

Rapport nr.: 2002.079	ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Georadarmålinger og forslag til sikringssoner ved grunnvannskilde, Skogshorn i Hemsedal kommune		
Forfatter: Øystein Jæger og Torleif Lauritsen		Oppdragsgiver: Hemsedal Kildevann AS
Fylke: Buskerud		Kommune: Hemsedal
Kartblad (M=1:250.000) Odda		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1616 IV, Hemsedal
Forekomstens navn og koordinater: Høgestølen, WGS84, Sone 32, 484730 6749014		Sidetall: 15 Pris: 120,- Kartbilag: 3
Feltarbeid utført: 26. - 27. juni 2002	Rapportdato: 30.08.2002	Prosjektnr.: 2713.06
Ansvarlig:		

Sammendrag:

Etter oppdrag fra Hemsedal Kildevann AS har NGU kartlagt løsmassenes mektighet og sammensetning i området ved Skogshornkilden som grunnlag for klausulering av området.

Undersøkelsene har omfattet målinger med georadar og fem sonderboringer. Georadarmålingene og boringene viser at morenemassene oppstrøms kilden har en mektighet på ca 8 m over fjell og at massene er finkornige. Grunnvannet infiltreres i nedbørssfeltet opp mot Skogshorn og strømmer langs fjellet (eller slår ut i fjellsprekker) under morenen, slik at vannet har lang oppholdstid i grunnen. Grunnvannet er dermed naturlig godt sikret mot forurensing. Grunnvannsutslaget er trolig betinget av sjikt med noe grovere masser som kiler ut mot kilden.

På grunnlag av de utførte undersøkelsene gir rapporten forslag til avgrensning av sikringssoner rundt kilden. Forslaget innebærer ingen endring i dagens arealbruk i området.

Emneord: Hydrogeologi	Kvartærgeologi	Geofysikk
Georadar	Sonderboring	Grunnvannskilde
		Fagrapport

## **INNHOLD**

<u>1.</u>	<u>INNLEDNING</u>	4
<u>2.</u>	<u>METODER OG UTFØRELSE</u>	4
<u>3.</u>	<u>RESULTATER</u>	5
<u>3.1</u>	<u>Georadar målinger</u>	5
<u>3.2</u>	<u>Sonderboringer</u>	6
<u>4.</u>	<u>HYDROGEOLOGISK VURDERING</u>	7
<u>5.</u>	<u>KONKLUSJON</u>	8

## **DATABILAG**

Databilag 1: Boreprofiler

Databilag 2: Georadarprofilenes koordinater for start- og slutt punkt

Databilag 3: Sonderboringenes koordinater

## **TEKSTBILAG**

Tekstbilag 1: Georadar – metodebeskrivelse

## **KARTBILAG**

- Kartbilag 2002.079-01:      Oversiktskart, Skogshorn (M 1: 50000)  
                                -02:      Kart med forslag til sikringssoner rundt kilden (M 1: 5000 og  
                                1: 50000)  
                                -03:      Georadaropptak og detaljkart, Høgestølen (M 1: 5000)

## 1. INNLEDNING

Etter oppdrag fra Hemsedal Kildevann AS har NGU utført georadarmålinger og sonderboringer ved grunnvannskilde ved Høgestølen sørøst for Skogshorn i Hemsedal (Figur 1). Hensikten med undersøkelsene var å kartlegge løsmassenes mektighet og sammensetning som grunnlag for klausulering av området rundt kilden. Kildens beliggenhet er vist i oversiktskart –01 (M 1:50000). Databilag 2 viser profilenes koordinater for start- og sluttspunkt. I databilag 3 presenteres borehullenes koordinater.



Figur 1: Kildens beliggenhet ved foten av Skogshorn.

## 2. METODER OG UTFØRELSE

Georadar er en elektromagnetisk målemetode som kan benyttes til undersøkelse av løsmassenes lagdeling og strukturer, samt grunnvannsspeilets beliggenhet. Metoden er basert på registrering av reflekterte elektromagnetiske bølgepulser fra grenseflater i jorda. En generell beskrivelse av georadarmetoden er gitt i tekstbilag 1.

Målingene ble utført med digital georadar av typen pulseEKKO 100 fra Sensors & Software Inc., Canada. Det ble benyttet 100 MHz-antennner. Merknader nederst i opptaket angir kryssing av profiler og terrengpunkter. Posisjonene som er angitt øverst i opptakene, forteller hvilken vei profilen er målt.

Til støtte for tolkingen av georadaropptakene har en benyttet resultatene fra sonderboringene. Sonderboringenes plassering er inntegnet på kartutsnittet i kartbilag –03 (M 1:5000), og sonderingene er i tillegg avmerket på opptakene.

