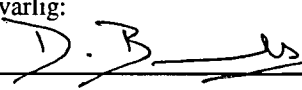


NGU Rapport 97.015

Oppfølgende grunnvannsundersøkelser og
numerisk modellering, Birkelandsmoen,
Sauda kommune.

Rapport nr.: 97.015		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Oppfølgende grunnvannsundersøkelser og numerisk modellering, Birkelandsmoen, Sauda kommune.			
Forfatter: David Segar, Eirik Muring og Øystein Jæger		Oppdragsgiver: Sauda kommune, Rogaland fylkeskommune og NGU	
Fylke: Rogaland		Kommune: Sauda	
Kartblad (M=1:250.000) Sauda		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1314 - III Sauda	
Forekomstens navn og koordinater: Birkelandsmoen		Sidetall: 41	Pris: kr 120,-
Feltarbeid utført: Juli 1996		Rapportdato: 17.02.1997	Prosjektnr.: 2713.11
		Ansvarlig: 	
Sammendrag:			
<p>På oppdrag fra Sauda kommune har NGU vurdert mulighetene for grunnvannsuttak fra løsmassene i områdene <i>Kleivflåta</i> og <i>Austarheim</i> langs Storelva.</p> <p>Ved Austarheim er det utført profileringer med georadar som indikerer gode muligheter for grunnvannsuttak. Det anbefales oppfølgende undersøkelser med undersøkelsesboringer og evt. langtidsprøvepumping av fullskala brønn.</p> <p>Ved Kleivflåta er tidligere detaljerte grunnvannsundersøkelser supplert med georadarundersøkelser og modellforsøk for å avklare grunnvannsmagasinet og hvilken effekt et evt. kommunalt grunnvannsuttak vil ha for Sauda Kildevann A/S sin grunnvannsbrønn som i dag utnytter samme grunnvannsmagasin. Kunstig infiltrasjon er også undersøkt som en aktuell løsning på magasinets manglende kapasitet. Modellen som er brukt i modellforsøket er MODFLOW.</p> <p>Modellforsøket indikerer at et evt. nytt grunnvannsanlegg vil ha en kapasitet på ca 20 l/s og at vannkvaliteten i Sauda Kildevann brønn i liten grad vil endres dersom et evt. kommunalt uttak ikke er større enn denne verdien. Det understrekes imidlertid at uttak fra et nytt grunnvannsanlegg vil påvirke vannstand og nedslagsfelt for Sauda Kildevann A/S sin brønn. Tilleggs-senkning vil også øke pumpekostnadene for Sauda Kildevann A/S. Endringer i nedslagsfelt for Sauda Kildevann A/S sin brønn kan også skade kildevannets troverdighet.</p> <p>Modellforsøket indikerer også at kunstig infiltrasjon kan være en aktuell metode for å øke kapasiteten fra grunnvannsmagasinet ved Kleivflåta. Det understrekes igjen at bruken av denne metoden også kan skade kildevannets troverdighet.</p> <p>Det understrekes at konklusjonene i modellforsøket representerer antagelser utfra tilgjengelige data. Grunnvannsmodellering er likevel en av de sikreste metoder som kan benyttes for å undersøke hydrauliske forhold i et grunnvannsmagasin dersom gode data er tilgjengelig. Dette har stort sett vært tilfelle i denne undersøkelsen.</p>			
Emneord: grunnvannsforsyning	modellforsøk	geofysikk	
hydrogeologi	løsmasse	ressurskartlegging	
		fagrapport	

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	6
1. KONKLUSJONER	7
2. INNLEDNING	9
2.1 Introduksjon	9
2.2 Tidligere undersøkelser	9
2.3 Formål	10
2.4 Metodikk	10
3. GRUNNVANNSUNDERSØKELSER VED AUSTARHEIM OG KLEIVLÅTA	12
3.1 Utførelse	12
3.2 Resultater	12
3.2.1 <i>Kleivflåta</i>	13
3.2.2 <i>Austarheim</i>	14
4. GRUNNVANNSMODELLERING AV MAGASINET VED KLEIVFLÅTA	16
4.1 Introduksjon	16
4.2 Simulering av grunnvannsstrømning i magasinet	16
4.3 Bestemmelse av grunnvannets strømrørninger og oppholdstid	17
4.4 Programvarer og datautstyr	17
5. EN NUMERISK GRUNNVANNSSTRØMNINGSMODELL AV MAGASINET VED KLEIVFLÅTA	18
5.1 Fysisk modell	18
5.2 Matematisk modell	20
5.2.1 <i>Gridet</i>	20
5.2.2 <i>Overflate topografi og fysiske trekk</i>	20
5.2.3 <i>Hydrauliske grenser</i>	20
5.2.4 <i>Magasinets utstrekning og mektighet</i>	21
5.2.5 <i>Permeabilitet</i>	22
5.2.6 <i>Infiltrasjonshastighet</i>	22
5.2.7 <i>Effektiv porøsitet</i>	23
5.2.8 <i>Opprinnelig grunnvannsnivå</i>	23
5.3 Kalibrering av MODFLOW-modellen	24
5.3.1 <i>Introduksjon</i>	24
5.3.2 <i>Tidsuavhengig modell</i>	25
5.3.3 <i>Tidsavhengig modell</i>	25
5.4 Modell følsomhet	28
6. SIMULERING AV GRUNNVANNSSTRØMNING I MAGASINET VED KLEIVFLÅTA UNDER ULIKE OPPLEGG	30
6.1 Metodikk	30
6.2 Simuleringene	31
6.2.1 <i>Dagens forhold</i>	31
6.2.2 <i>Vurdering av kapasiteten til et eventuelt grunnvannsanlegg</i>	31
6.2.3 <i>Effekten av utbygging av et grunnvannsanlegg på SK-brønnen</i>	35
6.2.4 <i>Effekten av et redusert uttak fra et eventuelt grunnvannsanlegg</i>	36
6.2.5 <i>Kunstig infiltrasjon ved Kleivflåta</i>	36
6.3 Usikkerheter	39
REFERANSER	41

Tekstbilag

- 1 Georadar - metodebeskrivelse
- 2 MODFLOW og MODPATH - beskrivelse

Databilag

- 1 Skjema som knytter hendelser i georadaropptak til lagdeling og avsetningstype
- 2 Permeabilitets- og porøsitetsverdier fra Kleivflåta beregnet fra kornfordelingsanalyser.
- 3 Transmissivitetsverdier fra Kleivflåta beregnet fra langtids prøvepumpingen.
- 4 Resultater fra sensibilitetsprøven på MODFLOW-modellen.

Kartbilag

- 01 Oversiktskart over Kleivflåta og Austarheim M 1: 50 000.
- 02 Detaljkart M 1:5 000, Plassering av sonderboring og georadar-profiler, Kleivflåta.
- 03 Detaljkart M 1:5 000, Plassering av sonderboring og georadar-profiler, Austarheim.
- 04 MODFLOW-modell: gridet og hydrauliske grenser.
- 05 MODFLOW-modell: Høydekart over flaten som skiller Lag 1 og 2.
- 06 MODFLOW-modell: Høydekart over flaten som skiller Lag 2 og 3.
- 07 MODFLOW-modell: Høydekart over flaten som skiller Lag 3 og 4.
- 08 MODFLOW-modell: Fordeling av permeabilitet, Lag 1.
- 09 MODFLOW-modell: Fordeling av permeabilitet, Lag 2.
- 10 MODFLOW-modell: Fordeling av permeabilitet, Lag 3.
- 11 MODFLOW-modell: Høydekart over simulert grunnvannsspeil.
- 12 MODPATH-modell: Sporene til partikler sporet fra SK-brønnen tilbake til sine infiltrasjonspunkter. Opplegg 6.2.1.
- 13 MODPATH-modell: Sporene til partikler sporet fra SK-brønnen tilbake til sine infiltrasjonspunkter. Området i nærhet av brønnene. Opplegg 6.2.1.
- 14 MODPATH-modell: Sporene til partikler sporet fra SK-brønnen og grunnvannsanlegget tilbake til sine infiltrasjonspunkter. Opplegg 6.2.2 og 6.2.3: Uttak fra grunnvannsanlegget på 20 l/s.
- 15 MODPATH-modell: Sporene til partikler sporet fra SK-brønnen og grunnvannsanlegget tilbake til sine infiltrasjonspunkter. Området i nærhet av brønnene. Opplegg 6.2.2 og 6.2.3: Uttak fra grunnvannsanlegget på 20 l/s.
- 16 MODPATH-modell: Sporene til partikler sporet fra SK-brønnen og grunnvannsanlegget tilbake til sine infiltrasjonspunkter. Opplegg 6.2.2: Uttak fra grunnvannsanlegget på 30 l/s.

- 17 MODPATH-modell: Sporene til partikler sporet fra SK-brønnen og grunnvannsanlegget tilbake til sine infiltrasjonspunkter. Opplegg 6.2.4: Uttak fra grunnvannsanlegget på 10 l/s.
- 18 MODPATH-modell: Sporene til partikler sporet fra SK-brønnen og grunnvannsanlegget tilbake til sine infiltrasjonspunkter. Opplegg 6.2.5: Uttak fra grunnvannsanlegget på 40 l/s og kunstig infiltrasjon på 40 l/s i grustaket.
- 19 MODPATH-modell: Sporene til partikler sporet fra SK-brønnen og grunnvannsanlegget tilbake til sine infiltrasjonspunkter. Opplegg 6.2.5: Uttak fra grunnvannsanlegget på 40 l/s og kunstig infiltrasjon på 20 l/s i grustaket.
- 20 Detaljkart M 1:5 000, Plassering av borehull og georadar-profiler, Austarheim og Kleivflåta. Georadaropptak P1-P4.

FORORD

En god vannforsyning med hensyn til kapasitet og kvalitet er grunnleggende og burde være en selvfølge i vårt land som har så mye lett tilgjengelig og lite forurenset ferskvann. Likevel har nesten 1 mill nordmenn for dårlig vannforsyning, mest på grunn av feil valg av vannkilde og mangelfullt rensed vann. EU-normene og de nye norske drikkevannsforskriftene medfører behov for en bedring av drikkevannsforsyningen i mange områder. I en femårsperiode fra 1995-1999 vil ulike departement bevilge 100 mill. kr. hvert år til forbedring av vannforsyningen.


Etter initiativ fra Miljøverndepartementet gjennomførte Norges geologiske undersøkelse (NGU) i perioden 1989-1992 prosjektet *Grunnvann i Norge (GiN)*. Det overordnede mål for GiN-prosjektet var å skape grunnlag for økt bruk og bedre beskyttelse av grunnvannsressurser. En viktig del av prosjektet bestod i registrering av potensielle grunnvannsressurser i 301 av landets kommuner. Registreringen ble gjennomført dels ved feltarbeid (30 % av kommunene) og dels ved gjennomgang av eksisterende bakgrunnsmateriale. GiN-prosjektet viste muligheter for grunnvannsforsyning til over 800 forsyningssteder (over 600 000 p.e.).

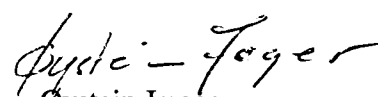
NGU har på bakgrunn av de forannevnte momentene startet prosjektet «Økt bruk av grunnvann». Formålet er en sikker dokumentasjon av kvantitet og kvalitet av grunnvannsforekomster som kan nyttes til allminnelig drikkevannsforsyning. Bedre vannforsyning til næringsmiddel- og reiselivsbedrifter er også prioritert.

Prosjektet gjennomføres som et samarbeidsprosjekt mellom NGU, fylkeskommuner og kommuner. Prioriteringen av kommuner vil bli gjort i samarbeid med fylkeskommunene, mens prioriteringen av forsyningssteder vil bli foretatt i samråd med kommunene.

I samråd med fylkesmyndighetene i Rogaland og ut fra kommunenes interesse for prosjektet ble kommunene Bjerkreim, Gjesdal, Hjelmeland, Hå, Sauda og Suldal valgt for grunnvannsundersøkelser i 1996. Arbeidet i de enkelte kommuner er planlagt i samarbeid med teknisk etat.

Prosjektet finansieres av Rogaland fylkeskommune (25 %), de enkelte kommuner (15 %) og NGU (60 %). I tillegg har kommunene/vannverka bidratt med en egeninnsats i form innhenting av bakgrunnsmateriale og teknisk tilrettelegging.


Bernt Olav Hilmo
Hovedprosjektleder


Øystein Jæger
avd.ing.

1. KONKLUSJONER

1. Ved Austarheim er det utført profileringer med georadar som indikerer gode muligheter for grunnvannsuttak. Det anbefales videre undersøkelser med undersøkelsesboringer og evt. langtidsprøvepumping av fullskala brønn.
2. Ved Kleivflåta er tidligere detaljerte grunnvannsundersøkelser supplert med georadarundersøkelser og modellforsøk for å avklare grunnvannsmagasinetns kapasitet og hvilken effekt et evt. kommunalt grunnvannsuttak vil ha for Sauda Kildevanns grunnvannsbrønn som utnytter samme magasin.
3. Modellforsøk indikerer at under dagens forhold stammer Sauda Kildevanns grunnvann for det meste fra Storelva og magasinet like nordøst for brønnen. Grunnvannets oppholdstid fra elva til brønnen er kort, i størrelsesorden 30-60 døgn. Oppholdstiden fra magasinet nordøst for brønnen er lengre og varierer fra én måned til ett år.
4. Med pumping fra både Sauda Kildevann A/S sin brønn og et eventuelt nytt kommunalt grunnvannsanlegg endres strømningsmønsteret og vannstanden i magasinet betydelig. Disse endringene i strømningsmønsteret vil skje dersom uttaket fra grunnvannsanlegget blir betydelig større enn uttaket fra Sauda Kildevann A/S sin brønn. Grunnvannsanlegget vil da ta over vannkildeområdet til Sauda Kildevann A/S sin brønn og dette medfører at Sauda Kildevann A/S sin brønn nå vil dra større vannmengder fra Storelva og mindre fra magasinet. Dette kan medføre små endringer i vannkvalitet ved Sauda Kildevann A/S sin brønn.
5. Simuleringene antyder at et uttak på ca. 20 l/s fra et eventuelt nytt grunnvannsanlegg representerer en sikker kapasitet uten kunstig infiltrasjon. Et slikt uttak vil imidlertid gi større senkning enn i dag ved Sauda Kildevann A/S sin brønn, og dette kan medføre en økning i kostnader i forbindelse med pumping for Sauda Kildevann A/S.
6. Kunstig infiltrasjon av vann fra Storelva eller fra en annen ren kilde vil trolig ikke ha noen negativ innvirkning på vannkvalitet og kvantitet ved Sauda Kildevann A/S sin brønn. Med en infiltrasjonshastighet på ca. 20 l/s kan grunnvannsanleggets kapasitet trolig økes til ca. 40 l/s uten å gi betydelig senkning i grunnvannsspeilet ved Sauda Kildevann A/S sin brønn. Strømningsmønsterer i området vil imidlertid bli påvirket.
7. Kunstig infiltrasjon representerer derfor en aktuell løsning på magasinets manglende kapasitet rent teknisk sett. Det må allikevel understrekes at kunstig infiltrasjon

kan virke uheldig i forbindelse med markedsføring av et 'kildevann' som naturlig. Konsekvensene **må** vurderes nøye dersom det blir bestemt å utføre videre undersøkelser. En endelig vurdering av effekten av kunstig infiltrasjon kan best dokumenteres ved et fullskala infiltrasjonsforsøk. Det anbefales at et slikt forsøk utføres etter avtale med Sauda Kildevann A/S.

8. Det finnes mange usikkerheter i en detaljert hydrogeologisk undersøkelse slik den er presentert i denne rapporten. Konklusjonene baseres spesielt på antakelsen om at filteret i Sauda Kildevann A/S sin brønn ligger i nivå 10-20 m under bakken. Det har ikke vært mulig å få opplysninger fra Sauda Kildevann A/S om utformingen av denne brønnen. **Hvis filteret faktisk ligger på et annet nivå må resultatene av modellforsøket korrigeres.** Man må være klar over disse begrensningene og usikkerhetene når man bruker konklusjonene. Dette betyr ikke at konklusjonene er ugyldige, men at de representerer det som er *antatt* å være tilfelle ut fra de dataene som er tilgjengelige. Det kan likevel sies at grunnvannsmodellering er en av de sikreste metodene som kan benyttes til å undersøke hydrauliske forhold i et magasin *dersom* gode data er tilgjengelige. Dette har stort sett vært tilfelle i denne undersøkelsen.

2. INNLEDNING

2.1 Introduksjon

Sauda kommune har bedt Norges geologiske undersøkelse om en vurdering av mulighetene for kommunalt grunnvannsuttak som alternativ til produksjon av overflatevann. Den mest aktuelle overflatevannkilden for utbygging er Svartavann som ligger 750 m.o.h. og som vil kreve legging av 9 km ny vannledning i vanskelig terreng.

NGUs grunnvannsundersøkelser ved Birkelandsmoen sommeren 1996 ble i samråd med kommunen avgrenset til områdene *Kleivflåta* og *Austarheim* langs Storelva.

Undersøkelsen ved Kleivflåta har omfattet georadarundersøkelser og numerisk modellering av grunnvannsmagasinet for å forutsi konsekvenser av kommunalt grunnvannsuttak. Det er tidligere utført omfattende grunnvannsundersøkelser på denne lokaliteten (Viak A/S 1991), og konklusjonen etter disse undersøkelsene var at grunnvannsmagasinet ved Kleivflåta har en kapasitet på 20 l/sek. Kommunens vannbehov er oppgitt til ca 40 l/sek, og et mulig tiltak for å øke kapasiteten av magasinet er kunstig infiltrasjon av elvevann i løsmassene sørøst for kommunens grunnvannsbrønn. Sauda Kildevann A/S (SK) utnytter allerede samme grunnvannsmagasin i sin produksjon av flaskevann og modellforsøket skal også bidra til å avklare konsekvenser av kommunalt grunnvannsuttak for SKs produksjon. Alle tilgjengelige data fra tidligere undersøkelser er brukt i modelleringsforsøket.

Ved Austarheim har NGU tidligere påvist muligheter for grunnvannsuttak (Huseby 1983). Sommeren 1996 utførte NGU supplerende georadarundersøkelser for å kartlegge utstrekningen og mektigheten av de vannførende løsmasseavsetningene i området.

Et oversiktskart med plasseringen av de undersøkte lokalitetene er vist i kartbilag -01.

2.2 Tidligere undersøkelser

Det har tidligere vært utført en rekke grunnvannsundersøkelser i området. Disse undersøkelsene har vært utført både i kommunal og privat regi. Undersøkelsene i privat regi har vært utført i forbindelse med utbygging av en fabrikk for emballert vann, mens undersøkelsene utført for Sauda kommune er gjort med tanke på grunnvannsforsyning til kommunalt nett.

Ved Kleivflåta ligger en produksjonsbrønn på ei elveslette ca. 20 m fra elva. Denne brønnen eies av Sauda Kildevann A/S som har gitt opplysninger om et gjennomsnittlig uttak på ca. 144 m³/døgn (1.7 l/s). Brønnen kalles heretter for 'SK-brønnen'.

Etter oppdrag fra Sauda Kommune utførte A/S Geoteam i 1981 seismiske målinger i området ved Birkelandsmoen Ytre på begge sider av Storelva. Hensikten med undersøkelsen var å fastlegge dybden av løsmasseavsetningen langs profilene samt gi en vurdering av løsmassenes art.

Tidlig på 1980-tallet utførte NGU grunnvannsundersøkelser i området ved Austarheim nord for Storelva (Huseby, 1983). I 1992 ble avsetningen ved Kleivflåta vurdert av NGU med tanke på kommunalt grunnvannsforsyning. Mulighetene for grunnvannsforsyning ble vurdert som 'god' (Soldal & Ragnhildstveit, 1992).

Grunnvannsundersøkelser ble utført ved Kleivflåta av Viak A/S i 1991 (Viak A/S, 1991). I den forbindelse ble det gjennomført grunnboringer, og en fullskala prøvepumpingsbrønn ble etablert i området. En langtids prøvepumping ble utført høsten 1992. Et oversiktskart som viser plasseringen av prøvepumpingsbrønnen, SK-brønnen og observasjonsbrønnene er vist i kartbilag -02.

2.3 Formål

Formålet med disse undersøkelsene har vært å undersøke mulighetene for grunnvannsforsyning til Sauda kommune fra Austarheim og Kleivflåta. Spesiell oppmerksomhet er rettet mot å klarlegge konsekvenser av et eventuelt kommunalt grunnvannsuttak ved Kleivflåta på SK-brønnen. Undersøkelsen vurderer dessuten kunstig infiltrasjon som mulige tiltak for å øke kapasiteten av grunnvannsmagasinet ved Kleivflåta.

2.4 Metodikk

Sommeren 1996 utførte NGU georadar-undersøkelser ved Kleivflåta og Austarheim. Ved Kleivflåta ble to profiler målt, et langprofil ved siden av Storelva og et tverrprofil fra SK-brønnen sørøstover mot kraftlinjene ved grustaket. Ved Austarheim ble det også målt to profiler.

Matematiske grunnvannsstrømningsmodeller ble konstruert for å simulere grunnvannsstrømningen i magasinet ved Kleivflåta. Modellene ble kalibrert ved bruk av senkningsdata fra langtids prøvepumpingen utført av Viak A/S i 1992. Modellen ble

deretter nyttet til å bestemme grunnvannets strømningsretninger i magasinet under pumping fra SK-brønnen alene og deretter med pumping både fra SK-brønnen og fra et tenkt kommunalt grunnvannsanlegg. Innflytelsen av et slikt nytt anlegg ble dermed undersøkt. Modellene ble også kjørt med ulike volum på grunnvannsuttaget for å undersøke forskjellene i grunnvannets strømningsmønster.

Modellene ble deretter brukt til å simulere kunstig infiltrasjon i et basseng sørvest for grustaket ved Kleivflåta for på denne måten å undersøke effekten av kunstig infiltrasjon på SK-brønnen og på et eventuelt kommunalt grunnvannsanlegg.

3. GRUNNVANNSUNDERSØKELSER VED AUSTARHEIM OG KLEIVLÅTA

3.1 Utførelse

En generell beskrivelse av georadarmålinger er vedlagt i tekstbilag 1. Georadaren som ble benyttet er digital og av typen pulseEKKO 100 (Sensors & Software Inc, Canada). Samplingsintervall var 1,6 ns. Opptakstid var 1200 ns, med unntak av ett av profilene (P1) der opptakstiden var 1000 ns. Antenne- og flyttavstand var 1 m. Antenne senterfrekvens og senderspenning var henholdsvis 50 MHz og 1000 V. Det ble målt fire profiler (to i hvert av områdene som ble undersøkt) i en samlet lengde på ca. 1,3 km. Reelle lengder av profiler (målt på kart) kan være noe forskjellig fra profilmeter angitt over georadaropptak, pga. mulig tilfeldig eller systematisk feil i flyttavstand ved utførelsen av målingene. Det er markert for hver 100 profilmeter på kartet i kartbilag -24. Kommentarer under opptakene kan også bidra til at en lettere kan plassere posisjoner riktig i forhold til kartet. Ved beskrivelse av opptak refereres det til profilmeter (over opptakene). Opptakene er terrengkorrigert der det som bakgrunn er benyttet kart i målestokk 1:5000 og kommentarer under opptak. Ved utskrift av opptakene er det benyttet 5-punkts gjennomsnitt langs traser for å redusere høyfrekvent støy. Det ble også benyttet lineær, egendefinert forsterkning.

3.2 Resultater

Oversiktskart som viser plasseringen av profilene er vist i kartbilag -02 (Kleivflåta), -03 (Austarheim) og -24 (begge). Det ble ikke utført CMP/WARR-målinger (se tekstbilag for en forklaring) for bestemmelse av EM-bølgehastighet. Ved dybdekonvertering av tidsseksjonene ble det for tre av profilene (P1, P3 og P4) benyttet en lav hastighet (0,08 m/ns), fordi grunnvannsspeil ligger høyt langs disse profilene. For P2 ble det benyttet en høyere hastighet (0,1 m/ns) fordi grunnvannsspeil her ligger lavere. Stedvis beskrives 'døde' områder der dynamikkområdet er mettet pga. for kraftige signaler. Disse områdene er ikke tolkbare og må betraktes som støy. Plassering av noen tidligere utførte refraksjonsseismiske profiler (Geoteam A/S, 1981) er vist i kartbilag -24.

3.2.1 Kleivflåta

Det ble målt to profiler (P1 & P2) i dette området. Profilplasseringene er vist i kartbilag -02 og -24. Georadaropptakene er vist i kartbilag -24. Hensikten med målingene langs profil 2 var å vurdere mulighetene for kunstig vanninfiltrasjon i avsetningene mot sørøst. Refraksjonsseismiske målinger (profil 5/81) i området viser at dyp til fjell er i størrelsesorden 20-25 m over øya vest for P1. Langs 3/81 er dyp til fjell 45-50 m ved posisjon 0 og avtar til ca. 30 m ved posisjon 230. Fra denne posisjonen går fjell bratt oppover til ca. 8 m dyp ved posisjon 330. Ved nordøstenden av profilet (og nær nordøstenden av georadarprofil P1) er dyp til fjell ca. 10 m. Seismiske hastigheter ligger i området 1500-1800 m/s, som av Geoteam A/S (1981) er tolket som vannmettet sand/grus, men med fastere konsolidert materiale i de dypere partier i profil 3/81.

