


NGU Rapport 97.095

Bestemmelse av beskyttelsessoner ved Otta
vannverk ved bruk av grunnvannsmodellering.

Rapport nr.: 97.095		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Bestemmelse av beskyttelsessoner ved Otta vannverk ved bruk av grunnvannsmodellering.				
Forfatter: David Segar og Sylvi Gaut		Oppdragsgiver: Sel kommune og NGU		
Fylke: Oppland		Kommune: Sel		
Kartblad (M=1:250.000) Lillehammer		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1818 IV Otta		
Forekomstens navn og koordinater: Selsverket		Sidetall: 68	Pris: 115,-	
Feltarbeid utført: 1995-1997		Rapportdato: 5.september 1997	Prosjektnr.: 2713.05	Ansvarlig: 
<p>Sammendrag: NGU utførte i perioden 1995-97 grunnvannsundersøkelser i området ved Otta vannverk for å undersøke grunnvannsstrømningen i magasinet. På grunnlag av de hydrogeologiske undersøkelsene ble det for magasinet konstruert en matematisk grunnvannsstrømningsmodell.</p> <p>Modellen og feltdataene ble brukt til å fremstille et forslag til beskyttelsessoner (soneinndeling) rundt vannverket. Disse sonene er gyldige opp til vannverkets kapasitet på 57 l/s, og antar at pumpebrønnen ved HED-OPP slakteri har et gjennomsnittlig uttak på ca. 10 l/s.</p> <p>Mulige forurensningskilder ble også vurdert, og resultatene antyder at vannverket er forholdsvis godt beskyttet mot forurensninger. Vannverket er likevel sårbart for forurensninger i Ula og til dels Lågen. Magasinets høye permeabilitet og de korte avstandene til elvene betyr at grunnvannets oppholdstid er kort, og dette øker risikoen for forurensning fra disse kildene. Bruken av soneinndelingen som er forslått i denne rapporten vil redusere risikoen for forurensning.</p> <p>Resultatene fra modelleringen viser at områdene som ligger utenfor de forslåtte sonene ikke representerer mulige forurensningskilder for vannverket.</p> <p>Det understrekes at konklusjonene i modellforsøket representerer antakelser ut fra tilgjengelige data. Formulering av modellene benytter også en del antakelser mht. matematiske simplifisering av problemet. Grunnvannsmodellering er likevel en av de sikreste metodene som kan benyttes for å undersøke hydrauliske forhold i et grunnvannsmagasin dersom gode data er tilgjengelige. Dette var stort sett tilfelle i denne undersøkelsen.</p>				
Emneord: Hydrogeologi		Grunnvannsforsyning		Vannverk stort
Løsmasser		Sikring		Pumpetest
Modellforsøk				Fagrapport

INNHOLDSFORTEGNELSE

KONKLUSJONER.....	5
1. INNLEDNING	6
1.1 Introduksjon.....	6
1.2 Metodikk.....	7
2. GRUNNVANNSUNDERSØKELSER ved SELSVERKET	7
2.1 Sonderboringer.....	7
2.2 Prøvepumping	8
3. GEOLOGI OG HYDROGEOLOGI I OMRÅDET VED SELSVERKET.....	8
3.1 Geologi.....	8
3.2 Hydrogeologi	10
4. SIMULERING AV GRUNNVANNSSTRØMNING I MAGASINET.....	11
4.1 Metodikk.....	11
4.2 Resultater.....	12
4.2.1 Grunnvannsforholdene ved lav vannstand i Lågen	12
4.2.2 Grunnvannsforholdene ved høy vannstand i Lågen	13
4.2.3 Grunnvannsforholdene under en stigning i Lågens vannstand.....	13
4.2.4 Grunnvannsforhold med et større uttak fra vannverket.....	15
5. VURDERING AV MULIGE FORURENSNINGSKILDER	16
5.1 Sel kirkegård	16
5.2 HED-OPP slakteri	17
5.3 Gårdsdrift ved Selsverket.....	17
5.4 Lågen.....	18
5.5 Ula.....	18
6. BESTEMMELSE AV BESKYTTELSESSONER.....	18
6.1 Generelle vurderinger av beskyttelsessoner	18
6.2 Anbefalinger av beskyttelsessoner	19
7. REFERANSER.....	20

TEKSTBILAG

Tekstbilag 1 Beskrivelse av modellene MODFLOW og MODPATH.

Tekstbilag 2 Grunnvannsmodellen av magasinet ved Selsverket.

DATABILAG

- 1.1-1.15 Borelogger fra sonderboringer i Selsverket-området.
- 2.1-2.4 Kornfordelingsanalyser
- 3 Resultater fra beregning av transmissivitet fra kornfordelingsanalyser
- 4 Resultater fra beregning av transmissivitet fra senkningsdata.

KARTBILAG

- 1 Plassering av sonderboringer i Selsverket-området.
- 2 MODFLOW-modell: Simulert grunnvannstand. Lav vannstand i Lågen.
- 3 MODFLOW-modell: Simulert grunnvannsstrømning i magasinet. Lag 1.
- 4 MODPATH-modell: Simulerte grunnvannsretninger og hastigheter mot Otta vannverk. Lag 1. Lav vannstand i Lågen.
- 5 MODPATH-modell: Simulerte grunnvannsretninger og hastigheter mot Otta vannverk. Lag 2. Lav vannstand i Lågen.
- 6 MODFLOW-modell: Simulert grunnvannstand. Høy Vannstand i Lågen.
- 7 MODPATH-modell: Simulerte grunnvannsretninger og hastigheter mot Otta vannverk. Lag 1. Høy Vannstand i Lågen.
- 8 MODPATH-modell: Simulerte grunnvannsretninger og hastigheter mot Otta vannverk. Lag 2. Høy Vannstand i Lågen.
- 9 MODPATH-modell: Simulerte grunnvannsretninger og hastigheter mot Otta vannverk (uttak 60 l/s). Lag 1.
- 10 Forslag til beskyttelsessoner, Otta vannverk.
- 11 MODPATH-modell: Strømningslinjene til vann som introduseres i grunnvannsmagasinet ved Sel Kirkegård.
- 12 MODPATH-modell: Strømningslinjene til vann som introduseres i grunnvannsmagasinet ved HED-OPP slakteri.
- 13 MODPATH-modell: Strømningslinjene til vann som introduseres i grunnvannsmagasinet i områder med gårdsdrift.
- 14 MODFLOW-modell: Gridet og hydrauliske grenser.
- 15 MODFLOW-modell: Fordeling av permeabilitet (K_h og K_v) i lag 1
- 16 MODFLOW-modell: Fordeling av permeabilitet (K_h og K_v) i lag 2

KONKLUSJONER

NGU utførte i perioden 1995-97 grunnvannsundersøkelser i området ved Otta vannverk for å undersøke grunnvannsstrømningen i magasinet. På grunnlag av de hydrogeologiske undersøkelsene ble det for magasinet konstruert en matematisk grunnvannsstrømningsmodell.

Modellen og felldataene ble brukt til å fremstille et forslag til beskyttelsessoner (soneinndeling) rundt vannverket. Grensen for sone I defineres som grensen for 60 døgnsoppholdstid i mettet sone. Sone II, det fjerne tilsigsområdet, representerer hele infiltrasjonsområdet til produksjonsbrønnen. Sone III, det ytre tilsigsområdet, defineres både ut i fra resultatene fra modelleringen og inspeksjon av topografisk kart over området.

Alle soner har en viss sikkerhetsmargin som tar hensyn til usikkerhetene i data og tolkningsmetoder. Disse sonene er likevel gyldige opp til vannverkets kapasitet på 57 l/s, og antar at pumpebrønnen ved HED-OPP slakteriet har et gjennomsnittlig uttak på ca. 10 l/s.

Mulige forurensningskilder ble også vurdert, og resultatene antyder at vannverket er forholdsvis godt beskyttet mot forurensninger. Vannverket er likevel sårbart for forurensninger i Ula og til dels Lågen. Magasinets høye permeabilitet og de korte avstandene til elvene betyr at grunnvannets oppholdstid er kort, og dette øker risikoen for forurensning fra disse kildene. Bruken av soneinndelingen som er forslått i denne rapporten vil redusere risikoen for forurensning.

Resultatene fra modelleringen viser at områdene som ligger utenfor de forslåtte sonene ikke representerer mulige forurensningskilder for vannverket.

Det understrekes at konklusjonene i modellforsøket representerer antakelser utfra tilgjengelige data. MODFLOW gir ikke «magiske» svar. Man må være klar over at simulerte data og målte data kan avvike fordi en matematisk modell er en forenkling av virkelighet og kan ikke være mer pålitelig enn de data som den er basert på.

Grunnvannsmodellering er likevel en av de sikreste metodene 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.

1. INNLEDNING

1.1 Introduksjon

Otta vannverk ligger på et delta der de øverste massene er avsatt av Gudbrandsdalslågen eller elva Ula som renner ut i Lågen rett nord for vannverket. Vannverket forsynes med grunnvann fra brønner nedsatt i løsmasser på Selsverket ca. 3 km nord for Otta sentrum. Brønnanlegget består av to sjaktbrønner utforet med kumringer. Den ene brønnen er i tillegg komplettert med et brønnfilterrør fra 10-16 m dyp.

Asplan Viak var ansvarlig for undersøkelsene foretatt tidlig på 70-tallet i forbindelse med plassering og bygging av vannverket. Det ble da foreslått en soneinndeling, men denne ble aldri godkjent av daværende godkjenningssinstans i og med at kommunen ikke fulgte opp i forhold til restriksjonene som ble satt for de enkelte sonene. Av denne grunn ønsket Sel kommune en ny vurdering av beskyttelsessonene rundt Otta vannverk og en vurdering av vannverkets sårbarhet for forurensninger.

Feltarbeid i form av georadarmålinger, undersøkelsesboringer med innsamling av masseprøver og prøvepumping samt konstruksjon av en matematisk grunnvannsstrømningsmodell ble utført i perioden 1995-97. Hensikten med undersøkelsen på Selsverket var:

- i) å undersøke grunnvannsstrømningen i magasinet særlig med hensyn til grunnvannets strømningsretninger, hastigheter og oppholdstid,
- ii) å vurdere infiltrasjonsområdet til Otta vannverk,
- iii) å forslå beskyttelsessoner rundt vannverket og
- iv) å vurdere mulige forurensningskilder i området.

Undersøkelsene har vært ment å fylle ut de undersøkelser som ble gjort av Asplan Viak og få en mer detaljert undersøkelse av grunnvannsstrømmen i området.

Forsker Sylvi Gaut har vært ansvarlig for arbeidet. Andre involverte var:

Jan Fredrik Tønnesen (georadar)
Eirik Mauring (georadar)
Bjørn Iversen (løsmasseboringer)
Øystein Jæger (løsmasseboringer, prøvepumping)
Gaute Storrø (prøvepumping)
David Segar (modellering, rapportskrivning)

Ola Næprud har vært kontaktperson hos Sel kommune

1.2 Metodikk

Det ble sommeren 1995 foretatt georadarmålinger i flere områder i Sel kommune. Deriblant på Selsverket ved Otta vannverk (Mauring & Tønnesen, 1996). Videre ble det i juni 1996 sonderboret og satt ned Ø32 mm (5/4") rør med Borros borerigg. Det ble samtidig tatt masseprøver med gjennomstrømningsprøvetaker og ved spyling/pumping. Masseprøvene er benyttet til kornfordelingsanalyser ved NGU. En prøvepumping av vannverkets brønner ble gjennomført i januar/februar 1997.

Modelleringsprogrammene MODFLOW (McDonald & Harbaugh, 1988) og MODPATH (Pollock, 1989) er benyttet for modellering av grunnvannsstrømningen i området. Etter kalibrering av modellen ble modellene brukt til å bestemme visse egenskaper til grunnvannsmagasinet som for eksempel infiltrasjonsområde til vannverket, strømningsretninger og oppholdstid. Disse egenskapene ble brukt til å vurdere formen og størrelsen på beskyttelsessonene rundt Otta vannverk.

Beskrivelse av modellene MODFLOW og MODPATH er gitt i tekstbilag 1, mens den numeriske modelleringen av magasinet ved Selsverket er beskrevet i tekstbilag 2. En nærmere beskrivelse av grunnvannsmodellering er gitt i Erland et al (1992).

2. GRUNNVANNSUNDERSØKELSER VED SELSVERKET

2.1 Sonderboringer

På deltaet ved Selsverket ble det i juni 1996 foretatt 15 sonderboringer nord og sør for Otta vannverk (kartbilag -01 og databilag 1.1-1.15). Det ble plassert peilerør (Ø32mm) i samtlige hull. Peilerørens plassering ble bestemt ut i fra plasseringen benyttet ved de tidligere undersøkelsene (Asplan Viak 1973) og med tanke på senere grunnvanns-modellering med programmet MODFLOW. Peilerørene er plassert både sør og nord for Ula for å undersøke grunnvannsstrømningen på tvers av elva.

Det er sondert til ca. 25,5 m i hullene 1, 6, 7, 11, 13 og 15. I de resterende 9 hullene er det sondert til ca. 9,5 m. Felles for sonderboringene er steinholdig materiale ned til omlag 6 m og hardpakket sand og grus fra 6m. For de dype sonderboringene overtar løsere sand og grus fra ca.15-25,5 m. Dette gjelder antagelig også i de hull der det kun er sondert til ca. 9,5 m.

2.2 Prøvepumping

Det ble i perioden 29. januar kl 08.30 til 20. februar 1997 foretatt en pumpetest ved Otta vannverk for å måle vannstandssenkningen i observasjonsbrønnene. Vannverkets brønner ble på forhånd skrudd av 28. januar kl 18.00 slik at vannstanden i området kunne stige noe før pumpetesten ble satt i gang. Vannstandsendingene mens vannstanden steg ble også målt.

Vannstandsendingene i observasjonshullene 1, 2, 3, 4, 5 og 8 ble målt med trykksonder, mens vannstandsendingene i hullene lengst unna pumpebrønnen (6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14 og 15) ble målt manuelt ved hjelp av målebånd.

Figurene 2.1a og 2.1b viser hvordan vannstanden varierte i observasjonsbrønnene under pumpetesten.

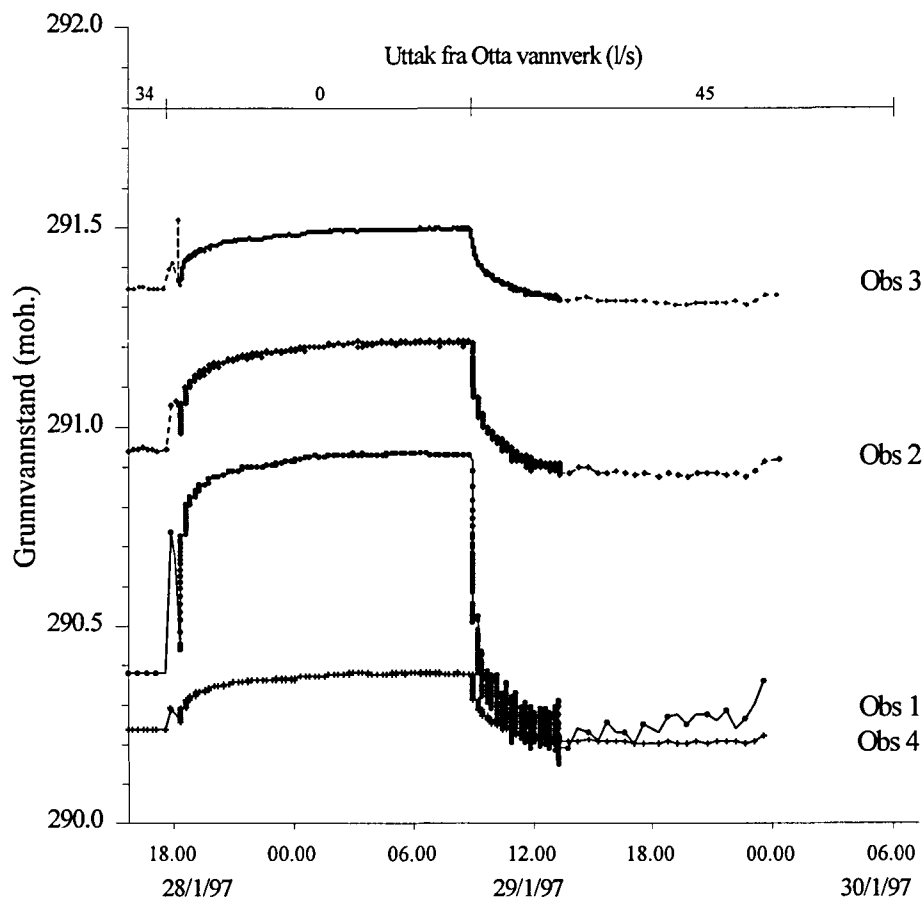
Dataene fra prøvepumpingen er benyttet i programmet Aquifer Test (Roehrich, 1996) til å beregne magasinets permeabilitet og transmissivitet.

3. GEOLOGI OG HYDROGEOLOGI I OMRÅDET VED SELSVERKET

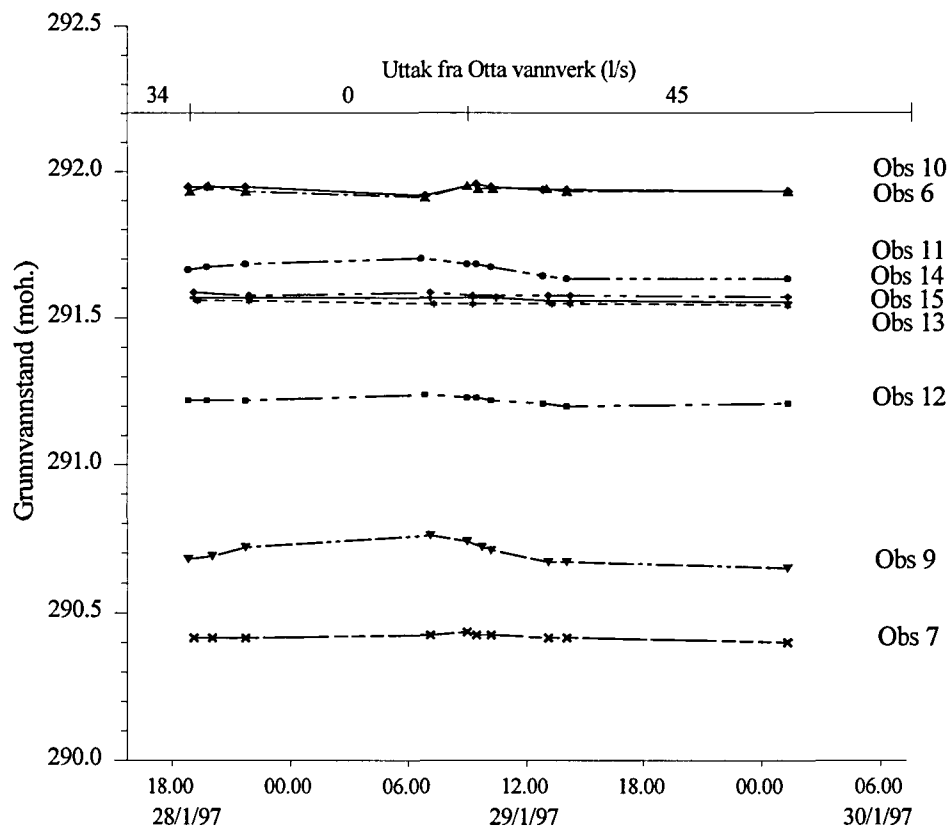
3.1 Geologi

Grunnvannsmagasinet er en breelavsetning ved Ulas utløp i Lågen. Mektigheten til avsetningen øker fra null ved dalsidene til over 50 m midt i dalen. Pumpebrønnen (Brønn 1) viser vesentlig sand, grus og stein ned til 9 m. Fra 9 m til bunnen av brønnen ved 16 m dyp er avsetningen dominert av finsand og silt (Kirkhusmo & Klemetsrud, 1977). Georadarundersøkelser i området viser øverst et 15-20 m tykt lag grov sand og grus med horisontal eller skrå lagdeling (Mauring, 1996). Ved bunnen av dette laget er reflektoren kraftig, noe som ofte indikerer et markant skille i kornstørrelse. Under denne reflektoren er refleksjonsmønsteret skrått. Dette indikerer vanligvis grove avsetninger, trolig grus med noe grov sand.

Seismiske målinger indikerer at dybden til fjellet er minst 50 m i nærheten av pumpebrønnen (Geoteam A/S, 1972). Fjellet i området består av feltspattholdig kvartsitt med kloritt-sericittskifer og konglomerat (Sigmund et al, 1984).



Figur 2.1a Endring av grunnvannsstand ved testpumping, Otta vannverk, vinter 1997.



Figur 2.1b Endring av grunnvannsstand ved testpumping, Otta vannverk, vinter 1997.

3.2 Hydrogeologi

Magasinet mates av både Ula og Lågen som sikrer et stabilt grunnvannsmagasin med hensyn til fornying. Grunnvannsmagasinet er nivåmessig regulert av Lågen (Asplan Viak, 1973). Grunnvannsnivået i nærheten av Lågen tilsvarer nesten Lågens vannstand, og faller sammen med denne sørover. Dette resulterer i en sørlig regional grunnvannsstrømning. Lokalt er grunnvannsstrømningen kontrollert av både Lågen og Ula. Ved brå vannstandsøkning i Lågen og ved større grunnvannsuttak kan infiltrasjon fra elven forekomme. Vann fra Ula infiltreres til grunnvannsmagasinet. Grunnvannet dreneres normalt til Lågen. Ifølge Asplan Viak (1973) er infiltrasjonen størst på strekningen nærmest fossen i den østre dalsiden. Tolkning av grunnvannsnivået indikerer at permeabiliteten er størst nærmest Lågen (Asplan Viak, 1973).

Grunnvannets strømningsretninger i området angir at infiltrasjon fra Ula er den dominerende. Ifølge Asplan Viak (1973) viser resultatene fra kortvarige prøvepumper utført i 1972 at tilstrømningen til pumpebrønnen er størst i vertikal retning og at størstedelen av magasinivolumet finnes i løsmassene under brønnens bunnivå.

Peilinger fra prøvepumpingen utført av NGU i januar/ februar 1997 og resultatene fra denne undersøkelsen tyder på at Ula er hengende og danner en rygg i grunnvannspeilet. Dette betyr at elva representerer linjen av et grunnvannsskille nær overflaten, men den danner ikke en positiv hydraulisk grense i og med at grunnvannstrykket under bekken ikke er konstant. På denne måten kan det skje senkning i grunnvannspeilet på den andre siden av Ula når pumping er satt i gang ved vannverket selv om intet vann strømmer fra nordsiden av bekken direkte mot vannverket i det øverste løsmasselaget.

Påvirkningen av den regionale grunnvannsstrømningen betyr at vann som infiltrerer på den nordlige siden av Ula svinges først vestover og så sørover mot pumpebrønnen. På denne måten kan områdene nord for Ula gi vann til grunnvannsforsyning. Elva Ula kan derfor ikke nødvendigvis betraktes som en positiv hydrauliske grense.

Resultatene fra kornfordelingsanalysene (se databilag 2.1-2.4 og 3) tyder på at magasinets permeabilitet ligger på ca. 1 m/d. Kornfordelingsanalyser indikerer dessuten at magasinets effektive porøsitet varierer mellom 0,11 og 0,20 i nærheten av vannverket, mens resultater fra modelleringen tyder på at verdiene ligger på mellom 0,10 og 0,16. Tolkning av resultatene fra prøvepumpingen (databilag 4) utført av NGU i 1997 tyder på at permeabilitetsverdiene faktisk er opp mot 100-150 m/d.

Under magasinet ligger fjell på en dybde på minst 50 m. Fjellet betraktes som en homogen bergart med lav permeabilitet.

4. SIMULERING AV GRUNNVANNSSSTRØMNING I MAGASINET

4.1 Metodikk

Den numeriske modellen MODFLOW ble brukt til å konstruere en matematisk modell for grunnvannsmagasinet ved Selsverket. MODFLOW er beskrevet i tekstbilag 1, og selve modellen er beskrevet i tekstbilag 2. MODFLOW gir imidlertid ikke 'magiske' svar. Man må være klar over at simulerte data og målte data kan 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 mot felldata. En tilfredsstillende modell må kunne simulere kjente grunnvannsdata før den kan brukes.

Etter kalibrering ble MODFLOW og MODPATH benyttet til å simulere grunnvannsstrømningen i magasinet under et uttak på 30 l/s fra vannverket (Bh. 1) og 10 l/s fra brønnen til HED-OPP slakteri. MODFLOW ble kjørt slik at et simulert grunnvannsnivå ble beregnet for hver blokk i gridet. Deretter ble MODPATH kjørt for å beregne strømningshastigheter og retninger ut fra grunnvannsnivåene og permeabilitets- og porøsitetsverdiene fra MODFLOW.

