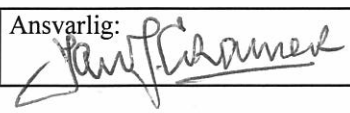


NGU Rapport 2006.031

Kvalitet av borebrønner i fjell –
videoinspeksjon av brønnutforming

Rapport nr.: 2006.031		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Kvalitet av borebrønner i fjell - videoinspeksjon av brønnutforming				
Forfatter: Gaute Storrø, Sylvi Gaut, Frank Sivertsvik, Pål Gundersen, Torbjørn Sjørdal og Tomm Berg		Oppdragsgiver: NGU		
Fylke: Flere (tabell 4.1)		Kommune: Flere		
Kartblad (M=1:250.000) Flere		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) Flere		
Forekomstens navn og koordinater: Norge		Sidetall: 30 Kartbilag: 0	Pris: 130,-	
Feltarbeid utført: 2004 og 2005	Rapportdato: 15.10.2006	Prosjektnr.: 304700	Ansvarlig: 	
Sammendrag:				
<ul style="list-style-type: none"> - Totalt er 270 brønnlokalteter besøkt, hvorav 213 brønner er filmet med videokamera. Filming i de resterende 57 brønnene var ikke mulig hovedsakelig med bakgrunn i tekniske forhold i brønnene. - Status for brønnsikring/brønnavslutning er vurdert for 240 brønner. 72 brønner (30 %) har ingen sikring, dvs kun et frittstående foringsrør som stikker opp av bakken, 26% har et brønnhus over brønnrøret og 44% har nedgravd kum. - Opplysninger om hvilke type rørmateriale som er benyttet i foringsrøret er registrert for 233 brønner. 32 brønner (14%) har foringsrør i plast og 201 brønner (86%) har foringsrør i stål. - For 35 % av brønnene er foringsrøret boret mindre enn 1 m ned i fjell og 50 % av brønnene har foringsrøret boret mindre enn 1,8 m ned i fjell. For 20 % av brønnene er foringsrøret boret mer enn 5 m ned i fjell. - Under den visuelle vurderingen av brønnkvaliteten, basert på de innsamlede videoopptakene, er følgende problemindikatorer definert som de 4 viktigste: <ul style="list-style-type: none"> 1) innlekkasje av vann i overgangen mellom foringsrør og fjell 2) oppsprekking i fjellet rett under foringsrøret 3) oppsprekking og innlekkasje i brønnen mindre enn 10 m under bakkenivå 4) begroing og belegg i foringsrøret og borehullet - I det innsamlede videomaterialet er det funnet 150 brønner hvor det er mulig å foreta en vurdering av innlekkasje i underkant av foringsrøret. I 37 % av brønnene er det <u>ikke</u> observert lekkasje eller spor etter tidligere lekkasje under foringsrøret. Lekkasje under foringsrøret observeres i 40 % av brønnene. - Oppsprekking og hulrom i borehullet rett under foringsrøret er vurdert for 210 brønner. I 154 brønner (73 %) er det ikke registrert synlig oppsprekking. I 39 brønner (19 %) er borehullsveggen oppsprukket eller det er observert store hulrom der foringsrøret slutter. - Vanninnslag < 10 m under bakkenivå er observert i 63 brønner (ca 29 %). Sprekker eller hulrom < 10 m under bakkenivå er observert i 126 brønner (59 %) Observasjonene viser at dagnær oppsprekking ikke automatisk medfører innlekkasje av overflatevann/sigevann. - 48 av 213 loggede brønner (23 %) er helt fri for begroing og/eller belegg, mens 86 brønner (40 %) har både begroing og belegg. Begroing alene er observert i 109 brønner. - En samlet vurdering av dataene viser at i 141 av 156 brønner (90 %) observeres én eller flere av problemindikatorerne knyttet til <u>sprekker og lekkasje</u>. Dersom <u>begroing/belegg</u> inkluderes i totalvurderingen registreres det kun 3 brønner (1,4 %) hvor ingen av de fire problemindikatorerne er observert. 				
Emneord: Hydrogeologi	Borebrønn		Borehullslogging	
Grunnvannsforsyning	Grunnvannskvalitet		Fagrapport	

INNHALDSFORTEGNELSE

1. FORORD/INNLEDNING	5
2. BAKGRUNN.....	5
3. MÅLSETTING.....	5
4. METODEBESKRIVELSE.....	6
4.1 UTVELGELSE AV LOKALITETER	6
4.2 UTSTYRSBESKRIVELSE	9
4.3 FELTARBEID	10
4.4 VANNPRØVER.....	11
4.5 DATABEARBEIDING	11
5. RESULTATER.....	12
5.1 AREALBRUK	12
5.2 BRØNNUTFORMING	12
5.2.1 <i>Brønnsikring</i>	12
5.2.2 <i>Foringsrøret</i>	13
5.3 PROBLEMINDIKATORER.....	15
5.3.1 <i>Innlekkasje av vann i overgangen mellom foringsrør og fjell</i>	15
5.3.2 <i>Oppsprekking rett under foringsrøret</i>	16
5.3.3 <i>Oppsprekking og innlekkasje i fjellet nærmere overflaten enn 10 m</i>	17
5.3.4 <i>Begroing og belegg i foringsrøret og borehullet</i>	18
5.3.5 <i>Brønner uten "problemindikatorer"</i>	21
5.4 SAMVARIASJON MELLOM PROBLEMINDIKATORER	22
6. DISKUSJON	26
6.1 LØSMASSEDEKKE	26
6.2 BEGROING	26
6.3 FORINGSRØRET: LENGDE, AKTIVE TETTETILTAK OG MATERIALVALG.	27
7. BRØNNUTFORMING	29
7.1 ANBEFALINGER FOR UTFORMING AV FORINGSRØR, BRØNNHUS OG BRØNNKUM	29
7.2 RUTINEMESSIG VIDEOINSPEKSJON VED ETABLERING AV NYE BOREBRØNNER.....	30
8. VIDERE ARBEID.....	30
9. REFERANSER.....	30
10. VEDLEGG.....	31

FIGURFORTEGNELSE

- Figur 4.1** Geografisk fordeling av de 213 brønnene som er logget med videokamera
- Figur 4.2 a)** Oversikt over eierform for brønnene som inngår i undersøkelsen.
- Figur 4.2 b)** Oversikt over bruksområde for de private brønnene som inngår i undersøkelsen
- Figur 4.3** Bilde av videokamera og videolagringsenhet som ble benyttet i forbindelse med brønninspeksjonene.
- Figur 4.4** Figuren viser antall brønner fordelt på filmet dyp i intervaller på 5 m (>0-5, >5-10, osv.). Samtlige brønner er filmet forbi enden av foringsrøret og ned i fjell. Totalt er 213 brønner filmet.
- Figur 5.1** Lengde av foringsrør over bakkenivå, frekvensfordeling for 136 brønner.
- Figur 5.2** Frekvensfordeling for målt total lengde av foringsrør i 205 brønner.
- Figur 5.3** Frekvensfordeling for foringsrørlengde ned i fjell. Antall brønner er 128.
- Figur 5.4** Bildet tatt like over den nedre enden av foringsrøret og viser tydelig vannlekkasje (blåfarge) under røret. (Lokalitet: Hovdenakk, Ørsta i Møre og Romsdal)
- Figur 5.5** Eksempel på en rennestrøpe.
- Figur 5.6** Eksempler på begroing; stillbilder laget med utgangspunkt i videoopptakene.
- Figur 5.7** Tykkelse av løsmassedekket i forhold til antall brønner hvor lekkasjer under foringsrøret er observert.
- Figur 5.8** Tykkelsen av løsmassedekket i forhold til størrelsen (vannmengde) av lekkasjer under foringsrøret.
- Figur 5.9** Andel brønner hvor ulike former for begroing er registrert, sett i forhold til brønnenes etableringsår (alder).
- Figur 5.10** Andel brønner med lekkasjer under foringsrøret, sett i forhold til grad av oppsprekking i fjellet under foringsrøret.
- Figur 5.11** Løsmassedekkets tykkelse i brønner hvor det ikke er registrert oppsprekking i fjellet rett under foringsrøret, men hvor det samtidig *er* registrert lekkasjer under foringsrøret.
- Figur 6.1** Eksempel på bruk av innvendig plastforing.
- Figur 7.1** Eksempel på anbefalt brønnutforming med brønnhus og brønnkum.