P1

Profilet er målt langs elva forbi SK-brønn fra sørvest mot nordøst. Hele opptaket viser svært kraftig refleksivitet. På bakgrunn av refleksjonsmønster kan beskrivelsen av opptaket todeles. Mellom posisjon 0 og 370 sees for det meste et skrått refleksjonsmønster (se databilag 1, etter Beres & Haeni 1991). Penetrasjonsdypet er stedvis større enn 30 m. Avsetningene er her trolig dominert av grovkornige breelavsetninger. Grunnvannsspeil sees i områdene 120-195 og 260-375 i nivå ca. 55 moh. Antatt grunnvannsspeil sees også sporadisk mellom posisjon 475 og 560, men ligger her noe høyere (ca. 57 moh.). Mulig fjellreflektor sees mellom posisjon 105 og 135 og mellom posisjon 190 og 255 (nivå 29-35 moh, i overensstemmelse med tolkning av refraksjonsseismisk profil). Mellom posisjon 370 og nordøstenden av profilet (posisjon 625) er refleksjonsmønsteret kaotisk. Det er trolig overveiende grovkornige avsetninger også i dette området, men plassering av fjellreflektor er svært vanskelig å erkjenne i denne delen av opptaket. Ca. 4 m til side for posisjon 625 er det observert fjell i overflaten. En mulig sørvestlig fortsettelse av fjelloverflaten inn i profilet kan muligens sees som en sone med kraftig refleksivitet i nivå 50-55 moh. mellom posisjon 545 og 620. Mellom posisjon 370 og 545 er plasseringen av fjellreflektor svært usikker ut fra georadaropptaket. Refraksjonsseismisk profil 3/81 (Geoteam, 1981) som er målt 20-70 m øst for georadarprofilet indikerer her et dyp til fjell i området 20-30 m. Det mest interessante området for grunnvannsuttak vil trolig uansett være mellom posisjon 0 og 370, i det området der Sauda Kildevann A/S har sin brønn.

P2

Profilet er målt fra brattskrent ved SK-brønn i nordvest mot Birkeland i sørøst. Grunnvannsspeil sees som en markant reflektor gjennom hele profilet. Det ligger i nivå ca. 55 moh. ved posisjon 0, men stiger til ca. 65 moh. ved sørøstenden av profilet (posisjon 345). Mellom posisjon 0 og 170 sees et overveiende skrått refleksjons-

mønster som trolig representerer strukturer i breelvavsetninger. Penetrasjonsdypet er stedvis ca. 40 m. 'Døde' områder ses i de første 200 ns av opptaket mellom posisjon 5 og 65. Mellom posisjon 170 og 345 er refleksjonsmønsteret hauget til kaotisk. Penetrasjonsdypet er 30-40 m. Det er her trolig samme avsetningstype som mellom posisjon 0 og 170, men med en annen avsetningsretning. Fjellreflektor kan ikke erkjennes i opptaket. Profilet krysser omtrent ved posisjon 0 i refraksjonsseismisk profil 3/81 (Geoteam A/S, 1981). Her er tolket dyp til fjell i størrelsesorden 45-50 m, det vil si utenfor georadarens dybderekkevidde. I og med at grunnvannsspeil kan følges helt til den sørøstlige enden av profilet, er det trolig grove avsetninger og gode muligheter for infiltrasjon. Dyp til grunnvannsspeil er ca. 10 m mellom posisjon 0 og 70.

Oppsummering

Georadaropptakene indikerer at det best egnede området for uttak av grunnvann trolig ligger i nærheten av eksisterende brønnområde for Sauda Kildevann A/S. For å vurdere hvilken innvirkning et kommunalt grunnvannsuttak i det samme området vil ha på eksisterende uttak, er det foretatt grunnvannsmodellering (se kapittel 4-6). Profil 2 indikerer at det er gode muligheter for kunstig vanninfiltrasjon sørøstover på avsetningen.

3.2.2 Austarheim

To profiler ble målt også i dette området (P3 & P4). Profilplasseringene er vist i kartbilag -03 og -24. Georadaropptakene er vist i kartbilag -24. Området er i øst begrenset av en fjellterskel med fjell i dagen. Det er tidligere utført en sonderboring i dette området (se kartbilag -24). Denne viser øverst ca. 1 m med steinmateriale, deretter sand/grus ned til ca. 8 m, og grov grus ned til fjell/stein på 12 m dyp (Huseby, 1983). Refraksjonsseismisk profil 1/81 (Geoteam, 1981) viser 20-25 m dyp til fjell i det samme området. Dette indikerer at det sannsynligvis er påtruffet stein på 12 m dyp ved boringen. Ved nordøstenden av det refraksjonsseismiske profilet, dvs. nær enden av georadarprofil P3 er dyp til fjell tolket til ca. 8 m. Løsmassene er av Geoteam (1981) tolket til å representere vannmettet sand/grus.

P3

Refleksjonsmønsteret er skrått eller hauget og representerer trolig strukturer i breelvavsetninger. Grunnvannsspeil sees som en horisontal reflektor i nivå ca. 68 moh. og ligger svært nær overflaten (1-3 m dyp). Opptaket er stedvis skjemet av 'døde' områder, noe som imidlertid har liten betydning for tolkningen. Fjellreflektor kan sporadisk antydes i nivå ca. 45 moh. (20-25 m dyp, i overensstemmelse med refraksjons-

seismikk) mellom posisjon 40 og 115. Boringen som er plassert ca. 25 m fra sørvestenden av profilet, indikerer ca. 12 m til fjell. Det refraksjonsseismiske profilet (Geoteam A/S, 1981) indikerer at dette kan være feil.

P4

I dette opptaket sees dels skrått og dels hauget refleksjonsmønster med stedvis trauformete strukturer. Disse kan representere innfylling av gamle smeltevannsløp. Grunnvannsspeil sees mer eller mindre sammenhengende gjennom hele opptaket i nivå ca. 68 moh. Fjellreflektoren kan antydes i nivå 40-45 moh. mellom posisjon 0 og 65. Fra posisjon 65 blir fjellreflektoren grunnere og ligger i nivå ca. 53 moh. mellom posisjon 100 og 125. Fra posisjon 125 er plasseringen av fjellreflektoren usikker, men fjell er observert nær sørøstenden av profilet.

Oppsummering

Georadaropptakene indikerer at massene i den undersøkte elvesletta består av sortert sand og grus med god vanngjennomgang og at det er muligheter for større grunnvannsuttak. En tidligere boring (Huseby, 1983) bekrefter dette.

De mest gunstige områder for videre undersøkelser i form av boringer er trolig mellom posisjon 0 og 125 langs P4 og mellom posisjon 0 og 120 langs P3. Her indikerer opptakene grovkornige avsetninger (trolig breelvavsatte) og høyt grunnvannsspeil. Det kan her være 15-25 m med vannmettede avsetninger. Området bør undersøkes nærmere, fordi det kan være et godt alternativ/supplement til planlagt kommunalt grunnvannsuttak ved Kleivflåta. Da bør eventuell konflikt med Sauda Kildevann A/S sitt eksisterende anlegg unngås.

Supplerende boring sentralt i området der løsmasse tykkelsen trolig er 20 - 25 m bør utføres. Dersom en slik boring viser seg å være positiv bør grunnvannsmagasinetts kapasitet og grunnvannets kvalitet undersøkes gjennom en langtids prøvepumping av fullskala brønn.

4. GRUNNVANNSMODELLERING AV MAGASINET VED KLEIVFLÅTA

4.1 Introduksjon

Hensikten ved modellering av grunnvannsmagasinet ved Kleivflåta har vært å produsere en matematisk strømningsmodell som kan simulere grunnvannsstrømningen i magasinet, med spesiell oppmerksomhet rettet mot området rundt SK-brønnen og området hvor Sauda kommune vurderer å bygge ut et nytt grunnvannsanlegg.

Etter kalibrering ble modellen brukt til å bestemme ulike egenskaper til grunnvannsmagasinet. Eksempel på slike egenskaper er strømningsretninger, senkninger, vannkilder og oppholdstid under ulike opplegg. Modellen har på denne måten blitt brukt til å vurdere innflytelsen av et nytt grunnvannsanlegg på SK-brønnen. Modellen har også blitt brukt til å vurdere kunstig infiltrasjon som et tiltak for å øke grunnvannsmagasinet's kapasitet.

4.2 Simulering av grunnvannsstrømning i magasinet

Den numeriske modellen MODFLOW ble valgt for å simulere grunnvannsstrømningen i magasinet. En beskrivelse av MODFLOW finnes i tekstbilag 2. MODFLOW gir imidlertid ikke "magiske" svar. Man må være klar over at simulerte data og målte data vil avvike på grunn av:

- i) Modellen er en forenkling av virkelighet. Målet med modellering er å tilpasse en modell til virkelige data uten at den blir mer komplisert enn nødvendig.
- ii) Modellen er ikke mer pålitelig enn de data som den er basert på.
- iii) Modellen må kalibreres. En tilfredsstillende modell må kunne simulere kjente grunnvannsdata før den kan brukes.

MODFLOW simulerer kun tap av grunnvannstrykk på grunn av magasinet. Tap av trykk på grunn av brønnen taes ikke hensyn til, og dette kommer i tillegg.

4.3 Bestemmelse av grunnvannets strømretninger og oppholdstid

Modellen MODPATH ble brukt til å beregne både grunnvannets oppholdstid i magasinet samt hvor grunnvannet stammer fra. En beskrivelse av MODPATH finnes i tesktbilag 2.

Ved å beregne grunnvannets oppholdstid i magasinet under ulike opplegg kan MODPATH brukes til å undersøke effekten av utbygging av et nytt grunnvannsanlegg ved Kleivflåta på SK-brønnen.

4.4 Programvarer og datautstyr

Datafilene som MODFLOW og MODPATH bruker blir konstruert ved hjelp av Visual MODFLOW (Waterloo Hydrogeologic Inc.). Visual MODFLOW er en programvare som gjøre det lettere å lage (og senere modifisere) de store datafilene som både MODFLOW og MODPATH trenger. Disse datafilene inneholder alle de nødvendige hydrogeologiske dataene i et format som kan leses av modellene. Programvarene CorelDraw (Corel Corporation) og Surfer (Golden Software Inc.) ble også brukt til å konstruere ulike filer for bruk i modellene.

Resultatene ble presentert ved hjelp av programmene Visual MODFLOW, Surfer og Grapher (Golden Software Inc.). Modellene ble kjørt på en 200MHz Vale Platinum HX PC.

5. EN NUMERISK GRUNNVANNSSTRØMNINGSMODELL AV MAGASINET VED KLEIVFLÅTA

5.1 Fysisk modell

For å lage en grunnvannsstrømningsmodell må man først ha en forståelse av magasinets oppbygging (grus, sand, leire, osv.) og dets grenser (vann, ugjennomtrengelige medier, områder med kjent infiltrasjonshastighet osv.).

Magasinets oppbygging

Magasinet er breelvavsetningen ved Storelva. Massene består av lagdelt grus, sand og finsand. Magasinforløpet innen området ved Kleivflåta langs Storelvas løp synes å være dominert av fjellterskelen som strekker seg fra Herheim i nordvest til Særmyrhaugene i sørøst (Viak A/S, 1992). Plasseringen av denne fjellterskelen er vist i kartbilag -02. Borpunkt 9103 ligger oppe på denne fjellterskelen som her er overlagret av 12-13m finkornete løsmasser. Mektigheten på avsetningen øker raskt nedstrøms terskelen, og ved borpunkt 9102 er mektigheten opp mot 20 m. Løsmassesammensetningen er her grovere og består hovedsakelig av grus og sand. Ved observasjonsbrønn 9104 har løsmassene igjen større finstoffinnhold.

Ifølge Viak A/S (1992) har den varierende sammensetningen av løsmassene over den korte strekningen sammenheng med fjellterskelens innvirkning på isbevegelsen og vannløpet i dalgangen. Under avsmeltingsperioden for den store innlandsisen stoppet bretingen som fylte dalen opp ved fjellterskelen og avsatte grovkornete avsetninger ved bremunningen og gradvis finere materiale lenger unna. Dette forløpet kan sees både i elva, som danner et markert trinn i området, og i borpunktene 9102, 9104 og 9105. I borpunktene 9102 og 9105 er løsmassesammensetningen mer grovkornig enn i borpunkt 9104.

Inndeling av magasinet

Det kan ikke fastslås noen klar deling av magasinet i vertikal retning på basis av massebeskrivelsene i Viaks borelogger, men disse boreloggene gir en indikasjon på vanngjennomgangen i massene. På dette grunnlaget kan magasinet deles opp i fire lag:

Lag 1 Hovedsakelig grusig sand med god vanngjennomgang. Laget har en mektighet på ca. 11 m.

Lag 2 Grusig grovsand og sandig grus med god til meget god vanngjennomgang. Laget har meget god vanngjennomgang ved observasjonsbrønn 9105 og har en mektighet på mellom 3 og 6 m.

Lag 3 Grusig sand med god vanngjennomgang og med meget god vanngjennomgang ved observasjonsbrønn 9105. Laget er imidlertid mer finkornig enn Lag 2, og utstrekningen av løsmasse med meget god vanngjennomgang i dette laget er mye mindre. Dette laget er også ca. 3 - 6 m tykt.

Lag 4 Fjell.

Lag 1 til 3 antas til å strekke seg over hele området, men boreloggene, kornfordelingsanalysene og georadarundersøkelsene indikerer at magasinet har en varierende sammensetning både mot dypet og horisontalt.

Mating av magasinet

Magasinet mates av infiltrasjon fra nedbør og fra Storelva som er regulert. Grunnvannsnivået i områdene langs Storelva er bestemt av vannføringen i vassdraget. Grunnvannspeilet fluktuerer stort sett med vannivået i elva i dette området (Viak A/S, 1992). Viak A/S sier også at elva i perioder mater grunnvannsmagasinet ved Kleivflåta, men at situasjonen er omvendt i perioder med liten vannføring i elva. Vannføringen i elva er vanligvis lav (vannmengder mellom 0,7-1,7 m³/sek er vanligst), men den kan øke til mellom 2-85 m³/sek i korte perioder.

Magasinets art

Magasinet defineres som et åpent magasin i og med at det ikke ligger tette lag over magasinet.

5.2 Matematisk modell

5.2.1 Gridet

Gridet som ble brukt til å simulere magasinet ved Kleivflåta er vist i kartbilag -04. Gridet består av fire lag som representerer Lag 1-4 som beskrevet i avsnitt 5.1.

Gridet består av små blokker i nærheten av pumpebrønnene for å øke modellens nøyaktighet i dette området. Hver blokk i hvert lag ble gitt en foreløpig verdi for magasyntykkelse, permeabilitet, infiltrasjonshastighet (fra nedbør) og et opprinnelig grunnvannsnivå. Disse foreløpige verdiene ble justert under kalibrering av modellen.

5.2.2 Overflate topografi og fysiske trekk

Et topografisk kart, målestokk 1:5000, over området ble digitalisert ved bruk av SURFER (Golden Software Inc.), og den resulterende datafilen ble importert i Visual MODFLOW.

Et digitalisert kart over fysiske trekk i området (veier, elver, bebyggelser, osv.) ble også konstruert ved bruk av CorelDraw og importert i Visual MODFLOW.

5.2.3 Hydrauliske grenser

De hydrauliske grensene som ble brukt for å simulere magasinet ved Kleivflåta er vist i kartbilag -04. Den sørvestlige delen av grunnvannsmagasinet simuleres ved bruk av blokker med uforanderlige grunnvannstrykk. Disse blokkene simulerer innvirkningen av drenering av grunnvannet ut mot havet sørvest for området. Grensen er plassert slik at den egentlig ikke har noen innvirkning på grunnvannsnivåene i området rundt brønnene fordi grensen er plassert så langt fra brønnene at bruken av andre typer grenser ikke vil endre de simulerte grunnvannsnivåene.

Alle andre hydrauliske grenser rundt kanten til gridet representeres av blokker med null permeabilitet. Dette sørger for at den regionale grunnvannsstrømretningen først er mot dalen til Storelva og så ut mot havet i sørvest .

Storelva ble simulert ved å bruke 'elvepakken' i MODFLOW-modellen. Pakken simulerer ei elv som et vassdrag med et gitt vanntrykk i hydraulisk forbindelse med modellen gjennom et lag (dvs. elvebunnen) med en gitt permeabilitet og mektighet. Bidraget til eller fra elva er derfor avhengig av forholdet mellom vanntrykket i elva og grunnvannsmagasinet. Blokkene som ble brukt til å simulere Storelva er vist i kartbilag -04. Elvebunnen har en varierende sammensetning, og en vilkårlig foreløpig verdi for dens permeabilitet ble justert under kalibreringsprosessen (se avsnitt 5.3). Vannivåer i elva ble tatt fra nivelleringsdata målt av Sauda kommune våren 1992. Vannføringen i elva på tiden nivelleringen ble utført var på ca. 0,7-1,5 m³/sek.

5.2.4 Magasinets utstrekning og mektighet

Magasinets utstrekning ble vurdert på basis av topografi, en seismisk undersøkelse utført av Geoteam A/S 1981, feltundersøkelser utført av NGU sommeren 1996 og tolkning av resultatene fra prøvepumpingen utført av Viak A/S i 1992. Områder med bart fjell ble kartlagt i felt. Disse områdene inkluderer området sørøst for grustaket og områdene øst og nord for observasjonsbrønn 9103. Disse områdene representerer derfor grensen til magasinet. Tolkning av senkningsdataene fra observasjonsbrønn 9108 under prøvepumpingen ved bruk av Stallman's metode (Kruseman & de Ridder, 1992) tyder på at det finnes masser med lav permeabilitet ca. 32 m fra brønnen (metoden gir ingen antydning til retning). Feltbefaringen viste at det ligger en fjellvegg ved grustaket i denne avstanden fra brønnen. Fjellveggen er derfor tolket som en grense til magasinet.

Tolkning av senkningsdataene fra observasjonsbrønn 9104 ved bruk av Stallman's metode (Kruseman & deRidder, 1992) tydet på at det fins masser med lav permeabilitet ca. 93 m fra brønnen. Feltbefaringen viste at det er kildeutslag i dette området, og området ble derfor klassifisert som lavpermeabelt. Utstrekningen til disse lavpermeable massene er ikke kjent, og dette representerer en usikkerhet i modellen.

Magasinets mektighet ble anslått på basis av både seismiske målinger (Geoteam A/S, 1981), tidligere sonderboringer (Viak A/S, 1992), NGUs georadar-undersøkelser (denne rapporten) og dalens topografi.

Kart som viser høyden til flatene som skiller Lag 1, 2, 3 og 4 er vist i kartbilag -05 til -07. Disse kartene ble digitalisert ved bruk av SURFER (Golfen Software Inc.), og de resulterende datafilene ble importert i Visual MODFLOW.

5.2.5 Permeabilitet

Verdiene for permeabilitet ble anslått på basis av både kornfordelingskurvene og prøvepumpingsresultatene fra Viak A/S (1992).

Beregningene som ble basert på kornfordelingskurvene brukte Bayer metoden (Langguth & Voigt, 1980). Denne metoden bruker formen på kornfordelingskurvene til å anslå permeabiliteten, K:

$$K = C * d_{10}^2$$

$$\text{hvor: } C = a + b \cdot \log_{10} U + c(\log_{10} U)^2 + d(\log_{10} U)^3 + e(\log_{10} U)^4 + f(\log_{10} U)^5$$

$$U = d_{60}/d_{10}$$

$$a = 1,20E-02$$

$$b = -5,85E-03$$

$$c = -5,12E-04$$

$$d = 5,16E-03$$

$$e = -4,44E-03$$

$$f = 1,17E-03$$

Resultatene fra disse beregningene er vist i databilag 2.

Beregninger av transmissivitet fra prøvepumpingen ved Kleivflåta ble også brukt til å gi en indikasjon på permeabiliteten til lagene. Disse transmissivitetsverdiene representerer imidlertid den kombinerte transmissiviteten til alle lagene. Beregningene av transmissivitet fra prøvepumpingen er vist i databilag 3.

Verdiene vist i databilagene 2 og 3 ble brukt som et grunnlag til å anslå foreløpige permeabilitetsverdier i MODFLOW-modellen. Disse verdiene ble justert under kalibreringen (se avsnitt 5.3).

5.2.6 Infiltrasjonshastighet

Infiltrasjonshastighet ble anslått som en fast andel (35%) av nedbør. Nedbør anslås som ca. 2200 mm/år (NVE, 1996). En foreløpig verdi for infiltrasjonshastigheten på 770 mm/år ble brukt. Infiltrasjonshastigheten betraktes som uforanderlig over området.

Denne verdien ble justert under kalibreringsprosessen, og den viste seg å være for høy (se avsnitt 5.3).

5.2.7 Effektiv porøsitet

MODPATH trenger verdier for effektiv porøsitet (n_e) i de fire lagene. Disse verdiene ble anslått ved bruk av Bayer-metoden (Langguth & Voigts, 1980) på grunnlag av konfordelingskurvene fra Viak A/S (1992). Resultatene fra disse vurderingene er vist i databilag 2.

5.2.8 Opprinnelig grunnvannsnivå

Tidsuavhengig modell

MODFLOW trenger opprinnelige grunnvannsnivåer for hver blokk til å starte beregningene med. Når MODFLOW er kjørt som en tidsuavhengig modell, trenger verdiene som brukes bare være gode nok til at MODFLOW kan konvergere. Alle lag ble derfor gitt et uforanderlig grunnvannsnivå på 70 moh..

Bruk av andre verdier for opprinnelige grunnvannsnivåer vil ikke gi andre resultater fordi det bare eksisterer én løsning som MODFLOW vil konvergere på hvis alle andre parametre holdes uforandret. Desto nærmere de opprinnelige verdiene for grunnvannsnivåene er løsningen, jo lettere blir det for modellen å konvergere. Når MODFLOW kjøres som en tidsavhengig modell vil resultatene derimot avhenge av verdiene for de opprinnelige grunnvannsnivåene.

Tidsavhengig modell

Den tidsavhengige versjonen av MODFLOW brukte grunnvannsnivåene produsert av den kalibrerte tidsuavhengige modellen som opprinnelige grunnvannsnivåer (se avsnitt 5.3.2). Disse nivåene representerer forhold som eksisterte like før oppstart av prøvepumpingen utført av Viak A/S høsten 1992 (dvs. forhold uten pumping).

5.3 Kalibrering av MODFLOW-modellen

5.3.1 Introduksjon

Kalibrering av en matematisk modell er en prosess hvor data i modellen justeres slik at den simulerer målte felldata. Felldata som oftest brukes i denne sammenhengen er grunnvannsnivå og senkningsdata fra prøvepumper.

En tidsuavhengig modell justeres slik at parameteren, rmsD (fra engelsk 'root mean square discrepancy') minimaliseres.

rmsD defineres som:

$$\text{rmsD} = \sqrt{[\sum(t_m - t_0)^2 / n]}$$

hvor: t_m er simulert grunnvannstrykk
 t_0 er målt grunnvannstrykket
 n er antall feltmålinger

Det simulerte grunnvannstrykket i hver blokk i modellen representerer en gjennomsnittlig verdi for hele blokken, mens grunnvannsnivået målt i en observasjonsbrønn representerer grunnvannsnivået på *det* punktet. Et presist samsvar mellom simulerte data og målte data (dvs. rmsD = 0) kan derfor ikke forventes. Formålet med kalibrering er likevel å redusere rmsD til en minimum verdi uten å gjøre modellen mer komplisert enn nødvendig.

Modellen kan sies å være 'kalibrert' når rmsD-verdien er slik at den er ubetydelig i forhold til forskjellen i grunnvannstrykk som eksisterer innenfor det simulerte området.

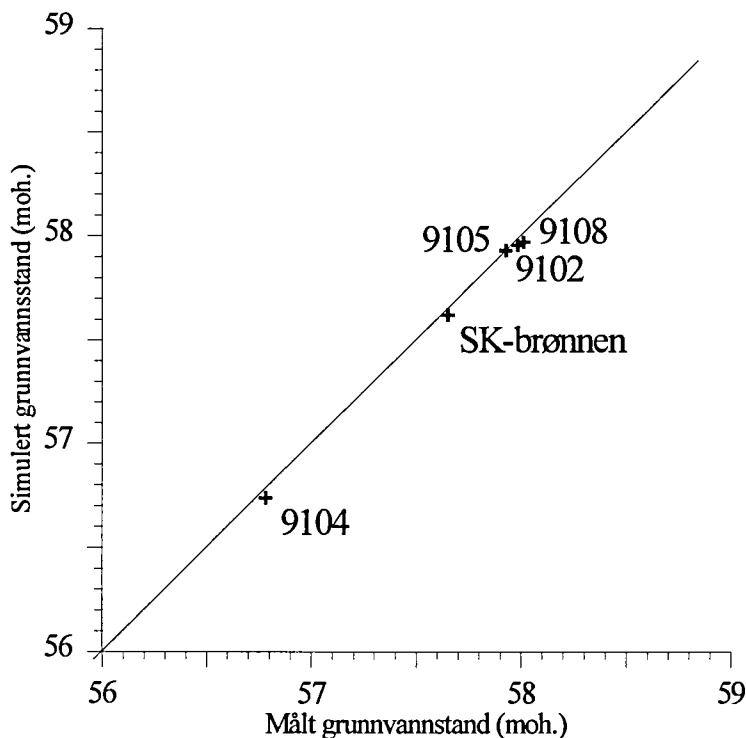
Når kalibreringsprosessen av den tidsuavhengige versjonen av modellen er ferdig, blir den kjørt som en tidsavhengig modell slik at endringer i grunnvannsnivåene under pumping kan simuleres. Sammenligning av simulerte data mot målte data blir vanligvis gjort ved visuell inspisering av dataene. Modellen blir så kjørt på nytt som en tidsuavhengig modell, og kalibreringsprosessen gjentas. Denne prosessen blir gjentatt til den samme modellen kan simulere både tidsuavhengige og tidsavhengige data.

5.3.2 Tidsuavhengig modell

Den tidsuavhengige versjonen av MODFLOW ble kalibrert ved å simulere grunnvannsnivåene før prøvepumpingen ved Kleivflåta (Viak A/S, 1992).

De anslåtte hydrauliske parametrene ble justert under kalibreringen til de simulerte grunnvannsnivåene var i tilstrekkelig overensstemmelse med de målte verdiene. Justeringer ble bare gjort for parametre der felldata var upresise eller mangelfulle.

Resultatene fra kalibreringen av den tidsuavhengige versjonen av MODFLOW er vist i figur 5.1. Diagrammet viser et plott av simulert grunnvannstrykk mot målt grunnvannstrykk, og viser at modellen godt simulerer de målte grunnvannsnivåene før prøvepumpingen.