Sonderboringene ble utført med Pionjér bensindrevet boremaskin. Tolkingen av boringene er basert på operatørens erfaringmessige vurdering av borets synkehastighet og lyden ved dreiling av borestrengen.

### **3. RESULTATER**

#### **3.1 Georadarmålinger**

Georadaropptakene og detaljert kart med profilenes beliggenhet er vist i kartbilag –03 (M 1:5000). For å få en så nøyaktig framstilling av georadaropptakene som mulig, har en foretatt terrenghøydene er hentet fra topografisk kart i målestokk 1:5000 med 5 meter koteavstand, og opptakene er forsynt med høydeakser (m.o.h).

Opptakene viser at løsmassene består av et tynt øvre lag med stort sett grove masser (sand/stein). Under det grove laget indikeres siltig materiale iblandet noe stein. Løsmasser med god elektrisk ledningsevne, som f.eks silt, vil dempe energien i georadarbølgene. På steder hvor de siltdominerte massene har størst mektighet ser en derfor at den underliggende fjellreflektoren er svak eller vanskelig lar seg detektere (markert med spørsmålstege i opptaket). Det har ikke vært mulig å påvise grunnvannsspeil som en distinkt reflektor i opptakene. Dette kan skyldes at den kapillære stigeevnen øker i de finkornige massene. Årsaken kan også være at vannspeilet følger fjelloverflata og dermed ikke lar seg skille fra denne.

##### P1

Til støtte for tolkingen har en benyttet resultatene fra sonderboringene bh 2 og bh 3, som viser en lagrekke av grove masser over underliggende siltig materiale. I starten av profilet er det øvre laget relativt tykt, og inneholder trolig en del rasmateriale. I de siltige massene, fra posisjon 105 til posisjon 160, indikeres flere reflektorer som kan følges fra fjelloverflata ut mot topplaget. Disse representerer trolig grovere lag som kan lede grunnvann ut til kilden. Mellom posisjonene 75 og 105 sees færre og svakere reflektorer internt i det siltige materialet. Her er trolig de siltige massene mer ensgradert og muligens tettere enn ved kilden.

##### P2

I dette opptaket sees fjelloverflata tydelig mellom posisjonene 60 og 118. Interne reflektorer i fjellet indikerer skifrig bergart. I resten av opptaket er det vanskelig å detektere fjelloverflata. Her er de siltige massene så mektige at energien i radarbølgene blir svekket. Relativt markerte reflektorer internt i siltpakken indikerer innslag av grovere materiale.

##### P3

Resultatene fra sonderboringene bh 4 og bh 5 er benyttet ved tolking av opptaket. Opptaket er relativt likt det en ser i profil 2. Den siltdominerte lagpakken kan imidlertid se ut til å være mer ensgradert her, dvs med færre og svakere reflektorer.

##### P4

Bare i de 15 siste meterne av profilet avtegnes en tydelig fjellreflektor. Også i dette opptaket sees relativt liten reflektivitet i laget med siltig materiale. Dette indikerer altså mindre innslag av grovere masser.

## P5

Sonderboring bh 1 har vært til hjelp ved tolking av dette opptaket. Opptaket viser et forholdsvis tynt topplag som, ifølge boringen, inneholder grove masser. Det underliggende laget er trolig dominert av silt, men et tett reflektormønster indikerer innslag av grovere masser. I første halvdel av profilet er det siltdominerte laget relativt tynt. Energien i georadarbølgene blir derfor lite redusert her. Fjelloverflata og reflektorer internt i fjell trer dermed tydelig fram i denne delen av opptaket. Strukturene i fjell indikerer skifrig bergart.

### 3.2 Sonderboringer

For å støtte tolkningen av georadarmålingene ble det foretatt fem sonderboringer i området oppstrøms kilden. Plasseringen av boringene går fram av kartbilag –03. Resultatet av boringene går fram av boreloggen i databilag 1. Boringene er 2,7 – 8,0 m dype og viser morenemasser med stort siltinnhold, men med noe stein, under ca 1 m grusige/steinige masser (ablasjonsmorene). Alle boringene ble avsluttet mot fjell eller stor stein.



Figur 2: Sonderboring

#### 4. HYDROGEOLOGISK VURDERING

Løsmassene i skråningen ovenfor kilden, som ligger i høyde 982 m.o.h., er en siltig morene avsatt av isen da innlandsisen smeltet ned mot slutten av siste istid (for ca. 10 000 år siden) og mektigheten er ca. 8 m over fjell. Høyere opp i skråningen er morenen overlagret av ur, mens det er bart fjell videre opp mot toppen av Skogshorn.