TABELLFORTEGNELSE

- Tabell 4.1** Oversikt over brønnlokalteter besøkt, og brønner filmet.
- Tabell 4.2** Oversikt over kontraktsnummer, antall prøver og fylke/kommune hvor vannprøver er samlet inn.
- Tabell 5.1** Antall brønner fordelt på type brønnavslutning.
- Tabell 5.2** Prosentvis fordeling av brønner i forhold til lekkasjetilstand.
- Tabell 5.3** Antall brønner der oppsprekking ble observert i borehullet rett under foringsrøret.
- Tabell 5.4** Antall brønner med vanninnslag < 10 m fra bakkenivå.
- Tabell 5.5** Antall brønner med observerte sprekker eller hulrom < 10 m fra bakkenivå.
- Tabell 5.6** Antall brønner med begroing og/eller belegg.
- Tabell 5.7** Antall brønner fordelt på ulik type begroing.
- Tabell 5.8** Antall brønner fordelt på ulik type belegg.
- Tabell 5.9** Antall brønner som har lekkasje og/eller oppsprekking i underkant av foringsrøret.
- Tabell 5.10** Antall brønner som har innlekkasje av vann og/eller sprekker under foringsrøret og/eller innlekkasje av vann og/eller sprekker langs borehullsveggen < 10 m under bakkenivå.

1. FORORD/INNLEDNING

Prosjektet "Sårbarhetskartlegging av borebrønner i fjell" (Gaut 2005) konkluderte med at dårlig brønnutforming var eller kunne være en viktig årsak til dårlig mikrobiologisk vannkvalitet i grunnvannsbrønner boret i fjell. Sårbarhetskartleggingen ble videreført i "Brønnkvalitetsprosjektet" med målsetting om å fremskaffe landsdekkende data som kunne benyttes til en statistisk vurdering av brønnutformingsproblematikken. De innsamlede data er presentert og vurdert i denne rapporten.

2. BAKGRUNN

Program for vannforsyning (PROVA) satte økt fokus på grunnvann som drikkevannskilde på slutten av 1990 tallet. En gjennomgang av vannanalyser avdekket både dårlig fysikalsk-kjemisk og mikrobiologisk vannkvalitet ved flere vannverk basert på grunnvann fra borebrønner i fjell. Mer detaljerte, regionale studier har blant annet blitt gjort på grunnvannskjemi av (Englund & Myrstad 1980; Bjorvatn et al. 1994; Hongve et al. 1994; Banks et al. 1995a; Banks et al. 1995b; Reimann et al. 1996; Morland 1997; Frengstad 2002). Ingen av disse studiene er relatert til mikrobiologisk kvalitet på grunnvannet. NGU satte derfor i gang et prosjekt i 1998 med tittelen "Sårbarhetskartlegging av borebrønner i fjell" for å finne årsakene til den dårlige mikrobiologiske vannkvaliteten (Gaut 2005).

Prosjektet konkluderte med at dårlig brønnutforming var en av de viktigste årsakene til dårlig mikrobiologisk vannkvalitet. Flere brønneiere påpekte at vannkvaliteten ble dårligere i perioder med mye nedbør og/eller snesmelting. Observasjoner i felt viste mange brønner med dårlig brønnutforming og sikring, og ansamlinger av overflatevann rett ved eller i kontakt med brønnene. Brønnene manglet ofte brønnhus eller brønnkum, og i de tilfeller det var etablert brønnkummer var disse ofte feilaktig utformet eller dårlig vedlikeholdt. I de fleste tilfellene der brønnen var plassert i brønnhus eller brønnkum manglet lokk på foringsrør (brønnlokk) eller de var utette. For brønner beskyttet med en brønnkum var også ofte toppen av foringsrøret avsluttet under bakkenivå., Det ble også registrert at brønnene var plassert slik at regn- og smeltevann samlet seg rundt brønnene.

På bakgrunn av disse observasjonene ble Brønnkvalitetsprosjektet startet opp for å kartlegge omfanget av mangelfullt utformede brønner i fjell. Det ble formulert en hypotese om at vann rant inn i brønnene mellom foringsrør og fjell på grunn av dårlig eller manglende tetting i bunnen av foringsrøret. Prosjektet ble startet for å bekrefte/avkrefte denne hypotesen.

3. MÅLSETTING

Målsettingen for "Brønnkvalitetsprosjektet" var å fremskaffe landsdekkende data som kunne benyttes for en statistisk vurdering av den aktuelle problemstillingen. Dataene som tidligere hadde blitt samlet inn i "Program for vannforsyning" (PROVA) og i prosjektet "Sårbarhetskartlegging av borebrønner i fjell" var ikke av en slik kvantitet og kvalitet at de kunne gi et landsdekkende bilde av forekomsten av borebrønner med mangelfull/feilaktig teknisk utforming. Det ble satt som mål for prosjektet å samle inn videoopptak fra ca 250 enkeltbrønner (ca 1% av brønnene som pr 01.01.2005 var registrert i Brønn databasen) fordelt over hele landet, for deretter å gjøre statistiske vurderinger med bakgrunn i disse dataene.

Under datainnsamlingen ble det fokusert på følgende problemindikatorer (se nærmere omtale i avsnitt 5.3):

- Innlekkasje av vann i overgangen mellom foringsrør og fjell
- Oppsprekking i fjellet rett under foringsrøret
- Oppsprekking og innlekkasje i fjellet mindre enn 10 m under overflaten
- Teknisk utforming av brønnhus/brønnkum
- Områdehygiene i det nære tilsigsområdet

Underveis i prosjektet ble det klart at ulike former for begroing og belegg opptrer ganske hyppig i fjellbrønner. Det ble derfor foretatt en systematisk registrering også av denne mulige problemindikatoren.

For å lette bearbeidingen ble alle data samlet i en digital database bestående av brønnvideoer fra borehullene, fotografier av brønnenes nærområde samt faktaark for hver enkelt lokalitet. Den etablerte databasen vil være nyttig også i fremtidige prosjekter med fokus på andre problemstillinger, og vil på sikt bli gjort tilgjengelig for NGU's kunder.

Med bakgrunn i de innsamlede data, er det forsøkt å tallfeste i hvor stort omfang uheldige tekniske løsninger for borebrønner i fjell forekommer. Forslag til forbedring av de tekniske løsningene, både under boreprosessen og den etterfølgende brønnavslutning (brønnkum/hus m.v.), er fremlagt.

4. METODEBESKRIVELSE

4.1 Utvelgelse av lokaliteter

Da prosjektet ble startet i 2004, var det ca 25.000 brønner i den nasjonale Brønn databasen ved NGU. Ut fra en statistisk vurdering ble det bestemt at ca 1 % (250) av disse brønnene skulle filmes. Ved avslutningen av prosjektet var 213 brønner inspisert.