De hydrauliske forholdene i området kontrolleres av vannstanden i Lågen ved at grunnvannet enten mates til Lågen eller at vann infiltrerer fra Lågen og inn i grunnvannsmagasinet. Grunnvannsforholdene i magasinet ble derfor undersøkt ved de følgende forholdene:

- i) lav vannstand i Lågen,
- ii) høy vannstand i Lågen
- iii) stigning i Lågens vannstand
- iv) større uttak fra Otta vannverk

Nivåene som ble brukt i opplegg i) og ii) var henholdsvis det laveste og det høyeste vannivået i Lågen i løpet av de siste 50 årene (NVE, 1997). Opplegg iii) så på forholdene i magasinet under en stigning i Lågens vannivå fra det laveste til det høyeste nivået. Opplegg iv) så på effekten av et større uttak fra vannverket under forholdene som eksisterte under pumping utført av NGU i januar/februar 1997.

Brønnen til HED-OPP-slakteri pumpes ikke bestandig, og modellene ble derfor også benyttet til å se på hvilken effekt pumping eventuelt ingen pumping i denne brønnen har på infiltrasjonsområdet til vannverket.

Modellene er også benyttet til å se på eventuelle forurensningsfarer fra Sel kirkegård, HED-OPP slakteri og gårdsdrift/jordbruk i området (kapittel 6).

4.2 Resultater

4.2.1 Grunnvannsforholdene ved lav vannstand i Lågen

Vannstanden i Lågen simulert i dette tilfellet, er basert på vannstanden som ble målt ved Rosten (NVEs nærmest målestasjon) 15. mai 1947. Målingen representerer den laveste verdien som er målt de siste 50 årene (NVE, 1997).

Et kart som viser simulerte høydekurver for grunnvannsspeilet ved lav vannstand i Lågen beregnet av MODFLOW, er vist i kartbilag -02. Kartbilaget viser en regional grunnvannsstrømning der grunnvannsspeilet generelt faller sørover. Grunnvannsnivået kontrolleres av vannivået i Lågen og grunnvann mates til elva.

Infiltrasjon fra Ula resulterer i et område med høyere grunnvannsnivåer nær denne elva. Grunnvannsnivåene faller nordover og sørover unna bekken. En større hydraulisk gradient mellom observasjonsbrønnene 6 og 9 tyder på at det finnes masser med lavere permeabilitet i dette området. Det finnes også en større hydraulisk gradient i området ved Ula nordvest for produksjonsbrønnen. Dette skyldes innvirkningen av dammen der Ula munner ut i Lågen.

De tilsvarende strømningsretningene i det øverste laget, lag 1, er vist i kartbilag -03. Kartbilaget viser at den dominerende strømningsretningen er sørover og at Ula har en betydelig innflytelse på strømningen i området ved Selsverket. Tolkning av retningene som er vist i kartbilagene tyder på at Ula danner en positiv hydraulisk gradient. Innvirkningen av den regionale gradienten betyr derimot at vann som infiltreres på den nordlige siden av Ula tvinges først vestover og så sørover mot Selsverket. Området ved dammen i Ula har høyere grunnvannsnivåer på grunn av det forholdsvis høye vannivået i bekken i dette området.

Strømningslinjene til vann i lag 1 som spores fra vannverket tilbake til sitt infiltrasjonsområde er vist i kartbilag -04. Grunnvannets oppholdstid basert på en porøsitetverdi på 0,10 er vist på strømningslinjene. Hver pil representerer 10 døgns grunnvannsstrømning. Et tilsvarende kart for lag 2 er vist i kartbilag -05. Kartene over strømningslinjene tyder på at når vannstanden i Lågen er lav er Ula den viktigste vannkilden til pumpebrønnen. Kartene over grunnvannets oppholdstid viser dessuten at for infiltrasjon fra Ula til uttak ved pumpebrønnen er oppholdstiden kort dvs. <10-50 døgn i lag 1 og ca. 100 døgn i lag 2.

Det understrekes at situasjonen som her er diskutert representerer grunnvannsforholdene etter at grunnvannsstanden har stabilisert seg. Forholdene under en senking i Lågens vannstand vil likevel ikke være betydelig forskjellige fordi grunnvannsgradienten ikke reverseres.

4.2.2 Grunnvannsforholdene ved høy vannstand i Lågen

Vannstanden i Lågen simulert i dette tilfellet er basert på vannstanden som ble målt ved Rosten 2. juni 1995. Målingen representerer den høyeste verdien som er målt de siste 50 årene (NVE, 1997).

MODFLOW har simulerte høydekurver for grunnvannsspeilet ved høyt vannivå i Lågen (kartbilag -06). Kartbilaget viser et strømningsmønster som ligner det ved lav vannstand i Lågen, men i dette tilfellet er grunnvannsstanden høyere. Det understrekes at situasjonen som er vist i kartbilag -06 representerer grunnvannsforholdene etter at grunnvannsstanden har stabilisert seg.

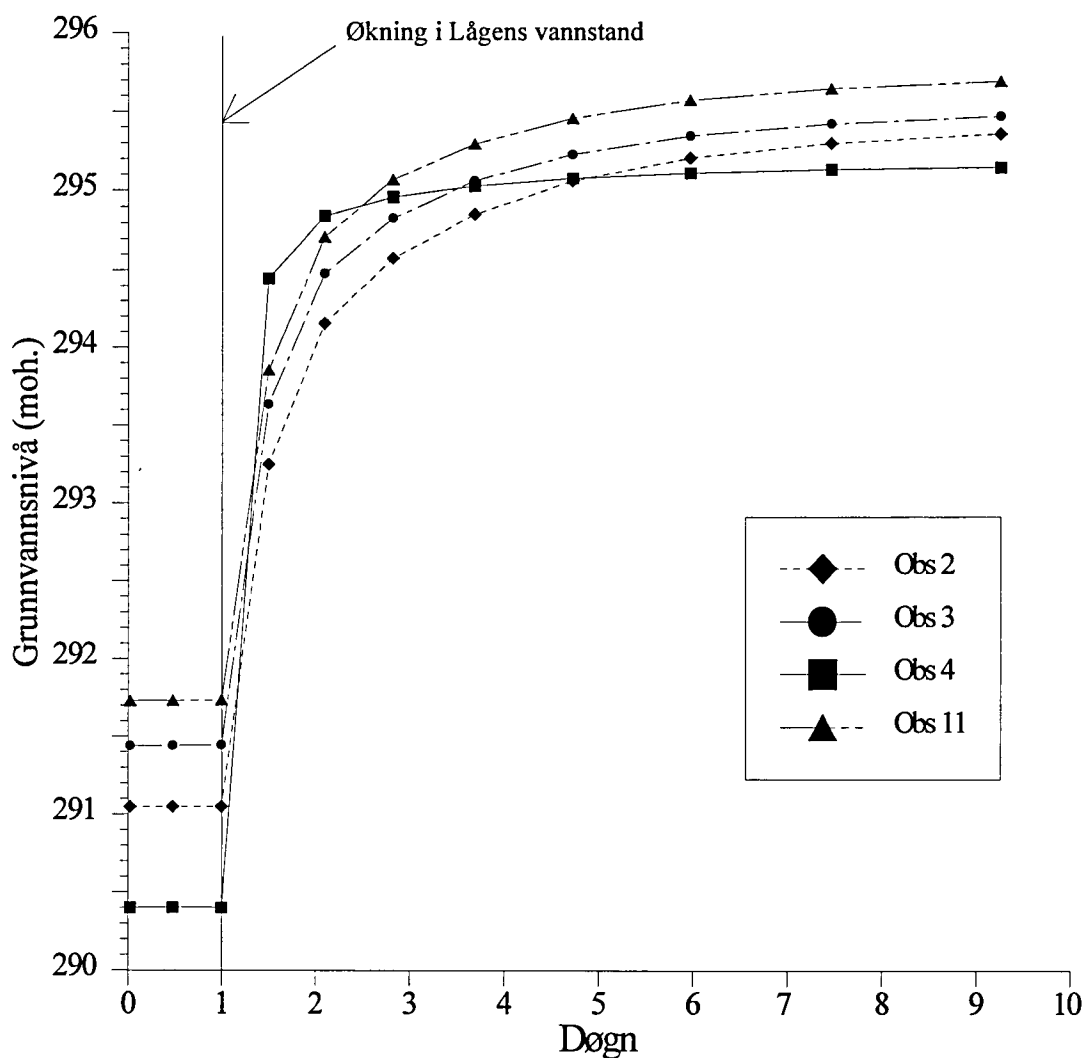
Strømningslinjene til vann i lag 1 som spores fra vannverket tilbake til sitt infiltrasjonsområde er vist i kartbilag -07. Grunnvannets oppholdstid basert på en porøsitetverdi på 0,10 er vist på strømningslinjene. Hver pil representerer 10 døgn grunnvannsstrømning. Et tilsvarende kart for lag 2 er vist i kartbilag -08. Disse kartene antyder at også når vannivået i Lågen er høyt er Ula vannkilden til pumpebrønnen.

4.2.3 Grunnvannsforholdene under en stigning i Lågens vannstand

Forholdene som er diskutert ovenfor representerer stabile forhold dvs. når grunnvannsstanden og vannstanden i Lågen ikke forandrer seg. Resultatene har så langt antydnet at grunnvannet strømmer mot Lågen. Grunnvannsforholdene vil ikke forandre seg betydelig når vannstanden i Lågen senkes (fordi grunnvannsspeilet fortsatt faller mot Lågen), men forholdene når vannstanden i Lågen stiger må undersøkes.

Det er dessverre ikke mulig å benytte MODPATH til å undersøke tidsavhengige forhold i grunnvannsmagasinet (p.g.a. begrensninger i modellen). Derimot kan man bruke MODFLOW til å se nærmere på endringene i grunnvannsstrømningen under en slik stigning. Figur 4.1 viser de simulerte grunnvannsnivåene under en stigning på 4,77 m i Lågens vannstand. Denne stigningen representerer forskjellen mellom det laveste og det høyeste nivået registrert på Rosten i løpet av de siste 50 årene (NVE, 1997). Denne verdien ble valgt for å klargjøre endringene som skjer. Resultatene vil bli de samme med hensyn til grunnvannets strømningsmønster i magasinet hvis man skulle kjøre modellen med en mindre stigning.

Figur 4.1 viser at vannstanden i observasjonsbrønn 4, som ligger nærmest Lågen, stiger raskere enn den i observasjonsbrønnene som ligger lenger unna elva. Dette betyr at grunnvannsstrømningen reverserer, og strømmingen skjer nå mot vannverket. Lågen fungerer i dette tilfellet som en vannkilde til vannverket. Etter en periode på mellom 2-5 døgn har grunnvannsstanden vekk fra Lågen steget tilstrekkelig til å reversere grunnvannsstrømningen slik at strømmingen igjen skjer mot Lågen.



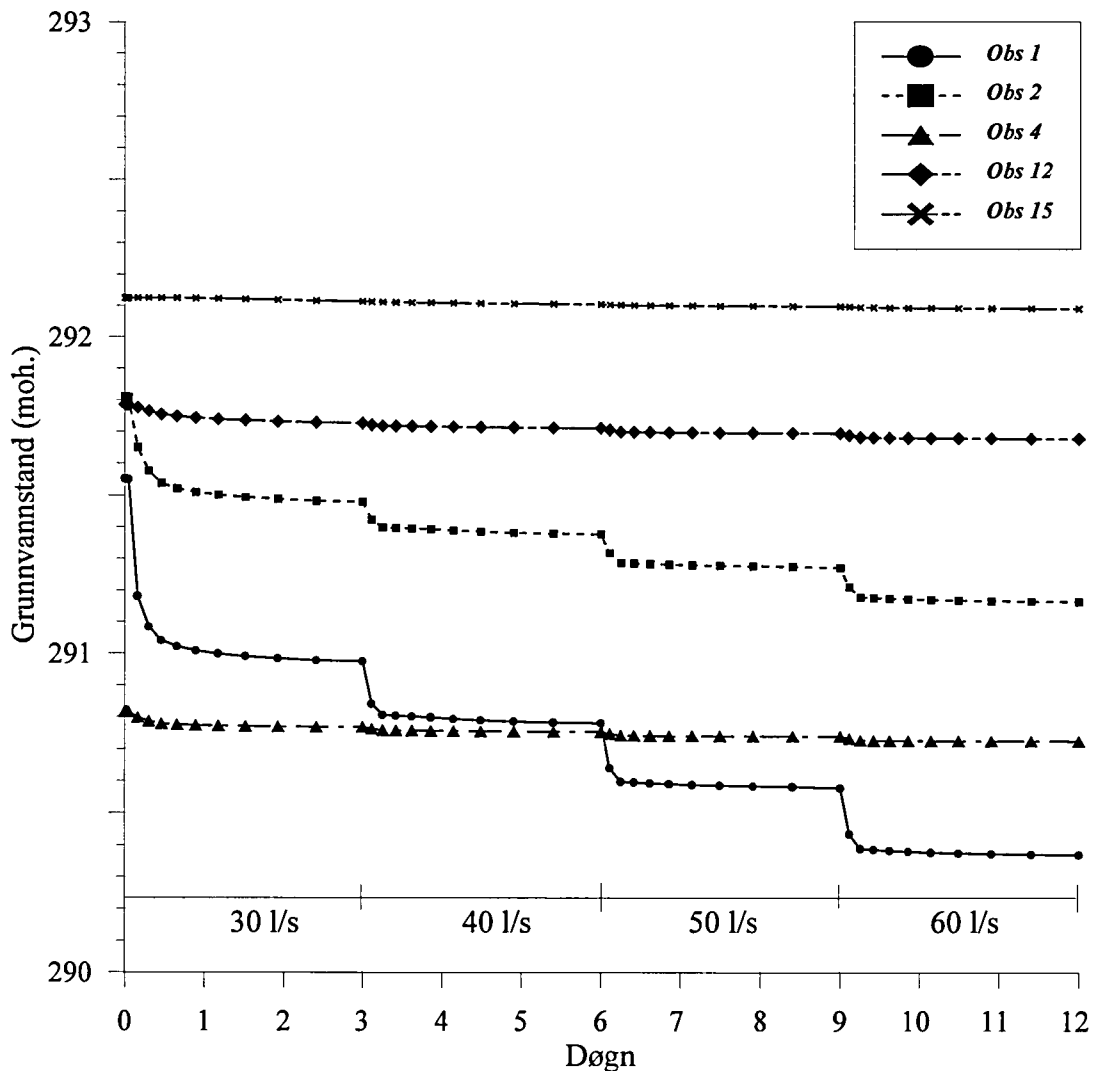
Figur 4.1. Grunnvannsnivå i observasjonsbrønner under en stigning i vannivå i Lågen på 4,77 m.

Disse resultatene indikerer derfor at under visse forhold strømmer grunnvannet fra Lågen til vannverket. Området mellom Lågen og vannverket må derfor beskyttes mot forurensning. Resultatene fra undersøkelsen indikerer at løsmassene i området har høye permeabilitetsverdier, og dette tyder på at grunnvannets oppholdstid vil være kort (< 60 døgn).

4.2.4 Grunnvannsforhold med et større uttak fra vannverket

MODFLOW-modellen ble også benyttet til å undersøke endringer i grunnvannsstrømningen i magasinet hvis uttaket fra vannverket skulle økes. Modellen ble kjørt tre ganger, med et uttak fra vannverket på henholdsvis 40, 50 og 60 l/s.

Resultatene antyder at et uttak på opp til 60 l/s har liten innflytelse på infiltrasjonsområdet til vannverket. Kartbilag -9 viser et høydekart over grunnvannsstanden med et uttak fra vannverket på 60 l/s. Kartbilaget viser også strømningslinjene til vann som spores tilbake fra vannverket til sitt infiltrasjonsområde. Kartet viser at infiltrasjonsområdet til vannverket er noe større med et uttak på 60 l/s fra vannverket, men at området stort sett har den samme formen. Infiltrasjonsområdet strekker seg nå bare litt lenger vest, sør og østover til tross for at uttaket fra vannverket er fordoblet. Ula danner fortsatt den nordlige grensen til området.



Figur 4.2 Grunnvannstand ved utvalgte observasjonsbrønner under ulike uttak fra vannverket ved Selsverket.

Infiltrasjon fra dammen i Ula danner et påtrykk nord for vannverk samt en rygg med høyere grunnvannsnivå mellom vannverket og Lågen. Vannverkets brønn tar fortsatt størstedelen av sitt vann fra dammen og ikke fra Lågen.

Figur 4.2 viser senkningen som vil inntreffe i utvalgte observasjonsbrønner hvis uttaket fra vannverket økes. Figuren viser en forholdsvis liten økning i senkningen spesielt i observasjonsbrønn 4. Disse resultatene tyder på at kapasiteten til magasinet ved vannverket faktisk er større enn 60 l/s. Den aktuelle kapasiteten må bestemmes ut fra hva som kan betraktes som en akseptabel senkning i magasinet. Her må man også vurdere økte pumpekostnader samt innvirkninger på pumpebrønnen til HED-OPP. Tilleggssenkning ved denne brønnen vil medføre økte pumpekostnader til HED-OPP, noe som kan føre til erstatningskrav.

Uttaket fra vannverket kan derfor økes opp til 60 l/s uten å kreve økte beskyttelse med hensyn til utvidete klausuleringssoner.

5. VURDERING AV MULIGE FORURENSNINGSKILDER

5.1 Sel kirkegård

Sel kirkegård ligger på den nordlige siden av Ula ca. 150 m nordøst for vannverket. Strømningslinjene til grunnvann som infiltreres i dette området er vist i kartbilag -11. Kartbilaget viser forholdene under middels vannstand i Lågen.

Infiltrasjon fra Ula danner en grunnvannsrygg langs bekken som tvinger grunnvannet til å strømme vestover direkte mot Lågen. Dette betyr at vann som infiltreres i dette området ikke når vannverket.

Resultatene fra modelleringen tyder på at massene som ligger under området ved Sel kirkegård består av finstoff med forholdsvis lav permeabilitet. Vannet bruker derfor mange år på å nå Lågen.

Når vannstanden i Lågen er høy eller lav er strømningsmønsteret stort sett det samme, og området ved Sel kirkegård er praktisk upåvirket av forholdene i Lågen.

Sel kirkegård representerer derfor ikke en forurensningsfare for vannverket.

5.2 HED-OPP slakteri

HED-OPP slakteri ligger ca. 200 m sør for vannverket. Slakteriet ligger derfor nedstrøms vannverket. Kartbilag -12 viser strømningslinjer til grunnvann som infiltreres i magasinet ved slakteriet. Kartbilaget viser at grunnvann som infiltreres i den nordlige delen av slakteriet trekkes mot slakteriets egen brønn. Grunnvann som introduseres i de østlige, vestlige og sørlige delene av området strømmer derimot sørvestover mot Lågen.

Strømningsmønsteret er stort sett det samme ved høy vannstand i Lågen, dvs. grunnvannet strømmer mot elva. Under en stigning i Lågens vannstand vil vannverket trekke mest vann fra området nord og nordøst for vannverket og tils dels også fra Lågen nærmest vannverket.

Det er derfor klart at eventuell forurensning som infiltreres i dette området vil enten trekkes av HED-OPP brønnen eller transporteres vest- eller sørover unna vannverket. Slakteriet representerer derfor ikke en forurensningsfare for vannverket.

Resultatene fra simuleringene uten pumping fra brønnen til HED-OPP var dessuten ikke betydelig forskjellige fra simuleringene med pumping, og det antas derfor at HED-OPP brønnen ikke har noe betydelig innvirkning på grunnvannsstrømningen i nærheten av vannverket.

5.3 Gårdsdrift ved Selsverket

Det fins en del gårdsdrift med kornåkre i områdene nord, vest og sør for Selsverket. Kartbilag -13 viser strømningslinjer til grunnvann som infiltreres i magasinet i disse områdene.

Grunnvann som infiltreres i området nord og nordøst for vannverket (dvs. nord for Ula) strømmer vestover mot Lågen. Dette grunnvannet representerer derfor ikke en forurensningsfare. Denne situasjonen er ikke betydelig påvirket av vannstand i Lågen.

Grunnvann som infiltreres i den nordvestlige delen av området ved Stampen (området øst for vannverket) strømmer mot sørvest og trekkes av vannverket. Oppholdstiden fra dette området til vannverket ligger på ca. 100 døgn. Dette området representerer derfor en mulig forurensningskilde, og det inkluderes derfor i sone II.

Grunnvann som infiltreres lenger mot øst trekkes av HED-OPP brønn, og grunnvann som infiltreres i andre deler av dette området strømmer sørover unna vannverket. Disse områdene representerer derfor ikke en forurensningsfare for Otta vannverk.

5.4 Lågen

Når vannstanden i Lågen er forholdsvis stabil strømmer grunnvann fra Selsverket-området mot Lågen. Lågen representerer ikke en forurensningsfare under disse forholdene. Figur 4.1 viste derimot at under en stigning i vannstanden i Lågen kan grunnvann derimot infiltrere inn i magasinet slik at elva fungerer som en vannkilde. I dette tilfelle kan Lågen representere en mulig forurensningskilde hvis det skulle være forurensning i Lågen. På grunn av den korte strekningen mellom Lågen og vannverket vil grunnvannets oppholdstid være kort dvs. mindre enn 60 døgn. Figur 4.1 viser dessuten at under en stigning i vannstanden i Lågen vil forurensingen være kortvarig fordi grunnvannsstrømningen reverser mot Lågen igjen etter 4-5 døgn.

Området mellom vannverket og Lågen må derfor beskyttes mot forurensning. Området inkluderes derfor i sone I.

5.5 Ula

Det er klart fra denne undersøkelsen at Ula representerer den største vannkilden til vannverket. Det er dessuten klart at grunnvannets oppholdstid mellom Ula og vannverket er meget kort. Dette betyr at forurensning i Ula fort vil nå pumpebrønn ved vannverket.

Bekken Ula og dens nedbørsfelt må derfor beskyttes mot forurensning. Strekningen langs Ula som ligger innen grensen til 60 døgn oppholdstid inkluderes derfor i sone I. Strekningen oppstrøms sone I hvor Ula strømmer på grunnvannsmagasinet inkluderes i sone II. Resten av bekkens nedslagsfelt danner sone III.

6. BESTEMMELSE AV BESKYTTELSESONER

6.1 Generelle vurderinger av beskyttelsessoner

For å beskytte grunnvannskilden brukes en soneinndeling, basert på grunnvannets oppholdstid og influens område. For sonene er det satt opp restriksjoner som avtar i styrke med økende avstand fra uttaksstedet (Eckholdt & Snilsberg, 1992).

Sone 0: Brønnområdet.

- Sone I: Det nære tilsigsområdet. Grense for 60 døgn oppholdstid ved full pumpebelastning. I sone 1 bør det innføres restriksjoner på gjødsling, spesielt av naturgjødsel og sprøytemidler.
- Sone II: Det fjerne tilsigsområdet. Hele infiltrasjonsområdet.
- Sone III: Det ytre verneområdet. Omfatter øvrige arealer som vil kunne influere på grunnvannets kvalitet.

Det nære brønnområdet (sone 0) bør gjerdes inn med et ca. 15 m x 15 m gjerde.

Vannets oppholdstid i mettet sone har stor betydning både for grunnvannets kjemiske og hygieniske kvalitet. Folkehelse anbefaler derfor at grunnvann som skal benyttes til drikkevann bør ha en oppholdstid på 60 døgn som barriere mot bakteriologisk forurensning. Grensen for sone I defineres således som grensen for 60 døgns oppholdstid i mettet sone. Denne grensen beregnes ut i fra de hydrauliske forholdene i magasinet.

Sone II, det fjerne tilsigsområdet, representerer hele infiltrasjonsområdet til produksjonsbrønnen, og defineres også ut i fra de hydrauliske forholdene i magasinet. Bruken av grunnvannsmodellering er den beste metoden tilgjengelig for å bestemme disse forholdene. Forslag på beskyttelsessoner presentert i denne rapporten baseres derfor på grunnvannsmodellene beskrevet i tekstbilagene 1 og 2.

Sone III, det ytre tilsigsområdet, defineres både ut i fra resultatene fra modelleringen og inspeksjon av topografisk kart over området.

6.2 Anbefalinger av beskyttelsessoner

Kartbilag -04 og -05 viser at ved lav vannstand i Lågen stammer størstedelen av grunnvannet som pumpes fra vannverket, fra et forholdsvis begrenset område nord og nordøst for pumpebrønnen. Infiltrasjonsområdet strekker seg frem til Ula og oppstrøms til Stampen. På grunn av løsmassenes høye permeabilitet ligger mye av dette området innenfor 60 døgns grensen vist på kartbilagene -04 og -05.

Kartbilagene -07 og -08 viser at ved høy vannstand i Lågen stammer fortsatt størstedelen av grunnvannet fra området nord og nordøst for vannverket og at grunnvannets oppholdstid er kort.

Resultatene fra MODFLOW-simuleringene viser at når vannstanden i Lågen stiger vil vann infiltreres fra Lågen inn i grunnvannsmagasinet. Det vil si at området mellom vannverket og

Lågen må beskyttes. Løsmassene i dette området har høy permeabilitet, og grunnvannets oppholdstid vil derfor være kort (< 60 døgn).