Figur 5.1 Plott av målt mot simulert grunnvannstander ved observasjonsbrønnene. Tidsuavhengig modell

5.3.3 Tidsavhengig modell

Denne versjonen av modellen ble kalibrert ved å simulere grunnvannsnivåene under prøvepumpingen ved Kleivflåta (Viak A/S, 1992).

De anslåtte hydrauliske parameterene fra den tidsuavhengige versjonen av MODFLOW ble ytterligere justert til modellen simulerte senkningsdataene under de

første 14 døgn av prøvepumpingen. Etter at tilstrekkelig samsvar ble oppnådd, måtte modellen kjøres på nytt som en tidsuavhengig modell for å sjekke om justeringene som ble gjort hadde endret de tidsuavhengige resultatene. Denne prosessen ble gjentatt til den samme modellen kunne simulere både grunnvannsnivåene før prøvepumpingen og senkningsdataene under prøvepumpingen.

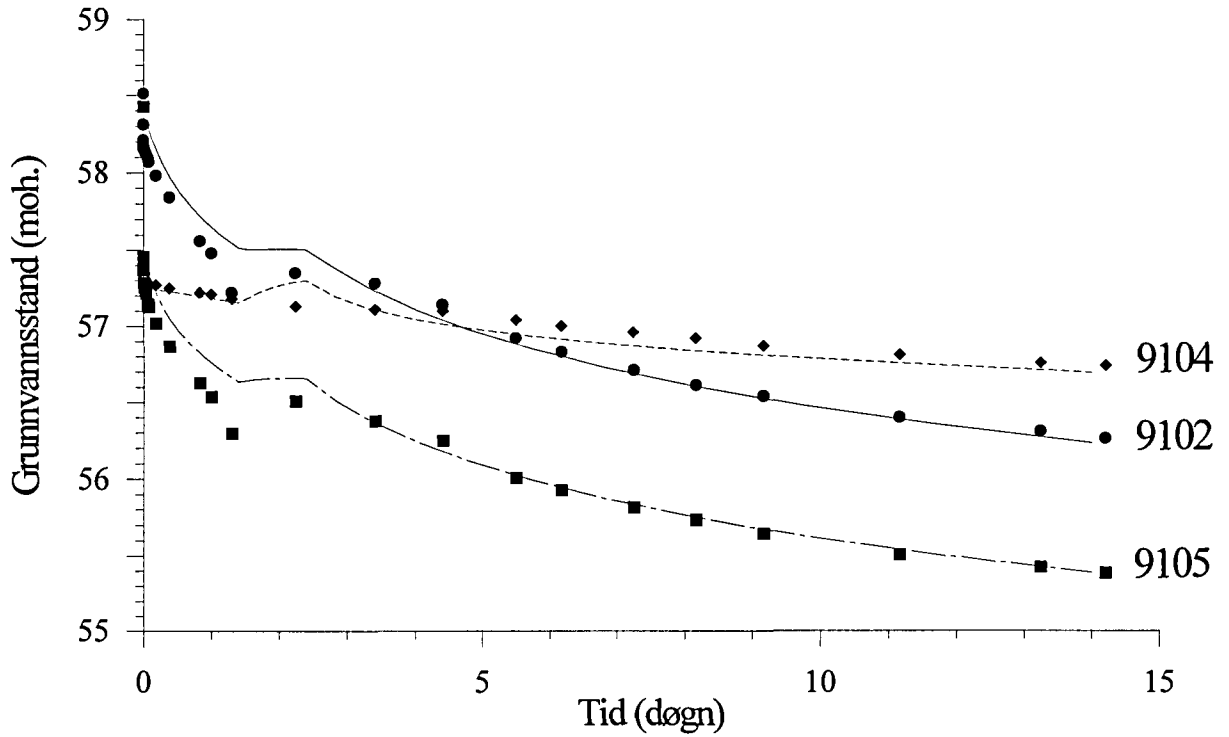
Det viste seg å være meget vanskelig å produsere en modell som kunne simulere begge datasett. Årsaken til dette er trolig at mektigheten og permeabiliteten til magasinet er svært inhomogen over et forholdsvis lite område. Dette gjør simulering av magasinet ut fra noen få punktmålinger og profiler svært vanskelig. Resultatene fra kalibreringen er likevel gode nok til å si at modellen er tilstrekkelig kalibrert, og at den derfor kan benyttes til å undersøke magasinets hydrauliske egenskaper under ulike opplegg.

Resultatene fra kalibreringen av den tidsavhengige versjonen av MODFLOW er vist i figurer 5.2a og 5.2b. Diagrammene viser plott av simulert grunnvannsstand mot målt grunnvannsstand under prøvepumpingen utført av Viak A/S høsten 1992. Figurene viser at modellen simulerer godt de målte grunnvannsnivåene i de ulike observasjonsbrønnene under prøvepumpingen.

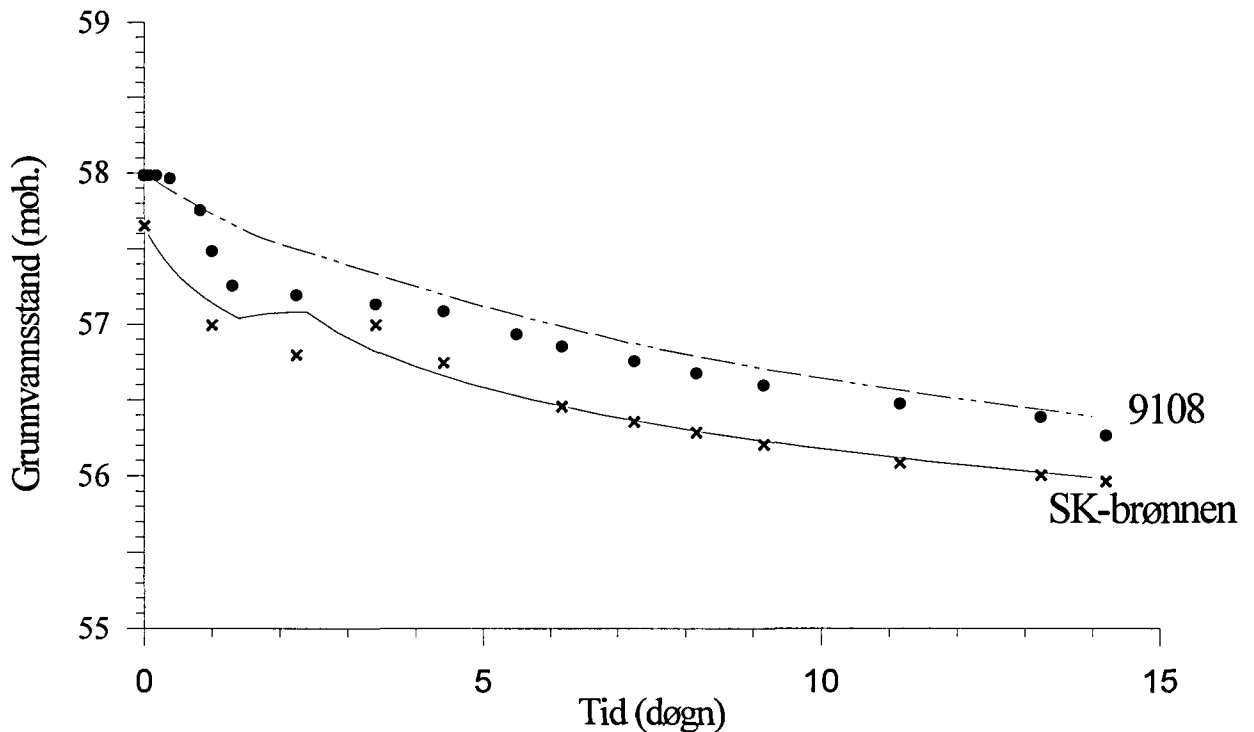
En oppsummering av de hydrauliske egenskapene til de ulike lagene som antydnet av den kalibrerte modellen er vist i tabell 5.1, mens kart som viser fordelingen av permeabiliteten til lagene er vist i kartbilag -08 til -10. Det må understrekes at resultatene i modellen er avhengige av lagenes transmissivitetsverdier. To modeller med identiske transmissivitetsverdier vil derfor vanligvis gi de samme resultatene (hvis alle andre parametre er identiske) selv om lagene for eksempel har ulike permeabiliteter og mektigheter. De høye permeabilitetsverdiene i Lag 2 og 3 kan derfor være resultatet av en større mektighet og mindre permeabilitet. Det er ikke mulig å si om dette er tilfellet ut fra feltdataene fra Kleivflåta.

Tabell 5.1 Oppsummering av hydrauliske egenskaper til de fire lagene som antydnet av den kalibrerte MODFLOW-modellen.

Lag	Mektighet (m)	Horisontal permeabilitet (m/d)	Vertikal per- meabilitet (m/d)	Spesifikk storativitet (1/m)	Porøsitet -	Effektiv porøsitet -
1	11	13 - 33	6 - 20	10^{-5}	0,25	0,24
2	3-6	12 - 680	6 - 50	10^{-5}	0,25	0,24
3	3	12 - 680	6 - 50	10^{-5}	0,25	0,24
4	-	0.6	0.5	10^{-5}	0,06	0,05



Figur 5.2a. Målt (punkter) og simulert (linjer) grunnvannsstand (moh.). Tidsavhengig modell. Observasjonsbrønner 9102, 9104 og 9105.



Figur 5.2b. Målt (punkter) og simulert (linjer) grunnvannsstand (moh.). Tidsavhengig modell. Observasjonsbrønner 9108 og SK-brønnen.

Infiltrasjonshastighet ble anslått til ca. 400 mm/år. Denne verdien representerer bare 18% av normal nedbør ifølge data fra NVE (1996). Vanligvis er denne verdien opp mot 30-50%. At denne andelen er så lav forklares ved at grunnvannsnivåene som ble brukt under kalibreringsprosessen ble målt tidlig om høsten etter en måned med usedvanlig lite nedbør (kun 16% av det normale).

5.4 Modell følsomhet

For å bestemme hvilke av magasinets hydrauliske egenskaper som har størst betydning for grunnvannsstrømningen i magasinet utfører man et følsomhetsforsøk. Her varierer man modellens hydrauliske egenskaper og undersøker endringene som skjer i grunnvannstrykket. Dette gir en indikasjon på hvor mye modellens parametre kan variere uten å gi ulike resultater og en indikasjon på hvilke parametre som er de viktigste i forbindelse med magasinets hydrogeologi.

Følsomhetsforsøk som ble utført bestod i å kjøre modellen med én egenskap endret med 10%. Endringer i grunnvannstrykk på tre utvalgte punkter ble da registrert. Denne prosedyren ble gjentatt med den opprinnelige versjonen av modellen og med en ny egenskap endret med 10% hver gang. Endringer i grunnvannstrykket ble observert på observasjonsbrønner 9105 og 9108 og SK-brønnen.

Egenskapene som ble valgt for følsomhetsforsøk var:

- i) infiltrasjonshastighet fra nedbør,
- ii) horisontal permeabilitet, Lag 1,
- iii) horisontal permeabilitet, Lag 2 og 3,
- iv) horisontal permeabilitet, Lag 4,
- v) vertikal permeabilitet, Lag 1,
- vi) vertikal permeabilitet, Lag 2 og 3,
- vii) vertikal permeabilitet, Lag 4,
- viii) elvebunn konduktans (permeabilitet x mektighet),

Modellen ble også kjørt med en 0,05 m økning i vannivå i elva for å undersøke hvor viktig vannivået i elva er i forhold til grunnvannsnivåene i magasinet.

Resultatene fra følsomhetsforsøk er vist i databilag 4. Resultatene viser at de egenskapene som har størst betydning for grunnvannsnivåene i magasinet er vannivået i elva og elvebunnens konduktans. Den horisontale permeabiliteten til Lag 2 og 3 og infiltrasjonshastighet fra nedbør er også viktige egenskaper.

Databilag 4 viser at en 10% økning i permeabiliteten i elvebunnen resulterer i en økning på 187% i rmsD-verdien. En 0,05 m økning i vannivået i elva gir 166% økning i rmsD-verdien. Disse resultatene indikerer at elva er viktig for de hydrauliske forholdene i magasinet ved Kleivflåta. Det foreligger gode data for forholdene i elva i perioden da langtidsprøvepumpingen ble utført av Viak A/S høsten 1992.

Den horisontale permeabiliteten til Lag 2 og 3 viste seg å være forholdsvis viktig med en økning på 67% i rms-D verdien. En 10% økning i infiltrasjonshastighet resulterte i en 67% økning i rms-D verdien, og dette indikerer at denne parameteren også er viktig. Flere modellforsøk viste derimot at en økning i infiltrasjonshastighet ikke har en betydelig innvirkning på strømningsretninger i magasinet. Strømningshastigheter som skyldes naturlig infiltrasjon er små i forhold til hastighetene som skyldes pumping. Dette betyr at infiltrasjonshastighet har liten betydning for resultatene i dette studiet. Denne konklusjonen støttes av modellforsøk med høyere infiltrasjonshastighet.

Følsomhetsforsøk viste dessuten at permeabiliteten til Lag 1 (det øverste laget) og Lag 4 (fjell) har forholdsvis liten betydning. 10% økning i begge egenskaper resulterte i endring av rms-D verdien på mindre enn 10%. Endringen i rms-D verdien etter en endring i den horisontale permeabiliteten til Lag 4 viser likevel at man ikke kan anta at fjellet er impermeabelt.

Resultatene indikerer også at verdiene for permeabiliteten til elvebunnen og Lag 2 og 3 samt infiltrasjonshastigheten kan ansees som forholdsvis sikre på grunn av at variasjon i disse parametrene vil forårsake endringer i resultatene fra modellen. De andre parametrene som ble testet kan derimot til en viss grad endres uten å endre resultatene fra modellen betydelig.

Det understrekes at den kalibrerte modellen ikke representerer eneste mulige løsning. Andre kombinasjoner av magasin- og elvebunnspermeabilitet og mektighet kan gi like gode eller bedre resultater.

6. SIMULERING AV GRUNNVANNSSTRØMNING I MAGASINET VED KLEIVFLÅTA UNDER ULIKE OPPLÉGG

6.1 Metodikk

Etter kalibrering av MODFLOW-modellen kunne den brukes til å simulere grunnvannsstrømningen i magasinet ved Kleivflåta. Bruken av MODFLOW sammen med MODPATH gir data om grunnvannets strømretninger, hastigheter, oppholdstid og trykk under utvalgte hydrauliske opplegg. For å undersøke de hydrauliske forholdene ved Kleivflåta ble MODFLOW- og MODPATH-modellene kjørt med fem ulike opplegg:

1. *Dagens forhold* med pumping kun fra SK-brønnen. Dette ble gjort for å etablere et grunnlag som kunne brukes til å vurdere de andre simuleringene. Situasjonen representerer dagens forhold.
2. *Vurdering av kapasiteten til et eventuelt grunnvannsanlegg* med pumping fra både SK-brønnen og et eventuelt grunnvannsanlegg. Modellen ble kjørt flere ganger med et økende grunnvannsuttak fra grunnvannsanlegget inntil senkningen ved SK-brønnen nådde en maksimum akseptabel verdi. På denne måten kunne kapasiteten til magasinet vurderes.
3. *Effekten av utbygging av et grunnvannsanlegg på SK-brønnen* med pumping fra SK-brønnen og grunnvannsanlegget på magasinets kapasitet. Modellene ble brukt til å se på endringene i strømretninger, oppholdstid, osv. som følge av utbyggingen av et grunnvannsanlegg ved Kleivflåta.
4. *Effekten av et redusert uttak fra et eventuelt grunnvannsanlegg*. Situasjonen ligner opplegg 3., men det antas at uttak fra andre produksjonsbrønner i området, som for eksempel ved Austarheim, reduserer uttaksbehovet ved Kleivflåta.
5. *Effekten av kunstig infiltrasjon ved Kleivflåta* slik at magasinets kapasitet økes samtidig som senkningen ved SK-brønnen reduseres.

6.2 Simuleringene

6.2.1 Dagens forhold

Grunnvannsuttaget fra SK-brønnen er usikkert, men det antas her at uttaket er på ca. 144 m³/døgn (dvs. 6000 l/t, 24t i døgn). Det har heller ikke vært mulig å få opplysninger om filterplasseringen i denne brønnen, men det er antatt at filteret ligger mellom 10 og 20 m under bakken.

Et høydekart over grunnvannsspeilet er vist i kartbilag -11. Kartet viser at grunnvannet i magasinet strømmer mot sørvest og at grunnvannsnivået kontrolleres av vannivået i Storelva. Magasinet mates av elva oppstrøms brønnen, mens situasjonen er omvendt nedstrøms observasjonsbrønn 9105.

Kartbilag -12 viser sporene til 'vannpartikler' som spores fra SK-brønnen tilbake til sine infiltrasjonspunkter. Et kart som viser sporene til disse partiklene i nærheten av brønnen er vist i kartbilag -13. På dette kartet representerer hver pil 60 døgn. Kartbilaget viser kildeområdene til SK-brønnen under dagens forhold. Kartet viser at vannet stammer fra elva og fra magasinet like nordøst for brønnen. Vannets oppholdstid er kort; mindre enn 60 døgn.

Kartbilag -12 viser at noe av vannet stammer fra magasinet oppstrøms fjellterskelen ved Austarheim hvor det har infiltrert inn i magasinet fra elva. Vannet som stammer herfra har svært lang oppholdstid; opptil 15-20 år. Kartbilag -12 og -13 viser at vannets hastighet øker betraktelig nedstrøms fjellterskelen. Denne simuleringen indikerer derfor at under dagens forhold stammer størstedelen av vannet pumpet fra SK-brønnen fra elva og magasinet mellom brønnen og fjellterskelen.

6.2.2 Vurdering av kapasiteten til et eventuelt grunnvannsanlegg

For å undersøke kapasiteten til et evt. nytt grunnvannsanlegg ble modellen kjørt en rekke ganger med konstant uttak fra SK-brønnen på 144 m³/døgn og med økende uttak fra grunnvannsanlegget. Grunnvannsanleggets kapasitet ble antatt til å være den vannmengden som tilsvarer maksimalt uttak fra anlegget uten at vannspeilet ved SK-brønnen senkes lavere enn toppen av filteret. Uttaket bør heller ikke resultere i store endringer i strømningsmønsteret i magasinet som kan påvirke vannkilden til SK-brønnen.

Simulerte senkninger i blokker i matematiske modeller som simulerer brønner må korrigeres fordi slike senkninger representerer en gjennomsnittlig senkning i hele blokken. Senkningen i selve brønnen er betydelig større. Senkninger i disse blokkene representerer senkningen i en radius av 0.208 ganger blokkens bredde. Dette må det korrigeres for. Ifølge Rushton (1987) kan forholdet mellom radius og senkningen representeres ved formelen:

$$s = Q / (2\pi T) \cdot \ln(\Delta x / r_0)$$

Dette kan forenkles:

$$r_0 \approx 0,208 \cdot \Delta x$$

hvor: s senkning i blokken (m)
 Q uttak fra brønnen (m³/d)
 T blokkens transmissivitet (m²/d)
 Δx blokkens bredde
 r₀ radius hvor senkingen i blokken representerer senkningen i magasinet

Man kan korrigere dette ved å redusere r₀ slik at den tilsvarer brønnens diameter. Senkningen i blokken korresponderer da til senkningen i selve brønnen. Den letteste måten å gjøre dette på er å redusere blokkens transmissivitet. Det må påpekes at dette representerer en slags matematisk 'juks', og kun kan gjøres for å få senkningen i brønnen. Alle andre simuleringer må gjøres med den ukorrigerede transmissivitetsverdien.

Utformingen av SK-brønnen er usikker, men det antas her at diameteren til brønnen er den samme som i kommunens prøvepumpingsbrønn; 0,306 m. Hvis dette viser seg å være feil, må resultatene av modellforsøket korrigeres. Det forventes likevel at en eventuell feil i brøndiameteren ikke vil føre til betydelige feil i resultatene.

Det har ikke vært mulig å få opplysninger om filternivået i SK-brønnen, og dette representerer en viktig usikkerhet i bestemmelse av magasinets kapasitet. Som sagt antas det at filteret ligger mellom 10 og 20 m under bakken. Dersom det kommer nye opplysninger om filternivået, må resultatet av modellforsøket korrigeres.

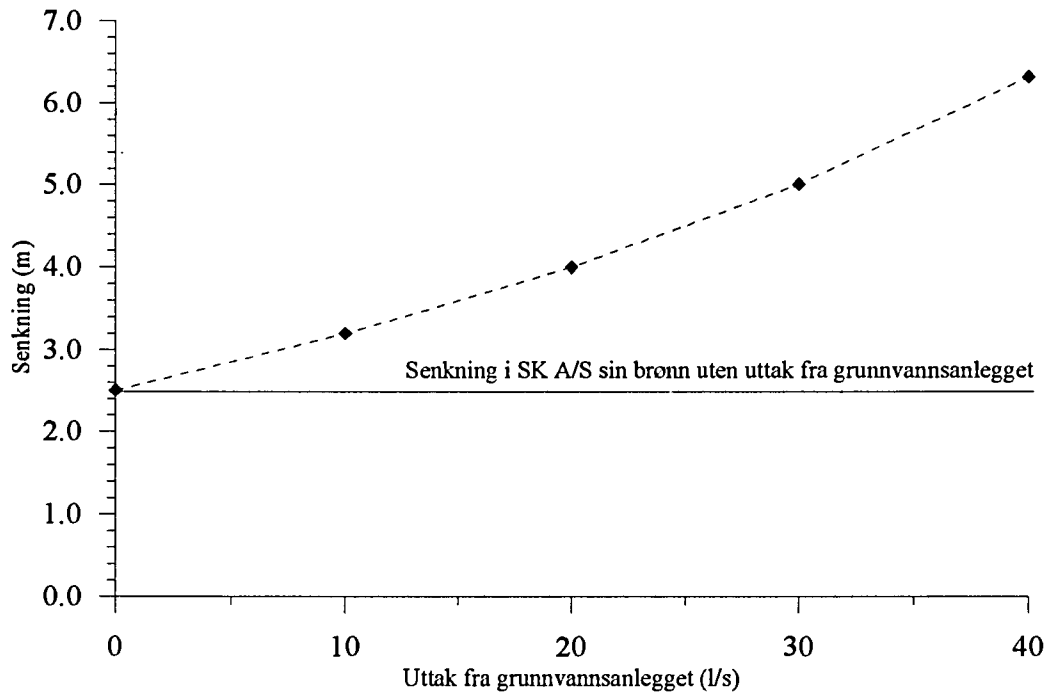
En graf av uttak fra grunnvannsanlegget mot teoretisk senkning ved SK-brønnen er vist i figur 6.1. De tilsvarende grunnvannsnivåene er vist i figur 6.2. I figur 6.2 antas det at grunnvannsspeilet ligger 3,44 m under bakken ved oppstart av prøvepumpingen. Denne verdien er grunnvannsnivået ved SK-brønnen like før langtidsprøvepumpingen ble satt i gang av Viak A/S i 1992. Ettersom dette nivået ble målt under en periode

med lav vannføring i Storelva og lite nedbør, er dette nivået sannsynligvis forholdsvis lavt, men det representerer ikke nødvendigvis en minimum verdi.

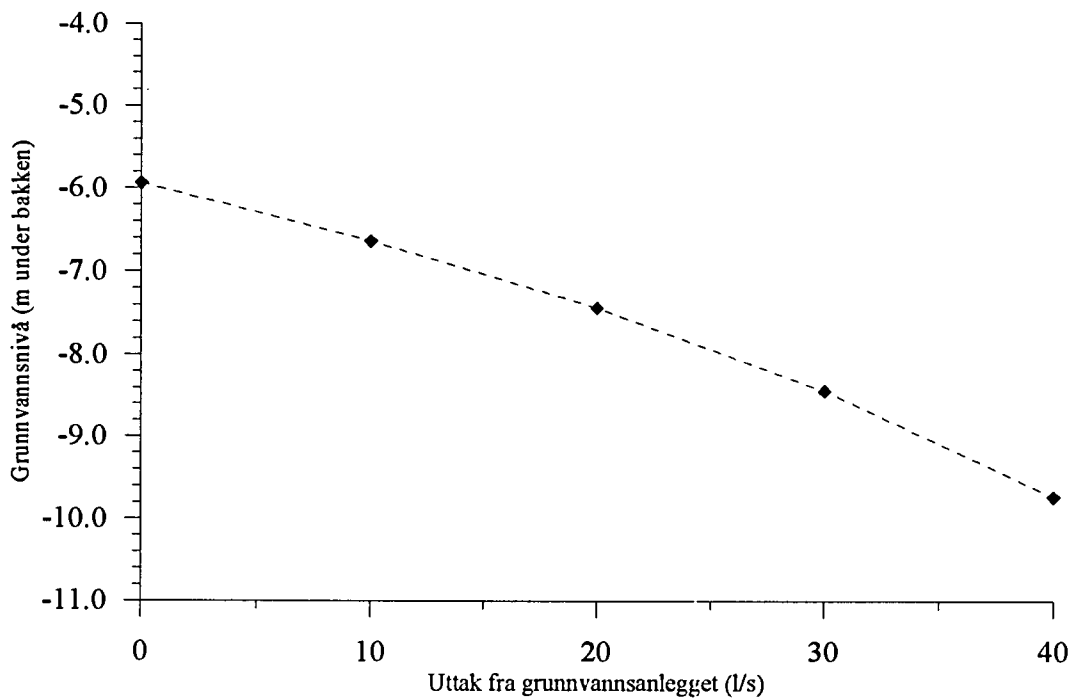
Det fins ingen konkrete kriterier som kan benyttes til å bestemme hva slags sikkerhetsmargin som skal brukes i dette modellforsøket, og dette vanskeliggjør bestemmelsen av magasinets kapasitet. En sikkerhetsmargin på ca. 3 m er valgt. Denne marginen tar hensyn til den sannsynlige størrelsesorden i feilene i hele modelleringsprosessen. Senkningsdataene som er vist i figurer 6.1 og 6.2 tyder på at kapasiteten til et eventuelt grunnvannsanlegg er ca. 20 l/s. Tolkning av strømningsmønstrene under ulike uttak støtter denne konklusjonen.