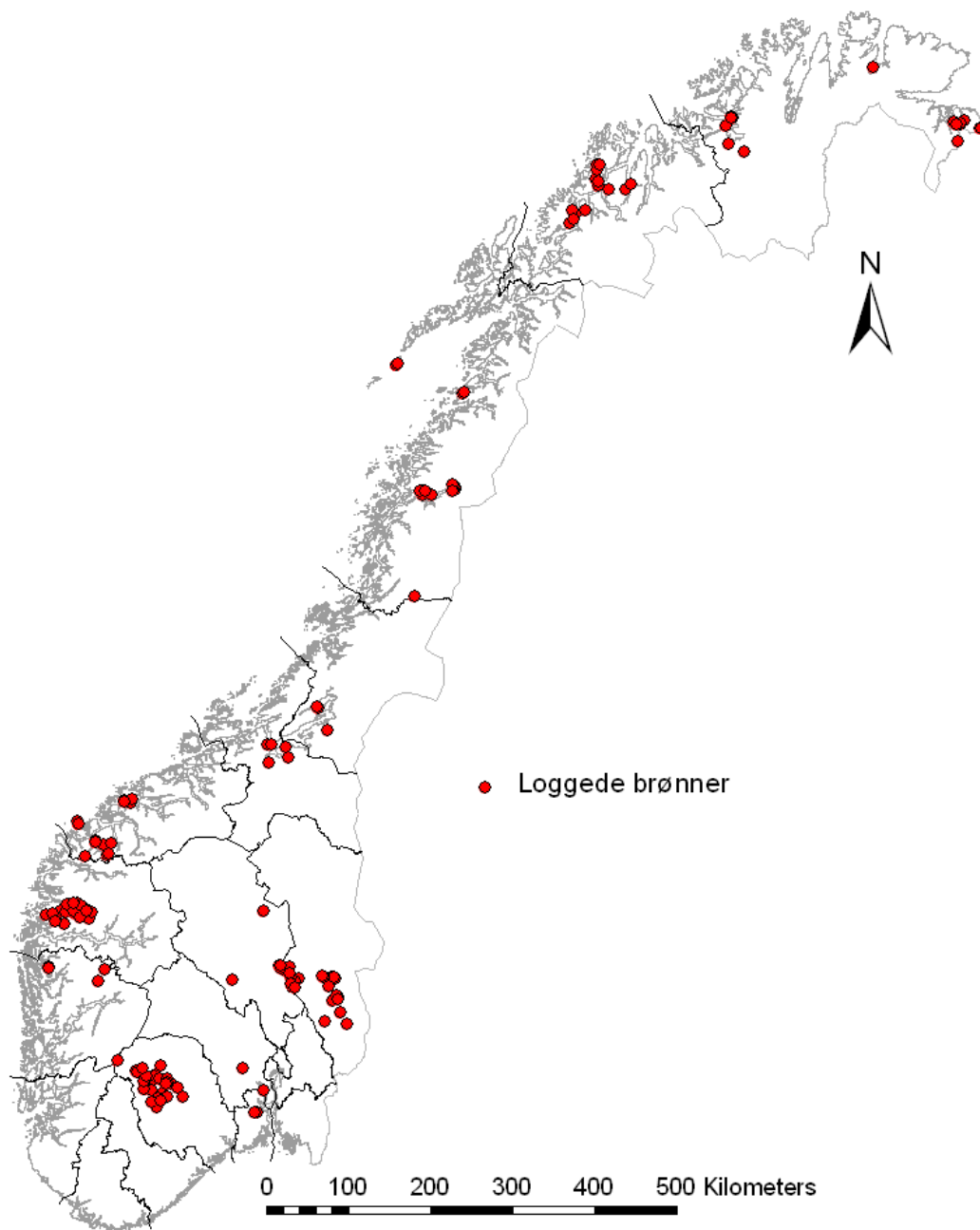
Det er forsøkt å få en landsdekkende geografisk spredning av undersøkelseslokalitetene, og de 213 loggede brønnene representerer 37 kommuner fordelt på 13 fylker (figur 4.1, tabell 4.1). For å minske reisekostnadene ble 5-30 brønner undersøkt i hver kommune. Brønnene inngår i kommunale og private vannverk (dvs. flere forbrukere knyttet til samme brønn) eller de er private brønner som forsyner enkelthusholdninger eller gårdsbruk (figur 4.2).

En del kommuner ble valgt på grunnlag av brønner som var undersøkt i NGU-prosjektet "Sårbarhetskartlegging av borebrønner i fjell". Prosjektet viste at oppfølgende undersøkelser i nye brønner i flere av disse kommunene, syntes å være interessant. I tillegg ble data om borebrønner i fjell hentet ut fra NGUs Brønn database. Brønnene ble sortert i ulike kategorier, og følgende brønner ble forkastet:

- Alle brønner med foringsrørsdiameter < ca 110 mm (4")
- Alle brønner boret før 1985, dersom ikke foringsrørsdiameter var > ca 110 mm.
- Energibrønner
- Skråbrønner

Bakgrunnen for at alle brønner med foringsrørdiameter < 110 mm er utelatt i undersøkelsen er at brønn diameter er for liten til at inspeksjonskameraet vil få plass ved siden av brønninstallasjonene. Det ble antatt at brønner boret før 1985 gjennomgående hadde for liten diameter. Energibrønner ble utelatt fordi de ofte er dekket til og dermed vanskelig tilgjengelig for inspeksjon. For skråbrønner ble det i utgangspunktet antatt at kameraføring ville bli vanskelig.

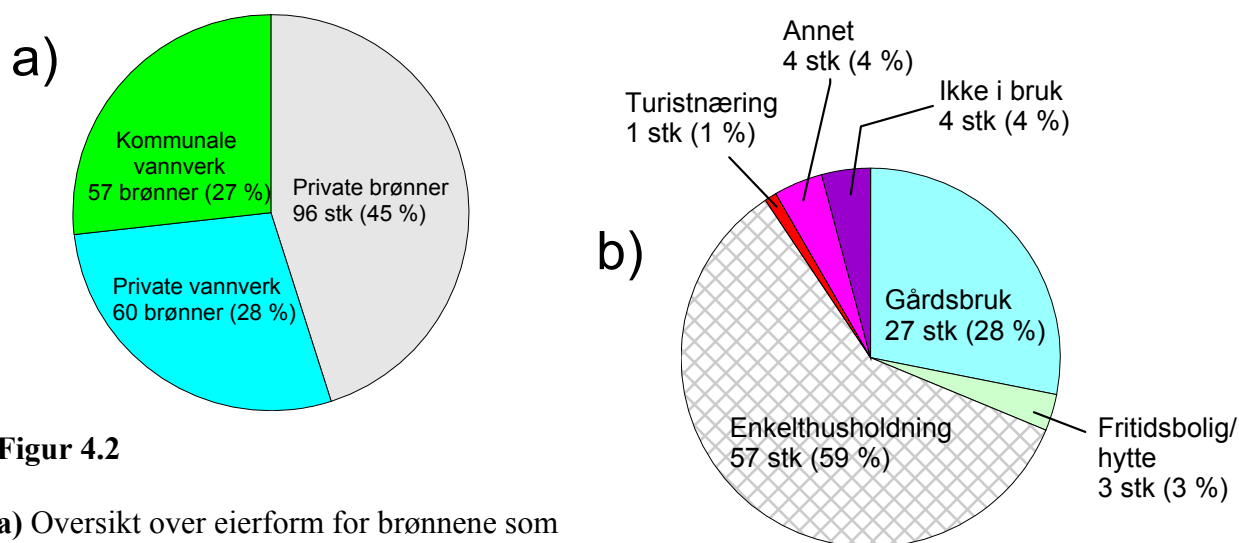
De resterende brønnene ble sortert etter kommune og bruksområde (vannverk, hytte/fritidsbolig, gårdsbruk og enkelthusholdning). For å effektivisere undersøkelsene ble kommuner med mange brønner valgt ut i denne undersøkelsen. Brønner tilknyttet hytte/fritidsboliger ble i liten grad inkludert i undersøkelsene da det ble antatt at det kunne bli vanskelig å finne eierne og/eller få tilgang til brønnene. For å få tillatelse til å gjennomføre brønninspeksjonene ble brønneiere kontaktet pr telefon.



Figur 4.1 Geografisk fordeling av de 213 brønnene som er logget med videokamera

Tabell 4.1 Oversikt over besøkte brønnlokaliteter og brønner som er filmet. Antall brønnlokaliteter besøkt er høyere enn antall brønner filmet fordi de fysiske forholdene i noen brønner gjorde filming umulig. Kategorien "Antall brønner ikke besøkt" er et mål på brønner som var tenkt logget, men der brønneier ikke ønsket at vi skulle filme i brønnene eller det var ikke mulig å komme i kontakt med brønneier under feltarbeidet.