Et forslag til beskyttelsessoner ved Selsverket er vist i kartbilag -10. Dette forslaget er basert på resultatene fra MODFLOW og MODPATH, og tar hensyn til usikkerheter i bestemmelsen av infiltrasjonsområdet.

Sone 1 begrenses av grensen for 60 døgn oppholdstid med et uttak fra vannverket på 30 l/s. Hvis det er ønskelig å øke uttaket fra vannverket, må modellen kjøres på nytt med dette uttaket. Sone 2 inkluderer hele infiltrasjonsområdet til vannverket. Sone 3 omfatter øvrige arealer som vil kunne influere på grunnvannets kvalitet. Dette inkluderer nedbørsfeltet til Ula.

7. REFERANSER

Asplan Viak, 1973. Otta Vannverk - Utbygging av ny vannkilde - Søknad om foreløpig godkjenning. *Rapport sendt til Det Kongelige Sosialdepartement, 29. august.*

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, 1972. Seismiske målinger i forbindelse med vannverk, for Sel kommune. Rapport 3574.01.

Eckholdt, E. & Snilsberg, P. 1992. Grunnvann. Beskyttelse av drikkevannskilder. GiN veileder nr. 7. *Norges geologiske undersøkelse.*

Kirkhusmo, L.A. & Klemetsrud, T.1977. Beskrivelse til vannressurskart "Grunnvann i løsavsetninger" - 1718 IV Otta, 1: 50 000. Spesiell rapport nr. 4. *Norges geologiske undersøkelse.*

Mauring, E. & Tønnesen J.F. 1996. Georadarmålinger ved hydrologiske undersøkelser i Sel kommune, Oppland. Rapport nr. 96.057. *Norges geologiske undersøkelse.*

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, 1997. Upubliserte hydrologiske data fra Sel 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*.

Roehrich, T., 1996. Aquifer Test for Windows, Version 2.0. Waterloo Hydrogeologic Inc., Ontario, Canada.

SIFF, 1975. Otta vannverk, Retningslinjer for klausulering nord for elva Ula. *Brev fra Statens Institute for Folkehelse til Sel kommune, ref. 294/75 KE/ve, 3/4/75*.

Sigmund, E. M. O., Gustavson, M. & Roberts, D., 1984. Berggrunnskart over Norge. M. 1:1 million. *Norges geologiske undersøkelse*.

EN BESKRIVELSE AV MODELLENE MODFLOW OG MODPATH

MODFLOW (McDonald & Harbaugh, 1988) er en tredimensjonal 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, effektiv porøsitet, infiltrasjonshastighet osv. Modellen beregner 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 tid.

MODFLOW kan kjøres som en tidsuavhengig modell eller som en tidsavhengig modell. En tidsuavhengig modell er en modell som simulerer tidsuavhengig strømning. Her antas faktorene som kan påvirke grunnvannsstrømningen (infiltrasjonshastighet, nivåer i elver, vann, osv.) å være konstante. Slike modeller kan brukes til å bestemme grunnvannets strømningsretninger, vannkilder, grunnvannets hastighet og oppholdstid. En tidsavhengig modell simulerer strømning som varierer med tid på grunn av endringer i hydrauliske forhold i magasinet over tid. En slik modell kan brukes til å bestemme endringer i grunnvannsnivåer ved ulike vannuttak.

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

MODPATH (Pollock, 1989) er en modell som bruker resultatene fra MODFLOW til å bestemme grunnvannets strømningslinjer og hastighet i magasinet. Modellen beregner posisjonene til "partikler" som introduseres i grunnvannsmagasinet i gitte områder. Disse partiklene representerer små "vannpartikler" som strømmer gjennom magasinet. MODPATH 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 derfor blant annet beregne grunnvannets oppholdstid og gi en indikasjon på hvilke vannkilder som tilfører vann til magasinet og eventuelle pumpebrønner.

Kjemiske reaksjoner som forsinker 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».

DEN NUMERISKE GRUNNVANNSSTRØMNINGSMODELLEN AV MAGASINET VED SELSVERKET

1. Introduksjon

Programvare og datautstyr

Datafilene som MODFLOW og MODPATH bruker ble konstruert ved hjelp av Visual MODFLOW (Waterloo Hydrogeologic Inc.). Visual MODFLOW er en programvare som gjør 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 diverse 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.

Formål

Hensikten ved modellering av grunnvannsmagasinet ved Selsverket var å produsere en matematisk strømningsmodell som kan simulere grunnvannsstrømningen i magasinet, med spesiell oppmerksomhet rettet mot området rundt Otta vannverk.

Inndeling av magasinet

Inndelingen av magasinet i vertikal retning er basert på seismiske målinger utført av Geoteam A/S i 1972, georadar undersøkelser og sonderboringer og utført av NGU henholdsvis i 1995 og 1996 og en prøvepumping utført av NGU i 1997.

På dette grunnlaget kan magasinet deles opp i tre lag:

Lag 1 Et øvre grovkornet løsmasselag som består av sand, grus og stein ned til ca. 16 m. Ved selve vannverket er laget finere mellom 9-16 m. Mektigheten reduseres til null ved dalsidene. Laget har høy til meget høy permeabilitet.

Lag 2 Et nedre løsmasselag som varierer i mektighet fra opptil 100 m midt i dalen til null ved dalsidene. Laget består av grovkornete masser, men er noe finere enn lag 1. Laget har høy permeabilitet.

Lag 3 Fjell. Laget har lav permeabilitet.

Lagene 1 og 2 antas å strekke seg over hele dalen, men sonderboringer, kornfordelingsanalysene og georadarundersøkelsene indikerer at magasinet har en varierende sammensetning både mot dypet og horisontalt. Lag 3 (dvs. fjellet) underligger hele området.

Mating av magasinet

Magasinet tilføres vann fra elvene Ula og Lågen samt nedbør. Grunnvannsnivået i områdene langs Lågen er bestemt av vannføringen i vassdraget. Asplan Viak (1973) påpekte at Lågen mater grunnvannsmagasinet ved Selsverket i perioder med økende vannstand i elva, men at situasjonen er omvendt under vanlige forhold.

Magasinets art

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

2. Den matematiske modellen

Gridet

Gridet som ble brukt til å simulere magasinet ved Selsverket er vist i kartbilag -14. Gridet består av tre lag som representerer lagene 1-3 som beskrevet ovenfor.

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 magasintykkelse, permeabilitet, infiltrasjonshastighet (fra nedbør) og et opprinnelig grunnvannsnivå. Disse foreløpige verdiene ble justert under kalibreringen av modellen.

Overflate topografi og fysiske trekk

Et topografisk kart, målestokk 1:5000, over området ble digitalisert ved bruk av SURFER (Golfen 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.

Hydrauliske grenser

De hydrauliske grensene som ble brukt for å simulere magasinet ved Selsverket er vist i kartbilag -14. De nordlige og sørlige delene av grunnvannsmagasinet simuleres ved hjelp av blokker med konstant grunnvannstrykk. Disse blokkene simulerer innvirkningen av den regionale grunnvannsstrømningen mot sør. Grensene er plassert så langt fra brønnene at de egentlig ikke har noen innvirkning på grunnvannsnivåene i området rundt brønnene, d.v.s. at bruken av andre typer grenser ikke vil endre de simulerte grunnvannsnivåene.

Alle andre hydrauliske grenser rundt kanten av gridet representeres ved blokker med null permeabilitet. Dette sørger for at den regionale grunnvannsstrømningen er mot sør.

Lågen og Ula 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 Lågen og Ula er vist i kartbilag -14. Elvebunnen har en varierende sammensetning, og en vilkårlig foreløpig verdi for dens permeabilitet ble justert under kalibreringsprosessen. Data for vannivå i Lågen ble hentet fra NVEs målestasjon Rosten.

Permeabilitet

Verdiene for permeabilitet ble anslått på basis av både kornfordelingskurvene og resultatene fra prøvepumpingen utført av NGU i 1997.

Beregningene som ble basert på kornfordelingskurvene, vist i databilag 2.1-2.4, brukte Bayer metoden (Langguth & Voigt, 1980). Denne metoden bruker formen på kornfordelingskurvene til å anslå permeabiliteten, K:

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

$$\begin{aligned} \text{hvor: } C &= a + b \log_{10} U + c (\log_{10} U)^2 + d (\log_{10} U)^4 + e (\log_{10} U)^4 + f (\log_{10} U)^5 \\ U &= d_{60}/d_{10} \\ a &= 1,20E-02 \\ b &= -5,85E-03 \\ c &= -5,12E-04 \\ d &= 5,16E-03 \\ e &= -4,44E-03 \\ f &= 1,17E-03 \end{aligned}$$

Resultatene fra disse beregningene er vist i databilag 3.

Beregninger av transmissivitet fra prøvepumpingen ved Selsverket ble også brukt til å gi en indikasjon på permeabiliteten til lagene. Beregningene av transmissivitet fra prøvepumpingen er vist i databilag 4.

Verdiene vist i databilagene 3 og 4 ble brukt som et grunnlag til å anslå foreløpige permeabilitetsverdier i MODFLOW-modellen. Disse verdiene ble justert under kalibreringen.

Infiltrasjonshastighet

Infiltrasjonshastighet ble anslått til ca. 120 mm/år. Denne verdien ble vurdert ut fra kalibreringen av modellen. Infiltrasjonshastigheten tilsvarer 32% av årsnedbøren som ifølge meteorologisk institutt ligger på ca. 375 mm/år (Selsverket ligger i Gudbrandsdalen som er et forholdsvis tørt område i Norge). Infiltrasjonshastigheten betraktes som konstant og lik over hele området.

Effektiv porøsitet

MODFLOW trenger verdier for effektiv porøsitet (n_e) i de tre lagene. Verdiene ble anslått ved bruk av Bayer-metoden (Langguth & Voigts, 1980) på grunnlag av kornfordelingskurvene fra NGU. Resultatene fra disse vurderingene er vist i databilag 3.

Opprinnelig grunnvannsnivå

MODFLOW trenger å få oppgitt et grunnvannsnivå for hver blokk til å starte beregningene med. Dette omtales som opprinnelig grunnvannsnivå. Når MODFLOW kjøres som en tidsuavhengig modell, trenger verdiene som brukes bare å være gode nok til at MODFLOW kan konvergere. Alle lag ble derfor gitt et opprinnelig grunnvannsnivå på 300 moh..

Andre verdier for opprinnelig grunnvannsnivå vil gi det samme resultatet fordi det bare eksisterer én løsning som MODFLOW vil konvergere mot dersom de andre parametrene 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 være avhengige av de oppgitte grunnvannsnivåene. Den tidsavhengige versjonen av MODFLOW brukte grunnvannsnivåene produsert av den kalibrerte tidsuavhengige modellen som opprinnelige grunnvannsnivåer. Disse nivåene representerer forholdene som eksisterte like før oppstart av prøvepumpingen utført av NGU våren 1997 (dvs. forhold uten pumping).

3. Kalibrering av MODFLOW-modellen

Introduksjon

Kalibrering av en matematisk modell er en prosess hvor dataene 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 grunnvannstrykk

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 kalibreringen er likevel å redusere rmsD til en minimums 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 den 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. Dette gjøres for å simulere endringene i grunnvannsnivåene under prøvepumping. Sammenligning av simulerte data mot målte data blir vanligvis gjort ved visuell inspeksjon 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.

Tidsuavhengig modell

Den tidsuavhengige versjonen av MODFLOW ble kalibrert ved å simulere grunnvannsnivåene før prøvepumpingen ved Selsverket utført av NGU januar/februar 1997.

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 1. Diagrammet viser et plott av simulert grunnvannstrykk mot målt grunnvannstrykk, og viser at modellen godt simulerer de målte grunnvannsnivåene før prøvepumpingen.

Tidsavhengig modell

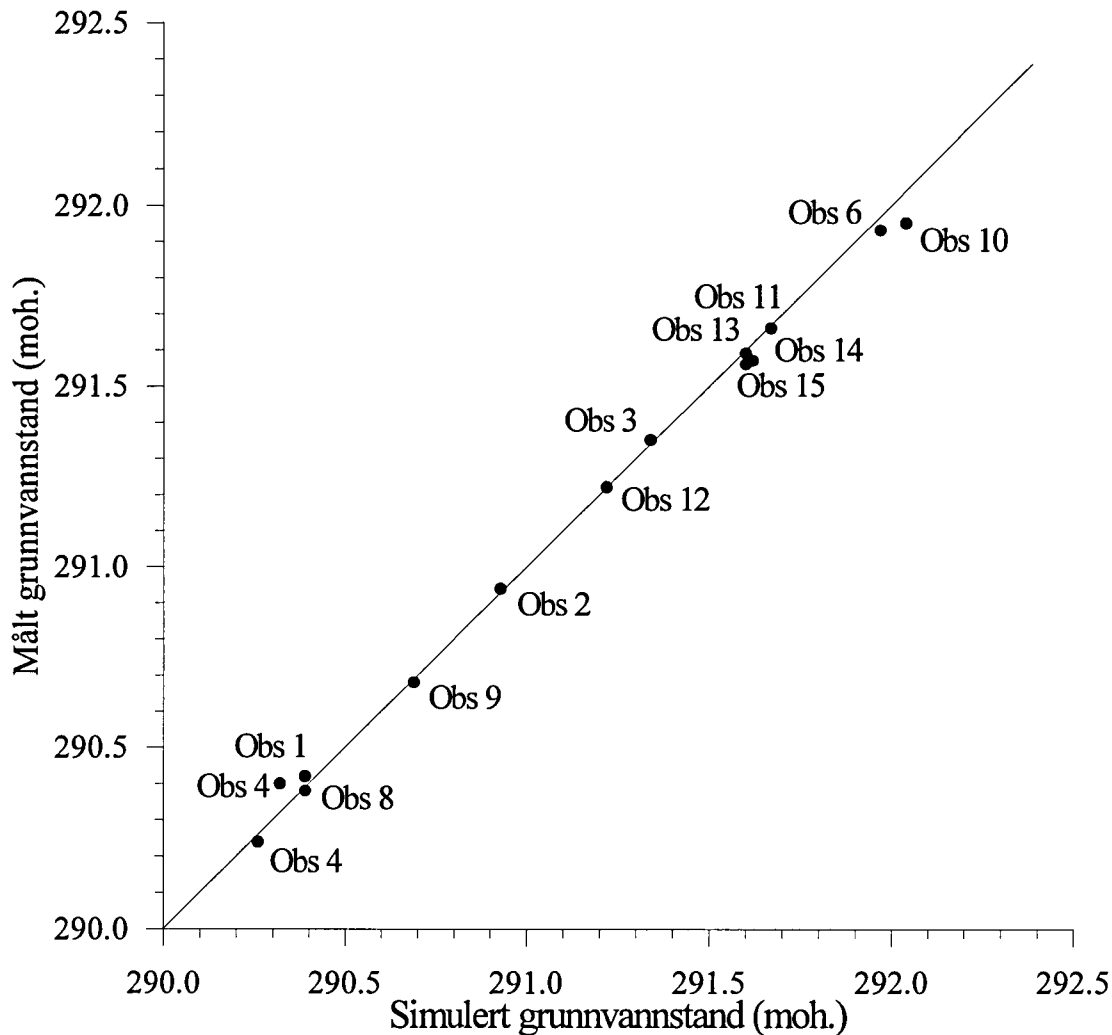
Den tidsavhengige versjonen av modellen ble kalibrert ved å simulere grunnvannsnivåene under prøvepumpingen ved Selsverket utført av NGU i januar/ februar 1997.

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

1. Perioden før pumpene ble slått av da grunnvannstanden var stabil (dvs. da vanlig pumping fra vannverket var i gang). Uttak fra vannverket var på ca. 2979 m³/d, og uttak fra HED-OPP brønn var på ca. 864 m³/d.
2. Perioden etter at pumpene ble slått av (slik at grunnvannstanden kunne stabilisere seg til nivået uten pumping).

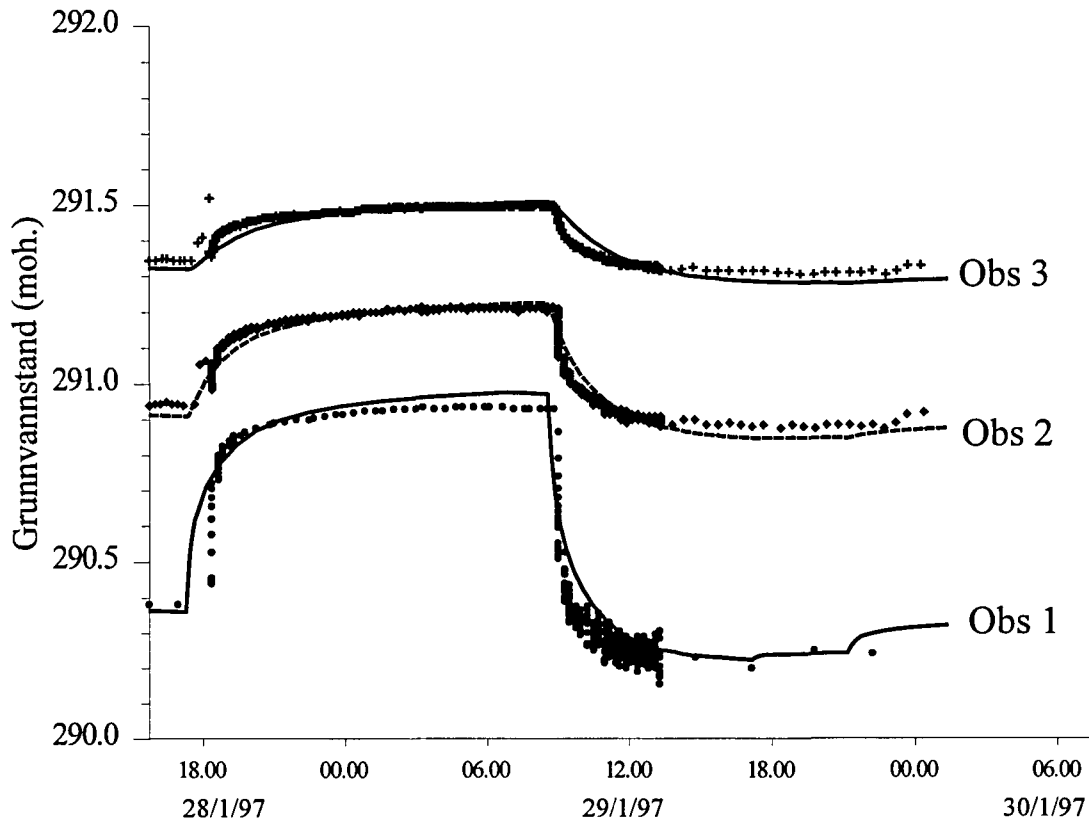
3. De første 14 timene etter at prøvepumping ble satt i gang.

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 med de samme dataene.

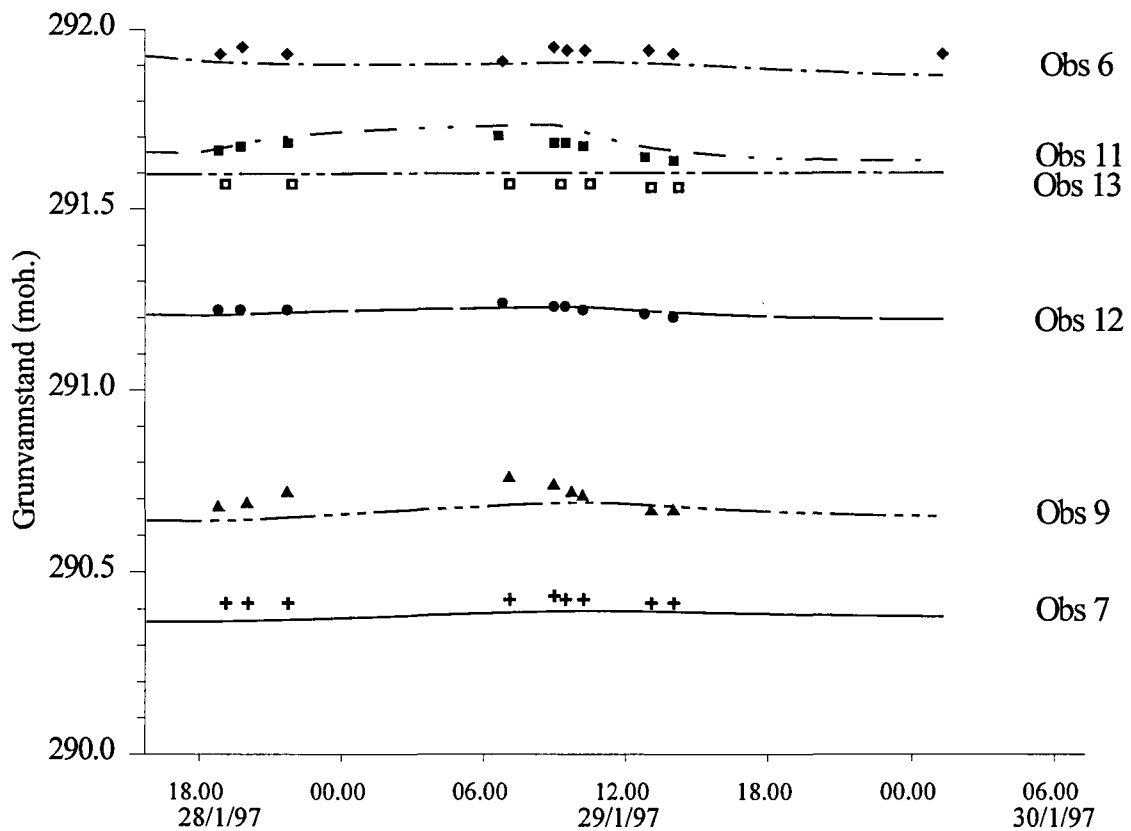


Figur 1. Målt mot simulert grunnvannstand. Tidsuavhengig modell, Selsverket.

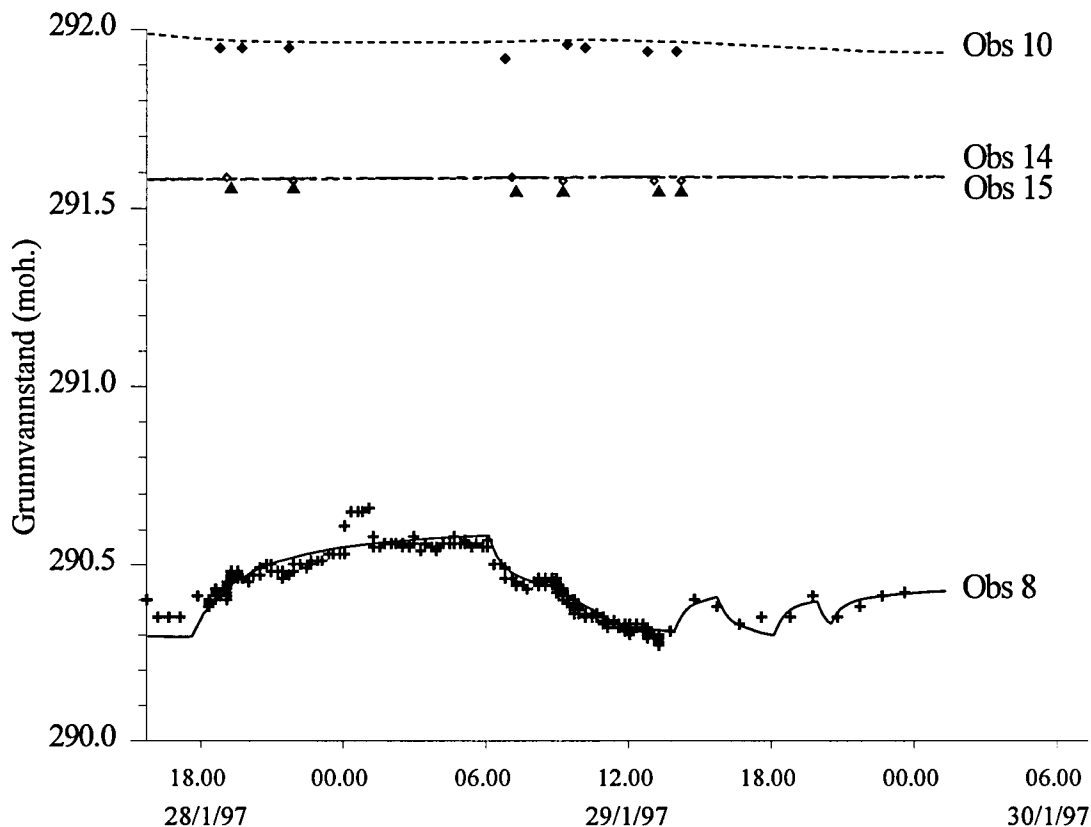
Resultatene fra kalibreringen av den tidsavhengige versjonen av MODFLOW er vist i figurene 2a-c. Diagrammene viser plott av simulert grunnvannstand mot målt grunnvannstand under prøvepumpingen. Figurene viser at modellen simulerer godt de målte grunnvannsnivåene i de ulike observasjonsbrønnene under prøvepumpingen.



Figur 2a. Målt (punkter) mot simulert (linjer) grunnvannstand under testen utført av NGU i januar/februar 1997.



