


NGU Rapport 2000.054

Grunnvannsundersøkelser for Klæbu nye
vannverk på Fremo i Melhus kommune.

Rapport nr.: 2000.054		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Grunnvannsundersøkelser for Klæbu nye vannverk på Fremo i Melhus kommune. <input type="checkbox"/>			
Forfatter: Gaute Storrø		Oppdragsgiver: Klæbu kommune	
Fylke: Sør-Trøndelag		Kommune: Melhus kommune	
Kartblad (M=1:250.000) Trondheim		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1621-3 Støren	
Forekomstens navn og koordinater: Fremo 57100 701100		Sidetall: 51 Kartbilag: 0	Pris: kr 80,-
Feltarbeid utført: 1999	Rapportdato: 01.05.2000	Prosjektnr.: 261701	Apsvarlig: 
Sammendrag:			
<p>NGU ble i desember 1998 engasjert av Klæbu kommune for utredning av grunnvanns-magasinet på Fremo, med tanke på utnyttelse av dette som en fremtidig hovedvannkilde for kommunen. Målsettingen for det gjennomførte prosjektet var å klarlegge grunnvannets kvantitet og kvalitet i den lokalitet som er valgt ut for etablering av nytt hovedvannverk for Klæbu kommune.</p> <p>De kvantitative/kvalitative forhold er kartlagt gjennom etablering av en fullskala produksjonsbrønn og langtidsprøvepumping av denne. Det konkluderes med at grunnvannsforekomsten på Fremo har et uttakspotensiale som med meget god margin dekker det dimensjonerende vannbehov for et nytt hovedvannverk for Klæbu kommune. Utfra de foreliggende analysedata konkluderes det videre med at grunnvannsforekomsten på Fremo, til tross for noe høye verdier for kalsium og alkalitet, har en vannkvalitet som gjør forekomsten meget velegnet for etablering av et nytt hovedvannverk for Klæbu kommune.</p>			
Emneord: Hydrogeologi	Vannforsyning	Vannverk stort	
Prøvepumping	Kjemiske analyser	Løsmasse	
Fagrapport			

INNHOOLD

1. INNLEDNING	4
2. MÅLSETTING	4
3. RESULTATER	4
3.1 Hydrauliske forhold.....	5
3.2 Vannkvalitet	6
3.3 Brønnutforming, oppholdstid og arealklausulering	8
4. KONKLUSJON	9
REFERANSER	10

FIGURER

1. Oversiktskart for Fremo – Klæbu – Melhus-området.
2. Oversiktskart for området ved Klæbu nye vannverk.
3. Brønndimensjonering Fremo.
4. Grunnvannstand ved Fremo vannverk og vannstand i Langvatnet 1984 – 1999.
5. Vertikalprofil gjennom grunnvannsmagasinet på Fremo.
6. Grunnvannskotekart for Fremo-området.
7. Vannmengde og vannstand i produksjonsbrønn og vannstand i observasjonsbrønner.
8. Kotekart for grunnvannspeil.
9. Vannmengde fra brønn, temperatur, grunnvannstand og ledningsevne.
10. Vannkjemi under langtidsprøvepumping.
11. Vannkjemi under langtidsprøvepumping.
12. Vannkjemi under langtidsprøvepumping.
13. Forslag til utforming av beskyttelsessoner.
14. Kalsittmetning som funksjon av vanntemperatur.

VEDLEGG

1. Oppholdstidsberegninger.
2. Beregning av brønndimensjonering.
- 3.1 - 3.5 Tabeller for kjemiske analysedata.

1. INNLEDNING

NGU ble i desember 1998 engasjert av Klæbu kommune for utredning av grunnvannsmagasinet på Fremo, med tanke på utnyttelse av dette som en fremtidig hovedvannkilde for kommunen. NGU konkluderte allerede i statusrapport datert 15.05.1999, etter 2 måneders prøvepumping, med at grunnvannsforekomsten på Fremo har et uttakspotensiale og en vannkvalitet som gjør forekomsten meget velegnet for etablering av et nytt hovedvannverk for Klæbu kommune. Formelt vedtak i kommunen om at dette skal være fremtidig hovedvannkilde for Klæbu kommune, ble fattet bl.a. med bakgrunn i denne statusrapporten.

Fremo-området, i mange sammenhenger også benevnt Kaldvella-området, har helt siden slutten av 1800-tallet vært i naturforskerenes søkelys, blant annet p.g.a. Langvatnet som "merkelig nok er uden noget Afløb" og Kaldvellsbekken som "gik ned i grunden saa Elveleiet var aldeles tørt paa en Strekning af henved 300 m" (sitater etter Friis, J. P., 1898). I moderne tid startet hydrogeologiske undersøkelser i dette området for alvor opp i 1983. Ulike prosjekter har pågått gjennom hele 80- og 90-tallet og det mest omfattende studiet er presentert i Storrø, G., 1990. I tillegg foreligger viktige data fra driften av Fremo vannverk, som ble startet opp i 1992, hvor driftsansvarlig Ole Bjørseth har vært den sentrale datakilden.

Med bakgrunn i de foran omtalte prosjekter er Fremo-området, ved siden av Gardermoen-området på Romeriket, trolig det grunnvannsmagasin i Norge som er best kartlagt med hensyn til hydrogeologiske og hydrogeokjemiske forhold. Disse basiskunnskapene er benyttet i den rapporten som her fremlegges, uten at det i detalj er gitt referanser til kilden for kunnskapene. Rapporten gir ingen beskrivelse av de generelle geologiske og hydrogeologiske forhold i Fremo-området, idet dette antas å være tilstrekkelig dokumentert i de rapporter og publikasjoner som er anført i referanselisten.

2. MÅLSETTING

Målsettingen for det gjennomførte prosjektet er å klarlegge grunnvannets kvantitet og kvalitet i den lokalitet (figur 1 og 2) som er valgt ut for etablering av nytt hovedvannverk for Klæbu kommune. De kvantitative/kvalitative forhold er kartlagt gjennom etablering av en fullskala produksjonsbrønn og langtidsprøvepumping av denne.

3. RESULTATER

En generell illustrasjon av grunnvannsforholdene i Fremoområdet er vist i figurene 5 og 6. Grunnvannsstrømmen følger dalretningen og går med stadig økende gradient fra NØ mot SV. Ved Langvatnet ligger grunnvannsspeilet ca 20 m under terrengoverflaten mens dypet øker til ca 40 m lengst i SV ved Fremo-gårdene. I områdene NØ for Langvatnet finnes ingen observasjonsbrønner for registrering av grunnvannstand. Grunnvannsspeilets beliggenhet i dette området er derfor usikker. I tidligere modeller (Storrø 1990) har det vært antatt at et grunnvannsskille er sammenfallende med den store moreneryggen lengst NØ i området. Nye data fra georadarmålinger indikerer at dette skillet kan ligge lengre mot SØ, ca der hvor produksjonsbrønnen for Klæbu nye vannverk er etablert, slik som vist i figurene 5 og 6. Dette vil innebære at grunnvannsstrømmen går mot NØ i den nordøstre del av området. Det understrekes at grunnvannssituasjonen i de nordøstre områdene, slik den er fremstilt i figur 6 og 7, er basert på en modell med forholdsvis usikre/ufullstendige data. En sikker klarlegging

av strømningsforholdene i dette området kan kun oppnås gjennom etablering av nye observasjonsbrønner.

Brønn for langtidsprøvepumping samt observasjonsbrønner (h.h.v. PB og OBS1-5 i figur 2) ble etablert i tidsrommet 05.01. – 17.02.1999. Dimensjonering av produksjonsbrønnen (PB) er vist i figur 3 og bakgrunnen for den valgte dimensjoneringen er gitt i vedlegg 2. Prøvepumpingen ble startet opp 24.02.1999 og løp tilnærmet kontinuerlig, kun med meget korte avbrudd, frem til 03.09.1999. Oppumpet vann ble kjørt i avløp til Langvatnet i perioden 25.02 – 01.03.99 og i avløp til Kaldvellbekken (500 m sør for PB) i den resterende del av prøvepumpingsperioden.

3.1 Hydrauliske forhold

Data for grunnvannstand ved Fremo vannverk og vannstand i Langvatnet i perioden 1984-99 er vist i figur 4. Grunnvannstanden var unormalt lav i hele 1999 (gjennomsnittlig 2.5 m lavere enn medianverdien for perioden 1985-1999) p.g.a. en forholdsvis nedbørfattig vinter i 1998/99 (85 % av normalverdien) samt forholdsvis høye temperaturer med mye regn og snøsmelting gjennom vinterperioden (data fra DNMI-stasjon 6827 Løkmyr). Dette var et heldig sammentreff for prøvepumpingen idet magasintestingene dermed skjedde under maksimalt ugunstig vannstand i grunnvannsmagasinet.

I brønnområdet for Klæbu nye vannverk (PB) ligger den naturlige grunnvannstanden systematisk 3.8 m høyere enn ved Fremo vannverk. Medianvannstand i PB for perioden 1985-1999 er da $(162.1 + 3.8)$ moh = 165.9 moh. Laveste registrerte vannstand i PB under prøvepumpingen i 1999 er 161.9 moh (figur 7), d.v.s. 4 m under medianvannstand. Som vist i figur 3 ligger overkanten av brønnfilteret på nivå 156 moh, slik at det selv ved den unormalt lave magasinvannstanden i 1999 er god klaring (ca 6 m) mellom vannstanden i brønnen og toppen av filteret. Dette innebærer at det kan tillates en 5-6 m større vannstandssenkning i PB enn det som ble oppnådd under prøvepumpingen. Den totale produksjonskapasiteten for den aktuelle brønnen ligger derfor, selv i et unormalt tørt år, godt over de 50 l/s som ble tatt ut under prøvepumpingen. **Det konkluderes derfor med at grunnvannsførekosten på Fremo har et uttakspotensiale som med meget god margin dekker det dimensjonerende vannbehov for et nytt hovedvannverk for Klæbu kommune.**

Ved oppstart av langtidsprøvepumpingen den 25.02.99 senkes vannstanden i PB umiddelbart med 2 m (figur 7). I OBS5, som ligger kun 3 m fra PB, senkes vannstanden med 0.6-0.7 m. I de øvrige observasjonsbrønnene (OBS 1 – 4) regisseres en liten (0.1 – 0.2 m) og noe tidforsinket senkning. Etter denne initielle senkningen observeres nær sagt identiske endringsforløp for grunnvannstanden i alle observasjonspunkter (parallele vannstandskurver i hele perioden fra mars til september). Dette viser at vannstanden i grunnvannsmagasinet innstiller seg på en ny likevekt meget raskt etter oppstarten av prøvepumpingen. Etter denne initielle senkningsfasen observeres kun naturlige endringer i grunnvannstanden, i første rekke som følge av vår- og høstflom. Vårflommen gir en økning i grunnvannstanden på 1.5 m i alle observasjonspunkter, mens tilsvarende tall for høstflommen er 0.6 – 0.7 m. Middeltall for vannstandsøkning under vårflom for perioden 1985 – 1999 er 3.4 m (figur 4).

I forbindelse med kortvarige stopp i prøvepumpingen (strømbrudd o.l) observeres en momentan vannstandsstigning av størrelsesorden 1.5 m i PB. Denne effekten observeres også i OBS 5.

Med bakgrunn i dataene for vannstandssenkning i de ulike observasjonspunkter (PB og OBS 1 – 5) er det, ved hjelp av standard kurvetolkningsmetoder (Cooper & Jacob, 1946), beregnet en transmissivitet (T) for magasinet på $T = 3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Med en vannmettet magasinshøyde på 23 m gir dette en midlere hydraulisk konduktivitet (K) for magasinet på $K = 1.3 \times 10^{-3} \text{ m/s}$. Hydraulisk konduktivitet er et mål for magasinets ”vanngjennomstrømningskapasitet”. Den gitte K-verdien innebærer at den maksimalt oppnåelige vannstrømning gjennom et kvadratmeter stort utsnitt av magasinet er $Q_{\text{max}} = 1.3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 1.3 \text{ l/s}$, hvilket må betegnes som en høy verdi.

Ved samme type kurvetolking som omtalt i foranstående avsnitt er magasinets storativitet (S), som i denne sammenheng er tilnærmet det samme som effektiv porøsitet, beregnet til $S = 5 - 15 \%$. Dette innebærer at den drenerbare vannmengden i et magasinivolum på 1 m^3 er 50 – 150 liter.

Endringene i grunnvannstand under prøvepumpingen er illustrert i form av grunnvannskotekart i figur 8. Figur 8a viser naturlig tilstand før oppstart av prøvepumpingen mens figurene 8 b og c viser situasjonen etter 14 døgns pumping med et konstant vannuttak på 47 l/s (d.v.s. et samlet vannuttak på 57.000 m^3). Figurene illustrerer en tydelig traktformet avsenkning av grunnvannsspeilet rundt PB. P.g.a. at grunnvannets hovedstrømningsretning går fra NØ mot SV så får trakten et steilt forløp mot NØ (oppstrøms) og et slakere forløp mot SV (nedstrøms). Grunnvannsgradienten (helningen på vannspeilet) fra OBS4 til PB er 0.05 (50 mm/m) i kontrast til den midlere gradienten SV for PB på 0.003 (3 mm/m).

Figur 8d viser netto senkning av grunnvannsspeilet som følge av vannuttaket. Avstanden fra PB til nullsenkningslinjen er 7-800 m mot SV og anslagsvis 4-500 m mot NØ. Nullsenkningslinjen benyttes gjerne som et orienterende utgangspunkt for å bestemme yttergrensen for beskyttelsessone II (jfr SIFF 1987, se også vedlegg 1).

3.2 Vannkvalitet

En sammenstilling av vannmengde pumpet fra PB, grunnvannstand i PB samt temperatur og ledningsevne for vann pumpet fra PB er vist i figur 9. Grunnvannstemperaturen øker fra $4.8 \text{ }^\circ\text{C}$ til $5.4 \text{ }^\circ\text{C}$ under den innledende del av prøvepumpingen, trolig som følge av økt tilførsel av dyptliggende grunnvann. Gjennom den øvrige del av prøvepumpingsperioden faller grunnvannstemperaturen jevnt og ser ut til å stabilisere seg på ca $5.0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Grunnvannstemperaturen endres kun minimalt (anslagsvis $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$) som følge av vår- og høstflom, hvilket gjenspeiler en betydelig oppholdstid fra infiltrasjon av nedbør/smeltevann finner sted til infiltrasjonsvannet når ned til grunnvannsmagasinet. Dette er en naturlig følge av den store mektigheten av den umettede sonen innenfor hele tilsigsfeltet ($>20 \text{ m}$).

Den elektriske ledningsevnen gjenspeiler det totale innholdet av løste ioner (salter/mineraler) i grunnvannet. Grunnvannet fra PB har en forholdsvis høy ledningsevne ($0.18\text{-}0.23 \text{ mS/cm}$), i første rekke p.g.a. høyt innhold av kalsium (Ca) og bikarbonat (HCO_3). Ledningsevnen avtar gradvis gjennom prøvepumpingsperioden og ser ut til å stabilisere seg på ca 0.2 mS/cm . En ekstra topp i ledningsevnen oppstår i siste halvdel av april. Dette er forårsaket av at salt ble tilsatt grunnvannet i OBS5 i samband med et sporforsøk (se nærmere omtale i avsnitt 3.3).

Det observeres ingen klare endringer i grunnvannets ledningsevne i tilknytning til vår- og høstflom, noe som igjen dokumenterer en betydelig oppholdstid for nedbør/smeltevann som infiltreres. De aller fleste store grunnvannsverk i Norge er lokalisert på elvesletter i

tilknytning til større vassdrag, og ved stordelen av disse observeres en tydelig reduksjon i grunnvannets temperatur og ledningsevne i tilknytning til vår- og høstflom.

Resultater fra uorganisk-kjemiske og bakteriologiske analyser av vannprøver fra PB er vist i grafiske fremstillinger i figur 10 – 12. Vannprøver er tatt ut ukentlig gjennom hele perioden fra 03.03.99 til 08.11.99. Resultatene er presentert i tabellform i vedlegg 3.1 – 3.5.

Grunnvannet har et kalsiuminnhold på 33-43 mg/l, hvilket er noe høyere enn den veiledende max.-verdien som er angitt i drikkevannsforskriften (25 mg/l). Høyt kalsiuminnhold gjenspeiler høyt kalkinnhold i bergartene og løsmassene i området, samt en relativt lang oppholdstid for grunnvannet i undergrunnen. Høye kalsiumkonsentrasjoner kan gi dårlig skummeffekt på såper (hardt vann) og kan også medføre kalkutfellinger i rørsystemer, varmtvannsbereder m.v. Høyt kalsiuminnhold i drikkevann blir betraktet som positivt utfra helsemessige vurderinger.

Utfra den kjemiske sammensetningen av vannet kan det gjøres teoretiske beregninger for i hvilken grad vannet er mettet med hensyn til kalsitt (CaCO_3). En slik beregning er vist i figur 14 hvor metningsgraden (AP CaCO_3) er plottet mot temperatur. Figuren viser at grunnvannet fra Fremo i utgangspunktet (ca 5 °C) er svakt overmettet på kalsitt, mens en oppvarming av vannet opp mot 80 °C gir en gradvis økende overmetning. Dette indikerer at en utfelling av kalsitt kan finne sted ved oppvarming av vannet, for eksempel i oppvaskmaskiner og varmtvannsberedere.

Kalsiumkonsentrasjonen avtar systematisk gjennom hele prøvepumpingsperioden, fra en initiell verdi på 43 mg/l til en verdi på 36 mg/l etter 8 måneders pumping. Reduksjonen antas å skyldes at grunnvannsuttaget bevirker en raskere gjennomstrømning av grunnvann i magasinet og dermed en redusert oppløsning av kalkmineraler. Den 15.10.99 ble det gjort et forsøk hvor de nederste 10 m av brønnfilteret ble blendet av med en gummimansjett samtidig som vannuttaket ble redusert til 15 l/s. Bakgrunnen for dette var at kalsiuminnholdet i grunnvannet ved Fremo vannverk er betydelig lavere (15-20) enn kalsiuminnholdet i PB. PB er boret ca 10 m dypere enn brønnen ved Fremo vannverk slik at det ble antatt at det høye kalsiuminnholdet i PB kunne skyldes tilførsel av kalkrikt grunnvann fra de dypere liggende deler av magasinet. Som vist i figur 10 medførte forsøket at kalsiumkonsentrasjonen ble redusert fra 36 mg/l til 34 mg/l. Det konkluderes med at en avblending av de dypeste deler av PB ikke gir noen vesentlig reduksjon i kalsiumkonsentrasjonen.

Grunnvannet har en alkalitet på 1.9 – 2.2 mmol/l (figur 11), hvilket er noe høyere enn den veiledende max.-verdien som er angitt i drikkevannsforskriften (1.0 mmol/l). Alkaliteten er ”motpolen” til kalsium slik at i de aller fleste sammenhenger vil høyt kalsiuminnhold også innebære høy alkalitet. Forholdet illustreres ved at grafene for kalsium og alkalitet viser nærmest identiske forløp. Alkaliteten avtar gradvis fra en initiell verdi på 2.2 mmol/l til en verdi på 1.9 mmol/l etter 8 måneders prøvepumping.