Figur 3: Kildeutspring

Nedbør som faller innenfor nedbørsfeltet til kilden vil i hovedsak følge fjelloverflaten og strømme gjennom ur- og morenemassene ned mot kilden. Noe vann vil også følge sprekker i fjellet og noe av vannet i kilden kan ha opphav fra slike fjellsprekker som munner ut under morenen. Kildeutslaget er trolig betinget av at lag med noe grovere masser kiler ut mot kilden, slik georadarundersøkelsene indikerer.

Vannets strømningshastighet gjennom morenen kan beregnes med følgende formel:

$$v = k \times i/n_{eff}$$

der

" $k$ " er hydraulisk ledningsevne. I siltig morene kan  $k$  settes til  $10^{-6}$  m/s

" $i$ " er hydraulisk gradient som er grunnvannsspeilets helning inn mot kilden. Gradienten antas å følge fjelloverflata og er beregnet til 0.47 (47 %).

" $n_{eff}$ " er effektiv porøsitet som anslås til 0.05 (5 %) i morene.

Dette gir en antatt strømningshastighet gjennom morenen på  $10^{-6}$  m/s  $\times$  0.47/0.05 =  $9.4 \times 10^{-6}$  m/s = 0.8 m/døgn. Ettersom fjellsiden er dekt av morene mer enn 200 m oppstrøms kilden vil

opholdstiden for grunnvannet bli svært lang. Dette bekreftes også av temperaturmålinger av vannet utført gjennom året 1997 (referanse Hemsedal Kildevann A/S), som viser at vannet har stabil temperatur i området 3.1 – 3.8 °C gjennom hele året.

Dette gir grunnlag for følgende forslag til sikringssoner ved kilden:

*Sone 0; Kildeområdet.*

Området sikres med inngjerding av et areal på 10 x 20 m. Gjerdet skal sikre at ingen annen aktivitet enn nødvendig tilsyn i forbindelse med kildevannproduksjonen foregår i denne sonen. Gjerdet nedstrøms kilden plasseres i avstand ca.2 m nedenfor inntakskummen og det øvre gjerdet ca 18 m ovenfor kummen.

*Sone 1; Det nære tilsigsområdet.*

Grunnvannet ved yttergrensen av denne sonen må bruke minimum 60 døgn fram til brønnen. Ut fra beregnet strømningshastighet på 0.8 m for grunnvannet må sonen strekke seg ca.50 m (0.8 m x 60 = 48 m) oppstrøms kilden. I denne sonen tillates ingen forurensende aktivitet eller endringer i dagens arealbruk. Forslaget til sonegrense er vist i kartbilag -02.

*Sone 2; Det fjerne tilsigsområdet.*

Alt vann som slår ut i kilden skal være infiltrert innenfor denne sonen. I dette tilfellet vil det være naturlig at sonen omfatter hele nedbørsfeltet til toppen av Skogshorn. Forslaget til sonegrense vil ikke innebære noen endring i dagens arealbruk og er vist i kartbilag -02.