Fylke	Antall brønn-lokaliteter besøkt	Antall brønner filmet	Antall brønner ikke besøkt
Akershus	7	0	0
Buskerud	3	1	0
Hedmark	51	44	7
Oppland	7	4	0
Vestfold	6	3	2
Telemark	39	39	4
Sogn og Fjordane	28	27	1
Hordaland	5	5	1
Møre og Romsdal	25	21	7
Sør-Trøndelag	7	5	0
Nord-Trøndelag	4	3	3
Nordland	33	24	0
Troms	18	16	0
Finnmark	30	21	0
SUM	270	213	25



Figur 4.2

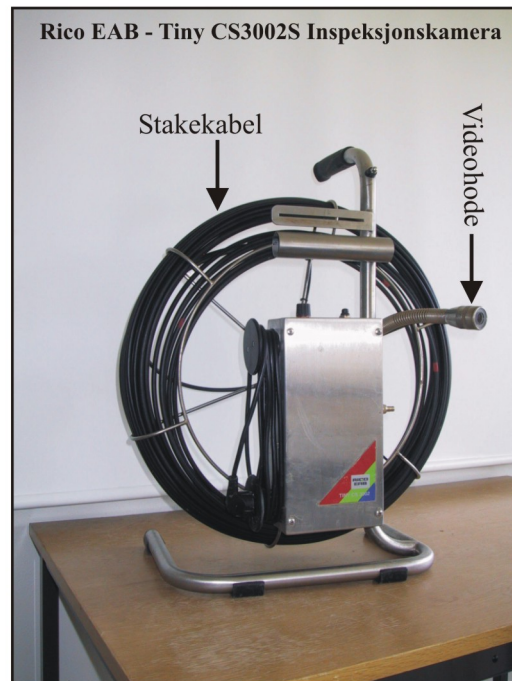
a) Oversikt over eierform for brønnene som inngår i undersøkelsen.

b) Oversikt over bruksområde for de private brønnene som inngår i undersøkelsen

4.2 Utstyrsbeskrivelse

Utstyret som er benyttet under videoinspeksjonen av borebrønner består av 2 hoveddeler:

- 1) Opptaksenheten produseres av det tyske firmaet Rico EAB og har typebetegnelsen TINY CS 3002S. Utrustningen består av et digitalt videohode montert på en 50 m lang "stakekabel", og er et standard produkt konstruert for alle typer rørinspeksjoner (vann&avløp m.m.). Videohodet er 36 mm i diameter og er utstyrt med en lysdiode-ring for belysning av videohodets omgivelser. Via "stakekabelen" er videohodet koblet til en kontrollenhet som har utgang for signal til TV-monitor, og for signal til analogt eller digitalt lagringsmedium (opptaker). Fra kontrollenheten styres også lysstyrken for lysdioderingen samt posisjonsangivelsen for videohodet (meteravstand i forhold til valgt nullpunkt). Produktet leveres i flere varianter med ulike kabellengder og med videohoder med ulik toleranse for vanddyb (trykk). Rico's TINY Power Pack (12V/1A) ble benyttet som strømforsyning.
- 2) Datalagringsenheten som ble brukt er en såkalt "Portable Video Recorder (PVR)" produsert av firmaet Archos. Det meste av datainnsamlingen ble gjennomført med modellen Archos AV380. Denne ble ødelagt pga brukerfeil (feil spenning på strømtilførsel) og erstattet av den nyere modellen Archos AV4100. Den største fordelene med den sistnevnte modellen er at den har TFT-skjerm, som gir betydelig mindre refleksjon av dagslys (se kommentarer nedenfor) enn en standard LCD skjerm. AV4100 har i tillegg innebygd inngang/omformer for analogt videosignal. AV4100 har en USB 2.0 100Gb hard-disc som gir lagringsplass for ca 100 timer videoopptak i AVI-format (MPEG-4 Simple Profile compliant).



Figur 4.3: Bilder av videokamera og videolagringsenhet som ble benyttet i forbindelse med brønninspeksjonene.

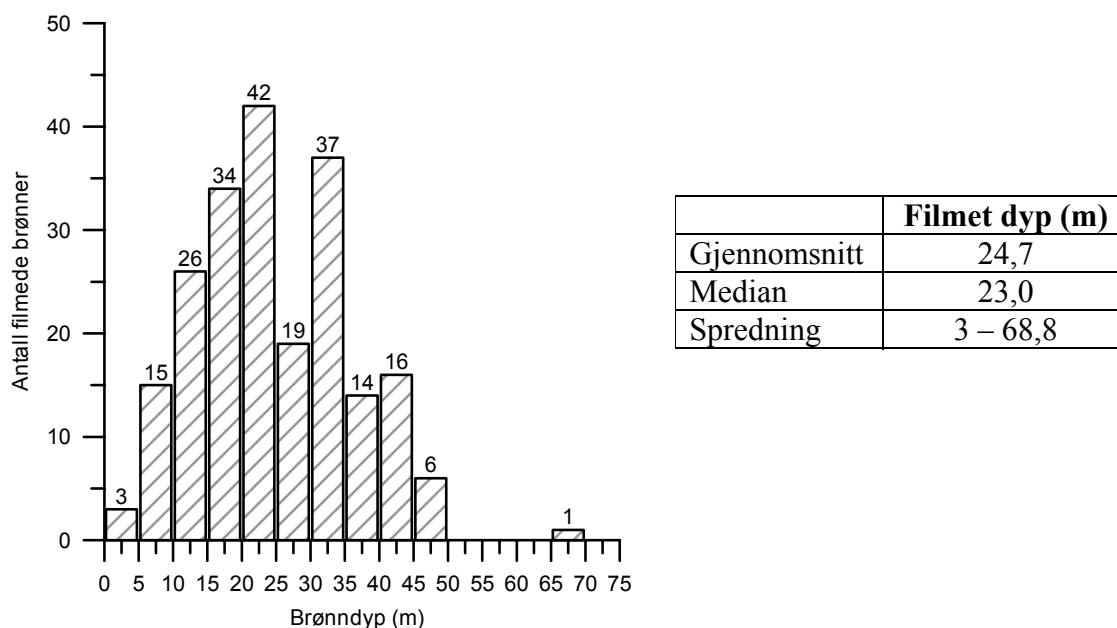
Erfaringene med bruk av den omtalte utstyrs pakken har gjennomgående vært meget positive. Rico's kamerautstyr tåler tøff fysisk behandling, er enkelt å operere (kun på/av og lysstyrke) og videokameraet gir en bildekvalitet som tilfredsstillende kravene i dette prosjektet. Etter å ha fått vann/dugg inn i kamerahodet, trolig etter flere kraftig støt mot kamerallinsen ved manøvrering forbi sprekkesoner i borehull, viste det seg vanskelig å bli kvitt fuktigheten. Kamerahodet måtte sendes til service hos Rico, noe som gav en lengre uønsket stopp i prosjektet samt vesentlige ekstra utgifter.

Archos' videooptaker er i utgangspunktet ikke konstruert for "tøff" bruk i felt. Den viste seg likevel å være så vidt robust at tidkrevende eller kompliserende foranstaltninger i felt for å beskytte instrumentet ikke var påkrevd. Beskyttelse mot nedbør og annen vannsprut var det eneste nødvendige tiltak, utover alminnelig omtanke mht. slag/støt. For å kunne styre bevegelsene av videohodet ned gjennom brønnhullet (stopp ved interessante "objekter", manøvrering gjennom trange passasjer m.v.) var en tydelig gjengivelse på skjermen på videooptakeren påkrevd. På modellen AV380, som hadde en standard LCD-skjerm, var refleksjonen av dagslys så sterk at det ikke var mulig å se videobildene uten ekstra tiltak for lysskjerming. Mange løsninger ble prøvd, uten at noen av dem ble funnet å være 100 % tilfredsstillende. Modellen AV4100 med TFT-skjerm representerer et betydelig fremskritt med hensyn til å dempe refleksjonen av dagslys.

4.3 Feltarbeid

Feltarbeidet inkluderte videoinspeksjon av brønnen, fotografering av brønn med omgivelser, vurdering av arealbruk og forurensningskilder og, for ca 50% av brønnene, innsamling av vannprøve.

For hver enkelt brønnlokalisitet ble det laget et informasjonsskilt hvor lokalitetsnavn, kommune, fylke og dato for filmingen ble anført. Skiltet var av "plexiplast" og ble skrevet med "tavletusj" slik at teksten lett kunne strykes ut før neste lokalitet. Første skritt i videoinspeksjonen var å filme skiltet slik at den overordnede informasjonen om lokalitetene ble lagret direkte på det enkelte videoklipp. Deretter ble omgivelsene rundt brønnen filmet (360°). Videohodets posisjon/dybdeplassering i borehullet registreres ved at stakekabelen går over et løpehjul/telleverk på kabeltrommelen. Referansenivå (null-nivå) for videologgen nedover i borehullet ble definert ved at telleverket ble nullstilt når videohodet befant seg i flukt med toppen av foringsrøret. Alle de 213 brønnene ble filmet forbi enden av foringsrøret og ned i fast fjell. 90% av brønnene er filmet til større dyp enn 10 m under topp foringsrør (figur 4.4). Kabellengden på utstyret gjorde at brønnene ikke kunne filmes dypere enn maksimalt 50 m. Figur 4.4. viser at én brønn er filmet til 70 m, men dette var en brønn hvor eieren hadde utført brønninspeksjon med eget utstyr.