Analysene viser at grunnvannet fra PB tilfredsstiller kravene i drikkevannsforskriften med god margin når det gjelder konsentrasjoner av magnesium, natrium, kalium, sulfat, nitrat og klorid (figur 10 – 12). Det samme gjelder for jern, mangan og en lang rekke andre metaller, hvor analyseresultatene kun er presentert i tabellform (vedlegg 1.1 – 1.5). Grunnvannet viser meget gunstige tall for pH (8.1 – 8.2) og turbiditet (0.1 – 0.3 F.T.U.).

Det er overhodet ikke påvist koliforme bakterier i grunnvannet gjennom prøvepumpingsperioden (vedlegg 1.1 – 1.5). Enkeltprøver viser noe forhøyet totalinnhold av bakterier (kimtall), uten at disse overskrider normverdiene i drikkevannsforskriften (100 pr. ml).

Utfra de foreliggende analysedata konkluderes det med at grunnvannsforekomsten på Fremo, til tross for noe høye verdier for kalsium og alkalitet, har en vannkvalitet som gjør forekomsten meget velegnet for etablering av et nytt hovedvannverk for Klæbu kommune.

3.3 Brønnutforming, oppholdstid og arealklausulering

I tidsrommet 22. – 23.04.99 ble det utført et sporforsøk på Fremo for å klarlegge strømningshastigheten for grunnvannet inn mot PB. Det ble injisert en løsning av koksalt i OBS5 (figur 2), 4.8 m nord for PB, og ankomsttidspunktet for denne saltpulsen ble registrert ved kontinuerlig måling av elektrisk ledningsevne for grunnvannet i PB. Forsøket og resultatene er nærmere beskrevet i vedlegg 1.

Undersøkelsene viser at ved et konstant grunnvannsuttak av størrelse 50 l/s vil den teoretiske linjen for 60 døgn oppholdstid ligge med en radius på ca 100 rundt produksjonsbrønnen(e). Med bakgrunn i dette er yttergrense for beskyttelsessone I i figur 13 definert med en radius på 100 m. Hovedstrømningen i området går fra NØ mot SV og det er derfor lagt inn en sikkerhetsfaktor på 2 slik at yttergrensen for sone I mot NØ legges med en radius på 200 m.

Det ble også utført et sporforsøk hvor sporstoff ble injisert i OBS2 ved Langvatnet, 110 m NV for PB (figur 2). Sporstoffet kunne ikke gjenfinnes i PB og det konkluderes med at det ikke foregår noen strømning av grunnvann fra området ved OBS2 mot PB. Dette har mest sannsynlig sin forklaring i at Langvatnet er det sentrale området for nydannelse av grunnvann innen grunnvannsmagasinet på Fremo. I et slikt område må grunnvannsstrømningen nødvendigvis ha en vesentlig komponent som er rettet vertikalt mot de dypere liggende deler av magasinet. Sporstoffet som ble satt ut i OBS2 har derfor blitt ført såvidt dypt ned i magasinet at det ikke kunne fanges opp av senkningstrakten rundt PB. Dette viser også at sannsynligheten for transport av eventuelle forurensningsstoffer fra området ved OBS2 inn mot PB er meget liten.

For praktisk drift av grunnvannsanlegget (vedlikehold m.m.) bør det etableres 2 grunnvannsbrønner. Ved planlegging av utbyggingen vil det også være fornuftig å ”reservere” plass for en eventuell tredje brønn. Det foreslås at brønnene plasseres i en likesidet trekant med 50 m lange sidekanter, som vist i figur 13. Brønnen som ble etablert i forbindelse med prøvepumpingen vil da utgjøre det sørvestre hjørnet i trekanten. De to nye brønnene gis samme utforming som den eksisterende brønnen. Brønnområdet gjerdes inn i en radius på 50 m rundt sentrum av brønntrekanten og dette definerer beskyttelsessone 0.

Sikringssonene II og III er i første rekke definert for å ivareta en særskilt saksbehandling ved eventuelle planer om endringer i arealbruk innenfor disse områdene.

Med henvisning til SIFF 1987 side 14-17 vil det innenfor sone 0 kun tillates aktiviteter som er nødvendige for vannverkets drift. For sone I er det påpekt at følgende restriksjoner kan være aktuelle;

-Forbud mot bakkeplanering eller uttak av løsmasser ned til nærmere enn 3 m fra høyeste

grunnvannsnivå

- Forbud mot etablering av infiltrasjonsanlegg
- Ny bebyggelse tillates kun unntaksvis og da med spesielle løsninger for avløp etc.
- Lagring av olje, oljeprodukter og andre potensielle forurensningsstoffer begrenses til det som eventuelt er nødvendig for vannverkets drift
- Forbud mot deponering av avfall, slam og lignende og normalt også forbud mot avløpsledninger
- Jordbruksdrift minimaliseres så langt som mulig
- Bruk av plantevernmidler kan bare skje etter tillatelse fra helsemyndighetene etter samråd med landbruksmyndighetene
- Skogbruksdrift kan foregå uten nærmere restriksjoner forutsatt at aktiviteten ikke kommer i konflikt med de restriksjoner som ellers er påpekt

De restriksjoner som er anført for sone I vil også kunne være aktuelle for sone II, men omfanget av eventuelle restriksjoner vil være betydelig mindre.

Mandat for detaljutforming av restriksjoner knyttet til de ulike sonene tilligger de lokale helsemyndighetene.

4. KONKLUSJON

Det konkluderes med at grunnvannsforekomsten på Fremo har et uttakspotensiale som med meget god margin dekker det dimensjonerende vannbehov for et nytt hovedvannverk for Klæbu kommune. Utfra de foreliggende analysedata konkluderes det videre med at grunnvannsforekomsten på Fremo, til tross for noe høye verdier for kalsium og alkalitet, har en vannkvalitet som gjør forekomsten meget velegnet for etablering av et nytt hovedvannverk for Klæbu kommune.

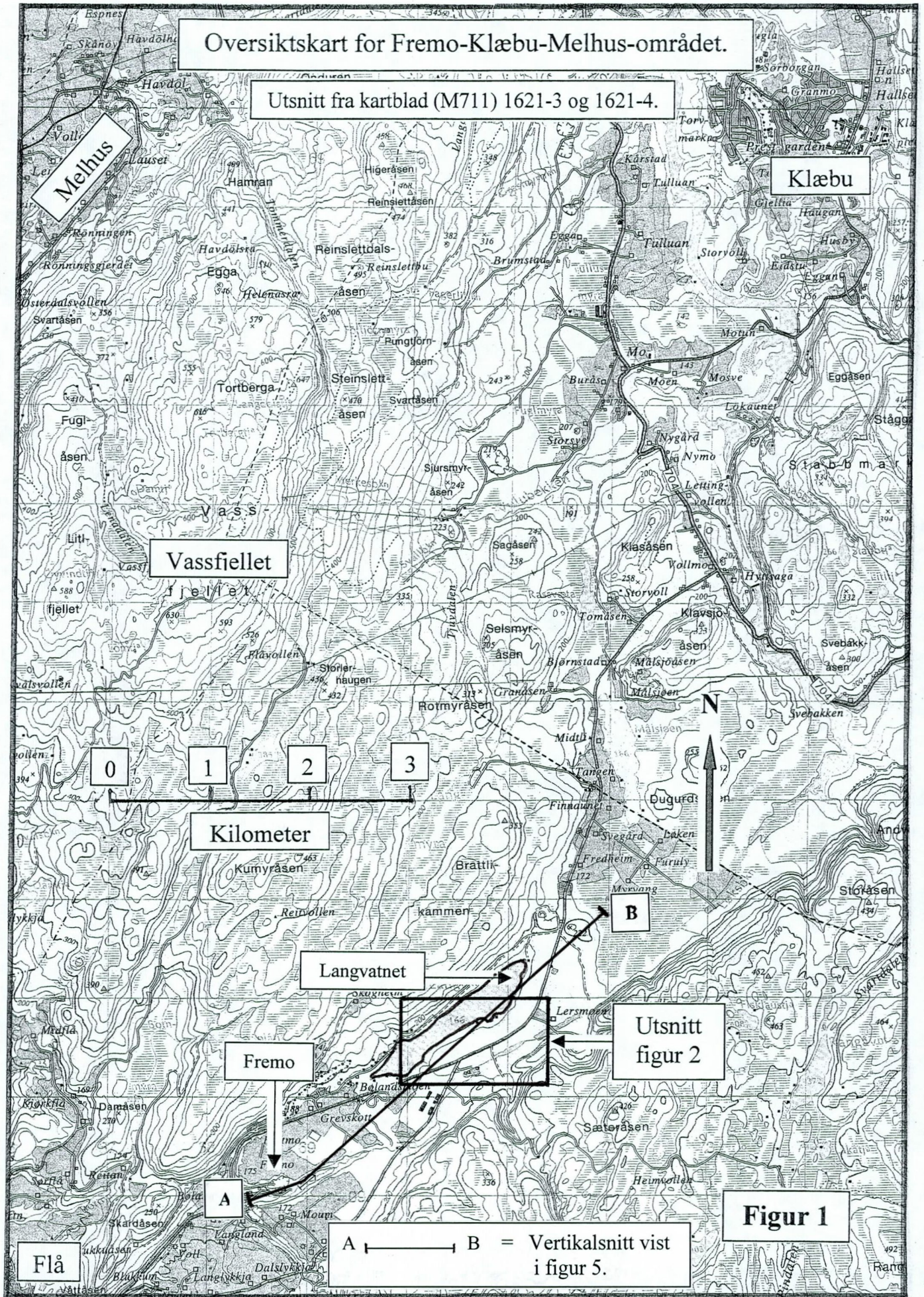
REFERANSER

- Andersen, A. B., 1979: "Hydrogeologiske undersøkelser i Kaldvellafeltet". Hovedoppgave i ingeniørgeologi, Geologisk institutt, Bergavdelingen, NTH.
- Andersen, A. B. & Rueslåtten, H. G., 1982: "The geology of Kaldvelladalen". Holarctic Ecology 5, Copenhagen.
- Andersen, A. B., 1985: "Grunnvannsundersøkelser i Kaldvelladalen, Melhus kommune". Nor. geol. unders. rapp. 85.006.
- Cooper, H. H. & Jacob, C. E., 1946: "A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history". Transaction American Geophysical Union vol. 27.
- Friis, J. P., 1898: "Terrænundersøkelser og Jordboringer i Størdalen, Værdalen og Guldalen samt i Trondhjem i 1894, 95 og 96." Nor. geol. unders. rapp. 27.
- Morland, G., 1988: "Hydrogeologiske undersøkelser i Kaldvellafeltet med vekt på grunnvannskjemi". Hovedoppgave i ingeniørgeologi, Geologisk institutt, Bergavdelingen, NTH.
- SIFF, 1987: "Beskyttelse av grunnvannskilder". SIFF veiledningshefte A3.
- Sindre, A., 1976: "Seismiske grunnundersøkelser i Kaldvelladalen, Melhus, Sør-Trøndelag". Nor. geol. unders. rapp. 1518.
- Storrø, G., 1987: "Grunnvannsundersøkelser i Kaldvelladalen, Melhus kommune. Sluttrapport". Nor. geol. unders. rapp. 87.109.
- Storrø, G., 1990: "Hydrokjemi, hydrologi og geologi i Kaldvellafeltet; et feltstudium med hovedvekt på grunnvannskjemi". Dr.ing.-avhandling 1990:54, NTH.

Figurer

Oversiktskart for Fremo-Klæbu-Melhus-området.

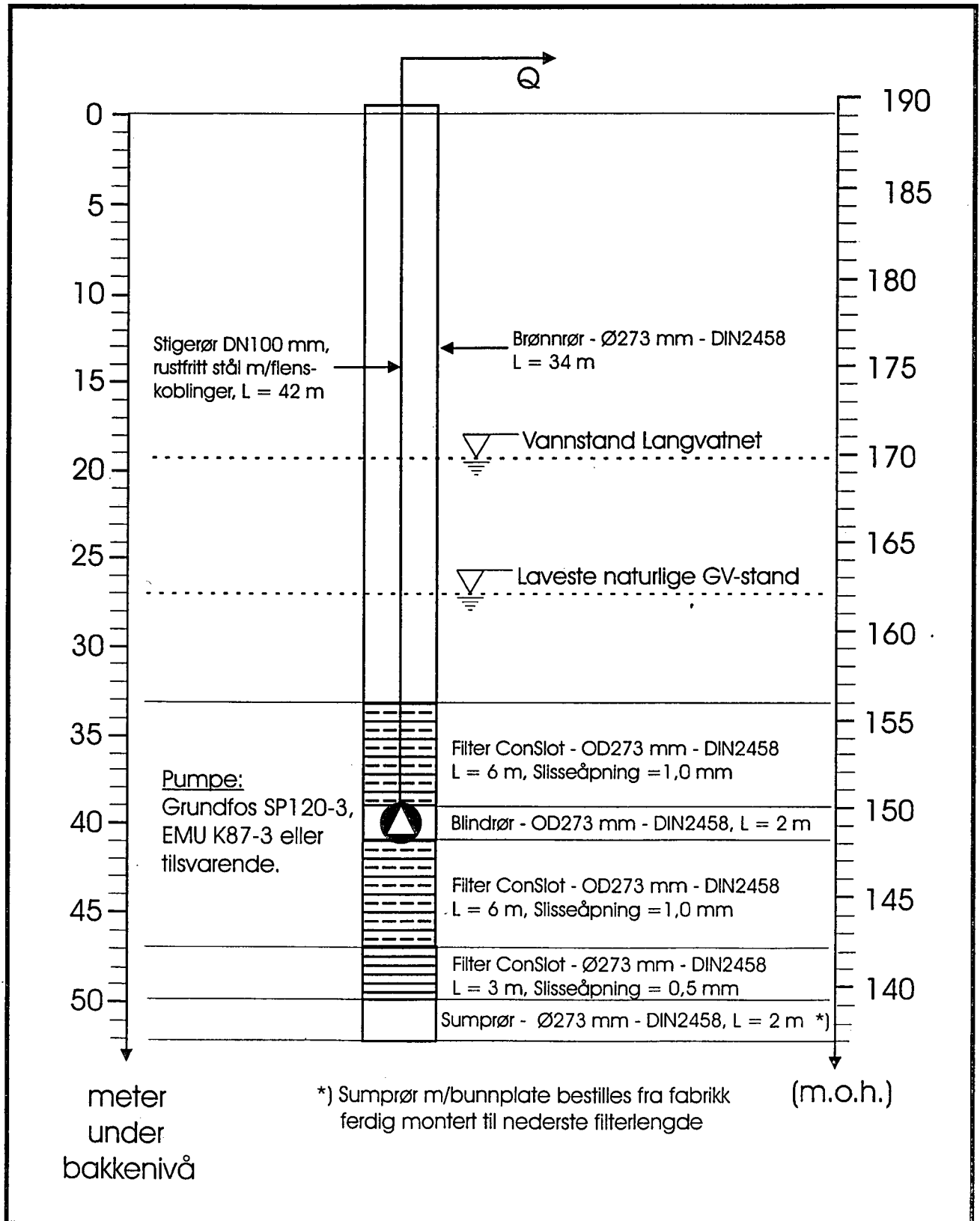
Utsnitt fra kartblad (M711) 1621-3 og 1621-4.



Figur 1

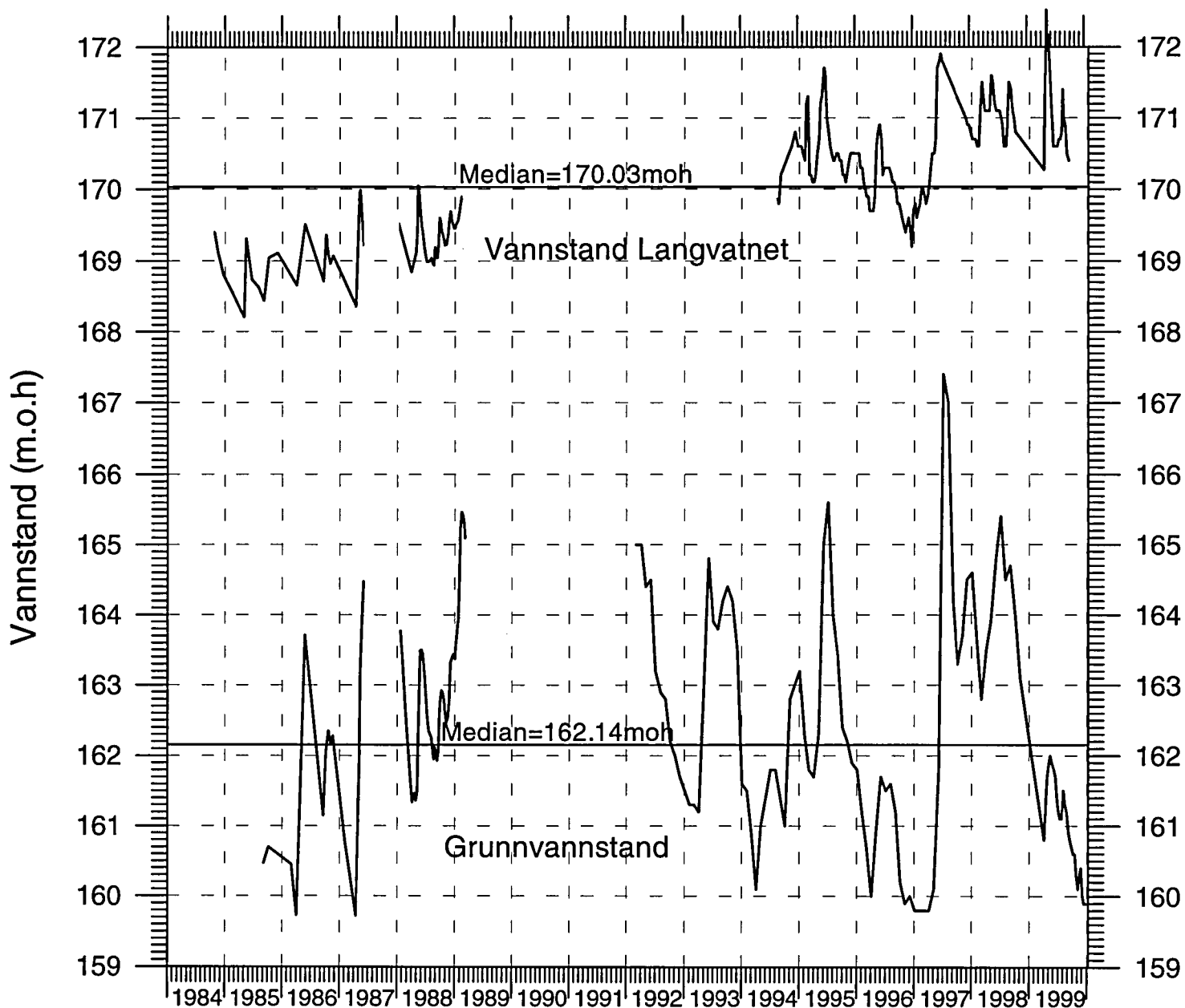
A — B = Vertikalsnitt vist i figur 5.

Brønndimensjonering - Fremo



Figur 3

Grunnvannstand ved Fremo vannverk og vannstand i Langvatnet 1984 - 1999.



C:\GAMMELPC\MSOFFICE\EXCEL\KALDVELLA\GVTOT03.GRF

Data for perioden 1984 - 1989:

Storrø, G., 1990: "Hydrokjemii, hydrologi og hydrogeologi i Kaldvellfeltet". Dr.ing. avhandling 1990:54 - NTH.