Uttak større enn 20 l/s vil sannsynligvis medføre en uakseptabel senkning ved Sauda Kildevann A/S sin brønn samt en stor endring i strømningsmønsteret i magasinet ved SK-brønnen. Kartbilag -14 viser vannkildeområdene til grunnvannsanlegget med et uttak på 20 l/s. Kartbilag -15 viser det nærliggende området rundt brønnene under de samme forholdene. Med et uttak på 20 l/s stammer nesten alt vann ved SK-brønnen fra Storelva. Vannets oppholdstid er forkortet, og dette kan ha konsekvenser med hensyn til markedsføring av vannet fra fabrikken som naturlig kildevann.

Med et uttak større enn 20 l/s trekkes større mengde vann til begge brønnene fra området ved fjellterskelen nord og nordøst for Kleivflåta. Dette kan sees på kartbilag -16 som viser vannkildeområdene til grunnvannsanlegget med et uttak på 30 l/s. Disse endringene i vannkildeområdet kan gi endringer i vannkvalitet fra begge brønner over tid.



Figur 6.1 Simulert forhold mellom uttak fra grunnvannsanlegget og senkning ved Sauda Kildevann A/S sin produksjonsbrønn. Uten kunstig infiltrasjon.



Figur 6.2 Simulert forhold mellom uttak fra grunnvannsanlegget og grunnvannsnivå ved Sauda Kildevann A/S sin produksjonsbrønn. Grunnvannsnivået uten pumping er antatt til å være 3,44 m under bakken. Uten kunstig infiltrasjon.

På grunn av manglende kjemiske data fra prøvepumpingsperioden, kan det ikke trekkes sikre konklusjoner om evt. endringer i kjemisk kvalitet, men det er mulig at vannet vil bli hardere og generelt mer ionrikt på for eksempel jern og mangan. Det må imidlertid understrekes at med pumping fra grunnvannsanlegget, vil SK-brønnen trekke grunnvann fra nye områder som er ukjent med tanke på geologi, hydrogeologi og spesielt grunnvannets kjemi. Endringer i kjemisk sammensetning i vannet fra SK-brønnen kan derfor ikke utelukkes.

Følsomhetsforsøk på modellen antyder forøvrig at fjellets permeabilitet ikke er fastslått med sikkerhet. Hvis fjellet har lav permeabilitet, kan dette hindre tilstrømming av grunnvann fra nye områder.

6.2.3 Effekten av utbygging av et grunnvannsanlegg på SK-brønnen

Kartbilag -14 viser vannkildeområdene til grunnvannsanlegget (med et uttak på 20 l/s) og SK-brønnen (uttak på 1,7 l/s). Kartbilaget viser at strømningsmønsteret i magasinet er endret etter oppstart av pumping fra grunnvannsanlegget. SK-brønnen trekker nå mer vann fra elva, og grunnvannets oppholdstid er forkortet. Grunnvannsanlegget har overtatt det opprinnelige vannkildeområdet til SK-brønnen, dvs. elva og magasinet fra brønnen til fjellterskelen som ligger ca. 60 m oppstrøms.

Figurer 6.1 viser at et uttak på 20 l/s fra grunnvannsanlegget gir en tilleggssenkning på ca. 1,5 m. En slik senkning kan øke pumpekostnadene til Sauda Kildevann A/S.

Grunnvannskjemiske data fra prøvepumpingsperioden ved Kleivflåta har ikke vært tilgjengelige, og dette hindrer sikre konklusjoner om eventuelle endringer i vannkvaliteten. Det kan likevel sies at det er lite sannsynlig at endringene i magasinets strømningsmønsteret, som er vist i kartbilag -14, vil medføre store endringer i vannkvaliteten fra SK-brønnen. Vannet kan bli noe mer ionfattig på grunn av en noe forkortet oppholdstid, men brønnen tar fortsatt størstedelen av sitt vann fra elva. Oppholdstiden til størstedelen av vannet har likevel vært kort (dvs. mindre enn 60 døgn) uten pumping fra kommunens grunnvannsanlegg. Disse endringene i grunnvannsstrømning i magasinet kan likevel skade troverdigheten til vannet fra SK-brønnen selv om vannkvaliteten ikke endrer seg.

6.2.4 Effekten av et redusert uttak fra et eventuelt grunnvannsanlegg

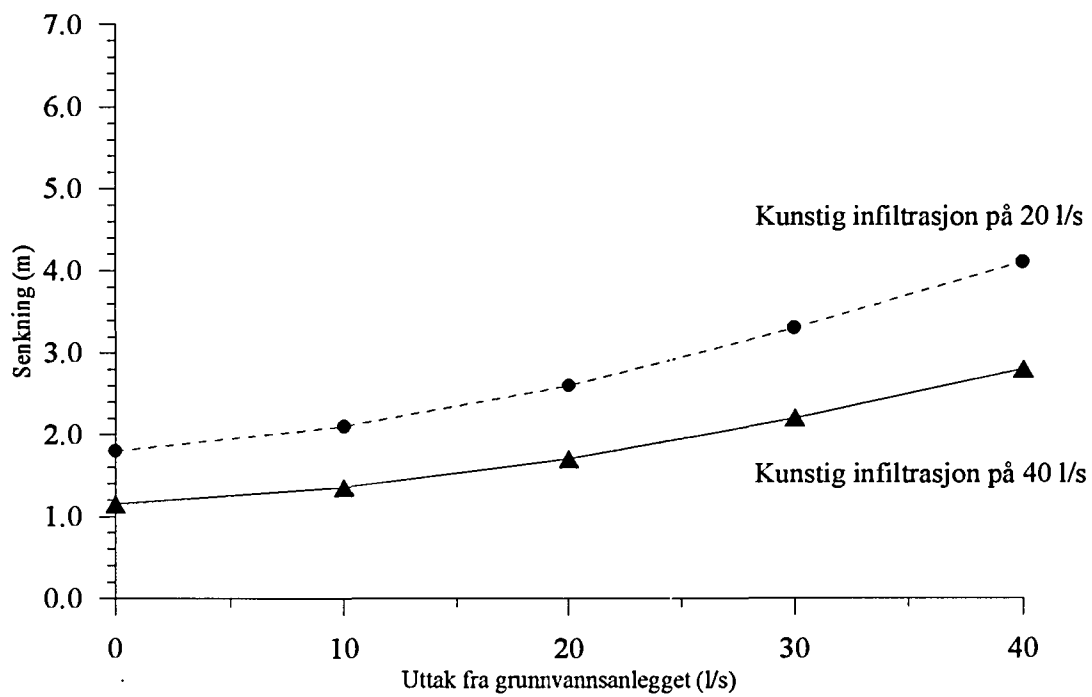
Med grunnvannsuttak fra et annet område, som for eksempel Austarheim, vil uttaket fra Kleivflåta kunne reduseres. Et opplegg med et redusert uttak fra grunnvannsanlegget ble derfor undersøkt og modellen ble kjørt med et uttak på 10 l/s.

Figurer 6.1 og 6.2 viser at et uttak på 10 l/s fra grunnvannsanlegget gir en mye mindre tilleggsenkning ved SK-brønnen ($<0,7$ m). Kartbilag -17 viser strømningsmønsteret med dette uttaket. Mønsteret ligner veldig mønsteret med et uttak på 20 l/s, og dette indikerer at et lavere uttak ikke vil resultere i nevneverdig mindre innvirkning på SK-brønnen. Poenget er her at selv et uttak på 10 l/s fra grunnvannsanlegget er ti ganger høyere enn uttaket fra SK-brønnen. Grunnvannsanlegget vil ta over vannkildeområdet til SK-brønnen og tvinge denne brønnen til å ta grunnvann fra et annet område. I dette tilfellet vil SK-brønnen ta mer vann fra Storelva.

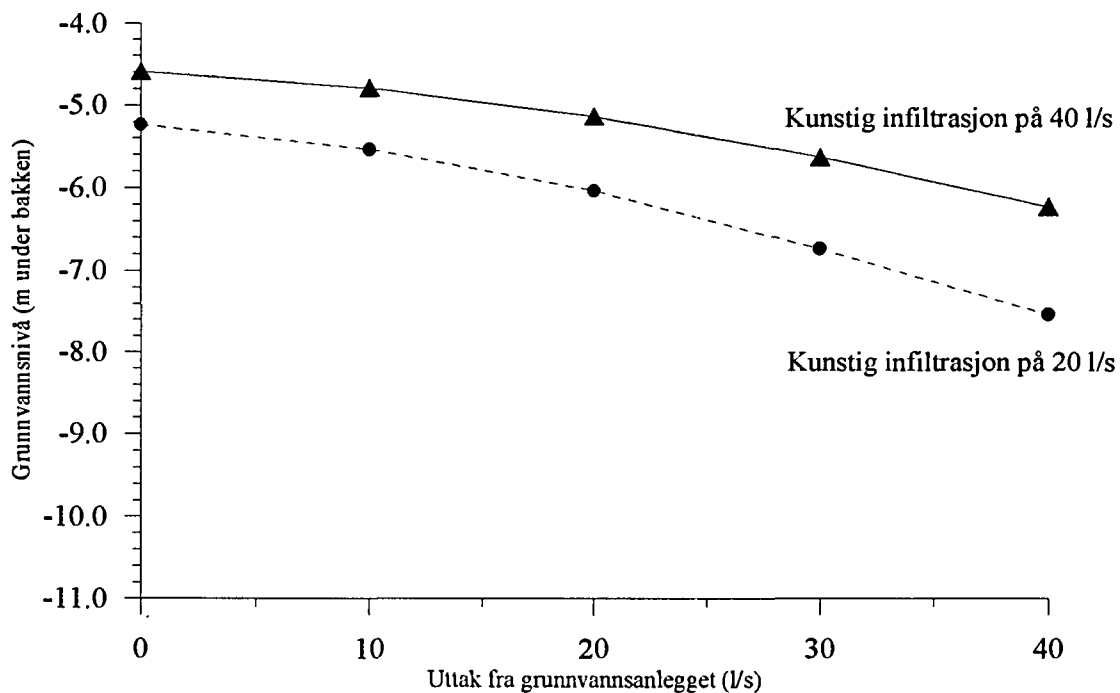
6.2.5. Kunstig infiltrasjon ved Kleivflåta

Kunstig infiltrasjon ved Kleivflåta kan ha en positiv innvirkning på grunnvannssituasjonen i området. For det første kan kunstig infiltrasjon øke magasinets kapasitet slik at uttaket fra grunnvannsanlegget kan økes. Effekten av uttaket fra grunnvannsanlegget på SK-brønnen kan også reduseres. For å simulere kunstig infiltrasjon ble modellen kjørt med en infiltrasjonshastighet på 20 og 40 l/s i området sør for grustaket på Kleivflåta. Området ved grustaket er valgt som infiltrasjonsområde fordi umettet sonen her har stor mektighet, noe som vil gi øket oppholdstid og bedre rensing av vannet før det når mettet sonen.

Figurer 6.3 og 6.4 viser henholdsvis de simulerte senkningene og grunnvannsnivåene som vil skje ved SK-brønnen med uttak fra grunnvannsanlegget samt kunstig infiltrasjon på 20 og 40 l/s i grustaket. Figuren viser at kunstig infiltrasjon gir en mye lavere senkning ved SK-brønnen. Kunstig infiltrasjon øker derfor magasinets kapasitet betraktelig uten å innvirke på SK-brønnen med hensyn til senkning. Kunstig infiltrasjon på 20 l/s øker kapasiteten til et eventuelt nytt grunnvannsanlegg til ca. 40 l/s.



Figur 6.3 Simulert forhold mellom uttak fra grunnvannsanlegget og senkning ved Sauda Kildevann A/S sin produksjonsbrønn. Med kunstig infiltrasjon.



Figur 6.4 Simulert forhold mellom uttak fra grunnvannsanlegget og grunnvannsnivå ved Sauda Kildevann A/S sin produksjonsbrønn. Grunnvannsnivået uten pumping er antatt til å være 3,44 m under bakken. Med kunstig infiltrasjon.

Kartbilag -18 viser strømningsmønsteret med kunstig infiltrasjon på 40 l/s. Denne verdien representerer <5% av minimum vannføring i Storelva. Kartet viser at SK-brønnen og grunnvannsanlegget trekker størstedelen av sitt grunnvann fra infiltreringsbassenget. Grunnvannets oppholdstid er mindre enn 20 døgn fra bassenget til grunnvannsanlegget og opp til 80-100 døgn til SK-brønnen. Dette skulle gi gunstige innvirkninger på grunnvannets kvalitet ved SK-brønnen på grunn av rensing av vannet i løsmassene. Kunstig infiltrasjon kan dermed resultere i øket beskyttelse mot dårlig vannkvalitet i Storelva, men det gjenstår spørsmålet om infiltrert vann kan markedsføres som kildevann. Dette må grundig vurderes før videre undersøkelser er igangsatt.

Med en lavere infiltrasjonshastighet (for eksempel 20 l/s) vil grunnvannsanlegget og SK-brønnen trekke mer vann fra elva. Hvis det skulle bli betydelige endringer i vannkvalitet ved SK-brønnen med en infiltrasjonshastighet på 40 l/s, kan infiltrasjonshastigheten reduseres til ca. 20-25 l/s. SK-brønnen trekker da mer vann fra elva, og grunnvannets oppholdstid er forkortet til 20-40 døgn. Dette kan sees på kartbilag -19 som viser strømningsmønsteret med kunstig infiltrasjon på 20 l/s. Det må likevel antas at infiltrasjon av rent vann fra Storelva (eller en annen ren kilde) i området ved grustaket kun vil ha gunstig innvirkning på grunnvannets kvalitet.

Avsetningens fysiske og kjemiske sammensetning er i høy grad ukjent i området mellom grustaket og brønnene, og dette representerer en usikkerhet i vurderingene. Kalibreringsprosessen antyder at løsmassene i dette området har høy permeabilitet. Boreloggen fra observasjonsbrønn 9108 indikerer derimot et 1-2 m tykt lag med lav permeabilitet ca. 11 m under bakken. Hvis dette laget har stor utstrekning i retningen mot brønnene, kan dette ha stor innvirkning på strømningsretningene i magasinet. Det kan for eksempel bety at vann som infiltreres i grustaket ikke vil nå brønnene, men bare vil nå vannkildene som finnes sørvest for vannfabrikken. Det finnes imidlertid ingen indikasjoner på at dette er tilfellet, og georadar-profilene viste ikke noe slikt lag. Det fins forøvrig ingen indikasjoner på at grunnforholdene i dette området er dårlig med tanke på grunnvannets kvalitet. Den gode kjemiske vannkvaliteten ved SK-brønnen indikerer faktisk den motsatte, og ingen forurensningskilder er kjent i området.

Bruken av MODFLOW- og MODPATH-modellene antyder derfor at kunstig infiltrasjon representerer en aktuell teknisk løsning på den manglende kapasiteten til magasinet ved Kleivflåta. Det må derimot understrekes at kunstig infiltrasjon kan virke uheldig i forbindelse med markedsføring av Sauda Kildevann A/S av et 'kildevann' som naturlig. Dette må vurderes nøye dersom det blir bestemt å utføre videre undersøkelser.

Et fullskala infiltrasjonsforsøk samt et tracerforsøk vil være den sikreste måten å undersøke effekten av kunstig infiltrasjon. Det anbefales at dette forsøket gjøres etter avtale med Sauda Kildevann A/S.

6.3 Usikkerheter

Det fins mange usikkerheter i en detaljert hydrogeologisk modellundersøkelse slik den er presentert i denne rapporten. Disse usikkerhetene er en følge av begrensninger i metodene som benyttes for innsamling og tolkning av felldataene, samt antakelser og begrensninger i modelleringsprosessen.

Alle begrensningene i felt- og tolkningsmetodene er ikke nevnt i denne rapporten, men det må likevel påpekes at disse begrensningene finnes og at de kan forårsake feil som kan påvirke konklusjonene som trekkes fra undersøkelsen.

Filtornivået i SK-brønnen er ukjent, og dette representerer en viktig usikkerhet i bestemmelse av magasinets kapasitet. Det antas at filteret ligger mellom 10 og 20 m under bakken. **Dersom filtornivået er et annet, må resultatene fra undersøkelsen korrigeres.**

Grunnvannsnivået i SK-brønnen før langtids prøvepumping ble satt i gang er dessuten usikkert. Dette betyr at senkningen i den viktigste brønnen i området ikke er påvist med sikkerhet. Nivået som ble brukt i modellen ble interpolert ut fra kjente grunnvannsdata fra nærliggende brønner. Det forventes likevel at denne interpolasjonen er forholdsvis presis fordi grunnvannsspeilet er forholdsvis flatt i området mellom observasjonsbrønnene 9104 og 9103, og disse observasjonsbrønnene ligger bare noen få meter unna SK-brønnen.

Det viste seg å være mye vanskeligere enn forventet å simulere de hydrauliske dataene fra avsetningen ved Kleivflåta. Årsaken til dette er trolig at avsetningen er svært inhomogen over et forholdsvis lite område. Den er begrenset av fjellterskler kun 50-100 m unna brønnene, og elva ligger mindre enn 50 m unna. I tillegg øker avsetningens finstoffinnhold både mot fjellterskelen og nedstrøms brønnene. Med data fra noen få punkter er det vanskelig å bygge opp et 'komplett bilde' av en så komplisert avsetning, slik modellen krever.

Avsetningens fysiske og kjemiske sammensetning er i høy grad ukjent i området mellom grustaket og brønnene, og dette representerer en viktig usikkerhet, særlig i forbindelse med vurdering av kunstig infiltrasjon. Boreloggen fra observasjonsbrønn 9108

indikerer et 1-3 m tykt lag med lav permeabilitet ca. 11 m under bakken. Hvis dette laget har stor utstrekning i retningen mot brønnene, kan dette ha en stor innvirkning på strømningsretningene i magasinet. Det finnes allikevel ingen indikasjoner på at dette er tilfellet.

Kjemiske grunnvannsdata fra prøvepumpingsperioden ved Kleivflåta var ikke tilgjengelige, og dette hindrer sikre konklusjoner om hydrokjemiske forhold i området.

I tillegg må man være klar over at simulerte data og målte data vil avvike på grunn av:

- Modellen er en forenkling av virkelighet. Målet med modellering er å tilpasse en modell til virkelige data, uten at den blir mer komplisert enn nødvendig.
- Modellen er ikke mer pålitelig enn de dataene som den er basert på.
- Modellen må kalibreres. En tilfredsstillende modell må kunne simulere kjente grunnvannsdata, før den kan brukes.
- Modellen kalibreres mot kjente data under utvalgte hydrauliske forhold. Modellen vil ikke **nødvendigvis** reagere som det virkelige magasinet under ulike hydrauliske forhold.

Man må være klar over disse begrensningene og usikkerhetene når man bruker konklusjonene som er presentert i denne rapporten. Dette betyr ikke at konklusjonene er ugyldige, men at de representerer det som er *antatt* å være tilfellet ut fra de data som er tilgjengelige. Det kan likevel sies at grunnvannsmodellering er en av de sikreste metodene som kan benyttes for å undersøke hydrauliske forhold i et magasin *dersom* gode data er tilgjengelige. Dette har stort sett vært tilfellet i denne undersøkelsen.

REFERANSER

Beres, M. Jr. & Haeni, F.P. 1991: Application of ground-penetrating-radar methods in hydrogeologic studies. *Ground water* 29, 375-386.

Ersland, B.G., Johnsen, B., Odling, N., Banks D & Misund, A. 1992. Numerisk modellering av grunnvannsstrømning - en introduksjon. *NGU Rapport* 92.258.

Geoteam A/S, 1981. Seismiske målinger for grunnvannsforsyning i området Birkelandsmoen. *Rapport* 6481.01.

Huseby, S. 1983. Grunnvannsundersøkelser i Sauda, oppsummering pr. 1. Juni 1983. *NGU Rapport* O-81081.

Kruseman, G. P. & de Ridder, N.A., 1992. Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. *International Institute for Land Reclamation and Improvement, Publication* 47.

Langguth, H.R. & Voigt, R.H., 1980. Hydrogeologische Methoden (Hydrogeologische metoder - på tysk). *Springer Verlag*, 486pp.

McDonald, M. G. & Harbaugh, A. W., 1988. A modular three dimensional finite difference groundwater flow model. *Tech. wat. res. planning U.S.G.S. Book* 6, *Chapter* A1.

NVE, 1996. Upubliserte hydrologiske data fra Sauda kommune.

Pollock, D.W., 1989. Documentation of computer programs to compute and display pathlines using results from the U.S. Geological Survey modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model. *U.S. Geological Survey Open File Report* 89-381.

Soldal, O. & Ragnhildstveit, J., 1992. Grunnvatn i Sauda kommune, *Norges geologiske undersøkelse, Rapport nr.* 92.109.

Viak A/S, 1991. Sauda kommune, Grunnvannsundersøkelser, Kleivflåta. *Asplan Viak Sør A/S, Rapport nr.* 45-4344, *D-var*8, AD.

Viak A/S, 1992. Sauda kommune, Grunnvann Kleivflåta. *Asplan Viak Sør A/S, Status rapport nr.* 45-4344, *D-var*15, AD

GEORADAR - METODEBESKRIVELSE

Georadar er en elektromagnetisk målemetode som kan benyttes til undersøkelse av lagdeling og strukturer i grunnen. Med en spesiell antenne sendes elektromagnetiske bølgepulser ned i jorda. En del av bølgeenergien blir reflektert tilbake til overflaten når bølgepulsen treffer en grense som representerer en endring i mediets dielektriske egenskaper. Resten av energien vil fortsette nedover og det kan fås reflekterte signaler fra en rekke grenseflater. Refleksjonene kan registreres med en mottakerantenne på overflaten. De mottatte signaler overføres til en kontrollenhet for forsterkning (og digitalisering ved digital georadar). Signalene sendes derfra til skriver (ved analog georadar) eller PD (digital georadar). Fra en utskrift av et georadar-opptak kan toveis gangtid (t_{2v}) til de forskjellige reflektorene avleses. For å bestemme virkelig dyp til en reflektor må bølgehastigheten (v) i overliggende medium være kjent eller kunne bestemmes.

Bølgehastigheten kan bestemmes ved CDP-målinger ('common depth-point'). Slike målinger utføres ved å flytte sender- og mottakerantenne skrittvis og like langt ut til hver side fra et fast midtpunkt og registrere for hver ny posisjon. Refleksjoner vil da ideelt sett komme fra samme punkt på en reflektor som er planparallell med overflaten. Når antenneavstanden øker, vil reflekterte bølger få lenger gangvei og økning i gangtid. Denne økning i gangtid kan det ved digitale opptak kompenseres for ved å utføre NMO-korreksjon ('normal move-out'). Størrelsen på korreksjonen er avhengig av antenneavstand, toveis gangtid og bølgehastighet i materialet over reflektoren. Et CDP-opptak korrigeres med forskjellige hastigheter, og den hastighet som etter NMO-korreksjon gir best amplitude etter summering av trasene, angir radarbølgehastigheten i mediet.

Etter at hastigheten er bestemt kan dypet (d) beregnes etter uttrykket;

$$d = \frac{vt_{2v}}{2}$$

I vakuum er bølgehastigheten lik lyshastigheten: $c = 3.0 \cdot 10^8$ m/s. I alle andre media gjelder følgende relasjon;

$$\epsilon_r = \left(\frac{c}{v}\right)^2$$

hvor ϵ_r er det relative dielektrisitetstallet. ϵ_r -verdien for et materiale vil derfor være en bestemmende faktor for beregning av dyp til reflektorer. I tabellen på neste side er det gitt en oversikt over erfaringstall for ϵ_r i en del materialtyper. Tabellen viser også hastigheter og ledningsevne i de samme media.

Dybderekkevidden for georadarmålinger er i stor grad avhengig av elektrisk ledningsevne i grunnen og av den utsendte antennefrekvens. Både økende ledningsevne og en økning i antennefrekvens vil føre til hurtigere demping av bølgepulsene og dermed minkende penetrasjon. I godt ledende materiale som marin silt og leire vil penetrasjonen være helt ubetydelig. I dårlig ledende materiale som f.eks. tørr sand, kan det forventes en dybderekkevidde på flere titalls meter når det benyttes en lavfrekvent antenne (f.eks. 50 eller 100 Mhz). For grunnere undersøkelser vil en mer høyfrekvent antenne gi bedre vertikal oppløsning.

<u>Medium</u>	<u>ϵ_r</u>	<u>v (m/ns)</u>	<u>ledningsevne (mS/m)</u>
<i>Luft</i>	<i>1</i>	<i>0.3</i>	<i>0</i>
<i>Ferskvann</i>	<i>81</i>	<i>0.033</i>	<i>0.1</i>
<i>Sjøvann</i>	<i>81</i>	<i>0.033</i>	<i>1000</i>
<i>Leire</i>	<i>5-40</i>	<i>0.05-0.13</i>	<i>1-300</i>
<i>Tørr sand</i>	<i>5-10</i>	<i>0.09-0.14</i>	<i>0.01</i>
<i>Vannmettet sand</i>	<i>15-20</i>	<i>0.07-0.08</i>	<i>0.03-0.3</i>
<i>Silt</i>	<i>5-30</i>	<i>0.05-0.13</i>	<i>1-100</i>
<i>Fjell</i>	<i>5-8</i>	<i>0.10-0.13</i>	<i>0.01-1</i>

Tabell over relativt dielektrisitetstall, radarbølge-hastigheter og ledningsevne i vanlige materialtyper.