Figur 2b. Målt (punkter) mot simulert (linjer) grunnvannstand under testen utført av NGU i januar/februar 1997.



Figur 2c. Målt (punkter) mot simulert (linjer) grunnvannstand under testen utført av NGU i januar/februar 1997.

Det viste seg å være vanskelig å produsere en modell som kunne simulere både senkningsdata fra pumpetesten og vannstandsmålinger gjort før pumpetesten. Årsaken til dette er trolig at permeabiliteten til magasinet er inhomogen over et forholdsvis lite område. Dette gjør simulering av magasinet ut fra noen få punktmålinger og profiler 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 forhold.

En oppsummering av de hydrauliske egenskapene til de ulike lagene som antydnet av den kalibrerte modellen er vist i tabell 1. Det må understrekes at resultatene i modellen er avhengige av lagenes transmissivitetsverdier. To modeller med identiske transmissivitetsverdier vil derfor normalt gi de samme resultatene (hvis alle andre parametre er identiske) selv om lagene for eksempel har ulike permeabiliteter og mektigheter. De høye permeabilitetsverdiene i lagene 1 og 2 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 Selsverket.

Tabell 1 Oppsummering av hydrauliske egenskaper til de tre lagene som antydnet av den kalibrerte MODFLOW-modellen.

Lag	Mektighet (m)	Horisontal permeabilitet (m/d)	Vertikal permeabilitet (m/d)	S_s (1/m)	Porøsitet -	Effektiv porøsitet -
1	0-14	40-350	10-45	1×10^{-5}	0,11	0,10
2	0-75	40-50	8-10	1×10^{-5}	0,17	0,16
3	-	0,1	0,1	1×10^{-4}	0,06	0,05

* S_s = Magasinkoeffesient pr volumenhet

GRUNNVANNSUNDERSØKELSER I LØSMASSER

STED: Otta vassverk, Selsverket, Sel kommune

UTFØRT DATO: 22.06.96

BORPUNKT NR: 1

BORUTSTYR: Borros borerigg

SONDERBORING: x UNDERSØKELSESBRØNN:

UTM-KOORDINATER: 1718 IV

KARTBLAD (M711): Otta SONE: 32V Ø-V: 0528764 N-S: 6851939

OVERFLATENS HØYDE OVER HAVET I BORPUNKTET: 297 m

BRØNN-/FILTERTYPE: 32 mm rør med 1 m filter og 2-4 mm slisseåpning

GRUNNVANNSTAND U/MARKOVERFLATEN: 23. juni: 4,40 m ved rørdyp 23 m. Kl.11.00 4,53 m og kl. 15.30 4,90 m ved rørdyp 9,2/11,2 m. 27.juni: 4,97 m

MERKNAD: Satt ned 5/4" peilerør til 9,2 m/11,2 m

Dyp [m]	Materialtype	Borsynk [min/m]	Slag	Vann- trykk [kg]	Boreslam	Temp. [°C]	P.tid før prøve taking [min]	Vann- føring [l/s]	Merknad
1,5	Sand/stein, tette masser		S		Grått				
3,5	Sand/stein, grus	3,10	S		Borte				
	Sand/grus, hardt	1,25	S		Borte				
5,5	Blokk, stein	5,25	S	5	Borte				
	Grus, sand, stein	2,50	S	0-5	Borte				
7,5	Grus, sand, stein	1,35	S		Borte				
	Sand/grus, hardt pakket	1,40	S	0-3	Borte				
9,5	Sand/grus, hardt pakket	1,55	S		Borte				
	Sand/grus, løsere	1,10	S		Borte				
11,5	Sand/grus, hardt pakket	2,10	S	3	Borte				MPg: 9,5 - 9,8 m
	Sand/grus, vekslende	1,25	S		Borte				
13,5	Sand/grus, vekslende	1,15	S		Borte				
	Sand/grus, stein	2,55	S	0-3	Borte				
15,5	Sand/grus, vekslende	1,20	S		Borte				
	Sand/grus, løsere	0,50	S		Borte				
17,5	Sand	0,35	S		Borte				MPg: 16,5 -16,8 m
	Sand, grusig	0,45	S		Borte				Mye sand, løst
19,5	Sand, grusig	0,30	S		Borte				Mye sand, løst
	Sand, grusig	0,30	S		Borte				Mye sand, løst
21,5	Sand, grusig	0,30	S		Borte				Mye sand, løst
	Sand, grusig	0,30	S		Borte				Mye sand, løst
23,5	Sand, grusig	0,45	S		Borte				Mye sand, løst
	Sand, grusig	0,50	S		Borte				Mye sand, løst
25,5	Sand, tettere	1,10	S	5-10	Borte				
	Sand, løsere	0,55	S		Borte				
									MPg: 25,5 - 25,8 m
27,5									
29,5									

S: Slag

DS: Delvis slag

B: Brunt

G: Grått

S: Svart

R: Rødt

MP: Materialprøve (spylt) MPg: Materialprøve (gjennomstrømningsprøvetager)

VP: Vannprøve

L: Ledningsevne [μ S/cm]

GRUNNVANNSUNDERSØKELSER I LØSMASSER

STED: Otta vassverk, Selsverket, Sel kommune

UTFØRT DATO: 23.06.96

BORPUNKT NR: 2

BORUTSTYR: Borros borerigg

SONDERBORING: x **UNDERSØKELSESRØNN:**

UTM-KOORDINATER:

KARTBLAD (M711): 1718 IV **SONE:** 32V **Ø-V:** 0528820 **N-S:** 6851897
Otta

OVERFLATENS HØYDE OVER HAVET I BORPUNKTET: 298 m

BRØNN-/FILTERTYPE: 32 mm rør med 1 m filter og 2-4 mm slisseåpning

GRUNNVANNSTAND U/MARKOVERFLATEN: 27. juni: 5,11 m

MERKNAD: Satt ned 10 m 5/4" peilerør til 9,2 m

Dyp [m]	Materialtype	Borsynk [min/m]	Slag	Vann- trykk [kg]	Boreslam	Temp. [°C]	P.tid før prøve taking [min]	Vann- føring [l/s]	Merknad
1,5	Stein, grus og sand		S		Borte				
	Grus og sand	1,25	S		Borte				
3,5	Stein, grus og sand	3,05	S	4-7	Borte				
	Stein, grus og sand	2,45	S	3-5	Borte				
5,5	Grus og sand, tettere	1,55	S	0-2	Borte				
	Grus og sand	2,00	S	8	Borte				
7,5	Blokker, grus og sand	10,50	S		Borte				
	Grus og sand	1,40	S	5	Borte				
9,5	Grus og sand, tettere	2,35	S	5-8	Borte				
11,5									
13,5									
15,5									
17,5									
19,5									
21,5									
23,5									
25,5									
27,5									
29,5									

S: Slag DS: Delvis slag B: Brunt G: Grått S: Svart R: Rødt
MP: Materialprøve (spylt) MPg: Materialprøve (gjennomstrømningsprøvetager) VP: Vannprøve L: Ledningsevne [µS/cm]

GRUNNVANNSUNDERSØKELSER I LØSMASSER

STED: Otta vassverk, Selsverket, Sel kommune

UTFØRT DATO: 23.06.96

BORPUNKT NR: 3

BORUTSTYR: Borros borerigg

SONDERBORING: x **UNDERSØKELSESBRØNN:**

UTM-KOORDINATER:

KARTBLAD (M711): 1718 IV **SONE:** 32V **Ø-V:** 0528861 **N-S:** 6851916
Otta

OVERFLATENS HØYDE OVER HAVET I BORPUNKTET: 297 m

BRØNN-/FILTERTYPE: 32 mm rør med 1 m filter og 2-4 mm slisseåpning

GRUNNVANNSTAND U/MARKOVERFLATEN: 27. juni: 5,63 m

MERKNAD: Satt ned 10 m 5/4" peilerør til 9,3 m

Dyp [m]	Materialtype	Borsynk [min/m]	Slag	Vann- trykk [kg]	Boreslam	Temp. [°C]	P.tid før prøve taking [min]	Vann- føring [l/s]	Merknad
1,5	Grus, sand og noe stein		S		Borte				
	Grus og sand	0,45	S		Borte				
3,5	Grus, sand og noe stein	1,15	S		Borte				
	Grus og sand, tettere	2,30	S	0-5	Borte				
5,5	Grus, sand og stein, tettere	2,40	S	0-5	Borte				
	Grus og sand, vekslende	2,50	S	5-16	Borte				
7,5	Grus og sand, vekslende	2,20	S	5-16	Borte				
	Grus, sand og stein	3,50	S		Borte				
9,5	Grus og sand	1,30	S	0-10	Borte				
11,5									
13,5									
15,5									
17,5									
19,5									
21,5									
23,5									
25,5									
27,5									
29,5									

S: Slag

DS: Delvis slag

B: Brunt

G: Grått

S: Svart

R: Rødt

MP: Materialprøve (spylt) MPg: Materialprøve (gjennomstrømningsprøvetager)

VP: Vannprøve

L: Ledningsevne [μ S/cm]

GRUNNVANNSUNDERSØKELSER I LØSMASSER

STED: Otta vassverk, Selsverket, Sel kommune

UTFØRT DATO: 22.06.96

BORPUNKT NR: 4

BORUTSTYR: Borros borerigg

SONDERBORING: x **UNDERSØKELSESRØNN:**

UTM-KOORDINATER:

KARTBLAD (M711): 1718 IV **SONE:** 32V **Ø-V:** 0528720 **N-S:** 6851903
Otta

OVERFLATENS HØYDE OVER HAVET I BORPUNKTET: 296 m

BRØNN-/FILTERTYPE: 32 mm rør med 1 m filter og 2-4 mm slisseåpning

GRUNNVANNSTAND U/MARKOVERFLATEN: 27. juni: 4,98 m

MERKNAD: 10 m 5/4" peilerør satt til 9,33 m.

Dyp [m]	Materialtype	Borsynk [min/m]	Slag	Vann- trykk [kg]	Boreslam	Temp. [°C]	P.tid før prøve taking [min]	Vann- føring [l/s]	Merknad
1,5	Stein, sand/grus		S		Borte				
3,5	Stein, sand/grus	1,20	S		Borte				
	Sand/grus, hard pakket	2,40	S	5-10	Borte				
5,5	Sand/grus, hard pakket	2,55	S		Borte				
	Sand/grus, løsere	1,25	S	0-5	Borte				
7,5	Sand/grus, vekslende	1,25	S		Borte				
	Sand/grus, vekslende	2,05	S	0-8	Borte				
9,5	Stein, grusig sand	4,20	S	8-10	Borte				Noe stein, stans ca. 9,3 m
	Sand/grus, vekslende	2,30	S		Borte				
11,5									
13,5									
15,5									
17,5									
19,5									
21,5									
23,5									
25,5									
27,5									
29,5									

S: Slag DS: Delvis slag B: Brunt G: Grått S: Svart R: Rødt
MP: Materialprøve (spylt) MPg: Materialprøve (gjennomstrømningsprøvetager) VP: Vannprøve L: Ledningsevne [µS/cm]

GRUNNVANNSUNDERSØKELSER I LØSMASSER

STED: Otta vassverk, Selsverket, Sel kommune

UTFØRT DATO: 23.06.96

BORPUNKT NR: 5

BORUTSTYR: Borros borerigg

SONDERBORING: x **UNDERSØKELSESRØNN:**

UTM-KOORDINATER:

KARTBLAD (M711): 1718 IV **SONE:** 32V **Ø-V:** 0528907 **N-S:** 6851910
Otta

OVERFLATENS HØYDE OVER HAVET I BORPUNKTET: 300 m

BRØNN-/FILTERTYPE: 32 mm rør med 1 m filter og 2-4 mm slisseåpning

GRUNNVANNSTAND U/MARKOVERFLATEN: 27. juni: 5,35 m

MERKNAD: Satt ned 10 m 5/4" peilerør til 9,3 m

Dyp [m]	Materialtype	Borsynk [min/m]	Slag	Vann- trykk [kg]	Boreslam	Temp. [°C]	P.tid før prøve taking [min]	Vann- føring [l/s]	Merknad
1,5	Stein, sand/grus		S		Borte				
	Sand/grus	1,15	S		Borte				
3,5	Stein, sand/grus	5,00	S	0-10	Borte				
	Sand/grus, løse	1,15	S	0-10	Borte				
5,5	Sand/grus, hardt	3,05	S	3-8	Borte				
	Sand/grus, hardt	3,00	S	5-10	Borte				
7,5	Sand/grus, hardt	3,05	S	0-10	Borte				
	Stein, sand/grus	7,40	S	0-5	G/Borte				
9,5	Sand/grus, hardt	2,15	S	0-8	Borte				
	Sand/grus	2,00	S	5	Borte				
11,5	Grus og sand	2,10	S	0-5	Borte				
	Grus og sand	2,20	S	5-10	Borte				
13,5	Grus og sand, hardt	3,05	S	0-5	Borte				
	Grus og sand, hardt	3,15	S		Borte				Mye grovt materiale
15,5	Grus og sand	2,00	S		Borte				MPg: 15,5 - 15,8 m
17,5									
19,5									
21,5									
23,5									
25,5									
27,5									
29,5									

S: Slag DS: Delvis slag B: Brunt G: Grått S: Svart R: Rødt
MP: Materialprøve (spylt) MPg: Materialprøve (gjennomstrømningsprøvetager) VP: Vannprøve L: Ledningsevne [µS/cm]

GRUNNVANNSUNDERSØKELSER I LØSMASSER

STED: Otta vassverk, Selsverket, Sel kommune

UTFØRT DATO: 20.06.96

BORPUNKT NR: 6

BORUTSTYR: Borros borerigg

SONDERBORING: x UNDERSØKELSESRØNN:

UTM-KOORDINATER:

KARTBLAD (M711): 1718 IV SONE: 32V Ø-V: 0528979 N-S: 6851984
Otta

OVERFLATENS HØYDE OVER HAVET I BORPUNKTET: 302 m

BRØNN-/FILTERTYPE: 32 mm rør med 1 m filter og 2-4 mm slisseåpning

GRUNNVANNSTAND U/MARKOVERFLATEN: 27. juni: 8,66 m

MERKNAD: Satt ned 12 m 5/4" peilerør til 10,88 m

Dyp [m]	Materialtype	Borsynk [min/m]	Slag	Vann- trykk [kg]	Boreslam	Temp. [°C]	P.tid før prøve taking [min]	Vann- føring [l/s]	Merknad
1,5	Sand, grus		S		Grått				
3,5	Stein, grus, sand	1,35	S	0-5	Borte				
	Grus, sandlag	0,45	DS		Borte				
5,5	Grus	1,45	S		Borte				
	Grus/sand, hardpakket	3,55	S	3-8	Borte				
7,5	??Sand??, hardpakket	3,45	S	3-5	Borte				
	Grus/sand, hardpakket	3,50	S	0-5	Borte				
9,5	Grus/sand, løserer	1,40	S		Borte				
	Grus/sand, løserer	1,45	S		Borte				
11,5	Grus/sand, vekslende	3,20	S		Borte				MPg: 9,5 - 9,8 m
	Grus/sand, vekslende	1,40	S		Borte				
13,5	Grus/sand, vekslende	2,10	S		Borte				
	Grus/sand, vekslende	1,55	S		Borte				
15,5	Grus/sand, vekslende	2,40	S		Borte				
	Grus/sand, vekslende	1,45	S	0-2	Borte				
17,5	Grus/sand ???	2,10	S	3	Borte				MPg: 15,5 - 15,8 m
	Grus/sand ???	3,20	S		Borte				
19,5	Grus/sand ???	3,35	S	0-3	Borte				
	Grus/sand, løserer	1,30	S		Borte				
21,5	Grus/sand	2,10	S		Borte				
	Grus/sand	2,20	S	2	Borte				
23,5	Grus/sand, løserer	1,15	S	3	Borte				
	Grus/sand	1,05	S	3	Borte				
25,5	Grus/sand, løserer	1,05	S		Borte				
	Grus/sand, løserer	1,00	S		Borte				
27,5									MPg: 25,5 - 25,8 m
29,5									

S: Slag DS: Delvis slag B: Brunt G: Grått S: Svart R: Rødt
MP: Materialprøve (spylt) MPg: Materialprøve (gjennomstrømningsprøvetager) VP: Vannprøve L: Ledningsevne [µS/cm]

GRUNNVANNSUNDERSØKELSER I LØSMASSER

STED: Otta vassverk, Selsverket, Sel kommune

UTFØRT DATO: 21.06.96

BORPUNKT NR: 7

BORUTSTYR: Borros borerigg

SONDERBORING: x **UNDERSØKELSESRØNN:**

UTM-KOORDINATER:

KARTBLAD (M711): 1718 IV **SONE:** 32V **Ø-V:** 0528840 **N-S:** 6851558
Otta

OVERFLATENS HØYDE OVER HAVET I BORPUNKTET: 298 m

BRØNN-/FILTERTYPE: 32 mm rør med 1 m filter og 2-4 mm slisseåpning

GRUNNVANNSTAND U/MARKOVERFLATEN: 27. juni: 5,48 m

MERKNAD: Satt ned 8 m 5/4" peilerør til 7,3 m

Dyp [m]	Materialtype	Borsynk [min/m]	Slag	Vann- trykk [kg]	Boreslam	Temp. [°C]	P.tid før prøve taking [min]	Vann- føring [l/s]	Merknad
1,5	Stein, grusig sand		S		Borte				
3,5	Stein, grusig sand	1,05	S		Borte				
	Sand, grus	1,25	S		Borte				
5,5	Sand, grus, hardt	2,45	S	5-8	Borte				
	Sand, grus, hardt	2,20	S	0-5	Borte				
7,5	Sand, grus, løse	1,05	S		Borte				
	Sand, grus	1,10	S	0-5	Borte				
9,5	Sand, grus, vekslende	1,10	S		Borte				
	Sand, grus, vekslende	1,50	S		Borte				
11,5	Sand, grus	1,40	S	3-8	Borte				MPg: 9,5 - 9,8 m
	Sand, grus, vekslende	1,30	S		Borte				
13,5	Sand, grus, noe stein	1,20	S		Borte				
	Sand, grus, vekslende	1,35	S		Borte				
15,5	Sand, grus, løse	1,00	S		Borte				Mer sand i massene
	Sand, grus, løse	0,40	S		Borte				
17,5	Sand, grus, løst	0,50	S		Borte				Mer sand i massene
	Sand, grus, løst	0,40	S		Borte				Mer sand i massene
19,5	Sand, grus	1,05	S		Borte				Mer sand i massene
	Sand, grus	1,00	S		Borte				Mer sand i massene
21,5	Sand, grus, løst	0,23	S		Borte				Mer sand i massene
	Sand, grus, løst	0,23	S		Borte				Mer sand i massene
23,5	Sand, grus, løst	0,25	S		Borte				Mer sand i massene
	Sand, grus, løst	0,30	S		Borte				
25,5	Sand, grus	0,55	S		Borte				
	Sand, grus, løst	0,40	S		Borte				
27,5									MPg: 25,5 - 25,8 m
29,5									

S: Slag

DS: Delvis slag

B: Brunt

G: Grått

S: Svart

R: Rødt

MP: Materialprøve (spylt) MPg: Materialprøve (gjennomstrømningsprøvetager)

VP: Vannprøve

L: Ledningsevne [$\mu\text{S}/\text{cm}$]

GRUNNVANNSUNDERSØKELSER I LØSMASSER

STED: Otta vassverk, Selsverket, Sel kommune

UTFØRT DATO: 21.06.96

BORPUNKT NR: 8

BORUTSTYR: Borros borerigg

SONDERBORING: x **UNDERSØKELSESBRØNN:**

UTM-KOORDINATER:

KARTBLAD (M711): 1718 IV **SONE:** 32V **Ø-V:** 0528840 **N-S:** 6851801
Otta

OVERFLATENS HØYDE OVER HAVET I BORPUNKTET: 298 m

BRØNN-/FILTERTYPE: 32 mm rør med 1 m filter og 2-4 mm slisseåpning

GRUNNVANNSTAND U/MARKOVERFLATEN: 27. juni: 6,08 m

MERKNAD: 10 m 5/4" peilerør satt til 9,3 m

Dyp [m]	Materialtype	Borsynk [min/m]	Slag	Vann- trykk [kg]	Boreslam	Temp. [°C]	P.tid før prøve taking [min]	Vann- føring [l/s]	Merknad
1,5	Stein, grus/sand		S		Grått				
3,5	Stein, grus/sand	1,30	S		Borte				
	Stein, grus/sand, hardt	2,30	S	5-10	Borte				
5,5	Stein, grus/sand, hardt	1,10	S	0-5	Grått/borte				
	Grus/sand, hardt	1,50	S	0-5	Grått/borte				
7,5	Grus/sand, hardt	1,40	S		Grått/borte				
	Grus/sand, vekslende	2,00	S		Borte				
9,5	Grus/sand, vekslende	1,35	S		Grått				
	Stein, blokk?, grus/sand	5,40	S	0-7	Borte				
11,5									
13,5									
15,5									
17,5									
19,5									
21,5									
23,5									
25,5									
27,5									
29,5									

S: Slag DS: Delvis slag B: Brunt G: Grått S: Svart R: Rødt
MP: Materialprøve (spylt) MPg: Materialprøve (gjennomstrømningsprøvetager) VP: Vannprøve L: Ledningsevne [µS/cm]

GRUNNVANNSUNDERSØKELSER I LØSMASSER

STED: Otta vassverk, Selsverket, Sel kommune

UTFØRT DATO: 24.06.96

BORPUNKT NR: 9

BORUTSTYR: Borros borerigg

SONDERBORING: x **UNDERSØKELSESRØNN:**

UTM-KOORDINATER:

KARTBLAD (M711): 1718 IV **SONE:** 32V **Ø-V:** 0529011 **N-S:** 6851851
Otta

OVERFLATENS HØYDE OVER HAVET I BORPUNKTET: 301 m

BRØNN-/FILTERTYPE: 32 mm rør med 1 m filter og 2-4 mm slisseåpning

GRUNNVANNSTAND U/MARKOVERFLATEN: 27. juni: 8,95 m

MERKNAD: Satt ned 12 m 5/4" peilerør til 11,3 m
Svært harde, steinige masser.

Dyp [m]	Materialtype	Borsynk [min/m]	Slag	Vann- trykk [kg]	Boreslam	Temp. [°C]	P.tid før prøve taking [min]	Vann- føring [l/s]	Merknad
1,5	Grus, sand		S		Borte				
3,5	Grus, sand	0,35	S		Borte				
	Grus, sand	0,45	S		Borte				
5,5	Stein, grus, sand	2,00	S		Borte				
	Grus, sand	2,00	S		Borte				
7,5	Stein, grus, sand	4,20	S		Borte				
	Stein, grus, sand	4,55	S		Borte				
9,5	Stein, grus, sand	3,00	S	2	Borte				
	Stein, grus, sand	3,30	S		Borte				
11,5	Stein, grus, sand	3,00	S	3	Borte				
	Grus, sand	2,20	S		Borte				
13,5									MPg: 11,5 - 11,8 m
15,5									
17,5									
19,5									
21,5									
23,5									
25,5									
27,5									
29,5									

S: Slag DS: Delvis slag B: Brunt G: Grått S: Svart R: Rødt
MP: Materialprøve (spylt) MPg: Materialprøve (gjennomstrømningsprøvetager) VP: Vannprøve L: Ledningsevne [µS/cm]

GRUNNVANNSUNDERSØKELSER I LØSMASSER

STED: Otta vassverk, Selsverket, Sel kommune

UTFØRT DATO: 20.06.96

BORPUNKT NR: 10

BORUTSTYR: Borros borerigg

SONDERBORING: x **UNDERSØKELSESRØNN:**

UTM-KOORDINATER: 1718 IV

KARTBLAD (M711): Otta **SONE:** 32V **Ø-V:** 052???? **N-S:** 6851???