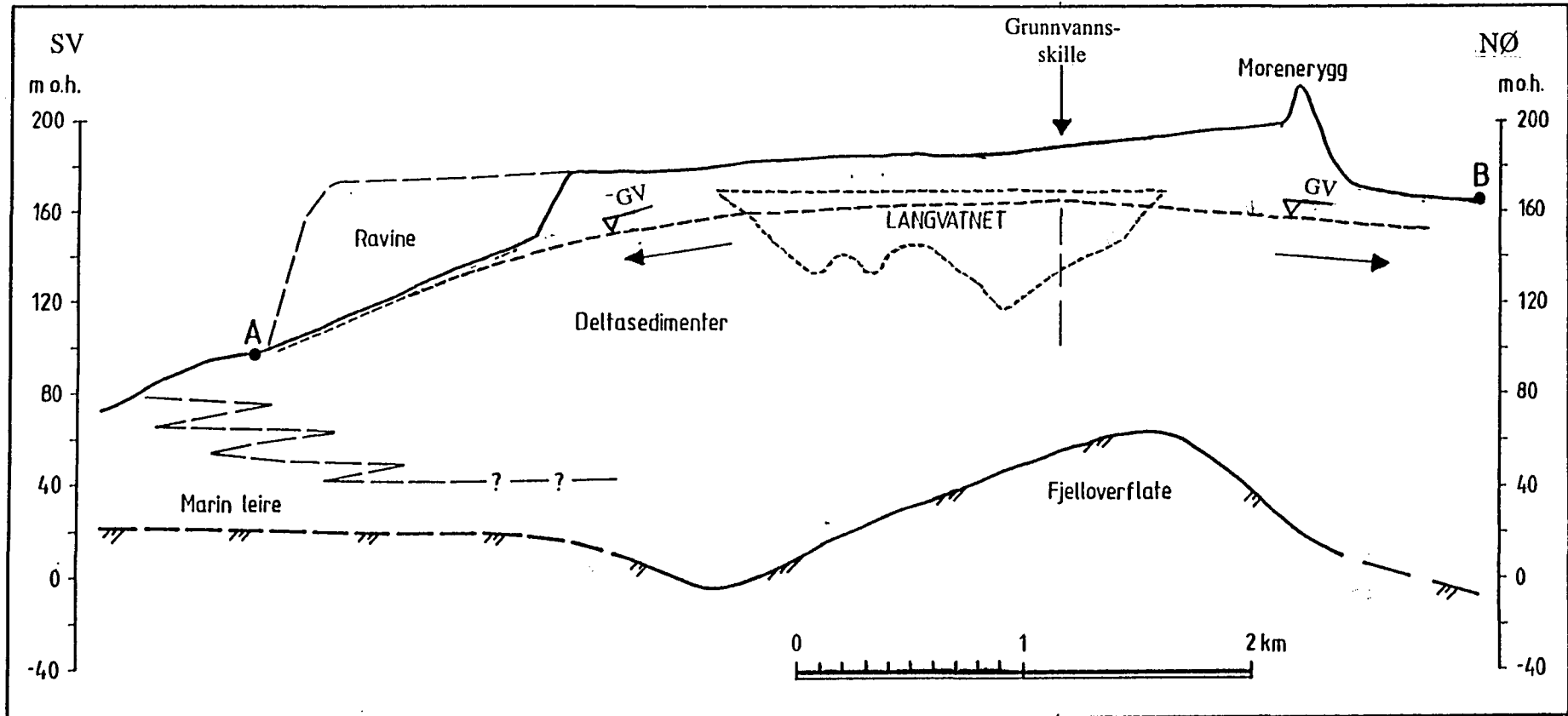
Data for perioden 1992 - 1999:

Bjørseth, O., 1998: "Vannstandsdata ved Fremo vannverk".

Figur 4

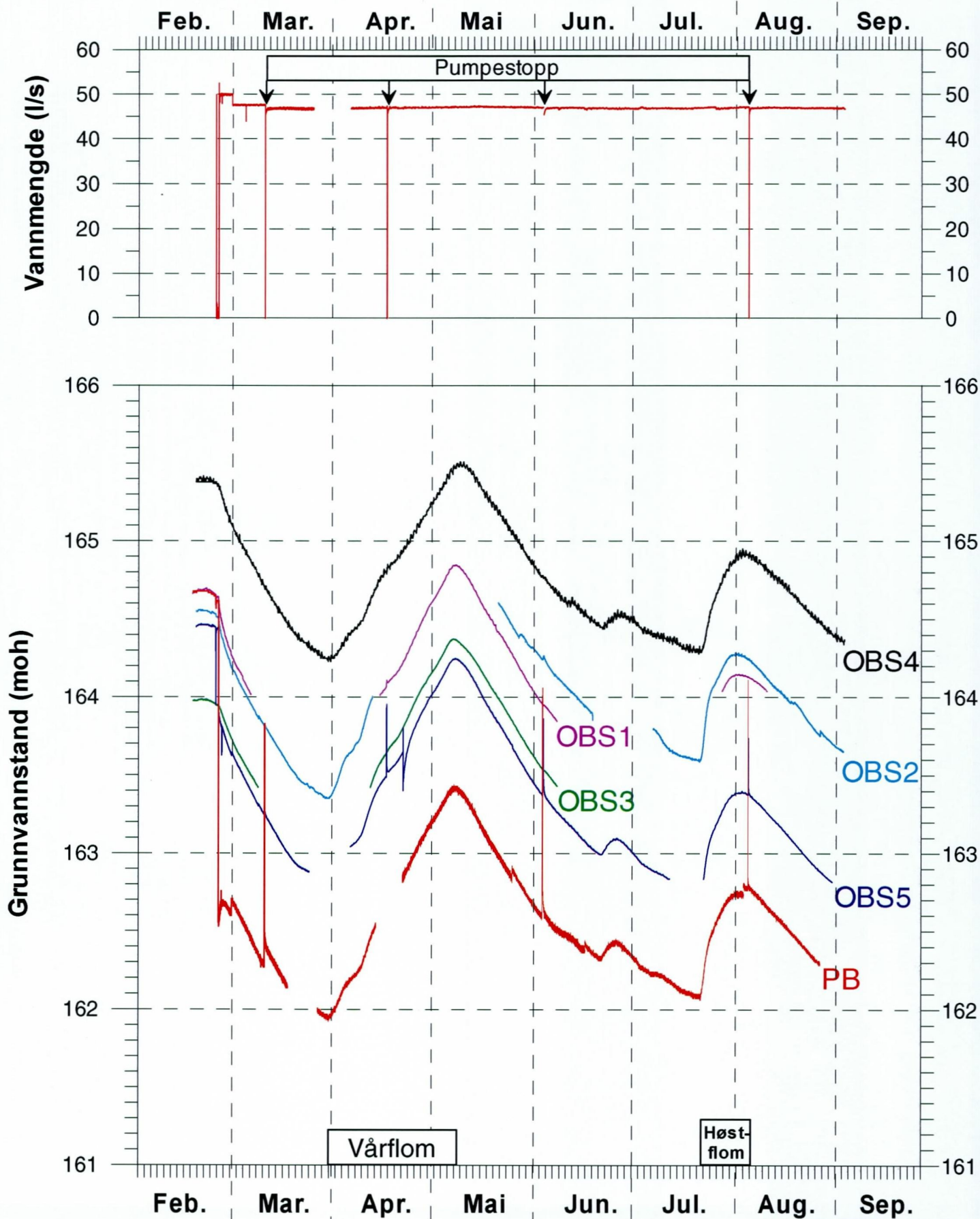
Vertikalprofil gjennom grunnvannsmagasin på Fremo, Melhus kommune.

(Profilets beliggenhet er vist i figur 1)



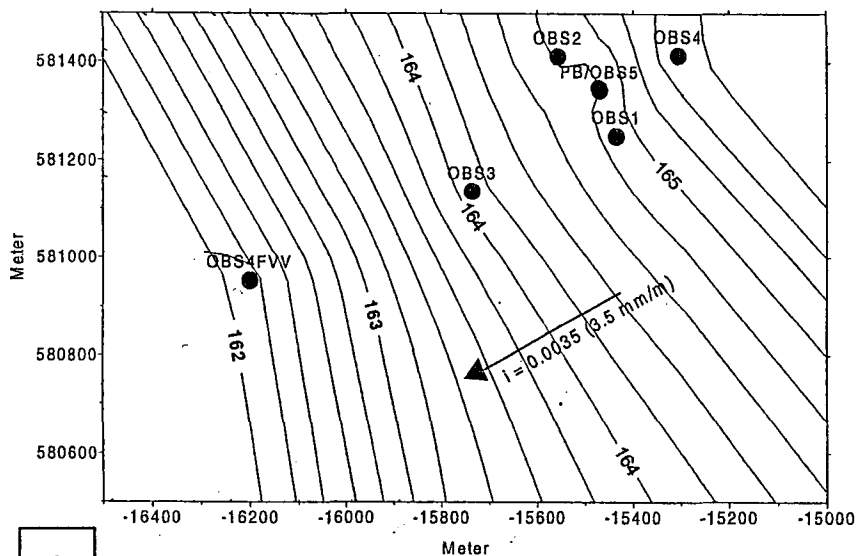
Figur 5

Vannmengde og vannstand i produksjonsbrønn (PB) samt vannstand i observasjonsbrønner (OBS1 - 5) under langtidsprøvepumping på Fremo.



Figur 7

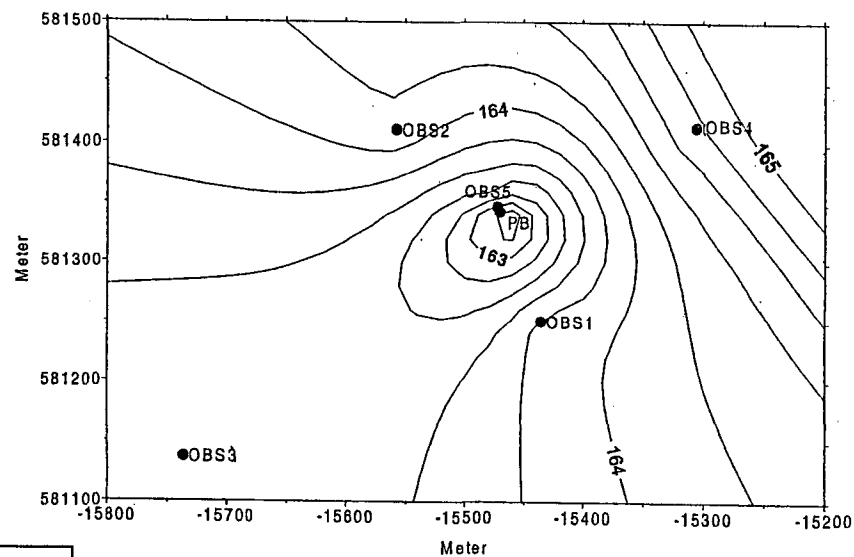
Naturlig grunnvannspeil Fremo 23/02/99, før pumpestart.
Kotehøyder = m.o.h. Ekvidistanse = 0.2 meter



a

FREGRI1.SRF

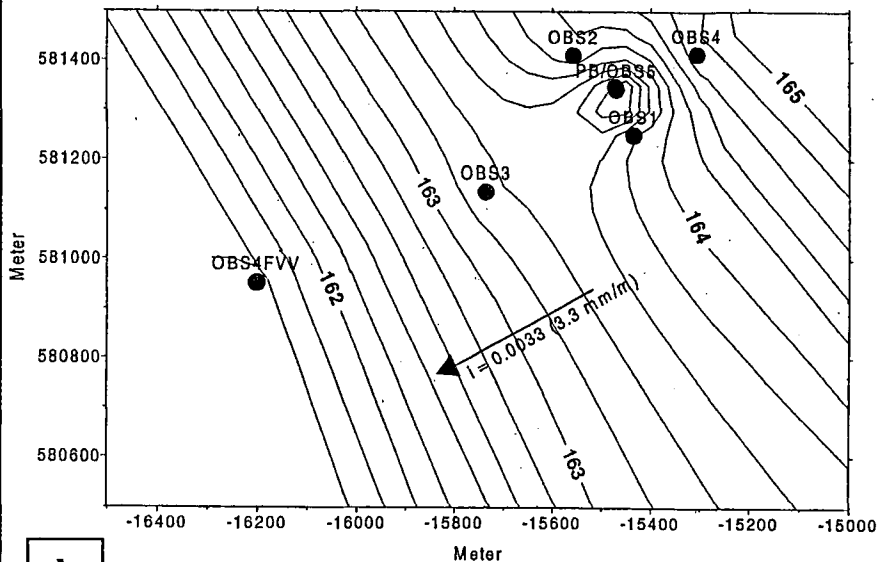
Detaljutsnitt av grunnvannspeil Fremo 09/03/99, 14 døgn etter pumpestart, Q = 47 l/s.
Kotehøyder = m.o.h. Ekvidistanse = 0.2 meter



c

FREGRI05.SRF

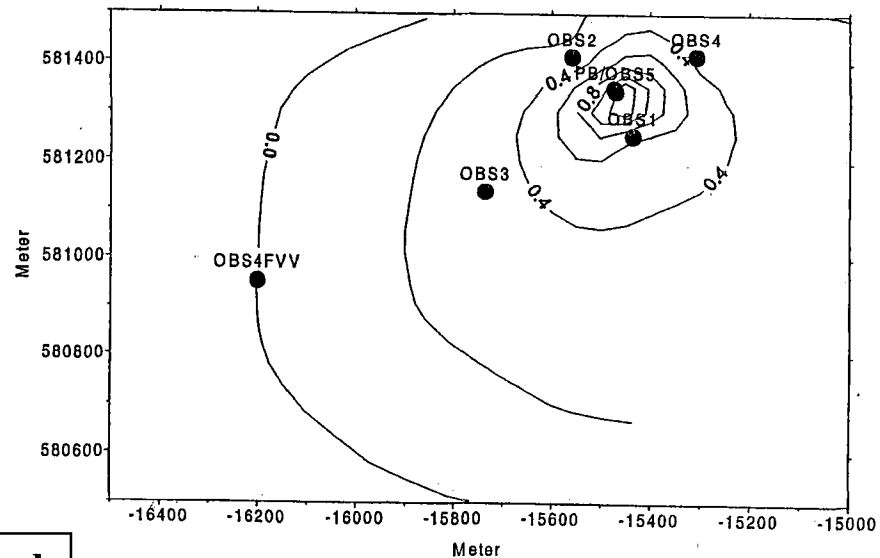
Grunnvannspeil Fremo 09/03/99, 14 døgn etter pumpestart, Q = 47 l/s.
Kotehøyder = m.o.h. Ekvidistanse = 0.2 meter



b

FREGRI02.SRF

Netto senkning av grunnvannspeil Fremo i løpet av 14 døgns pumping (23/02-09/03/99), Q = 47 l/s.
Netto senkning = total senkning - naturbetinget senkning (NS), NS = 0.02 m/døgn, Ekvidistanse = 0.2 meter



d

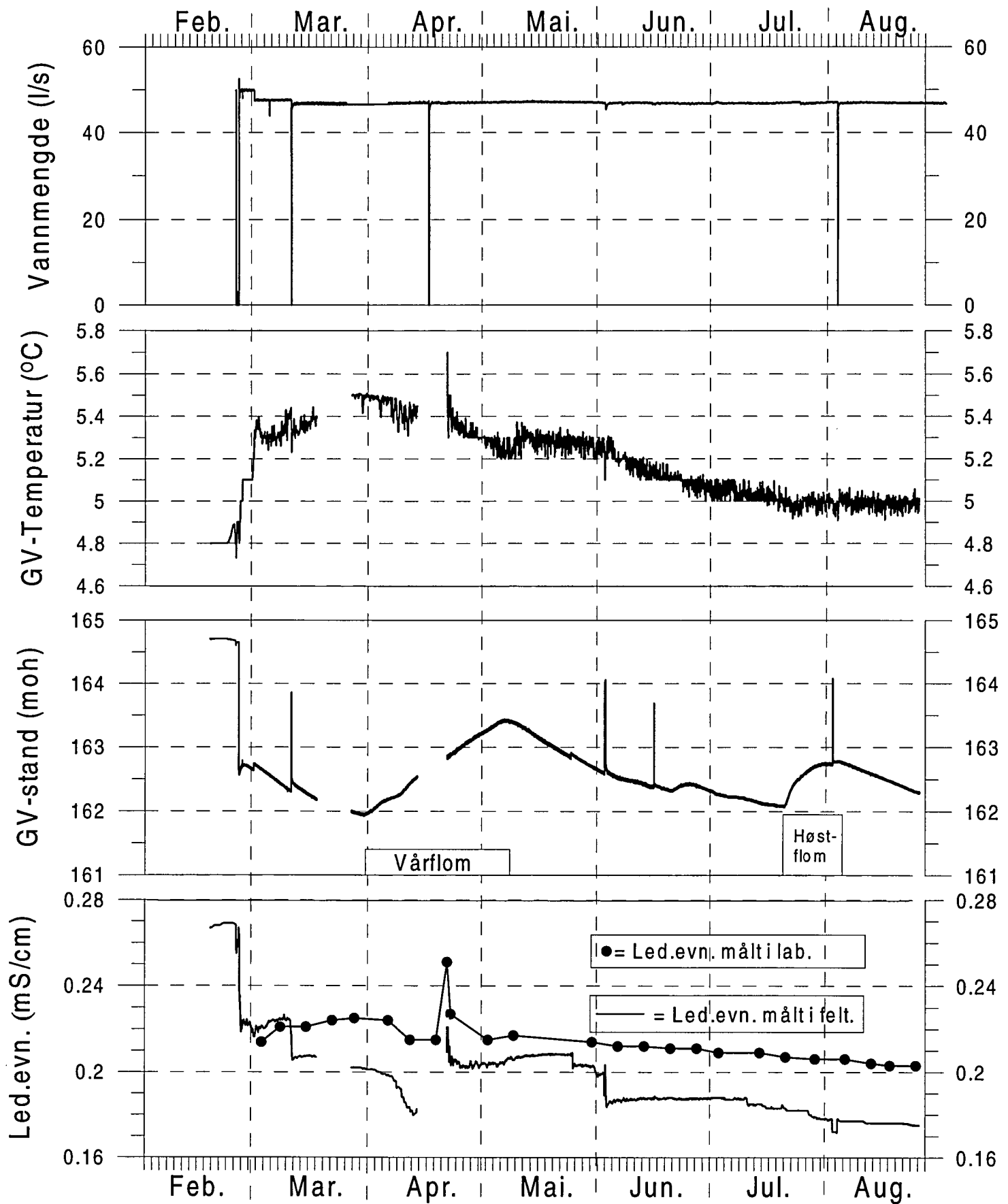
FREGRI04.SRF

Kotekart for naturlig grunnvannsspeil før pumpestart (a), kotekart 14 døgn etter pumpestart (b og c) samt kotekart for netto senkning av grunnvannsspeil etter 14 døgns pumping. OBS4FVV = Observasjonsbrønn ved Fremo vannverk.

