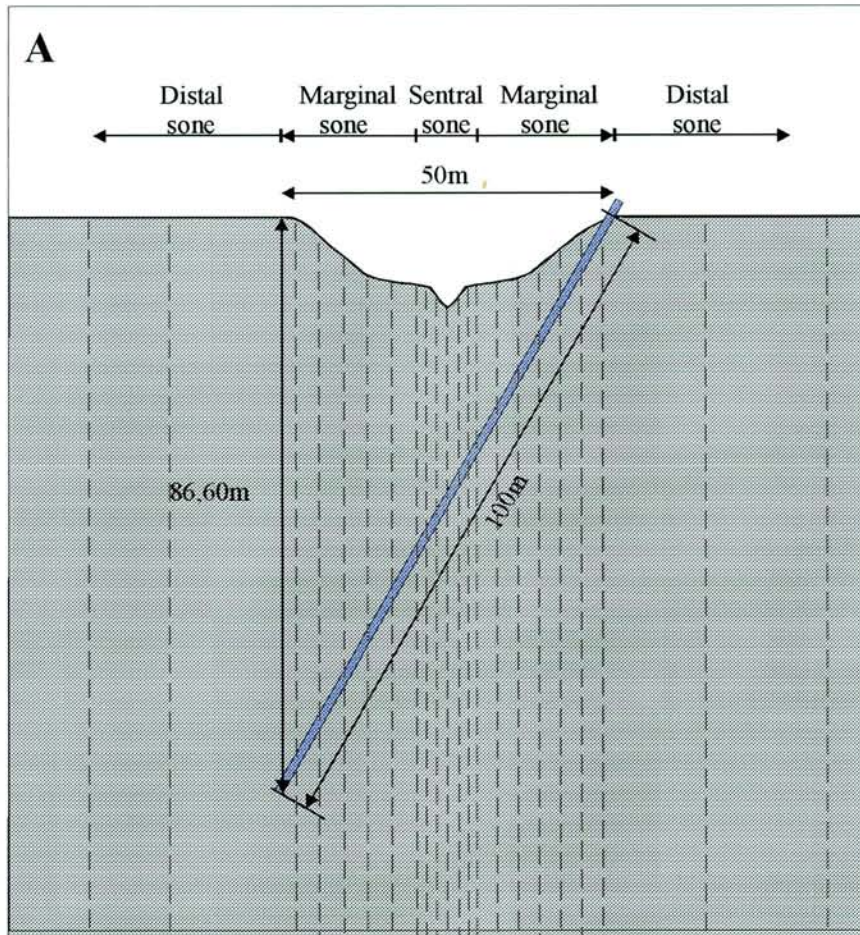
Brønnene er fordelt på 4 ulike områder (Fig. 1.1):

Brønn 1 er plassert i Folvåg ved Stongfjorden, som er ei jordbruksrend 6 km nord for Askvoll. Brønnen er boret gjennom et >10 km langt 2.ordens lineament som stryker nord-sør, fra Dalsfjorden i sør, til Stongfjorden i nord. Ved borestedet følger lineamentet en bratt trauformet dal ned en fjellside, som slakner ut ned mot sjøen i nord (Fig. 1.3.a). En bekk følger den nordlige delen av lineament-traseen ned mot sjøen. Brønnen er plassert i et hageareal hvor skråningen flater ut, lokaliteten er lett tilgjengelig ved at den ligger nær krysset mellom en bil- og traktorvei. Brønnen skrår inn i lineamentet fra øst. Toppen av brønnen ligger 25 meter over havnivå.

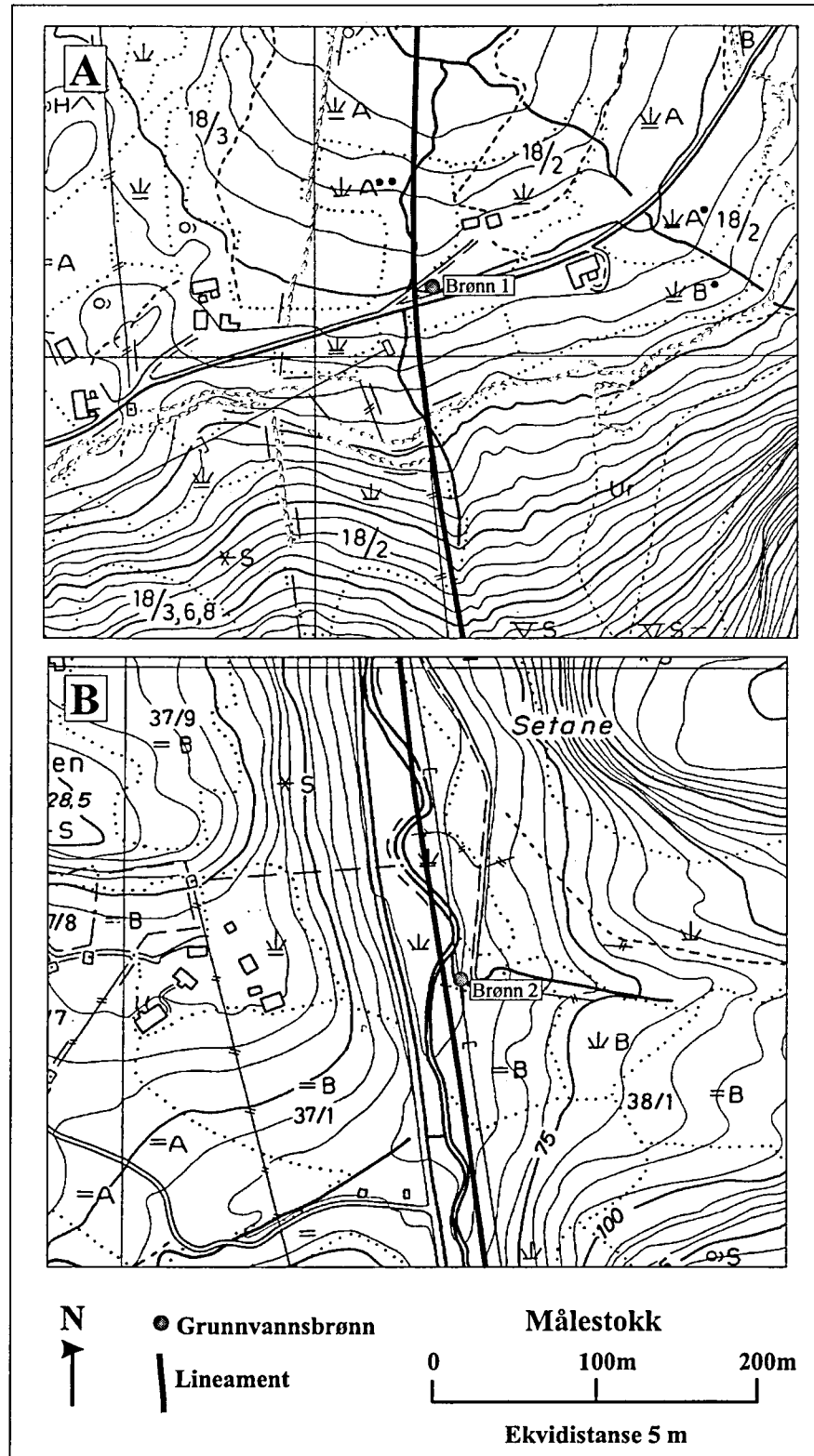
Brønn 2 er også boret i et 2.ordens lineament. Lineamentet er nesten 13 km langt, stryker N-S (353°) og går fra Rivedal i nord, over Dalsfjorden til Tyssegjelet i sør. Brønnen er plassert i et utmarksområde nær Tysse, hvor topografien skrår ned mot en liten elv (Fig. 1.3.b). Denne elva følger N-S lineamentet ned mot Dalsfjorden i nord. Brønnen skrår inn i lineamentet fra øst mot vest. Et annet, østvest-orientert lineament er antatt å ligge ca 100 meter sør for brønnen. Brønnen er tilgjengelig for bore- og pumpeutstyr langs en traktorvei. Toppen av brønnen ligger ca 55 meter over havnivå.



Figur 1.1 Forenklet berggrunnskart over Sunnfjordregionen. Borelokalitetene er avmerket ved de aktuelle lineamentene.



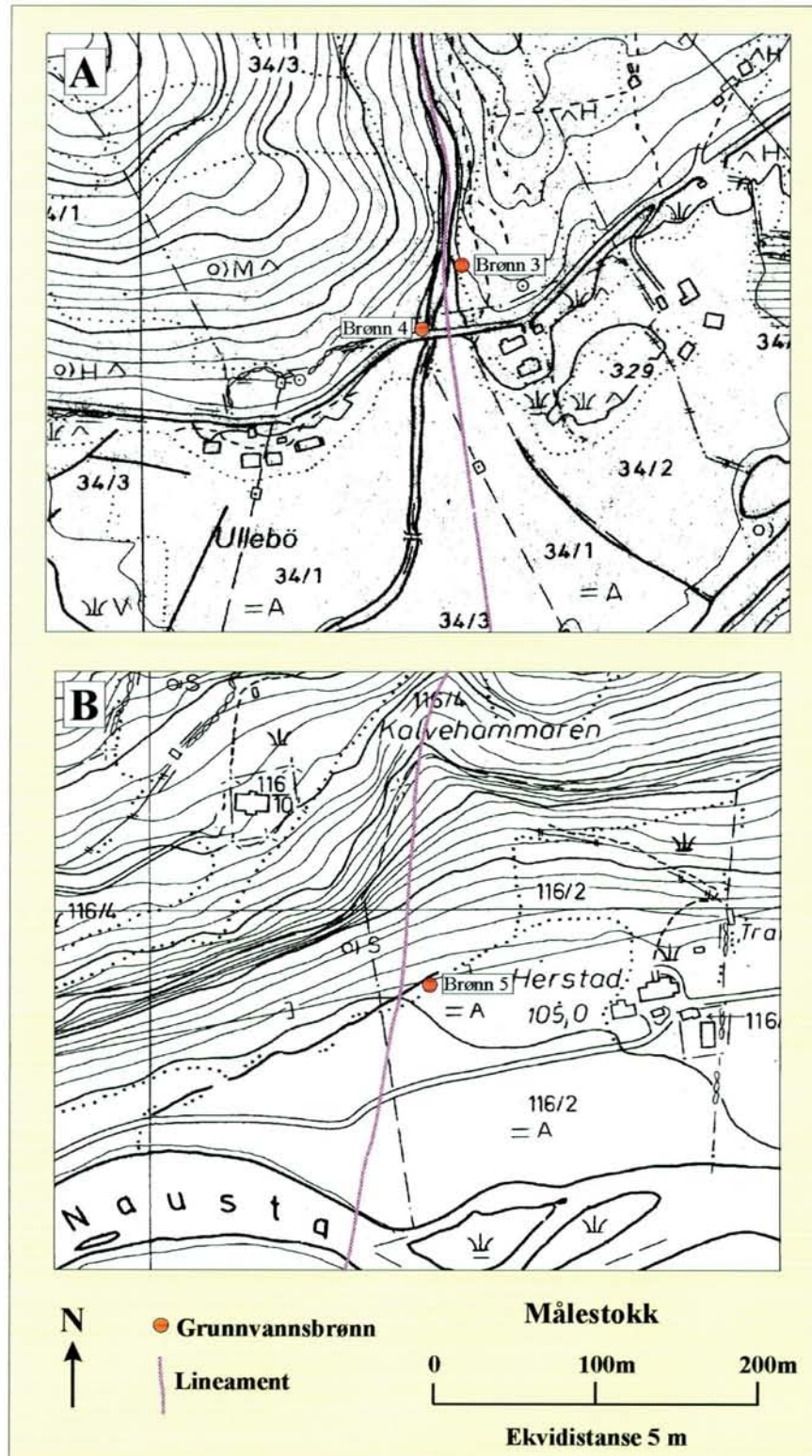
Figur 1.2 (A) Utforming av grunnvannsbrønnene. De 5 brønnene er boret på skrå med 60° vinkel inn i sentral og marginal sone av lineamentene. Borelengde er 100 meter. (B) Vertikalt dyp og horisontal lengde er beregnet til henholdsvis 86,60 og 50 meter.



Figur 1.3 Plassering av brønner i forhold til topografi og lineament. Brønn 1 er plassert i Folvåg (A), og brønn 2 (B) på Tysse. Begge er boret inn i hvert sitt lineamentet mot vest.

Brønn 3 og 4 er begge lokalisert til Ullebø (Fig. 1.4.a), 4 km vest for Vadheim. Brønnene er boret inn i den sørlige delen av et 7 km langt 3.ordens N-S lineament (orientert 356°). En elv følger lineamentet sørover. Brønn 3 er boret fra øst mot vest, og er plassert ved en traktorvei ca 50 meter nord for bilveien. Brønn 4 er boret fra vest mot øst. Den står ca 60 meter sør for brønn 3, ved bilvegen, rett vest for Ullebø bru. Toppen av brønn 3 ligger på ca 330 meter over havnivå, mens toppen av brønn 4 har en høyde på 325 meter over havnivå.

Brønn 5 er plassert på Herstad, i et bredt dalføre nordøst for Naustdal. Brønnen krysser et 2.ordens lineament, ca 16 km langt, som stryker N-S (003°). Standalforkastningen, et regionalt øst-vest lineament, går like sør for borelokaliteten. Brønnen står i utkanten av et relativt flatt oppdyrka område vest for Herstadelva og nord for Nausta elva, ca 50 meter fra en bilveg (Fig. 1.4b). Brønnen er plassert ved foten av en relativt bratt skråning mot nord, og lineamentet kan følges opp langs en forsenkning i terrenget. Lineamentet kan også følges sørover på den andre siden av dalen. Toppen av brønnen står 107 meter over havnivå.



Figur 1.4 Plassering av brønner i forhold til topografi og lineament. Brønn 3 og 4 (A) er boret på Ullebø, og skjærer inn i samme lineament. Brønn 3 skrår ned mot vest, mens brønn 4 skrår ned mot øst. Brønn 5 (B) er lokalisert på Herstad, og skrår ned i lineamentet mot vest.

2. REGIONAL GEOLOGI OG HYDROGEOLOGI

2.1 Lineament arkitektur og hydrogeologisk modell

Bruddsoner i berggrunnen (lineamenter) kan deles in i tre hovedtyper; (i) fallende - og (ii) subvertikale forkastningssoner og (iii) subvertikale sprekkesoner. Disse strukturene har en distinkt intern oppbygning med karakteristiske *deler* (bruddfrekvens og bruddorientering) og *soner* (bruddsett og bruddsystemer). De subvertikale hovedstrukturene har gjerne en symmetrisk fordeling av delene/sonene, mens fallende forkastninger har et asymmetrisk mønster, med mest deformasjon i hengblokken.

Figur 2.1 illustrere den karakteristiske bruddfordeling rundt lineamenter. I denne modellen fremgår alle deler og soner, men det er verdt å merke seg at spesielt sonene ofte er utviklet i varierende grad. I enkelte tilfeller kan en eller flere soner være fraværende.

I senteret av lineamenter, dvs. den sentrale delen, opptrer gjerne breksjer/forkastningsbergarter (sone A) og et høyfrekvens nettverk av korte brudd (sone B). Sentraldelen varierer i bredde fra noen centimeter til 20 meter.

Marginaldelen har en bredde på 10-50 meter, har lavere bruddfrekvenser enn sentraldelen, og er karakterisert ved et nettverk av lange, parallelle brudd som er subparallelle med lineamentet (sone C) og et system av lineaments-oblike, kryssende brudd (sone D). Sistnevnte bruddsystem definerer gjerne den topografiske marginen til lineamenter.

Distaldelen har en lav frekvens av varierende orienterte brudd, og graderer utover mot en generell bakgrunnsoppsprekning, dvs. områder som ikke er påvirket av deformasjonen langs lineamenter.

En nærmere diskusjon av brudd fordelingen/arkitekturen rundt lineamenter er gitt i Braathen & Gabrielsen (1998).

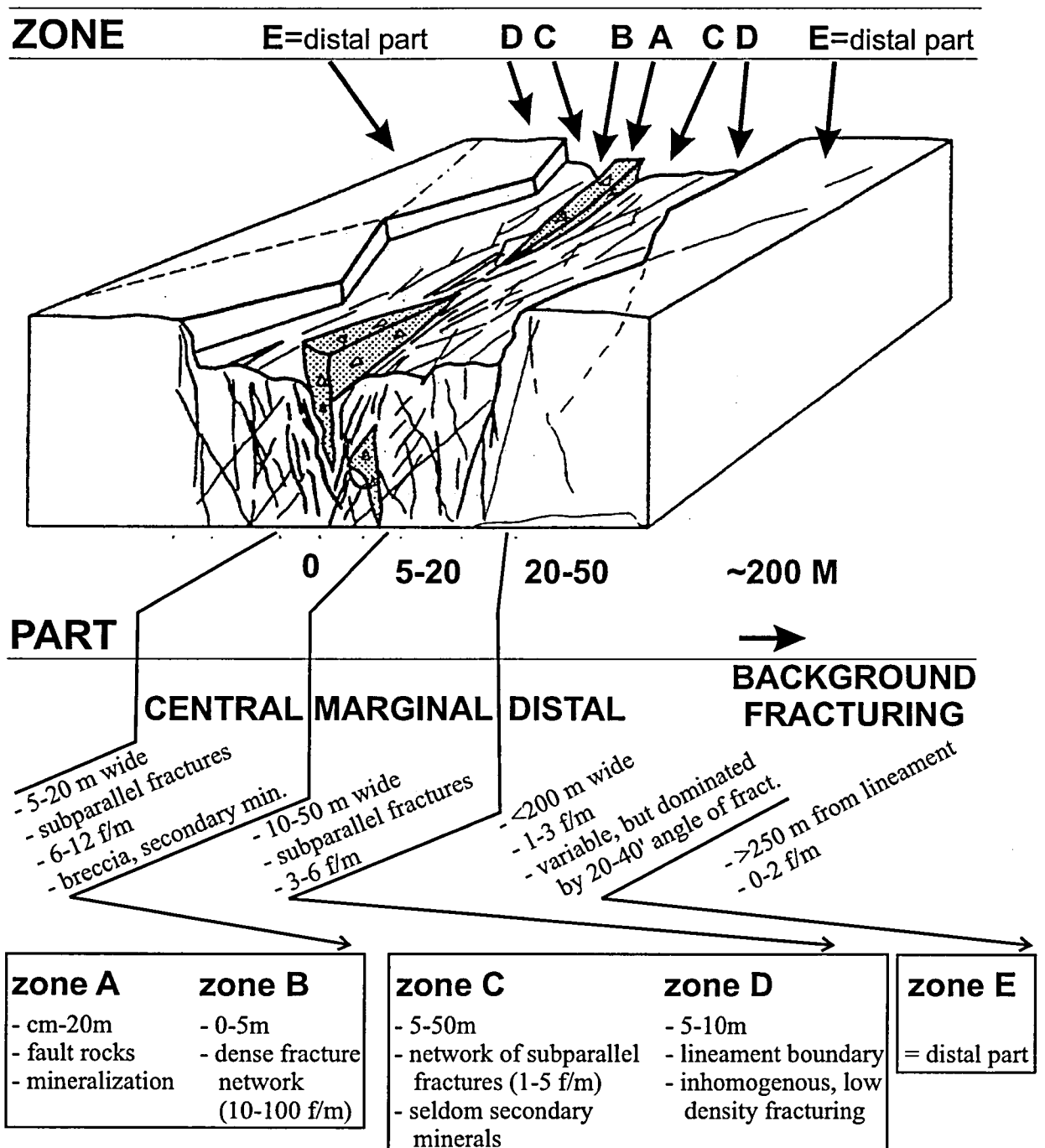


Fig. 2.1. Modell for oppbygning av bruddsone lineamenter, modifisert fra Braathen & Gabrielsen (1998). Lineamentene kan deles inn i deler (statistisk bruddfrekvens og orientering av brudd) og karakteristiske soner (bruddsett, bruddkompleks og bruddsystem). Se Braathen & Gabrielsen (1998) for en nærmere beskrivelse av lineamentsoppbygning/arkitektur.

Modellen for systematisk fordelingen av brudd normalt på lineamenter har implikasjoner for det hydrogeologiske potensialet i berggrunnen (Braathen et al. 1997, 1999a,b; Braathen & Gabrielsen 1998).

Den sentrale delen (sone A-B) består av et høyfrekvens nettverk av korte brudd og forkastningsbergater (breksje), hvor sekundære mineraler er vanlige. Konsoliderte breksjer og sprekke mineraler vil delvis fylle igjen eller forsegle sprekker, og dermed redusere permeabiliteten. Denne delen av en bruddsone har derfor et redusert grunnvannspotensiale.

Den marginale delen (sone C-D) har moderat til høy frekvens av lineament-subparallele brudd som sjelden har sekundær mineralinnfylling. Karakteristiske lange brudd og et forholdsvis tett bruddnettverk underbygger et relativt høyt grunnvannspotensiale.

Den distale delen (sone E), som gradere utover mot sonen med generell bakgrunnsoppsprekning (ikke lineamentspåvirket område), består av forholdsvis lave frekvenser av lineaments-subparallell og lineaments-oblike brudd. Sekundære sprekke mineraler opptrer sjeldent. Den lave bruddfrekvensen peker mot et moderat grunnvannspotensiale.

I områder med lav bruddfrekvens vil bergspenningene kunne påvirke sprekker. Med et slikt utgangspunkt vil brudd parallelt med største bergspenning være mer åpne enn brudd som er orientert normalt på denne spenningsaksen.

I denne rapporten beskrives resultatene fra arbeider som vurderer grunnvannspotensialet langs lineamenter. Dvs. en modell hvor den marginale delen av lineamenter har høyere grunnvannspotensiale enn omliggende deler, og generelt sett har et høyt grunnvannspotensiale.

2.2 Bergartstyper i undersøkelsesområdene

Bergartene i de utvalgte områdene er av prekambrisk til kambriosilur alder, og er påvirket av kaledonsk deformasjon og metamorfose (Fig. 1.1)(Milnes et al. 1997). Båndet, glimmerholdig og middels til grovkornig ortho-gneiss dominerer ved de fleste lokalitetene. Noen av gneissene er amfibol-førende. Avgrensede inneslutninger i form av linser og lag av glimmerskifre forekommer.

Berggrunnen på Tysse, Ullebø og ved flere av lokalitetene hvor det er målt bakgrunnsoppsprekning, tilhører Vestre Gneissregion. Bergartene er hovedsakelig prekambriske, og har gjennomgått flere meso- til neoproterozoiske tektonometamorfe hendelser (Skår 1998). I de vestlige deler av gneissregionen har bergartene også gjennomlevd en omfattende kaledonsk påvirkning (Norton 1987; Andersen & Jamtveit 1990; Milnes et al. 1997).

Foliasjonen på Tysse er orientert øst-vest og faller mot nord. De båndete gneissene er middels- til grovkornet og inneholder amfibol og biotitt som definerer foliasjonen. Kvartårer opptrer stedvis. Ved Ullebø varierer foliasjonsorienteringen fra øst-vest med fall mot nord i sydlige

områder til nordøst-sørvest og med fall mot sørøst i det nordlige området. Bergartene er antagelig metamorfosert i assosiasjon med kaledonsk deformasjon.

På Herstad dominerer middels- til grovkornede båndete amfibol- og glimmerholdige gneisser tilhørende alloktont grunnfjell. Opptreden av 5-10 cm tykke lag av glimmerskifre er vanlig. Øyegneiss forekommer også. Foliasjonen er definert av orienterte amfibol- og muskovittkorn og delvis kvarts og feltspat. Den stryker omtrent øst-vest, og faller svakt mot nord.

Berggrunnen i Folvåg består av kaledonske dekkebergarter (Andersen et al. 1990). I tillegg til høygrads biotittholdig, middels- til grovkornet gneiss (alloktont basement), forekommer en grålig, fin- til middels kornet kvartsitt og meta-arkose (alloktont cover). Foliasjonen i området stryker sydvest-nordøst og faller moderat mot nordvest. Brønnen er boret i meta-arkose.

Ved Holmedal og på Skilbrei, hvor det er foretatt målinger utenfor lineamentene, er berggrunnen dominert av mørkegrønne, fin- til middelskornige amfibolitter og glimmerførende skifre. Middels- til grovkornede, biotitt- og amfibol- holdige båndgneisser og fin- til middelskornede feltspatførende kvartsitter er typisk for de andre målelokalitetene utenfor lineamentene.

2.3 Brønndatabasen

Innenfor prosjektområdet er det etablert en database over 373 borebrønner i fjell. For hver borebrønn inneholder datasettet opplysninger om boredyp, kapasitet, bergartstype, topografiske forhold og avstand til regionale, 1. ordens, 2. ordens og 3. ordens lineamenter registrerte fra satellittfoto (Fig. 1.1).

Brønndatabasen har som utgangspunkt NGU sin hydrogeologiske database for borebrønner i fjell, men er i tillegg supplert med 9 borebrønner fra brønnefeltet i Holmedal (Braathen et al. 1998) og 5 prøvebrønner ansatt langs utvalgte lineamenter i forbindelse med prosjektet. Kapasitetsopplysningene er for de fleste brønnene baserte på vannoppblåsing under boring eller stigningstester etter en fort utblåsing/utpumping av hullet. De oppgitte kapasitetene, vanligvis i l/t, etter disse metodene gir bare grove vurderinger av brønnenes kapasitet. I sammenlignende undersøkelser av kapasitet anbefales det å normalisere kapasitetsverdiene mot boredypet (Henriksen 1995, Morland 1997). De oppgitte kapasitetene blir dermed i l/t pr. meter boredyp.

I kapittel 5 (se også Henriksen 1999, samt Berg et al. 1999c) beskrives statistiske betraktninger rundet forholdet mellom kapasiteten i borebrønner og avstand til lineament i Sunnfjord. Hovedhensikten har vært å vurdere om materialet i brønndatabasen underbygger modellen for sammenheng mellom grunnvann og bruddfordeling langs lineamenter.

3. BRUDDSTUDIER OG BORELOGGER

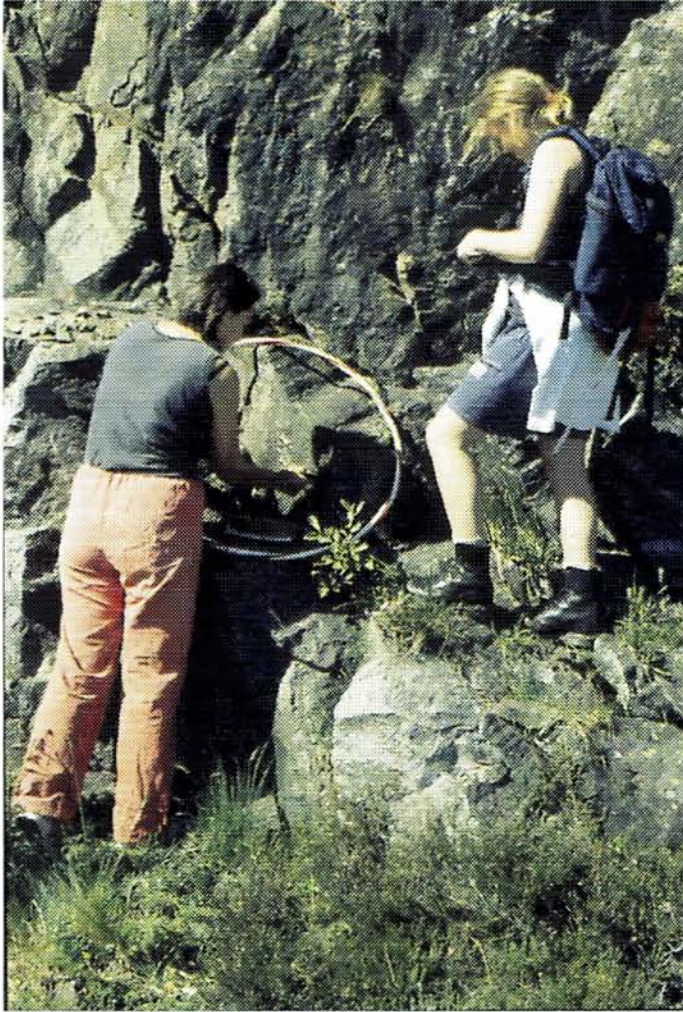
Bruddsystemer ble logget i en rekke traverser, for å fremskaffe detaljdata om oppbygningen rundt de lineamentene som ble vurdert for boring (Berg et al. 1999a,b). Resultatene, dvs. rammeverket for vurderingen av boreresultatene, er presentert under.