EN BESKRIVELSE AV MODELLENE MODFLOW OG MODPATH

MODFLOW (McDonald & Harbaugh, 1988) er en tre-dimensjonal grunnvannsstrømningsmodell. Modellen simulerer grunnvannsstrømning i grunnen numerisk ved å dele opp magasinet i blokker (i mindre volum), og deretter gå framover i tid med små tidssteg. Dette kalles «endelig differens metode». Hver blokk gis en verdi for parametre som permeabilitet, magasinkapasitet, infiltrasjonshastighet osv. Modellen kalkulerer grunnvannstrykket i hver blokk, som en funksjon av de omkringliggende blokkene og grunnvannstrykket i forrige tidssteg. På denne måten simulerer modellen utvikling av grunnvannstrykket i hver blokk med tiden. En nærmere beskrivelse av grunnvannsmodellering er gitt i Erland et al (1992).

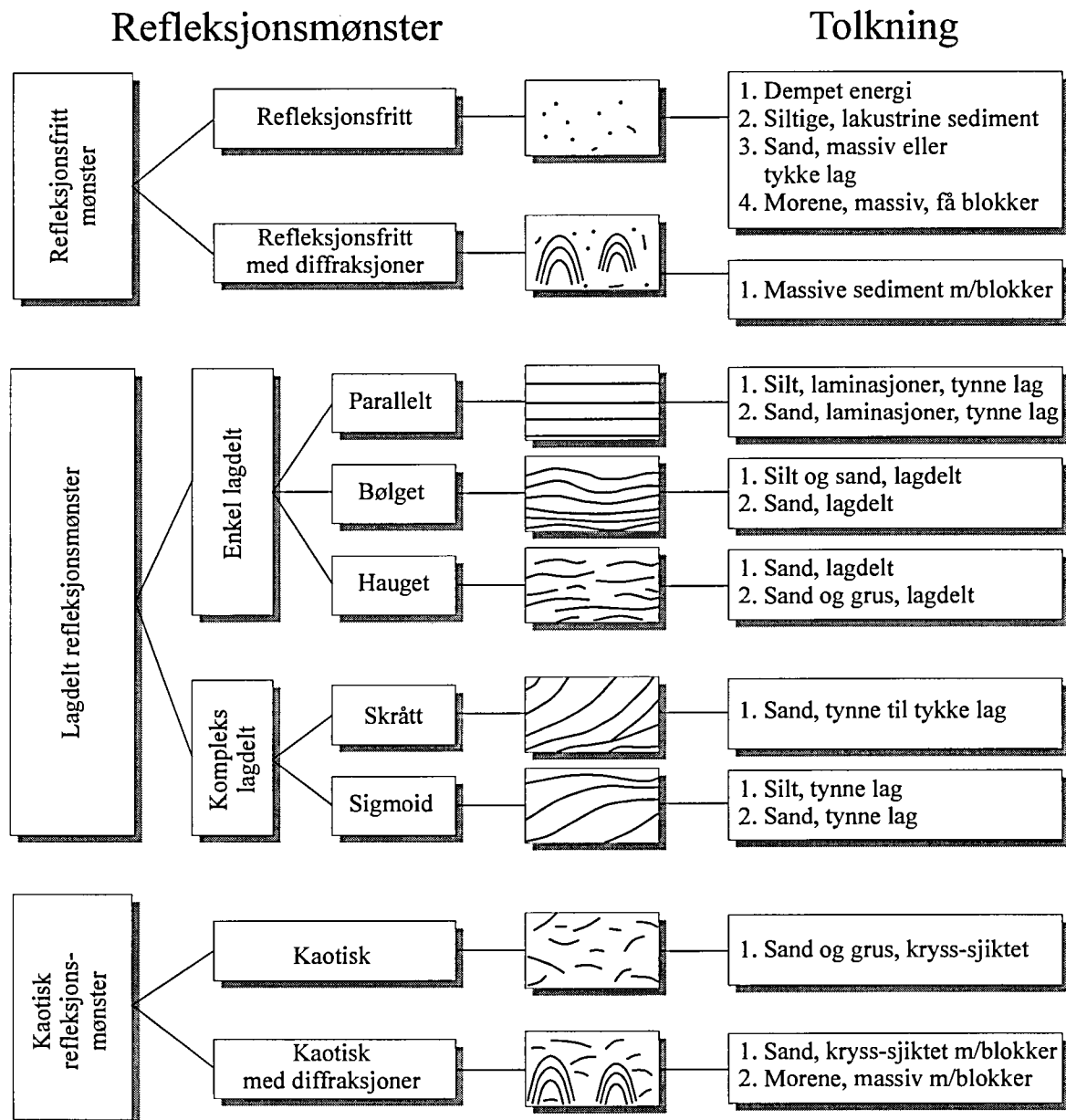
MODFLOW kan kjøres som en tidsuavhengig modell eller som en tidsavhengig modell. En tidsuavhengig modell er en modell som simulerer tidsuavhengig strømning. Her er alle faktorene som kan påvirke grunnvannsstrømningen (infiltrasjonshastighet, nivåer i elver, vann, osv.) antatt til å være uforanderlige. Slike modeller kan brukes til å bestemme grunnvannets strømningsretninger, vannkilder, grunnvannets hastighet og oppholdstid.

En tidsavhengig modell simulerer strømning som varierer på grunn av varierende hydrauliske forhold. En slik modell kan brukes til å bestemme endringer i grunnvannsnivåer under ulike pumperater.

MODPATH (Pollock, 1989) er en modell som bruker resultatene fra MODFLOW til å bestemme grunnvannsstrømningslinjer og grunnvannets hastighet i magasinet. Modellen gir dermed grunnvannets oppholdstid og en indikasjon på vannkildene til magasinet og pumpebrønnen.

MODPATH beregner posisjonene til 'partikler' som introduseres i grunnvannsmagasinet i områder som er bestemt på forhånd. Disse partiklene representerer små 'vannpartikler' som strømmer gjennom magasinet. Modellen beregner strømningslinjene og hastigheten til disse partiklene. Modellen kan derfor beregne hvor lang tid hver partikkel bruker på å flytte seg en viss avstand i magasinet. Modellen kan for eksempel brukes til å beregne hvor lang tid vann bruker på å nå en pumpebrønn og hvor det infiltreres i magasinet.

Kjemiske reaksjoner som forsinket grunnvannet blir det ikke tatt hensyn til av MODPATH. MODPATH gir derfor en undervurdering av oppholdstiden, og dette betyr at resultatene er noe konservative. Resultatene representerer derfor et «verste tilfelle».



Skjema som knytter refleksjonsmønster på georadaropptak til avsetningstype og lagdeling (etter Beres & Haeni, 1991).

Hull	Dyp m	d ₁₀ mm	d ₆₀ mm	Permeabilitet, K m/d	Porøsitet, n	Effektiv porøsitet, n _e
9102	4-7	0.27	1.80	51.2	0.30	0.28
	7-8	0.35	1.50	93.4	0.32	0.30
	8-9	0.27	0.90	58.4	0.33	0.30
	9-10	0.27	0.78	60.1	0.34	0.31
	10-11	0.28	0.78	65.1	0.34	0.31
	11-12	0.25	0.98	48.5	0.32	0.29
	12-13	0.65	2.20	337.1	0.33	0.32
	13-14	0.51	2.10	199.8	0.32	0.31
	14-15	0.48	2.00	176.6	0.32	0.30
	15-16	0.27	1.50	52.9	0.31	0.28
	16-17	0.23	1.40	37.8	0.31	0.28
	17-18	0.18	1.20	22.8	0.30	0.27
	18-19	0.25	1.10	47.4	0.32	0.29
	19-19.3	0.27	1.40	53.6	0.31	0.29
9104	4-5	0.34	2.50	79.7	0.30	0.28
	5-6	0.30	2.10	62.6	0.30	0.28
	6-7	0.21	1.20	31.9	0.31	0.28
	7-8	0.25	2.00	42.4	0.30	0.27
	8-9	0.27	1.30	54.4	0.31	0.29
	9-10	0.38	1.30	115.0	0.33	0.31
	10-11	0.27	1.30	54.4	0.31	0.29
	11-12	0.17	0.83	21.5	0.31	0.28
	12-13	0.19	1.00	26.5	0.31	0.28
	13-14	0.17	0.78	21.7	0.32	0.28
	14-15	0.21	0.75	34.8	0.33	0.30
	15-16	0.24	1.10	43.3	0.32	0.29
	16-17	0.26	1.30	50.1	0.31	0.29
	17-18	0.13	0.33	14.3	0.34	0.30
18-19	0.12	0.38	11.6	0.33	0.29	
9105	4-5	0.11	1.60	7.3	0.28	0.24
	5-6	0.30	1.60	65.8	0.31	0.29
	6-7	0.19	1.50	24.6	0.30	0.27
	7-8	0.22	1.40	34.3	0.30	0.28
	8-9	0.23	1.10	39.5	0.31	0.29
	9-10	0.27	1.10	56.1	0.32	0.29
	10-11	0.35	2.10	87.7	0.31	0.29
	11-12	0.27	1.20	55.2	0.32	0.29
	12-13	0.27	1.30	54.4	0.31	0.29
	13-14	0.27	1.10	56.1	0.32	0.29
	14-15	0.28	1.10	60.8	0.32	0.30
	15-16	0.30	1.00	72.0	0.33	0.31
	16-17	0.28	1.00	61.9	0.33	0.30
	17-18	0.26	0.68	56.9	0.34	0.31
18-19	0.27	0.70	61.4	0.34	0.32	

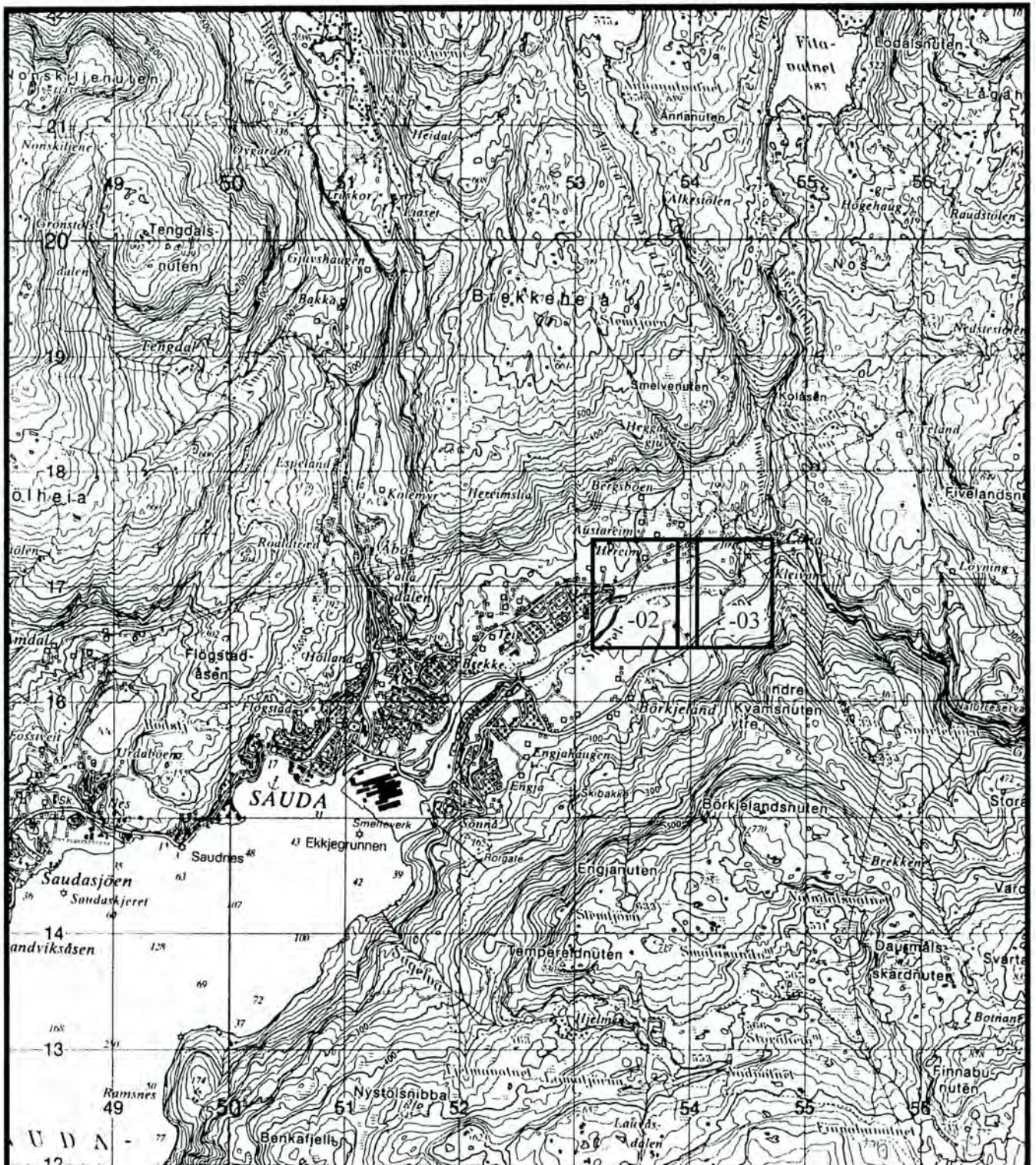
Permeabilitets- og porøsitetsverdier beregnet ut fra kornfordelingsanalyser fra sedimentprøver tatt fra sonderboringer, Kleivflåta.

Brønn nr.	Neuman (1975)		Cooper & Jacob (1946)	
	Transmissivitet m ² /d	Storativitet	Transmissivitet m ² /d	Storativitet
9102	392	0.27	492	0.12
9104	2217	0.29	5515	0.13
9105	776	0.28	812	0.24
9106	1151	0.02	760	0.02
9108	266	0.02	402	0.02
Sauda Kildevann A/S brønn	180	-	314	-

Transmissivitets- og porøsitetsverdier beregnet ut fra senkningsdata fra prøvepumping utført av Viak høsten 1991

	Sauda Kildevann A/S brønn	9105	9108	rmsD (m)	% endring i rmsD m.h.t. kalibrert modell
Målt grunnvannstrykk (m.o.h.)	57,652	57,927	57,984	-	-
Simulert grunnvannstrykk (m.o.h.), uendret modell	57,647	57,955	57,997	0,0226	0,0%
Endring i grunnvannstrykk (m) etter en 10% økning i:					
Infiltreringshastighet fra nedbør	+0,020	+0,025	+0,043	0,0378	67,3%
Horisontal permeabilitet, Lag 1	-0,013	-0,020	-0,017	0,0245	9,4%
Horisontal permeabilitet, Lag 2 og 3	-0,025	-0,037	-0,057	0,0377	66,8%
Horisontal permeabilitet, Lag 4	+0,008	+0,010	+0,017	0,0266	17,7%
Vertikal permeabilitet, Lag 1	0,000	0,000	-0,001	0,0228	0,8%
Vertikal permeabilitet, Lag 2 og 3	0,000	0,000	-0,001	0,0226	0,0%
Vertikal permeabilitet, Lag 4	0,000	0,000	0,000	0,0226	0,0%
Elvebunn konduktans (permeabilitet x mektighet)	+0,058	+0,063	+0,049	0,0600	165,5%
Endring i grunnvannstrykk etter 0,05m økning i vannivået i elva	+0,058	+0,067	+0,061	0,0649	187,2%

Resultatene fra følsomhetsforsøket på MODFLOW-modellen.



-02

Utsnitt vist i kartbilag -02

NGU/SAUDA KOMMUNE
OVERSIKTSKART

SAUDA

SAUDA KOMMUNE, ROGALAND

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1:50 000

MÅLT JFT

TEGN EM

TRAC

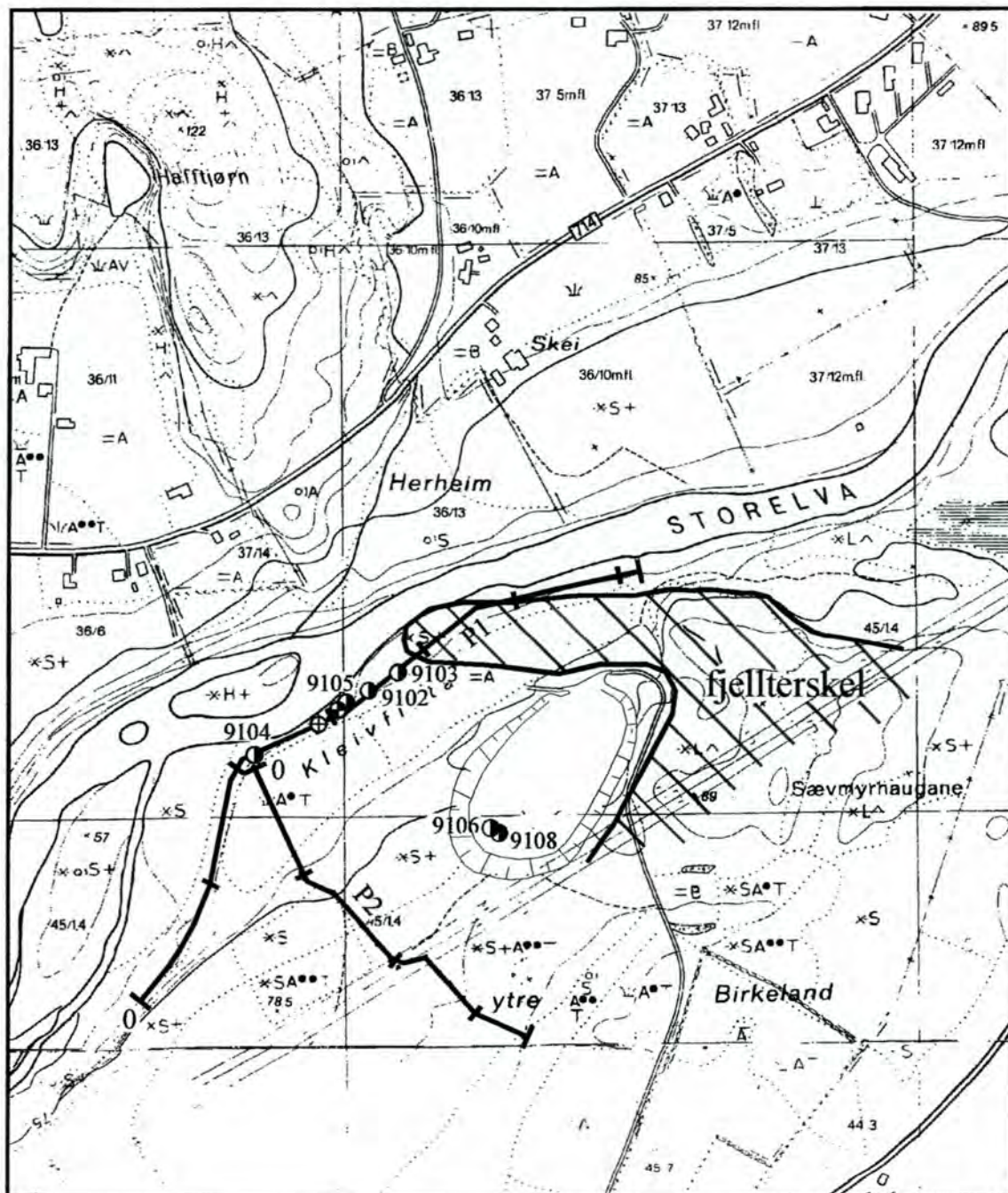
KFR

Juli -96

Jan. -97

TEGNING NR
97.015-01

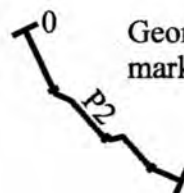
KARTBLAD NR
1314 III



9106 ● Sonderboring/observasjonsbrønn (Viak, 1991)

● Prøvepumpingsbrønn

⊕ Sauda kildevann brønn



Georadarprofil med startposisjon og
markering for hver 100 meter

NGU/SAUDA KOMMUNE

PLASSERING AV BORHULL OG GEORADARPROFILER

KLEIVFLÅTA

SAUDA KOMMUNE, ROGALAND

MÅLESTOKK

1:5000

MÅLT JFT

Juli -96

TEGN EM

Jan. -97

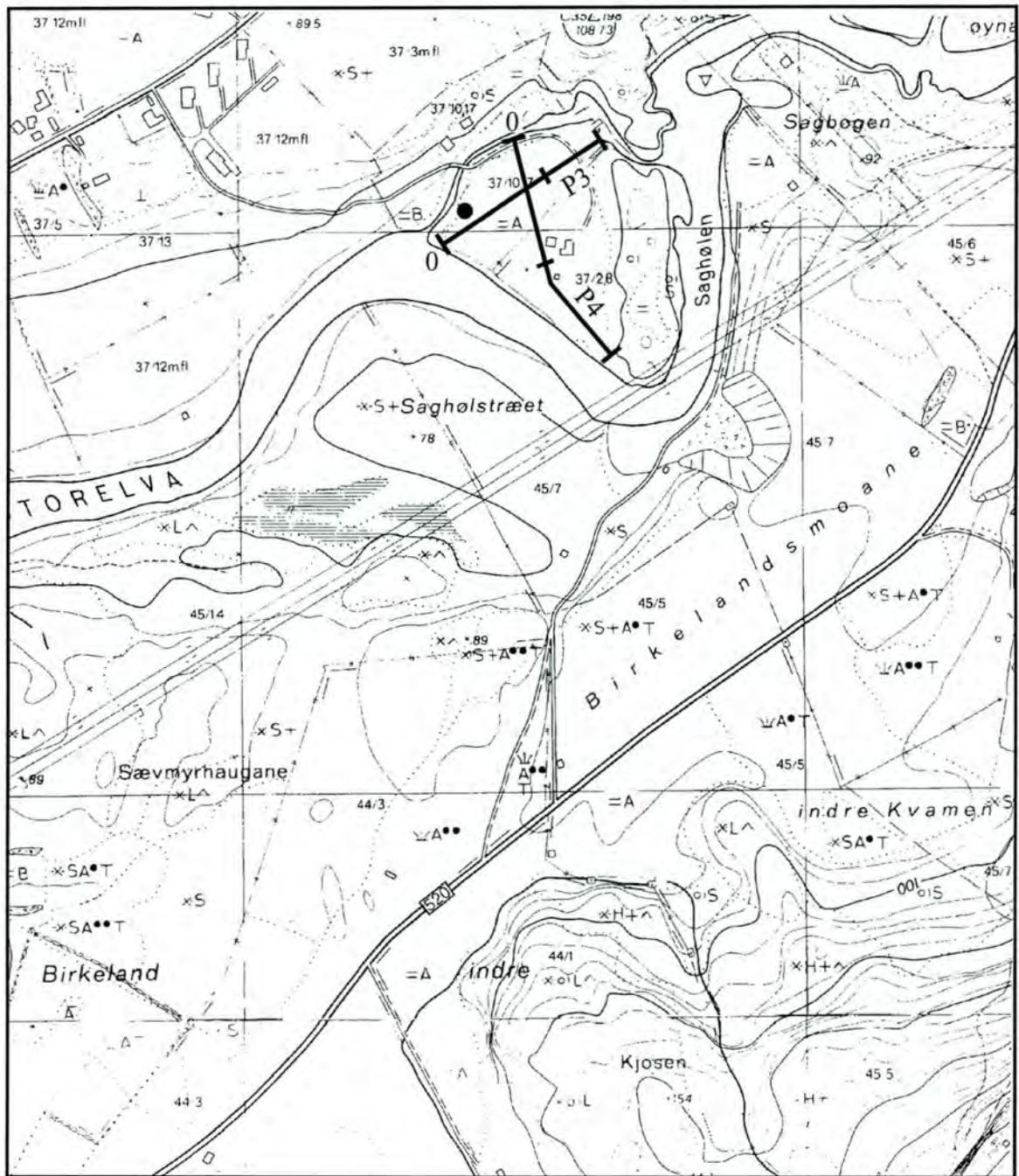
TRAC

KFR

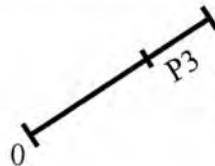
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

TEGNING NR
97.015-02

KARTBLAD NR
1314 III



● Sonderboring (Huseby, 1983)