OVERFLATENS HØYDE OVER HAVET I BORPUNKTET: 301 m

BRØNN-/FILTERTYPE: 32 mm rør med 1 m filter og 2-4 mm slisseåpning

GRUNNVANNSTAND U/MARKOVERFLATEN: 27. juni: 7,97 m

MERKNAD: Satt ned 12 m 5/4" peilerør til 10,95 m

Dyp [m]	Materialtype	Borsynk [min/m]	Slag	Vann- trykk [kg]	Boreslam	Temp. [°C]	P.tid før prøve taking [min]	Vann- føring [l/s]	Merknad
1,5	Veifylling, sand/grus		S		Grått				
	Stein, grus/sand	1,20	S		Borte				
3,5	Grus/sand	2,05	S		Borte				
	Stein, grus/sand	1,30	S	0-5	Borte				
5,5	Stein, grus/sand	2,05	S	0-5	Borte				
	Grus/sand	2,40	S	5-10	Borte				
7,5	Stein, grus/sand	6,00	S	5-10	Borte				Morene?, meget hardt
	Grus/sand	1,30	S		Borte				
9,5	Grus/sand	3,20	S	10-15	Borte				Meget hardt
	Grus/sand	2,35	S	15	Borte				
11,5	Grus/sand	1,40	S		Borte				
13,5									
15,5									
17,5									
19,5									
21,5									
23,5									
25,5									
27,5									
29,5									

S: Slag

DS: Delvis slag

B: Brunt

G: Grått

S: Svart

R: Rødt

MP: Materialprøve (spylt) MPg: Materialprøve (gjennomstrømningsprøvetager)

VP: Vannprøve

L: Ledningsevne [µS/cm]

GRUNNVANNSUNDERSØKELSER I LØSMASSER

STED: Otta vassverk, Selsverket, Sel kommune

UTFØRT DATO: 24.06.96

BORPUNKT NR: 11

BORUTSTYR: Borros borerigg

SONDERBORING: x **UNDERSØKELSESRØNN:**

UTM-KOORDINATER:

KARTBLAD (M711): 1718 IV **SONE:** 32V **Ø-V:** 0528840 **N-S:** 6851558
Otta

OVERFLATENS HØYDE OVER HAVET I BORPUNKTET: 298 m

BRØNN-/FILTERTYPE: 32 mm rør med 1 m filter og 2-4 mm slisseåpning

GRUNNVANNSTAND U/MARKOVERFLATEN: 24. juni: 6,50 m kl. 16.00 ved rørdyp 25 m og 6,07 m kl. 16.30 ved rørdyp 8,95 m. 25. juni: 6,10 m. 27. juni: 6,09 m

MERKNAD: Satt ned 10 m 5/4" peilerør til 8,95 m.

Dyp [m]	Materialtype	Borsynk [min/m]	Slag	Vann- trykk [kg]	Boreslam	Temp. [°C]	P.tid før prøve taking [min]	Vann- føring [l/s]	Merknad
1,5	Sand og grus		S		Borte				
	Sand og grus, løst	0,35	S		Borte				
3,5	Stein, sand/grus	2,35	S		Borte				
	Sand/grus	1,25	S		Borte				
5,5	Stein, sand/grus	2,15	S		Borte				
	Sand/grus	1,40	S		Borte				
7,5	Sand/grus	1,45	S		Borte				
	Sand/grus	1,20	S		Borte				
9,5	Sand/grus	2,05	S		Borte				
	Sand/grus, løst	0,40	S		Borte				MPg: 9,5 - 9,8 m
11,5	Sand/grus, løst	0,55	S		Borte				
	Sand/grus, løst	0,55	S		Borte				
13,5	Sand/grus, løst	1,00	S		Borte				
	Sand/grus	1,20	S		Borte				
15,5	Sand/grus	2,30	S		Borte				
	Sand/grus, løst	0,50	S		Borte				MPg: 15,5 - 15,8 m
17,5	Sand/grus	1,10	S		Borte				
	Sand/grus, løst	0,30	S		Borte				Mye sand
19,5	Sand/grus	0,25	S		Borte				Mye sand
	Sand/grus, løst	0,25	S		Borte				Mye sand
21,5	Sand/grus, løst	0,25	S		Borte				Mye sand
	Sand/grus, løst	0,25	S		Borte				Mye sand
23,5	Sand/grus, løst	0,30	S		Borte				Mye sand
	Sand/grus, hardere	1,25	S		Borte				
25,5	Sand/grus, løsere	0,35	S		Borte				Gor gjennomgang ved spyling
									MPg: 25,5 - 25,8 m
27,5									
29,5									

S: Slag DS: Delvis slag B: Brunt G: Grått S: Svart R: Rødt
MP: Materialprøve (spylt) MPg: Materialprøve (gjennomstrømningsprøvetager) VP: Vannprøve L: Ledningsevne [µS/cm]

GRUNNVANNSUNDERSØKELSER I LØSMASSER

STED: Otta vassverk, Selsverket, Sel kommune

UTFØRT DATO: 24.06.96

BORPUNKT NR: 12

BORUTSTYR: Borros borerigg

SONDERBORING: x **UNDERSØKELSESRØNN:**

UTM-KOORDINATER:

KARTBLAD (M711): 1718 IV **SONE:** 32V **Ø-V:** 0528751 **N-S:** 6852063
Otta

OVERFLATENS HØYDE OVER HAVET I BORPUNKTET: 298 m

BRØNN-/FILTERTYPE: 32 mm rør med 1 m filter og 2-4 mm slisseåpning

GRUNNVANNSTAND U/MARKOVERFLATEN: 27. juni: 5,83 m

MERKNAD: Satt ned 10 m 5/4" peilerør til 9,35 m.

Dyp [m]	Materialtype	Borsynk [min/m]	Slag	Vann- trykk [kg]	Boreslam	Temp. [°C]	P.tid før prøve taking [min]	Vann- føring [l/s]	Merknad
1,5	Stein, sand/grus		S		Borte				
3,5	Stein, sand/grus	1,45	S		Borte				
	Stein, sand/grus	3,10	S		Borte				
5,5	Stein, sand/grus	4,10	S	3-8	Borte				
	??Stein, sand/grus, hardt	2,00	S		Borte				
7,5	Grus/sand, hardt	1,45	S	0-10	Borte				
	Stein, grus/sand	5,30	S		Borte				
9,5	Stein, grus/sand	1,35	S		Borte				
	Grus/sand	1,10	S		Borte				
11,5									
13,5									
15,5									
17,5									
19,5									
21,5									
23,5									
25,5									
27,5									
29,5									

S: Slag

DS: Delvis slag

B: Brunt

G: Grått

S: Svart

R: Rødt

MP: Materialprøve (spylt) MPg: Materialprøve (gjennomstrømningsprøvetager)

VP: Vannprøve

L: Ledningsevne [μ S/cm]

GRUNNVANNSUNDERSØKELSER I LØSMASSER

STED: Otta vassverk, Selsverket, Sel kommune

UTFØRT DATO: 25.06.96

BORPUNKT NR: 13

BORUTSTYR: Borros borerigg

SONDERBORING: x **UNDERSØKELSESBRØNN:**

UTM-KOORDINATER:

KARTBLAD (M711): 1718 IV **SONE:** 32V **Ø-V:** 0529045 **N-S:** 6852195
Otta

OVERFLATENS HØYDE OVER HAVET I BORPUNKTET: 303 m

BRØNN-/FILTERTYPE: 32 mm rør med 1 m filter og 2-4 mm slisseåpning

GRUNNVANNSTAND U/MARKOVERFLATEN: 25. juni: 10,82 m ved rørdyp 25,5 m og 10,85 m ved rørdyp 13,15 m. 27. Juni: 10,80 m

MERKNAD: Satt ned 14 m 5/4" peilerør til 13,15 m

Dyp [m]	Materialtype	Borsynk [min/m]	Slag	Vann- trykk [kg]	Boreslam	Temp. [°C]	P.tid før prøve taking [min]	Vann- føring [l/s]	Merknad
1,5	Stein, sand/grus		S		Borte				
	Sand/grus	0,30	S		Borte				
3,5	Stein, sand/grus	1,30	S	0-5	Borte				
	Stein, sand/grus	1,30	S	2	Borte				
5,5	Stein, sand/grus	2,20	S		Borte				
	Sand/grus	2,15	S	3-5	Borte				
7,5	Stein, sand/grus	2,45	S	2	Borte				
	Sand/grus, hardt	3,55	S	5-10	Borte				
9,5	Sand/grus, løsere	2,00	S	3	Borte				
	Sand/grus	1,45	S	5	Borte				MPg: 9,5 - 9,8 m
11,5	Sand/grus, hardere	2,35	S		Borte				
	Sand/grus	2,50	S	3-6	Borte				
13,5	Sand/grus	1,45	S	3	Borte				
	Sand/grus, løsere	1,20	S		Borte				
15,5	Sand/grus	1,35	S		Borte				
	Sand/grus	1,40	S	2	Borte				Mye sand i grusen
17,5	Sand/grus	1,15	S		Borte				
	Sand/grus	1,15	S		Borte				Mye sand i grusen
19,5	Stein, sand/grus	2,30	S		Borte				Mye sand i grusen
	Sand/grus	0,40	S		Borte				Mye sand i grusen
21,5	Sand/grus	0,45	S		Borte				Mye sand i grusen
	Sand/grus	0,25	S		Borte				Mye sand i grusen
23,5	Sand/grus	1,10	S		Borte				Mye sand i grusen
	Sand/grus	1,15	S	5	Borte				MP: 24,5 - 25,5 m
25,5	Sand/grus	1,20	S	5	Borte				Mye sand i grusen
									MPg: 25,5 - 25,8 m
27,5									
29,5									

S: Slag DS: Delvis slag B: Brunt G: Grått S: Svart R: Rødt
MP: Materialprøve (spylt) MPg: Materialprøve (gjennomstrømningsprøvetager) VP: Vannprøve L: Ledningsevne [µS/cm]

GRUNNVANNSUNDERSØKELSER I LØSMASSER

STED: Otta vassverk, Selsverket, Sel kommune

UTFØRT DATO: 26.06.96

BORPUNKT NR: 14

BORUTSTYR: Borros borerigg

SONDERBORING: x **UNDERSØKELSESRØNN:**

UTM-KOORDINATER:

KARTBLAD (M711): 1718 IV **SONE:** 32V **Ø-V:** 0529099 **N-S:** 6852170
Otta

OVERFLATENS HØYDE OVER HAVET I BORPUNKTET: 302 m

BRØNN-/FILTERTYPE: 32 mm rør med 1 m filter og 2-4 mm slisseåpning

GRUNNVANNSTAND U/MARKOVERFLATEN: 27. juni: 8,55 m

MERKNAD: Satt ned 12 m 5/4" peilerør til 9,2 m.

Dyp [m]	Materialtype	Borsynk [min/m]	Slag	Vann- trykk [kg]	Boreslam	Temp. [°C]	P.tid før prøve taking [min]	Vann- føring [l/s]	Merknad
1,5	Grus/sand		S		Borte				
	Grus/sand, løst	0,30	S		Borte				
3,5	Grus/sand, løst	0,25	S		Borte				
	Grus/sand, løst	1,05	S		Borte				
5,5	Grus/sand, løst	1,05	S		Borte				
	Grus/sand, løst	1,00	S		Borte				
7,5	Grus/sand, noe grovt	1,45	S		Borte				
	Grus/sand, noe grovt	2,15	S		Borte				
9,5	Grus/sand, løse	0,50	S		Borte				
	Grus/sand	1,10	S		Borte				
11,5	Grus/sand	0,55	S		Borte				
13,5									
15,5									
17,5									
19,5									
21,5									
23,5									
25,5									
27,5									
29,5									

S: Slag DS: Delvis slag B: Brunt G: Grått S: Svart R: Rødt
MP: Materialprøve (spylt) MPg: Materialprøve (gjennomstrømningsprøvetager) VP: Vannprøve L: Ledningsevne [µS/cm]

GRUNNVANNSUNDERSØKELSER I LØSMASSER

STED: Otta vassverk, Selsverket, Sel kommune

UTFØRT DATO: 26.06.96

BORPUNKT NR: 15

BORUTSTYR: Borros borerigg

SONDERBORING: x **UNDERSØKELSESBRØNN:**

UTM-KOORDINATER:

KARTBLAD (M711): 1718 IV **SONE:** 32V **Ø-V:** 0528862 **N-S:** 6852334
Otta

OVERFLATENS HØYDE OVER HAVET I BORPUNKTET: 300 m

BRØNN-/FILTERTYPE: 32 mm rør med 1 m filter og 2-4 mm slisseåpning

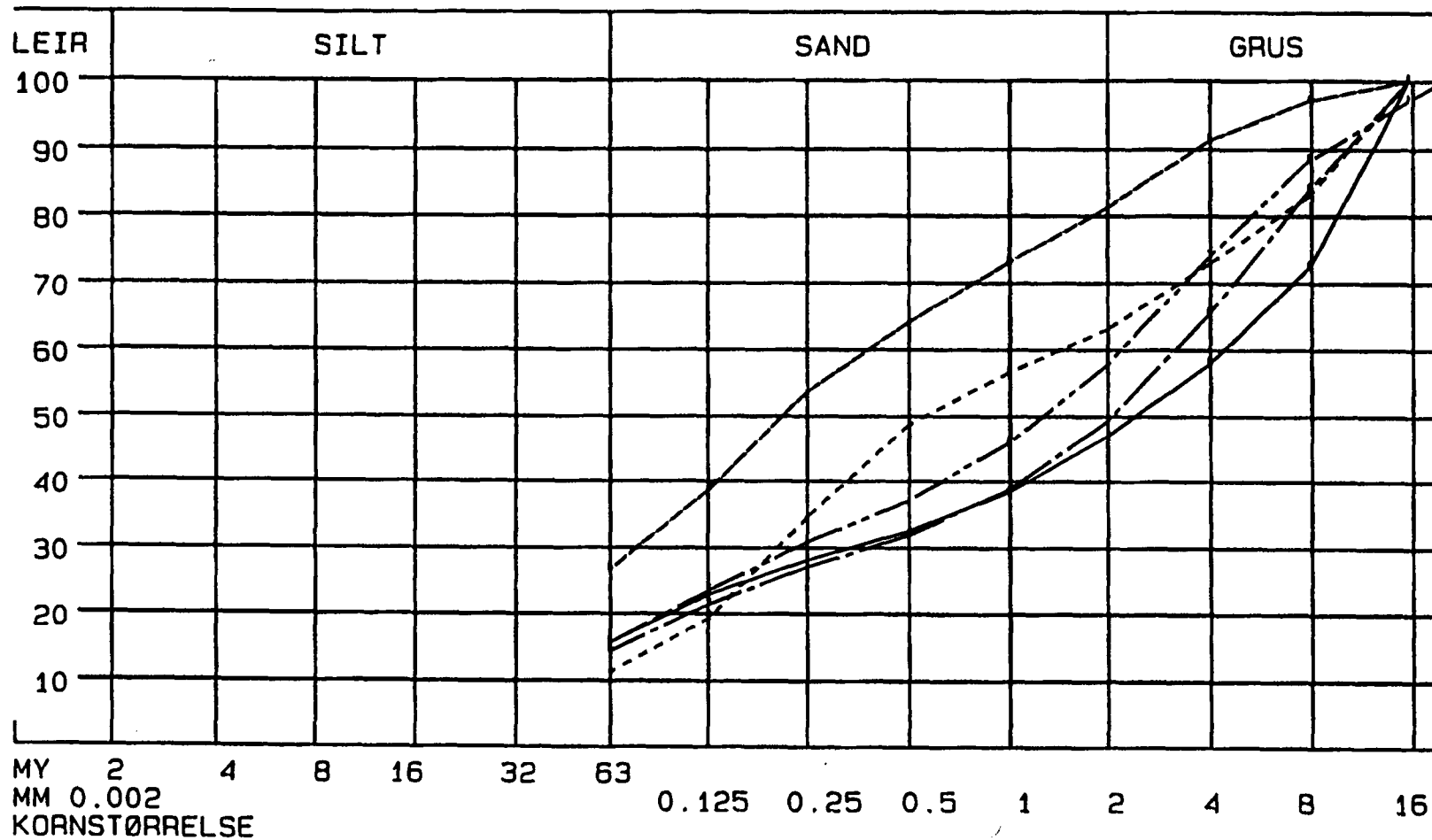
GRUNNVANNSTAND U/MARKOVERFLATEN: 26.juni: 6,35 m ved rørdyp 19 m og 6,35 m ved rørdyp 9,37m. 27. Juni: 6,40 m

MERKNAD: Satte ned 10 m 5/4" peilerør til 9,37 m

Dyp [m]	Materialtype	Borsynk [min/m]	Slag	Vann- trykk [kg]	Boreslam	Temp. [°C]	P.tid før prøve taking [min]	Vann- føring [l/s]	Merknad
1,5	Sand/grus		S		Borte				
3,5	Sand/grus	0,40	S		Borte				
	Sand/grus	1,05	S		Borte				
5,5	Sand/grus	0,45	S		Borte				
	Sandlag i grusen	0,40	DS		Borte				
7,5	Sand/grus, løst	0,30	S		Borte				
	Sand/grus	0,50	S		Borte				
9,5	Sand/grus	0,40	S		Borte				
	Sand/grus	1,15	S		Borte				
11,5	Grusig/sand	0,35	S		Borte				MPg: 9,5 - 9,8 m
	Grus/sand	0,50	S		Borte				
13,5	Grus/sand	0,55	S		Borte				
	Grus/sand	1,05	S		Borte				
15,5	Grus/sand	1,00	S		Borte				
	Grus/sand	1,10	S		Borte				
17,5	Grus/sand	1,00	S		Borte				Noe sand
	Grus/sand	0,45	S		Borte				
19,5	Grus/sand	1,20	S		Borte				MP: 18,0 - 19,0 m
	Stein, Grus/sand	2,08	S		Borte				
21,5	Grus/sand	0,35	DS		Borte				Mye sand
	Grusig sand	0,55	-		Borte				Mye sand
23,5	Grusig sand	0,30	DS	0-2	Borte				Mye sand
	Grusig sand	0,35	S	2	Borte				Mye sand
25,5	Grusig sand	0,30	S		Borte				Mye sand
	Grusig sand	0,40	S	0-3	Borte				Mye sand
27,5									
29,5									

S: Slag DS: Delvis slag B: Brunt G: Grått S: Svart R: Rødt
MP: Materialprøve (spylt) MPg: Materialprøve (gjennomstrømningsprøvetager) VP: Vannprøve L: Ledningsevne [µS/cm]

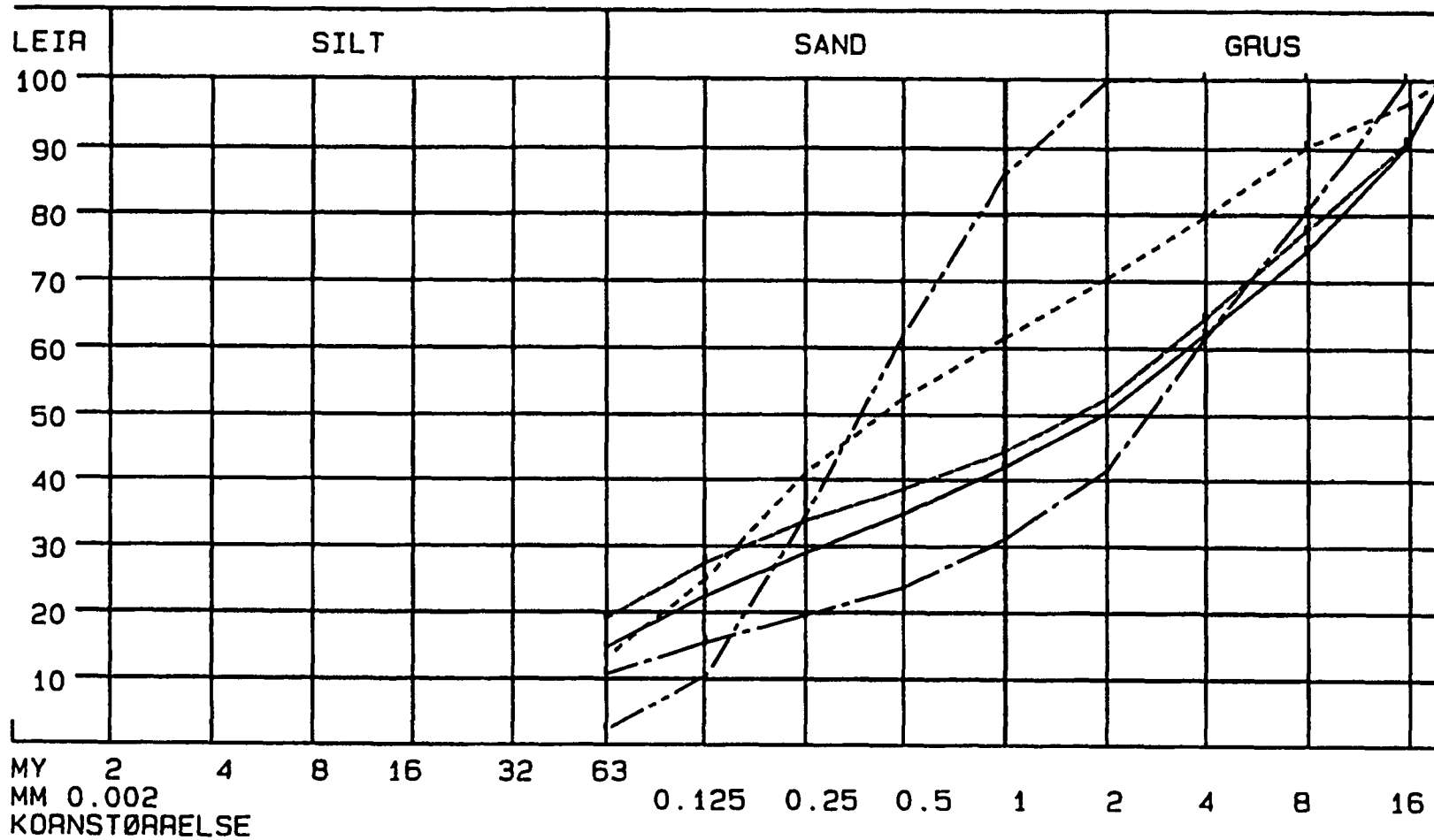
KORNFORDDELINGSKURVE
 Otta 17184



	Borpunkt nr.	UTM-ko ordinater 32V		Dyp (m)
—————	1	0528764	6851939	9,5
- - - - -	1	0528764	6851939	15,5
— · — · —	1	0528764	6851939	25,5
— · — · —	5	0528907	6851910	15,5
- - - - -	6	0528979	6851984	9,5

KORNFORDELINGSKURVE

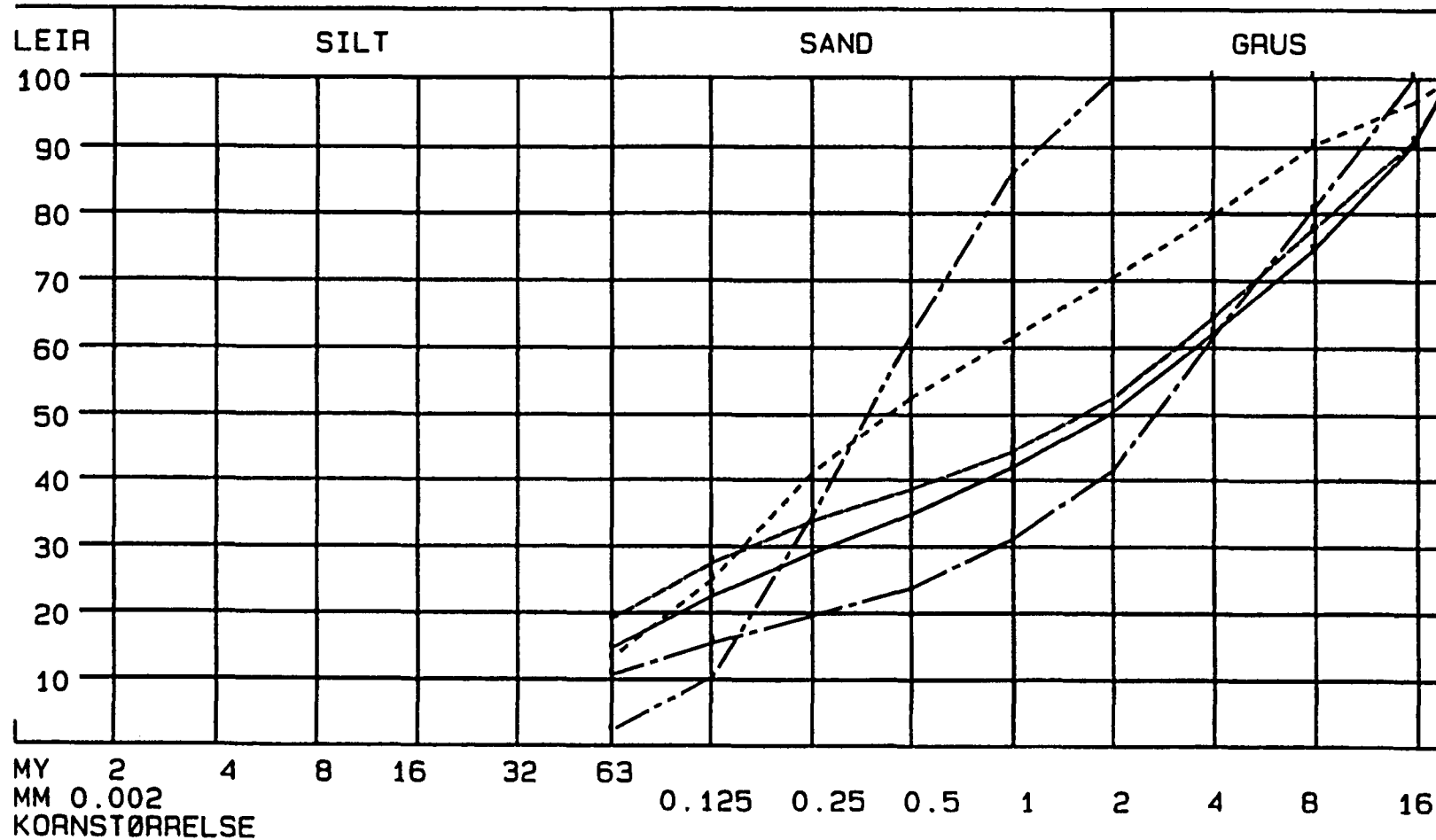
Otta 17184



MY 2 4 8 16 32 63
 MM 0.002
 KORNSTØRRELSE 0.125 0.25 0.5 1 2 4 8 16

	Borpunkt nr.	UTM-ko ordinator 32V		Dyp (m)
—————	6	0528979	6851984	15,5
- - - - -	6	0528979	6851984	25,5
—————	7	0528840	6851558	9,5
- - - - -	7	0528840	6851558	25,5
—————	9	0529011	6851851	10,8