Figur 8



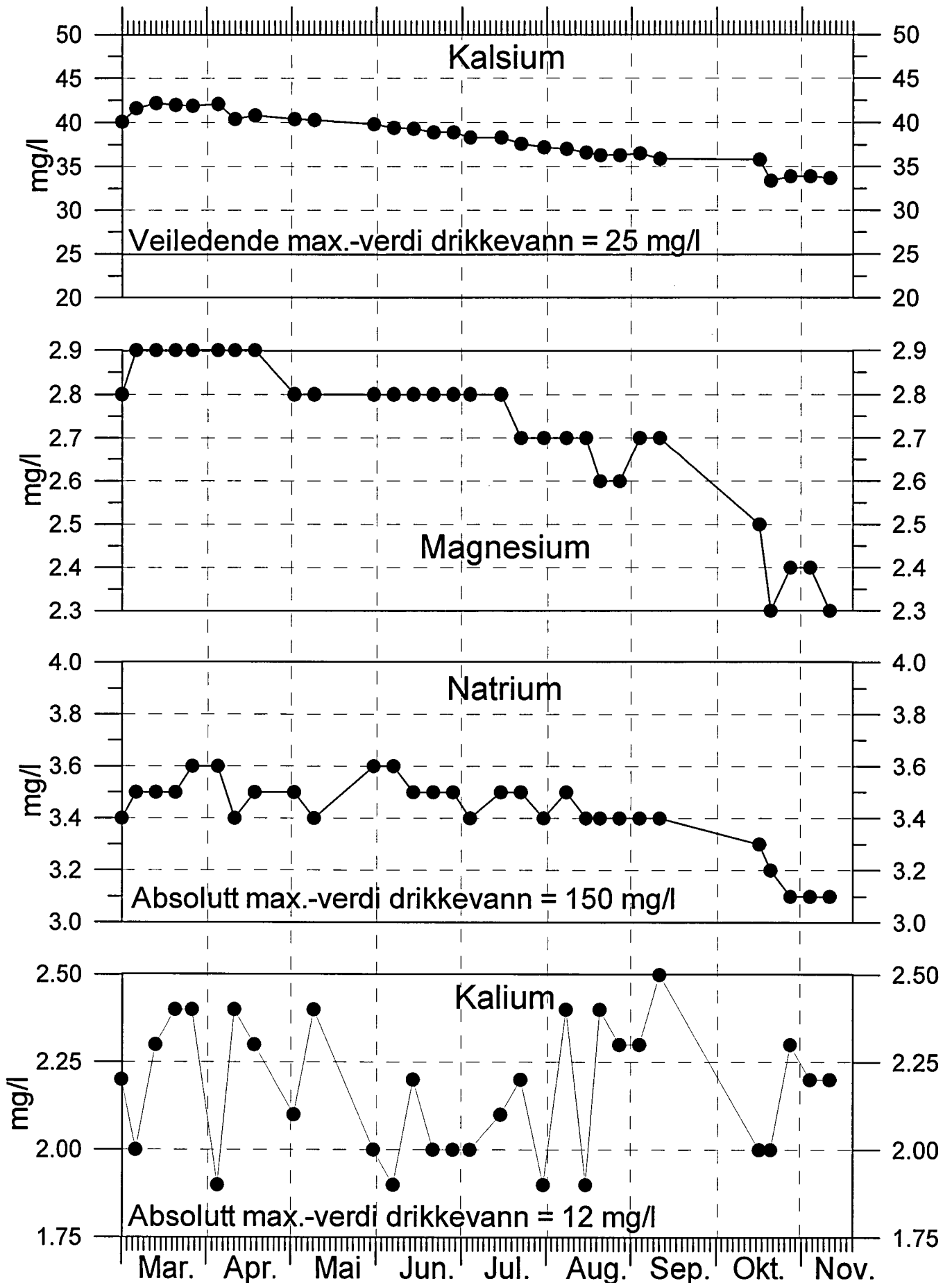
Vannmengde fra brønn, temperatur, grunnvannstand og ledningsevne under langtidsprøvepumping på Fremo.



1999

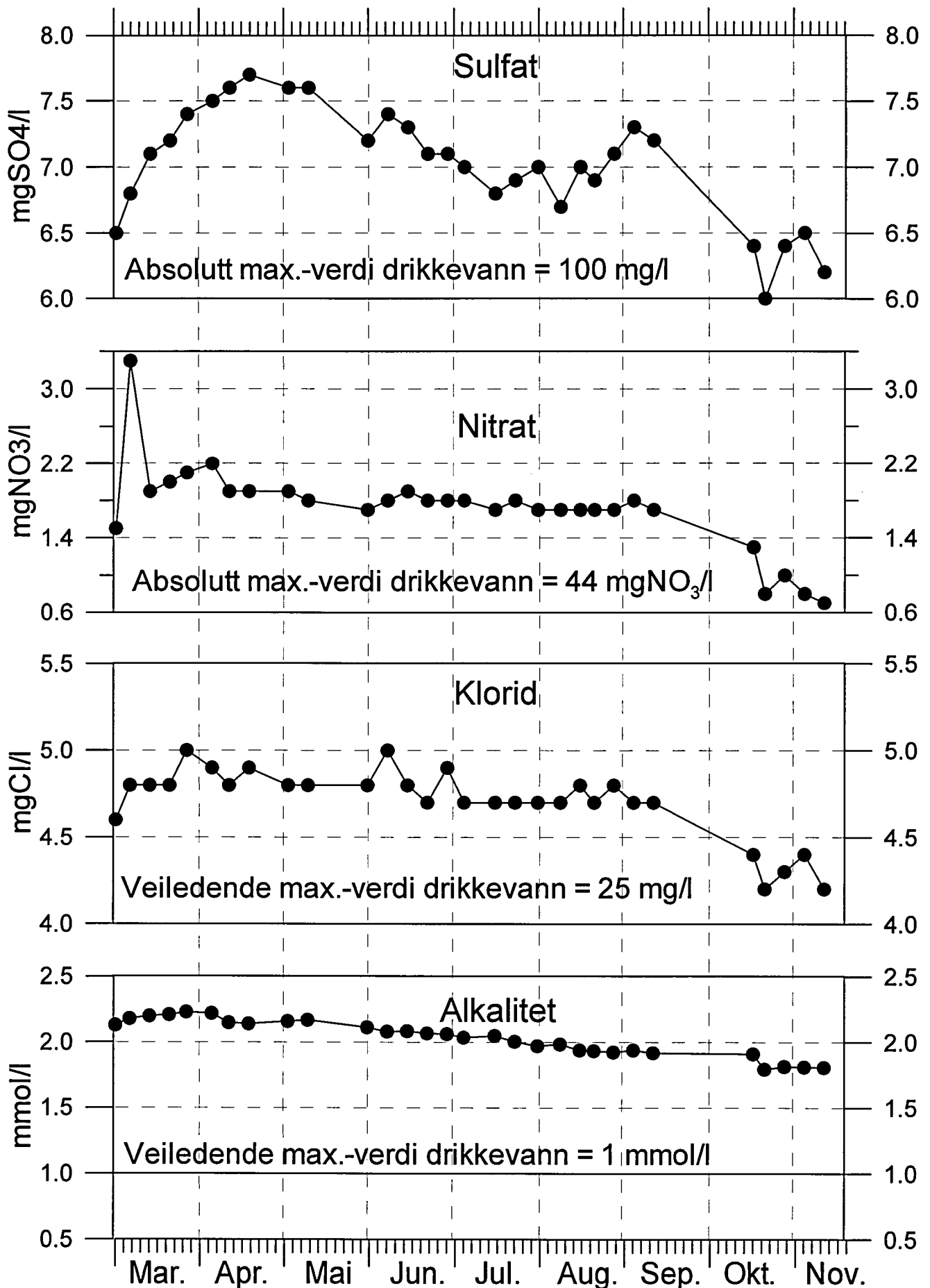
Figur 9

Vannkemi langtidsprøvepumping Fremo.

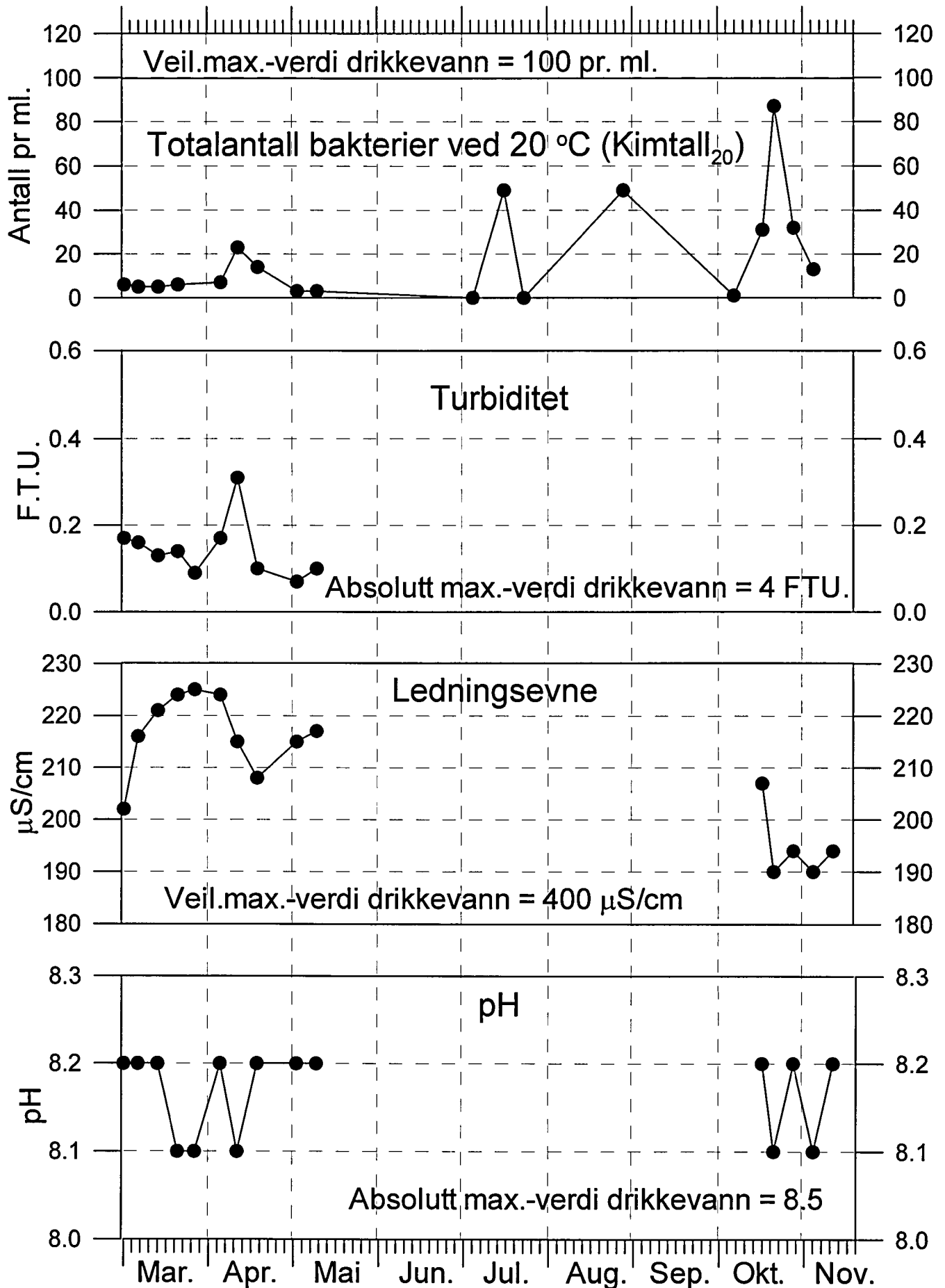


Figur 10

Vannkjemi langtidsprøvepumping Fremo

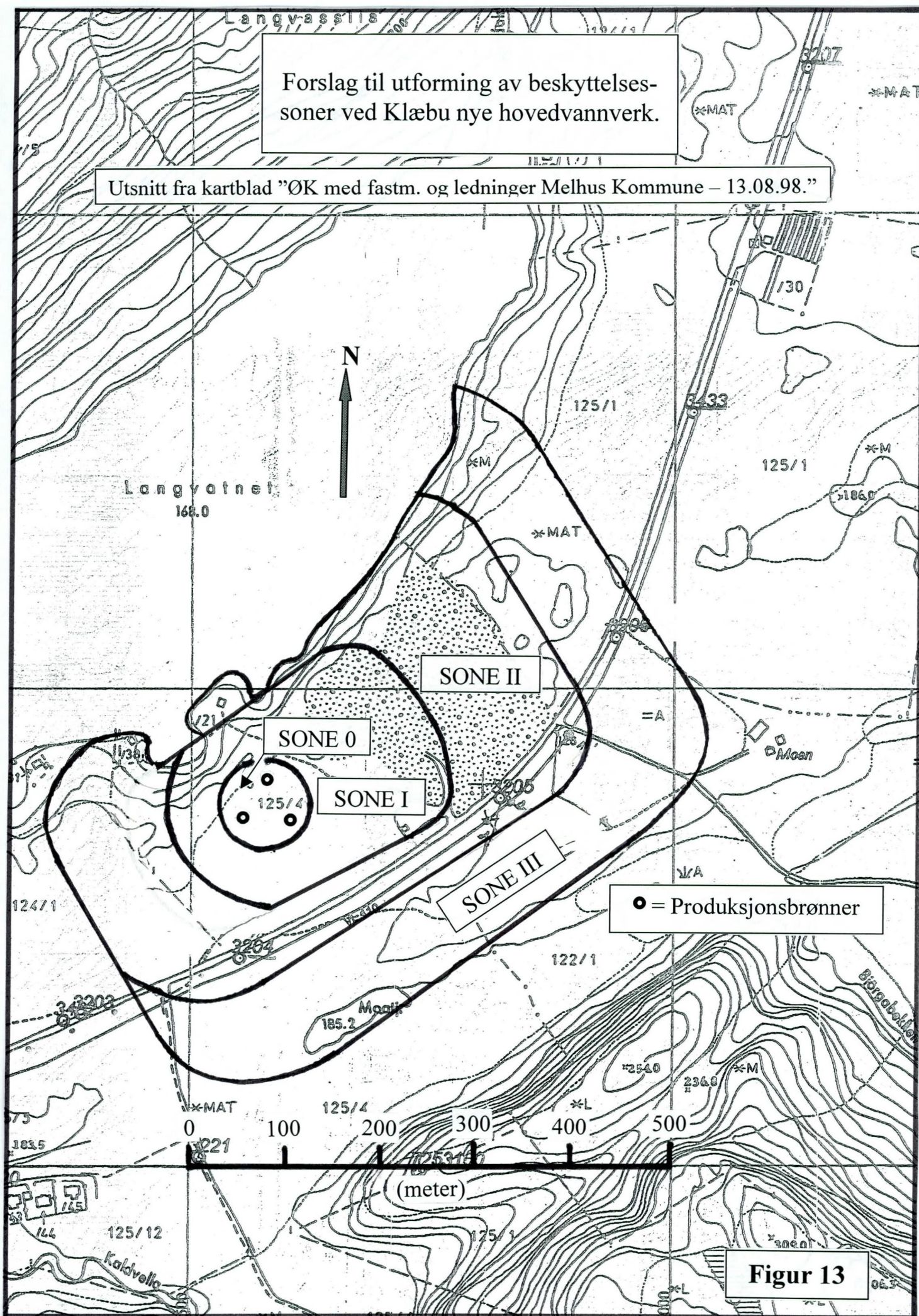


Vannkjemi langtidsprøvepumping Fremo



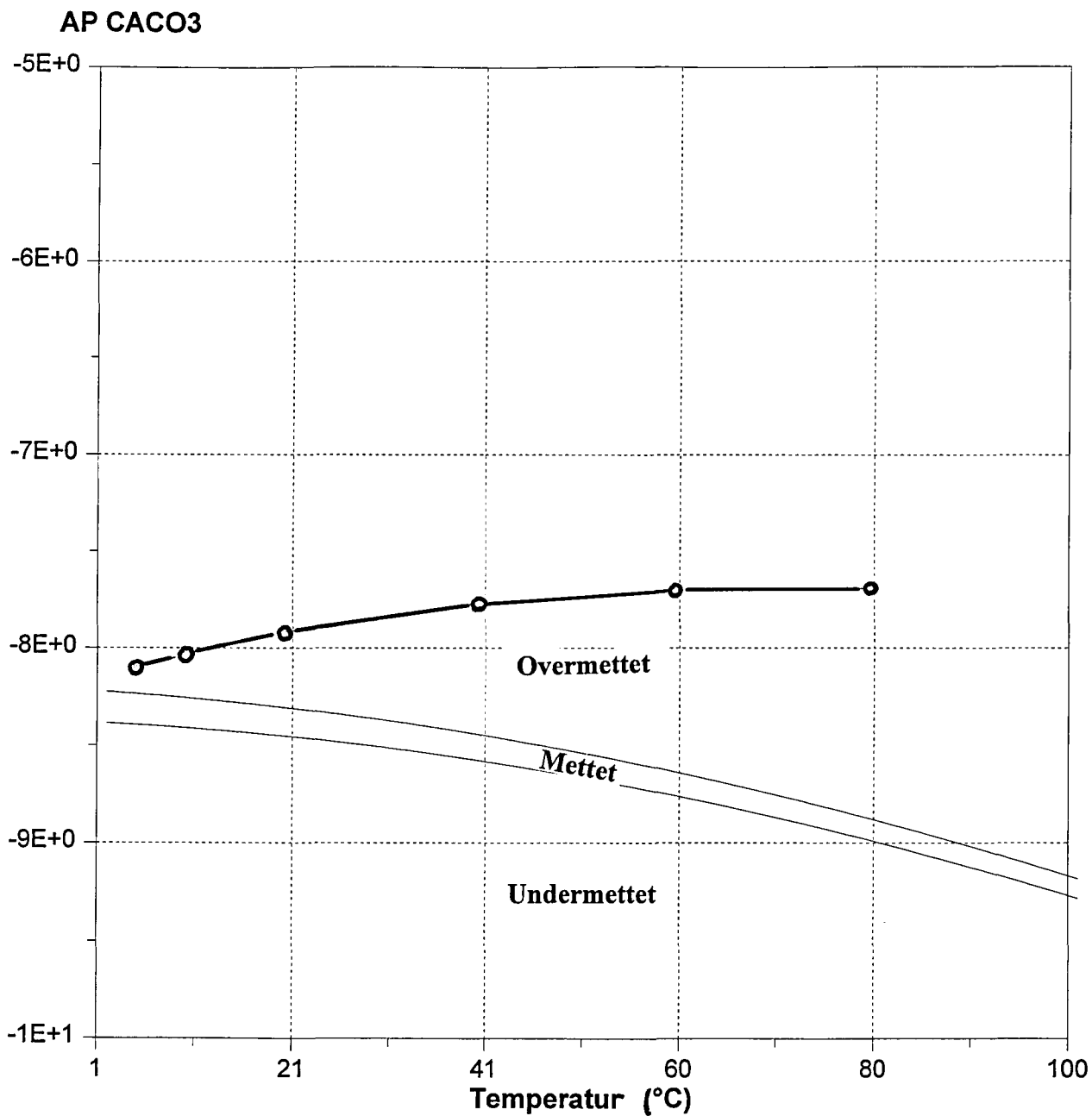
Forslag til utforming av beskyttelses-
soner ved Klæbu nye hovedvannverk.

Utsnitt fra kartblad "ØK med fastm. og ledninger Melhus Kommune – 13.08.98."



Figur 13

Kalsittmetning (AP CaCO₃) som funksjon av
vanntemperatur for grunnvann fra Fremo.