Georadarprofil med startposisjon og
markering for hver 100 meter

NGU/SAUDA KOMMUNE
PLASSERING AV BORHULL OG GEORADARPROFILER

AUSTARHEIM

SAUDA KOMMUNE, ROGALAND

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1:5000

MÅLT JFT

TEGN EM

TRAC

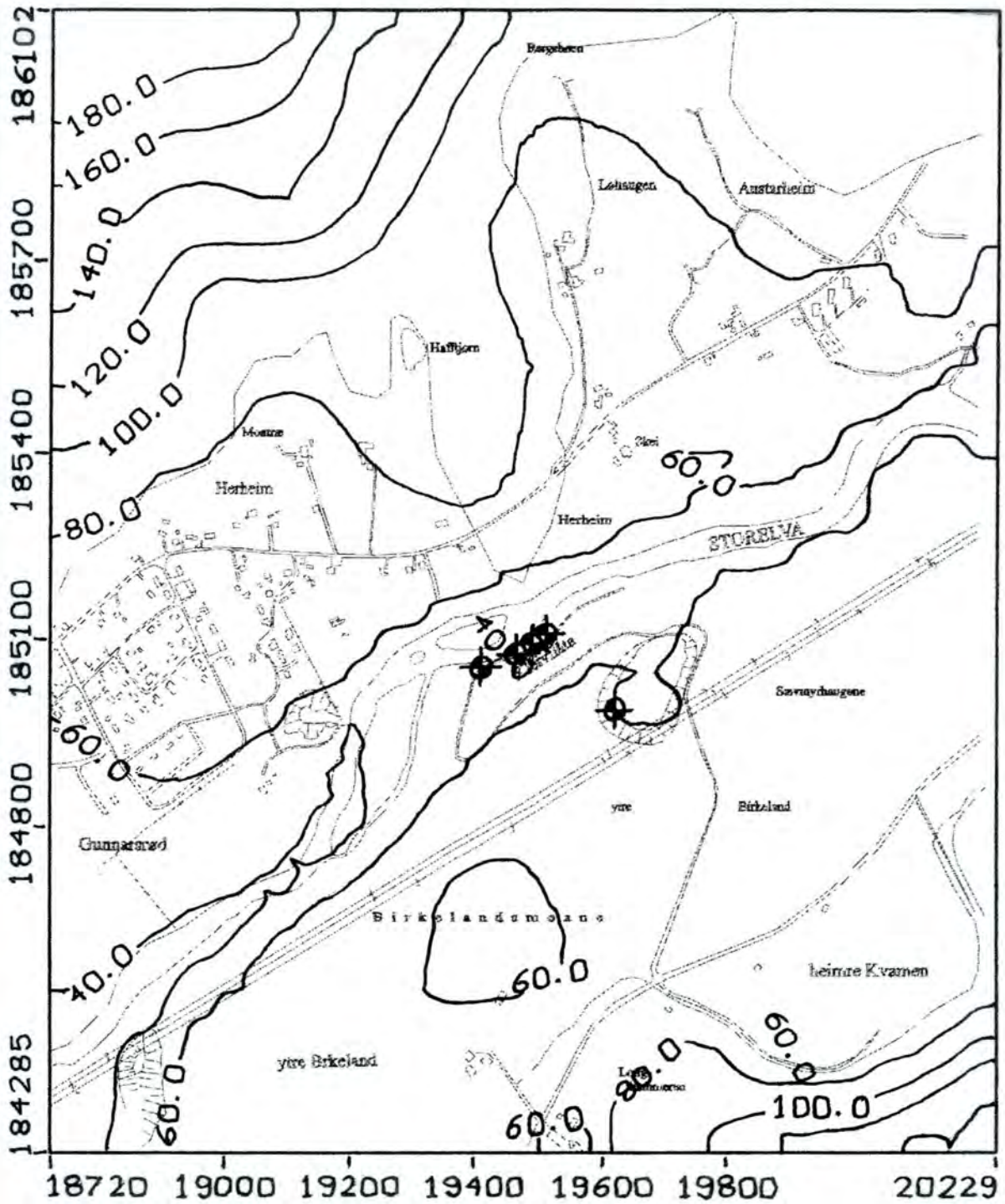
KFR

Juli -96

Jan. -97

TEGNING NR
97.015-03

KARTBLAD NR
1314 III



NGU/SAUDA KOMMUNE

HØYDE (m.o.h.) TIL LAGET SOM SKILLER LAG 1 OG 2

KLEIVFLÅTA

SAUDA KOMMUNE, ROGALAND

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1:10 000

MÅLT

TEGN DAS

TRAC

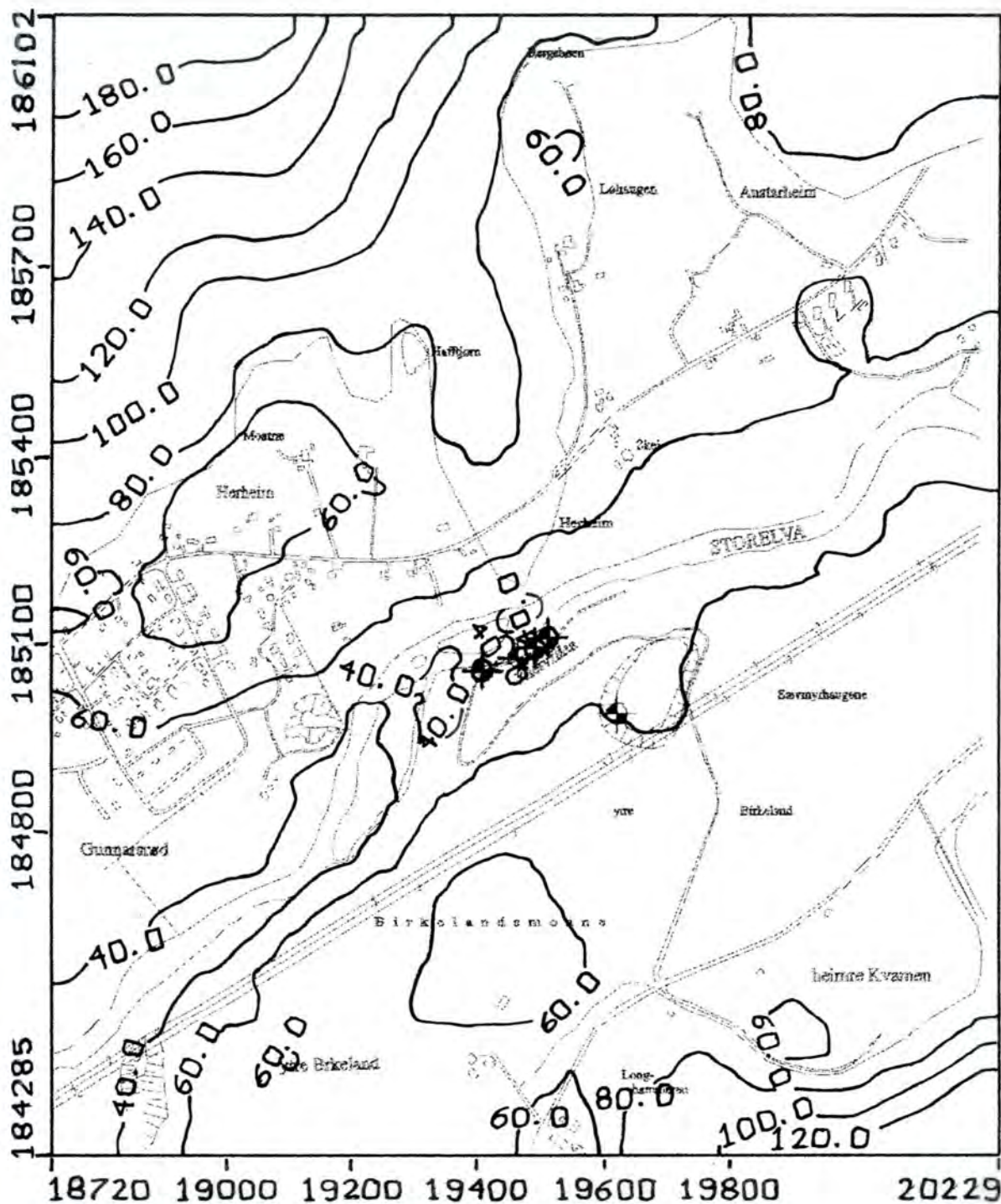
KFR

FEB 1997

FEB 1997

KARTBILAG NR
97.015-05

KARTBLAD NR
1314 III



NGU/SAUDA KOMMUNE

HØYDE (m.o.h.) TIL LAGET SOM SKILLER LAG 2 OG 3

KLEIVFLÅTA

SAUDA KOMMUNE, ROGALAND

MÅLESTOKK

1:10 000

MÅLT

TEGN DAS

TRAC

KFR

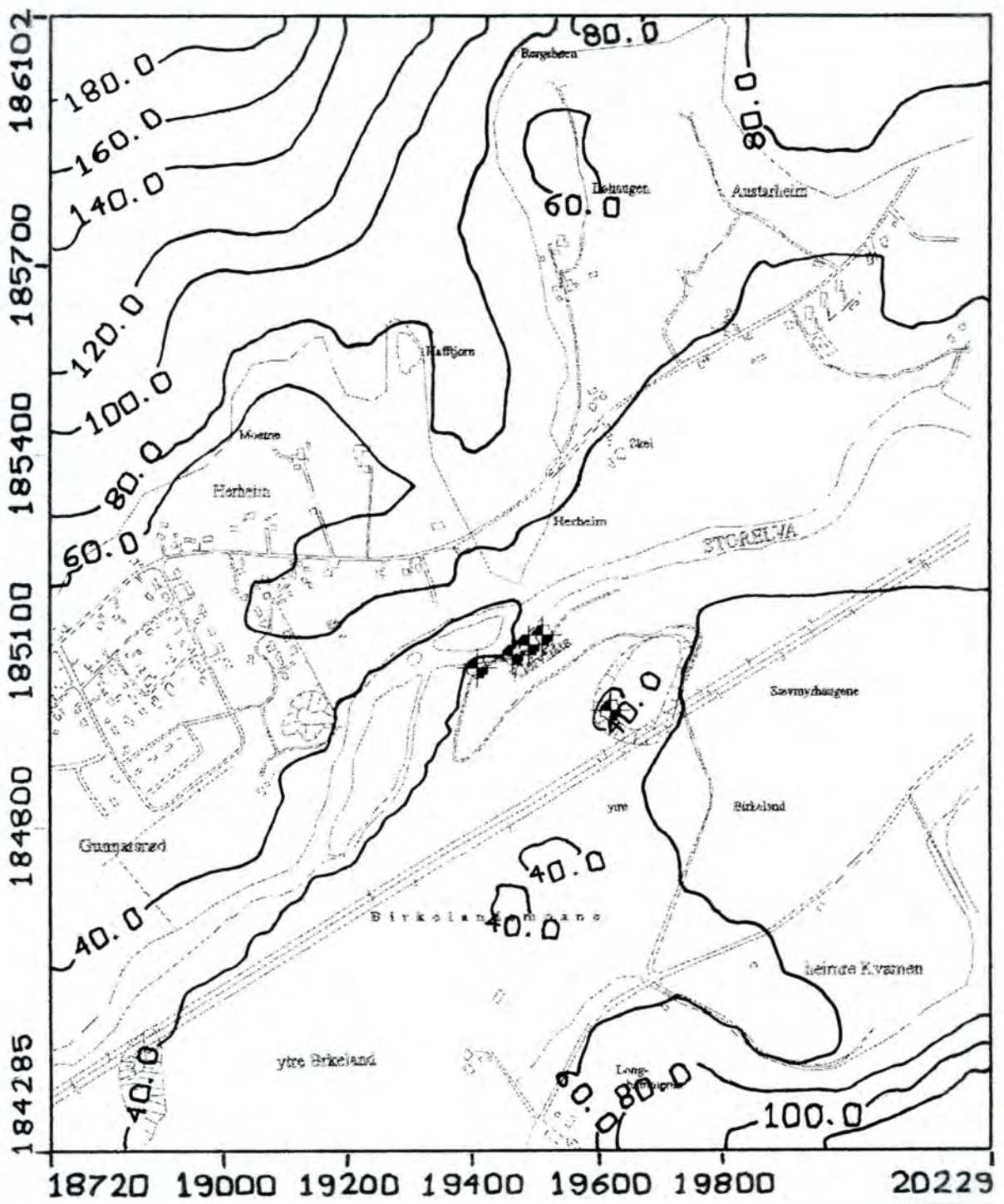
FEB 1997

FEB 1997

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

KARTBILAG NR
97.015-06

KARTBLAD NR
1314 III

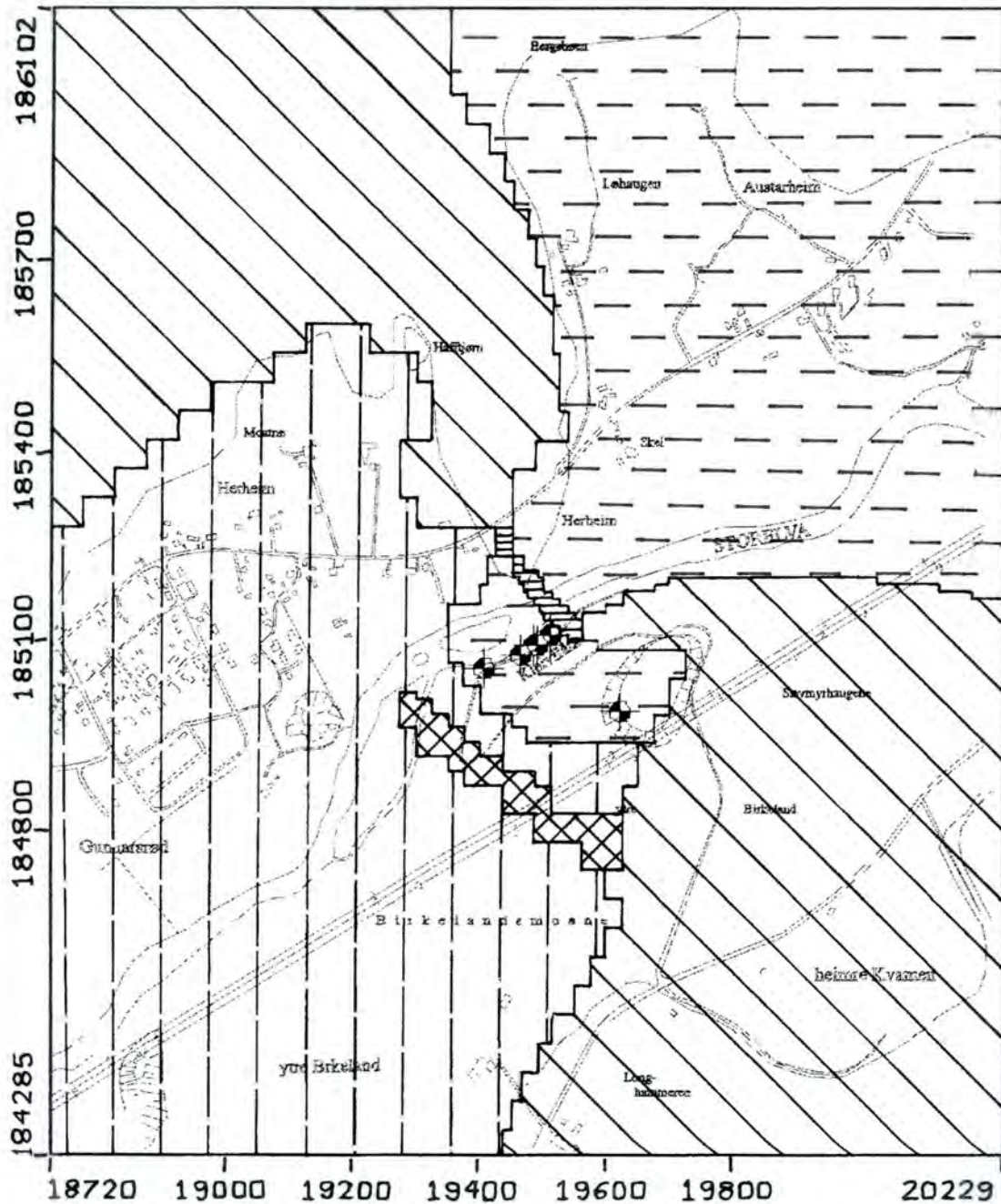







NGU/SAUDA KOMMUNE
 HØYDE (m.o.h.) TIL LAGET SOM SKILLER LAG 3 OG 4
KLEIVFLÅTA
 SAUDA KOMMUNE, ROGALAND

MÅLESTOKK 1:10 000	MÅLT	FEB 1997
	TEGN DAS	FEB 1997
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR 97.015-07	KARTBLAD NR 1314 III
---------------------------	-------------------------



- | | | | |
|---|--|---|---|
|  | $K_h = 0,2 \text{ m/d}, K_v = 0,2 \text{ m/d}$ |  | $K_h = 13,2 \text{ m/d}, K_v = 6 \text{ m/d}$ |
|  | $K_h = 0,6 \text{ m/d}, K_v = 0,5 \text{ m/d}$ |  | $K_h = 3 \text{ m/d}, K_v = 2 \text{ m/d}$ |
|  | $K_h = 30 \text{ m/d}, K_v = 20 \text{ m/d}$ | | |

NGU/SAUDA KOMMUNE
 FORDELING AV PERMEABILITET (K_v OG K_h) TIL LAG 1

KLEIVFLÅTA

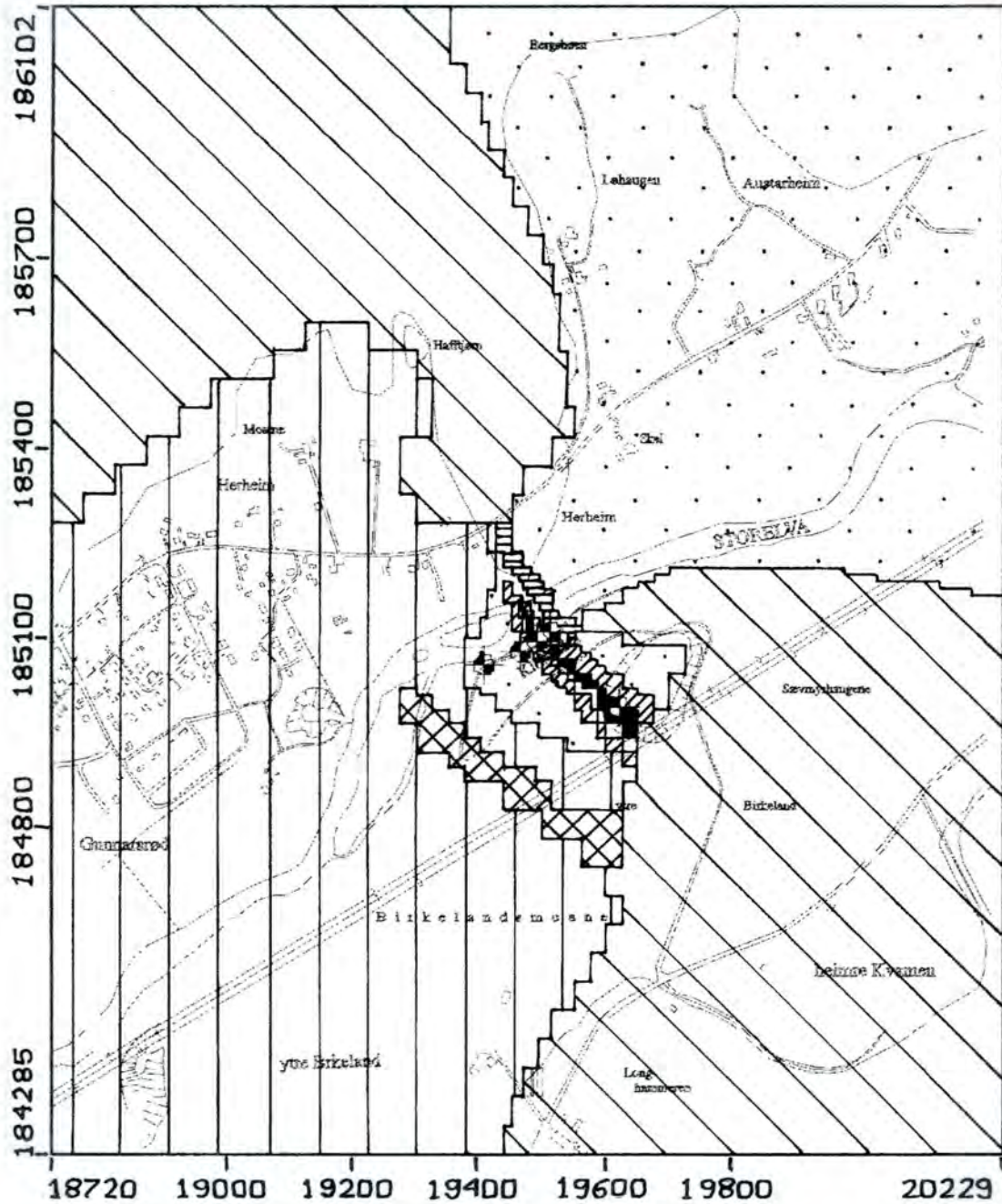
SAUDA KOMMUNE, ROGALAND









NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK 1:10 000	MÅLT	FEB 1997
	TEGN DAS	FEB 1997
	TRAC	
	KFR	

KARTBILAG NR
97.015-08

KARTBLAD NR
1314 III



- | | |
|--|---|
|  $K_h = 30 \text{ m/d}, K_v = 20 \text{ m/d}$ |  $K_h = 680 \text{ m/d}, K_v = 25 \text{ m/d}$ |
|  $K_h = 0,2 \text{ m/d}, K_v = 0,2 \text{ m/d}$ |  $K_h = 220 \text{ m/d}, K_v = 20 \text{ m/d}$ |
|  $K_h = 0,6 \text{ m/d}, K_v = 0,5 \text{ m/d}$ |  $K_h = 3 \text{ m/d}, K_v = 2 \text{ m/d}$ |
|  $K_h = 50 \text{ m/d}, K_v = 20 \text{ m/d}$ |  $K_h = 12 \text{ m/d}, K_v = 6 \text{ m/d}$ |

NGU/SAUDA KOMMUNE
 FORDELING AV PERMEABILITET (K_v OG K_h) TIL LAG 2

KLEIVFLÅTA

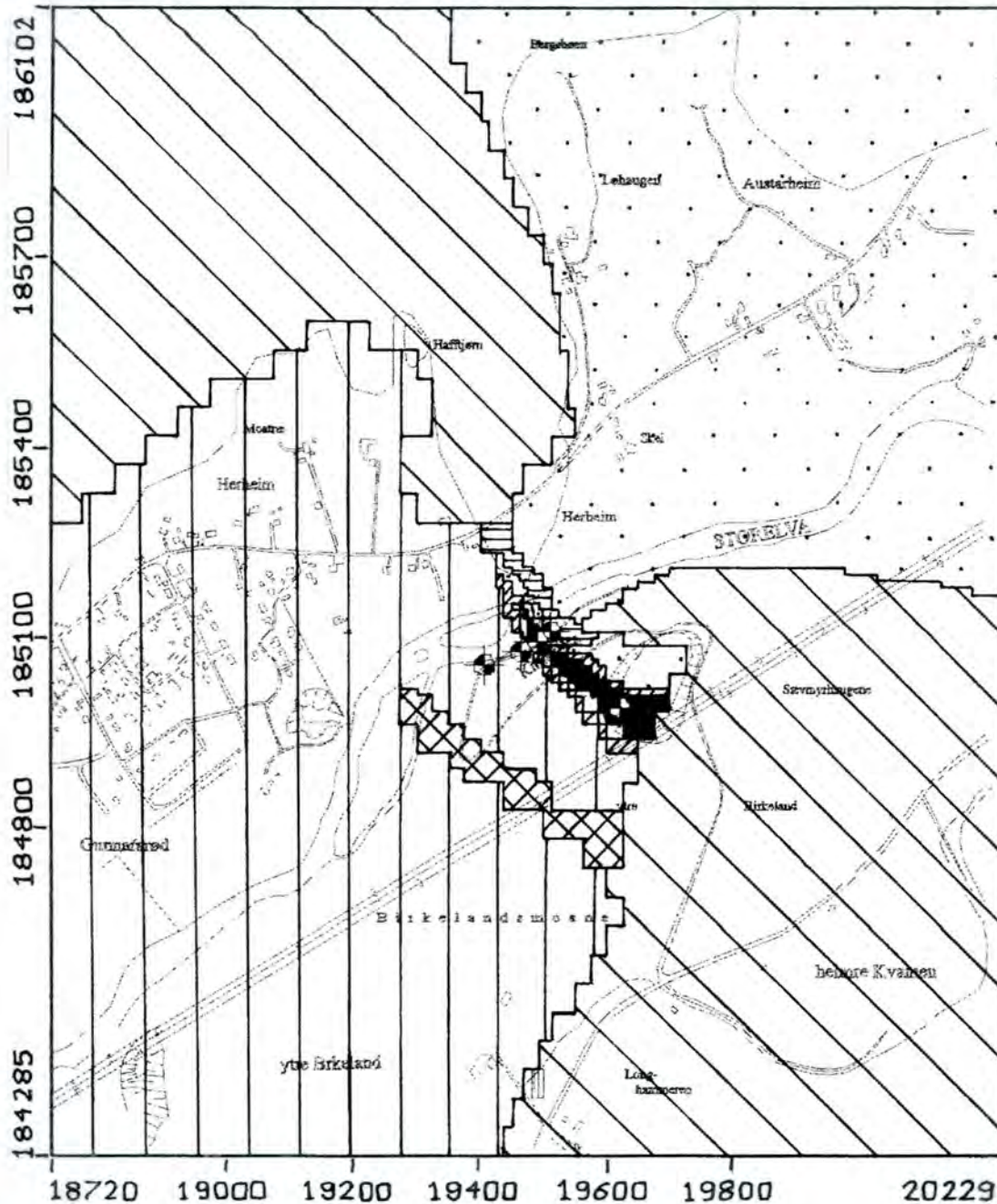
SAUDA KOMMUNE, ROGALAND









MÅLESTOKK 1:10 000	MÅLT	FEB 1997
	TEGN DAS	FEB 1997
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR
 97.015-09

KARTBLAD NR
 1314 III



- | | |
|--|---|
|  $K_h = 30 \text{ m/d}, K_v = 20 \text{ m/d}$ |  $K_h = 680 \text{ m/d}, K_v = 25 \text{ m/d}$ |
|  $K_h = 0,2 \text{ m/d}, K_v = 0,2 \text{ m/d}$ |  $K_h = 220 \text{ m/d}, K_v = 20 \text{ m/d}$ |
|  $K_h = 0,6 \text{ m/d}, K_v = 0,5 \text{ m/d}$ |  $K_h = 3 \text{ m/d}, K_v = 2 \text{ m/d}$ |
|  $K_h = 50 \text{ m/d}, K_v = 20 \text{ m/d}$ |  $K_h = 12 \text{ m/d}, K_v = 6 \text{ m/d}$ |