3.1 Metode for bruddstudier

Bruddmålingene er utført ved hjelp av 2 metoder: (1) sirkelmetoden og (2) traversmetoden. Begge metodene innebærer målinger langs profiler. I traversmetoden registreres alle brudd langs en linje, eventuelt på en meter lange stasjoner langs linjen. Med sirkelmetoden ble det langs 200 meter lange profiler, opprettet målestasjoner hver femte meter. Ved hver målestasjonen ble orientering på brudd som gjennomsetter en sirkel på 80 cm i diameter registrert (Fig. 3.1). Bruddene må skjære sirkelen i to punkter. Totalt ble denne metoden benyttet ved registrering langs 9 profiler. Alle profilene er orientert øst-vest, dvs. normalt på lineamentene.

Traversmetoden (Fig. 3.2) ble benyttet for å skaffe detaljerte brudd-data. Flere parametre ble undersøkt, herunder brudd-avstand, -orientering, -lengde, -åpning, -geometri, -konnektivitet, -terminering, -forflytning og sekundær mineralisering. Konnektivitet er definert som antall brudd forbundet til det målte bruddet. Geometri innebærer observasjoner i to skala: Planhet i desimeterskala og ruhet i millimeterskala (Fig. 3.3). Alle brudd langs 35 profiler ble registrert, hvor de fleste av profilene er i nærheten av lineamentene. Noen profiler ble utført i områder utenfor lineamentene, for på denne måten å registrere bakgrunnsoppsprekning. Profilene varierer i lengde fra 0,15 til 40 meter. En ulempe med traversmetoden er at brudd med en orientering parallelt eller subparallelt til profil-linjen lett blir underrepresentert. Det ble derfor gjort målinger langs profiler i flere retninger, slik at alle brudd ble registrert, uavhengig av deres orientering.

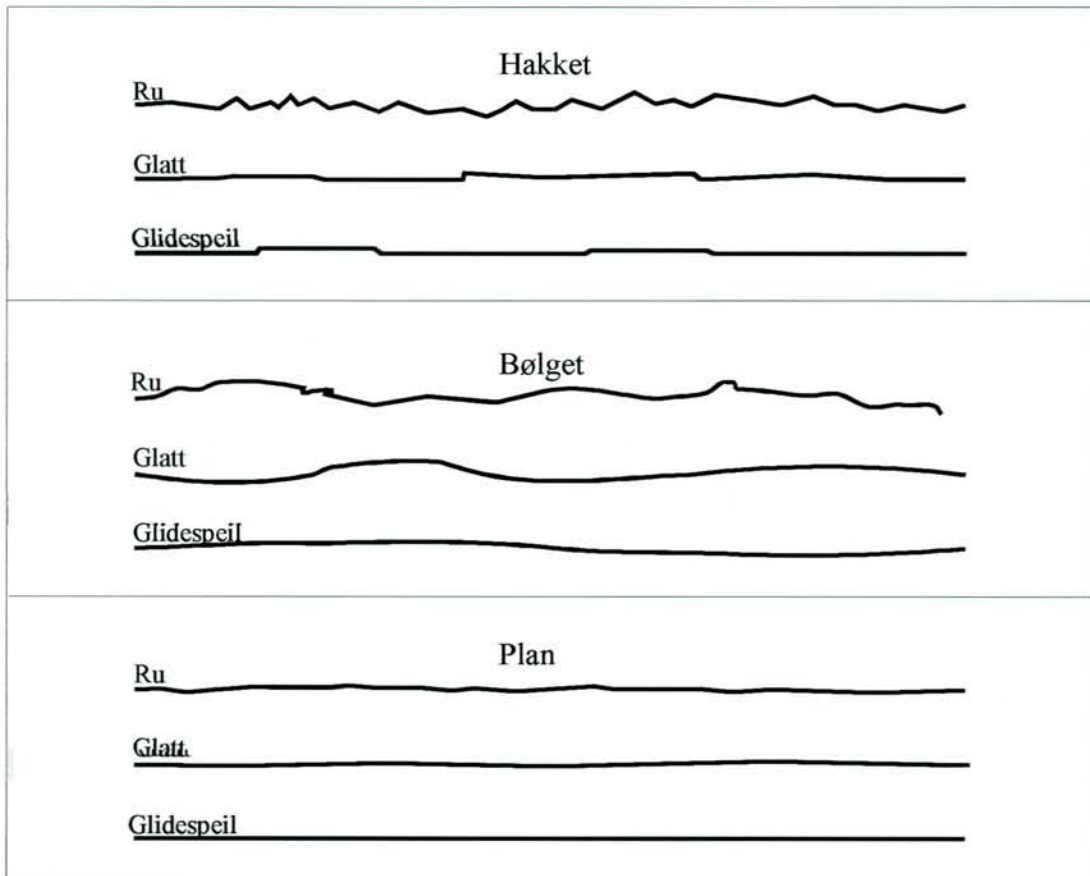
De beskrevne målelokalitetene er vist i Fig. 3.4.



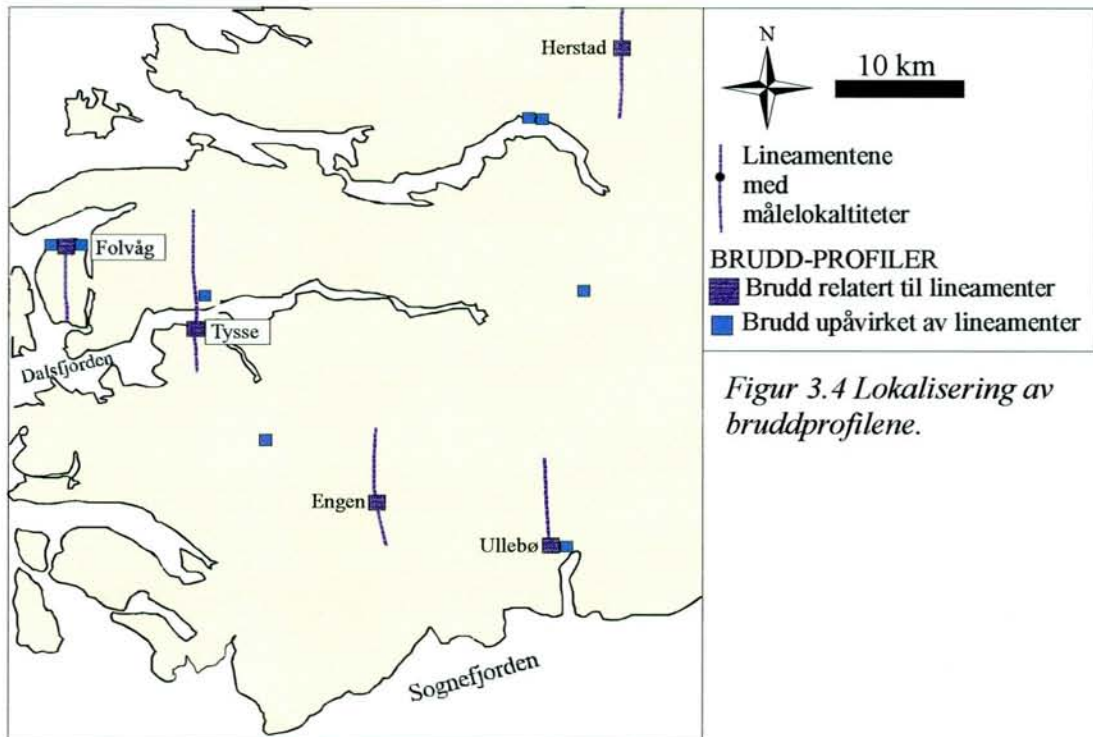
*Figur 3.1 (Til venstre)
Eksempel på bruk av
sirkelmetoden. Alle brudd
som skjærer sirkelen ved
to punkter ble målt.*

*Figur 3.2 (Under)
Traversmetoden ble brukt
for samle detaljerte
bruddmålinger, inkludert
bruddavstand, orientering,
lengde, åpning, geometri,
konnektivitet, terminering,
forflytning og sekundær
mineralisering.*





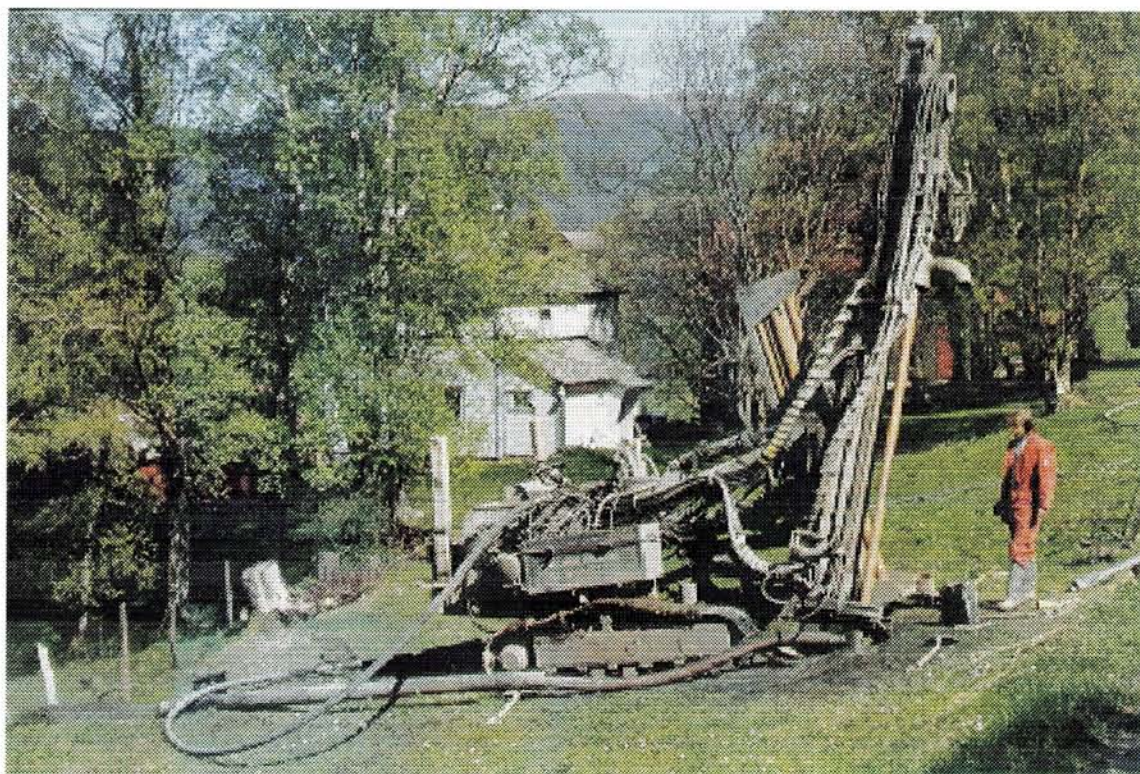
Figur 3.3 Geometrisk ble bruddene beskrevet som hakket, bølget eller plan i dm-skala, og som ru, glatt eller glidespeil i mm-skala.



Figur 3.4 Lokalisering av bruddprofilene.

3.2 Borelogging

Logging av brønnene ble foretatt av borepersonellet under boringene (Fig. 3.5). Loggingen bestod av registrering av dybde ned til fjell (m), borsynkkarakteristikk, bergets beskaffenhet, farge på borkaks, opptreden av sleppesoner og vanninnslag. De ulike karakteristika ble notert ved markerte endringer. Borsynken ble beskrevet som god, jevn eller ujevn og bergets beskaffenhet som løst, meget løst eller skiftende løst. Borkaksfargen ble notert som lyst, grått eller mørkt. Ved betydelige vanninnslag ble vannmengden målt (l/t) ved utblåsning av brønnen.



Figur 3.5 Loggingen av grunnvannsbrønnene foregikk under boringene

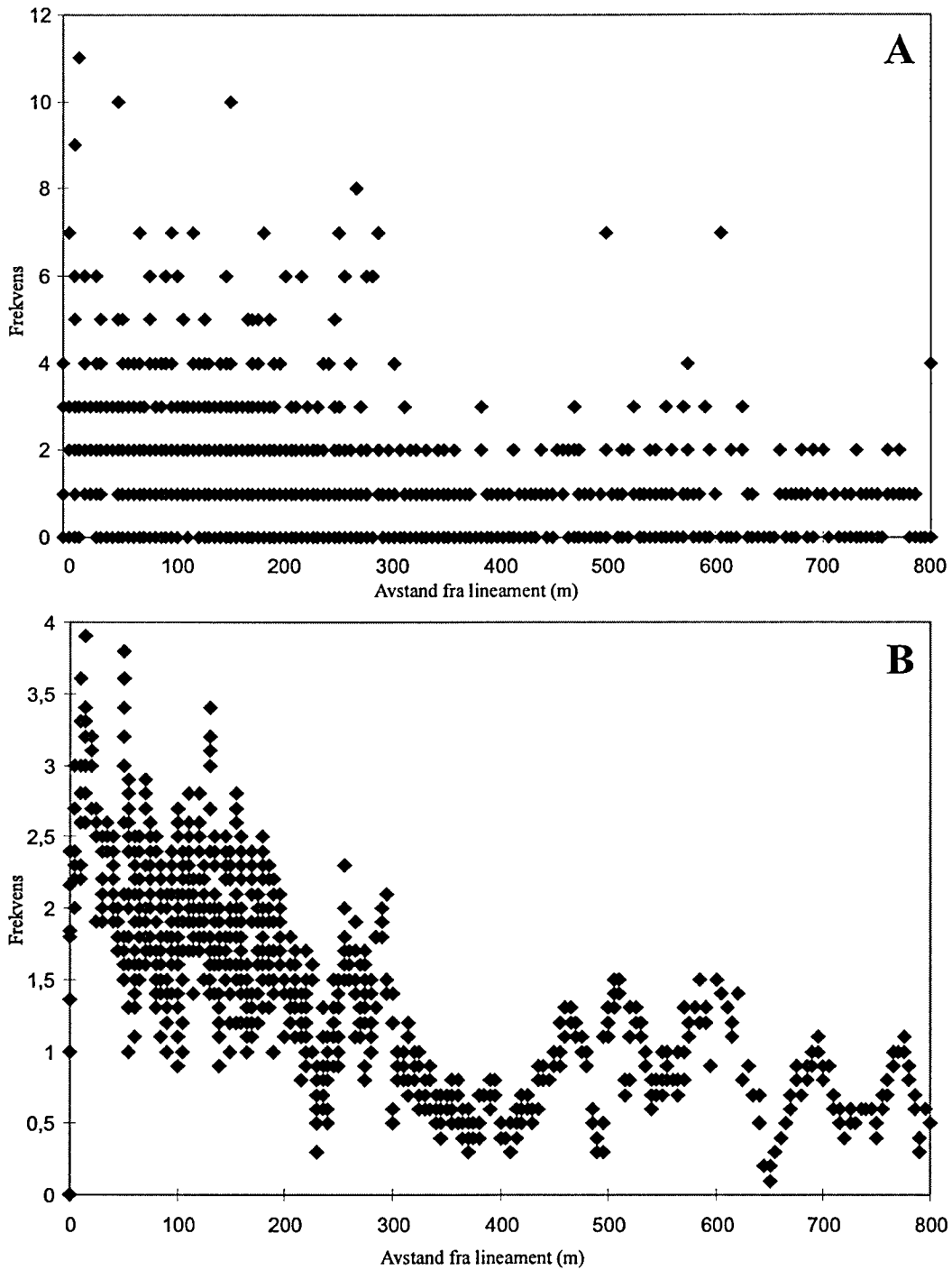
3.3 Bruddfrekvens

Tidligere studier (Braathen et al. 1997, Berg et al. 1997 og Braathen & Gabrielsen 1998) har resultert i en modell for bruddfordelingen rundt lineamenter, som vist i Fig. 2.1. Braathen & Gabrielsen (1998) viser at bruddfrekvensen øker med nærhet til lineamenter. Et knekkpunkt opptrer i en avstand på 250-300 meter. Dette vises ved en relativ lav og konstant bruddtetthet utenfor 300 meter fra lineamentet. Innenfor dette er det en markert økning i bruddtetthet fra knekkpunktet og innover mot sentraldelen (Fig. 3.3.1).

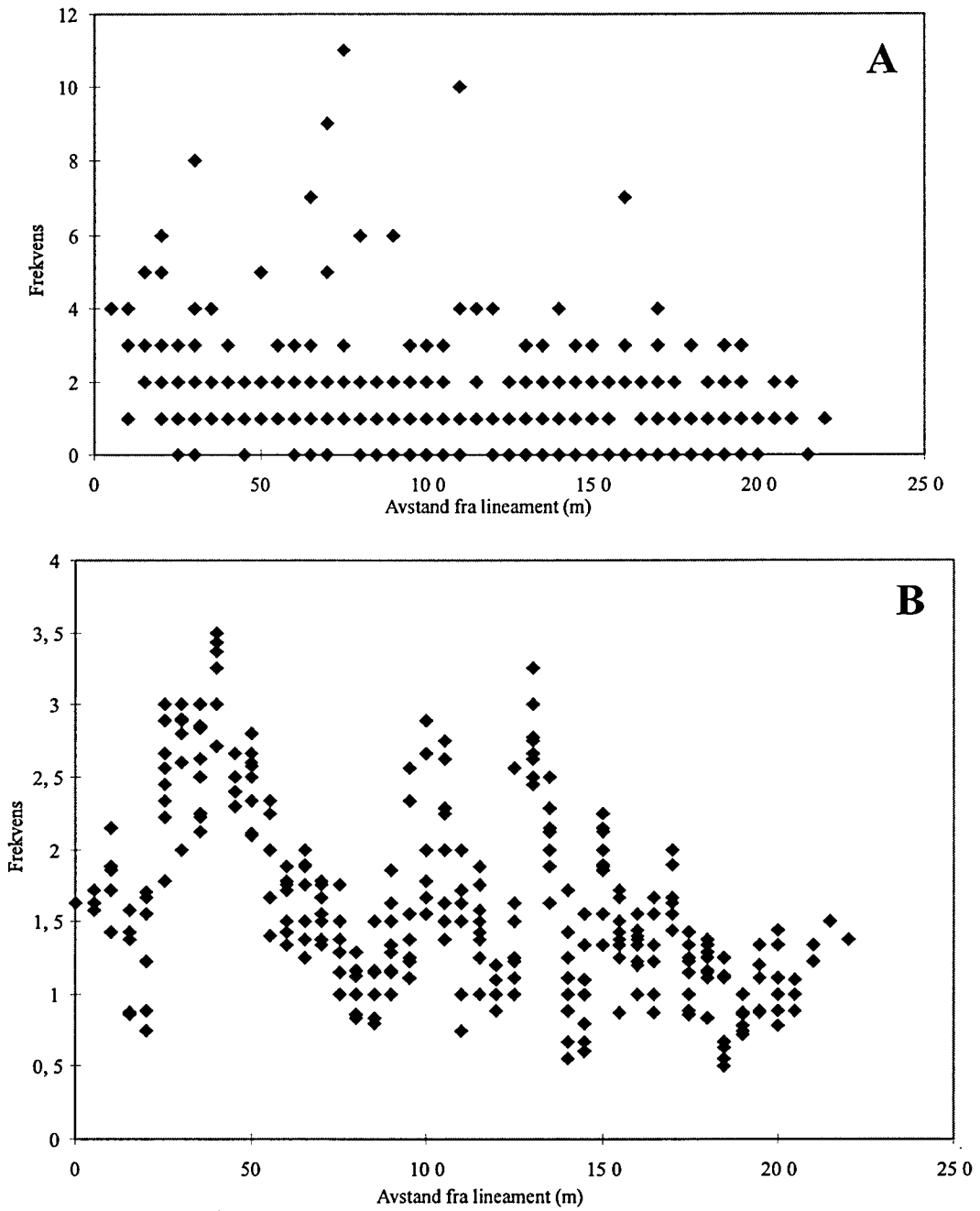
I denne undersøkelsen er det påvist en tilsvarende trend i sentrale, marginale og distale deler av lineamentene. Fig. 3.3.2(a) viser et bruddfrekvensdiagram med data fra 9 profiler. Bruddfrekvensen har generelt flere høye verdier nærmere lineamentet. Et løpende gjennomsnitt av bruddfrekvensen sortert etter avstand gir en mer tydelig trend (Fig. 3.3.2b), med en generell økning i bruddfrekvens fra 1-1,5 brudd per målelokalitet i distaldelen, til 1,5-3,5 brudd per målelokalitet i sentral- og marginaldelen.

Frekvensvariasjonen er undersøkt i både vestlig og østlig retning ut fra nordsør lineamentene. Resultatet viser at variasjonen er tilnærmet lik i begge retninger (Fig. 3.3.3). Med unntak av noe høyere verdier mellom 75-140 meter øst for lineamentene er det en generell økning i bruddfrekvensen inn mot lineamentene fra begge sider. Spesielt i de 50 nærmeste meterne, dvs sentral- og marginaldelen, er økningen markant (Fig. 3.3.3b).

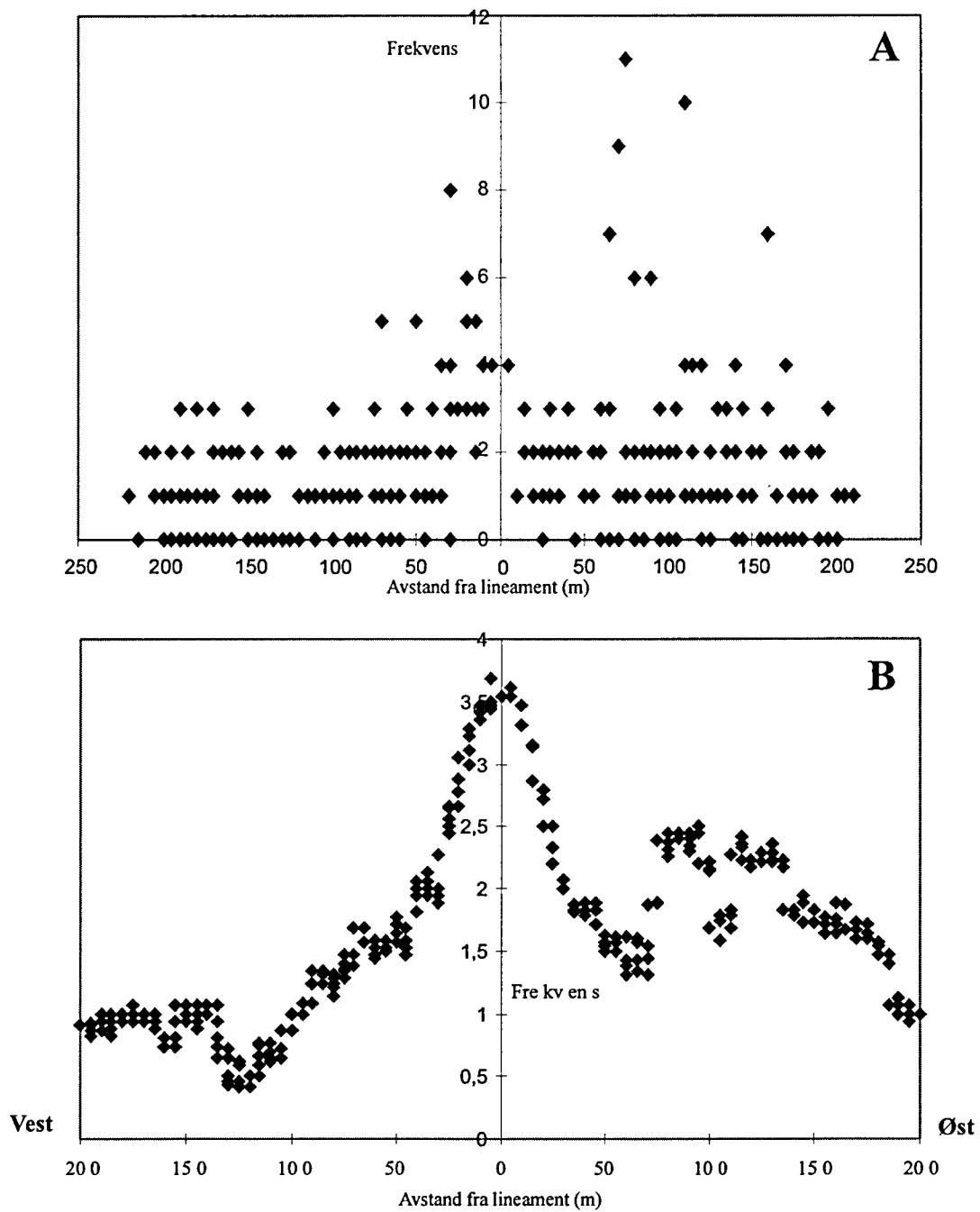
Økningen i bruddtetthet fra distal- til marginal- og sentraldelen er betydelig i begge retninger av nord-sør lineamentene, og kan ha innvirkning på grunnvannsbevegelsen i de forskjellige delene (se avsnitt 6).



Figur 3.3.1 Diagrammer med bruddfrekvens plottet mot avstand fra nordsør lineamenter. (A) Avstand-frekvensdiagram med data fra 20 profiler, og (B) gjennomsnittsfrekvens beregnet fortløpende fra 10 målelokaliteter sortert etter avstand. Fra Braathen & Gabrielsen 1998.



Figur 3.3.2 Bruddfrekvens plottet mot avstand fra nordsør lineamenter. (A) Avstand-frekvensdiagram med data fra 9 profiler. (B) Gjennomsnittlig frekvens beregnet fortløpende ut fra 10 målelokaliteter sortert etter avstand.



Figur 3.3.3 Frekvensdiagrammer plottet mot avstand fra lineamentene i østlig (høyre) og vestlig (venstre) retning. (A) Bruddfrekvensen øker inn mot lineamentet fra begge retningene. (B) Gjennomsnittlig frekvens beregnet fortløpende ut fra 20 målelokaliteter sortert etter avstand.

3.4 Bruddlengde, åpning og konnektivitet

Det er funnet en relasjon mellom bruddlengde og åpning (avstand mellom bruddveggene) og mellom bruddlengde og konnektivitet. Fig. 3.3.4a viser et lengde-åpningsdiagram der åpningen generelt øker med økende lengde. En presentasjon av løpende gjennomsnitt av åpningsmålinger, sortert etter lengde (Fig. 3.3.4b), gir en positiv relasjon mellom åpning og lengde. Ikke overraskende er et tilsvarende forhold observert mellom lengde og konnektivitet. Ut ifra Fig. 3.3.5a er det ikke innlysende at konnektiviteten øker med bruddlengden. Relasjonen er bedre indikert ved beregning av løpende gjennomsnitt av konnektivitet, sortert etter lengde (Fig. 3.3.5b). De fleste bruddene er under 0,5 m lange, og hovedmengden av disse har en konnektivitet på under 5. Brudd som er over 1,5m lange har en konnektivitet på opptil 15. Selv om det ikke fremkommer noen klar trend, er det en generell tendens at konnektiviteten øker med økende lengde. Dette er i samsvar med studier av Odling (1997).