Figur 4.4 Figuren viser antall brønner fordelt på filmet dyp i intervaller på 5 m (0-5, 5-10, osv.). Samtlige brønner er filmet forbi enden av foringsrøret og ned i fjell. Totalt er 213 brønner filmet.

Feltarbeidet ble utført til ulike årstider, og dermed under varierende klimatiske forhold, gjennom en periode på 3 år. Innlekkasje av overvann til brønnene vil i større grad kunne observeres i perioder med mye nedbør/smeltevann. Datasettet er derfor ikke konsistent m.h.t. vurdering av lekkasjer, eller vurdering av andre parametre som er klimafølsomme.

4.4 Vannprøver

Det ble samlet inn vannprøver fra 105 brønner. Vannprøvene er analysert under prosjektet "Grunnvannskjemi" og resultatene er ikke presentert i denne rapporten for Brønnkvalitetsprosjektet. Prøvene ble som regel samlet inn etter at brønnen var logget og kan derfor inneholde noe mer partikler enn vanlig. Det ble unntaksvis gjennomført surgjøring og filtrering av vannprøven i felt.

Prøvetakingsvolum var 0,5 liter og analysene ble utført ved NGU-Lab. Det ble analysert for pH, ledningsevne, fargetall, turbiditet, anioner (IC) og kationer (ICP-AES og ICP-MS). Oversikt over kontraktsnummer finnes i tabell 4.2.

Tabell 4.2 Oversikt over NGU-kontraktsnummer, antall prøver og fylke/ kommune hvor vannprøver er samlet inn.

Kontraktsnummer	Antall prøver	Fylke	Kommuner
2005.0365	12	Finnmark	Alta, Sør-Varanger
2005.0365	9	Troms	Tromsø, Lenvik
2005.0365 2006.0344	10	Nordland	Bodø, Rana
2006.0036	15	Hedmark	Elverum, Ringsaker, Våler
2005.0189	21	Sogn og Fjordane	Fjaler, Førde, Gaular
2005.0189	1	Sør-Trøndelag	Klæbu
2006.0032	1	Hordaland	Masfjorden
2005.0317	30	Telemark	Seljord, Tokke, Vinje
2005.0365	6	Møre og Romsdal	Vestnes, Volda, Ørsta

4.5 Databearbeiding

Det ble etablert en prosjektdatabase i Microsoft Excel som inneholder alle innsamlede faktaopplysninger for de enkelte brønnlokalitetene samt en borehullslogg basert på videoopptakene. Databasen er delt i to deler "Brønnskjema" og "Loggeskjema". Brønnskjema inneholder informasjon om koordinatfesting, arealbruk og brønnsikring, mens loggeskjema inneholder en tolkning av den enkelte brønnlogg/film og har informasjon om blant annet lekkasje under foringsrør, begroing og sprekker.

Databasen er benyttet som utgangspunkt for de statistiske beregningene presentert i resultatkapittelet.

5. RESULTATER

Totalt er 270 brønnlokaliteter besøkt, hvorav 213 brønner er filmet med videokamera (tabell 4.1). Filming i de resterende 57 brønnene var ikke mulig grunnet liten brønndiameter, stor diameter på stigerør fra brønnpumpen og/eller innvendige foringsrør. I tillegg til dette er det 25 brønner hvor brønneier ikke ønsket filming eller hvor det ikke var mulig å få kontakt med brønneier ute i felt. For noen brønner viste tilgjengeligheten seg å være meget vanskelig, bl.a. er noen brønner overgravd.

I tillegg til videofilming er arealbruk og brønnutforming/-beskyttelse vurdert for den enkelte brønn.

5.1 Arealbruk

Arealbruken rundt brønnene er beskrevet for 241 brønnlokaliteter. For de fleste brønnene er det registrert flere typer arealbruk. I alt er det 185 brønner (77 %) som ligger i nærheten av ett eller flere hus eller gårder, men bare 4 av disse ligger i tettbebygd strøk.

Tidligere undersøkelser har vist at brønner som ligger < 100 m fra jordbruksområder er mer utsatt for mikrobiologisk forurensning enn andre brønner (Gaut 2005). Totalt ligger 40 brønner (17 %) i beitemark mens 12 brønner (5 %) har beitedyr < 100 m unna. For 10 brønner (4 %) er det avmerket at det gjødsles i nærheten av brønnen, mens det drives korn- eller gressdyrking ved 55 brønner (23 %).

De fleste brønnene i utvaget ligger i eller i nærheten av skogsområder eller annen utmark, men det er bare 44 brønner (18 %) som ligger i utmark uten beitedyr, hus eller jordbruk i nærheten.

I vurdering av arealbruk ble det, som forventet, registrert at etablering av klausuleringssoner eller annen begrensning i arealbruken ofte manglet rundt de private brønnene. Denne undersøkelsen viste at dette forhold dessverre også ofte gjaldt for vannverksbrønnene.

5.2 Brønnutforming

5.2.1 Brønnsikring

Brønnsikring utføres vanligvis ved at det monteres et brønnhus, eller etableres en nedgravd kum med lokk, over brønninstallasjonen. Hovedhensikten med brønnsikringen er å gi grei tilgang til brønninstallasjonene for tilsyn og vedlikehold samt å holde uvedkommende (dyr og mennesker) borte fra installasjonene. Der hvor dyp til fjell er tilstrekkelig (mer enn 1-1,5 m med løsmassedekke) blir gjerne en løsning med nedgravd kum valgt. Dette gir enkel frostsikring for stigerør og vannledning, som kan legges under jord direkte til forbruksstedet. Ut fra erfaringer gjort i denne og andre undersøkelser synes det som om faren for forurensning (sige vann) i mindre grad blir vektlagt ved utforming av brønnsikring.

Statusen for brønnsikringen er vurdert for 240 brønner. Av disse har 72 stykker (30 %) ingen sikring, dvs kun et frittstående foringsrør, med et mer eller mindre "profesjonelt" lokk, som stikker opp av bakken. Tabell 5.1 viser fordelingen av brønnsikring i form av brønnhus og brønnkum. Noen brønneiere har selvkonstruerte brønnsikringer. Flertallet av disse består av løse plastsylindere eller kasser som er satt over brønnrøret, mens andre er støpt fast til bakken. Kumlokkene er i betong (82 brønner), jern/stål (16 brønner), tre (5 brønner) eller plast (1 brønn). Jernlokkene er ofte utette fordi det er brukt vanlige kumlokk lik de som benyttes i gateplan.

Tabell 5.1 Antall brønner fordelt på type brønnavslutning. Totalt er 240 brønner vurdert.

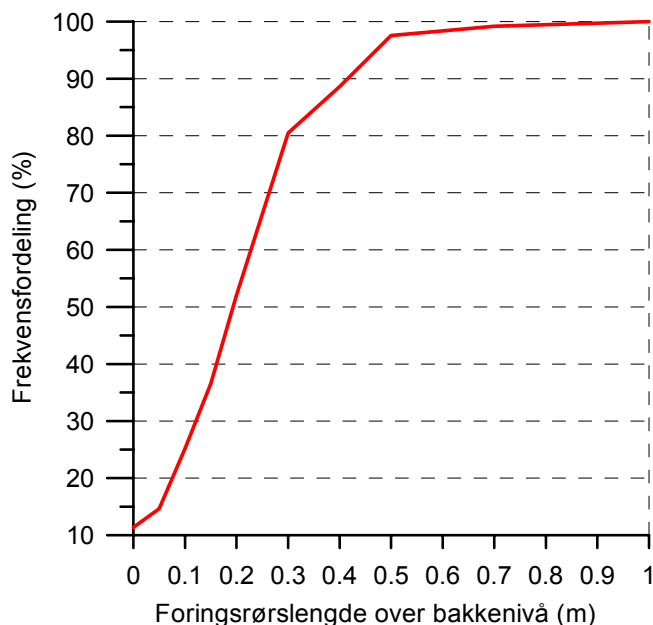
Type brønnsikring		Antall brønner	Prosentandel (%)	
Ingen sikring (kun frittstående brønnrør)		72	30	
Brønnhus	m/støpt gulv	26	11	ΣBrønnhus = 26%
Brønnhus	u/ støpt gulv	9	4	
Brønnkum	m/ husoverbygg	12	5	
Brønnhus/kum	"selvkomponert"	14	6	
Brønnkum	uten lokk	2	1	ΣBrønnkum = 44%
Brønnkum	med tett lokk	31	13	
Brønnkum	med utett lokk	15	6	
Brønnkum	uklar tetthet av lokk	59	24	
		240	100 %	

Nesten ingen brønner i utvalget er beskyttet med gjerde for å hindre folk og dyr direkte adgang til brønnens nærområde. Dette gjelder både for brønner til enkelthus og brønner tilknyttet vannverk. De få gjerdene som er registrert er ofte lave, dårlig vedlikeholdt og satt opp i meget kort avstand fra brønnen (<10 m). Også i beitemark mangler som regel inngjerding.