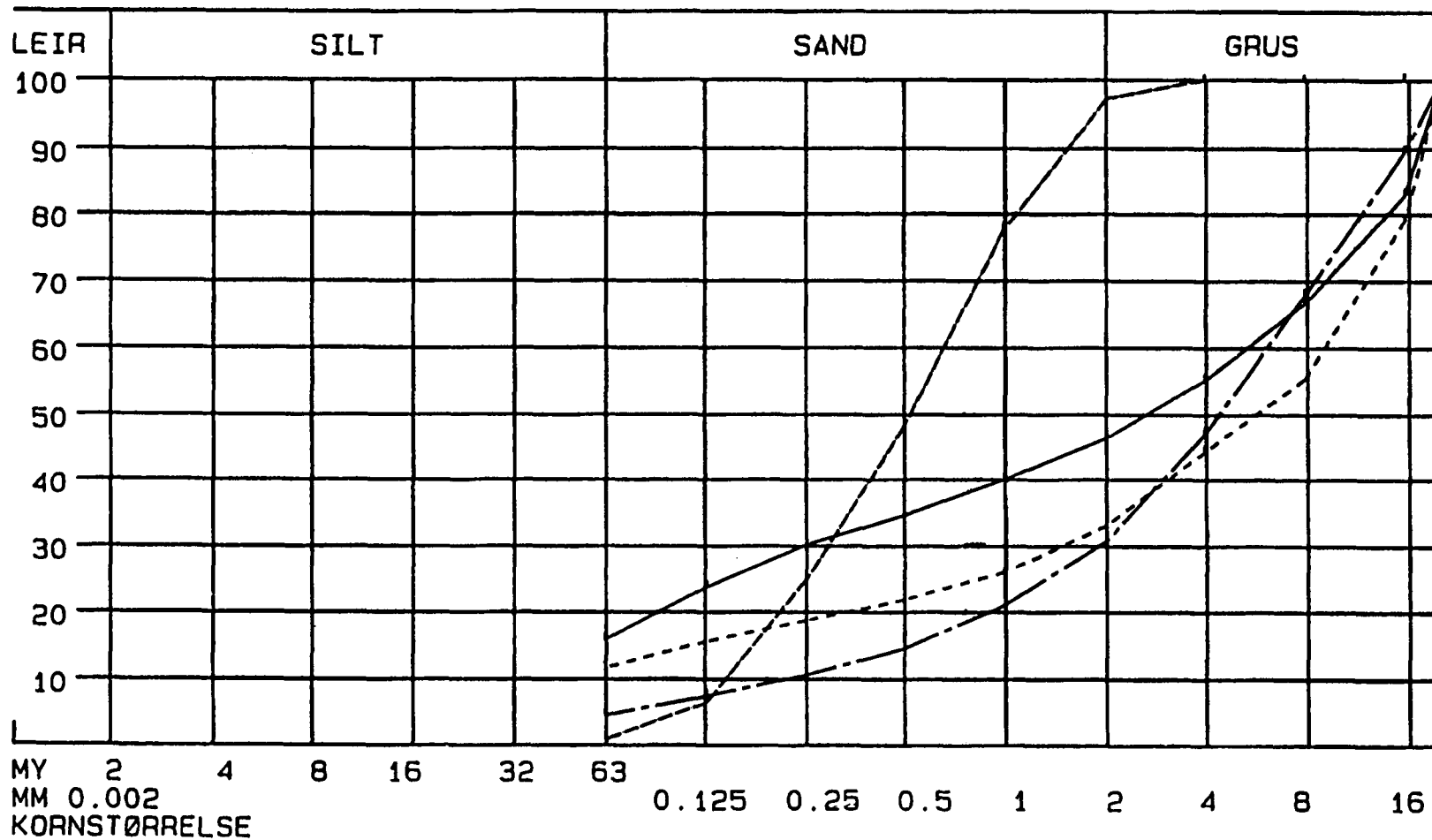
KORNFORDDELINGSKURVE
 Otta 17184



	Borpunkt nr.	UTM-ko ordinator 32V		Dyp (m)
—————	11	0528813	6852025	9,5
- - - - -	11	0528813	6852025	15,5
—————	11	0528813	6852025	25,5
— · — · —	13	0529045	6852195	9,5
— · — · —	13	0529045	6852195	25,0

KORNFORDELINGSKURVE

Otta 17184



MY 2 4 8 16 32 63
 MM 0.002
 KORNSTØRRELSE

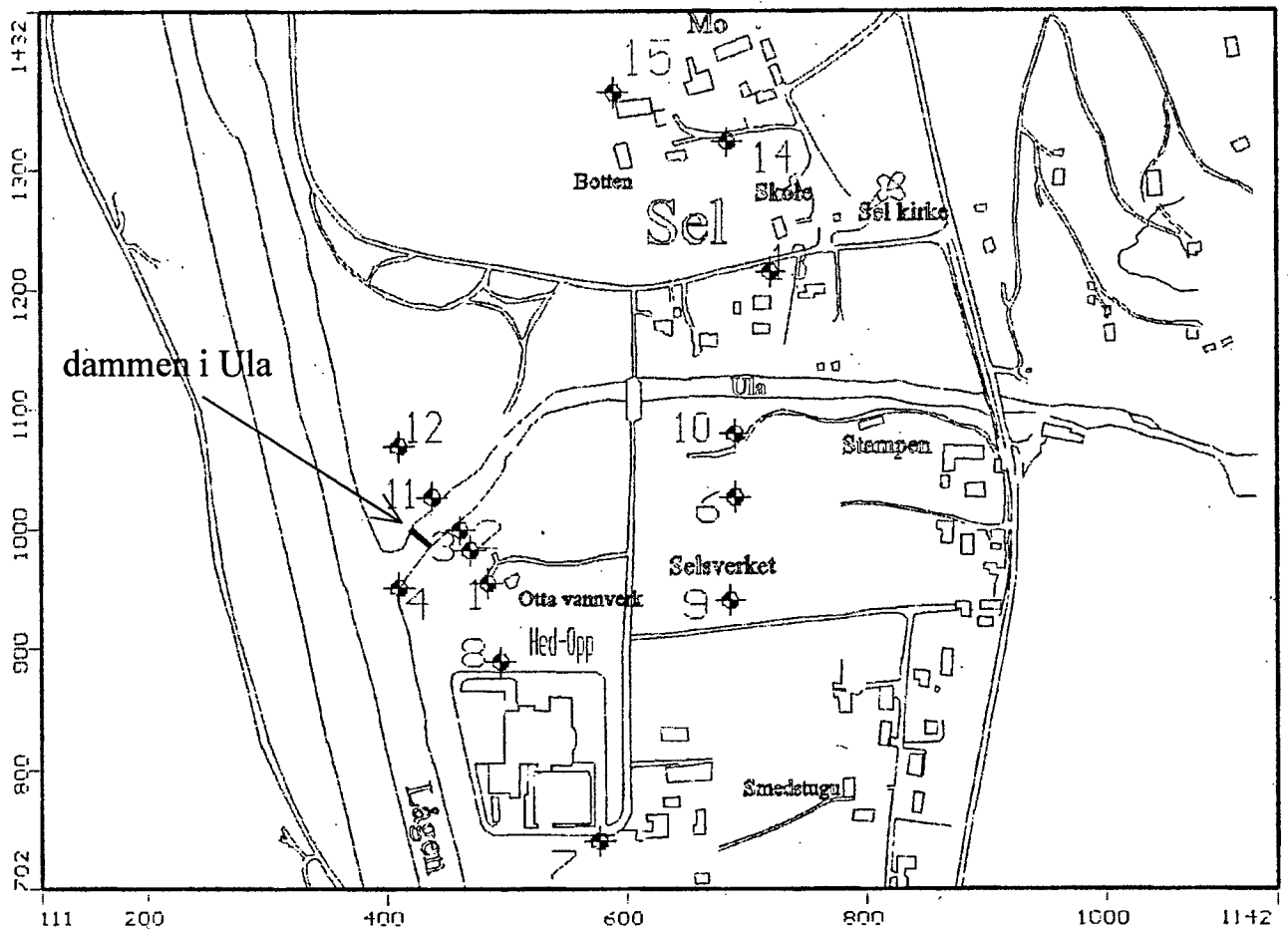
	Borpunkt nr.	UTM-ko ordinator 32V		Dyp (m)
—————	13	0529045	6852195	25,5
- - - - -	15	0528862	6852334	9,5
—————	15	0528862	6852334	18,5
- - - - -	-	-	-	elvbunn


Borpunkt nr.	Dyp (m)	Permeabilitet m/d	Porøsitet -	Effektiv porøsitet -
1	9,5	0,6	0,27	0,15
1	15,5	2,1	0,28	0,20
1	25,5	0,2	0,28	0,12
6	9,5	0,7	0,27	0,11
6	15,5	1,8	0,27	0,19
6	25,5	1,8	0,27	0,19
7	9,5	0,6	0,27	0,16
7	25,5	0,6	0,27	0,15
9	10,8	12,9	0,32	0,28
11	9,5	0,6	0,27	0,15
11	15,5	0,3	0,25	0,12
11	25,5	2,2	0,28	0,21
13	9,5	0,5	0,27	0,15
13	25,0	12,1	0,32	0,28
13	25,5	1,8	0,27	0,19
15	9,5	1,0	0,25	0,16
15	18,5	11,7	0,31	0,27
-	elvebunn	33,9	0,28	0,25

Permeabilitets- og porøsitetsverdier fra kornstørrelsesfordelingsanalyser fra Selsverket, Sel kommune

Brønn nr.	Metode			
	Neuman (1975)		Cooper & Jacob (1946)	
	Transmissivitet m ² /d	Magasin koeffisient	Transmissivitet m ² /d	Magasin koeffisient
2	5010	-	5080	-
3	1960	-	2530	-
4	-	-	15200	-
6	2490	0,26	4340	0,18
7	2490	-	4340	0,05
8	3490	0,08	4340	0,22
9	4530	0,05	5080	0,29
10	5510	0,20	5080	0,24
11	4710	0,29	5080	0,06
12	1980	-	4990	-
13	-	0,12	-	-

Transmissivitet og magasin koeffisient beregnet ut fra senkningsdata fra prøvepumping utført av NGU i 1997




 12 Sonderboring / Observasjonsbrønn



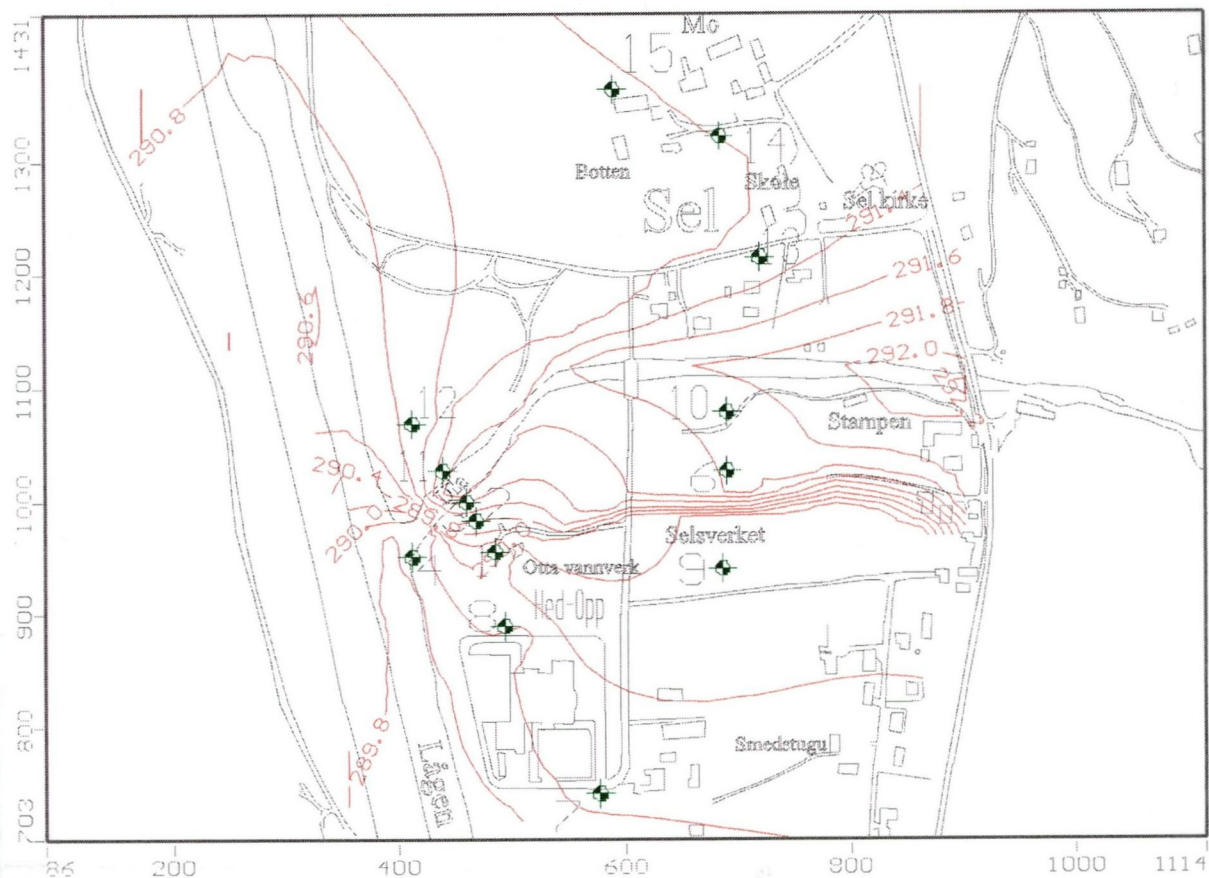
KART OVER SONDERBORINGER UTFØRT AV NGU
 JUNI 1996
SELSVERKET
 SEL KOMMUNE, OPPLAND

MÅLESTOKK	MÅLT	FEB 1997
	TEGN DAS	MAR 1997
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR
 97.095-01

KARTBLAD NR
 1718-IV



SIMULERT GRUNNVANNSSTAND (moh.)

LAV VANNSTAND I LÅGEN

SELSVERKET

SEL KOMMUNE, OPPLAND

MÅLESTOKK

Akseverdier
gitt i meter

MÅLT

TEGN DAS

TRAC

KFR

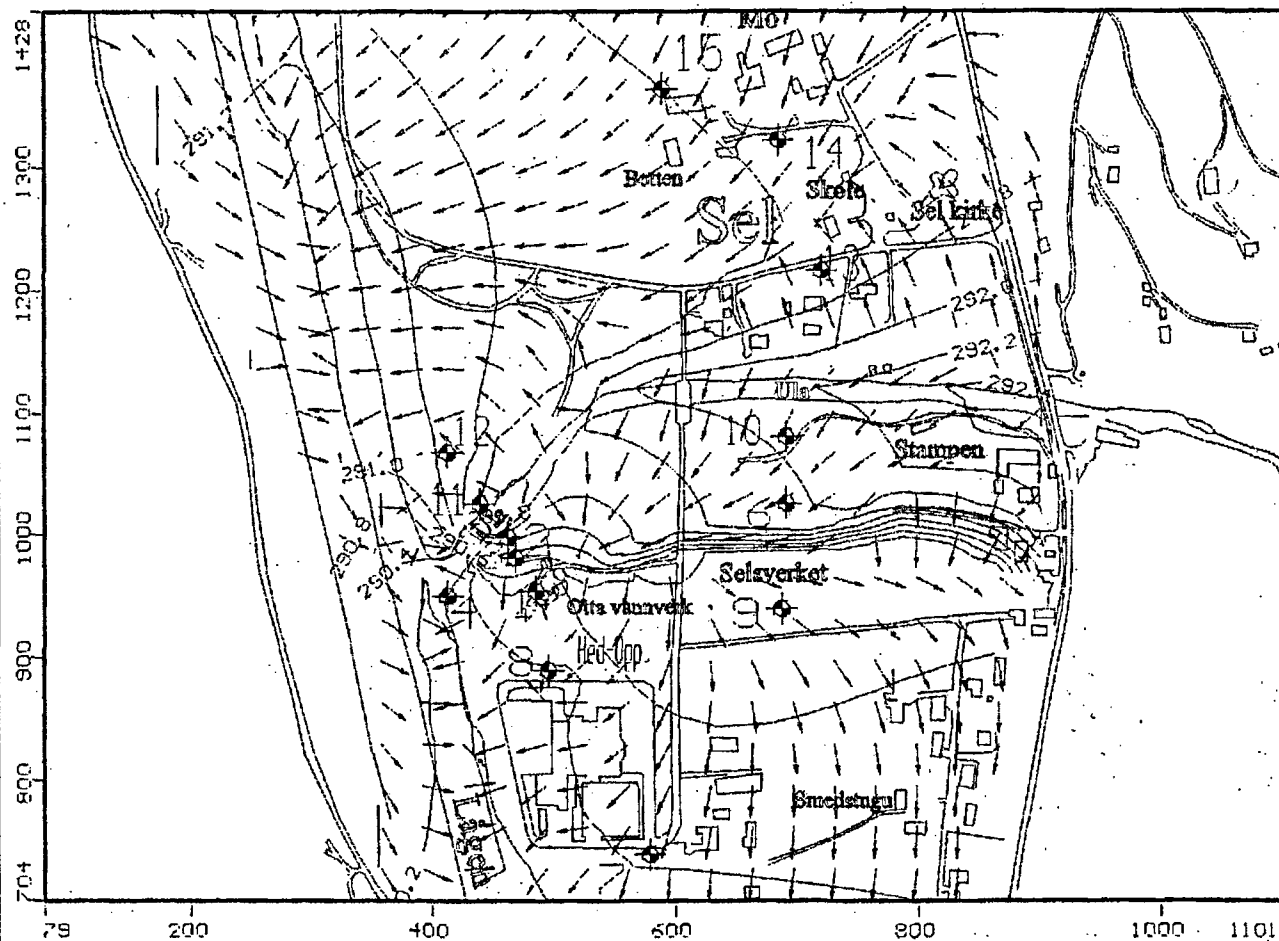
FEB 1997

MAR 1997

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

KARTBILAG NR
97.095-02

KARTBLAD NR
1718-IV



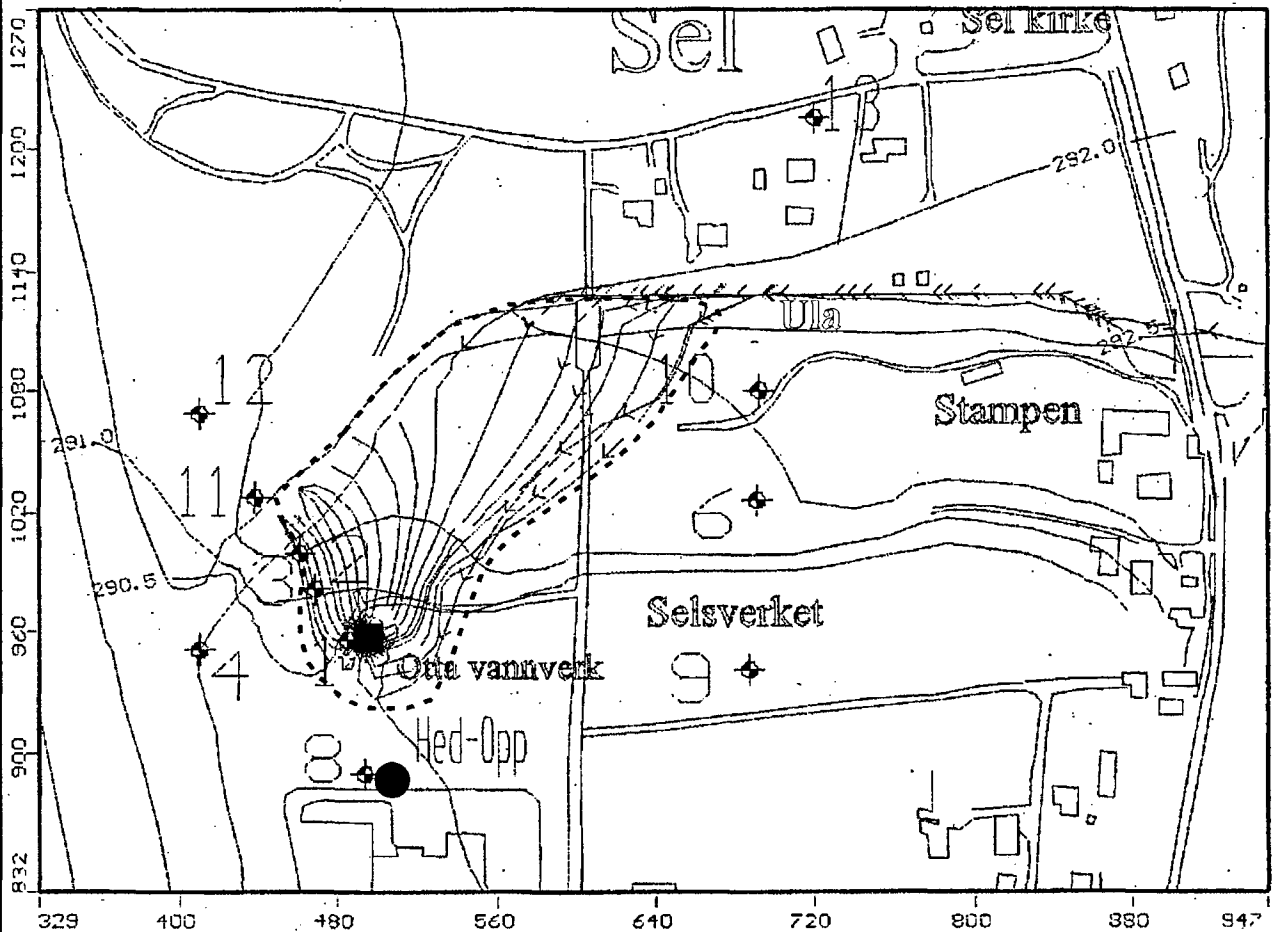
SIMULERT GRUNNVANNSSTRØMNING, LAG 1.
 LAV VANNSTAND I LÅGEN
SELSVERKET
 SEL KOMMUNE, OPPLAND

MÅLESTOKK	MÅLT	FEB 1997
	TEGN DAS	MAR 1997
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR
 97.095-03

KARTBLAD NR
 1718-IV



- → 10 døgns oppholdstid mellom pilene
- - - - 60 døgns grense
- Otta vannverk
- HED-OPP brønn