Ut fra ovennevnte relasjoner er det interessant å undersøke om bruddlengden varierer med avstand til lineamentet. Fig. 3.3.6 viser bruddlengdefordelingen ut fra lineamentenes sentrale del. Diagrammet viser at det er en stor konsentrasjon med relativt korte brudd (<20 cm) innenfor ca 30 meter. Ved større avstand øker bruddlengden.

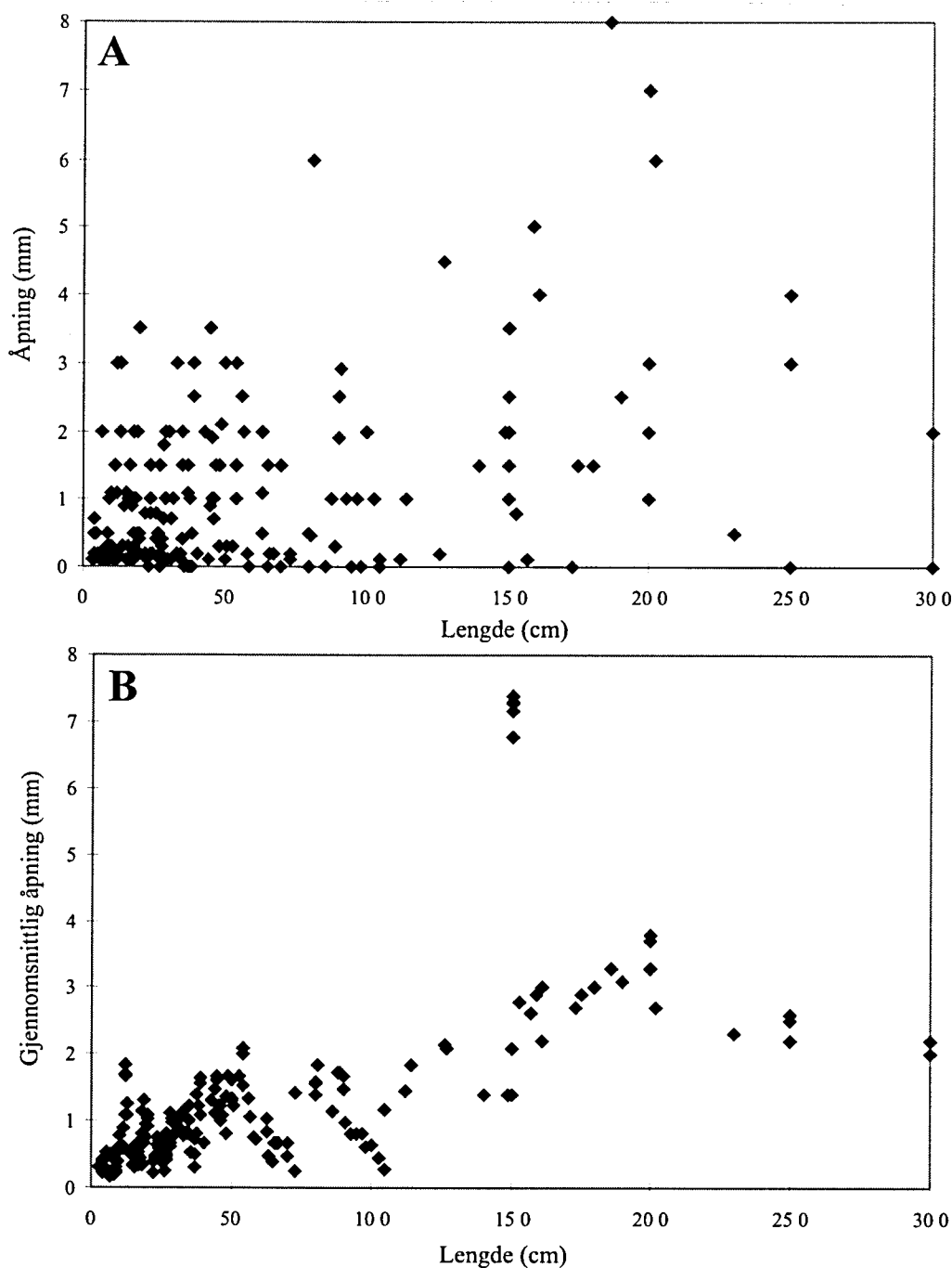
Lineamentnære brudd har generelt større åpning og konnektivitet sammenlignet med brudd i områder utenfor lineamentene. Histogrammene i Fig. 3.3.7 viser prosentandel av brudd per mm bruddåpning. Av lineamentnære brudd har hovedmengden, dvs over 46%, en åpning mellom 1 og 2 mm (Fig. 3.3.7a), mens bare 26 % av brudd utenfor lineamentene har denne verdien. Hovedmengden av brudd utenfor lineamentene, dvs over 45%, har en åpning mellom 0 og 1 mm (Fig. 3.3.7b). Bare 21% av de lineamentnære bruddene har en tilsvarende verdi. Åpninger mellom 2 og 3 mm er målt på 16% av de lineamentnære bruddene, og bare på 11% av de lineament-fjerne bruddene. Lineament-fjerne brudd har således en mye høyere andel med brudd som har liten åpningsgrad i forhold til lineamentnære brudd, som har en høyere andel med relativt stor åpning (Fig. 3.3.7c).

Konnektivitetsvariasjoner av brudd nært og fjernt fra lineamentene er presentert i Fig. 3.3.8. Den dominerende gruppen av lineamentnære brudd, dvs over 19%, har en konnektivitet på 2 (Fig. 3.3.8a), mens dominerende gruppe, dvs over 26%, av brudd upåvirket av lineamenter har en konnektivitet på 1 (Fig. 3.3.8b). Dette viser at konnektiviteten er betraktelig høyere nært lineamentene i forhold til områder dominert av bakgrunnsoppsprekning.

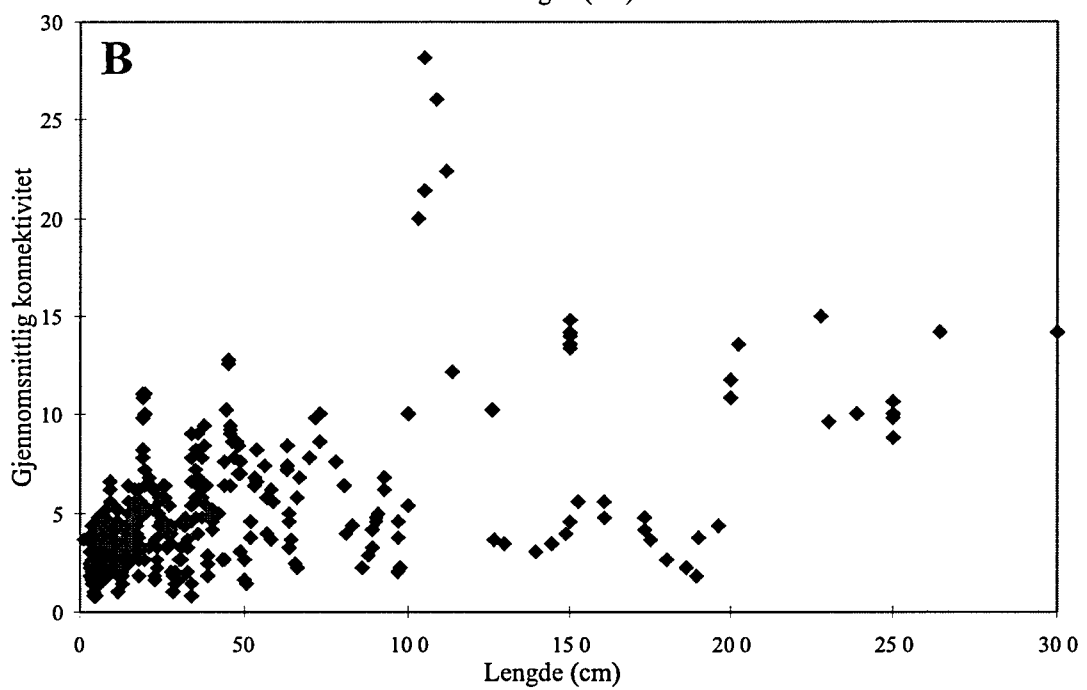
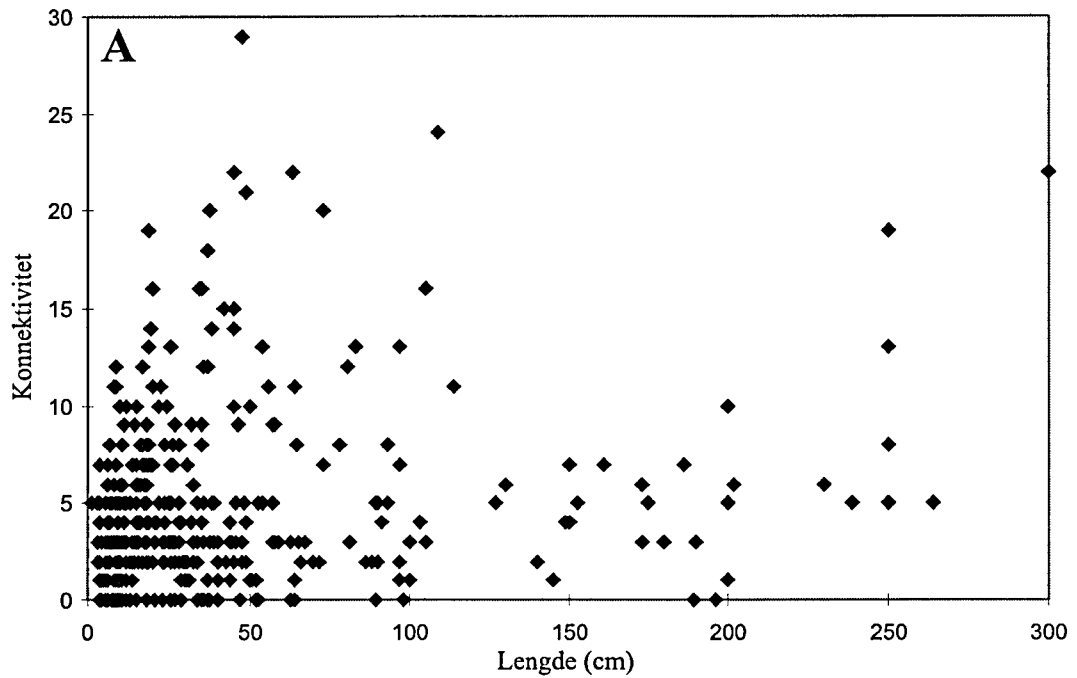
Sammenlignes de forskjellige parametrene, synes følgende situasjon klar: Siden bruddlengden kan relateres til åpningsgrad på brudd, er det mulig at åpningen på bruddene generelt øker med avstand til lineamentet. Når det gjelder konnektiviteten, er det sannsynlig at denne *ikke* øker med avstand til lineamentet. Tatt i betraktning den høye bruddintensiteten som er observert i sentrale og marginale deler av lineamentene, er det stor sannsynlighet for at

konnektiviteten er størst i disse delene. Dette til tross for opptreden av brudd med kortere lengde.

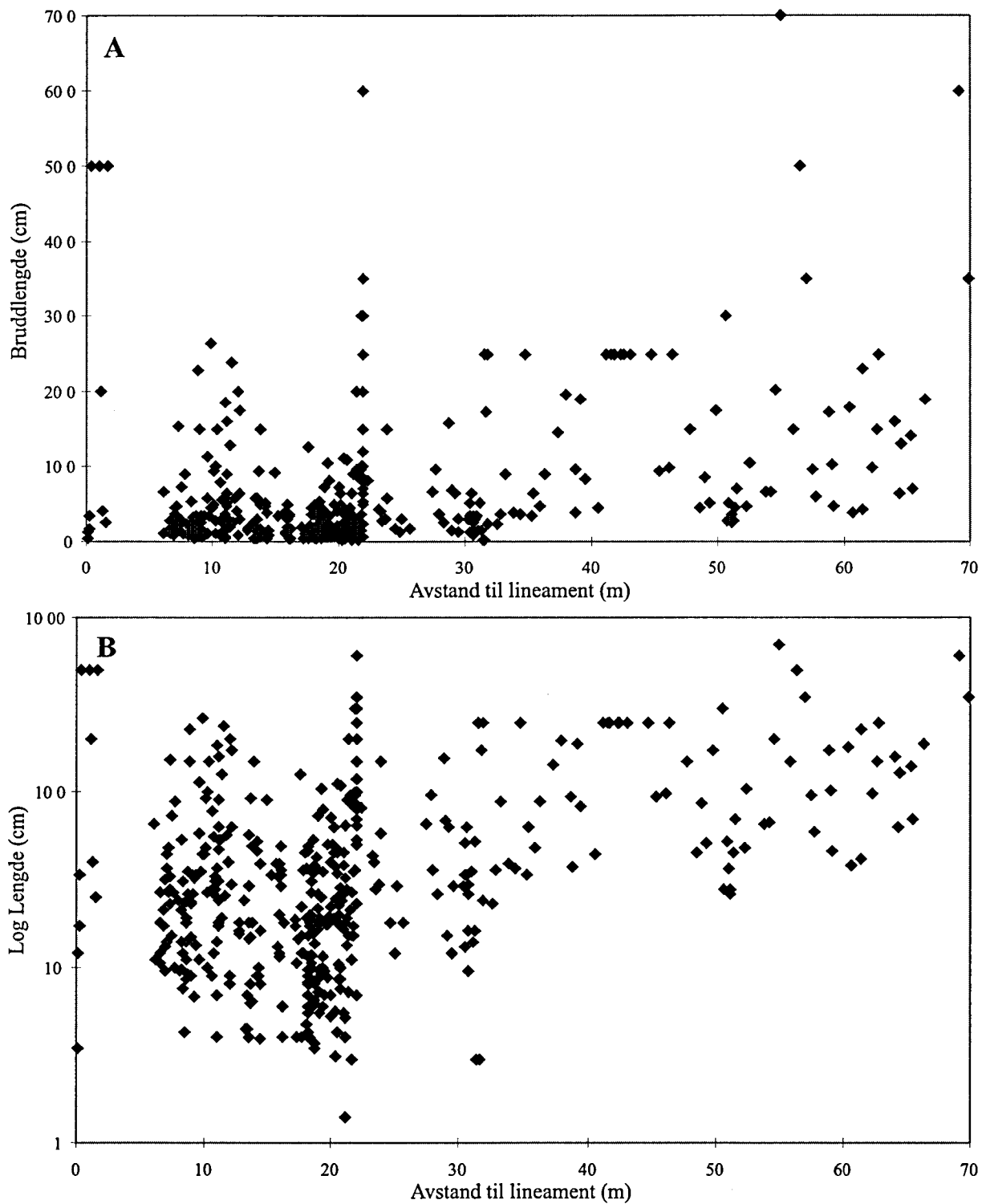
En konklusjon er derfor at både bruddåpning og konnektivitet har en positiv relasjon til bruddlengde, og at bruddlengden generelt øker med økende avstand til lineamentene. Bruddåpning øker muligens med avstand fra lineamentene. Konnektiviteten vil sannsynligvis ha et motsatt mønster. Etersom konnektivitet også er påvirket av bruddtetthet, og siden bruddtettheten øker inn mot lineamentene, vil konnektiviteten øke med minkende avstand til lineamentene. Konnektiviteten og bruddåpningen er generelt høyere for lineamentnære brudd i forhold til brudd i områder utenfor lineamentene.



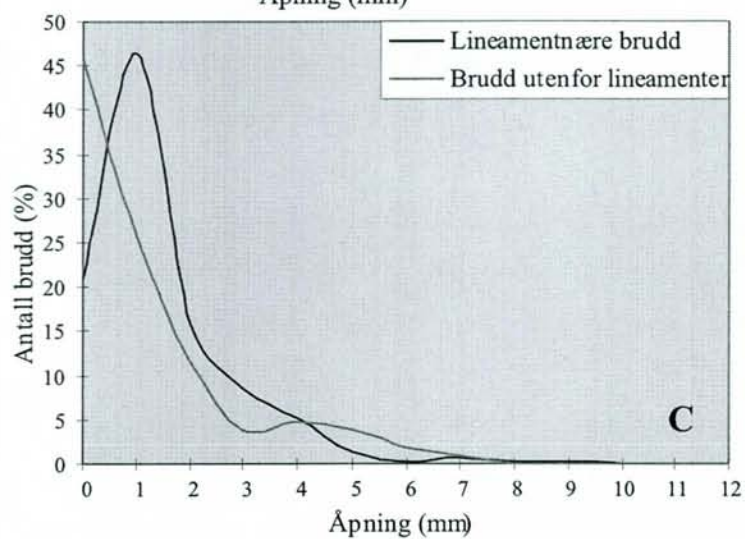
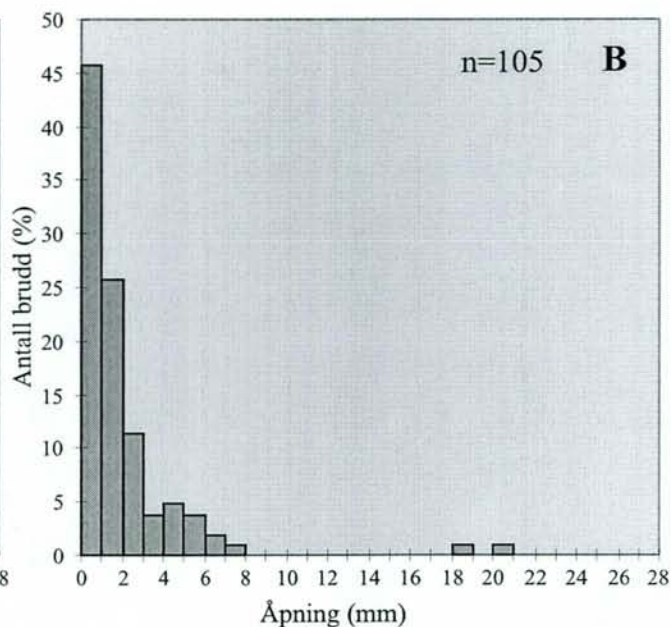
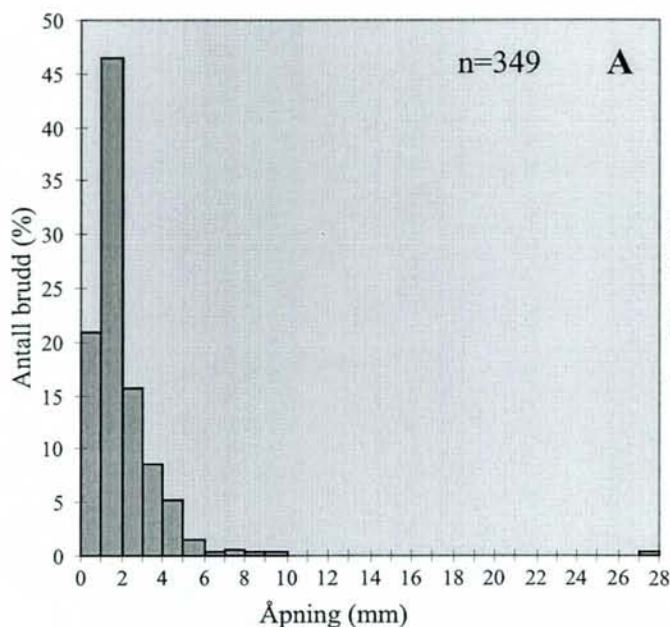
Figur 3.3.4 (A) Bruddlengde-åpningsdiagrammer. (B) Bruddlengde plottet mot løpende gjennomsnitt av åpning (i mm) på 5 brudd, sortert etter lengde.



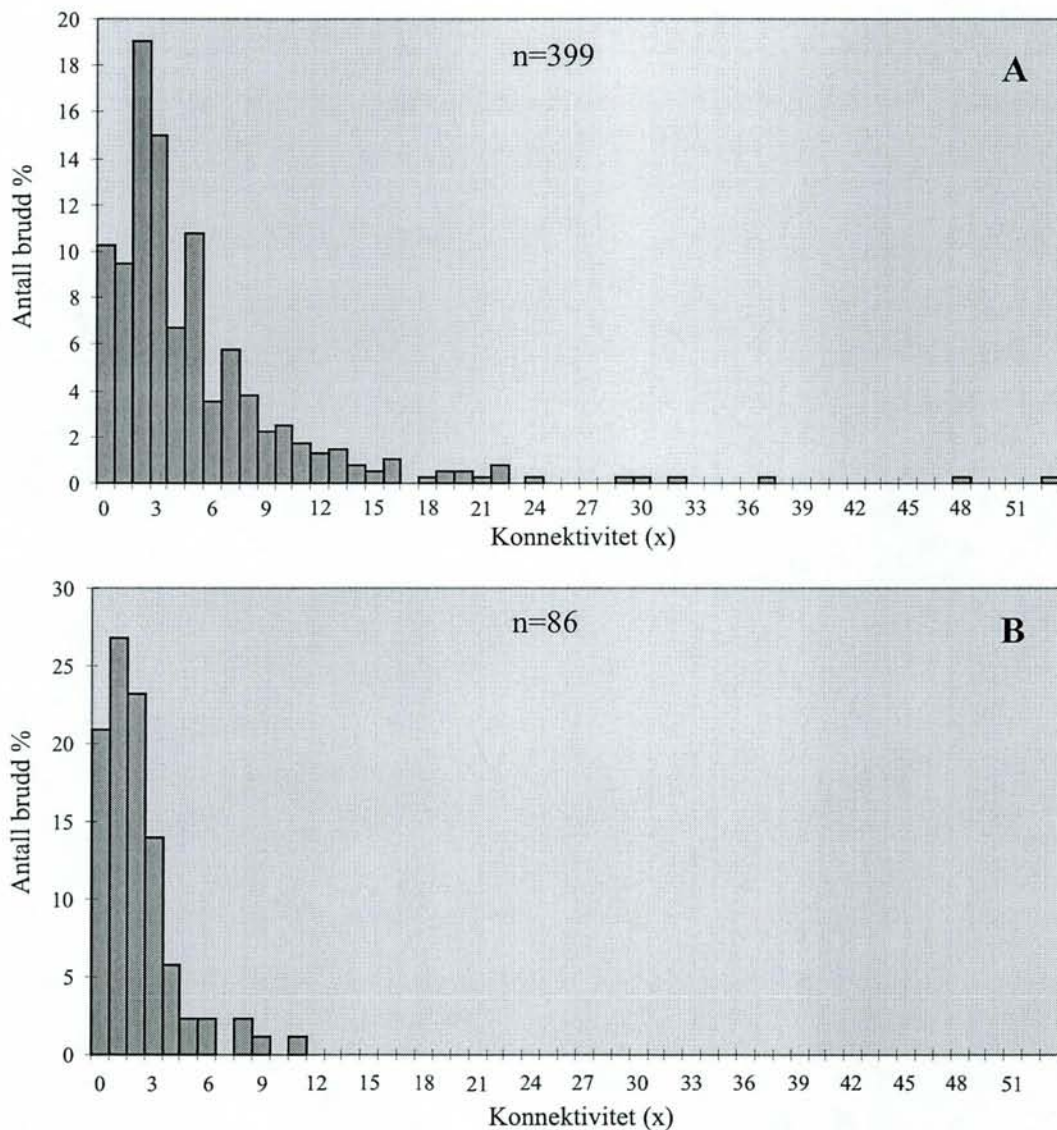
Figur 3.3.5 (A) Konnektivitet plottet mot lengde. Konnektivitet er definert som antall brudd forbundet til det målte bruddet. (B) Som (A), men med konnektiviteten beregnet som løpende gjennomsnitt av 5.



Figur 3.3.6 (A) Bruddlengde plottet mot avstand til lineament. (B) Som (A), men hvor bruddlengden er plottet i logaritmisk skala.



Figur 3.3.7 Antall brudd i prosent plottet mot åpning i mm (A) ved lineamenter, (B) utenfor lineamenter og (C) både ved og utenfor lineamenter. Den dominerende gruppen av brudd ved lineamentene har en åpning fra 1 til 2 mm, mens hovedgruppen av brudd upåvirket av lineamenter har en åpning mellom 0 og 1 mm. (n = antall bruddmålinger)



Figur 3.3.8 Antall brudd i prosent med konnektiviteten(x), (A) for lineamentnære brudd og (B) for brudd upåvirket av lineamenter. Den største gruppen av lineamentnære brudd har en konnektivitet på 2, mens hovedgruppen av brudd betraktet som bakgrunnsoppsprekning har en konnektivitet på 1. Konnektiviteten er null hos dobbelt så mange(%) av bakgrunnsbruddene i forhold til lineamentnære brudd. Bakgrunnsbruddene når ikke så høye verdier (maks.11) som lineamentnære brudd, som har verdier opp til 53.

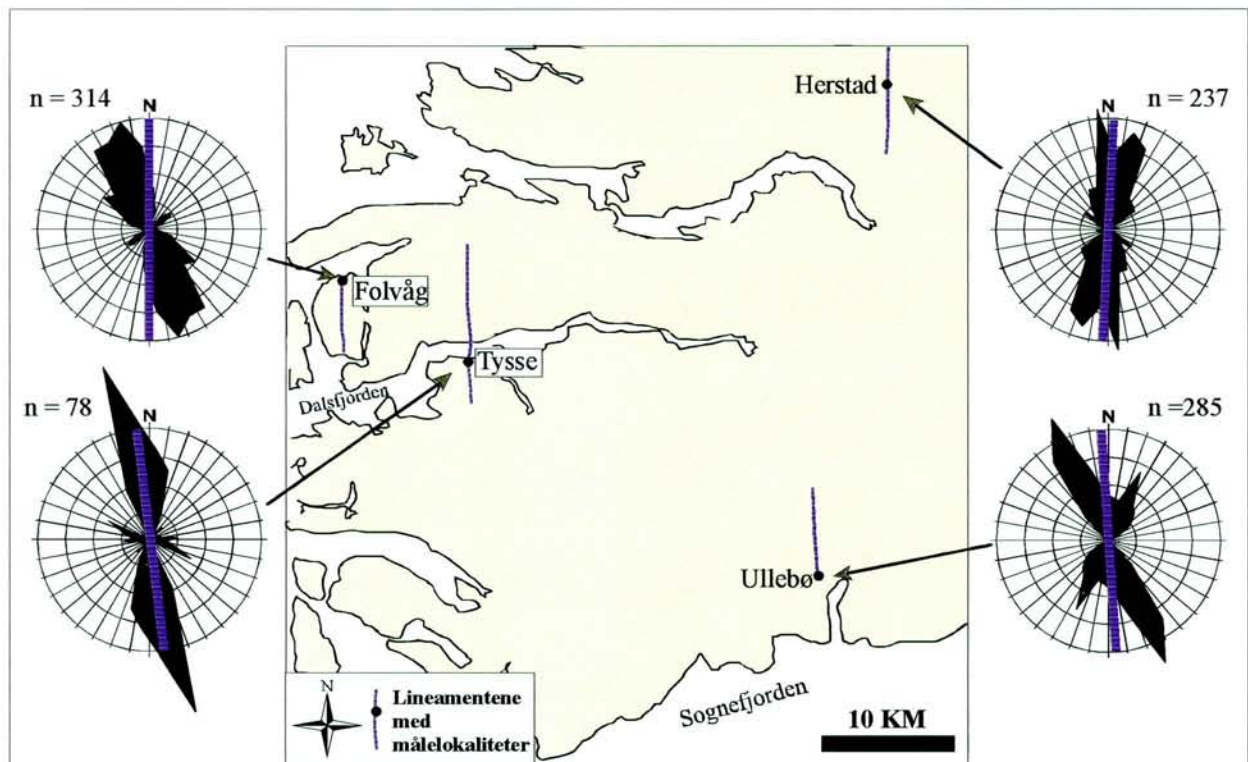
3.5 Bruddorienteringer og lineamentutvikling

Strøket til brudd målt ved lineamentene skiller seg klart fra brudd målt utenfor lineamentene. Hovedstrøkretningen for lineamentnære brudd er NNV-SSØ (Fig. 3.3.9), mens den dominerende strøkretningen er NNØ-SSV utenfor lineamentene (Fig. 3.3.10). Dette er i samsvar med tidligere undersøkelser i området. I et studium av Midtbø (1996) fra nærliggende N-S lineamenter, er det funnet en tilsvarende hovedstrøkretning for de lineamentnære bruddene. Resultater fra Hamre m.fl.(1997) viser en hovedtrend NNØ-SSV hos lineamentfjerne brudd.