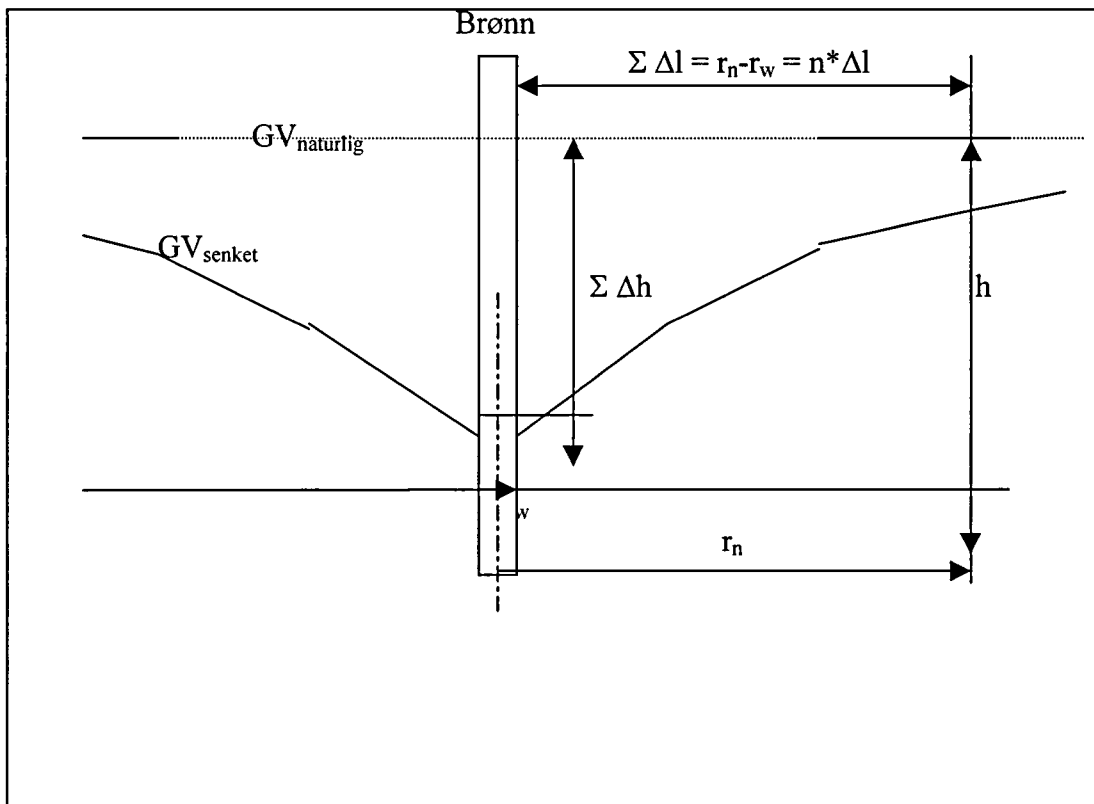
Figur 14

Vedlegg 1

Oppholdstidberegninger

1. TEORETISK BAKGRUNN

1.1 Metode 1



Figur 1: Skjematisk fremstilling av geometri for senkningstrakt, metode 1.

Theims ligning for stasjonær tilstand i et homogent, isotropt og lukket magasin (Carlson m.fl. 1984):

$$\Delta h = h_1 - h_0 = (Q / 2\pi * K * h) * \ln(r_1 / r_0) \quad (1.1)$$

Darcyligningen for laminær strømning i porøst medium (Carlson m.fl. 1984):

$$\Delta v_{netto} = \Delta l / \Delta t = (K * \Delta i) / n_{eff} = (K / n_{eff}) * (\Delta h / \Delta l) \quad (2.1)$$

$$\Rightarrow \Delta t = (n_{eff} * \Delta l^2) / (K * \Delta h) \quad (3.1)$$

Setter inn Δh fra ligning (1.1) i ligning (3.1):

$$\Rightarrow \Delta t = (n_{eff} * \Delta l^2 * 2\pi * h) / (Q * \ln[r_1 / r_0]) \quad (4.1)$$

Geometrisk betraktning av figur 1 gir: $r_0 = r_w$, $r_1 = r_w + \Delta l$, $r_n = r_w + (n \cdot \Delta l)$

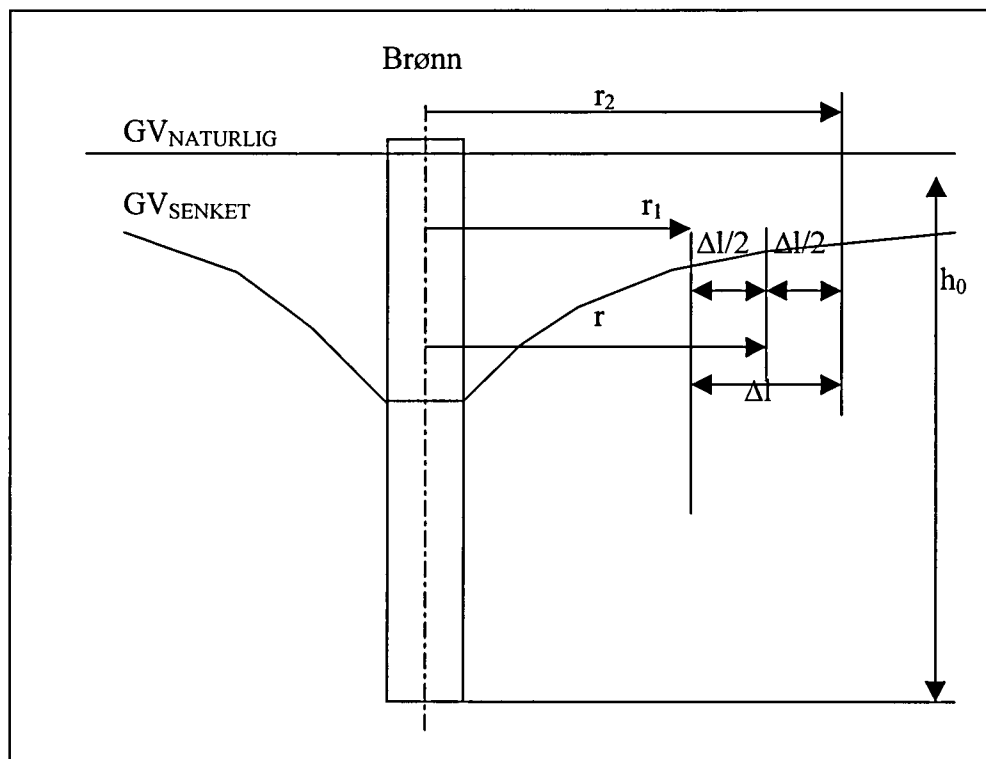
$$\Rightarrow t = \Sigma \Delta t = [(n_{\text{eff}} \cdot \Delta l^2 \cdot 2\pi \cdot h) / Q] \cdot \Sigma \{ \ln[(r_w + n \cdot \Delta l) / (r_w + (n-1) \cdot \Delta l)] \}^{-1} \quad (5.1)$$

Ligning (5.1) gjelder også for et åpent magasin forutsatt at $h \gg \Sigma \Delta h$.

Det kan introdusere en "vinkelfaktor, α " basert på at det er en naturlig gradient slik at tilstrømning skjer kun fra oppstrømsiden. Ligningen (5.1) blir da:

$$t = \Sigma \Delta t = [(n_{\text{eff}} \cdot \Delta l^2 \cdot 2\pi \cdot h \cdot (\alpha/360)) / Q] \cdot \Sigma \{ \ln[(r_w + n \cdot \Delta l) / (r_w + (n-1) \cdot \Delta l)] \}^{-1} \quad (6.1)$$

1.2 Metode 2



Figur 2: Skjematisk fremstilling av geometri for senkningstrakt, metode 2.

Geometriske betraktning av figur 2 gir ligningene:

$$\Delta l = r_2 - r_1 \quad (1.2)$$

$$r = r_1 + (\Delta l / 2) = (r_1 + r_2) / 2 \quad (2.2)$$

Darcy ligningen for netto strømningshastighet (Carlson m.fl. 1984):

$$v_{\text{netto}} = Q / A_{\text{netto}} = Q / (2\pi r h \cdot n_{\text{eff}}) \quad (3.2)$$

$$v_{\text{netto}} = \Delta l / \Delta t \quad (4.2)$$

Disse fire ligningene kombineres og løses m.h.p. Δt :

$$\Delta t = [(r_2^2 - r_1^2) * \pi * h_0 * n_{\text{eff}}] / Q \quad (5.2)$$

$$t = \sum \Delta t = = [(\pi * h_0 * n_{\text{eff}}) / Q] * \sum (r_n^2 - r_{(n-1)}^2) \quad (6.2)$$

Kan også her innføre formfaktoren α :

$$t = \sum \Delta t = = [(\pi * h_0 * n_{\text{eff}} * (\alpha / 360)) / Q] * \sum (r_n^2 - r_{(n-1)}^2) \quad (7.2)$$

Ligningene 6.1 og 7.2 foran kan løses ved hjelp av regneark hvor en velger et tilstrekkelig høyt tall for "n" (liten Δl). Verdien for de ukjente inngangsparametrene n_{eff} og α varieres inntil simuleringen samsvarer med en gitt kalibreringsverdi for oppholdstid. Denne kalibreringsverdien kan for eksempel være fremkommet gjennom sporforsøk hvor oppholdstid for strømming av grunnvann over en gitt strekning er målt.

Begge de anførte metoder viser seg å gi tilnærmet identiske resultater.

2. SPORFORSØK

2.1 Fortynningsfaktor og dimensjonerende oppholdstid

Sporforsøk for in-situ måling av oppholdstid for grunnvannet på Fremo, ble utført i tidsrommet 22.04 – 25.04.99. Som sporstoff ble vanlig husholdningssalt oppløst i grunnvann fra PB benyttet. 7.5 kg husholdningssalt ble løst opp i 360 l vann, hvilket gir et saltinnhold på 21 g/l (21 o/oo) d.v.s. 60% av saltinnholdet i standard sjøvann (=35 o/oo). Saltløsningen ble sluppet ut i observasjonsbrønn 5 (OBS5), som ligger 4.8 m N for produksjonsbrønnen. Produksjonsbrønnen ble under hele sporforsøket pumpet med et konstant vannuttak på 47 l/s. Ankomsttidspunkt for saltløsningen i produksjonsbrønnen (PB) ble registrert ved hjelp av et instrument som gir fortløpende registrering og lagring av verdier for elektrisk ledningsevne i vann (instrument Hydrotechnik GmbH – Data Logger 550).

Måleverdier for elektrisk ledningsevne ble lagret med et tidsintervall på 5 sek. En grafisk fremstilling av målte ledningsevneverdier er vist i figur bakerst i vedlegg 1.

Ved testen ble det målt en oppholdstid på 197 min. fra avslutningen av saltinjeksjonen til ankomst av maksimal saltpuls i produksjonsbrønnen. 197 min. anses derfor som dimensjonerende kalibreringsverdi for oppholdstid over en strekning på 4.8 m (avstand fra OBS5 til PB) ved et konstant vannuttak på 47 l/s.

Saltpulsene i forsøket har en varighet på 14.5 timer hvilket med et vannuttak på 47 l/s tilsvarer en total vannmengde på 2.5 mill. liter. Saltmengden som ble tilsatt var løst opp i 360 l vann hvilket gir fortynningen: $360 / 2500000 = 1 : 7000$.

Ved å regne om fra elektrisk ledningsevne til saltinnhold etter ligningen; Saltinnhold(mg/l) = $425 * \text{Ledningsevne(mS/cm)}$, finner en at saltmengden som er pumpet ut i løpet av disse 14.5 timene tilsvarer 6 kg husholdningssalt, d.v.s. tilnærmet 100 % gjenfangst av den initielle saltmengden.

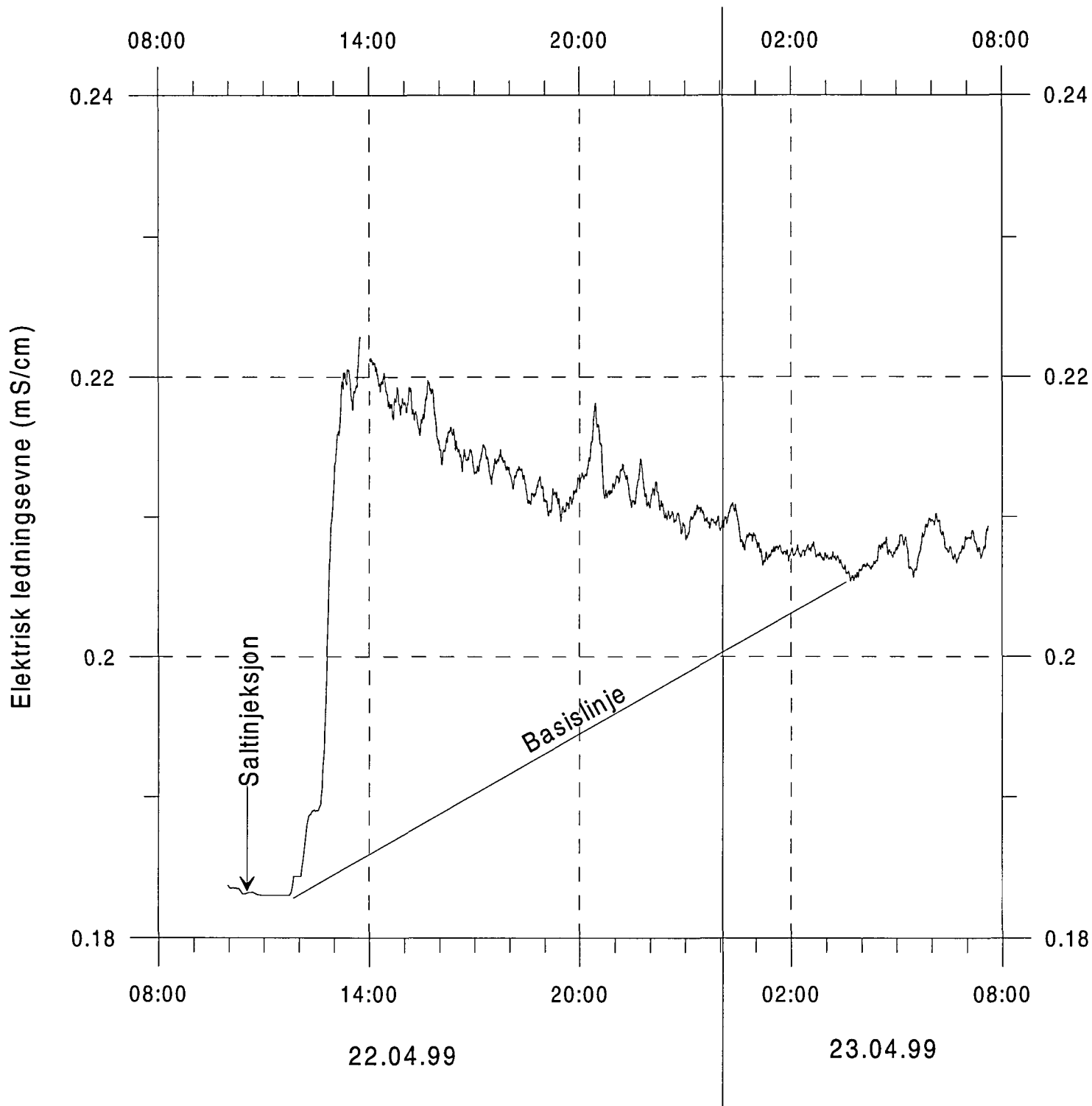
3. MATEMATISK MODELLERING AV OPPHOLDSTID

Med bakgrunn i beregningsmetodene beskrevet i avsnitt 1 og 2 er det foretatt en matematisk modellering av oppholdstid for grunnvannet på Fremo. Beregningene er basert på et vannuttak på 47 l/s. Modelleringene gav følgende resultat:

Inngangsdata:	$Q = 47 \text{ l/s}$ $\Delta l = 0.1 \text{ m}$ Dim. oppholdstid = 197 min. for $r = 4.8 \text{ m}$
Utgangsdata:	$n_{\text{eff}} = 0.3 \text{ (30\%)}$ $\alpha = 360^\circ$ 60-døgns-radius = 100 m

Middelhastigheten for grunnvannsstrømningen fra OBS5 til PB, under et vannuttak på 47 l/s, er ifølge den målte oppholdstiden på 197 min: $v_{\text{middel}} = 4.8/197 \text{ m/min} = 0.024 \text{ m/min} = 2.4 \text{ cm/min}$. Modelleringen viser at magasinet må ha en meget høy effektiv porøsitet ($n_{\text{eff}} = 30\%$) for at en såvidt lav strømningshastighet skal oppnås. Den naturlige Grunnvannsgradienten i området er meget liten slik at grunnvannstilstrømningen antas å forgå fra hele sirkelsektoren ($\alpha = 360^\circ$) rundt brønnen.

SALTFORSØK FREMO (løpende 15 min.middel)



Vedlegg 2

Klæbu kommune
Kultur-, næring- og miljøetaten
v/ Per Langørgen
7060 KLÆBU

Deres ref.:
Vår ref.: 97/01200-004 VANN BOH/GS/gsa
Arkiv: 2712.16

Trondheim, 8. desember 1998

DIMENSJONERING AV GRUNNVANNSBRØNN OG GJENNOMFØRING AV LANGTIDSPRØVEPUMPING PÅ FREMO, MELHUS KOMMUNE.

I forbindelse med planlagt etablering av grunnvannsbrønn på Fremo har NGU mottatt 28 løsmasseprøver for analyse og vurdering av kornstørrelse. Kornstørrelsekurver er gitt i vedlagte figurer 1 - 6.

Den påfølgende brønndimensjonering er gjort med bakgrunn i beregningsmetoder beskrevet i Anderson, A.-C., Andersson, O. & Gustafson, G., 1984: «Brunnar, undersøkning - dimensjonering - borring - drift.» Statens råd for bygnadsforskning, Stockholm, R42:1984.

For å beregne slisseåpning i brønnfilter er det vanlig å ta utgangspunkt i sorteringstallet (S_o) for løsmasseprøvene definert ved; $S_o = d_{60}/d_{10}$

d_{60} = 60 % av kornene i løsmasseprøven har en diameter (d) som er mindre enn d_{60}
 d_{10} = 10 % av kornene i løsmasseprøven har en diameter (d) som er mindre enn d_{10}

Følgende regler brukes for å bestemme aktuell slisseåpning (b) i brønnfilteret:

$S_o \leq 2,5$	$b = d_{40}$
$2,5 < S_o \leq 6$	$b = d_{60}$
$S_o > 6$	$b = d_{70}$

Anbefalt brønndimensjonering er vist i figur 7. Bakgrunnen for den valgte dimensjonering er gitt i det følgende:

For alle de innsamlede løsmasseprøver fra Fremo er $S_o > 2.5$ og det er valgt å bruke d_{60} som dimensjonerende tall for slisseåpning i filteret. I det aktuelle filtersettingsnivået (33-47 m under brønntopp) ligger d_{60} i området 0.7 - 2.0 mm og hoveddelen av prøvene har $d_{60} = 1.0$ mm. Slisseåpning for filter i nivå 33 - 47 m settes derfor til $b = 1.0$ mm. Det anbefales også å sette filter i nivå 47 - 50 m under topp rør. Prøvene fra dette området er noe mer sandige og d_{60} ligger i området 0.5 - 0.8 mm. For denne lengden benyttes filter med slisseåpning $b = 0.5$ mm. I nivå 50 - 54 m under



topp rør er prøvene tydelig mer finstoffrike (10-15 % materiale mindre enn 0.1 mm). Disse massene vil trolig ikke bidra med særlig mye vann og bør ikke filtersettes.