SIMULERTE GRUNNVANNSRETNINGER OG HASTIGHETER MOT OTTA VANNVERK, LAG I

LAV VANNSTAND I LÅGEN

SELSVERKET

SEL KOMMUNE, OPPLAND

MÅLESTOKK

MÅLT

FEB 1997

Akseverdier gitt i meter

TEGN DAS

MAR 1997

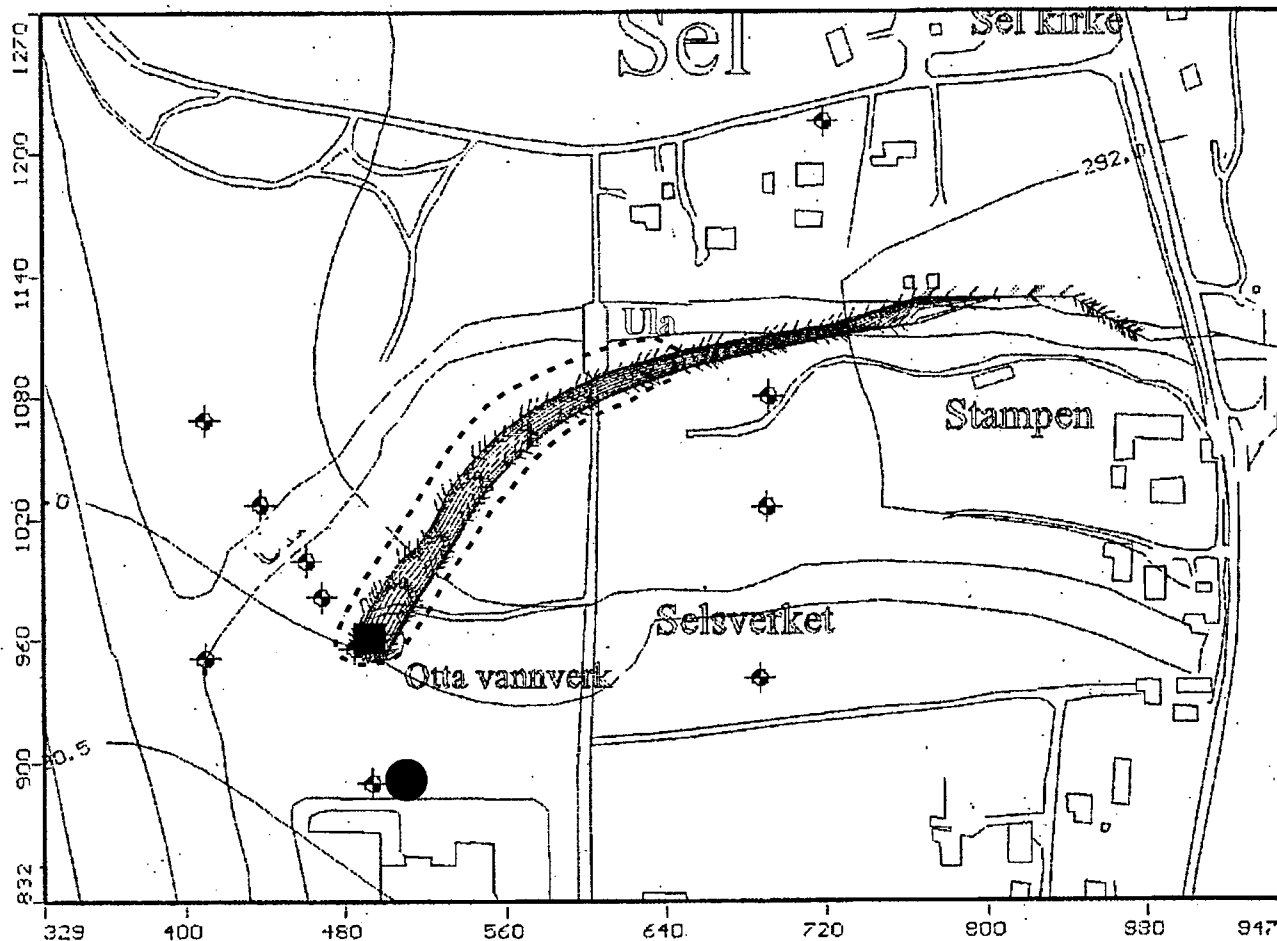
TRAC

KFR

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

KARTBILAG NR
97.095-04

KARTBLAD NR
1718-IV



SIMULERTE GRUNNVANNSRETNINGER OG
HASTIGHETER MOT OTTA VANNVERK, LAG 2

LAV VANNSTAND I LÅGEN

SELSVERKET

SEL KOMMUNE, OPPLAND

MÅLESTOKK

MÅLT

FEB 1997

Akseverdier
gitt i meter

TEGN DAS

MAR 1997

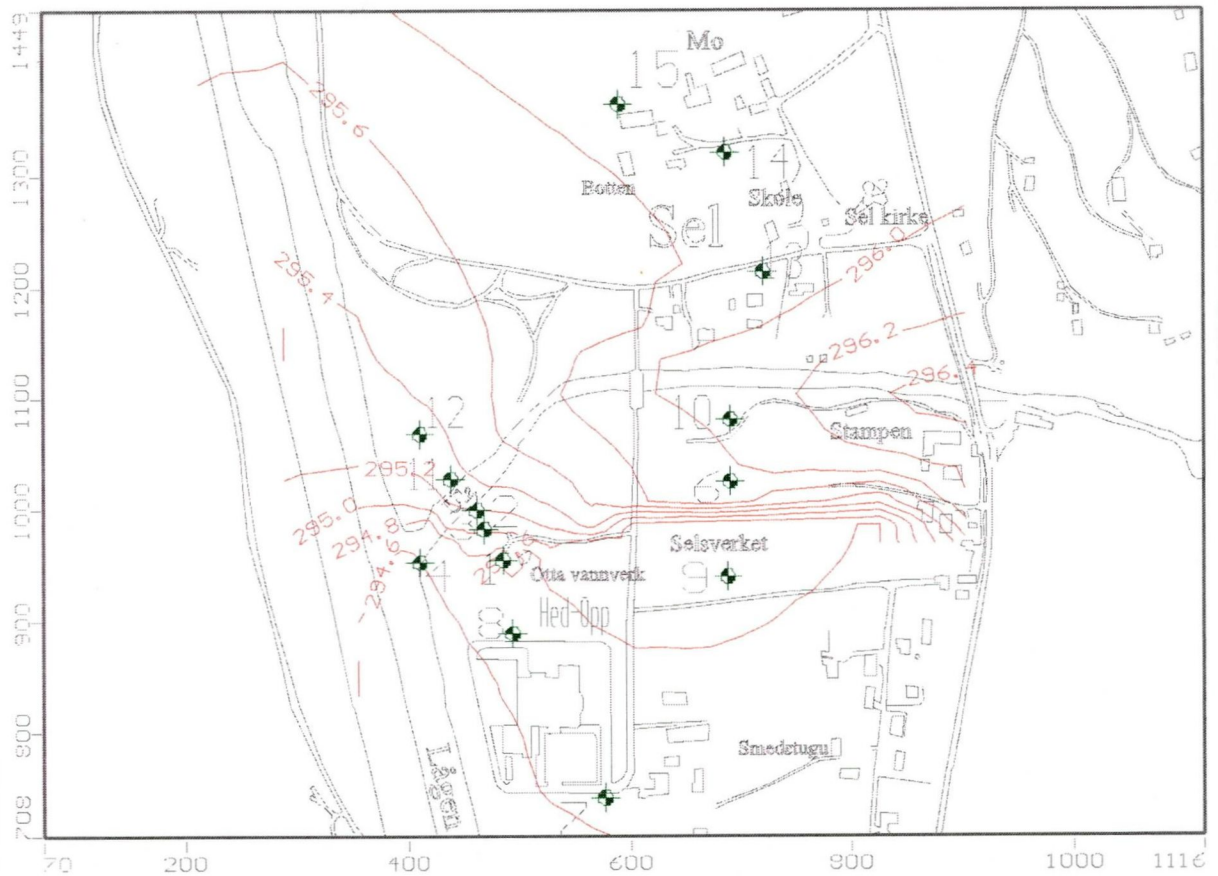
TRAC

KFR

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

KARTBILAG NR
97.095-05

KARTBLAD NR
1718-IV



SIMULERT GRUNNVANNSSTAND (moh.)
 HØY VANNSTAND I LÅGEN
SELSVERKET

SEL KOMMUNE, OPPLAND

MÅLESTOKK

Akseverdier
 gitt i meter

MÅLT

TEGN DAS

TRAC

KFR

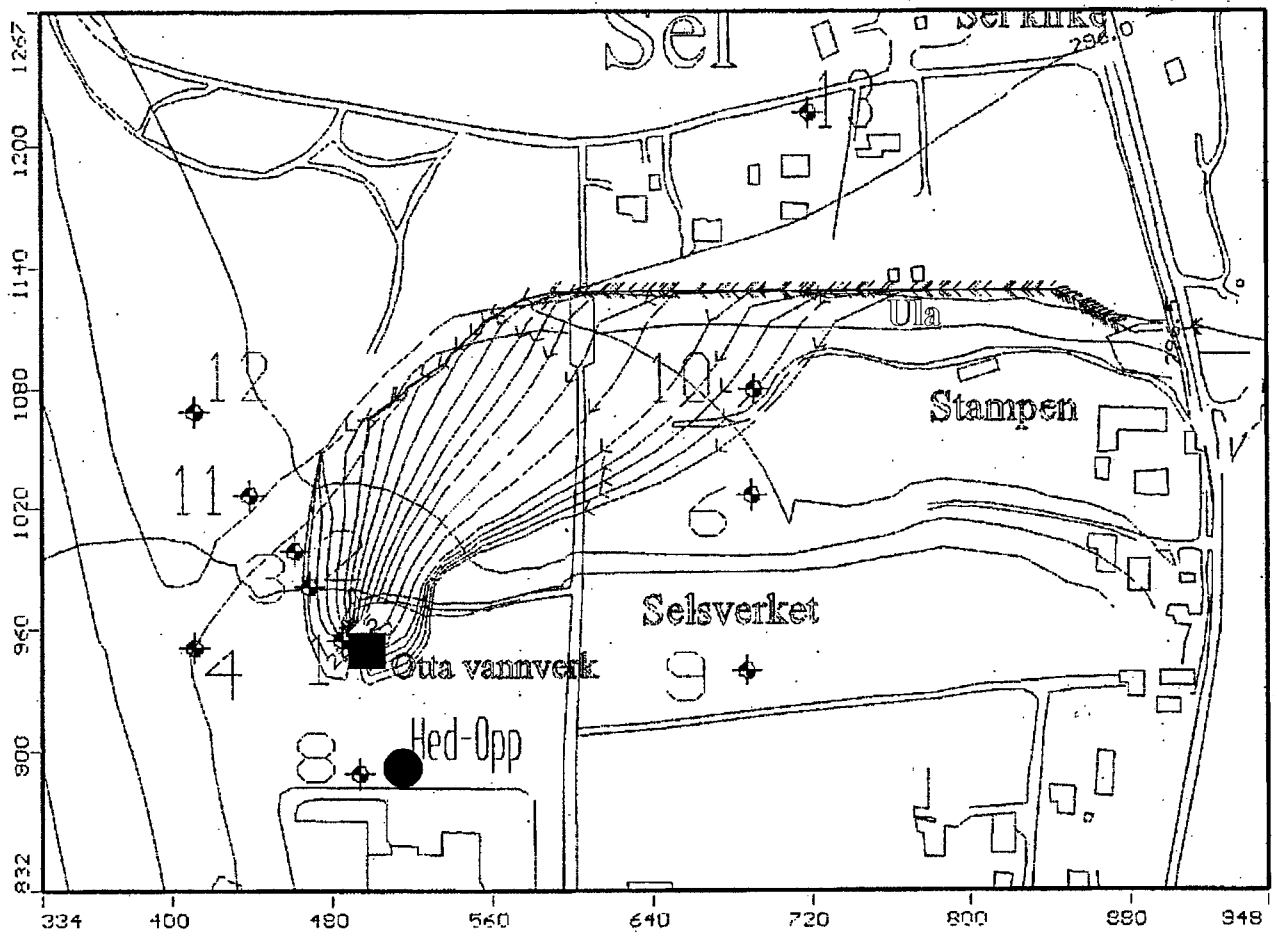
FEB 1997

MAR 1997

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR
 97.095-06

KARTBLAD NR
 1718-IV



→ → → 10 døgns oppholdstid mellom pilene

■ Otta vannverk

● HED-OPP brønn



SIMULERTE GRUNNVANNSRETNINGER OG
HASTIGHETER MOT OTTA VANNVERK, LAG 1.

HØY VANNSTAND I LÅGEN

SELSVERKET

SEL KOMMUNE, OPPLAND

MÅLESTOKK

MÅLT

FEB 1997

Akseverdier
gitt i meter

TEGN DAS

MAR 1997

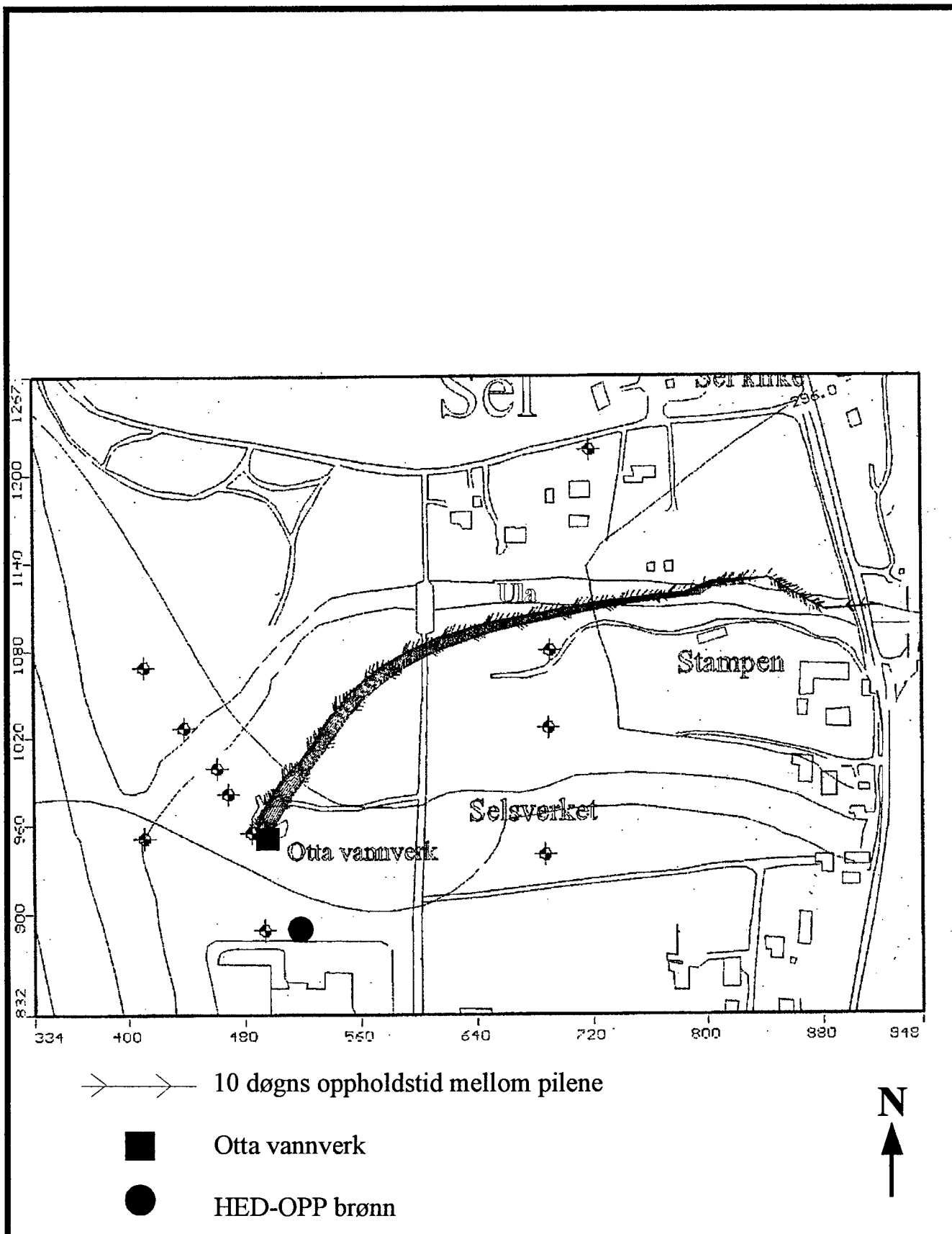
TRAC

KFR

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

KARTBILAG NR
97.095-07

KARTBLAD NR
1718-IV



SIMULERTE GRUNNVANNSRETNINGER OG
 HASTIGHETER MOT OTTA VANNVERK, LAG 2.
 HØY VANNSTAND I LÅGEN

SELSVERKET

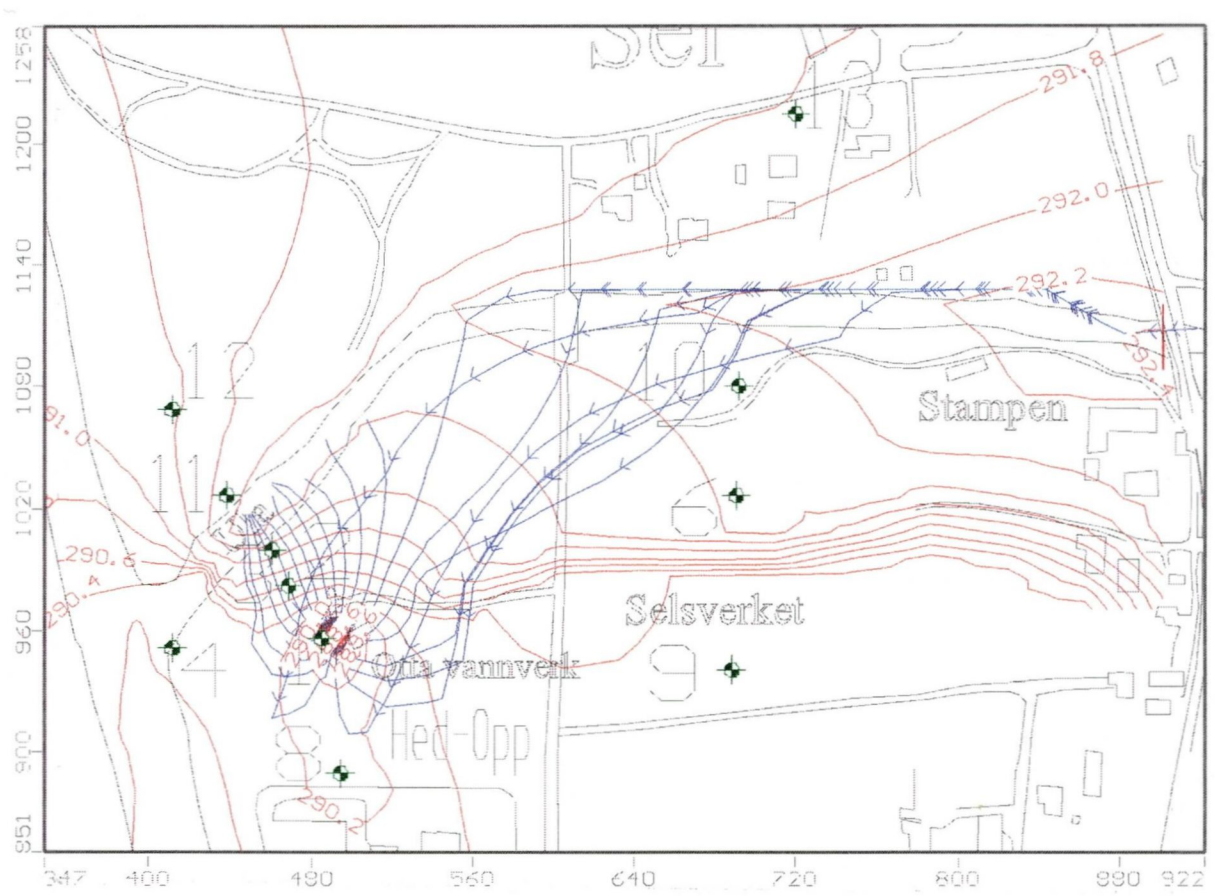
SEL KOMMUNE, OPPLAND

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK	MÅLT	FEB 1997
	TEGN DAS	MAR 1997
Akseverdier gitt i meter	TRAC	
	KFR	

KARTBILAG NR
 97.095-08

KARTBLAD NR
 1718-IV



→ → 10 døgns oppholdstid mellom pilene

■ Otta vannverk

● HED-OPP brønn



SIMULERTE GRUNNVANNSRETNINGER OG HASTIGHETER
MOT OTTA VANNVERK (UTTAK 60 l/s). LAG 1.