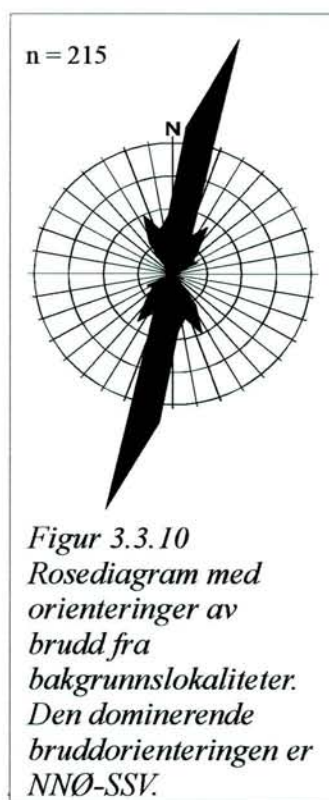
To bruddpopulasjoner av lineamentnære brudd kan defineres ut fra orientering og eventuelt klarlagt skjærbevegelse: Populasjon 1 består av NNV-SSØ orienterte brudd, dvs den dominerende orienteringen av brudd. Bruddene i populasjon 1 er hovedsakelig tensjonsbrudd (mode I), men noen sinistrale skjærbrudd forekommer (Fig. 3.3.11a). Populasjon 2 består hovedsakelig av normalforkastninger (skjærbrudd), som varierer i orientering fra NNØ-SSV til ØNØ-VSV (Fig. 3.3.11b). Konjugerte sett av strøk-slip skjærbrudd er assosiert med normalforkastningene (Fig. 3.3.11c). Breksje opptrer som linser og lommer langs brudd i lineamentenes sentrale del (Fig. 3.3.12).

De to populasjonene kan, hypotetisk sett, representere to forskjellige tektoniske hendelser (Fig. 3.3.13). Tensjonsbruddene (T) i populasjon 1, som har en liten vinkel til lineamentene, kan ha oppstått som et «en echelon» sprekkesett (en echelon tension gashes)(Fig. 3.3.14). De kan være dannet som en tidlig respons til venstreveis skjær langs lineamentene (Fig. 3.13a). Tilsammen danner nettverket av populasjon 1-bruddene en større bruddsone. Fremskridende venstreveis skjær langs lineamentene kan ha ført til utvikling av Riedel (R) skjærbrudd ved reaktivering av T-bruddene (Fig. 3.3.13a og 3.3.15).

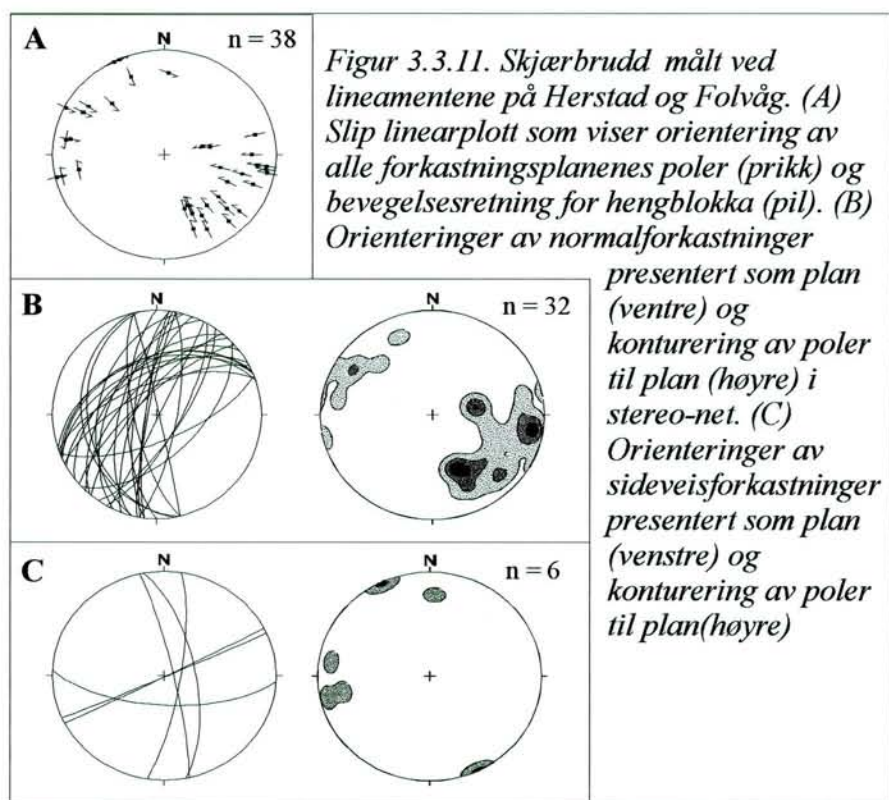
En etterfølgende hendelse kan ha resultert i dannelse av nye tensjonsbrudd, som har utviklet seg til normalforkastninger (Fig. 3.3.13b). Progressiv deformasjon, med en høyreveis komponent langs hovedbruddsonen, har i tillegg generert konjugerte sett av Riedel skjærbrudd og skjær linser(L) med breksjer. Det siste systemet har således utviklet lineamentet fra å være en struktur dominert av tensjonsbrudd til å være en skjærbrudd-dominert forkastninger (immature fault zones). Denne utviklingsmodellen er i samsvar med Braathen & Gabrielsen (1998), som bl.a. sier at «master joint zones» kan reaktiveres og utvikles til «immature fault zones». Den motsatte utviklingsprosessen er umulig.



Figur 3.3.9 Strøket av brudd rundt hvert lineament er presentert ved hjelp av rosediagrammer, som er lokalisert til sine respektive områder. De blå linjene i diagrammene representerer orienteringene av de gitte lineamentene. Den dominerende gruppen av brudd, populasjon I, er orientert NNV-SSØ og danner en liten vinkel til lineamentene.



Figur 3.3.10 Rosediagram med orienteringer av brudd fra bakgrunnslokaliteter. Den dominerende bruddorienteringen er NNØ-SSV.



Figur 3.3.11. Skjærbrudd målt ved lineamentene på Herstad og Folvåg. (A) Slip linearplott som viser orientering av alle forkastningsplanenes poler (prikk) og bevegelsesretning for hengblokka (pil). (B) Orienteringer av normalforkastninger presentert som plan (venstre) og konturering av poler til plan (høyre) i stereo-net. (C) Orienteringer av sideveisforkastninger presentert som plan (venstre) og konturering av poler til plan (høyre)

3.6 Borelogger

Boreloggene er presentert i Fig. 3.3.16, og viser de ulike parametrene som er registrert under boringene. Første kolonne viser dybde ned til fjell, indikert med tykkelse av overliggende løsmasse. To av brønnene (brønn 1 og 5) er boret ned i ≥ 10 meter med løsmasse, mens de resterende er boret $< 3,5$ meter i løsmasse. Løsmassetykkelsen kan ha innvirkning på brønnenes kapasitet, siden disse ofte representerer en betydelig akvifer, selv om foringsrøret i toppen av brønnen er forseglet mot fjell.

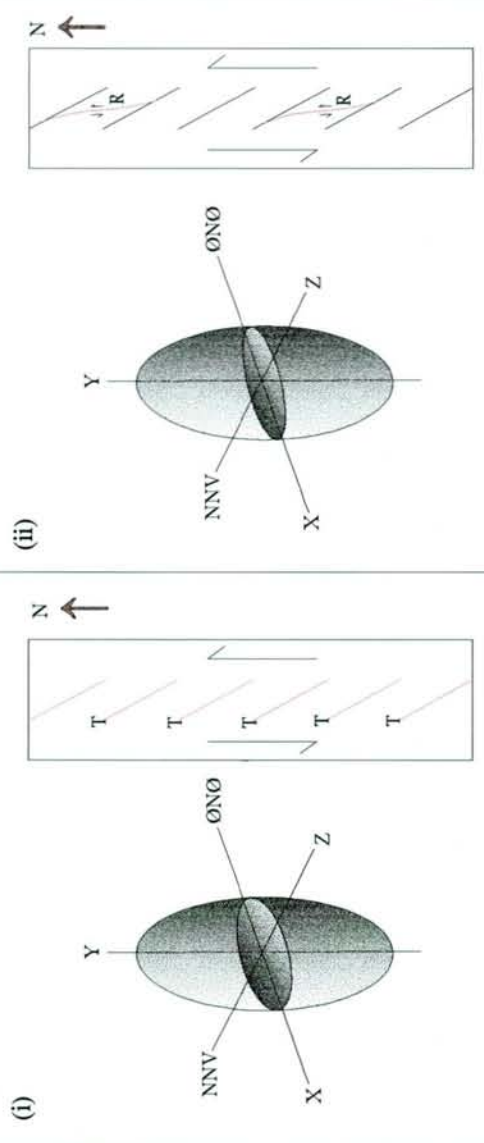
I andre kolonne er borsynken beskrevet. Den er enten jevn, god eller ujevn. Jevn synk på borret indikerer en relativt fast, homogen bergart med få eller ingen sprekker og forkastninger. Ved god synk er bergarten homogen, men har noe lavere kompetanse, evt. er sprøere enn ved jevn synk. Ujevn synk indikerer at bergarten er inhomogen, og kan inneholde kompetente og inkompetente legemer. Det er også mulig at ujevn synk skyldes opptreden av sprekker og forkastninger.



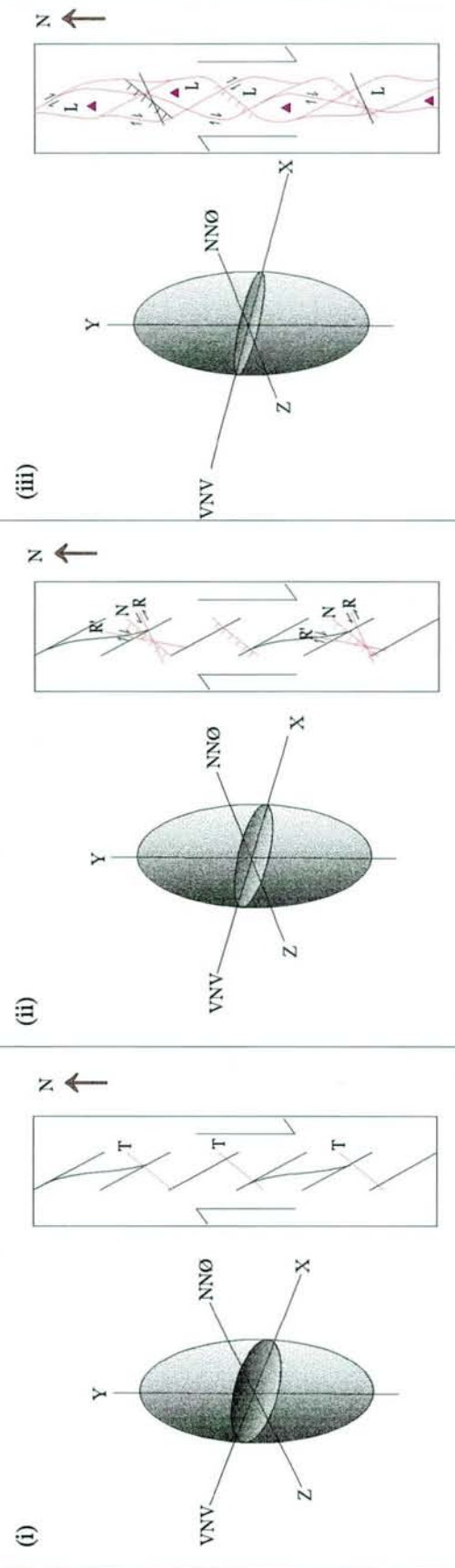
Figur 3.3.12 Rød forkastningsbreksje i sentralsonen av et lineament. Breksjen ligger i skjærpinser, som følger en bruddsone langs lineamentet.

Figur 3.3.13 Lineamentene kan være dannet ved to forskjellige tektoniske hendelser, begge muligens av lokal betydning. Modellen viser progressiv utvikling med en strain-ellipsoide (venstre) og bruddutvikling og orientering (høyre). Den første hendelsen (A) er karakterisert ved en NNV-SSØ forkorningsakse, med dannelse av tensile (T) and Riedel skjær- (R) brudd. Den andre hendelsen (B) er karakterisert av en NNØ-SSV forkorningsakse, og har resultert i tensile brudd (T), normalforkastninger (N), konjugerte sett av Riedel skjær (R & R') og skjærlinser (L) med innhold av breksje.

A. Dannelse av populasjon 1

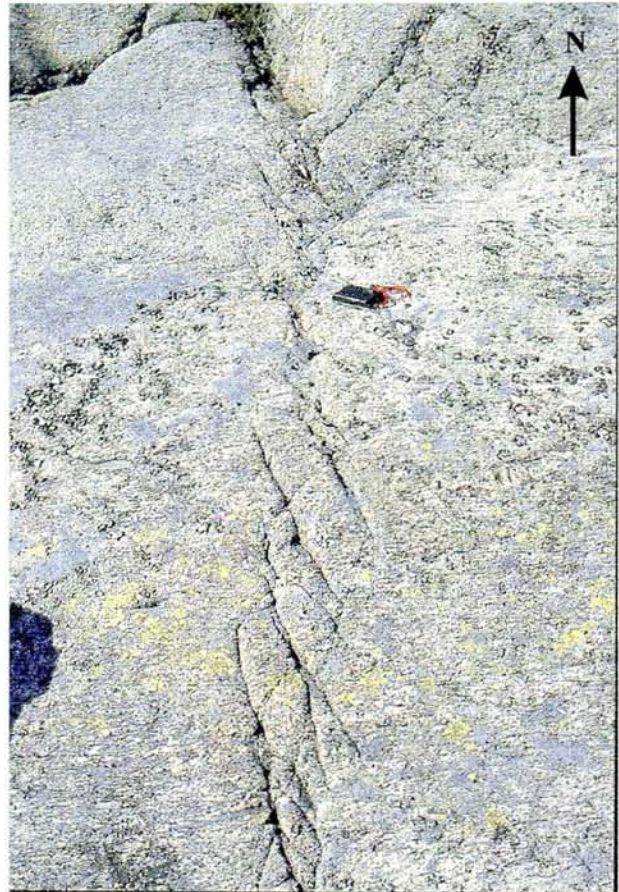


B. Dannelse av populasjon 2





Figur 3.3.14 Bildet viser en echelon sprekkesett (tension gashes), og er et eksempel på tensjonsbruddene (T) i populasjon 1.




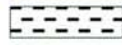



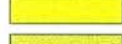







Figur 3.3.15 Sinistral Riedel (R) skjærbrudd har utviklet seg langs et sprekkesett (T) under progressiv deformasjon.

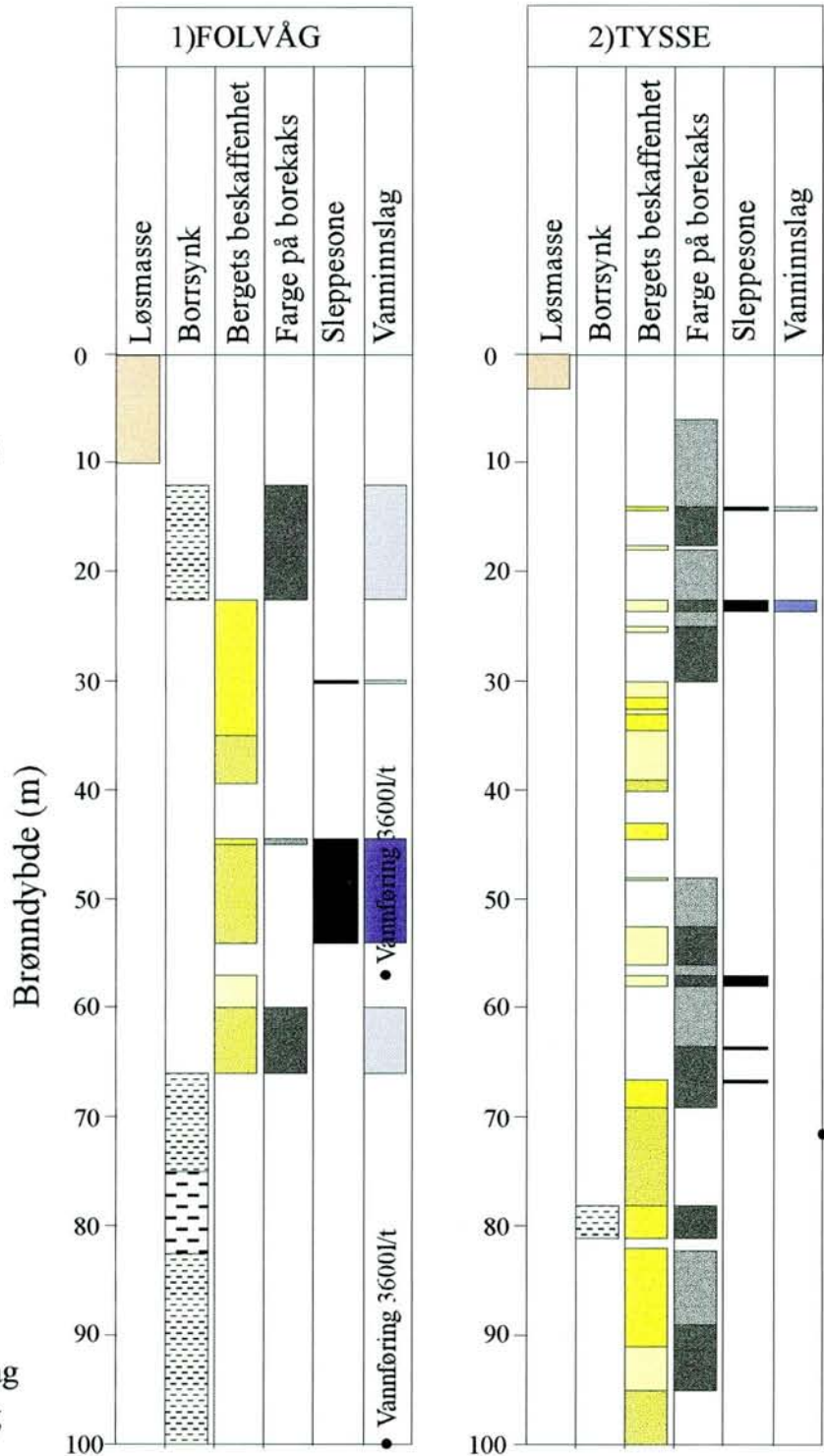
Bergets beskaffenhet er notert i tredje kolonne. Denne er beskrevet som løst, meget løst eller skiftende løst. Når bergarten er løs, har den lavere kompetanse i forhold til det «normale» for gjeldende brønn. Dette kan for eksempel skyldes opptreden av glimmerskifer eller andre inkompetente bergarter. Meget løst kan bety at fjellet har enda større kompetansekontrast i forhold til «normalen», eller opptreden av forkastninger og/eller sprekker. Skiftende løst indikerer lokale variasjoner i bergarten. Eksempler på det kan være enheter av forskjellige litologier, og sprekker og forkastninger. Når berget er skiftende løst, har boreriggen ujevn synk, uten at dette nødvendigvis er spesifisert i loggen.

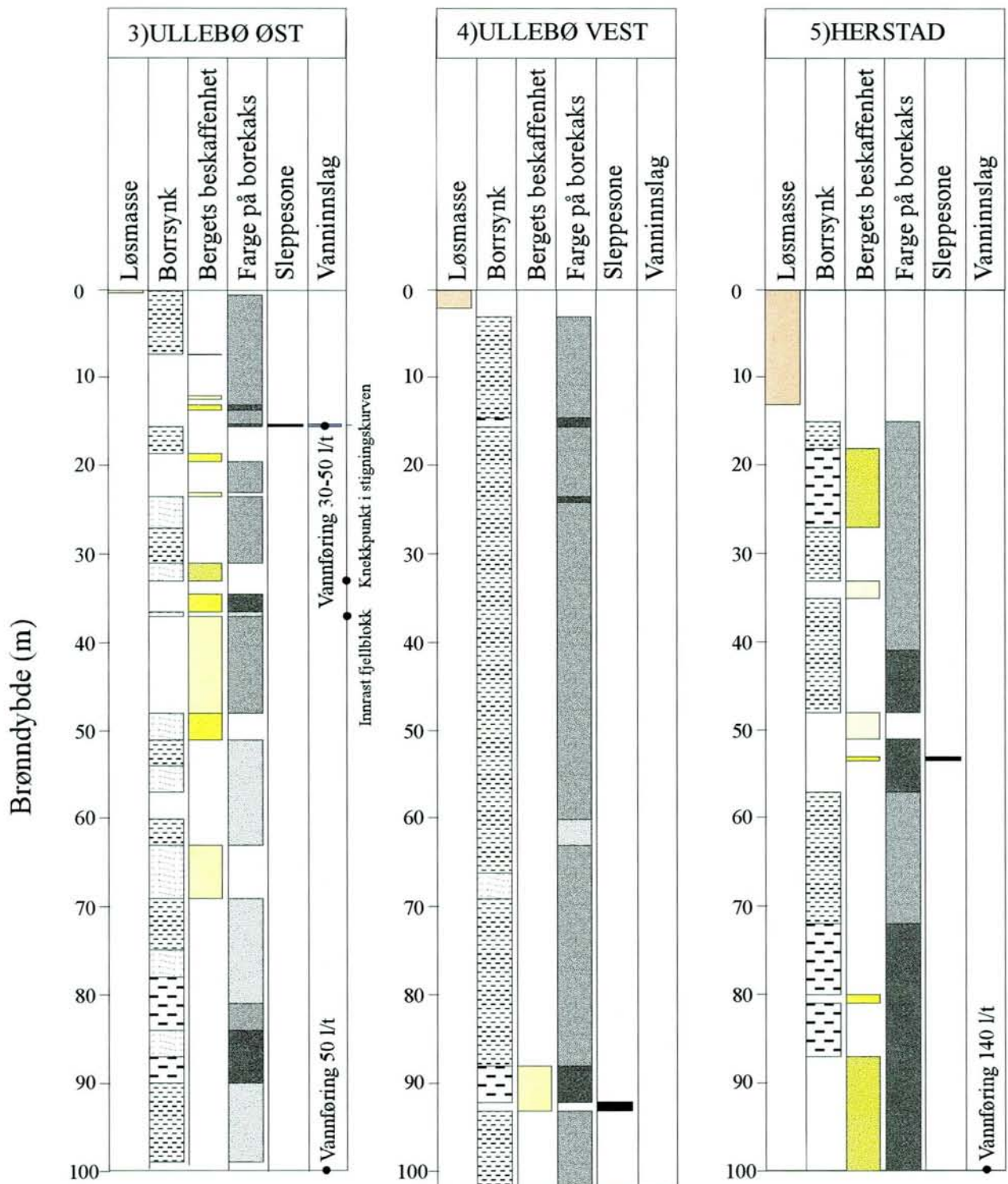
I fjerde kolonne er farge på borekaks beskrevet. Det kan være lyst, grått eller mørkt. Det er verdt å merke seg at borekaksens beskaffenhet, dvs biter/grus eller kun mel, har betydning for fargen, og da spesielt i kombinasjon med vann. Variasjoner i farge reflekterer variasjoner i bergartenes sammensetning. Til sammenligning med de andre boreloggparametrene, er fargen relativt ensartet for brønner med relativt få endringer i borrsynk og bergets beskaffenhet. Dette gjelder spesielt for brønn 4 (Ullebø vest). En slik sammenheng tyder på at fargen også varierer ved kompetansekontraster i bergarten. En tilleggsmulighet er at sekundære sprekkedyllinger og forkastningsbreksje gir utslag på loggen med hensyn på farge.

Figur 3.3.16 Borelogger fra brønnene. Flere parametre er registrert under boringene, inkludert avstand ned til fjell, borsynkkarakteristikk, bergets beskaffenhet, farge på borekaks, opptreden av sleppesoner, vanninnslag og vannføring. I tillegg er knekkpunkter i senknings- og stigningskurvene fra pumpetestene indikert. Brønn 3 er blokkert av en innrast fjellblokk ved 33 meters dyp. I de hvite feltene er det ingen registreringer.

Tegnforklaring

-  Løsmasse
-  God synk
-  Jevn synk
-  Ujevn synk
-  Meget løst
-  Løst
-  Skiftende løst
-  Lyst
-  Grått
-  Mørkt
-  Sleppe/lugging
-  Fuktig
-  Moderat vanninnslag
-  Kraftig vanninnslag





Figur 4.16 (forts.)

De to siste kolonnene viser sleppesoner, vanninnslag, og delvis vannføring. Sleppesoner er sprekker eller forkastninger. Disse kontrollerer i all hovedsak vanninnslagene, med unntak av tilfeller med tilførsel av vann fra overliggende løsmasser. I loggen er noteringene for vanninnslag gjort i punkter hvor det er en markert økning i vannføring (moderat eller kraftig vannføring), eventuelt hvor oppkommende støv går over til å bli slam (fuktig), eller det slutter å støve i en periode. Vanninnslag kan vanskelig registreres nøyaktig, og det er sannsynlig at mange av sleppene er vannførende, uten at dette kommer fram av loggen. Et hovedtrekk er at soner med lite vann ikke registreres, mens store vanninnslag kan angis rimelig nøyaktig, både når det gjelder posisjon og vannføring.

Resultatene fra prøvepumpingene kan gi gode indikasjoner på oppreden av vannførende brudd. Til høyre for boreloggene (Fig. 3.3.16) indikeres knekkpunkter i senknings- og stigningskurvene. For brønn 2 (Tysse) er det registrert et knekkpunkt i begge kurvene ved 72 meter under topp brønn (mutb). Stigningskurven for brønn 3 har et knekkpunkt på 33 mutb. Knekkpunktene kan representere permeable bruddsoner. I brønn 3 er det en innrast fjellblokk på 37 mutb, noe som også tyder på oppreden av en bruddsone. Det er viktig å merke seg at knekkpunkt fra prøvepumpingen, og anslåtte vannmengder, ikke uten videre kan sammenlignes med resultatene fra borloggingen.