5.2.2 Foringsrøret

Foringsrørtopp i forhold til bakkenivå

Beliggenhet av foringsrørtoppen i forhold til bakkenivå er kjent for 238 brønner. I alt har 125 brønner (52 %) toppen av foringsrøret over bakkenivå, 14 brønner (6 %) har toppen av foringsrøret i flukt med bakkenivå, mens 99 brønner (41,5 %) har toppen av foringsrøret under bakkenivå. Flesteparten (90 %) av de sistnevnte er naturlig nok brønner med nedgravd kum.



	Foringsrørlengde over bakken (m)
Gjennomsnitt	0,23
Median	0,20
Spredning	0 – 1

Figur 5.1

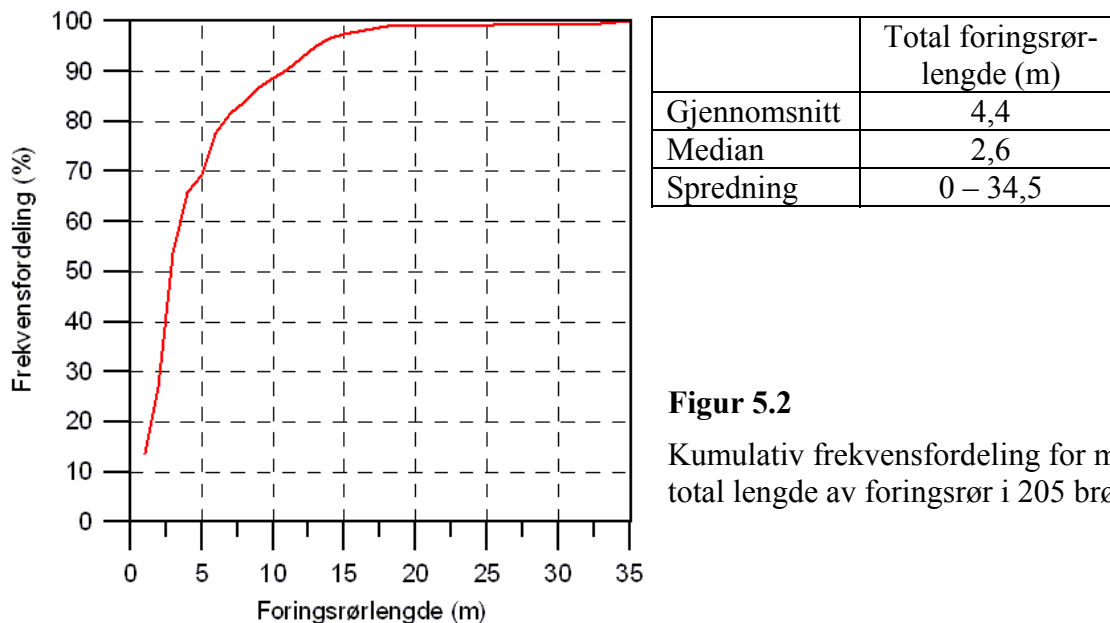
Lengde av foringsrør over bakkenivå, kumulativ frekvensfordeling for 136 brønner.

Foringsrørets lengde over bakkenivå er kjent for 136 brønner, hvorav 123 er filmet, og frekvensfordelingen er vist i figur 5.1. Figuren viser at foringsrøret ikke stikker lenger enn 0,2

m over bakkenivå for 53 % av brønnene og bare ca 12 % har et foringsrør som rager høyere enn 0,4 m over bakkenivå.

Total lengde

Figur 5.2 viser total lengde av foringsrørene målt ved hjelp av videokameraet i 205 brønner. Frekvensfordelingen viser at 50 % av brønnene har et foringsrør som er kortere enn 3 m og bare 30 % av brønnene har et foringsrør som er lengre enn 5 m.



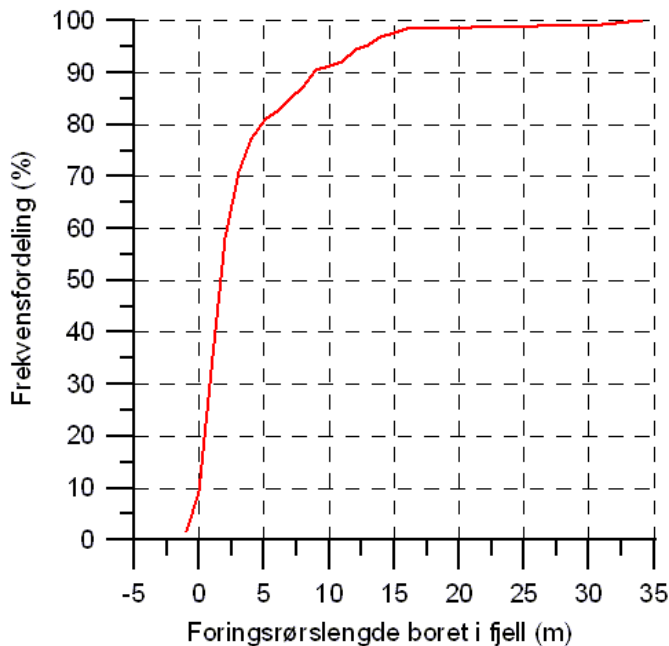
Figur 5.2
Kumulativ frekvensfordeling for målt total lengde av foringsrør i 205 brønner.

Rørmateriale

Opplysninger om hvilke type rørmateriale som er benyttet i foringsrøret er registrert for 233 brønner. I alt 32 brønner (14%) har foring i plast og 201 (86%) har foring i stål (ikke rustfritt eller syrefast). 6 av brønnene med stålforing er foret innvendig med plastrør. I tillegg er det 3 brønner som ikke har foringsrør og én brønn der det ikke var mulig å avgjøre hvilket materiale som er benyttet på grunn av tildekking med jernslam.

Dybde ned i fjell

I Brønn databasen er det funnet data for dyp fra terrengoverflaten ned til fjell for 128 av brønnene som inngår i Brønnkvalitetsprosjektet. Ut fra målt totallengde på foringsrør under brønninspeksjonen er det beregnet hvor langt foringsrøret er boret ned i fjell for hver av disse 128 brønnene. Det gjøres oppmerksom på at oppgitt dyp til fjell bare er omtrentlige mål slik at disse beregningene blir noe usikre. Resultatene fra disse beregningene er vist ved frekvensfordeling i figur 5.3. For om lag 35 % av brønnene er foringsrøret boret mindre enn 1 m ned i fjell og 50 % av brønnene har foringsrøret boret mindre enn 1,8 m ned i fjell. For 20 % av brønnene er foringsrøret boret mer enn 5 m ned i fjell.



	Foringsrørslengde i fjell (m)
Gjennomsnitt	3,4
Median	1,8
Spredning	-1,8 – 34,3

Figur 5.3

Kumulativ frekvensfordeling for foringsrørs lengde ned i fjell. Antall brønner er 128.