*Sone 3; Det ytre verneområde.*

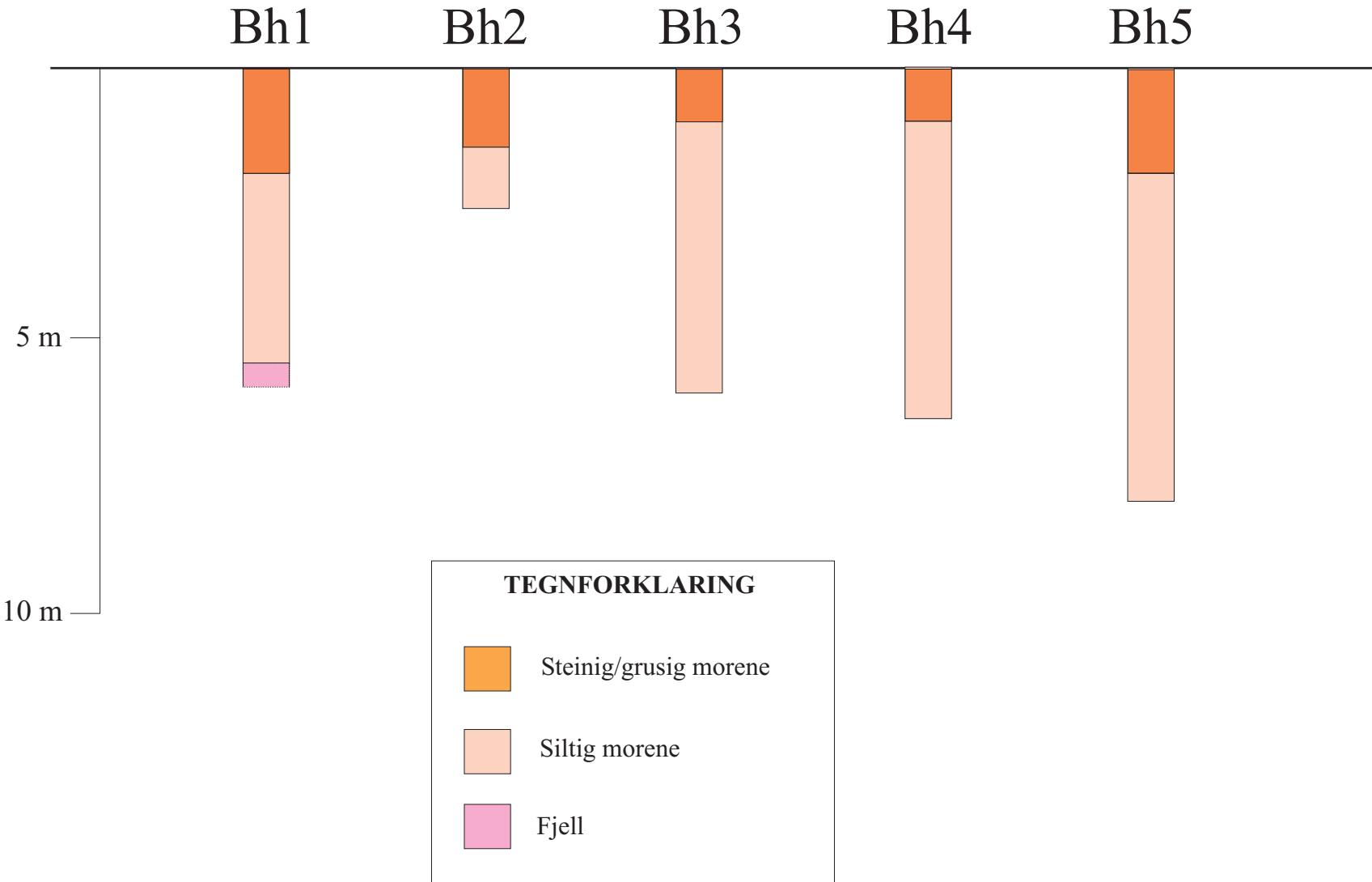
Sonen skal omfatte arealer som vil kunne influere på grunnvannets kvalitet og det forslås at sonen sammenfaller med sone 2.

## 5. KONKLUSJON

Georadarmålingene og boringene viser at morenemassene oppstrøms kilden har en mektighet på ca 8 m over fjell og at massene er finkornige. Grunnvannet infiltreres i nedbørsfeltet opp mot Skogshorn og strømmer langs fjellet (eller slår ut i fjellsprekker) under morenen, slik at vannet har lang oppholdstid i grunnen. Grunnvannet er dermed naturlig godt sikret mot forurensing. Grunnvannsutslaget er trolig betinget av sjikt med noe grovere masser som kiler ut mot kilden.

De foreslalte sikringssonene rundt kilden vil ikke innebære endringer i dagens arealbruk. Eneste nødvendige sikringstiltak er å sette opp gjerde rundt selve kilden (i sone 0).

## Borprofiler Skogshornkilden



<i>Profil</i>	<i>NGO1948</i> <i>(Akse 2)</i>		<i>UTM</i> <i>(Sone32, WGS84)</i>	
	<i>Y</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>N</i>
PR1	18061	320454	484653	6749126
PR1	18150	320315	484741	6748986
PR2	18148	320444	484740	6749115
PR2	18036	320368	484627	6749040
PR3	18044	320360	484635	6749032
PR3	18157	320424	484749	6749095
PR4	18168	320404	484760	6749075
PR4	18059	320330	484650	6749002
PR5	18076	320323	484667	6748995
PR5	18172	320364	484763	6749035
Kildekum	18139	320343	484730	6749014

*Georadarprofilenes koordinater for start- og sluttspunkt (målt med GPS)*

<i>Sonderboring</i>	<i>NGO1948</i> <i>(Akse 2)</i>		<i>UTM</i> <i>(Sone32, WGS84)</i>	
	<i>Y</i>	<i>X</i>	<i>E</i>	<i>N</i>
Bh1	18121	320336	484713	6749008
Bh2	18124	320375	484716	6749047
Bh3	18121	320381	484713	6749053
Bh4	18092	320371	484684	6749043
Bh5	18129	320398	484721	6749070

*Sonderboringenes koordinater (målt med GPS)*

## GEORADAR - METODEBESKRIVELSE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