3.6.1 Berggrunnstolkning

På grunnlag av loggene er det gjort en tolkning av berggrunnen hvor brønnene er boret (Fig. 3.3.17). Det er fokusert på hvorvidt berggrunnen er oppsprukket eller ikke. Ved dybder hvor sleppesoner er markert i boreloggen, er det liten tvil om det finnes svakhetssoner av et eller annet slag. Alle soner med vanninnslag er også tolket til å være bruddsoner, unntagen der hvor det er sannsynlig at vannet stammer fra lekkasje ved foten av foringsrøret. Også der hvor berget er meget løst eller skiftende løst, eller hvor det er ujevn synk på borret, kan det være oppsprekning. Disse sonene, med unntak av en sone med vanninnslag, er derfor indikert som mulige bruddsoner. Jevn og god synk antas generelt å representere homogene og faste bergarter, og indikerer derfor lite eller ingen oppsprekning. Når bergartene betegnes som løse, er det bergartens kompetanse som gjenspeiles. Likevel bør en ikke utelukke at «løsheten» kan skyldes soner/partier med sprekker eller forkastninger. Soner hvor denne egenskapen er notert, er derfor betegnet som «bruddsone ikke utelukket». Tolkningene av boreloggene er i Fig. 3.3.18 plassert i forhold til hvor brønnene er boret i lineamentene. Plasseringen er basert på en flybildetolkning av lineamentene. Horisontalaksen indikerer avstand (m) til lineamentenes sentralpunkt. Sentralpunktet er angitt som 0 meter.

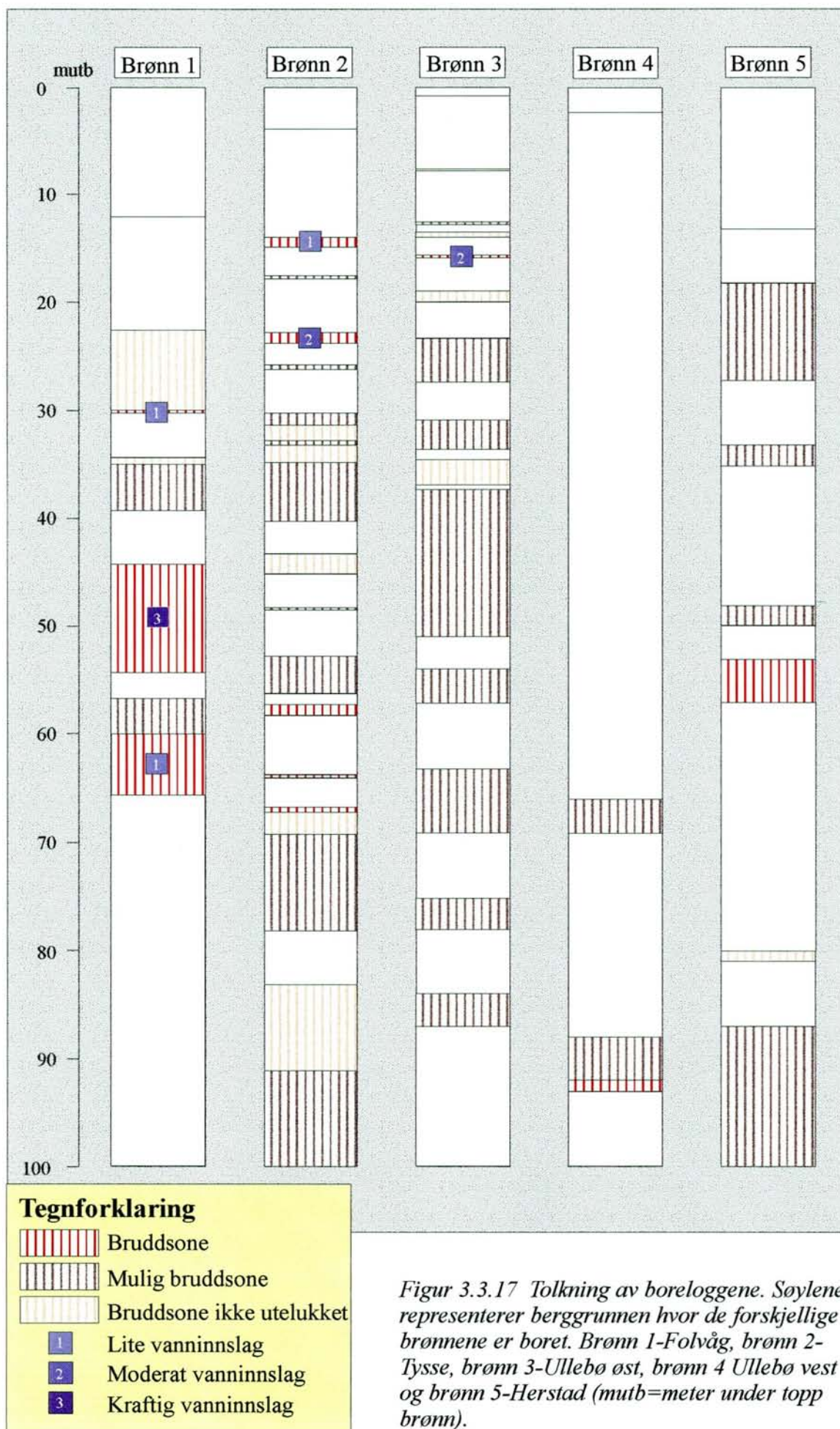
Brønn 1 (Folvåg) er artesisk, og har en meget god kapasitet (4400 l/t). I øvre del er det observert et mindre vanninnslag. På grunnlag av de andre observerte parameterene, og i tillegg et tykt overliggende dekke av sedimenter, antas vanninnslaget å komme fra åpne sprekker opp mot sedimentdekket. Brønnen er boret gjennom tre sikre bruddsoner (Fig. 3.3.17). Ved 30 mutb (meter under topp brønn) opptrer en relativt smal sone som gir noe vann. Den er

lokalisert ved ca 10 meter øst for lineamentets nullpunkt (Fig. 3.3.18). Ved 45 mutb gjennombores en bruddsone som gir store mengder vann (3600 l/t). Sonen fortsetter ned til 54 mutb. Denne relativt brede sonen er antagelig lokalisert i lineamentets senter, og har en horisontal utbredelse ca 2,75 meter mot øst og 2 meter mot vest. Et lite vanninnslag mellom 60- og 66 mutb, dvs 5-8 meter utenfor nullpunktet, indikerer opptreden en noe mindre bruddsone. Andre mulige bruddsoner i brønnen ligger fordelt mellom 22 og 60 mutb, som utgjør en sone fra 14 meter øst til 5 meter vest for nullpunktet. Tilsammen utgjør disse bruddsystemene en horisontal sone mellom 14 m øst og 8 meter vest for lineamentsenteret, hvor det kraftigste vanninnslaget er observert i - eller meget nær den sentrale delen.

Brønn 2 (Tysse) har minst fem bruddsoner. De er små, og inntreffer ved 14, 22, 57, 63 og 66 mutb (Fig. 3.3.17). To av bruddsonene er vannførende. De opptrer ca 18 og 13,5 meter øst for nullpunktet i lineamentet (Fig. 3.3.18). De resterende er lokalisert 3, 7 og 8 meter vest. 14 forskjellige svakhetssoner er i tillegg tolket til å være mulige bruddsoner. De er fordelt på dyp mellom 17,5-100 mutb, dvs fra 16 meter øst til 25 meter vest for lineamentets nullpunkt. Sammenlagt utgjør bruddsystemene en sone fra 18 meter øst til 25 meter vest i forhold til lineamentets nullpunkt, og hvor vannførende brudd opptrer mellom 18 og 13,5 meter øst for nullpunktet (Fig. 3.3.18). Under prøvepumpingen hadde brønnen en kapasitet på 142 l/t.


Brønn 3 og 4 (Vadheim øst og vest) er boret i samme lineament, med ca 60 meters avstand fra hverandre. Brønn 3 har en sikker bruddsone ved 15 mutb (Fig. 3.3.17). Bruddsonen er vannførende. I forhold til lineamentet er den lokalisert 17 meter øst for nullpunktet (Fig. 3.3.18). Det er i tillegg funnet tolv mulige bruddsoner, fordelt på dyp mellom 7 og 87 mutb, og fra 21,5 meter øst til 18,5 meter vest for lineamentets nullpunkt. Brønn 4 har også en sikker bruddsone. Denne er lokalisert mellom 92 og 93 mutp, dvs ved 21 meter øst for lineamentets nullpunkt. To mulige bruddsoner opptrer mellom 66 og 92 mutb, og i forhold til lineamentet utgjør dette en sone mellom 19 og 25 meter øst for nullpunktet. Til sammen utgjør de mulige bruddsystemene en sone mellom 21,5 meter øst og 18,5 meter vest for lineamentets nullpunkt, hvor det er et innslag av vann ved 17 meter øst for nullpunktet. Brønn 3 har en relativt god kapasitet (400 l/t), mens brønn 4 gir minimale mengder med vann (13 l/t). Brønn 4 har en noe usikker plassering i forhold til lineamentet. Den lave kapasiteten kan derfor forklares med at lineamentet dør ut ved brønnlokaliteten, eller at brønnen er boret utenfor sentral- og marginaldelen av lineamentet.

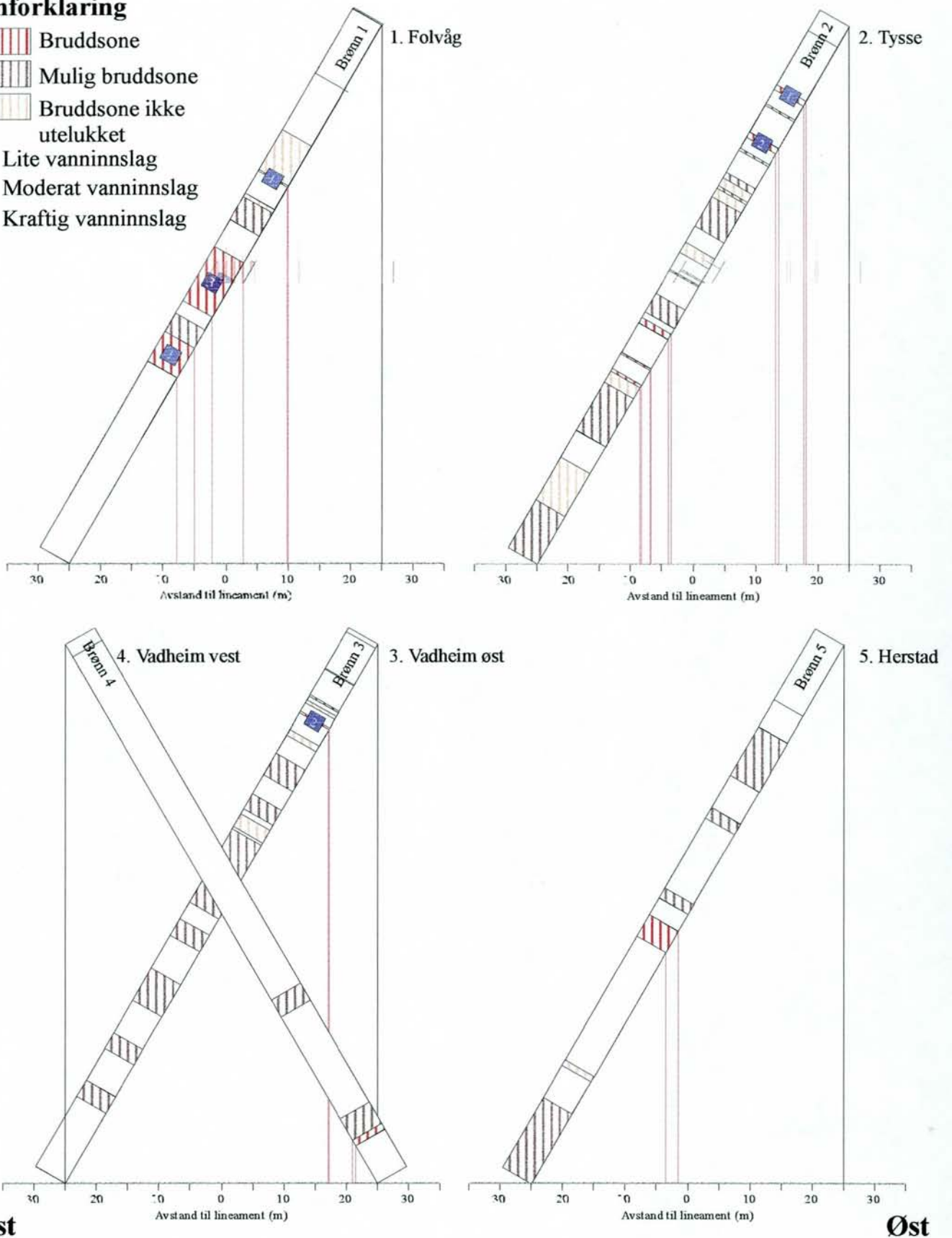
Brønn 5 (Herstad) har minst én bruddsone. Denne er observert på et dyp på 53 mutb, og opptrer i en sone mellom 1,5 og 1,7 meter vest i forhold til lineamentets nullpunkt. Fire andre mulige bruddsoner opptrer mellom 53 og 100 mutb, dvs 16 meter øst til 25 meter vest for lineamentets nullpunkt. Det er ingen registrerte vanninnslag for noen av bruddsonene. Likevel har brønnen en kapasitet på 692 l/t, som er registrert under pumpetestene noen uker etter boringene. Den høye kapasiteten kan tildels skyldes at brudd som har blitt tettet igjen av finkornet materiale under boringene, senere har blitt gjenåpnet og tilfører vann til brønnen.



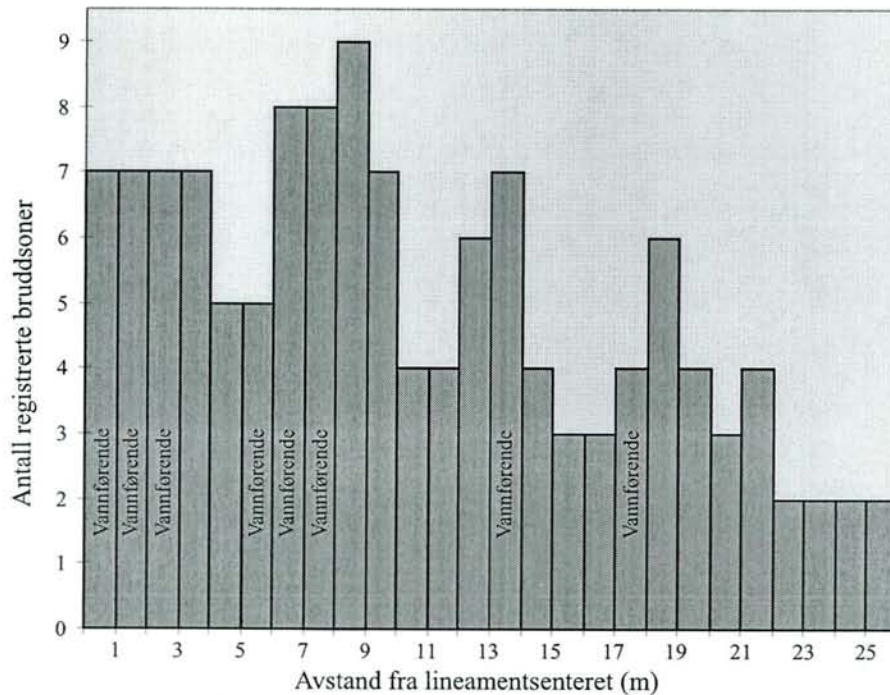
Figur 3.3.17 Tolkning av boreloggene. Søylenes representerer berggrunnen hvor de forskjellige brønnene er boret. Brønn 1-Folvåg, brønn 2-Tysse, brønn 3-Ullebø øst, brønn 4 Ullebø vest og brønn 5-Herstad (mutb=meter under topp brønn).

Tegnforklaring

-  Bruddzone
-  Mulig bruddzone
-  Bruddzone ikke utelukket
-  1 Lite vanninnslag
-  2 Moderat vanninnslag
-  3 Kraftig vanninnslag



Figur 3.3.18 Grunnvannsbrønnenes plassering i forhold til lineamentene, basert på flybildetolkning. De røde linjene indikerer hvor de sikre bruddsonene ligger.








Figur 3.3.19 Antall mulige brudd (tolkning fra borelogger) registrert per meter fra lineamentenes midtpunkt. Opptreden av vannførende brudd er også indikert.

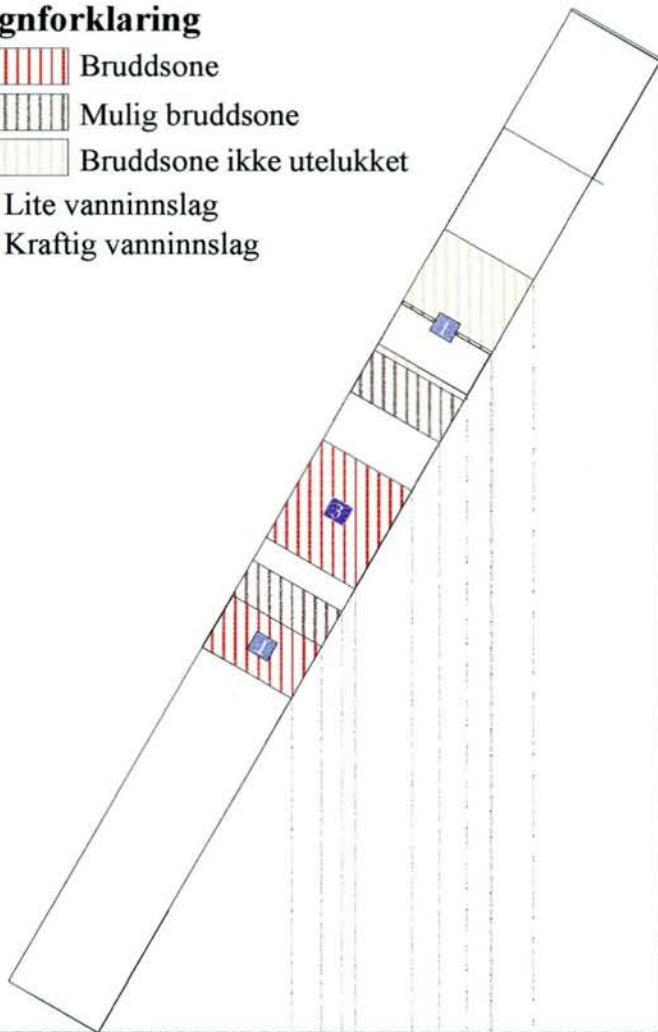
En sammenstilling av resultatene fra boreloggene er gjort i Fig. 3.3.19. Alle brudd (sikre, mulige og ikke utelukkede) fra brønntolkningene er fordelt på avstand til lineamentenes midtpunkt. For hver meter er antall brudd summert, og resultatene er presentert i et histogram. Brudd i denne sammenhengen betyr bruddsoner. Ved avstander med vannførende brudd er det markert «vannførende». Histogrammet viser at den høyeste bruddsonefrekvensen (opptil 9) er mellom 6 og 10 meter fra lineamentenes midtpunkt. Også i den sentrale delen av lineamentene, dvs fra 0 til 4 meter, er det en relativt høy frekvens (7 brudd). Begge disse sonene har vannførende brudd. I tillegg opptrer det vannførende brudd ved 13-14 meter og 17-18 meter. Disse har en bruddfrekvens på henholdsvis 7 og 4 brudd per meter. Til tross for et manglende statistisk grunnlag, indikerer histogrammet at sonen med høyest bruddfrekvens og vannførende brudd, dvs mellom 6 og 10 meter fra lineamentenes midtpunkt (marginaldelen), har det beste potensialet for grunnvannsstrømning. Det er også klart at de innerste 4 meterne har et brukbart grunnvannspotensiale (sentraldelen). Dette er nærmere diskutert i avsnitt 6.

3.6.2 Borelogg vs bruddfrekvens

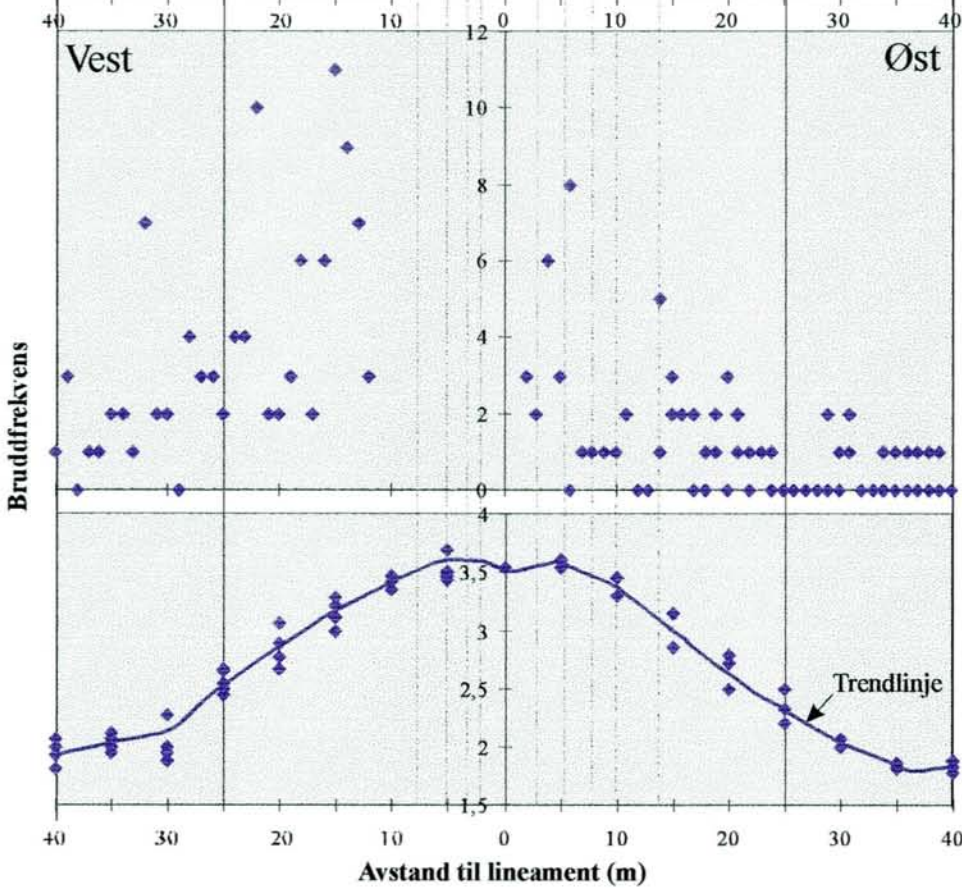
Resultatene fra boreloggen for brønn 1 (Folvåg) er sammenlignet med den generelle bruddfrekvens-fordelingen for alle lineamentene. I Fig. 3.3.20 er løpende gjennomsnitt av 20 registreringer av bruddfrekvensen, sortert etter avstand fra lineamentet, plottet nederst i figuren. Brønn 1 er plassert i øvre del, og er korrelert med bruddfordelingen under. Bruddfrekvensdiagrammet viser en relativt høy bruddtetthet i sentraldelen av lineamentet. Denne økningen er representert i form av «bruddsoner/mulige bruddsoner/bruddsoner ikke utelukket» mellom 14 og 8 meter på hver sin side ut fra sentralpunktet av lineamentet hvor brønn 1 er boret. Spesielt sentraldelen fremstår som en bred bruddsone med høy vannføring. Ved 10 meter øst og 5-8 meter vest for sentralpunktet er andre vannførende brudd registrert. Denne brønnen ved Folvåg eksemplifiserer at bruddfrekvensen er høyest i de nærmeste 10-14 meterne fra lineamentets sentralpunkt, og at vilkårene for grunnvannsstrøm er best i denne delen av lineamentet. En slik situasjon tilsier at bruddsystemet i sentral- og/eller marginaldelen er permeabel, og at flere av bruddene er åpne. Breksjering og sekundær mineralisering kan være av underordnet betydning i det aktuelle området. Eventuelt kan bruddsystemet ha vært reaktivert, noe som har ført til nyåpning av bruddene (se avsnitt 6).

Tegnforklaring

-  Bruddsone
-  Mulig bruddsone
-  Bruddsone ikke utelukket
-  Lite vanninnslag
-  Kraftig vanninnslag



Figur 3.3.20 Sleppesoner og vanninnslag for brønn 1 (Folvåg) korrelert med bruddfrequens rundt lineamentet på Folvåg (midten) og gjennomsnittlig bruddfrequens fra alle regionale bruddprofiler (under). Gjennomsnittlig bruddfrequens er beregnet fortløpende av 20 målelokaliteter, sortert etter avstand.



4. RESULTATER FRA PRØVEPUMPING

I dette kapitlet presenteres resultater fra korttidstestene av brønner i omtalte områder, og senkningskurvene er gitt i Fig. 4.1 til Fig. 4.8. I alle kurvene er enhet for y-aksen vannstand i «meter over trykksensor» (mos). Vannstand i «meter under topp brønn» (mutb) er da gitt som; vannstand (mutb) = pumpe/sensor-plassering (mutb) minus sensorvannstand (mos)

I alle testene ble det pumpet inntil en tilnærmet stabil vannstand ble oppnådd. Vannmengden som ble pumpet ut ved «stabil» vannstand (Q_{stabil}) ble målt manuelt. Forholdstallet mellom Q_{stabil} og tilhørende vannstandsavsenkning gir det mest representative målet for den spesifikke kapasiteten for de enkelte brønner (kolonnen lengst til høyre i tabell 4.1).

Data for utpumpet vannmengde ble ikke registrert under disse testene, men jeg har brukt standard kapasitetskurve for den aktuelle pumpen og tilpasset denne utfra de manuelle mengdemålinger som ble gjort i felt. Dette gir orienterende tall for utpumpet vannmengde og vi kan gjøre en orienterende beregning for vanntilsig under senkningsfasen (Q_{senk}). De sentrale data fra senketest og stigetest (Q_{stig}) er gitt i tabell 4.1.

4.1 Folvåg

Det ble utført to tester idet tilsiget var så stort at vi under test nr 1 ikke klarte å oppnå mer enn 9 m avsenkning (Fig. 4.1). Det ble målt en vannmengde på 2570 l/t ved tilnærmet stabil vannstand 19 mutb ($Q_{\text{spesifikk}} = 286 \text{ l/t/m}$). Vannmengde beregnet fra senketest er av samme størrelse, d.v.s. tilsig fra lokal «sprekkesporøsitet» synes å være av underordnet betydning i forhold til tilsig fra åpne sprekkesystemer. Vanntilsiget beregnet utfra stigedata (del A av grafen i Fig. 4.1) er betydelig lavere (790 l/t). Brønnen viser imidlertid et klart eksponentielt stigeforløp, uten knekkpunkter, og stige kapasiteten er beregnet utfra midlere stigningstall i første fase (2-3 min.) av stigningen. Den momentane stigningen umiddelbart etter at pumpen ble stoppet er imidlertid betydelig høyere og gir en stige kapasitet av størrelsen 1500-2000 l/t. Det eksponentielle stigeforløpet indikerer en meget godt oppsprukket bergart som fra et hydraulisk synspunkt oppfører seg som en poreakvifer.