NGU/SAUDA KOMMUNE
 FORDELING AV PERMEABILITET (K_v OG K_h) TIL LAG 2

KLEIVFLÅTA

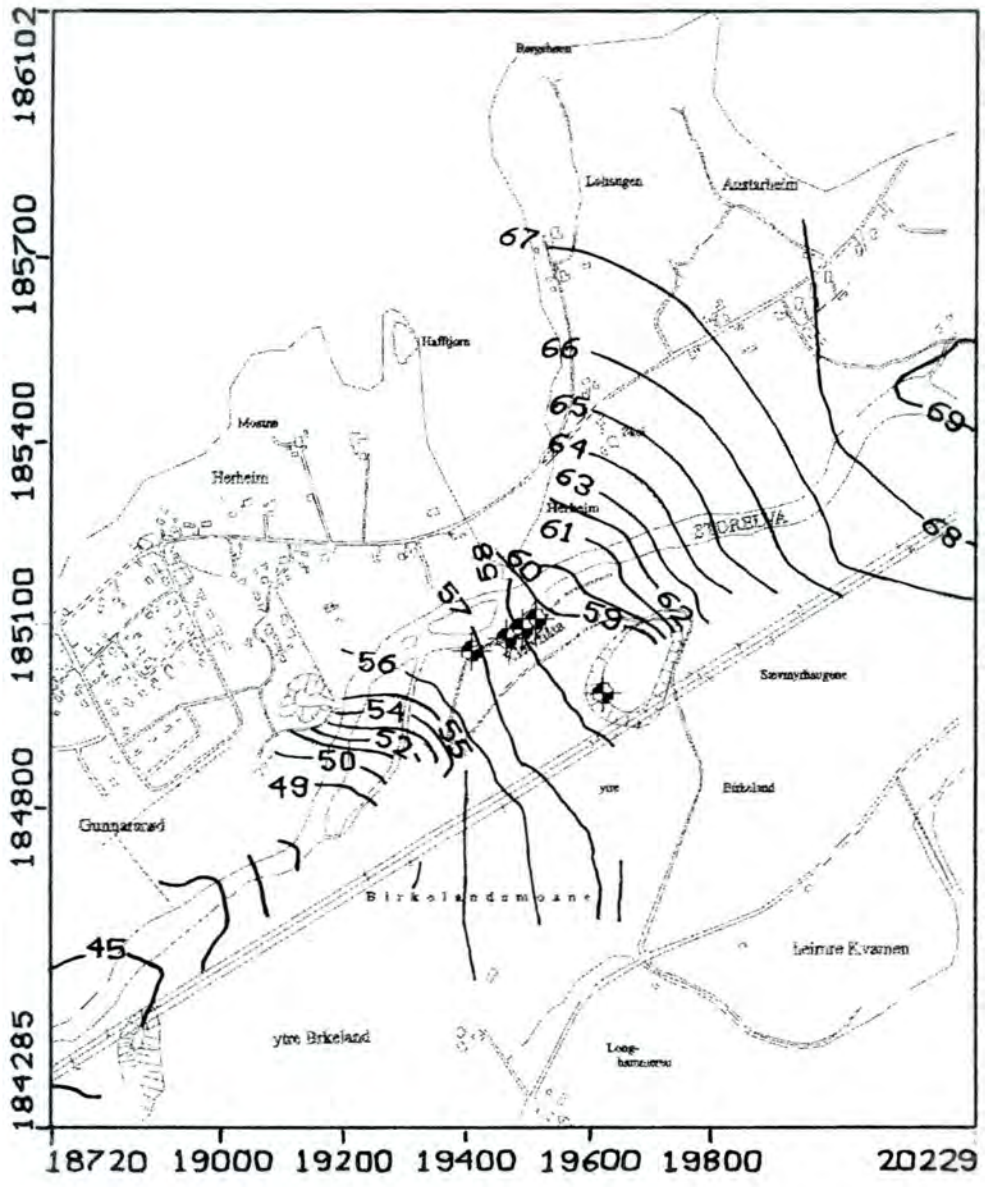
SAUDA KOMMUNE, ROGALAND

MÅLESTOKK 1:10 000	MÅLT	FEB 1997
	TEGN DAS	FEB 1997
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR
 97.015-10

KARTBLAD NR
 1314 III

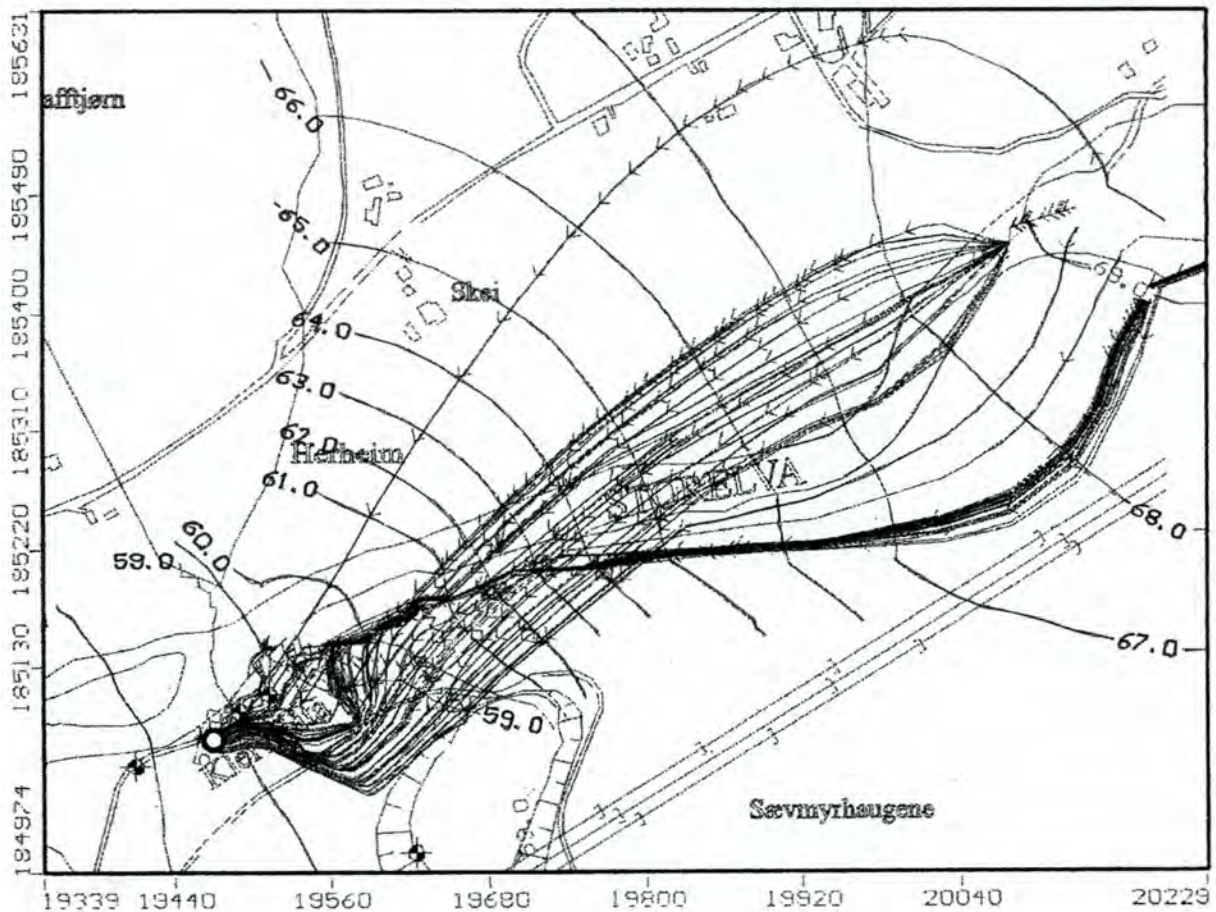


NGU/SAUDA KOMMUNE
 SIMULERT GRUNNVANNSTAND (m.o.h.)
KLEIVFLÅTA
 SAUDA KOMMUNE, ROGALAND

MÅLESTOKK 1:10 000	MÅLT	FEB 1997
	TEGN DAS	FEB 1997
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR 97.015-11	KARTBLAD NR 1314 III
---------------------------	-------------------------



→ → Grunnvannsstrømlinje med strømretning
(hver pil representerer 365 døgn)

— 65 — Grunnvannsnivå (m.o.h.)

⊕ Observasjonsbrønn

○ Sauda Kildevann A/S produksjonsbrønn

NGU/SAUDA KOMMUNE

STRØMRETNINGER OG HASTIGHETER, OPPLEGG 6.2.1

KLEIVFLÅTA

SAUDA KOMMUNE, ROGALAND

MÅLT FEB 1997

TEGN DAS FEB 1997

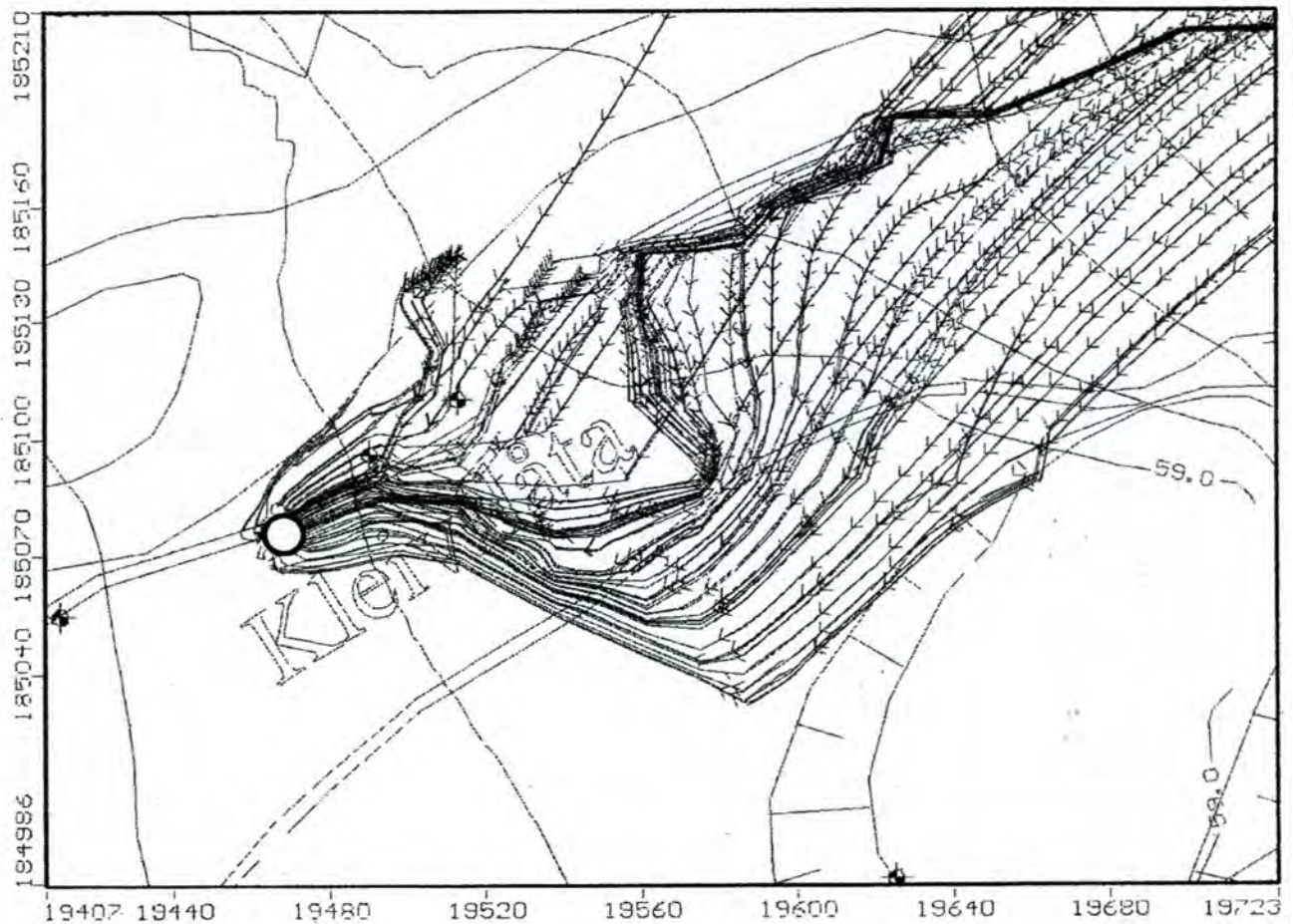
TRAC

KFR

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

KARTBILAG NR
97.015-12

KARTBLAD NR
1314 III



- ↗ — Grunnvannsstrømlinje med strømretning
 (hver pil representerer 60 døgn)
- 65 — Grunnvannsnivå (m.o.h.)
- ⊕ Observasjonsbrønn
- Sauda Kildevann A/S produksjonsbrønn

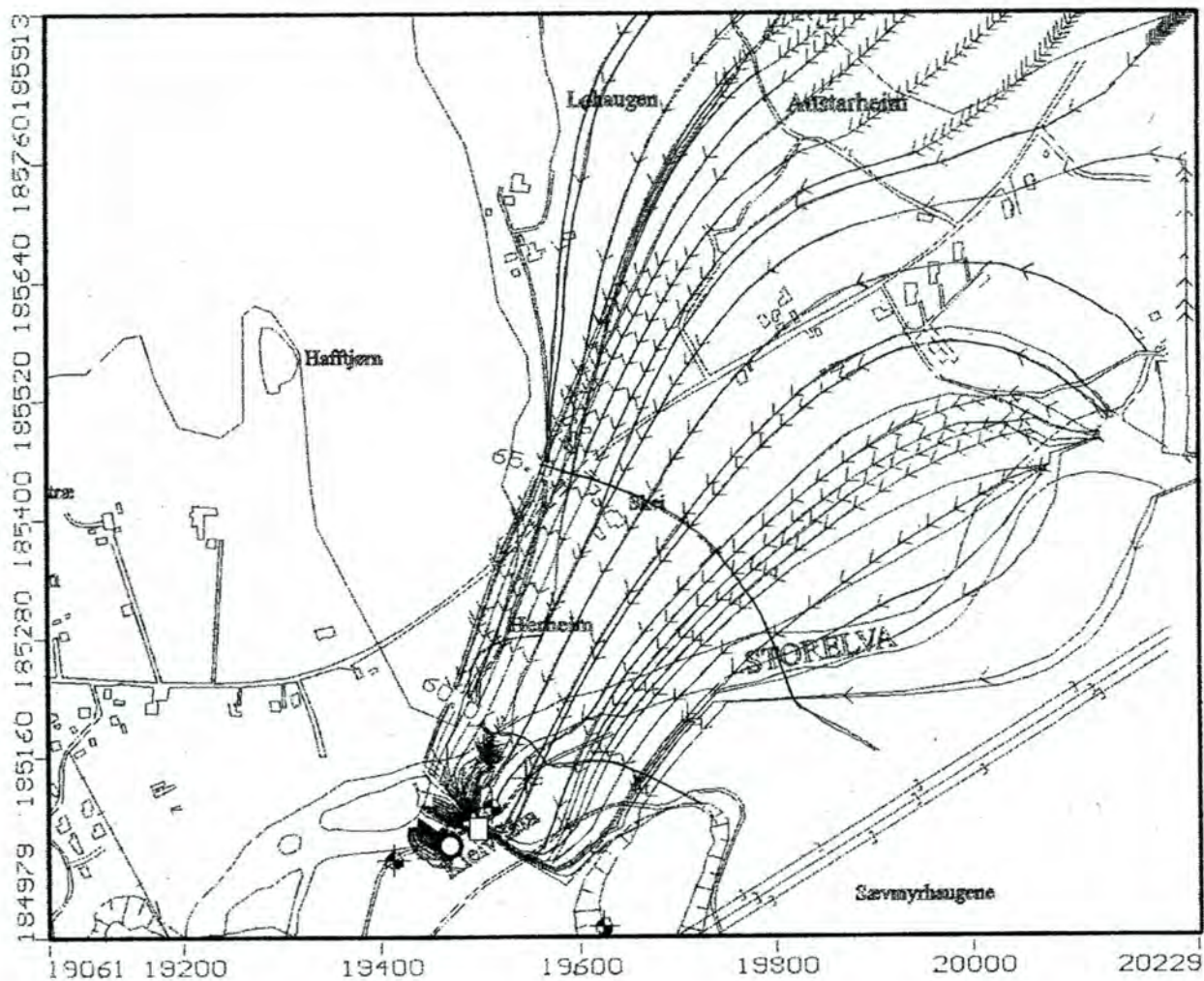
NGU/SAUDA KOMMUNE
 STRØMRETNINGER OG HASTIGHETER, OPPLEGG 6.2.1
 OMRÅDET I NÆRHETEN AV BRØNNENE
KLEIVFLÅTA
 SAUDA KOMMUNE, ROGALAND

MÅLT	FEB 1997
TEGN DAS	FEB 1997
TRAC	
KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR
 97.015-13

KARTBLAD NR
 1314 III



- 65 — Grunnvannsnivå (m.o.h.)
- Grunnvannsstrømlinje med strømretning (hver pil representerer 365 døgn)
- ⊕ Observasjonsbrønn
- Sauda Kildevann A/S produksjonsbrønn
- Aktuelt grunnvannsanlegg (uttak 20 l/s)

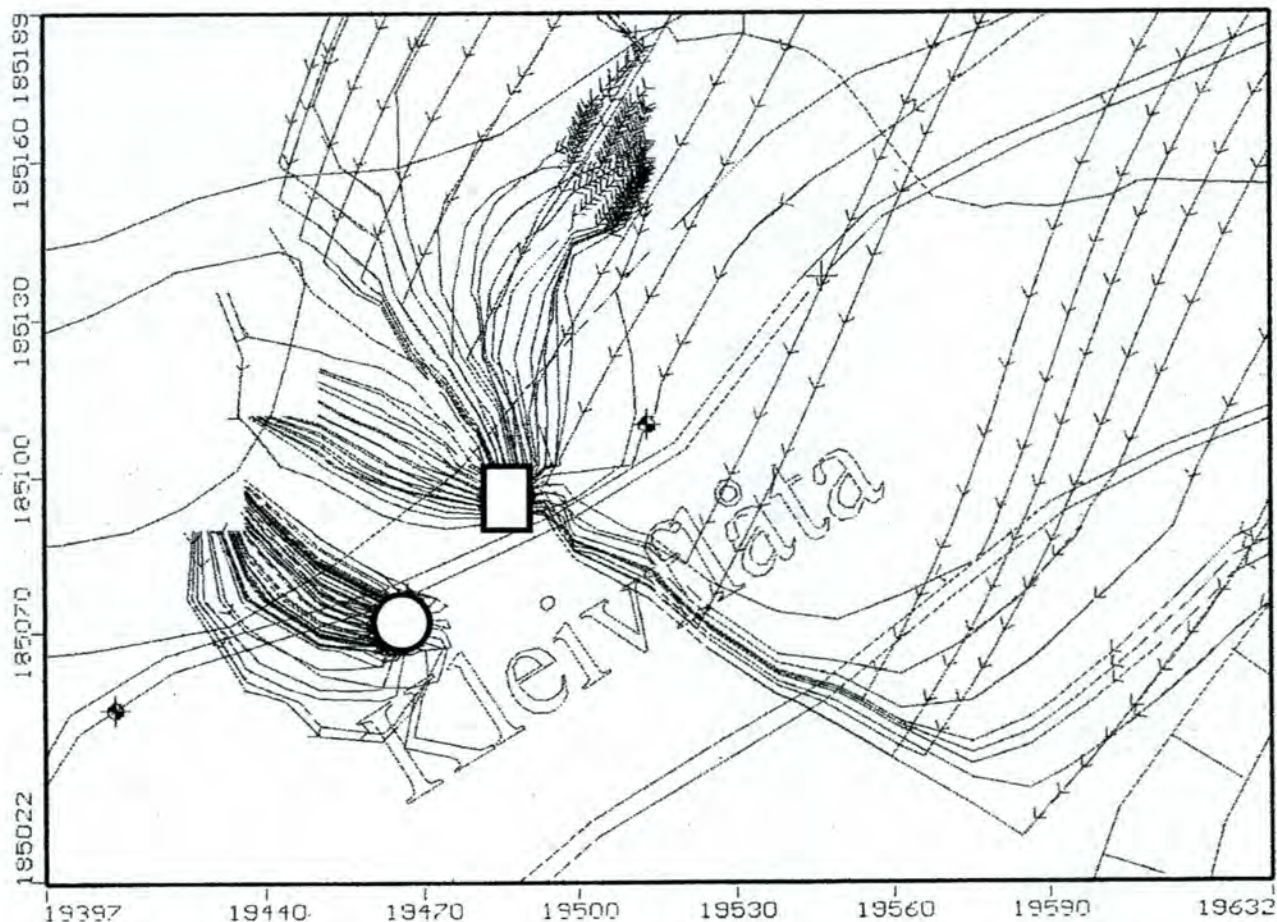
NGU/SAUDA KOMMUNE
 STRØMRETNINGER OG HASTIGHETER
 OPPLEGG 6.2.2 OG 6.2.3
KLEIVFLÅTA
 SAUDA KOMMUNE, ROGALAND

MÅLT	FEB 1997
TEGN DAS	FEB 1997
TRAC	
KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR
 97.015-14

KARTBLAD NR
 1314 III



- 65 — Grunnvannsnivå (m.o.h.)
- Sauda Kildevann A/S produksjonsbrønn
- Grunnvannsstrømning med strømretning (hver pil representerer 60 døgn)
- Aktuelt grunnvannsanlegg (uttak 20 l/s)
- ⊕ Observasjonsbrønn

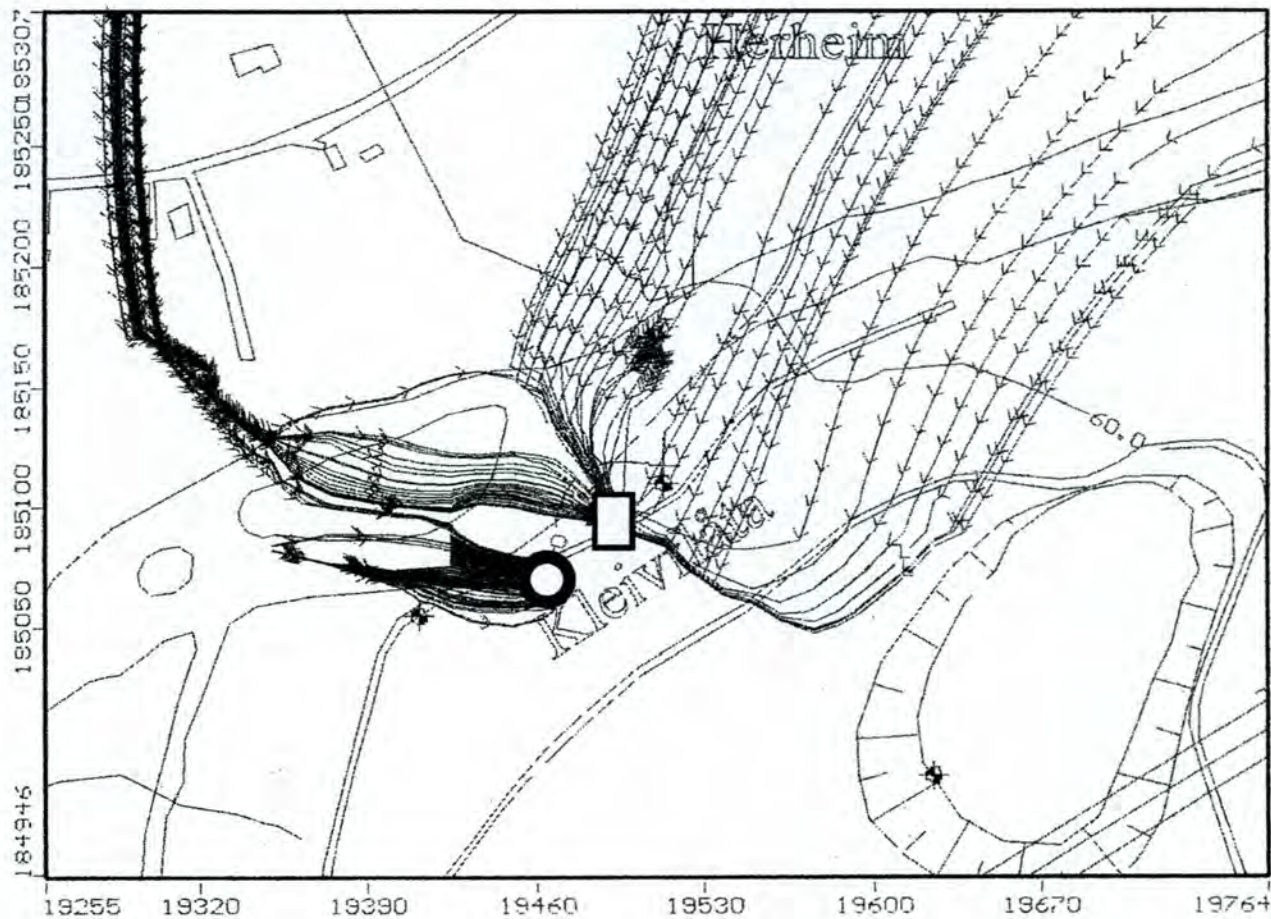
NGU/SAUDA KOMMUNE
 STRØMRETNINGER OG HASTIGHETER,
 OPPLAGG 6.2.2
KLEIVFLÅTA
 SAUDA KOMMUNE, ROGALAND

MÅLT	FEB 1997
TEGN DAS	FEB 1997
TRAC	
KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR
 97.015-15

KARTBLAD NR
 1314 III



- 65 — Grunnvannsnivå (m.o.h.)
- Grunnvannsstrømlinje med strømretning (hver pil representerer 60 døgn)
- ⊕ Observasjonsbrønn
- Sauda Kildevann A/S produksjonsbrønn
- Aktuelt grunnvannsanlegg (uttak 30 l/s)