Brønnpumpen plasseres ofte rett i overkant av brønnfilteret. Utfra vår vurdering kan en slik plassering medføre at vannstanden i brønnen senkes helt ned til pumpeinntaket i perioder med lav naturlig grunnvannstand. Brønnpumpen anbefales derfor plassert i et 2 m langt avblendingsrør (blindrør) i nivå 38 - 40 m under brønntopp.

Utfra grunnvannstandsobservasjoner fra Fremo-området gjennom en periode på 15 år synes laveste naturlige grunnvannstand i brønnområdet å ligge på nivå 27 m under brønntopp. Under drift bør vannstanden i brønnen ikke senkes lavere enn toppen av brønnfilteret (33 m under brønntopp). Maksimalt anbefalt vannstandssenkningen i brønnen ved laveste naturlige grunnvannstand vil utfra dette være $s_{\max} = 6$ m. Utfra kornfordelingskurvene kan orienterende tall for massenes «vanngjennomstrømningskapasitet» (T-verdi) beregnes. Med bakgrunn i løsmasseprøvene fra Fremo finner en;

$$T_{\text{ORIENTERENDE}} = 0.01 \text{ m}^2/\text{s} \text{ (m}^3/\text{s pr m strømningsvertsnitt ved hydraulisk gradient = 1)}$$

Utfra dette kan det også gis et anslag for hvor stor vannmengde (Q) som kan pumpes ut av brønnen ved en gitt vannstandssenkning (s). Med den angitte T-verdi og $s_{\max} = 6$ m fremkommer Q = 30 l/s som et orienterende tall for brønnens kapasitet.

Grunnvannet som pumpes opp i forbindelse med langtidsprøvepumpingen var opprinnelig tenkt ledet i rør til Langvatnet. Vannstandssituasjonen for Langvatnet er imidlertid kritisk idet middelvannstanden har vist en stadig økning gjennom de siste 15 årene (figur 8). Langvatnet har et areal på ca 440 da og en ekstra vanntilførsel på 40 l/s (3.456 m³/døgn) vil gi en brutto vannstandsstigning på ca 0,25 m/måned. Langtidsprøvepumpingen vil trolig starte i begynnelsen av februar 1999 og brutto vannstandsstigning frem til maksimal vårflom i Langvatnet (normalt tidspunkt 15. - 30. april) vil da være 0,7 - 1,0 m. Størrelsen på kommende vårflom kan naturlig nok ikke forutsies, men et «kunstig» tillegg i vannstanden i Langvatnet av størrelsesorden 1,0 m kan få avgjørende konsekvenser i form av oversvømmelser for hytter rundt Langvatnet. Utfra dette anbefales det at avløpet fra prøvepumpingen ledes i rør til Kaldvellbekken, 500 m sør for brønnområdet. Avløpet kan legges fritt i terrenget, men må isoleres (vintermatter) utfra fare for frysing ved eventuell pumpestans. Kaldvellbekken er en typisk flombekk og dette forholdet bør overvåkes slik at prøvepumpingen stanses i tilfelle av kraftige flomtopper.

Kostnadsoverslag for NGU's medvirkning i etablering og testing av grunnvannsbrønn på Fremo er gitt i vedlegg.

Med hilsen

Bernt Olav Hilmo
Bernt Olav Hilmo
hovedprosjektleder
Grunnvann

Gaute Storø
Gaute Storø
forsker

Vedlegg



Vedlegg 1.

Materialliste for grunnvannsbrønn Fremo

- Brønnrør:** -OD273 mm - DIN2458
-Samlet lengde 38 m (34 + 2 + 2) inklusive sumprør *)
- *) Sumprør med bunnplate bestilles ferdig montert til
3m filter (slisseåpning 0,5 mm)
- Filtorrør:** -ConSlot - OD273 mm - DIN2458
-2 X 6 m, slisseåpning 1,0 mm
-1 X 3 m, slisseåpning 0,5 mm
- Senkpumpe:** -Kapasitet 40 l/s ved 40 m løftehøyde.
-Max. OD200 mm
-Naturlige alternativer er Grundfos SP120-3, EMU K87-3 eller
tilsvarende fra annen produsent.
NB! Eventuell tilbakeslagsventil fjernes fra pumpen før montering
- Stigerør for pumpe:** -DN100 mm, rustfritt stål med flenskoblinger (max OD220 mm)
-Samlet lengde 42 m
-1 stk. vinkelbend



Vedlegg 2.

KOSTNADSOVERSLAG FOR NGU'S MEDVIRKNING I ETABLERING OG TESTING AV GRUNNVANNSBRØNN PÅ FREMO.

Kornfordelingsanalyser:	30 stk á kr 300,-	= kr 9.000,-
Vannanalyser:	20 stk á kr 1.500,-	= kr 30.000,-
Timekostnader markarbeid:	50 timer á kr 700,-	= kr 35.000,-
Instrumentering i felt:		= kr 20.000,-
Sporforsøk *):		= kr 50.000,-
Reisekostnader:		= kr 5.000,-
Konsulentonorar og rapportering:		= <u>kr 50.000,-</u>
		SUM = <u>kr 199.000,-</u>

Det forutsettes at oppdragsgiver står ansvarlig for alle kostnader knyttet til brønnetableringer, fremlegging av strøm og opplegg av avløpsledning til Kaldvellbekken. Prøvepumpingen er forventet å pågå i 3 - 4 måneder og oppdragsgiver besørger ukentlig uttak og oversendelse av vannprøver for bakteriologiske og kjemiske analyser. Bakteriologiske analyser utføres ved næringsmiddelkontrollens laboratorier. Kjemiske analyser kan utføres ved NGU's laboratorier og kostnader for dette er lagt inn i kostnadsoverslaget.

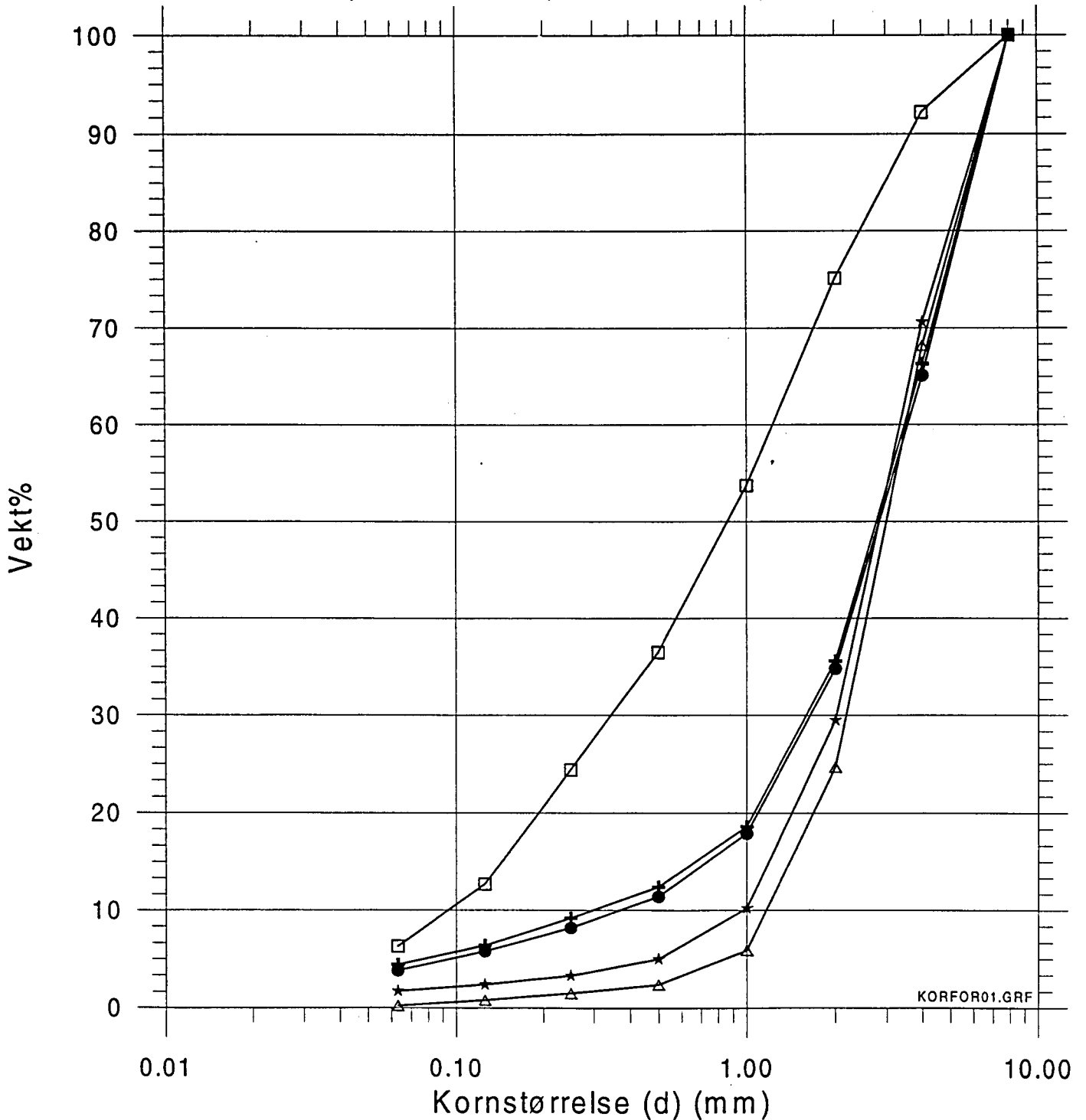
- *) I forbindelse med et såvidt stort grunnvannsanlegg, særlig dersom Trondheim kommune også planlegger uttak i samme området, bør en grundigere kartlegging av oppholdstid for grunnvannet gjennomføres ved hjelp av sporforsøk. Oppholdstiden vil være avgjørende for å bestemme nødvendige beskyttelsessoner for vannverket.

Kornfordelingskurver for sedimentprøver fra Fremo

Prosjekt Klæbu vannverk

Vedlegg 2
side 5 av 12

- = 25 - 26 m, $d_{60} = 3.5$ mm, $d_{10} = 0.35$ mm, $S_o = 10.0$
- + = 26 - 27 m, $d_{60} = 3.5$ mm, $d_{10} = 0.30$ mm, $S_o = 11.7$
- = 27 - 28 m, $d_{60} = 1.2$ mm, $d_{10} = 0.10$ mm, $S_o = 12.0$
- △ = 28 - 29 m, $d_{60} = 3.5$ mm, $d_{10} = 1.20$ mm, $S_o = 2.9$
- * = 29 - 30 m, $d_{60} = 3.5$ mm, $d_{10} = 1.00$ mm, $S_o = 3.5$



Figur 1

Kornfordelingskurver for sedimentprøver fra Fremo

Prosjekt Klæbu vannverk

Vedlegg 2
side 6 av 12

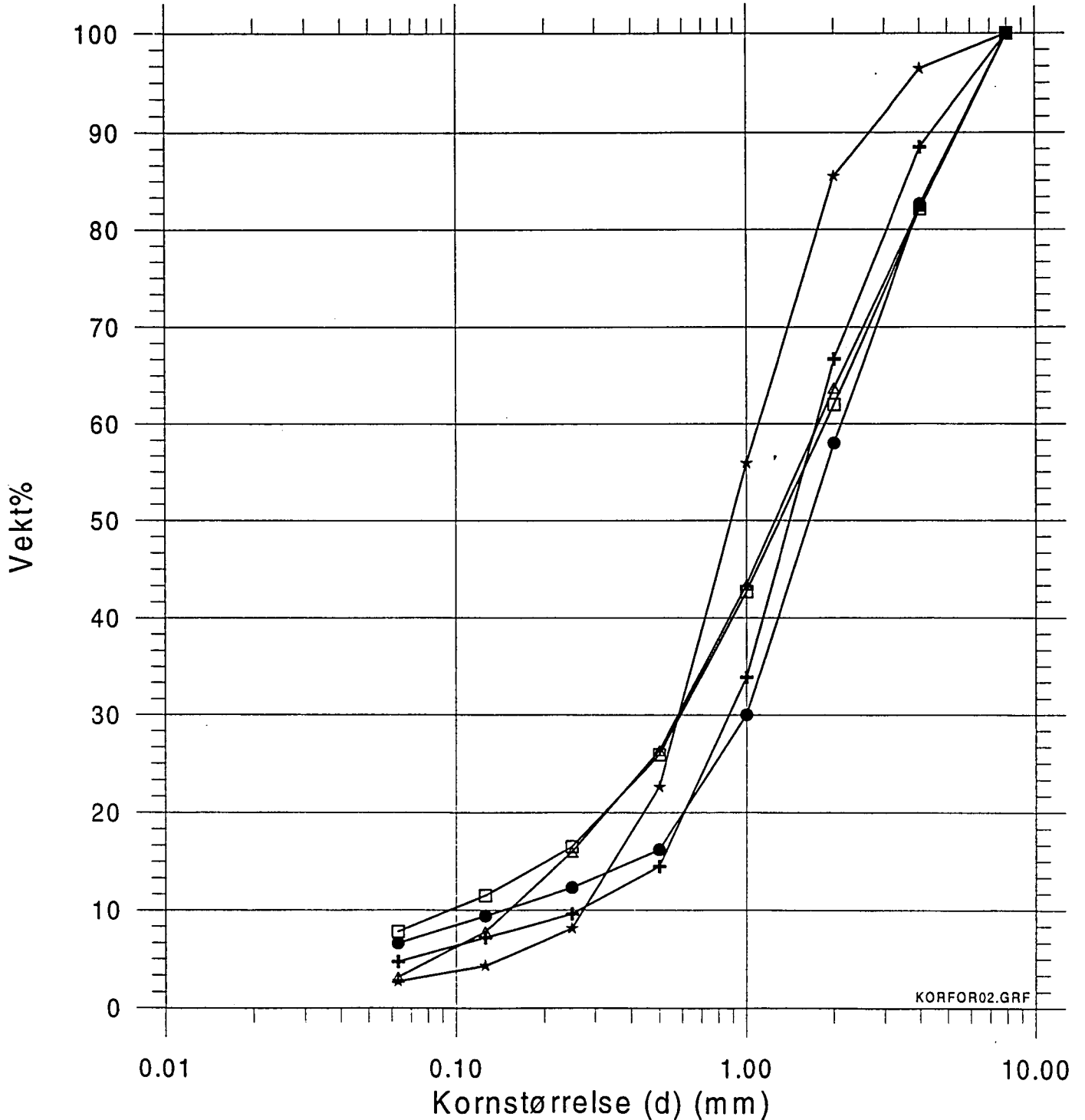
● = 30 - 31 m, $d_{60} = 2.1$ mm, $d_{10} = 0.11$ mm, $So = 19.1$

+ = 31 - 32 m, $d_{60} = 1.8$ mm, $d_{10} = 0.25$ mm, $So = 7.2$

□ = 32 - 33 m, $d_{60} = 2.0$ mm, $d_{10} = 0.10$ mm, $So = 20.0$

△ = 33 - 34 m, $d_{60} = 2.0$ mm, $d_{10} = 0.15$ mm, $So = 13.3$

★ = 34 - 35 m, $d_{60} = 1.1$ mm, $d_{10} = 0.28$ mm, $So = 3.9$



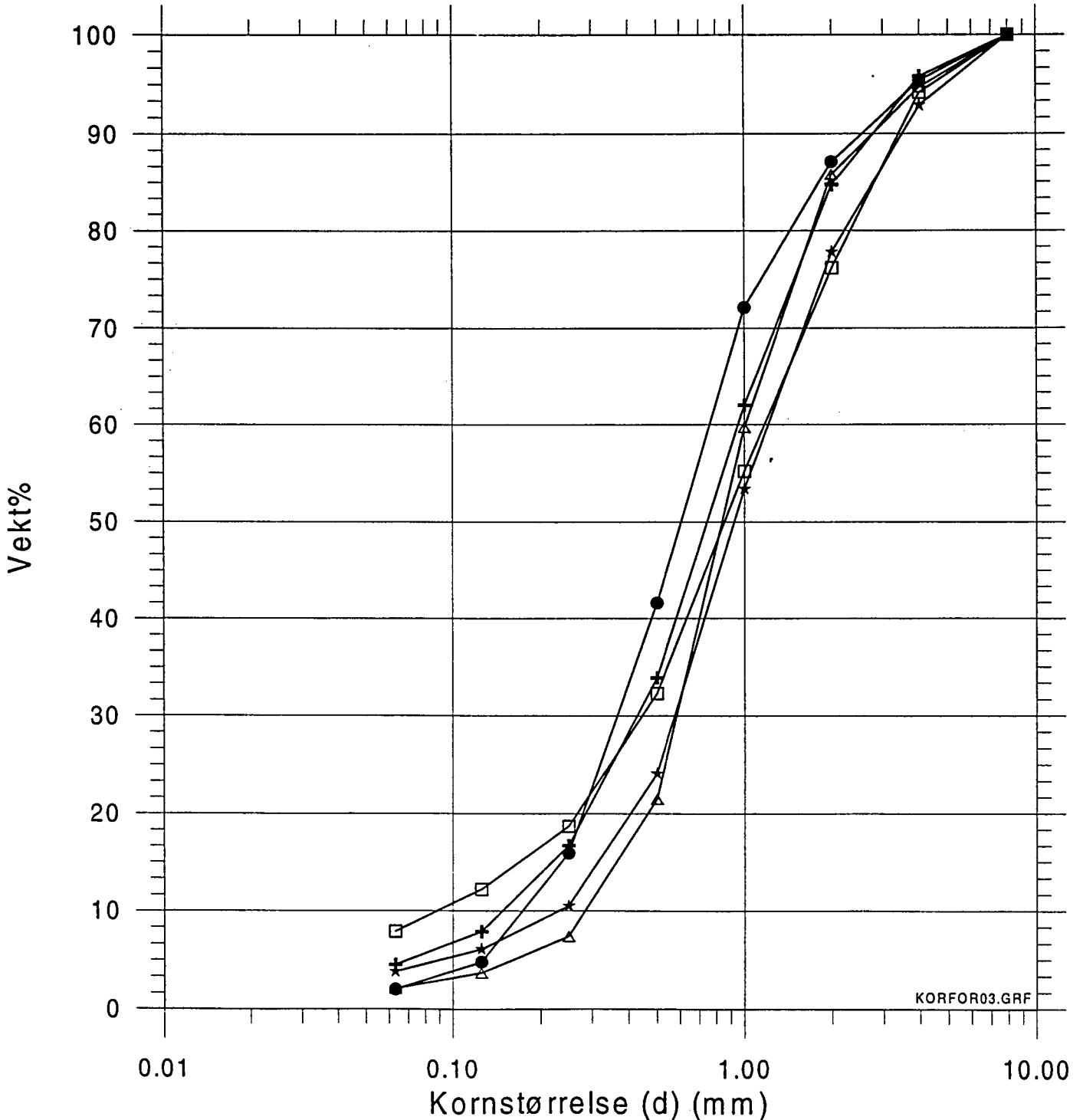
Figur 2

Kornfordelingskurver for sedimentprøver fra Fremo

Prosjekt Klæbu vannverk

Vedlegg 2
side 7 av 12

- = 35 - 36 m, $d_{60} = 0.75$ mm, $d_{10} = 0.18$ mm, $So = 4.2$
- + = 36 - 37 m, $d_{60} = 1.0$ mm, $d_{10} = 0.15$ mm, $So = 6.7$
- = 37 - 38 m, $d_{60} = 1.1$ mm, $d_{10} = 0.09$ mm, $So = 12.2$
- △ = 39 - 40 m, $d_{60} = 1.0$ mm, $d_{10} = 0.28$ mm, $So = 3.6$
- * = 40 - 41 m, $d_{60} = 1.1$ mm, $d_{10} = 0.25$ mm, $So = 4.4$