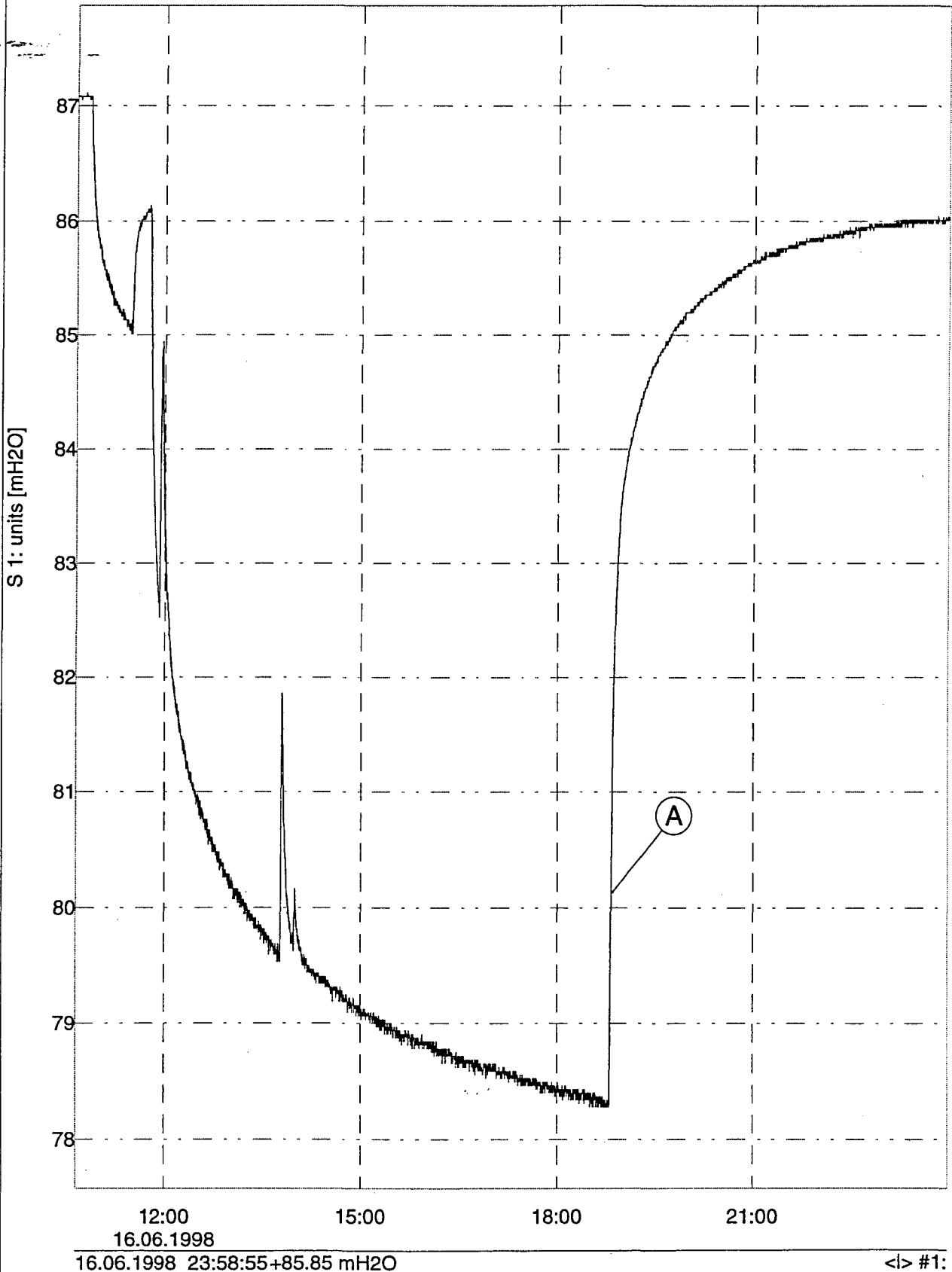
Test nr 2 ble gjennomført med en større pumpe og det ble målt en vannmengde på 4400 l/t ved tilnærmet stabil vannstand 31 mutb ($Q_{\text{spesifikk}} = 220 \text{ l/t/m}$). Vanntilsiget beregnet utfra midlere stigedata er lavere (2610 l/t). Igjen viser brønnen et klart eksponentielt stigeforløp og den momentane stigningen umiddelbart etter at pumpen ble stoppet er meget høy og gir en stige kapasitet av størrelsen 150.000-200.000 l/t (Fig. 4.2).

En sammenstilling av vannstandskurver fra begge tester er gitt i Fig. 4.3.

HOTBOX BA2S ID:3524
FOLRUN04.MDF 17.06.1998 19:10:39
Log Interval: 12 s
Module Tag: Follevåg - Askvollprosjektet
Data Description:

Fig. 4.1 Logget tid-vannstand i brønnen ved Follevåg under og etter første pumping.

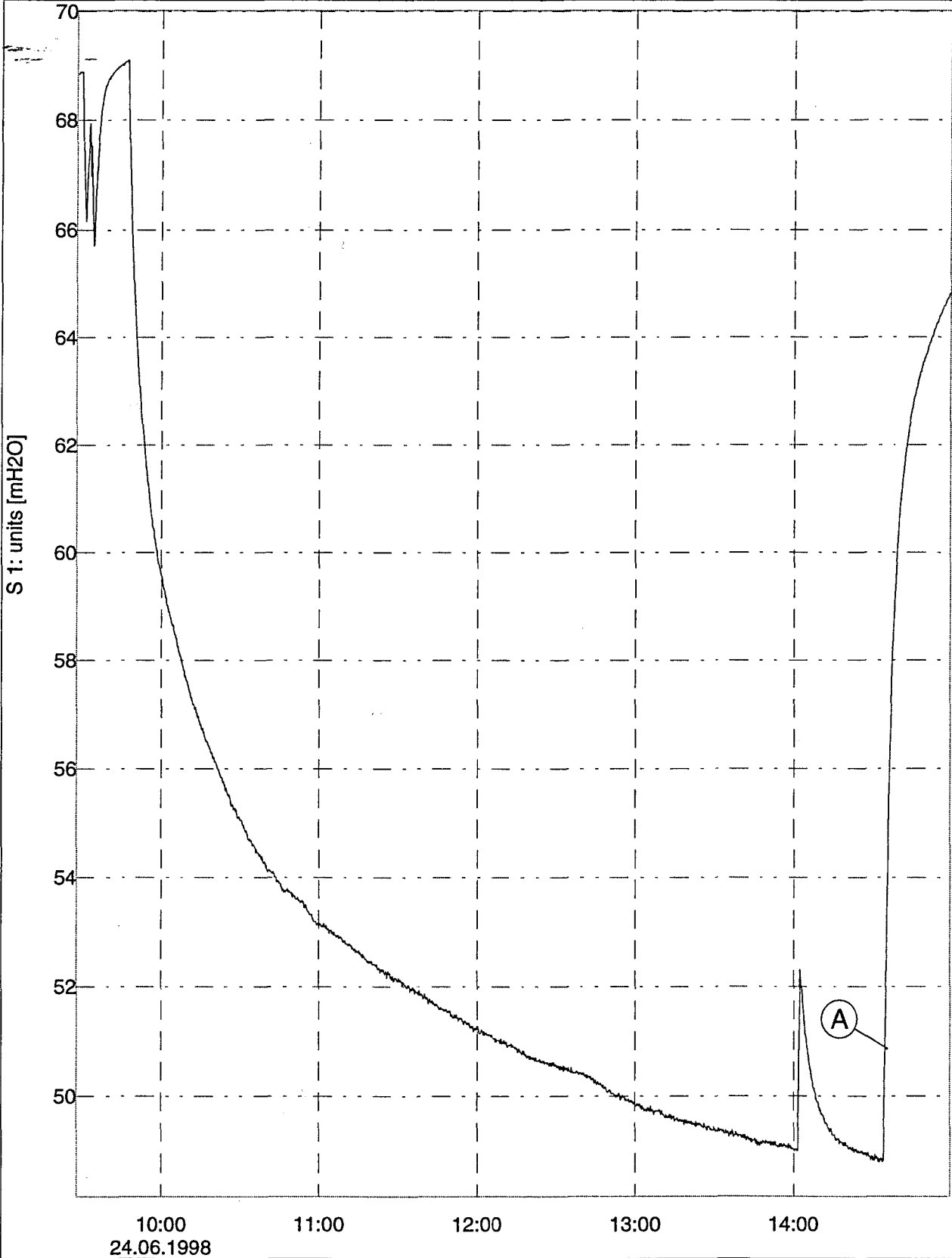
Prosjekt: Askvoll
Lokalitet: Follevåg, Askvoll kommune
Test nr 1
Pumpeplassering: 97 m under topp brønn (mutb)
Vannmengde ved stabil vannstand 19 mutb: 2570 l/t
A) Stigetall = 56 m/t = 790 l/t



HOTBOX BA2S ID:3524
FOLVÅG2.MDF 24.06.1998 14:59:34
Log Interval: 12 s
Module Tag: Folvåg,2- Askvollprosjektet
Data Description:

Fig. 4.2 Logget tid-vannstand i brønnen ved Folvåg under og etter andre pumping.

Prosjekt: Askvoll
Lokalitet: Folvåg , Askvoll kommune
Test nr 2
Pumpeplassering: 80 m under topp brønn (mutb)
Vannmengde ved stabil vannstand 31 mutb: 4400 l/t
A) Stgetall = 184 m/t = 2610 l/t



24.06.1998 14:59:06+64.63 mH2O

<|> #1:

HOTBOX BA2S ID:3524
FOLRUN04.MDF 17.06.1998 19:10:39
Log Interval: 12 s
Module Tag: Follevåg - Askvollprosjektet
Data Description:

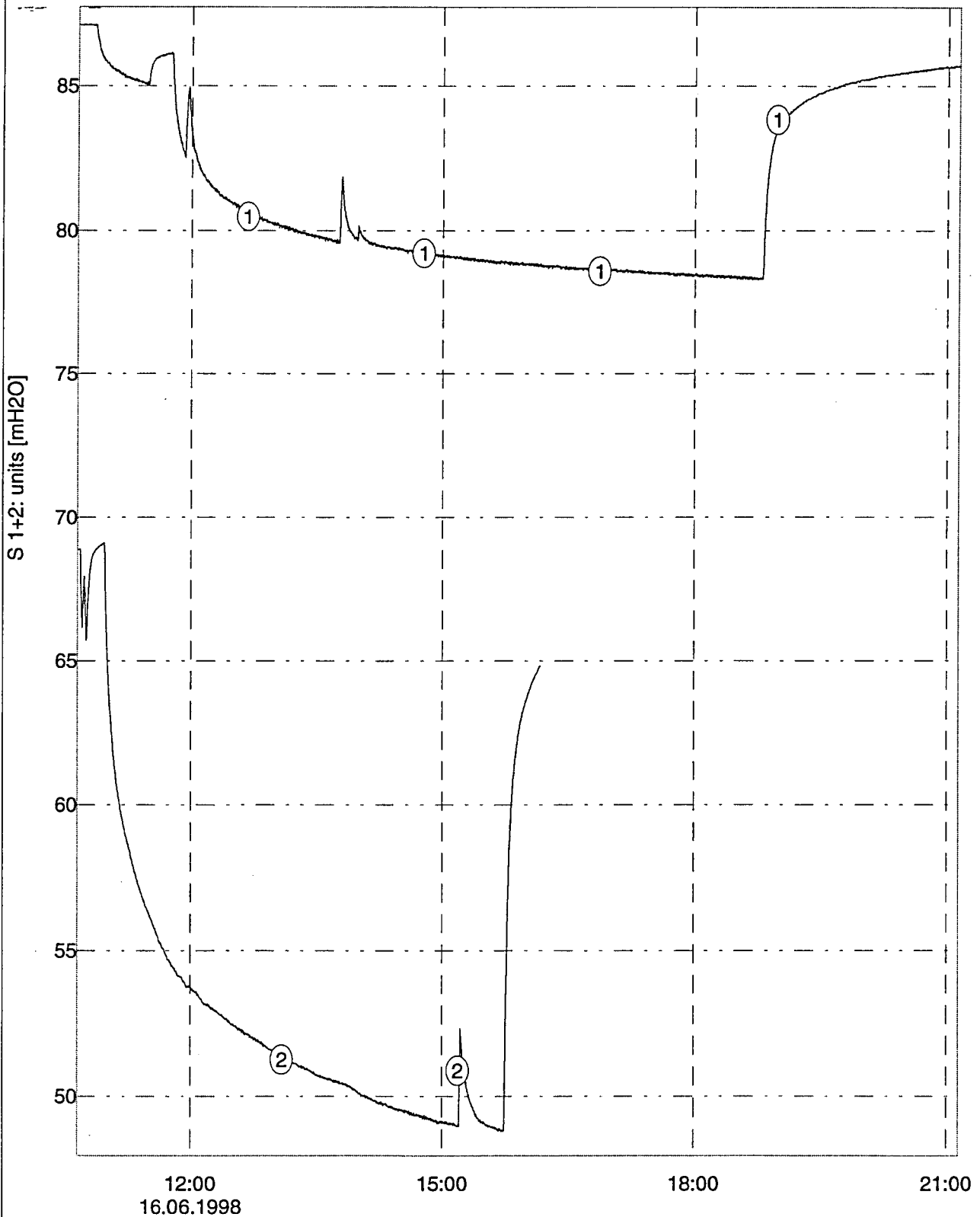
Fig. 4.3 Logget tid-vannstand i brønnen ved
Folvåg ved begge pumpingene.

Prosjekt: Askvoll
Lokalitet: Folvåg, Askvoll kommune

Kurve 1 = test 1, Qut = 2570 l/t ved "stabil" vannstand 19 m under topp brønn

Kurve 2 = test 2, Qut = 4400 l/t ved "stabil" vannstand 31 m under topp brønn

OVL1: S2: HOTBOX BA2S ID: 3524 [FOLVÅG2.MDF] "Folvåg,2- Askvollprosjektet"



4.2 Naustdal

Det ble målt en vannmengde på 692 l/t ved stabil vannstand 70 mutb ($Q_{\text{spesifikk}} = 13 \text{ l/t/m}$). Vannmengde beregnet fra senketest er av samme størrelse (600 l/t), d.v.s. tilsig fra lokal «sprekkeporøsitet» synes å være av underordnet betydning i forhold til tilsig fra åpne sprekkesystemer. Vanntilsiget beregnet utfra stigedata er også nær sagt identisk (612 l/t). Stigningsforløpet er lineært uten antydning til knekkpunkter (Fig. 4.4), hvilket indikerer at vanntilførselen i hovedsak kommer fra overflatenære sprekker.

4.3 Vadheim vest

Vannmengde ved stabil vannstand ble ikke målt. Under senkningen er tilsiget beregnet til 380 l/t, mens stigekapasiteten er betydelig lavere (13 l/t). Det er derfor sannsynlig at tilsiget under senkning i betydelig grad kommer fra lokal sprekkeporøsitet. Stigningsforløpet er lineært uten knekkpunkter (Fig. 4.5), hvilket indikerer at vanntilførselen i hovedsak kommer fra overflatenære sprekker.

4.4 Vadheim øst

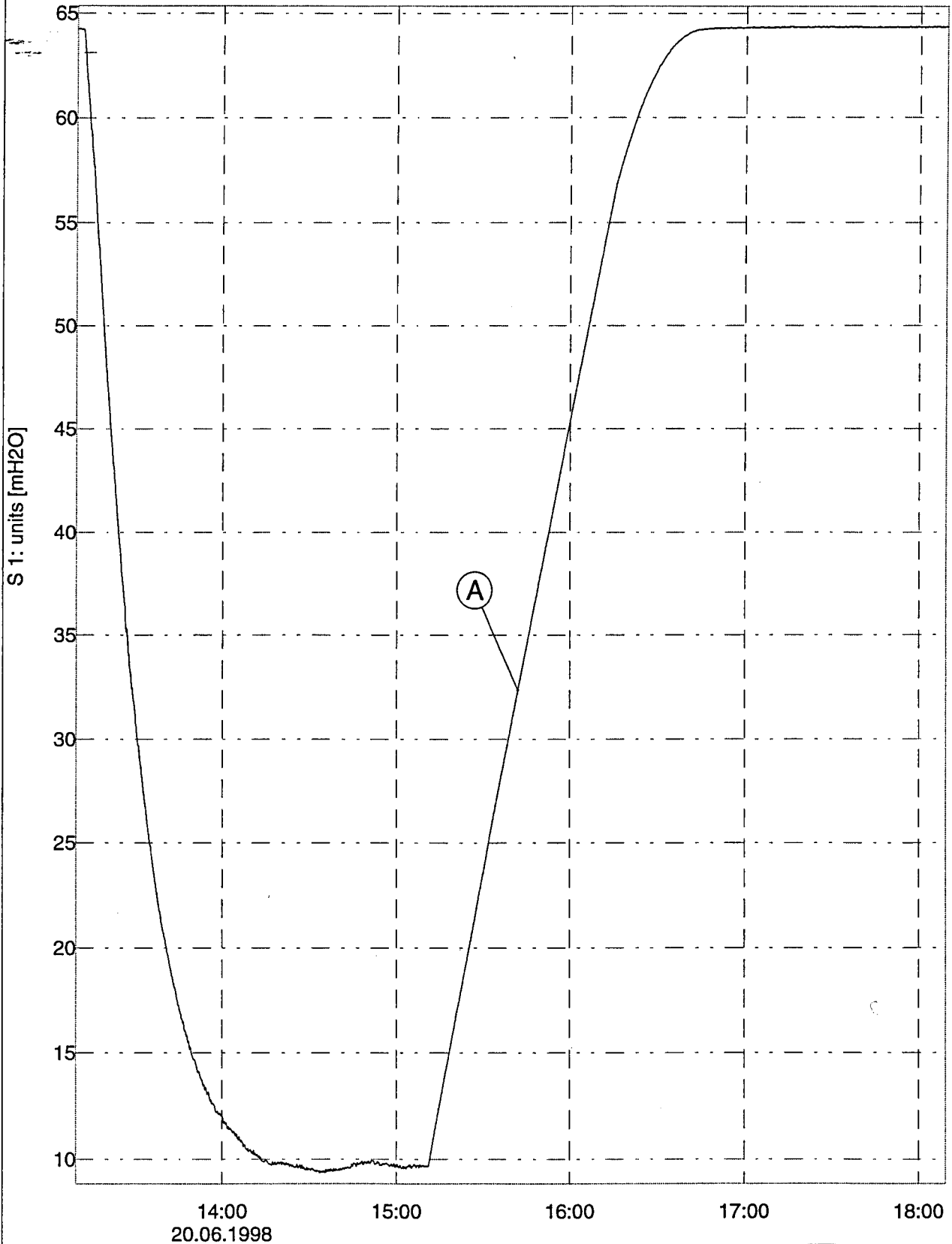
Brønnen var blokkert av innrast fjellblokk på ca 37 mutb. Pumpen ble plassert på 35 mutb og utpumpet vannmengde ble målt til 400 l/t når vannspeilet var trukket ned til pumpen ($Q_{\text{spesifikk}} = 13 \text{ l/t/m}$). Kapasitet beregnet fra senkedata er 2070 l/t, hvilket indikerer et betydelig vanntilsig fra lokal sprekkeporøsitet under senking av vannspeilet i denne øverste delen av borhullet.

Stigningskurven har et markert knekkpunkt på nivå 33 mutb. Innrasningen på nivå 37 mutb sammen med det observerte knekkpunktet tyder på flere markerte sprekkesoner i denne delen av brønnen. Stigeforløpet er lineært opp til knekkpunktet (del B av grafen) og stigehastigheten gir en kapasitet på 1320 l/t. Den videre stigningen er eksponentiell (del A; midlere stigehastighet på 200 l/t), hvilket indikerer vanntilførsel fra sprekker jevnt fordelt langs borhullet (Fig. 4.6).

HOTBOX BA2S ID:3524
NAUSTDAL.MDF 21.06.1998 08:05:49
Log Interval: 12 s
Module Tag: Naustdal- Askvollprosjektet
Data Description: Naustdal

Fig. 4.4 Logget tid-vannstand i brønnen i
Naustdal under og etter pumping.

Prosjekt: Askvoll
Lokalitet: Naustdal , Naustdal kommune
Pumpeplassering: 80 m under topp brønn (mutb)
Vannmengde ved stabil vannstand ca 70 mutb: 692 l/t
A) Stigetall = 43 m/t = 612 l/t

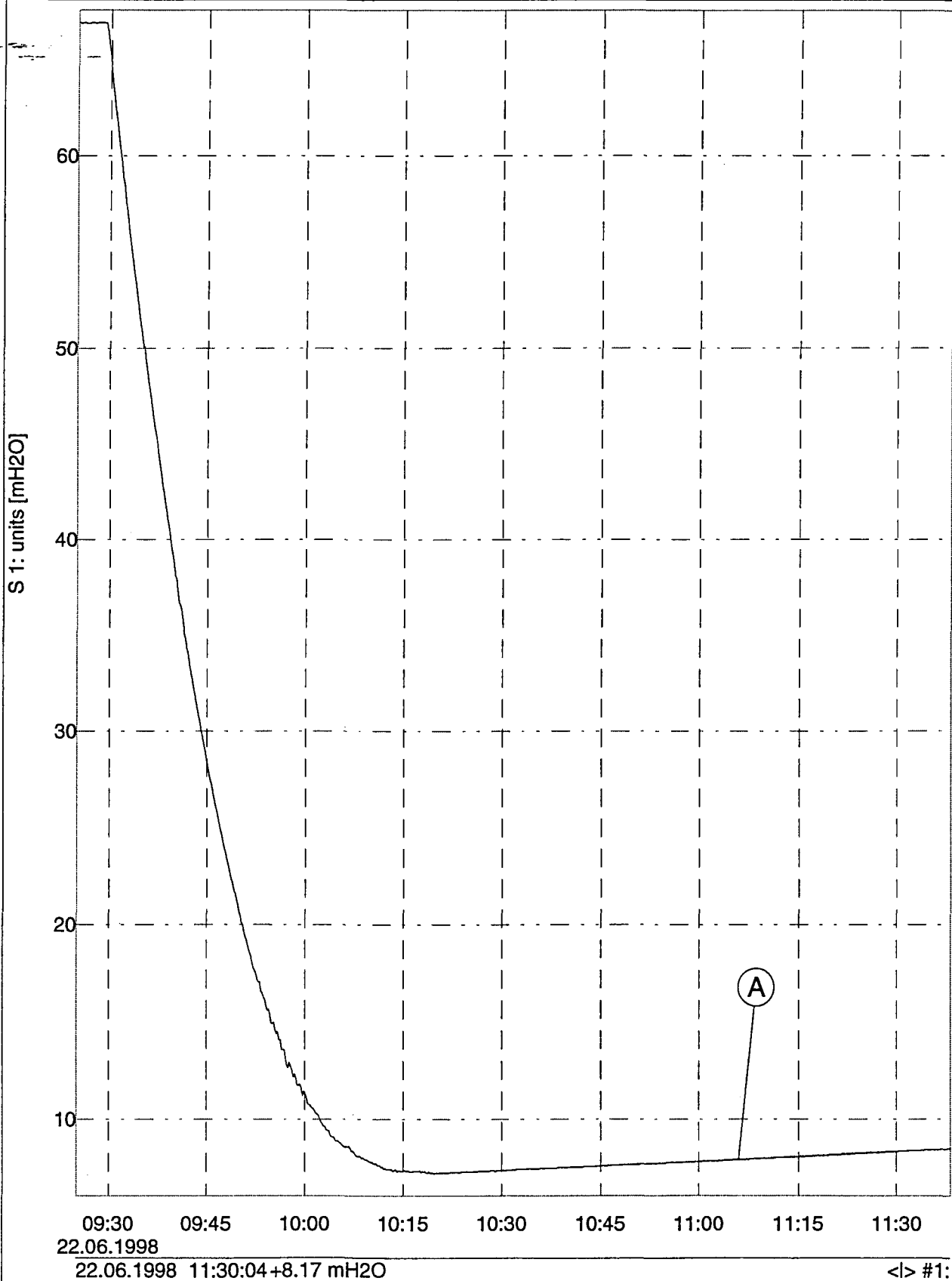


<|> #1:

HOTBOX BA2S ID:3524
VADH-V.MDF 22.06.1998 13:20:28
Log Interval: 12 s
Module Tag: Vadheim v- Askvollprosjektet
Data Description: vadheim v

Fig. 4.5 Logget tid-vannstand i brønnen ved
Vadheim V (Ullebø) under og etter pumping.

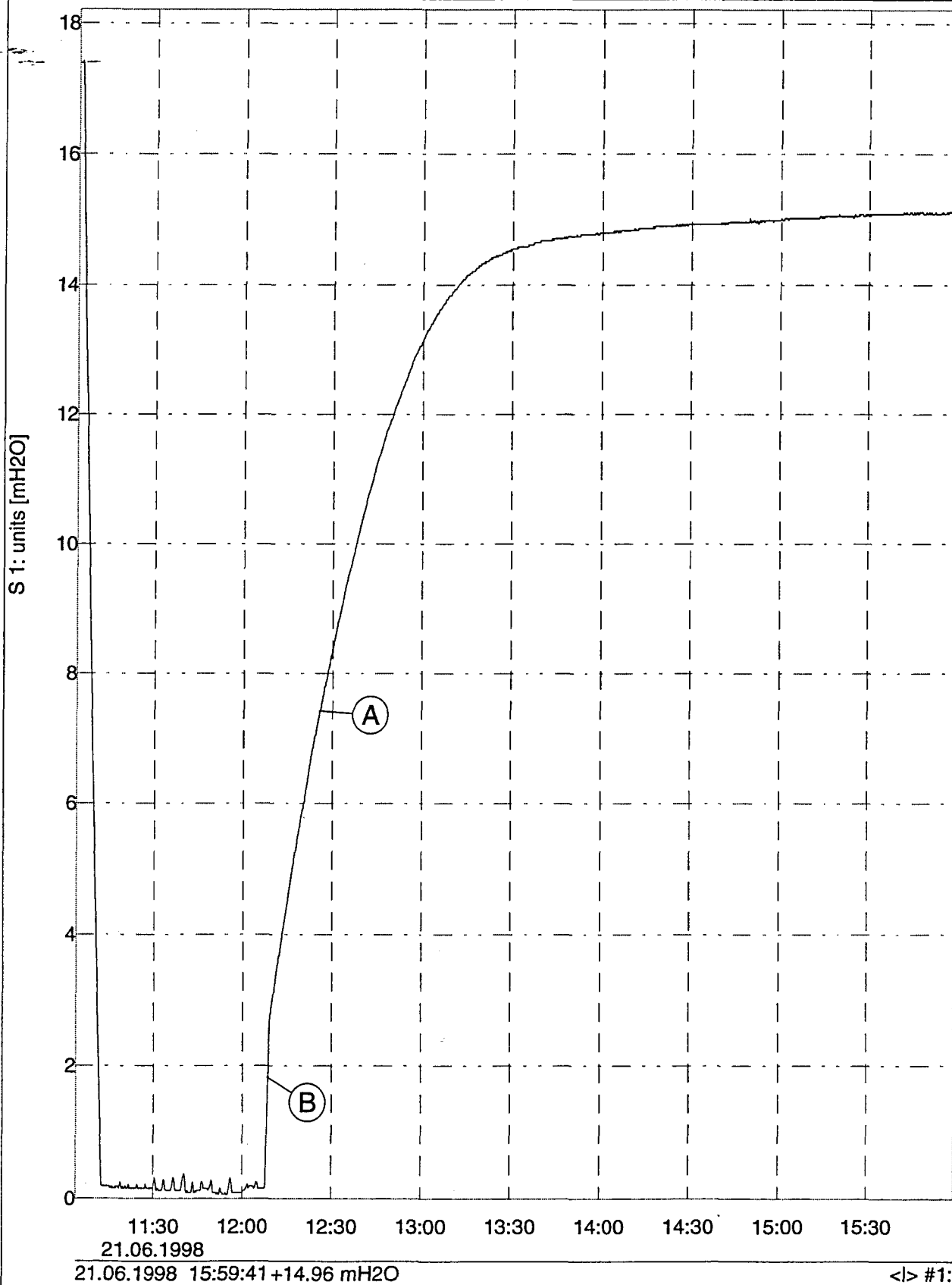
Prosjekt: Askvoll
Lokalitet: Vadheim vest, Høyanger kommune
Pumpeplassering: ca 80 m under topp brønn (mutb)
Vannmengde ved stabil vannstand ca 72 mutb: ikke målt, anslått 140 l/t
A) Stigetall = 0.89 m/t = 13 l/t



HOTBOX BA2S ID:3524
VADH-Ø.MDF 22.06.1998 08:20:09
Log Interval: 12 s
Module Tag: Vadheim Ø- Askvollprosjektet
Data Description: vadheim ø

Fig. 4.6 Logget tid-vannstand i brønnen ved Vadheim Ø (Ullebø) under og etter pumping.