5.3 Problemindikatorer

Begrepet problemindikatorer er her definert som bestemte fysiske karakteristika som kan observeres visuelt i de enkelte borehull, og som kan være årsak til, eller en følge av, forringet grunnvannskvalitet. De viktigste problemindikatorerne som er definert i Brønnkvalitetsprosjektet er:

- 1) innlekkasje av vann i overgangen mellom foringsrør og fjell (5.3.1)
- 2) oppsprekking i fjellet rett under foringsrøret (5.3.2)
- 3) oppsprekking og innlekkasje i brønnene mindre enn 10 m under bakkenivå (5.3.3)
- 4) begroing og belegg i foringsrøret og borehullet (5.3.4)

Punktene er rangert, med punkt 1) som den sterkeste indikasjonen, og punkt 4) som den svakeste indikasjonen, på at problemer i forhold til vannkvalitet kan foreligge.

5.3.1 Innlekkasje av vann i overgangen mellom foringsrør og fjell

I det innsamlede videomaterialet er det funnet 150 brønner hvor det er mulig å foreta en vurdering av innlekkasje i underkant av foringsrøret (Tabell 5.2). I 37 % av brønnene er det ikke observert lekkasje eller spor etter tidligere lekkasje under foringsrøret. Lekkasje under foringsrøret observeres i 40 % av brønnene. "Kondens" i foringsrøret som samlet seg rundt borskoen, har gjort vurderingen av lekkasje usikker i 5 brønner (3 %) fordi det er vanskelig å avgjøre om fuktigheten skyldes mindre lekkasje eller bare kondensvann. I ytterligere 24 brønner (16 %) er det ikke mulig, ut fra videoopptaket, å vurdere om det er lekkasje. Utenom de 150 brønnene som er vurdert, foreligger det videoopptak fra 63 brønner hvor vannstanden står opp i foringsrøret, slik at det ut fra videoopptak ikke vil være mulig å registrere eventuelle lekkasjer under røret.

De termer som er benyttet for å beskrive størrelsen av lekkasjer, d.v.s. lite – middels – mye, er i høyeste grad subjektive og basert på skjønnsmessig, visuell vurdering av de enkelte videoopptak.

Tabell 5.3 Antall brønner der oppsprekking ble observert i borehullet rett under foringsrøret. Totalt antall brønner er 210.

Grad av oppsprekking	Antall brønner	Prosent av totalen (%)
Ingen	154	73
Lite	14	7
Mye	16	8
Hulrom/krater	9	4
Kan ikke vurderes	17	8
Sum:	210	100

5.3.3 Oppsprekking og innlekkasje i fjellet nærmere overflaten enn 10 m

Vanninnslag < 10 m fra bakkenivå er observert i 63 brønner (ca 29 %) (tabell 5.4). Vanninnslag eller innsig er ikke nødvendigvis sammenfallende med tydelige sprekker eller hulrom. Sprekker eller hulrom < 10 m fra bakkenivå er observert i 126 brønner (59 %) (tabell 5.5). Disse observasjonen viser at dagnær oppsprekking ikke nødvendigvis gir innlekkasje av overflatevann/sigevann, eller at de klimatiske forhold ikke var slik at de gav innlekkasje på det tidspunkt hvor videofilmingen ble foretatt. Andre steder er det bare observert svarte, hvitaktige eller rustfargede flekker med eller uten rennestriper på borehullsveggen, noe som indikerer at det i perioder med mye nedbør/snøsmelting har kommet inn vann gjennom disse sprekkenes. I 3 av de 86 brønnene hvor det ikke ble observert sprekker eller hulrom < 10 m fra bakkenivå, var det ikke mulig å filme dypere enn 5,5-9 m.

Tabell 5.4 Antall brønner med vanninnslag < 10 m under bakkenivå. Totalt antall brønner som er undersøkt er 213 hvorav 3 stykker er foret med innvendig foringsrør (trolig for å stoppe lekkasjer) til større dyp enn 10 under bakkenivå, og en brønn ikke kunne vurderes pga. begroing/jernslam.

	Totalt	Vannmengde			
		Lite	Middels	Mye	Usikkert
Brønner med vanninnslag < 10 m under bakkenivå	63	31	9	6	17
Brønner med vanninnslag < 10 m under bakkenivå gitt som prosent av 213 brønner	29	14	4	3	8

Tabell 5.5 Antall brønner med observerte sprekker eller hulrom < 10 m under bakkenivå. Totalt antall brønner som er undersøkt er 213 hvorav 3 stykker er foret med innvendig foringsrør til større dyp enn 10 under bakkenivå. En brønn kunne ikke vurderes pga. begroing/jernslam.

	Antall brønner med oppsprekking	Type oppsprekking			
		Sprekker	Hulrom	Sprekker og Hulrom	Ingen sprekker/hulrom
Sprekker eller hulrom < 10 m fra bakkenivå gitt som antall	126	77	8	41	86
Sprekker eller hulrom < 10 m fra bakkenivå gitt som prosent av 213 brønner	59	36	4	19	41

5.3.4 Begroing og belegg i foringsrøret og borehullet

I mange brønner er det observert det som har blitt beskrevet som begroing eller belegg. Det antas at dette i mange tilfeller skyldes vekst av biofilm på borehullsveggen, strømkabelen og/eller stigerøret fra brønnpumpa. Det vil også kunne være utfellingene som skyldes endringer i vannkemi eller tilførsel av vann med en annen kjemisk sammensetning, eller skyldes mikrobiologisk aktivitet. Innenfor rammene av dette prosjektet har det ikke vært mulig å artsbestemme de ulike typer begroing eller å gi en mineralogisk beskrivelse av de ulike typer belegg. Beskrivelsen i dette avsnittet er derfor basert kun på visuelle observasjoner fra videoopptakene.

Det vi har beskrevet som begroing er inndelt i følgende fire kategorier (figur 5.5 og 5.6):

- "Rennestriper", som regel rustfarget. Et eksempel er vist i figur 5.5
- Puteformet eller lodden begroing. Det minner litt om rust- eller guldfarget bomull og ligger som sammenhengende tepper på brønnveggen og/eller brønninstallasjonene.
- Flat begroing, slamaktig og ofte rustfarget
- Trådformet begroing. Oftest hvitaktige til gjennomsiktige lange tråder. Den ene enden av tråden er festet til borehullsveggen eller brønninstallasjonene, mens resten flyter fritt i vannet.



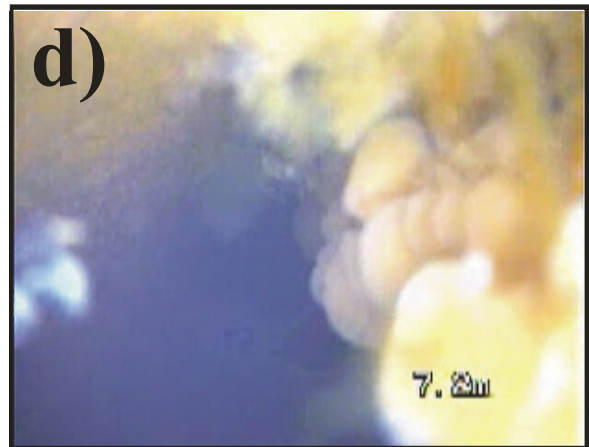
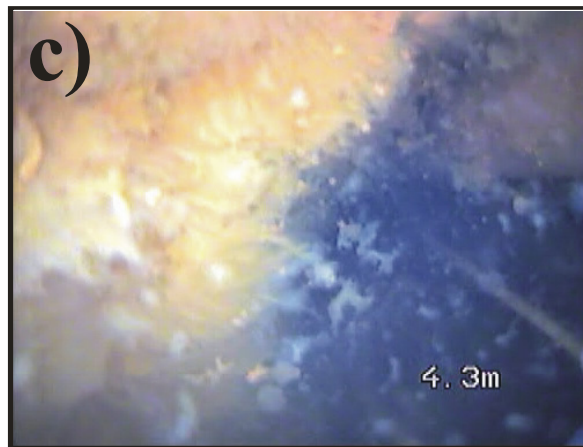
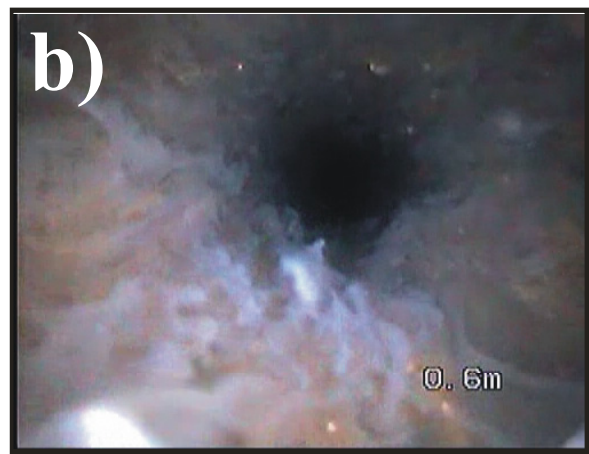
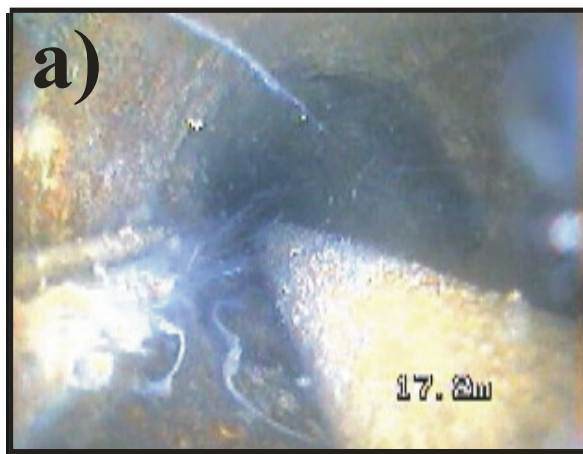
Figur 5.5
Eksempel på en rennestripe.
Foto: Jan Cramer