NGU/SAUDA KOMMUNE
STRØMRETNINGER OG HASTIGHETER,
OPPLEGG 6.2.2

KLEIVFLÅTA

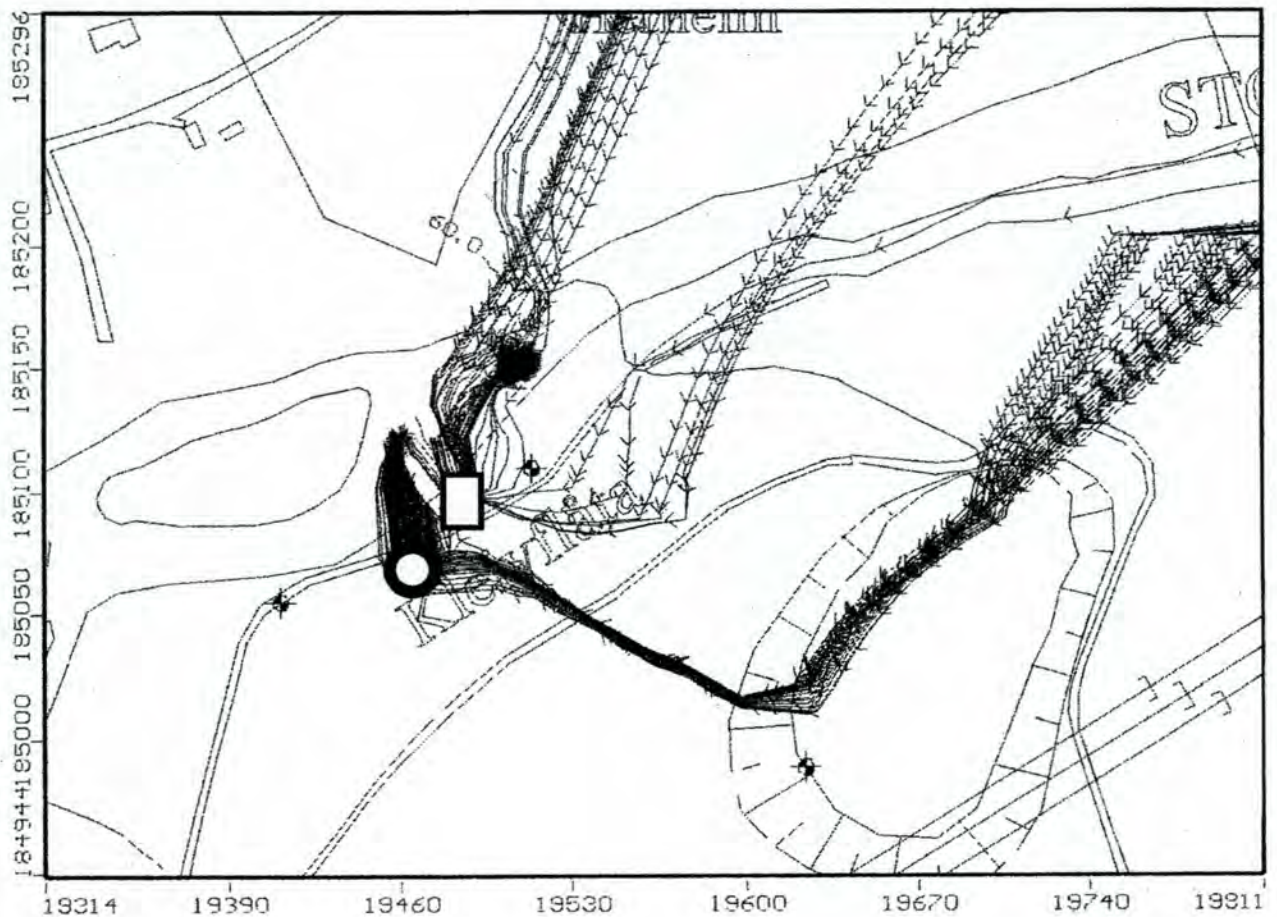
SAUDA KOMMUNE, ROGALAND

MÅLT	FEB 1997
TEGN DAS	FEB 1997
TRAC	
KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

KARTBILAG NR
97.015-16

KARTBLAD NR
1314 III



- 65 — Grunnvannsnivå (m.o.h.)
- Sauda Kildevann A/S produksjonsbrønn
- Grunnvannsstrømning med strømretning □ Aktuelt grunnvannsanlegg (uttak 10 l/s)
(hver pil representerer 60 døgn)
- ⊕ Observasjonsbrønn

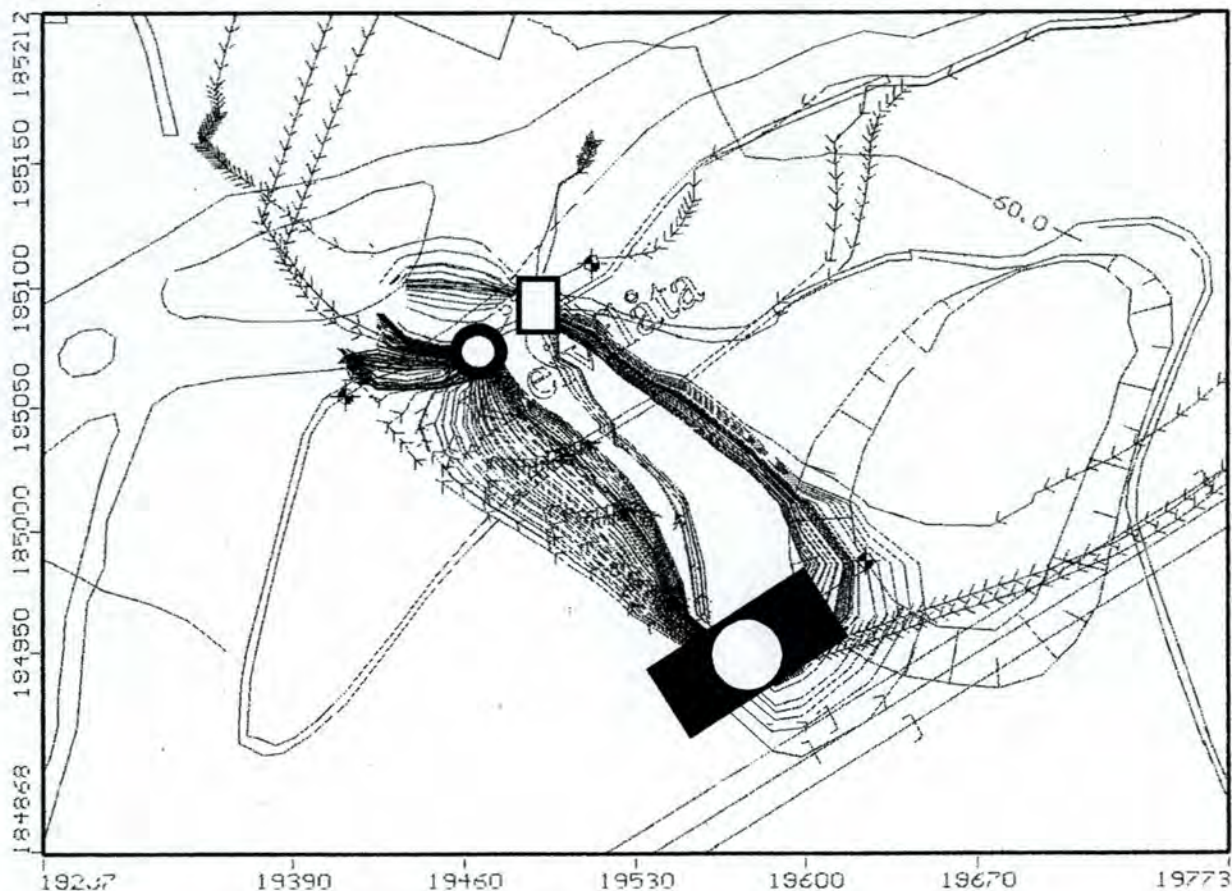
NGU/SAUDA KOMMUNE
 STRØMRETNINGER OG HASTIGHETER,
 OPPLEGG 6.2.2
KLEIVFLÅTA
 SAUDA KOMMUNE, ROGALAND

MÅLT	FEB 1997
TEGN DAS	FEB 1997
TRAC	
KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR
 97.015-17

KARTBLAD NR
 1314 III



- 65 — Grunnvannsnivå (m.o.h.)
- Sauda Kildevann A/S produksjonsbrønn
- Grunnvannsstrømning med strømretning (hver pil representerer 60 døgn)
- Aktuelt grunnvannsanlegg (uttak 40 l/s)
- ⊕ Observasjonsbrønn
- Aktuelt infiltrasjonsbasseng (infiltrasjon 40 l/s)

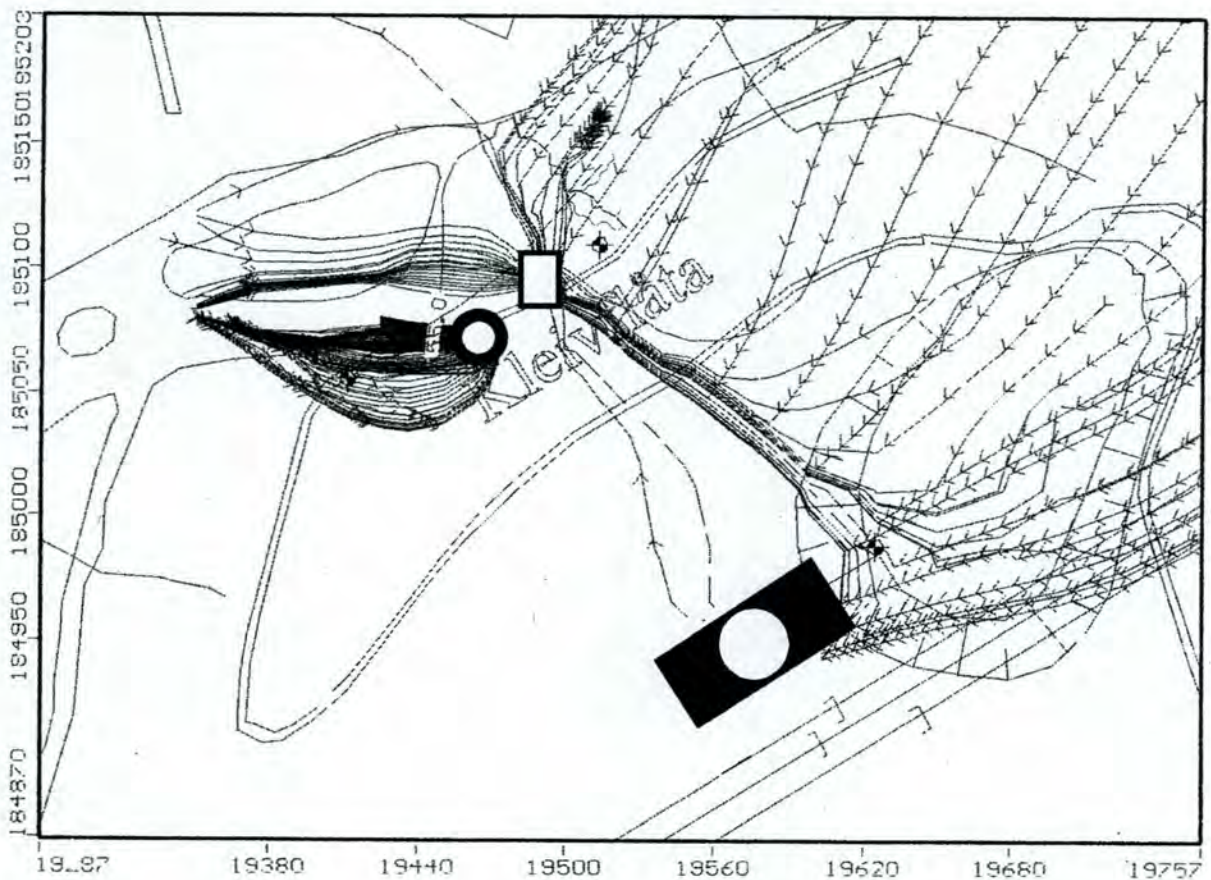
NGU/SAUDA KOMMUNE
 STRØMRETNINGER OG HASTIGHETER,
 OPPLEGG 6.2.5
KLEIVFLÅTA
 SAUDA KOMMUNE, ROGALAND

MÅLT	FEB 1997
TEGN DAS	FEB 1997
TRAC	
KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR
 97.015-18

KARTBLAD NR
 1314 III



- 65 — Grunnvannsnivå (m.o.h.)
- Grunnvannsstrømmlinje med strømretning (hver pil representerer 60 døgn)
- ⊕ Observasjonsbrønn
- Sauda Kildevann A/S produksjonsbrønn
- Aktuelt grunnvannsanlegg (uttak 40 l/s)
- ◼ Aktuelt infiltrasjonsbasseng (infiltrasjon 20 l/s)

NGU/SAUDA KOMMUNE
 STRØMRETNINGER OG HASTIGHETER,
 OPPLÈGG 6.2.5
KLEIVFLÅTA
 SAUDA KOMMUNE, ROGALAND

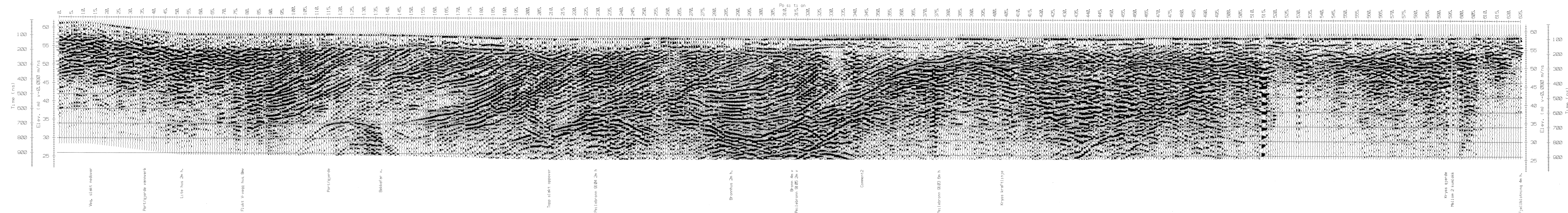
MÅLT	FEB 1997
TEGN DAS	FEB 1997
TRAC	
KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

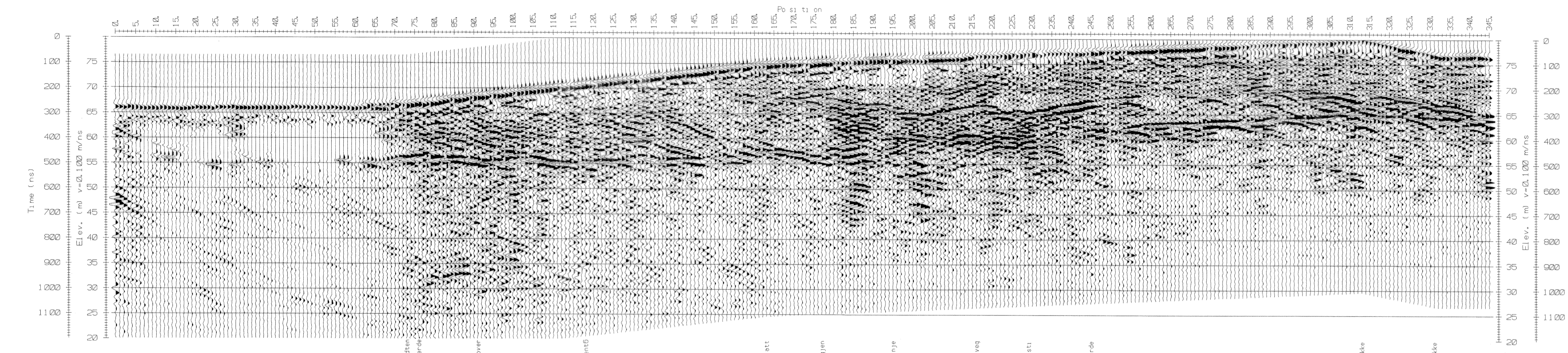
KARTBILAG NR
 97.015-19

KARTBLAD NR
 1314 III

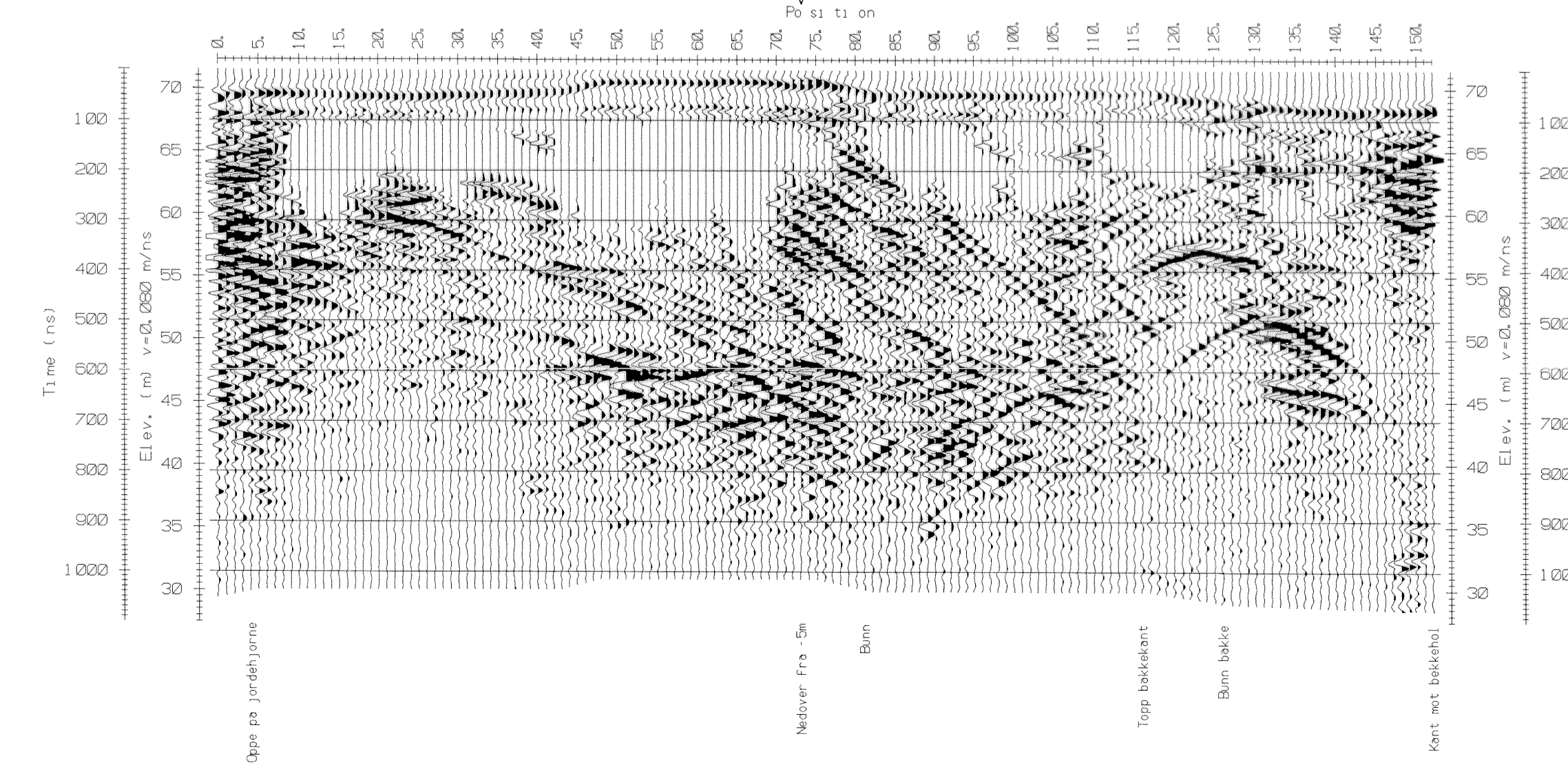
P1



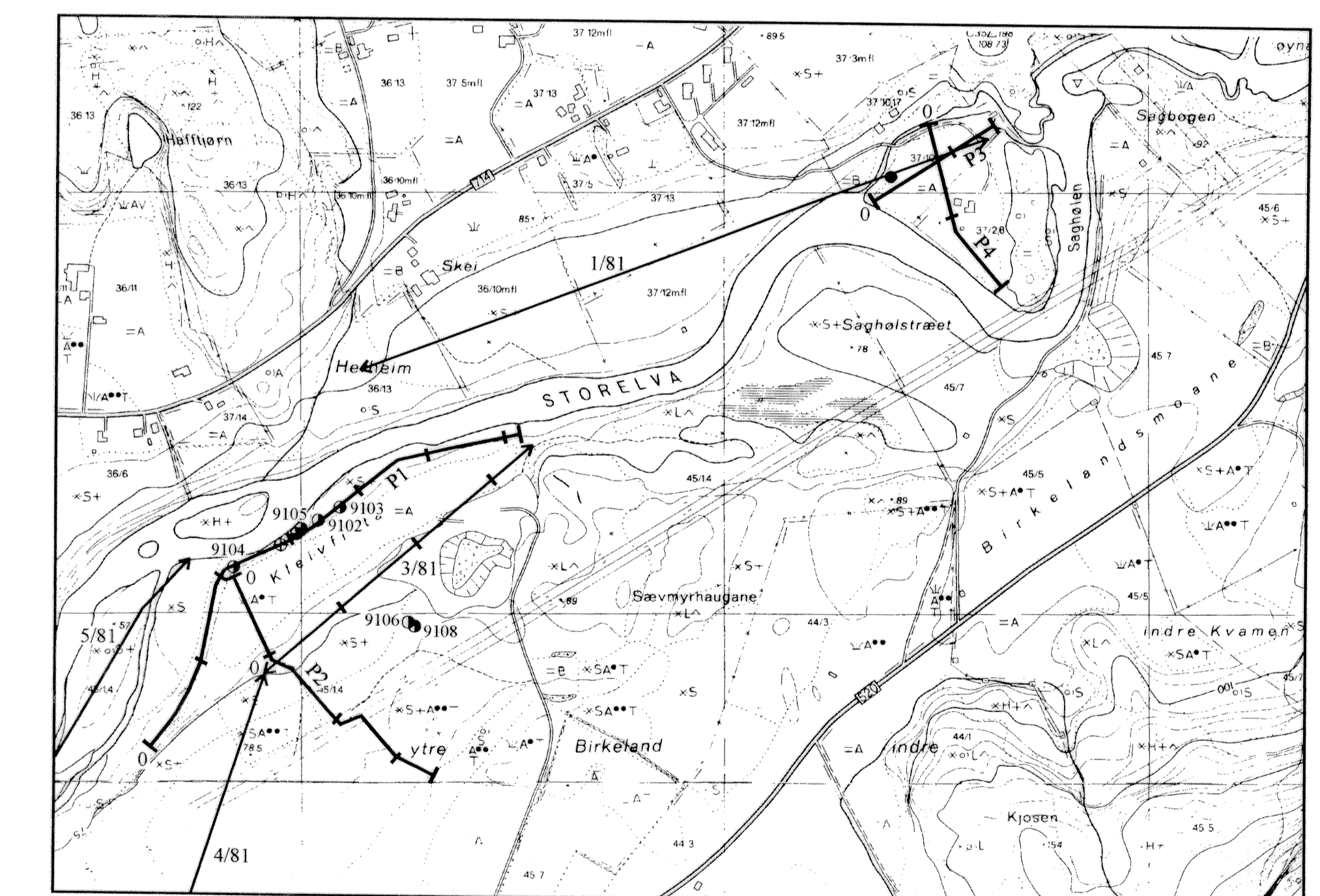
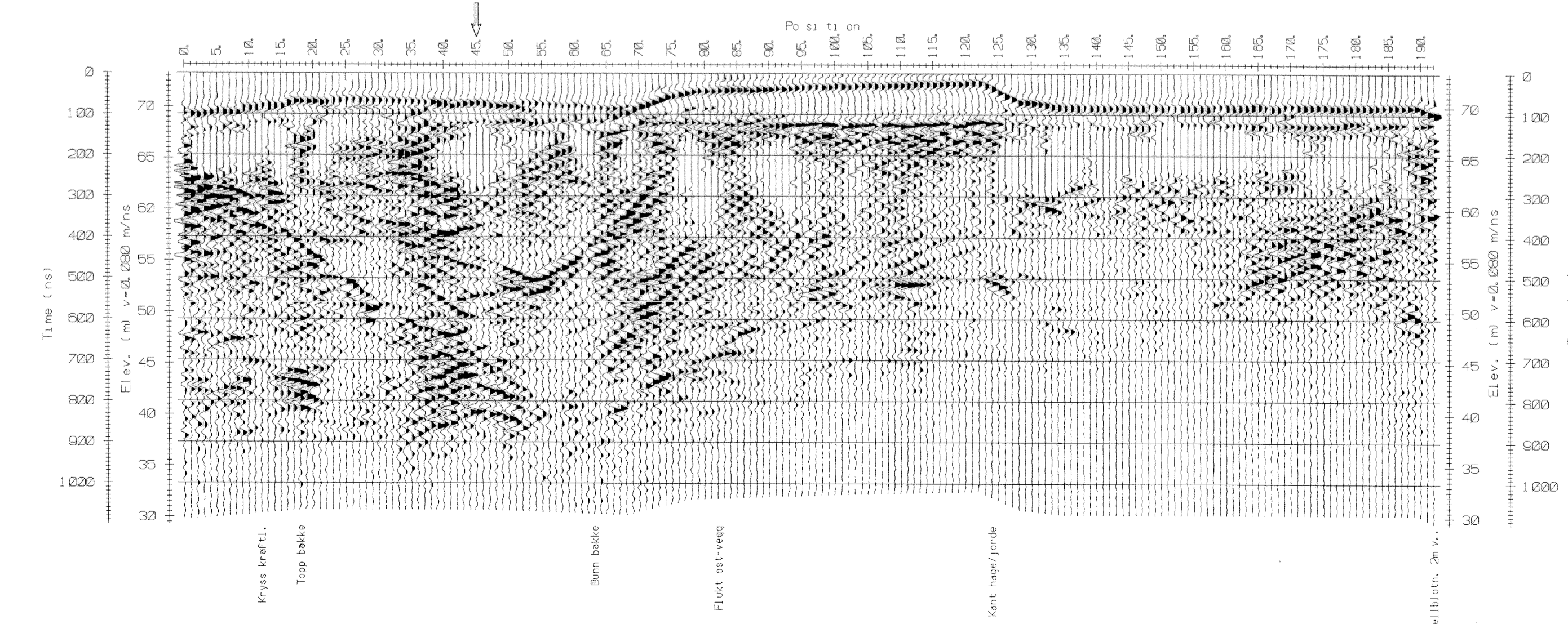
P2



P3



P4



- Sonderboring (Huseby, 1983)
- 9106 Sonderboring/observasjonsbrønn (Viak, 1991)
- ⊙ Provepumpingsbrønn
- ⊕ Sauda kildevann brønn
- ↗ P3 Georadarprofil med startposisjon og markering for hver 100 meter
- ↘ 3/81 Refraksjonseismisk profil (Geotem A/S, 1981) (markering for hver 100 meter for profil 3/81)

NGU/SAUDA KOMMUNE GEORADAROPPTAK P1, P2, P3 & P4 KLEIVFLÅTA OG AUSTARHEIM SAUDA KOMMUNE, ROGALAND	MÅLESTOKK 1:5000 (Kart)	MALT JFT TEGN EM TRAC KFR	Juli -96 Jan. -97
	TEGNING NR 97.015-20	KARTBLAD NR 1314 III	