Figur 3

Kornfordelingskurver for sedimentprøver fra Fremo

Prosjekt Klæbu vannverk

Vedlegg 2
side 8 av 12

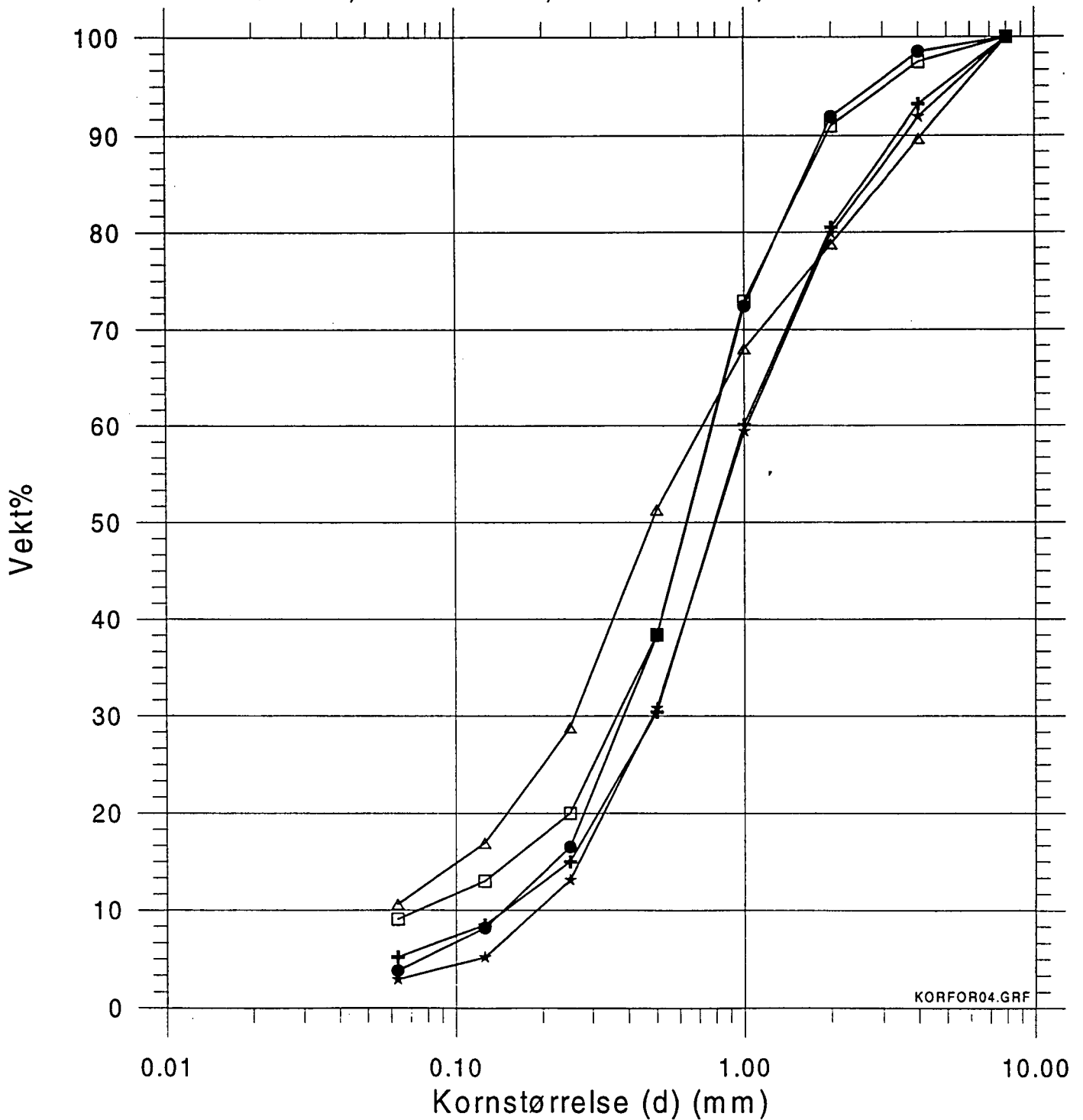
● = 41 - 42 m, $d_{60} = 0.8$ mm, $d_{10} = 0.14$ mm, $So = 5.7$

+ = 42 - 43 m, $d_{60} = 1.0$ mm, $d_{10} = 0.15$ mm, $So = 6.7$

□ = 43 - 44 m, $d_{60} = 0.8$ mm, $d_{10} = 0.07$ mm, $So = 11.4$

△ = 44 - 45 m, $d_{60} = 0.7$ mm, $d_{10} = 0.06$ mm, $So = 11.7$

* = 45 - 46 m, $d_{60} = 1.0$ mm, $d_{10} = 0.20$ mm, $So = 5.0$



KORFOR04.GRF

Figur 4

Kornfordelingskurver for sedimentprøver fra Fremo

Prosjekt Klæbu vannverk

Vedlegg 2
side 9 av 12

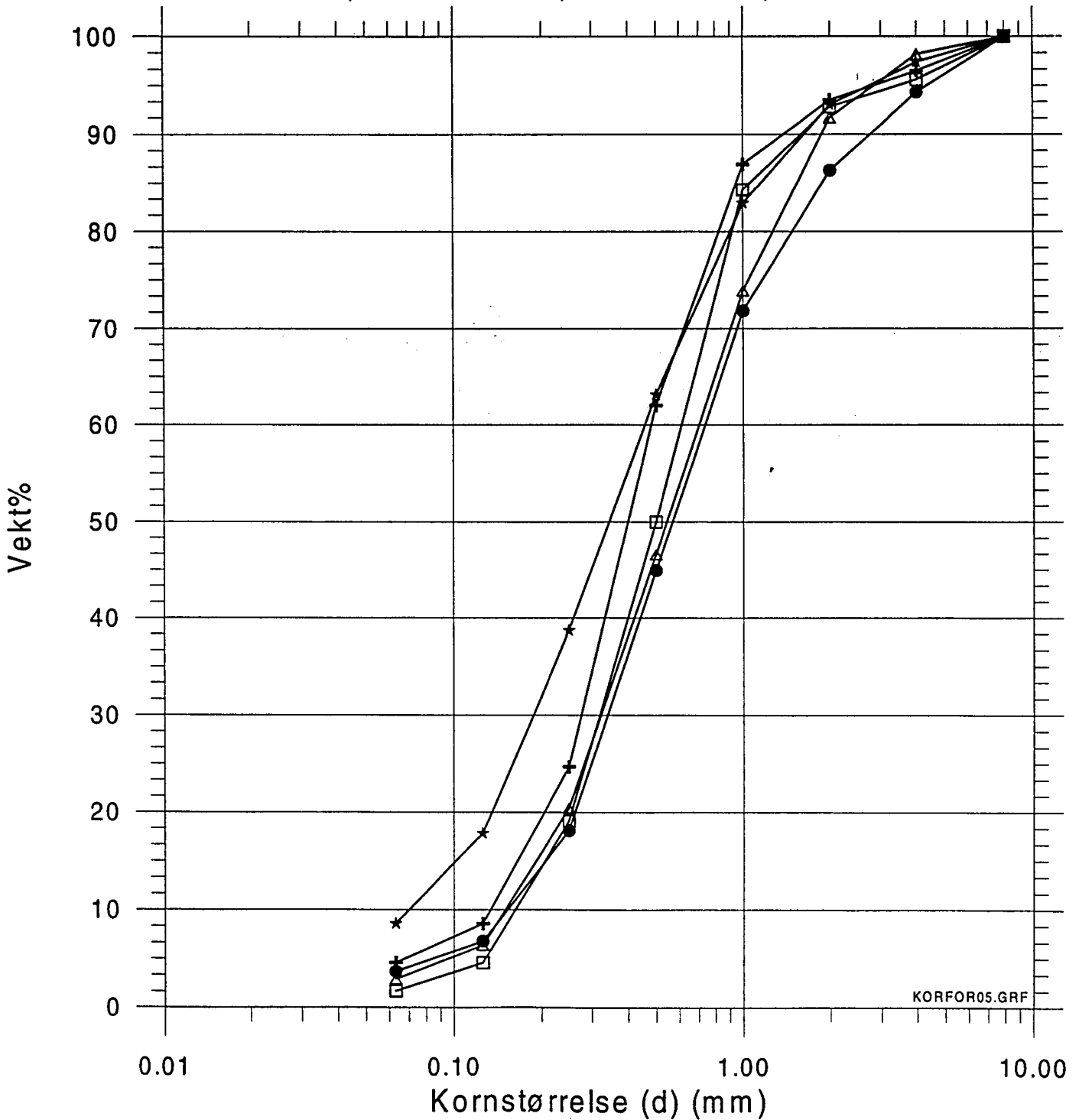
● = 46 - 47 m, d60 = 0.75 mm, d10 = 0.14 mm, So = 5.4

+ = 47 - 48 m, d60 = 0.5 mm, d10 = 0.11 mm, So = 4.5

□ = 48 - 49 m, d60 = 0.6 mm, d10 = 0.17 mm, So = 3.5

△ = 49 - 50 m, d60 = 0.7 mm, d10 = 0.16 mm, So = 4.4

★ = 50 - 51 m, d60 = 0.45 mm, d10 = 0.07 mm, So = 6.4



KORFOR05.GRF

Figur 5

Kornfordelingskurver for sedimentprøver fra Fremo

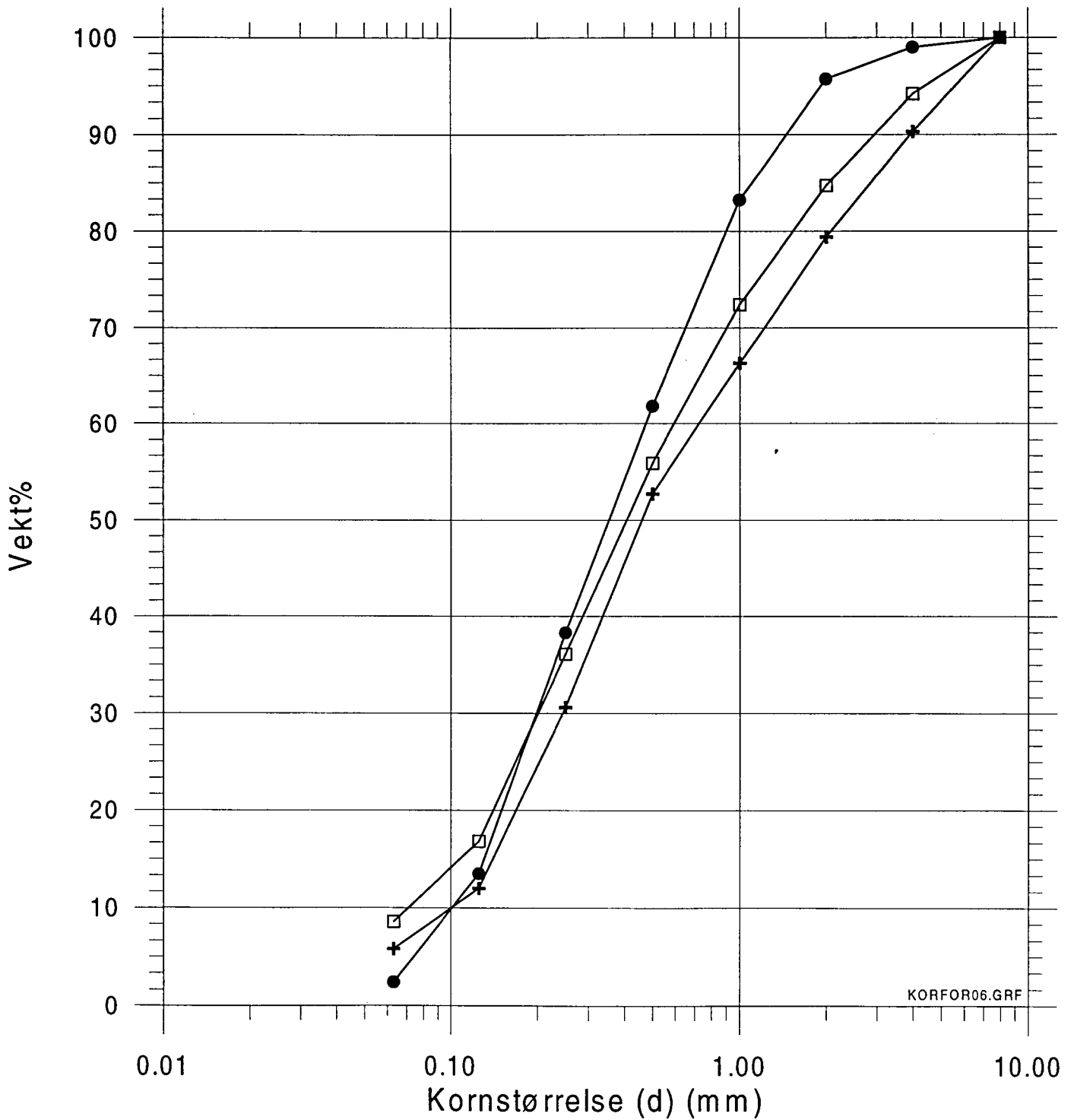
Prosjekt Klæbu vannverk

Vedlegg 2
side 10 av 12

● = 51 - 52 m, $d_{60} = 0.48$ mm, $d_{10} = 0.10$ mm, $S_o = 4.8$

+ = 52 - 53 m, $d_{60} = 0.7$ mm, $d_{10} = 0.10$ mm, $S_o = 7.0$

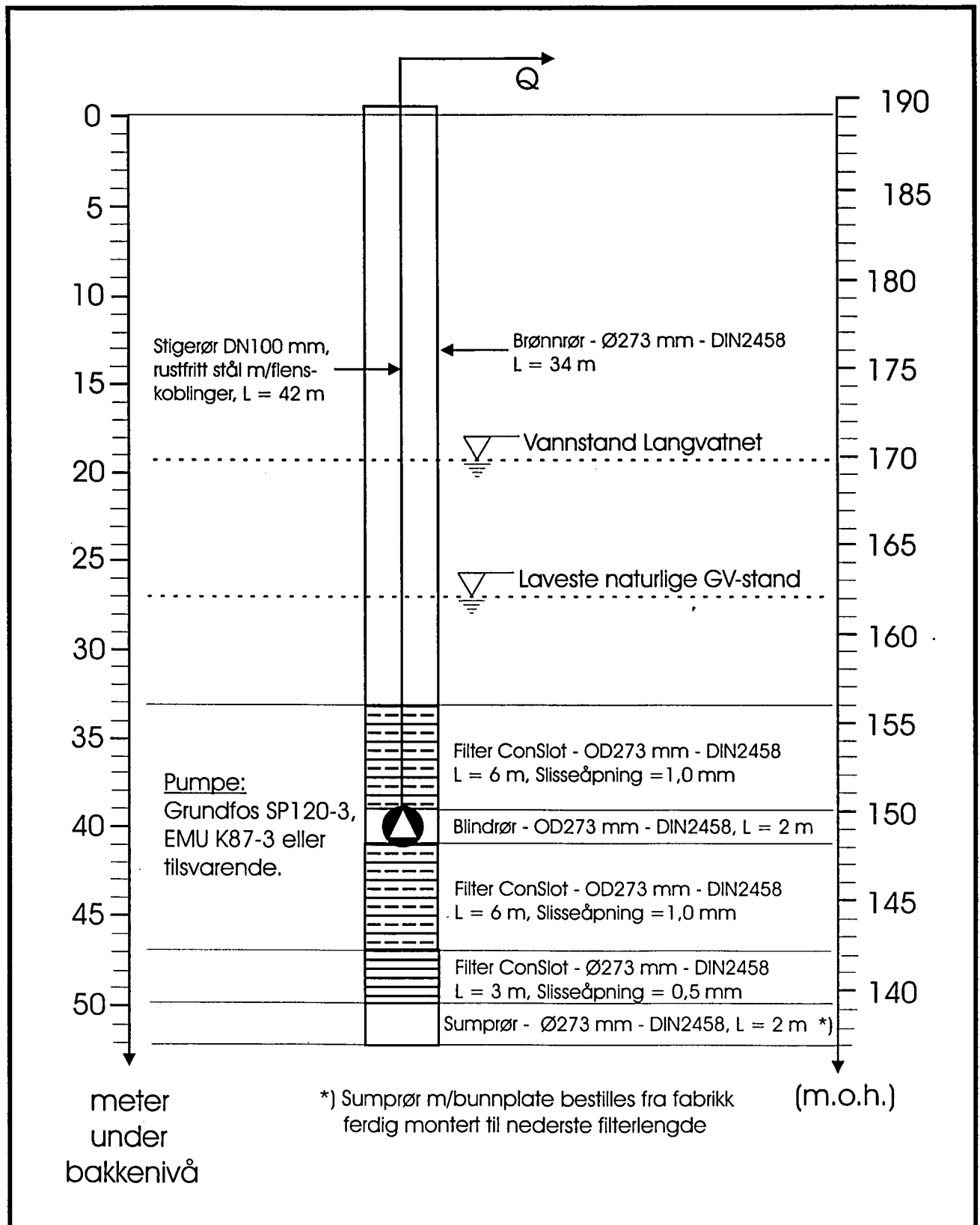
□ = 53 - 54 m, $d_{60} = 0.6$ mm, $d_{10} = 0.07$ mm, $S_o = 8.6$



KORFOR06.GRF

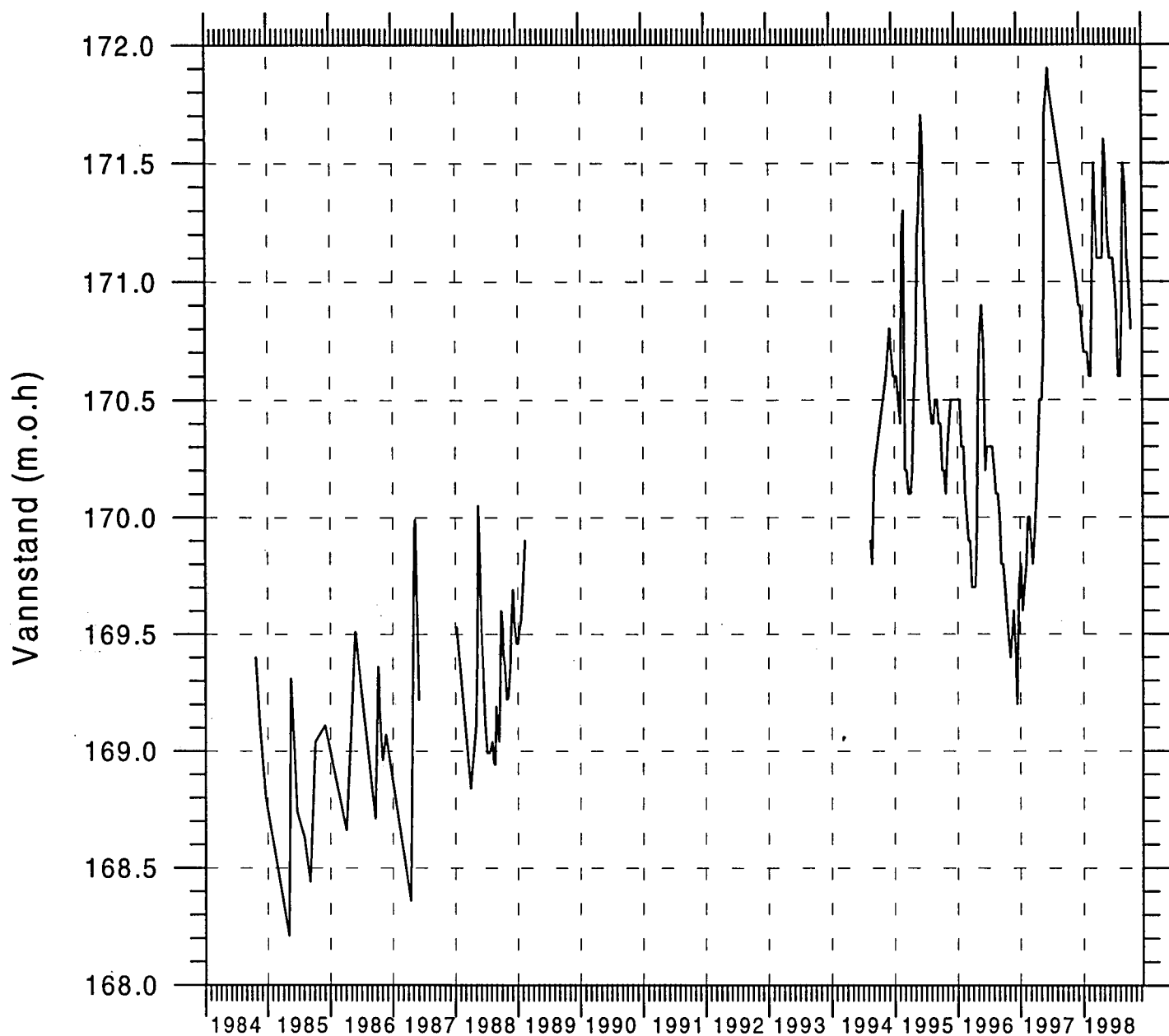
Figur 6

Brønndimensjonering - Fremo



Figur 7

Vannstand i Langvatnet 1984 - 1998



LANGTOT1.GRF

Data for perioden 1984 - 1989:

Storrø, G., 1990: "Hydrokjemii, hydrologi og hydrogeologi i
Kaldvelfeltet". Dr.ing. avhandling 1990:54 - NTH.