MIDDELS VANNSTAND I LÅGEN

SELSVERKET

SEL KOMMUNE, OPPLAND

MÅLESTOKK

MÅLT

FEB 1997

Akseverdier
gitt i meter

TEGN DAS

MAR 1997

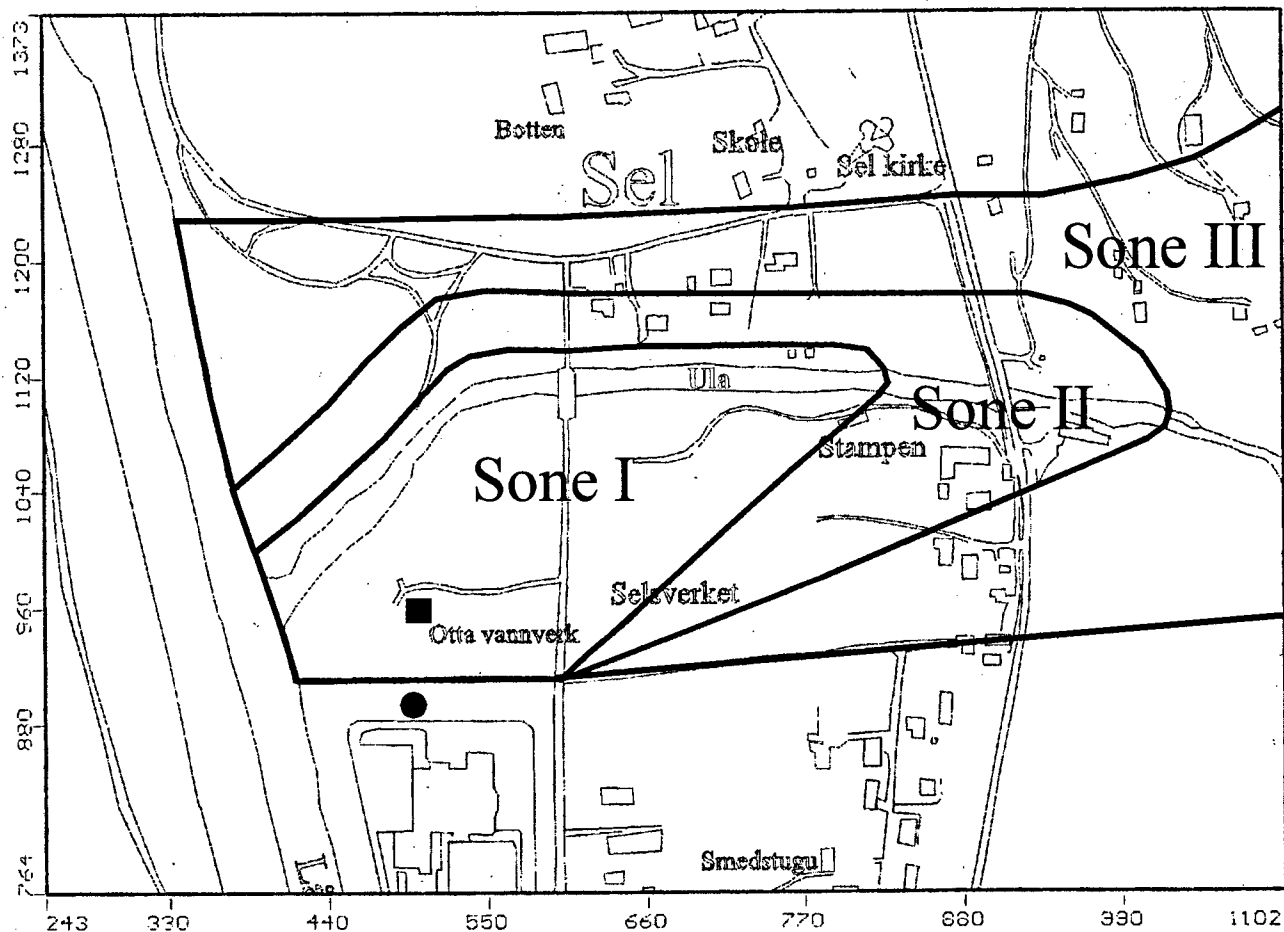
TRAC

KFR

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

KARTBILAG NR
97.095-09

KARTBLAD NR
1718-IV



- Otta vannverk
- HED-OPP brønn



FORSLAG TIL BESKYTTELSESONER, OTTA VANNVERK

SELSVERKET

SEL KOMMUNE, OPPLAND

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLESTOKK

Akseverdier
gitt i meter

MÅLT

TEGN DAS

TRAC

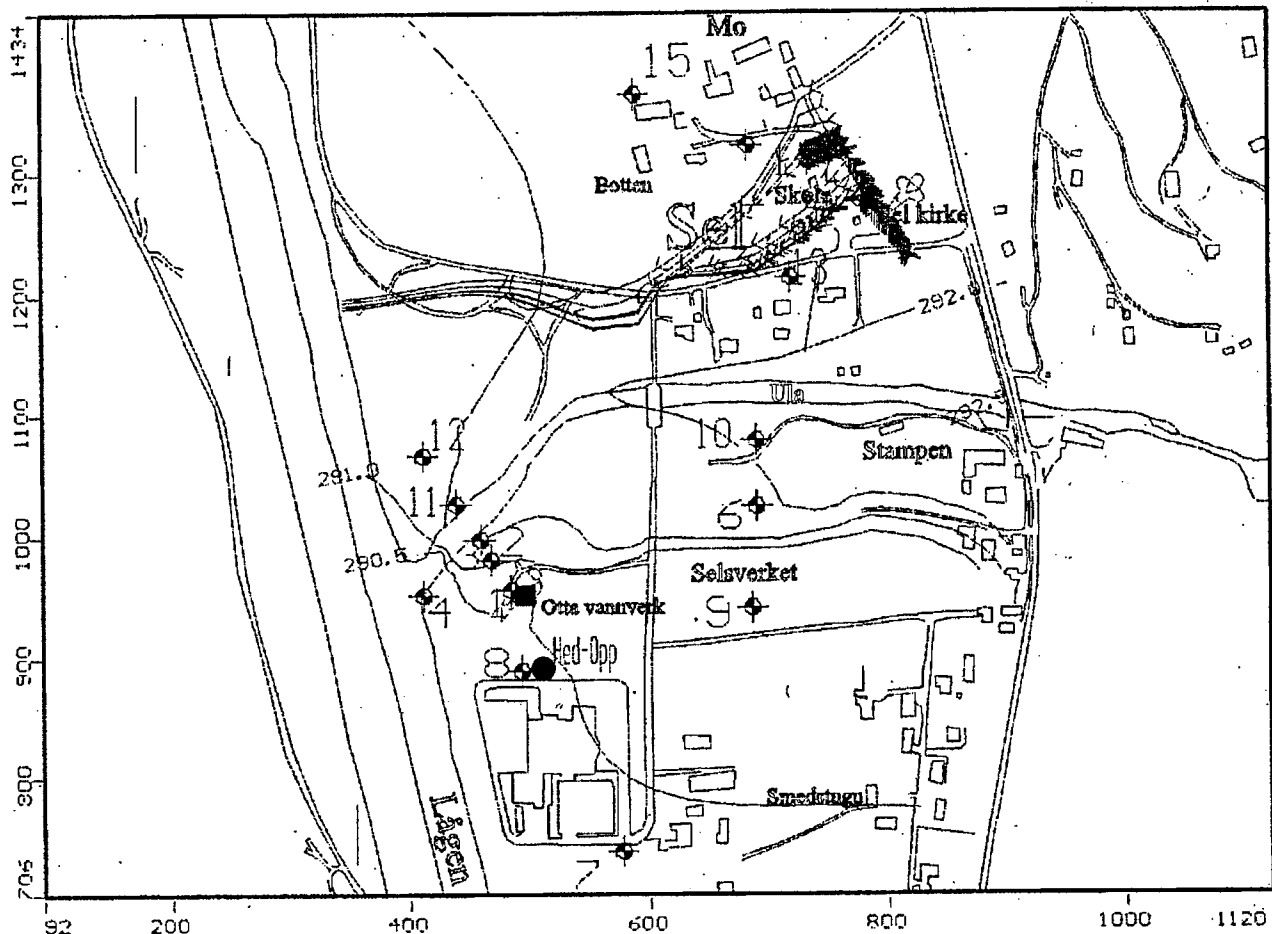
KFR

FEB 1997

MAR 1997

KARTBILAG NR
97.095-10

KARTBLAD NR
1718-IV



→ → 2 års oppholdstid mellom pilene

- Otta vannverk
- HED-OPP brønn



STRØMNINGSLINJENE TIL VANN SOM INTRODUSERES I
GRUNNVANNSMAGASINET VED SEL KIRKEGÅRD
MIDDELS VANNSTAND I LÅGEN

SELSVERKET

SEL KOMMUNE, OPPLAND

MÅLESTOKK

MÅLT

FEB 1997

Akseverdier
gitt i meter

TEGN DAS

MAR 1997

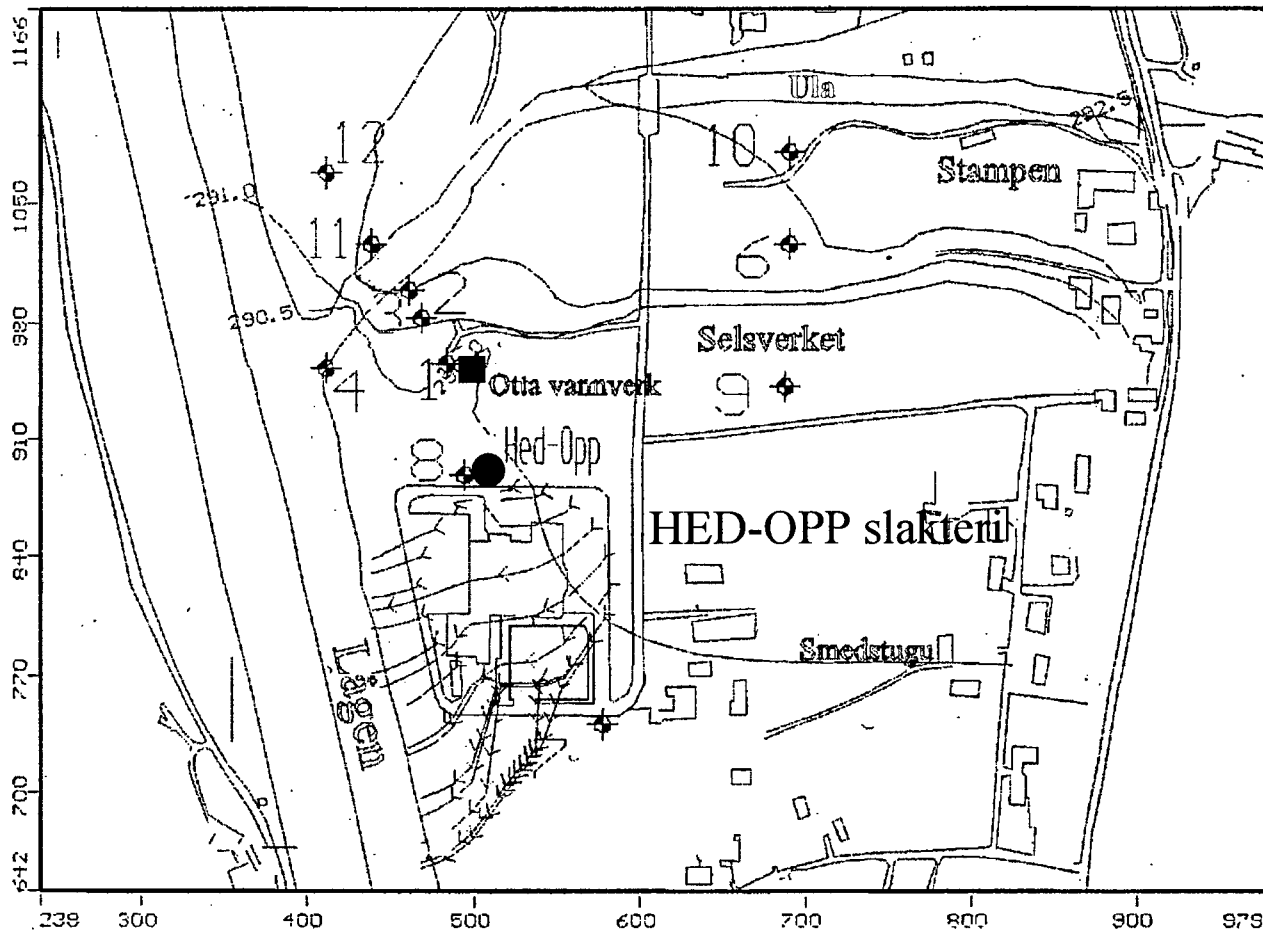
TRAC

KFR

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

KARTBILAG NR
97.095-11

KARTBLAD NR
1718-IV



↔ 10 døgns oppholdstid mellom pilene

- Otta vannverk
- HED-OPP brønn



STRØMNINGSLINJENE TIL VANN SOM INTRODUSERES I
GRUNNVANNSMAGASINET VED HED-OPP SLAKTERI
MIDDELS VANNSTAND I LÅGEN

SELSVERKET

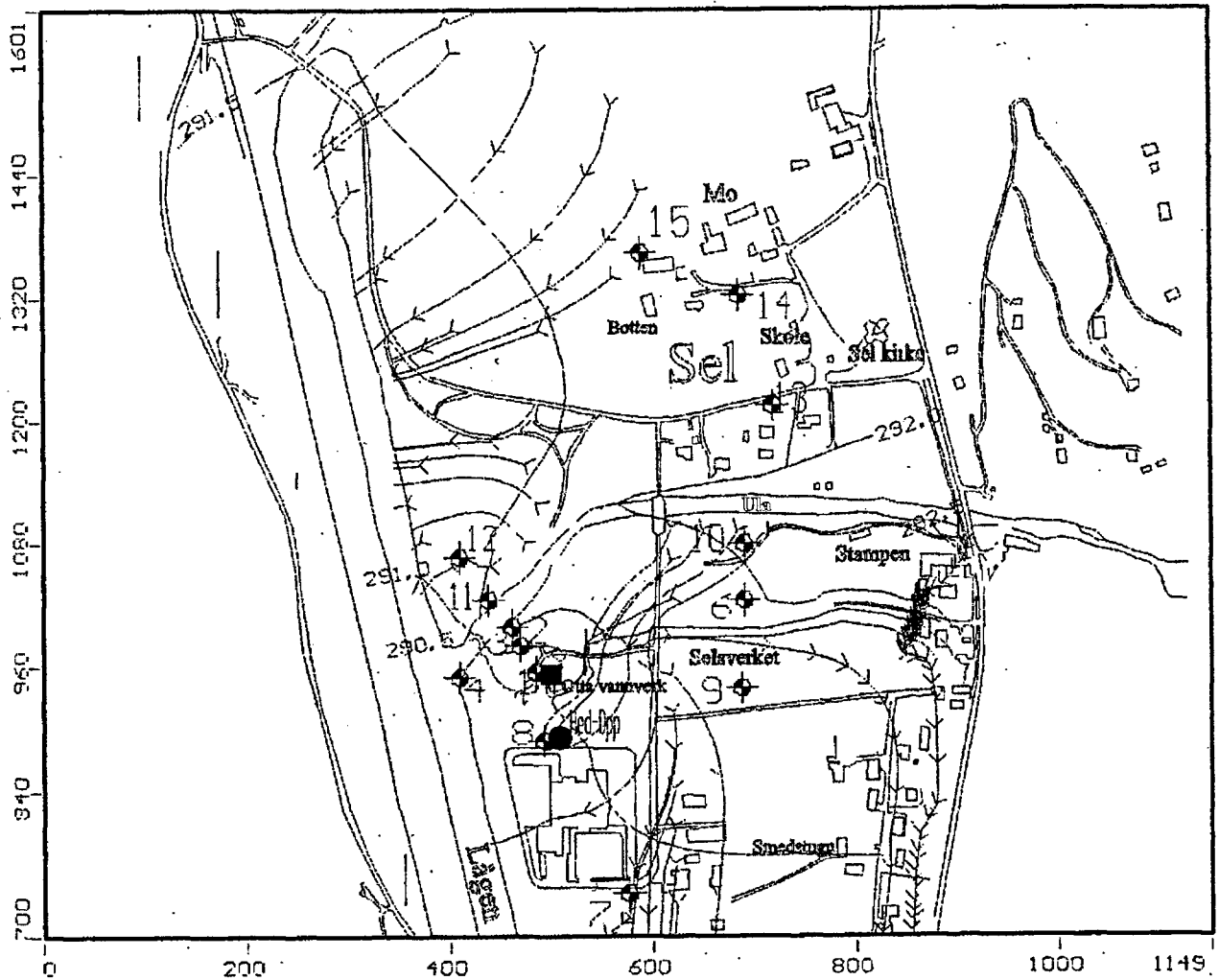
SEL KOMMUNE, OPPLAND

MÅLESTOKK Akseverdier gitt i meter	MÅLT	FEB 1997
	TEGN DAS	MAR 1997
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

KARTBILAG NR
97.095-12

KARTBLAD NR
1718-IV



↔ 10 døgns oppholdstid mellom pilene

■ Otta vannverk

● HED-OPP brønn



STRØMNINGSLINJENE TIL VANN SOM INTRODUSERES I
GRUNNVANNSMAGASINET I OMRÅDER MED GÅRDSDRIFT.
MIDDELS VANNSTAND I LÅGEN

SELSVERKET

SEL KOMMUNE, OPPLAND

MÅLESTOKK

MÅLT

FEB 1997

Akseverdier
gitt i meter

TEGN DAS

MAR 1997

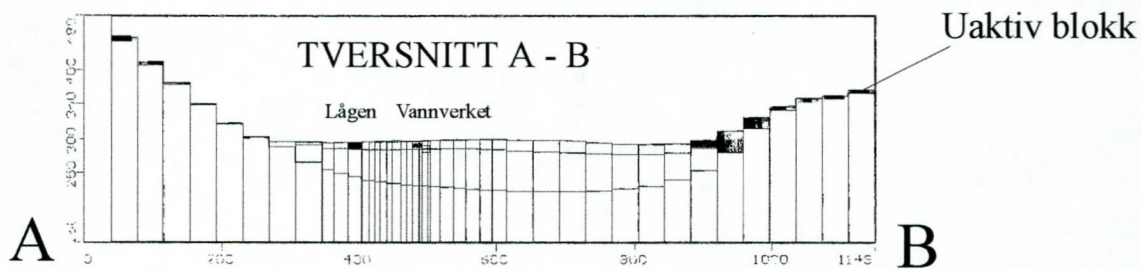
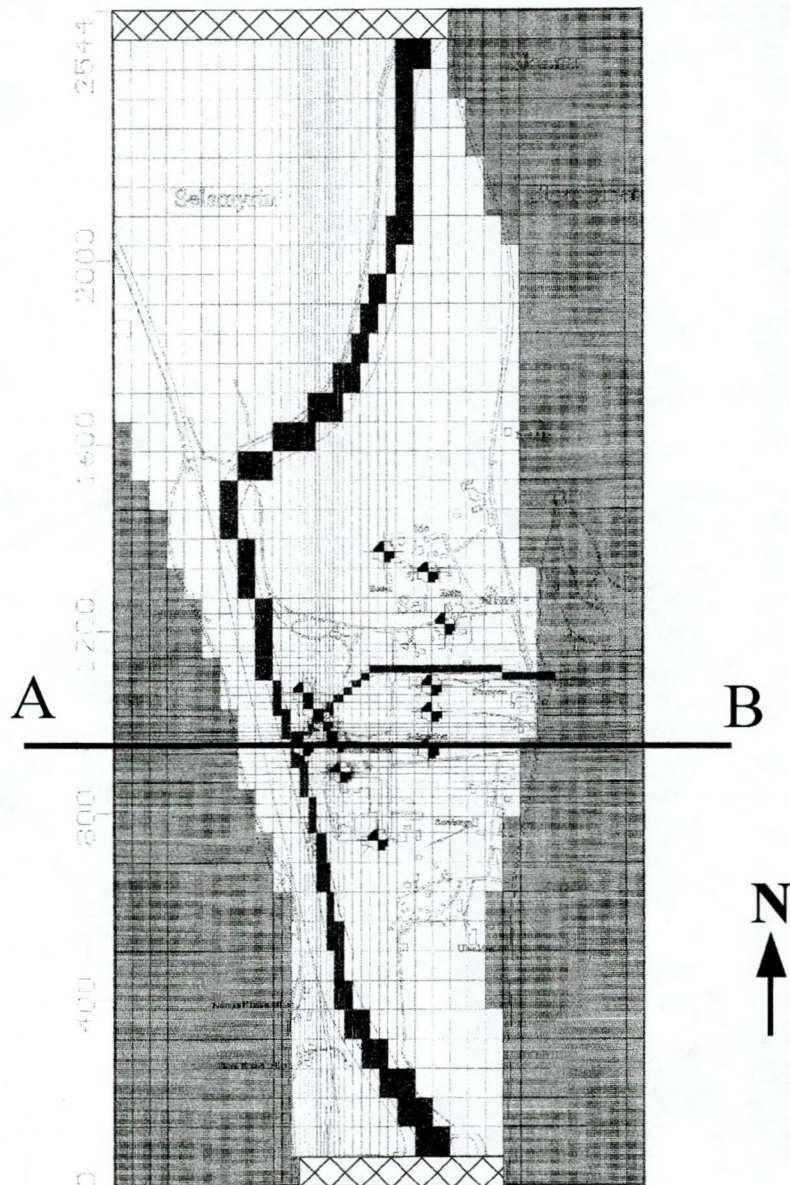
TRAC

KFR

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

KARTBILAG NR
97.095-13

KARTBLAD NR
1718-IV



- Finite-differens blokk
- Blokk som representerer ei elv
- Blokk med konstant trykk
- Uaktiv blokk
- 12 Observasjonsbrønn

FINITE-DIFFERENS GRID

SELSVERKET

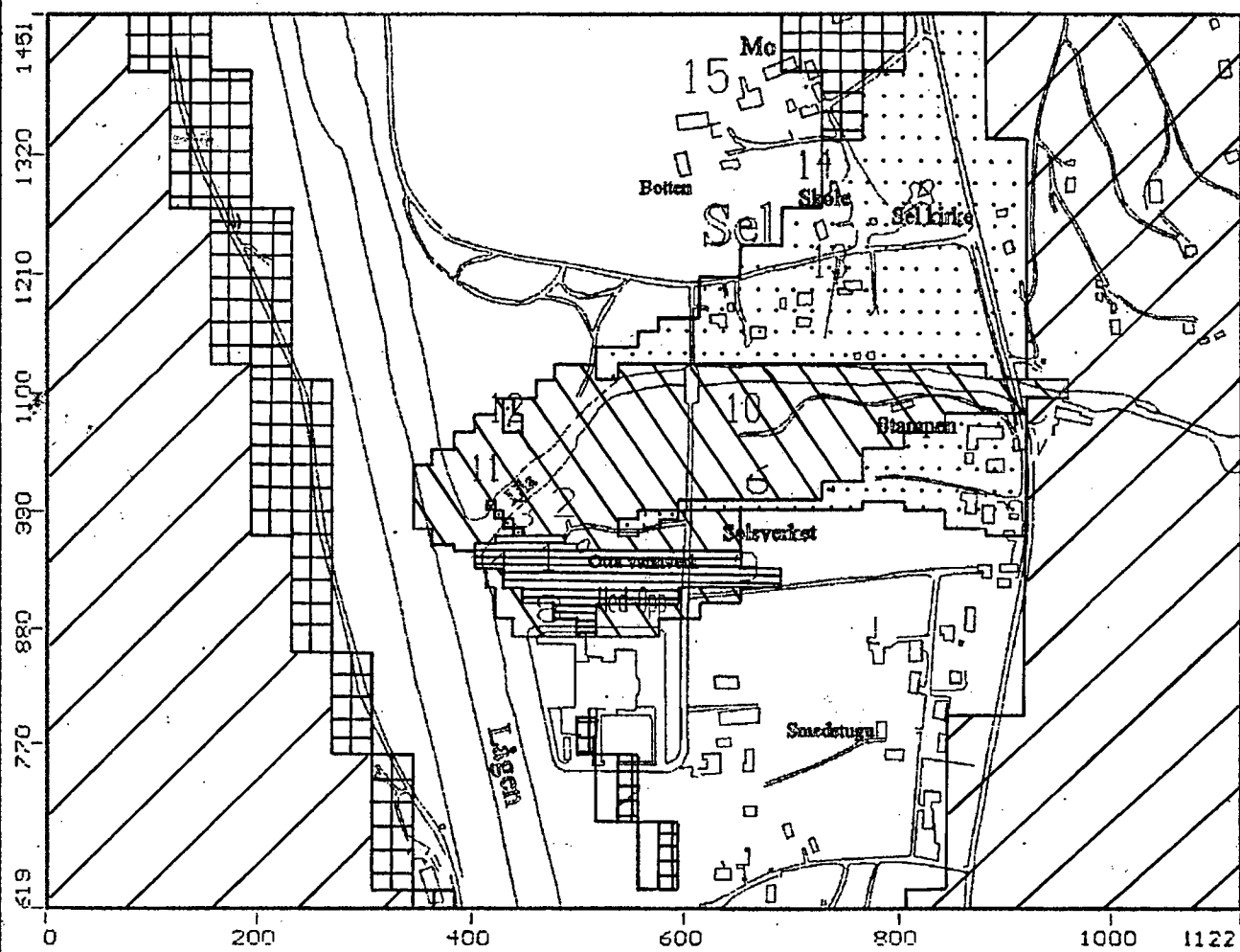
SEL KOMMUNE, OPPLAND



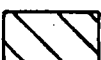

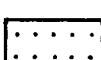
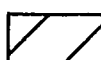
MÅLESTOKK	MÅLT	FEB 1997
	TEGN DAS	MAR 1997
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

KARTBILAG NR
97.095-14

KARTBLAD NR
1718-IV



- | | |
|--|--|
|  $K_h = 250 \text{ m/d}, K_v = 45 \text{ m/d}$ |  $K_h = 350 \text{ m/d}, K_v = 50 \text{ m/d}$ |
|  $K_h = 300 \text{ m/d}, K_v = 40 \text{ m/d}$ |  $K_h = 40 \text{ m/d}, K_v = 8 \text{ m/d}$ |
|  $K_h = 0,12 \text{ m/d}, K_v = 0,05 \text{ m/d}$ |  $K_h = 0,1 \text{ m/d}, K_v = 0,1 \text{ m/d}$ |

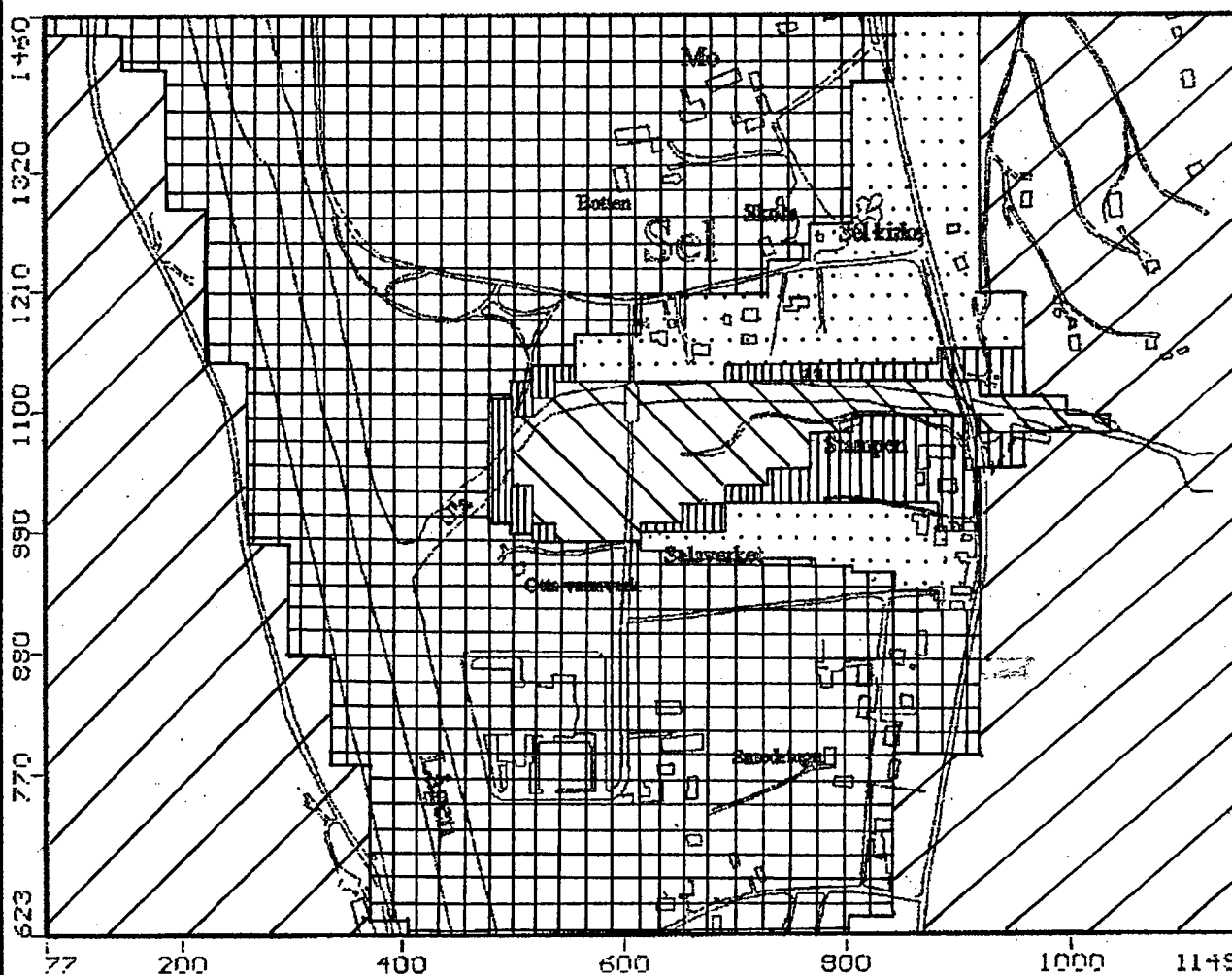
FORDELING AV PERMEABILITET (K_h OG K_v)
 TIL LAG 1
SELSVERKET
 SEL KOMMUNE, OPPLAND






MÅLESTOKK Akseverdier gitt i meter	MÅLT	MAR 1997
	TEGN DAS	SEP 1997
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR
 97.095-15

KARTBLAD NR
 1718-IV



- | | |
|--|--|
|  $K_h = 50 \text{ m/d}, K_v = 10 \text{ m/d}$ |  $K_h = 40 \text{ m/d}, K_v = 8 \text{ m/d}$ |
|  $K_h = 300 \text{ m/d}, K_v = 40 \text{ m/d}$ |  $K_h = 0,1 \text{ m/d}, K_v = 0,1 \text{ m/d}$ |
|  $K_h = 0,12 \text{ m/d}, K_v = 0,05 \text{ m/d}$ | |

FORDELING AV PERMEABILITET (K_h OG K_v)
TIL LAG 2

SELSVERKET

SEL KOMMUNE, OPPLAND

MÅLESTOKK

MÅLT

MAR 1997

Akseverdier
gitt i meter

TEGN DAS

SEP 1997

TRAC

KFR

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

KARTBILAG NR
97.095-16

KARTBLAD NR
1718-IV