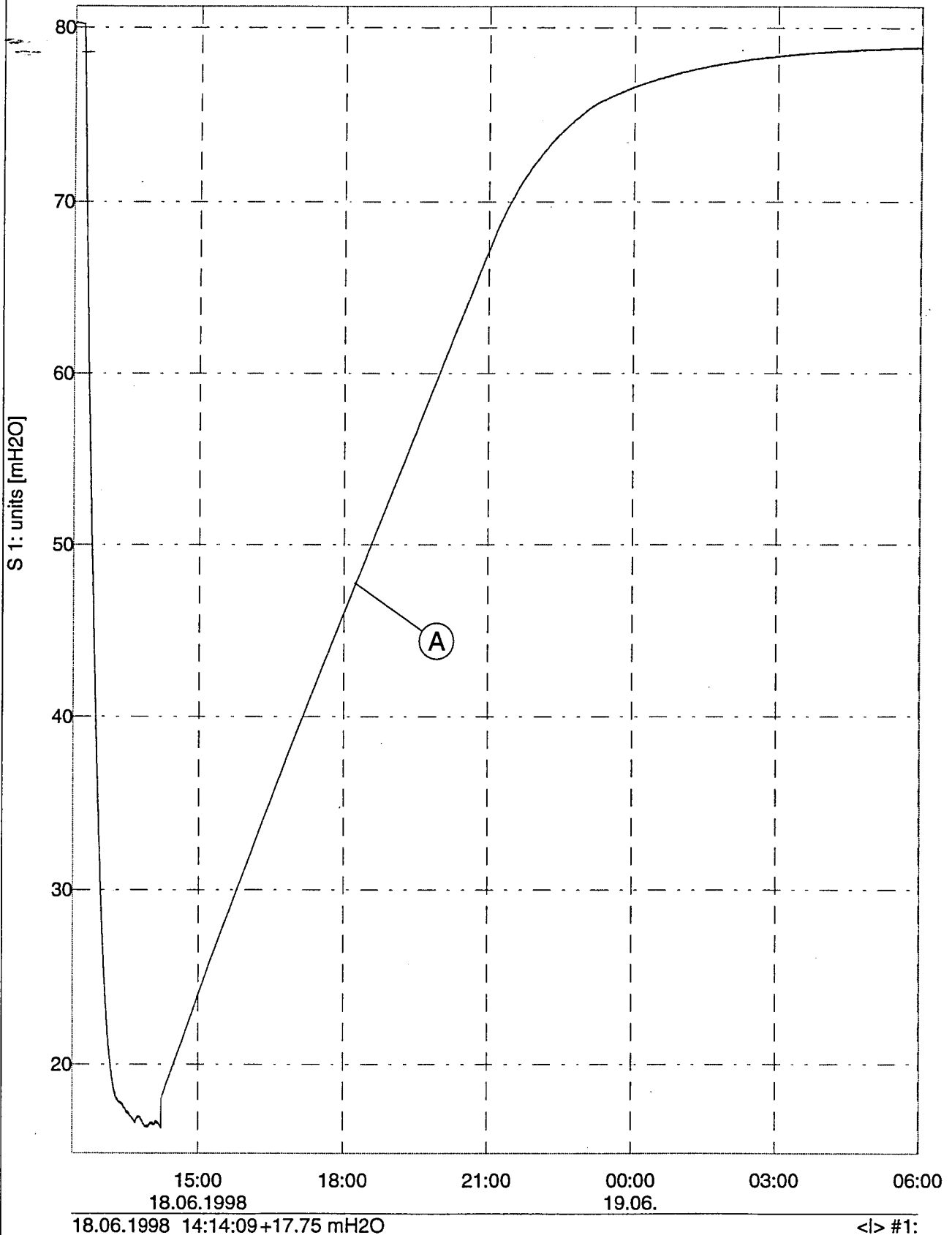
Prosjekt: Askvoll
Lokalitet: Vadheim øst , Høyanger kommune
Pumpeplassering: 35 meter under topp brønn (mutb), brønn blokkert av ras på ca 37 mutb
Vannmengde ved stabil vannstand 35 mutb (=pumpenivå): 400 l/t
A) Stigetall = 14.1 m/t = 200 l/t
B) Stigetall = 93 m/t = 1320 l/t



HOTBOX BA2S ID:3524
TYSSEGJ.MDF 19.06.1998 12:27:13
Log Interval: 12 s
Module Tag: Tyssegjelet- Askvollprosjektet
Data Description: tyssegjelet

Fig. 4.7 Logget tid-vannstand i brønnen i Tyssegjelet under og etter første pumping.

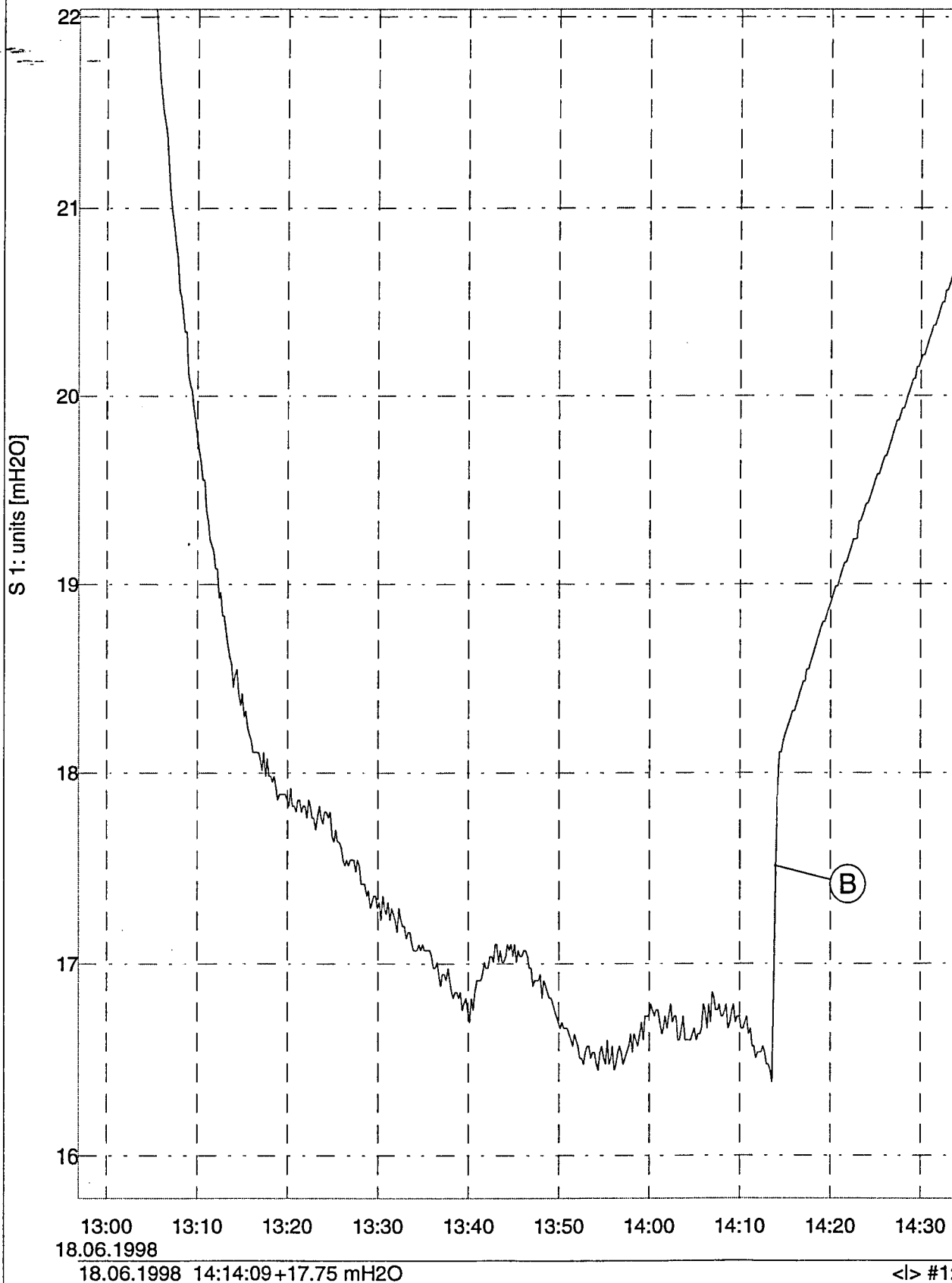
Prosjekt: Askvoll
Lokalitet: Tyssegjelet, Fjaler kommune
Pumpeplassing: 90 m under topp brønn (mutb)
Vannmengde ved stabil vannstand 73 mutb: 142 l/h
A) Stigetall = 7.2 m/t = 103 l/t



HOTBOX BA2S ID:3524
TYSSEGEJ.MDF 19.06.1998 12:27:13
Log Interval: 12 s
Module Tag: Tyssegjelet- Askvollprosjektet
Data Description: tyssegjelet

Fig. 4.8 Logget tid-vannstand i brønnen i Tyssegjelet under og etter andre pumping.

Prosjekt: Askvoll
Lokalitet: Tyssegjelet, Fjaler kommune
Pumpeplassering: 90 m under topp brønn (mutb)
Vannmengde ved stabil vannstand 73 mutb: 142 l/h
B) Stigetall = 130 m/t = 1840 l/t



4.5 Tyssegelet

Også i denne brønnen ble det utført to tester på grunn av for lite pumpekapasitet under den første testen. Det ble målt en vannmengde på 142 l/t ved stabil vannstand 73 mutb ($Q_{\text{spesifikk}} = 2.3 \text{ l/t/m}$). Vannmengde beregnet fra senketest er 450 l/t. Det observeres et markert knekkpunkt både i senknings- og stigningskurven på nivå 72 mutb (18 mos) (Fig. 4.7 og 4.8). Stigningsforløpet opp til knekkpunktet er lineært med en kapasitet på 1840 l/t. Den videre stigningen er svakt eksponentiell med en midlere stige kapasitet på 103 l/t.

Tabell 4.1: Kapasitetsdata beregnet utfra senke- og stigetest. GVS = grunnvannstand, mutb = meter under topp av brønn, *) = stigehastighet/kapasitet opp til knekkpunkt, **) = stigehastighet/kapasitet fra knekkpunkt og opp, ***) se nærmere omtale i tekst.

Lokali- tet	A Naturlig GVS (mutb)	B Q_{senk} (l/t)	Knekk -punkt (mutb)	Stige- hastig- het (m/t)	C Q_{stig} (l/t)	D Q_{stabil} (l/t)	E «Stabil» GVS (mutb)	F=E-A «Stabil» avsenkning (m)	D/F Q spesifik (l/t/m)
Folvåg 1	10	2740	-	56	790	2570	19	9	286
Folvåg 2	11	-	-	184	2610	4400	31	20	220
Naustdal	16	600	-	43	612	692	70	54	13
Vadheim vest	13	380	-	0.9	13	-	-	-	
Vadheim øst	17	2070	33	93 ^{*)} 14 ^{**)}	1320 ^{*)} 200 ^{**)}	400 ^{***)}	35	18	22
Tysse- gjelet	10	450	72	130 ^{*)} 7 ^{**)}	1840 ^{*)} 103 ^{**)}	142	73	63	2.3

4.6 Diskusjon og sammenligning av pumperesultater

For sammenligning er data fra korttidstestingen på brønnfeltet på Holmedal i 1997 (Braathen et al. 1998) satt opp i tabell 4.2. Testmetoden var her noe annerledes enn for testene som ble utført juni 1998, idet pumpen ble plassert på 50 m's dyp (bunn av brønnene) og vannstanden ble trukket ned til pumpen og holdt der ved periodisk pumping/«slurpe-pumping» gjennom én time. Dette er i tråd med den standard-prosedyren vi vanligvis benytter ved brønntesting, og gir trolig det beste målet på brønnens reelle kapasitet. Samme prosedyre var planlagt for testene som ble utført i 1998, men p.g.a. større brøndyp (100 m) og tildels høye kapasiteter ble en avsenkning ned til pumpen oppnådd kun for de to brønnene ved Vadheim. For de øvrige brønnene ble det pumpet inntil en tilnærmet stabil vannstand ble oppnådd og utpumpet

vannmengde ble da målt. For brønnene på Folvåg, Naustdal og Tyssegjelet ville derfor verdiene for Q_{stabil} , og følgelig også for $Q_{\text{spesifikk}}$, vært noe lavere dersom en reell stabil vannstand var oppnådd.

Tallene for spesifikk kapasitet for de enkelte brønner kan ikke sammenlignes ukritisk. Den spesifikke kapasitet som måles refererer til en brønn med gitt dybde og er avhengig av hvilken vannmengde som pumpes ut, d.v.s. hvilken stabil avsenkning som oppnås, og er i en viss grad avhengig av hvilket nivå pumpen plasseres i. Betegnelsen spesifikk for denne parameteren er derfor noe misvisende. Eksempel på betydningen av vannmengden som pumpes ut har vi fra de to testene på Folvåg, hvor den spesifikke kapasiteten reduseres når utpumpet vannmengde/avsenkningen øker.

Tabell 4.2: Kapasitetsdata for brønner innen Holmedalfeltet beregnet utfra senke- og stigetest. GVS = grunnvannstand, muref = meter under referansenivå (topp av Bh9), *) = stige-hastighet/kapasitet opp til knekkpunkt, **) = stige-hastighet/kapasitet fra knekkpunkt og opp.

Lokali- tet	A Naturlig GVS (muref)	B Q_{senk} (l/t)	Knekk -punkt (muref)	Stige- hastig- het (m/t)	C Q_{stig} (l/t)	D Q_{stabil} (l/t)	E «Stabil» GVS (muref)	F=E-A «Stabil» avsenkning (m)	D/F Q spesifikk (l/t/m)
Bh1	3	119	-	1.6	23	36	50	47	0.8
Bh2	4	288	-	3.8	54	55	50	46	1.2
Bh3	3	297	-	5.7	81	110	50	47	2.3
Bh4	3	0	-	0.5	6.8	-	50	47	-
Bh5	2	0	-	0.3	3.7	15	48	46	0.3
Bh6	7	-	-	9.3	132	54	50	43	1.3
Bh7	-	-	-	0.06	0.8	-	-	-	-
Bh8	7	1519	20	61 ^{*)} 6.6 ^{**)}	860 ^{*)} 94 ^{**)}	1066	50	43	25
Bh9	6	230	-	6.1	86	129	49	43	3.0

4.7 Analyse av vannprøver

I forbindelse med korttids prøvepumpingene ble det samlet inn vannprøver for fysikalsk-kjemiske analyser. Resultatene er inkludert her, men blir ansett som underordnet i denne sammenheng. De vil derfor bare bli sporadisk diskutert.

Vannkjemidataene fra Holmedal (bønn nr. 9 i brønnfeltet, se Gaut et al. 1999), Folvåg, Naustdal, Tyssegjelet, Vadheim Ø (Ullebø Ø) og Vadheim V (Ullebø V) er gitt i Databilag 1. Her vises de forskjellige hovedkomponenter (Mg, Ca, Na, K og alkalitet/ HCO_3 , F, Cl, NO_3 ,

SO₄), som er diskutert under. Det også forskjeller i metaller som Al, Fe, Mn og Zn, men disse er vanskelig å vurdere bl.a. fordi dette kan være partikulært materiale. Dette vises delvis med en sammenheng mellom høy turbiditet og høyt Al, Fe, Mn. I vedlagte Databilag 1 er analyseverdier høyere enn veiledende verdi i drikkevannsnormen markert med **uthevet** skrift.

I tillegg er det gjort en kontroll av analysekvalitet (ionebalanse). Balansen ligger i området +1 til -2 % som er meget akseptabelt. Videre er beregning av relativ kjemisk sammensetning gitt og en hovedklassifisering av vannprøvene (ekv%) blir da:

Holmedal: Na - HCO₃ (39 % - 43 %), ellers omtrent like andeler Mg, Ca, Cl og SO₄ (2-3 %)

Folvåg: Ca - HCO₃ (27 % - 31 %), ellers Na og SO₄ > 10 %

Naustdal: Ca/Na - SO₄/HCO₃/Cl (21/21 % - 19/16/14 %)

Tyssegjelet: Ca - SO₄ (38 % - 43 %)

Vadheim Ø: Ca - HCO₃ (34 % - 42 %)

Vadheim V: Ca - HCO₃ (34 % - 43 %), ellers Na > 10 %

I grunnvann fra løsmasser er Ca - HCO₃ - vann mest vanlig, som også er tilfellet for fjellbrønnene ved Vadheim (Ullebø) og Folvåg. I sjø-nære områder og områder med meget kalkfattig berggrunn kan Na - Cl - vann opptre, som i brønnene ved Holmedal, Naustdal, og muligens Folvåg. For brønnene ved Vadheim (Ullebø) kan sprekkemineraler være viktig for vannkjemien. Dette lineamentet inneholder mye sent dannet zeolitt, som normalt er rikt på Na og Ca. Tilsvarende resultater fra XRD-analyser (totalt 10 stk.) av produktet i forkastnings-/sleppesoner antyder i hovedsak kloritt og kvarts. Sleppesonene inneholder derfor i hovedsak forkastningsmel, lokalt zeolitt, og kun unntaksvis leirmineraler.

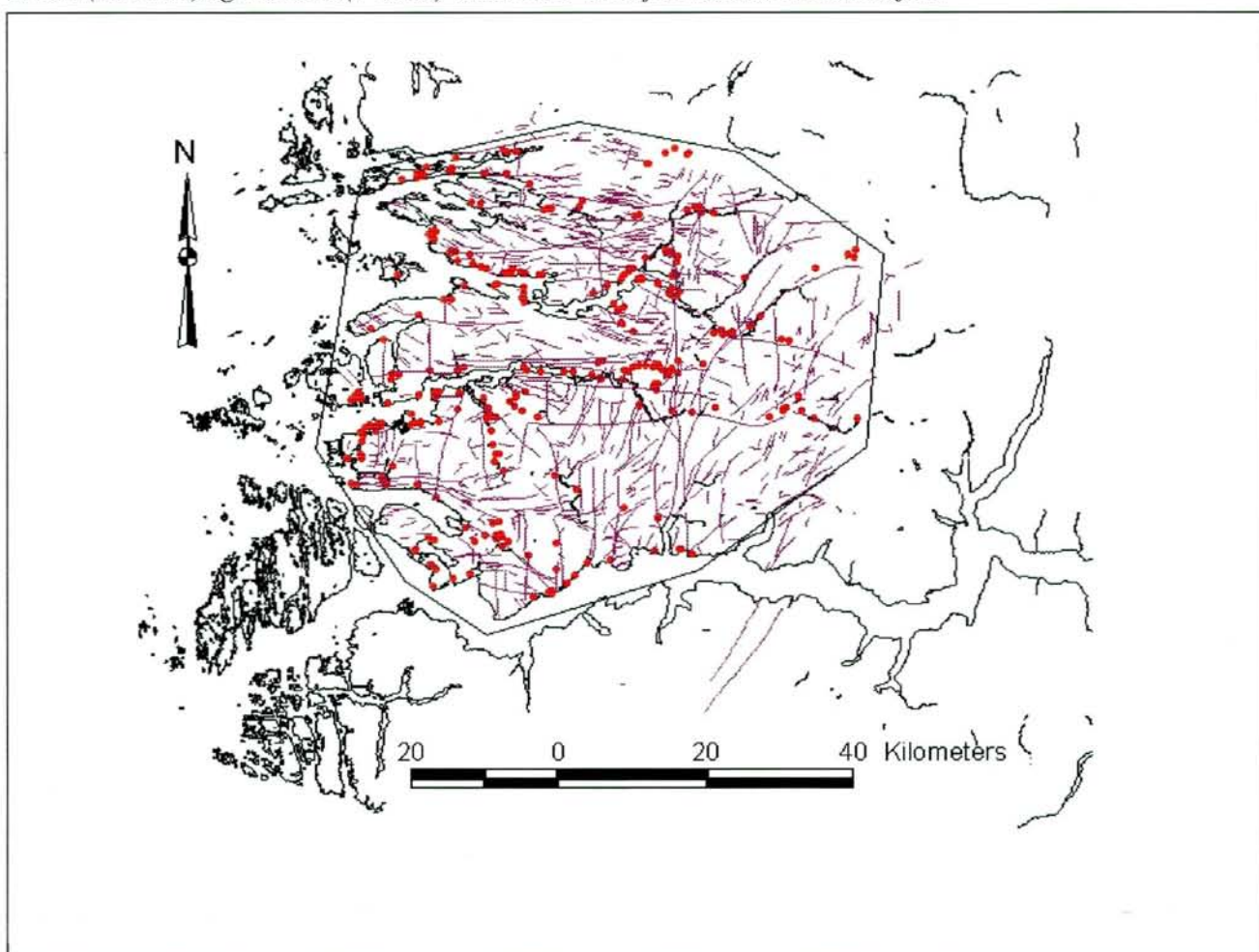
Fluorid opptrer med %-andeler i området 0.0 - 0.8. De høyeste F-verdiene finner en for Tyssegjelet og Vadheim-brønnene. Naustdal som er nokså klart Na-Cl-preget, har absolutt laveste F-verdi. Disse forholdene antyder at fluorid først og fremst er relatert til sprekkemineriseringer (?).

5. STATISTISK ANALYSE AV BRØNNDATABASEN

5.1 Brønndatabasen

Innenfor prosjektområdet er det etablert en database over 373 borebrønner i fjell (Henriksen 1999). For hver borebrønn inneholder datasettet opplysninger om boredyp, kapasitet, bergartstype, topografiske forhold og avstand til regionale, 1. ordens, 2. ordens og 3. ordens lineamenter registrerte fra satellittfoto (Fig.5.1).

Fig.5.1. Kart over prosjektområdet som viser borebrønner og regionale (> 100 km), 1. ordens (>50 km), 2. ordens (10-50 km) og 3. ordens (1-10 km) lineamenter tolket fra Landsat TM satellittfoto.

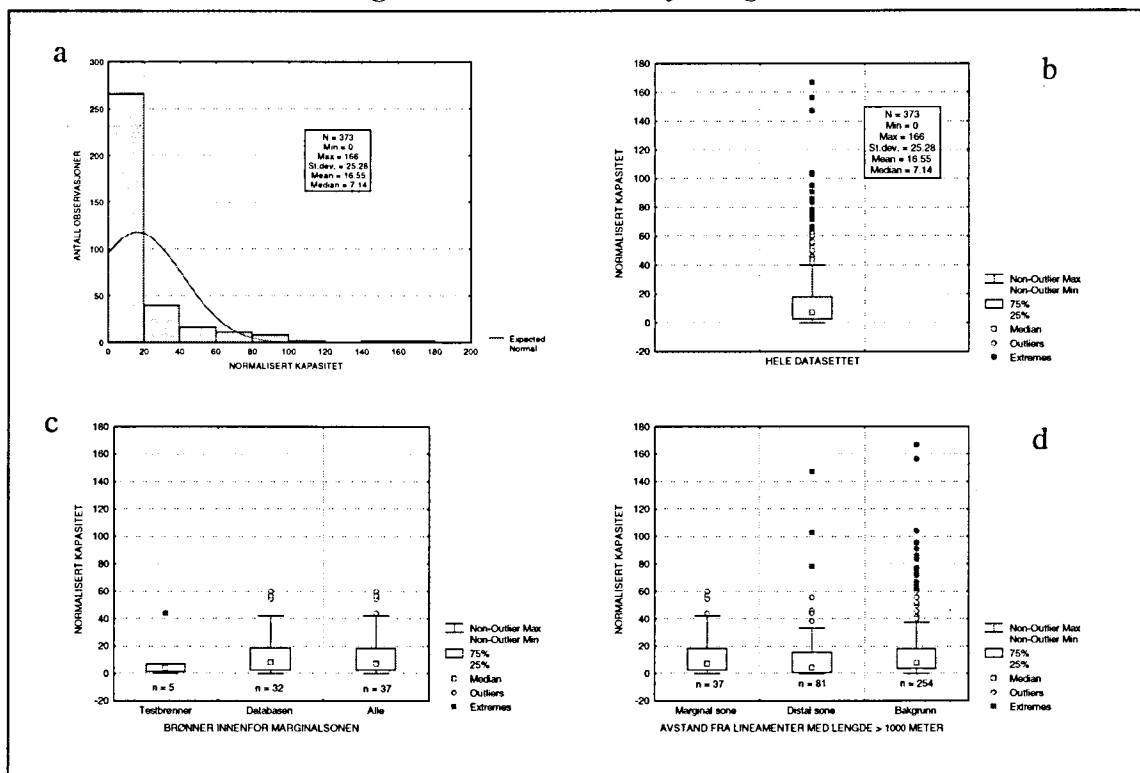


Brønndatabasen har som utgangspunkt NGU sin hydrogeologiske database for borebrønner i fjell, men er i tillegg supplert med 9 borebrønner fra brønnefeltet i Holmedal (Braathen et al. 1998) og 5 prøvebrønner ansatt langs utvalgte lineamenter i forbindelse med prosjektet. Kapasitetsopplysningene er for de fleste brønnene baserte på vannoppblåsing under boring eller stigningstester etter en fort utblåsing/utpumping av hullet. De oppgitte kapasitetene,

vanligvis i l/t, etter disse metodene gir bare grove vurderinger av brønnenes kapasitet. I sammenlignende undersøkelser av kapasitet anbefales det å normalisere kapasitetsverdiene mot boredypet (Henriksen 1995, Morland 1997). De oppgitte kapasitetene blir dermed i l/t pr. meter boredyp.

Kapasitetsverdiene varierer fra 0 til 166 l/t pr. meter og viser en typisk skjev fordeling med ca. 75 % av verdiene mindre enn 20 l/t pr. meter (Fig. 5.2a). Sammen med den upresise karakteren til kapasitetsdataene gjør dette det naturlig å bruke ikke-parametriske observatorer (median, kvartiler) og metoder i den statistiske behandlingen av datasettet.

Fig. 5.2 (a) histogram for normalisert kapasitet. Kurven angir teoretisk normalfordelingskurve, (b) box- og whisker plott for normalisert kapasitet for hele datasettet, (c) box- og whisker plott for normaliserte kapasiteter til prøvebrønner i marginaldelen, øvrige prøvebrønner i marginaldelen og samtlige brønner i marginaldelen, (d) box- og whisker plott der variabelverdiene er kategoriserte etter avstand fra registrerte lineamenter > 1000 meter.