Data for perioden 1994 - 1998:

Bjørseth, O., 1998: "Vannstandsdata ved Fremo vannverk".

Figur 8

Vedlegg 3

Vedlegg 3.1.

Parameter	Enhet	Prøvenr:	1	2	3	4	5	6	Vei- ledende verdi:	Største tillatte verdi:
		Dato:	03.03.99	08.03.99	15.03.99	22.03.99	28.03.99	06.04.99		
		NGU-nr:	99.0075	99.0075	99.0075	99.0075	99.0075	99.0075		
Fysisk-kjemisk:										
pH			8.2	8.2	8.2	8.1	8.1	8.2	7.5 - 8.5	6.5-8.5
Led	uS/cm		202	216	221	224	225	224	<400	
Temp.			5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	<12	25
Alkalitet	mmol/l		2.13	2.18	2.2	2.21	2.23	2.22	0.6 - 1.0	
Farge	mg Pt/l		<1.4	<1.4	<1.4	<1.4	<1.4	<1.4	<1	20
Turbid.	F.T.U.		0.17	0.16	0.13	0.14	0.09	0.17	<0.4	4
Bakteriologisk:										
Tot.bakt. 20 gr.C	pr. ml		6	5	5	6	-	7	<100	
Tot.bakt. 37 gr.C	pr. ml		0	0	0	0	-	0	<10	
Kolif. bakterier	pr. 100ml		0	0	0	0	-	0		<1
Term. kolif. bakt.	pr. 100ml		0	0	0	0	-	0		<1
Anioner:										
Fluorid	mgF/l		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		1.5
Klorid	mgCl/l		4.6	4.8	4.8	4.8	5	4.9	<25	
Nitritt	mgNO2/l		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		0.16
Bromid	mgBr/l		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Nitrat	mgNO3/l		1.5	3.3	1.9	2	2.1	2.2		44
Fosfat	mgPO4/l		<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2		
Sulfat	mgSO4/l		6.5	6.8	7.1	7.2	7.4	7.5	<25	100
Sum anioner	mekv/l		2.42	2.51	2.51	2.53	2.56	2.55		
Kationer:										
Silisium	mgSi/l		2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6		
Aluminium	mgAl/l		0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	<0.05	
Jern	mgFe/l		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	
Magnesium	mgMg/l		2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9		
Kalsium	mgCa/l		40.1	41.6	42.2	42	41.9	42.1	15 - 25	
Natrium	mgNa/l		3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	<20	150
Kalium	mgK/l		2.2	2	2.3	2.4	2.4	1.9	<10	12
Mangan	mgMn/l		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.02	0.05
Kobber	mgCu/l		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.1	0.3
Sink	mgZn/l		0.004	0.004	0.002	0.002	0.007	0.004	<0.1	0.3
Bly	mgPb/l		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		0.02
Nikkel	mgNi/l		<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02		0.05
Kadmium	mgCd/l		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005		0.005
Krom	mgCr/l		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		0.05
Sum kationer	mmol/l		2.44	2.52	2.56	2.55	2.55	2.55		
lonebalance	%		0.40	0.22	0.88	0.47	-0.16	-0.04		

Fysisk-kjemiske, bakteriologiske og ionespesifikke analyser av grunnvannsprøver fra Fremo. Tall som viser avvik i forhold til veiledende verdier og/eller største tillatte verdier, jfr. "Forskrift om vannforsyning og drikkevann"- Sos. og Helsedep. 1995, er markert med uthevet skrift.

Vedlegg 3.2.

Parameter	Enhet	Prøvenr:		1		2		Vei- ledende verdi:	Største tillatte verdi:						
		Dato:	NGU-nr:	1	2	3	4			1	2				
		12.04.99	99.0111	19.04.99	99.0111	03.05.99	99.0111	10.05.99	99.0111	31.05.99	99.0383	07.06.99	99.0383		
Fysisk-kjemisk:															
pH		8.1		8.2		8.2		8.2		-		-		7.5 - 8.5	6.5-8.5
Led	uS/cm	215		208		215		217		214		212		<400	
Temp.														<12	25
Alkalitet	mmol/l	2.15		2.14		2.16		2.17		2.11		2.08		0.6 - 1.0	
Farge	mg Pt/l	<1.4		<1.4		<1.4		<1.4		-		-		<1	20
Turbid.	F.T.U.	0.31		0.1		0.07		0.1		-		-		<0.4	4
Bakteriologisk:															
Tot.bakt. 20 gr.C	pr. ml	23		14		3		3		-		-		<100	
Tot.bakt. 37 gr.C	pr. ml	0		0		0		0		-		-		<10	
Kolif. bakterier	pr. 100ml	0		0		0		0		-		-			<1
Term. kolif. bakt.	pr. 100ml	0		0		0		0		-		-			<1
Anioner:															
Fluorid	mgF/l	<0.05		<0.05		<0.05		<0.05		<0.05		0.14			1.5
Klorid	mgCl/l	4.8		4.9		4.8		4.8		4.8		5		<25	
Nitritt	mgNO ₂ /l	<0.05		<0.05		<0.05		<0.05		0.08		0.15			0.16
Bromid	mgBr/l	<0.1		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1			
Nitrat	mgNO ₃ /l	1.9		1.9		1.9		1.8		1.7		1.8			44
Fosfat	mgPO ₄ /l	<0.2		<0.2		<0.2		<0.2		<0.2		<0.2			
Sulfat	mgSO ₄ /l	7.6		7.7		7.6		7.6		7.2		7.4		<25	100
Sum anioner	mekv/l	2.47		2.47		2.48		2.49		2.43		2.40			
Kationer:															
Silisium	mgSi/l	2.8		2.9		2.8		2.8		2.7		2.7			
Aluminium	mgAl/l	<0.02		<0.02		<0.02		<0.02		<0.02		<0.02		<0.05	
Jern	mgFe/l	<0.01		<0.01		<0.01		<0.01		<0.01		<0.01		<0.05	
Magnesium	mgMg/l	2.9		2.9		2.8		2.8		2.8		2.8			
Kalsium	mgCa/l	40.4		40.8		40.4		40.3		39.8		39.4		15 - 25	
Natrium	mgNa/l	3.4		3.5		3.5		3.4		3.6		3.6		<20	150
Kalium	mgK/l	2.4		2.3		2.1		2.4		2		1.9		<10	12
Mangan	mgMn/l	<0.001		<0.001		<0.001		<0.001		0.0013		<0.001		<0.02	0.05
Kobber	mgCu/l	<0.005		<0.005		<0.005		<0.005		<0.005		<0.005		<0.1	0.3
Sink	mgZn/l	<0.002		<0.002		0.002		<0.002		<0.002		<0.002		<0.1	0.3
Bly	mgPb/l	0.00092		<0.0002		0.00026		0.00027		<0.05		<0.05			0.02
Nikkel	mgNi/l	<0.02		<0.02		<0.02		<0.02		<0.02		<0.02			0.05
Kadmium	mgCd/l	0.00007		<0.00002		0.00003		<0.00002		-		-			0.005
Krom	mgCr/l	-		-		-		-		-		-			0.05
Kvikksølv	mgHg/l	<0.00001		<0.00001		<0.00001		<0.00001		-		-			
Sum kationer	mmol/l	2.47		2.49		2.46		2.45		2.43		2.40			
lonebalanse	%	-0.15		0.39		-0.58		-0.79		-		-			

Fysisk-kjemiske, bakteriologiske og ionespesifikke analyser av grunnvannsprøver fra Fremo. Tall som viser avvik i forhold til veiledende verdier og/eller største tillatte verdier, jfr. "Forskrift om vannforsyning og drikkevann"- Sos. og Helsedep. 1995, er markert med uthevet skrift.

Vedlegg 3.3.

Parameter	Enhet	Prøvenr:	3	4	5	6	7	8	Vei- ledende verdi:	Største tillatte verdi:
		Dato:	14.06.99	21.06.99	28.06.99	04.07.99	15.07.99	22.07.99		
		NGU-nr:	99.0383	99.0383	99.0383	99.0383	99.0383	99.0383		
Fysisk-kjemisk:										
pH			-	-	-	-	-	-	7.5 - 8.5	6.5-8.5
Led	uS/cm		212	211	211	209	209	207	<400	
Temp.									<12	25
Alkalitet	mmol/l		2.08	2.07	2.06	2.04	2.05	2.00	0.6 - 1.0	
Farge	mg Pt/l		-	-	-	-	-	-	<1	20
Turbid.	F.T.U.		-	-	-	-	-	-	<0.4	4
Bakteriologisk:										
Tot.bakt. 20 gr.C	pr. ml		-	-	-	0	49	0	<100	
Tot.bakt. 37 gr.C	pr. ml		-	-	-	0	0	0	<10	
Kolif. bakterier	pr. 100ml		-	-	-	0	0	0		<1
Term. kolif. bakt.	pr. 100ml		-	-	-	0	0	0		<1
Anioner:										
Fluorid	mgF/l		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05		1.5
Klorid	mgCl/l		4.8	4.7	4.9	4.7	4.7	4.7	<25	
Nitritt	mgNO ₂ /l		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		0.16
Bromid	mgBr/l		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Nitrat	mgNO ₃ /l		1.9	1.8	1.8	1.8	1.7	1.8		44
Fosfat	mgPO ₄ /l		<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2		
Sulfat	mgSO ₄ /l		7.3	7.1	7.1	7	6.8	6.9	<25	100
Sum anioner	mekv/l		2.40	2.38	2.38	2.34	2.35	2.31		
Kationer:										
Silisium	mgSi/l		2.7	2.7	2.7	2.6	2.7	2.6		
Aluminium	mgAl/l		<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.024	<0.05	
Jern	mgFe/l		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	
Magnesium	mgMg/l		2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.7		
Kalsium	mgCa/l		39.3	38.9	38.9	38.3	38.3	37.6	15 - 25	
Natrium	mgNa/l		3.5	3.5	3.5	3.4	3.5	3.5	<20	150
Kalium	mgK/l		2.2	2	2	2	2.1	2.2	<10	12
Mangan	mgMn/l		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.02	0.05
Kobber	mgCu/l		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.1	0.3
Sink	mgZn/l		<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.1	0.3
Bly	mgPb/l		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		0.02
Nikkel	mgNi/l		<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02		0.05
Kadmium	mgCd/l		-	-	-	-	-	-		0.005
Krom	mgCr/l		-	-	-	-	-	-		0.05
Kvikksølv	mgHg/l		-	-	-	-	-	-		
Sum kationer	mmol/l		-	-	-	-	-	-		
Ionebalanse	%		-	-	-	-	-	-		

Fysisk-kjemiske, bakteriologiske og ionespesifikke analyser av grunnvannsprøver fra Fremo. Tall som viser avvik i forhold til veiledende verdier og/eller største tillatte verdier, jfr. "Forskrift om vannforsyning og drikkevann"- Sos. og Helsedept. 1995, er markert med uthevet skrift.

Vedlegg 3.4.

	Prøvenr:	9	10	11	12	13	14		
	Dato:	30.07.99	07.08.99	14.08.99	19.08.99	26.08.99	02.09.99		
	NGU-nr:	99.0383	99.0383	99.0383	99.0383	99.0383	99.0383	Vei-	Største
Parameter	Enhet							ledende	tillatte
								verdi:	verdi:
Fysisk-kjemisk:									
pH		-	-	-	-	-	-	7.5 - 8.5	6.5-8.5
Led	uS/cm	206	206	204	203	203	204	<400	
Temp.								<12	25
Alkalitet	mmol/l	1.97	1.99	1.94	1.93	1.92	1.94	0.6 - 1.0	
Farge	mg Pt/l	-	-	-	-	-	-	<1	20
Turbid.	F.T.U.	-	-	-	-	-	-	<0.4	4
Bakteriologisk:									
Tot.bakt. 20 gr.C	pr. ml	-	-	-	-	49	-	<100	
Tot.bakt. 37 gr.C	pr. ml	-	-	-	1	0	-	<10	
Kolif. bakterier	pr. 100ml	-	-	-	0	0	-		<1
Term. kolif. bakt.	pr. 100ml	-	-	-	0	0	-		<1
Anioner:									
Fluorid	mgF/l	<0.05	0.05	<0.05	0.07	<0.05	<0.05		1.5
Klorid	mgCl/l	4.7	4.7	4.8	4.7	4.8	4.7	<25	
Nitritt	mgNO ₂ /l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		0.16
Bromid	mgBr/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Nitrat	mgNO ₃ /l	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8		44
Fosfat	mgPO ₄ /l	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2		
Sulfat	mgSO ₄ /l	7	6.7	7	6.9	7.1	7.3	<25	100
Sum anioner	mekv/l	2.28	2.29	2.25	2.24	2.23	2.25		
Kationer:									
Silisium	mgSi/l	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.6		
Aluminium	mgAl/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.05	
Jern	mgFe/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	
Magnesium	mgMg/l	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.7		
Kalsium	mgCa/l	37.2	37	36.6	36.3	36.3	36.5	15 - 25	
Natrium	mgNa/l	3.4	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	<20	150
Kalium	mgK/l	1.9	2.4	1.9	2.4	2.3	2.3	<10	12
Mangan	mgMn/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.02	0.05
Kobber	mgCu/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.1	0.3
Sink	mgZn/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.0095	<0.1	0.3
Bly	mgPb/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		0.02
Nikkel	mgNi/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02		0.05
Kadmium	mgCd/l	-	-	-	-	-	-		0.005
Krom	mgCr/l	-	-	-	-	-	-		0.05
Kvikksølv	mgHg/l	-	-	-	-	-	-		
Sum kationer	mmol/l	-	-	-	-	-	-		
lonebalanse	%	-	-	-	-	-	-		

Fysisk-kjemiske, bakteriologiske og ionespesifikke analyser av grunnvannsprøver fra Fremo. Tall som viser avvik i forhold til veiledende verdier og/eller største tillatte verdier, jfr. "Forskrift om vannforsyning og drikkevann"- Sos. og Helsedep. 1995, er markert med uthevet skrift.

Vedlegg 3.5.

Parameter	Enhet	Prøvenr:	15	1	2	3	4	5	Vei- ledende verdi:	Største tillatte verdi:
		Dato:	09.09.99	14.10.99	18.10.99	25.10.99	01.11.99	08.11.99		
		NGU-nr:	99.0383	99.0378	99.0378	99.0378	99.0378	99.0378		
Fysisk-kjemisk:										
pH		-	8.2	8.1	8.2	8.1	8.2	7.5 - 8.5	6.5-8.5	
Led	uS/cm	203	207	190	194	190	194	<400		
Temp.								<12	25	
Alkalitet	mmol/l	1.92	1.89	1.75	1.78	1.74	1.79	0.6 - 1.0		
Farge	mg Pt/l	-	-	-	-	-	-	<1	20	
Turbid.	F.T.U.	-	-	-	-	-	-	<0.4	4	
Bakteriologisk:										
Tot.bakt. 20 gr.C	pr. ml	-	31	87	32	13	-	<100		
Tot.bakt. 37 gr.C	pr. ml	-	0	0	0	0	-	<10		
Kolif. bakterier	pr. 100ml	-	0	0	0	0	-		<1	
Term. kolif. bakt.	pr. 100ml	-	0	0	0	0	-		<1	
Anioner:										
Fluorid	mgF/l	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	0.06	<0.05		1.5	
Klorid	mgCl/l	4.7	4.4	4.2	4.3	4.4	4.2	<25		
Nitritt	mgNO ₂ /l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		0.16	
Bromid	mgBr/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1			
Nitrat	mgNO ₃ /l	1.7	1.3	0.8	1	0.8	0.7		44	
Fosfat	mgPO ₄ /l	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2			
Sulfat	mgSO ₄ /l	7.2	6.4	6	6.4	6.5	6.2	<25	100	
Sum anioner	mekv/l	2.23	2.17	2.01	2.05	2.01	2.05			
Kationer:										
Silisium	mgSi/l	2.5	2.2	2.2	2.2	2.1	2.2			
Aluminium	mgAl/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.05		
Jern	mgFe/l	<0.01	<0.01	<0.01	0.035	<0.01	<0.01	<0.05		
Magnesium	mgMg/l	2.7	2.5	2.3	2.4	2.4	2.3			
Kalsium	mgCa/l	35.9	35.8	33.4	33.9	33.9	33.7	15 - 25		
Natrium	mgNa/l	3.4	3.3	3.2	3.1	3.1	3.1	<20	150	
Kalium	mgK/l	2.5	2	2	2.3	2.2	2.2	<10	12	
Mangan	mgMn/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.02	0.05	
Kobber	mgCu/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.1	0.3	
Sink	mgZn/l	0.0187	<0.002	<0.002	0.0032	<0.002	0.0026	<0.1	0.3	
Bly	mgPb/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		0.02	
Nikkel	mgNi/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02		0.05	
Kadmium	mgCd/l	-	-	-	-	-	-		0.005	
Krom	mgCr/l	-	-	-	-	-	-		0.05	
Kvikksølv	mgHg/l	-	-	-	-	-	-			
Sum kationer	mmol/l	-	2.19	2.05	2.09	2.08	2.06			
lonebalanse	%	-	0.49	1.05	0.84	1.72	0.38			

Fysisk-kjemiske, bakteriologiske og ionespesifikke analyser av grunnvannsprøver fra Fremo. Tall som viser avvik i forhold til veiledende verdier og/eller største tillatte verdier, jfr. "Forskrift om vannforsyning og drikkevann"- Sos. og Helsedep. 1995, er markert med uthevet skrift.