Oversiktsstatistikken for datasettet på 373 borebrønner viser liten forskjell mellom kapasitetene for ulike bergartskategorier og topografiske kategorier. Den største spredningen med ekstreme data forekommer i kategoriene med flest obsevasjoner. For hver av gruppene bergartstype, topografisk beliggenhet og dalsideretning er det undersøkt nærmere om disse er signifikant forskjellige ved hjelp av enveis ikke-parametrisk variansanalyse (Kruskal-Wallis test). Nullhypotesen er at alle utvalgene stammer fra populasjoner med samme median. Resultatene indikerer at kapasitetene grupperte etter litologi og topografi stammer fra forskjellige populasjoner. De ulikt grupperte datasettene der Kruskal-Wallis testen er

signifikant kan undersøkes nærmere med Mann-Whitney testen. De to testene er i prinsippet like, bortsett fra at det i Mann-Whitney testen undersøkes bare to kategorier. Null-hypotesen er som før at de to grupperte utvalgene stammer fra populasjoner med samme median. Resultatene (tabellene 5.2a og 5.2 b) indikerer at borebrønner lokalisert på åsrygger og nes har signifikant lavere kapasitet enn de øvrige brønnene, mens det for bergartskategoriene kun antydes signifikante forskjeller mellom borebrønner ansatt i den nordvestre gneisregion og alloktont basement. For utvalgene grupperte etter dalsideretning er Kruskal-Wallis testen ikke signifikant på 0.01 nivået.

Fjordsider	x					N = 159	Md = 7.14
Dalsider	0.626	x				N = 64	Md = 7.09
Åsrygger,nes	0.00004	0.000054	x			N = 60	Md = 3.54
Dalbunner	0.175	0.0417	0.000006	x		N = 32	Md = 14.39
Flate områder	0.207	0.0626	0.00000	0.6909	x	N = 57	Md = 11.42
	Fjordsider	Dalsider	Åsrygger,nes	Dalbunner	Flate områder		

Tabell 5.2a. Mann-Whitney tester for kapasitetsdata gruppert etter topografi. Tabellen viser signifikanssannsynligheten for de ulike testene.

Alloktont basement	x					N = 41	Md = 4.16
Alloktont cover	0.775	x				N = 10	Md = 6.46
Nordvestre Gneisregion	0.0041	0.602	x			N = 264	Md = 7.73
Kaledonsk ofiolitt-enhet	0.735	0.758	0.0327	x		N = 20	Md = 4.57
Detachment-sone	0.0789	0.602	0.723	0.226	x	N = 38	Md = 9.72
	Alloktont basement	Alloktont cover	Nordvestre Gneis-region	Kaledonsk ofiolitt-enhet	Detachment-sone		

Tabell 5.2b. Mann-Whitney tester for kapasitetsdata gruppert etter litologi. Tabellen viser signifikanssannsynligheten for de ulike testene.

Detaljstudier utført i forbindelse med prosjektarbeidet viser en systematisk fordeling av sprekker og bruddstrukturer omkring lineamentene. Dette gir grunnlag for en hydrogeologisk

modell der marginaldelen i en avstand av 2-50 meter fra lineamentet har det største grunnvannspotensialet (Braathen & Gabrielsen 1998, s. 11). Ved hjelp av en buffer-funksjon i gis-programmet ArcView er det mulig å legge buffersoner om lineamentene i fritt valgte avstander. Dermed kan en lett kategorisere borebrønner i henhold til de ulike delene som omgir lineamentene. I analysen ble det valgt bufferavstander på 2, 50 og 250 meter. Dette svarer til en sentral del på 2 meter, en marginal del med 48meters bredde og en ytre (distal) del med bredde 200 meter. Borebrønnene utenfor den ytre delen klassifiseres som tilhørende bakgrunnen. Det ble etablert buffersoner omkring regionale, 1.ordens, 2.ordens og 3. ordens lineamenter; dvs. alle lineamenter av minst en kilometers lengde. Oversiktsstatistikk for datasettet gruppert på denne måten er vist i Fig 5.2c–d.

Resultatene av variansanalyse viser at de grupperte utvalgene baserte på avstand fra borebrønnene til regionale, 1., 2. og 3. ordens lineamenter stammer fra forskjellige populasjoner. Det er kun en av borebrønnene som faller innenfor sentraldelen. Denne brønnen er utelatt i den videre statistiske analysen. Mann-Whitney testen (tabell 5.3) indikerer kun signifikant forskjell mellom distaldelen og bakgrunnen, med de høyeste kapasitetsverdiene i bakgrunnsjonen. Medianverdiene for marginaldelen, distaldelen og bakgrunndelen er henholdsvis 7.01, 4.29 og 7.73. Dersom vi logtransformerer de normaliserte kapasitetsverdiene og bruker t-testen antyder resultatene igjen kun signifikant forskjell mellom borebrønner i bakgrunnen og distaldelen. Gjennomsnittsverdiene for normaliserte kapasiteter i marginaldelen, distaldelen og bakgrunnen er henholdsvis 14.65, 13.26 og 17.90.

Marginal del	x			N = 37	Md = 7.01
Distal del	0.18	x		N = 81	Md = 4.29
Bakgrunn	0.42	0.0011	x	N = 254	Md = 7.73
	Marginal del	Distal del	Bakgrunn		

Tabell 5.3. Mann-Whitney tester for kapasitetsdata gruppert etter avstand fra regionale, 1. ordens, 2. ordens og 3. ordens lineament. Tabellen viser signifikanssannsynligheten for de ulike testene.

Datasettet inneholder en rekke ekstreme verdier, for eksempel borebrønner med spesielt lave eller høye kapasiteter. Tabell 5.4 viser resultatene av Mann-Whitney testene på datasettet når ekstreme verdier (kapasiteter < 50 l/t og > 10 000 l/t) er filtrert vekk. Det reduserte datasettet inneholder 333 borebrønner.

Marginal del	x			N = 33	Md = 8.53
Distal del	0.46	x		N = 65	Md = 6.66
Bakgrunn	0.79	0.11	x	N = 235	Md = 8.83
	Marginal del	Distal del	Bakgrunn		

Tabell 5.4. Mann-Whitney tester for kapasitetsdata gruppert etter avstand fra regionale, 1. ordens, 2. ordens og 3. ordens lineament når ekstreme verdier er utelatt. Tabellen viser signifikanssannsynligheten for de ulike testene.

Medianverdiene for normaliserte kapasiteter er henholdsvis 8.53, 6.66 og 8.83 for marginaldelen, distaldelen og bakgrunnen. Mann-Whitney testen er ikke signifikant for noen av de grupperte datasettene og antyder dermed ingen forskjell mellom marginaldel, distaldel og bakgrunn. Det samme resultatet får en ved å bruke t-testen på de logtransformerte kapasitetsdata. Gjennomsnittverdiene for de normaliserte kapasitetsverdiene er henholdsvis 16.42, 16.51 og 17.52 for marginaldelen, distaldelen og bakgrunndelen.

Det kan også være verdt å betrakte suksessraten eller hyppigheten av vellykkede boringer innenfor de ulike kategoriene. En sammenstilling over hyppighetene til vellykkede boringer når vi betegner oppnådde kapasiteter over 1000 og 3000 l/t som et vellykket resultat er vist i tabell 5.5. Brønner med kapasiteter < 50 l/t er inkludert i grunnlagsmaterialet.

Avstand fra lineament	Suksessrate > 1000 l/t	Suksessrate > 3000 l/t
Marginal del	0.37	0.16
Distal del	0.26	0.07
Bakgrunn	0.36	0.10

Tabell 5.5. Hyppigheter for vellykkede resultat i de ulike kategoriene.

De statistiske hypotesetestene og resultatene i tabell 5 indikerer ingen vesentlig forskjell mellom marginaldelen og bakgrunnen, mens distaldelen synes å ha det dårligste grunnvannspotensialet. Suksessraten for brønner med >3000 l/t, derimot, gir en klar indikasjon for at de mest vannførende brønnene oftest finnes i sentraldelen, mens distal- og bakgrunnsdelen gir tilnærmet samme rate.

På grunnlag av resultatene er det imidlertid vanskelig å trekke sikre konklusjoner om de forskjellige sonene sitt potensialet for grunnvann langs lineamenter. Det knytter seg bl.a. en viss usikkerhet til kategoriseringen av borebrønner til sentraldelen og marginaldelen ettersom kategoriseringen er basert på at vi har å gjøre med ideelle lineament som har konstant bredde på sentraldel, marginaldel og distaldel. Slik er det neppe i virkeligheten, der en må regne med

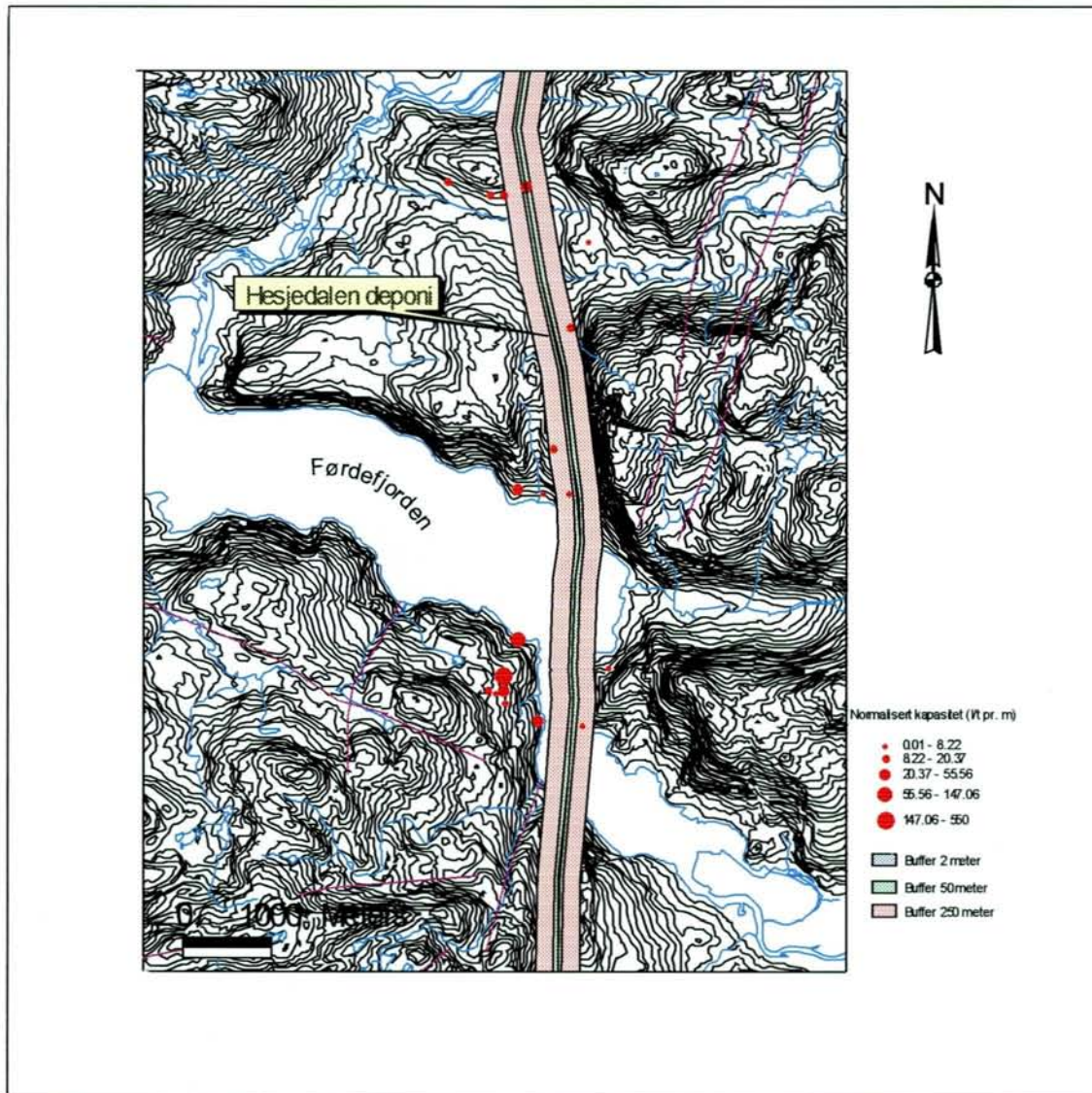
at bredden på de ulike delene ikke bare varierer fra lineament til lineament men også langs ett og samme lineament. Det er heller ikke foretatt systematisk kvalitetskontroll av posisjoneringen til alle de 373 borebrønnene i felt. Når i tillegg antallet brønner som ligger i disse to delene er lite sammenlignet med bakgrunnen, er det vanskelig å trekke helt sikre konklusjoner ut ifra disse testene.

Morland (1997) gjennomførte en tilsvarende statistisk analyse for hele NGUs brønndatabase, hvor han så på avstand til lineament og vannføring. Han fant ingen påvirkning fra lineamentene på grunnvannspotensialet. Konklusjonen ble derfor den samme som over: Materialet i brønndatabasen er beheftet med for stor usikkerhet i forhold til den detaljerte soneringen rundt lineamenter. Slike analyser gir derfor meget usikre resultater.

5.2 Borebrønner ved Hesjedalen deponi

Hesjedalen deponi like vest for Førde ligger i sentraldelen av et 1.ordens N-S lineament gjennom Hesjedalen (Fig. 5.3). Det er etablert to borebrønner i forbindelse med deponiet. Videre er det en rekke borebrønner i tilknytning til lineamentet ved Førdefjorden og i Åsedalen lengre nord. I den sørlige delen av lineamentet er det også en del borebrønner ved Skilbrei i Gaular kommune. Det er vanskelig å observere noe systematisk mønster for de normaliserte kapasitetene. De fleste høye kapasitetsverdier forekommer utenfor lineamentets ytre (distale) del. Det totale antall borebrønner i tilknytning til dette lineamentet er imidlertid for lite for å utføre pålitelige statistiske analyser.

Fig. 5.3. N-S lineamentet gjennom Hesjedalen og nærliggende borebrønner.



6. DISKUSJON AV RESULTATER

De foregående avsnittene beskriver flere deltemaer - et stort datasett på bruddsystemer, resultater fra brønnboring, vannkjemi, og en statistisk analyse av brønn databasen. Hovedhensikten med arbeidet har vært å teste grunnvannspotensialet til sentral- og marginaldelen av lineamenter, som den etablerte modellen tilsier skal ha størst grunnvannspotensiale. Dette er gjennomgangstemaet i den påfølgende diskusjonen.

6.1 Prøvepumping og vannføring

Det er totalt i regi av prosjektet boret 14 brønner i Sunnfjord, hvorav 9 i brønnfeltet ved Holmedal, og 5 mot lineamenter. Gjennomgående gir brønnene i brønnfeltet som er boret i distaldelen til et lineament, lite vann, dvs. en god brønn på ca. 1000 l/t, de fleste under 100 l/t, og en tørr brønn (tabell 4.2). Sammenlignes disse vannføringene med de 5 lineamentsnære brønnene, synes det klart at det gjennomgående er mer vann i sistnevnte brønner (tabell 4.1). Dette i seg selv er ikke statistisk signifikant, siden antallet boringer er lavt, men gir en indikasjon for økt grunnvannspotensiale nær lineamentene.

Et tilsvarende bilde er ikke etablert gjennom den statistiske analysen. Til tross for den store usikkerheten som hefter ved materialet i brønn databasen, antydes følgende mønstre:

- Det er liten forskjell i vannføring når brønnenes topografisk plassering sammenlignes med brønner kategorisert etter plassering i forhold til bergartskategorier.
- Brønner på åsrygger og nes har signifikant lavere kapasitet enn øvrige brønner.
- Det er ikke signifikant forskjell på brønner i de ulike delene rundt lineamenter.
- Det er en høyere suksessrate for meget gode brønner (>3000 l/t) i marginaldelen.

Resultatene over gir ikke et entydig bilde på betydningen av deler/soner rundt lineamenter. Den eneste klare konklusjonen er at sjansen for å bore virkelig gode brønner er størst tett opptil lineamentene.

6.2 Sammenlignende analyser

Bruddstudiene viser flere klare tendenser, som kan ha betydning for grunnvannspotensialet:

- Bruddfrekvensen øker inn mot lineamenter, som derfor antagelig har det største grunnvannspotensialet (Fig. 3.3.1 – 3.3.3).
- Bruddåpning og konnektivitet er høyere for lineamentsnære brudd.
- Bruddlengden er størst utenfor lineamentenes sentral- og distaldel.
- Bruddåpning og konnektivitet øker muligens med bruddlengde (Fig. 3.3.4 – 3.3.8).

Borloggene gir også klare indikasjoner på fordelingen av bruddsoner. De viser at antall gjennomborete bruddsoner øker inn mot sentraldelen av lineamenter (Fig. 3.3.19). En meget interessant observasjon i denne sammenheng er plasseringen av vanninnslag i brønnene. Mellom 8 og 18 meter fra lineamentets senter er det sporadiske lekkasjer inn i brønnene, mens hovedtyngden av vanninnslag forekommer innenfor 8 meter. De gjennomborete lineamentene har en smal sentraldel (0-2 meter) og en marginaldel som ikke overstiger 20 meter i bredde. Det synes derfor klart at nesten alle vanninnslag forekommer i marginaldelen til lineamentene. Muligens kan sentraldelen også gi vann, men med den begrensede bredden på denne delen er dette mer usikkert.

Konklusjonen fra boringene er derfor at lineamentenes marginaldel har det største grunnvannspotensialet.

7. REFERANSER

- Andersen, T.B & Jamtveit, B., 1990. Uplift of deep crust during orogenic extensional collapse: a model based on field studies in the Sogn-Sunnfjord region of Western Norway. *Tectonics* 9, 1097-1111.
- Andersen, T-B., Skjerlie, K.P. & Furnes, H. 1990. The Sunnfjord Melange, evidence of Silurian ophiolite accretion in the West Norwegian Caledonides. *J. Geol. Soc. Lond.* 147, 59-68.
- Berg, S.S., Braathen, A., Gabrielsen, R.H., Lothe, A. & Henriksen, H., 1997. Lineaments and systematic fracture distribution in the Sunnfjord Region, Western Norway. *TSGS-meeting, Stavanger*, November 1997.
- Berg, S., Braathen, A., Gudmundsson, A. & Gabrielsen, R.H. 1999a. Infrastructure and formation of north-trending lineaments in the Sunnfjord region, western Norway. Poster, NGF Vintermøte, Stavanger, January.
- Berg, S., Braathen, A. & Gudmundsson, A. 1999b. N-S fracture zones with application to groundwater; results from the Sunnfjord region, western Norway. NGF Vintermøte, Stavanger, January.
- Berg, S., Henriksen, H. & Braathen, A. 1999c. Bruddanalyse og grunnvannsbrønner langs lineamenter; statistisk og reelt grunnvannspotensiale. Poster, 8. Seminar om hydrogeologi og miljøgeokjemi, *NGU Rap. 99.019*.
- Braathen, A. 1997. Post-Caledonian fault systems in the Sunnfjord region of western Norway. TSGS meeting, Stavanger, November 1997.
- Braathen, A., 1998. Polyphase brittle faulting in the Sunnfjord region: kinematics and timing. NGU Rep. 98.007, 42 p.
- Braathen, A., 1999. Kinematics of polyphase brittle faulting in the Sunnfjord region, western Norway. *Tectonophysics* 302, 99-121.
- Braathen, A., Berg, S., Gaut, S., Gabrielsen, R., Henriksen, H., Jæger, Ø. & Storrø, G. 1999a. Bruddsystemer og grunnvann langs lineamenter. 8. Seminar om hydrogeologi og miljøgeokjemi, *NGU Rap. 99.019*, 22-23.

- Braathen, A., Gabrielsen, R.H. & Henriksen, H. 1997. Lineamenter, sprekkefordeling og grunnvann i krystalline bergarter i Sunnfjord. Abstract, Hydrogeologisk Seminar, *NGU Report 97.150*, p.11.
- Braathen, A. & Gabrielsen, R.H. 1998. Lineament architecture and fracture distribution in metamorphic and sedimentary rocks, with application to Norway. *NGU Rep. 98.043*. 78 pp.
- Braathen, A., Gabrielsen, R.H., Gaut, S., Henriksen, H., Jæger, Ø. & Storrø, G. 1999b. Lineament architecture, fracture distribution and ground water in metamorphic rocks of western Norway. NGF Vintermøte, Stavanger, January.
- Braathen, A., Gaut, S., Henriksen, H., Storrø, G. & Jæger, Ø, 1998. Holmedal brønnfelt, Sunnfjord: geologiske undersøkelser og prøvepumping. *NGU Rapport 98.085*.
- Braathen, A. & Henriksen, H., 1997. Post-Devonian fracture systems in the Sunnfjord region, onshore western Norway. Extended abstract, *NGU Bull 433*, 16-17.
- Gabrielsen, R.H., Braathen, A., E. Alsaker, L. Aamodt, S.S. Berg, H. Henriksen & A. Lothe, 1997. The architecture of lineaments. TSGS meeting, Stavanger, November.
- Gaut, S., Storrø, G., Bjørnstad, H. & Braathen, A. 1999. Holmedal brønnfelt, Sunnfjord: Langtids prøvepumping og tracertester. *NGU Rep. 99.016*.
- Hamre, A., Pettersen, A.B., Wathne, A.E. & Rødseth, K., 1997. Regionale bruddsoner og grunnvann i fjell, Gaular og Førde Kommune. *Kandidatoppgave i Ressurs- og miljøgeologi, Høgskolen i Sogn og Fjordane*.
- Hansen, S.E. 1996. Spenningsmåling ved hydraulisk splitting, Hestad og Atløy i Sogn og Fjordane. *Sintef Report STF22 F96090*, 11 p.
- Henriksen, H. 1995. Relationship between topography and well yield in boreholes in crystalline rocks, Sogn og Fjordane, Norway. *Ground Water 33*, 635-643.
- Henriksen, H. 1999. Statistiske undersøkelser av grunnvannspotensialet langs lineamenter. Foreløpige resultater fra Sunnfjord. Sammendrag, *NGU Rep. 99.019*, s. 24
- Midtbø, E., 1996a. *Bergspenninger på Nordvestlandet*. Prosjektoppgave, Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU, 53 s. + appendix.
- Midtbø, E., 1996b. Sammenheng mellom in-situ spenninger og grunnvannsstrøm i berg. Hovedoppgave, Fakultet for geofag og petroleumsteknologi, *NTNU*.

- Milnes, A.G., Wennberg, O.P., Skår, Ø. & Koestler, A.G., 1997. Contraction, extension and timing in the south Norwegian Caledonides - the Sognefjord Transect. In: J.-P. Burg & M. Ford (eds): *Orogeny through time. Geological Society of London Special Publication, 121*, 123-148.
- Morland, G. 1997. Petrology, lithology bedrock structures, glaciation and sea level. Important factors for groundwater yield and composition of Norwegian bedrock boreholes. *NGU Report 97.122*, 274 pp.
- Norton, M.G., 1987. The Nordfjord-Sogn Detachment, W. Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 67, 93-106.
- Odling, N.E., 1997. Scaling and connectivity of joint systems in sandstones from western Norway. *Journal of Structural Geology* 19, 1257-1271.
- Skår, Ø., 1998. *The Proterozoic and Early Paleozoic evolution of the southern parts of the Western Gneiss Complex, Norway*. Dr.scient. oppgave, University of Bergen.

VANNANALYSER

FYLKE: Sogn og Fjordane

KART (M711): 1117-I Dale m.fl

KOMMUNE: Askvoll, Naustdal, Fjaler,

PRØVESTED: Holmedal brønnfelt + 5 brønner

OPPDRAKSNUMMER: 1998.0129

ANALYSERT VED: Norges geologiske undersøkelse

Brønn-nr/sted	9	Folvåg	Naustdal	Tysse- gjeldet	Vadheim Ø	Vadheim V			
Dato	15.06.98	24.06.98	20.06.98	18.06.98	21.06.98	22.06.98			
Brønntype	Fjellbrønn	Fjellbrønn	Fjellbrønn	Fjellbrønn	Fjellbrønn	Fjellbrønn			
Pumpedyp	m	76	80	80	90	35	80		
Brønn­dimensjon	mm	132	132	132	132	132	132		
X-koordinat	Sone: 32V	2965	029020	0333209	0300508	032735	0327285		
Y-koordinat	Sone:	68095	681364	6831504	6806417	678977	6789625		
Fysisk/kjemisk							Veiledende verdi	Største tillatte konsentrasjon	
Surhetsgrad, felt/lab	pH	7,46	7,82	6,53	7,75	7,19	7,95	7,5-8,5	6,5-8,5 ²
Ledningsevne, felt/lab	µS/cm	259	121	39,8	642	97,4	170	< 400	
Temperatur	°C							< 12	25
Alkalitet	mmol/l	2,37	0,69	0,10	0,63	0,80	1,49	0,6-1,0 ²	
Fargetall	mg Pt/l	18,6	2,8	2,4	3,4	28,1	6,8	< 1	20
Turbiditet	F.T.U	16	0,7	1,7	190	230	81	< 0,4	4
Oppløst oksygen	mg O ₂ /l							> ca 9	
Fritt karbondioksid	mg CO ₂ /l							< 5 ²	
Redoks.potensial. E _h	mV								
Anioner									
Fluorid	mg F/l	0,081	0,056	<0,05	1,66	0,193	0,501		1,5
Klorid	mg Cl/l	7,94	6,00	3,05	6,78	2,46	4,84	< 25	
Nitritt	mg NO ₂ /l	0,066	<0,05	0,056	<0,05	<0,05	<0,05		0,16
Brom	mg Br/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1		
Nitrat	mg NO ₃ /l	1,57	0,390	0,664	0,311	3,53	0,746		44
Fosfat	mg PO ₄ /l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2		
Sulfat	mg SO ₄ /l	6,21	11,1	5,56	256	1,29	4,24	< 25	100
Sum anioner+alkalitet	meq/l	2,76	1,11	0,32	6,26	0,97	1,76		
Kationer									
Silisium	mg Si/l	5,67	2,99	1,81	2,60	3,11	3,93		
Aluminium	mg Al/l	0,078	<0,02	<0,02	<0,02	0,569	0,056	< 0,05	0,2
Jern	mg Fe/l	0,120	<0,01	0,084	<0,01	0,650	0,075	< 0,05	0,2
Magnesium	mg Mg/l	3,20	1,72	0,406	1,85	0,73	1,05		20
Kalsium	mg Ca/l	3,90	12,1	2,73	98,3	15,5	23,1	15-25 ²	
Natrium	mg Na/l	47,6	6,92	3,02	27,1	3,82	8,43	< 20	150
Kalium	mg K/l	5,17	2,76	0,652	6,71	1,14	2,84	< 10	12
Mangan	mg Mn/l	0,038	0,003	0,014	0,073	0,020	0,047	< 0,02	0,05
Kobber	mg Cu/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	< 0,1	0,3
Sink	mg Zn/l	0,012	0,003	0,010	0,006	0,009	0,022	< 0,1	0,3
Bly	mg Pb/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,02
Nikkel	mg Ni/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02		0,05
Kadmium	mg Cd/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005		0,005
Krom	mg Cr/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		0,05
Sølv	mg Ag/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		0,01
Sum kationer ³	meq/l	2,66	1,12	0,32	6,42	1,03	1,68		
Ionebalanseavvik ⁴	%	-1,8	0,4	0	1,3	3,0	-2,3		