En del av de utfellingene som har blitt observert særlig langs borehullsveggen, minner mer om et mineralsk belegg enn biofilm og er derfor kategorisert som belegg i følgende tre fargekategorier:

- Hvitt eller gråaktig
- Rustfarget
- Annet (gjerne svart eller gult)

Spesielt det rustfargede belegget og det som er betegnet som flat begroing, kan lett forveksles. I tillegg vil observasjonene av begroing og belegg bli oppfattet som annerledes om de er gjort

over eller under vannivået i brønnen. For eksempel vil biofilm bli mye flatere over enn under vann.



Figur 5.6 - Eksempler på begroing.

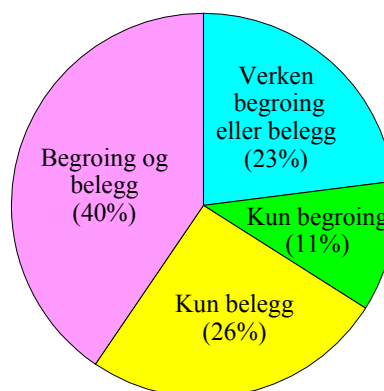
- a) Begroing i form av lange hvite tråder. Kortere og tettere trådbegroing observeres på stigerøret i nedre høyre billedkant.
(Lok: Sørlandet brønn11, Værøy i Nordland)
- b) Kortvokst trådformet begroing (hvite tråder)
(Lok: Ilgruben vannlag, Rana i Nordland)
- c) Kortvokst trådformet begroing sammen med gul bomulls-lignende begroing.
(Lok: Mikkola, Sør-Varanger i Finnmark)
- d) Gul, bomulls-lignende, puteformet begroing.
(Lok: Fagerstrand v.v., Nesodden i Akershus)
- e) Brune, geleaktige utfellinger i forbindelse med sprekkesone med vanninnslag. Trolig biokultur av jernbakterier.
(Lok: Sør-Kvingo, Masfjorden i Hordaland)

* Figuren viser enkeltbilder hentet fra videoopptak, og har således ikke den skarphet/oppløsning som en finner i tradisjonelle stillbilder.

Tabell 5.6 viser at 48 av 213 loggede brønner (23 %) er helt fri for begroing og/eller belegg, mens 86 brønner (40 %) har både begroing og belegg. Totalt er begroing observert i 109 brønner (tabell 5.7) og i halvparten av disse brønnene er det observert det som best beskrives som jernfarget, puteformet eller lodden begroing. I mange tilfeller er begroingen så omfattende at når kameraet, under filming, skraper mot borehullsveggen, legger det seg som "kladder" foran kameraet. Denne typen begroing er også flere ganger observert i foringsrør av stål for så å avta eller gradvis bli helt borte i selve borehullet. I en del tilfeller, også der foringsrøret er av plast, oppstår denne typen begroing i overgangen fra foringsrør til fjell. I noen tilfeller er det også observert at borehull er helt fritt for begroing/belegg over mange titalls meter inntil en sprekkese påtreffes, hvoretter en markert begroing observeres nedover i borehullet.

Tabell 5.6 Antall brønner med begroing og/eller belegg. Totalt er 213 brønner vurdert.

Type begroing eller belegg	Antall brønner	Prosent av totalen (%)
Verken begroing eller belegg	48	23
Kun begroing	23	11
Kun belegg	56	26
Både begroing og belegg	86	40
Brønner med begroing og/eller belegg	164	77



Trådformet begroing er observert i 7 brønner, men alltid sammen med én annen form for begroing. Mikrobiologisk sett er dette naturlig, da en biofilm gradvis vil bygge seg opp i høyden. Den trådformede biofilmen er observert der det er strømning i vannet. Som regel skyldes vannbevegelsen at vann tilføres brønnen via en sprekk der biofilmen er observert. Men det er også observert én artesisk brønn der vannet rant ut av brønnen og hvor hele borehullet og foringsrøret er dekket av trådformet biofilm.

For 18 brønner er det vanskelig å bestemme hvilken kategori begroingen skal defineres under, mens det i 198 brønner er observert 2 eller 3 typer begroing i samme brønn.

Tabell 5.7 Antall brønner fordelt på ulike typer begroing. Totalt er begroing observert i 109 brønner.

Type begroing	Antall brønner	Prosent av totalen (%) *
"Rennstriper"	23	21
Flat	28	26
Puteformet/lodden	55	50
Trådformet	7	6
Vanskelig å definere	18	17
Flere typer (2 eller 3)	19	17

* Prosentsummen blir her større enn 100 idet mange brønner har mer enn en type begroing.

Belegg er observert i 142 brønner (tabell 5.8). I de fleste tilfellene (87 brønner) er belegget rustfarget, men det kan også være hvitaktig (36 brønner). Andre farger som gult og svart er også observert i 49 brønner. Flere typer belegg er observert i 41 brønner, mens i 15 brønner er det vanskelig å avgjøre hvilken kategori man skal definere belegget innenfor eller det er vanskelig å avgjøre om det faktisk er et belegg.

Tabell 5.8 Antall brønner fordelt på ulike typer belegg. Totalt er belegg observert i 142 brønner.

Type belegg	Antall brønner	Prosent av totalen (%) [*]	Antall brønner med kun denne typen belegg	Prosent av totalen (%) [*]
Hvitaktig/grålig	36	25	15	11
Rustfarget	87	61	48	34
Annen farge	49	34	23	16
Vanskelig å definere	-	-	15	11
Flere typer (2 eller 3)	41	29	-	-

* Prosentsummen blir her større enn 100 idet mange brønner viser mer enn en type belegg.

5.3.5 Brønner uten "problemindikatorer"

For å vurdere forekomsten av brønner hvor ingen av de nevnte "problemindikatorer" er observert er det tatt utgangspunkt i hvor mange brønner som har lekkasje og/eller oppsprekking i underkant av foringsrøret. Tabell 5.9 viser at 51 brønner ikke har noen av disse problemindikatorer.

De ulike kategoriene i tabell 5.9 er undersøkt videre med hensyn på innlekkasje av vann og sprekker langs borehullsveggen nærmere bakkenivå enn 10 m (tabell 5.10).

Tabell 5.9 Antall brønner som har lekkasje og/eller oppsprekking i underkant av foringsrøret. 156 brønner er vurdert.

	1. Lekkasje og/eller oppsprekking observert	2. Mulig lekkasje og/eller oppsprekking	3. Ingen lekkasje eller oppsprekking
Antall	87	18	51
Prosent av totalen (%)	56	12	32

Tabell 5.10 Antall brønner som har innlekkasje av vann og/eller sprekker under foringsrøret, og/eller innlekkasje av vann og/eller sprekker langs borehullsveggen < 10 m under bakkenivå. Vurderingen er gjort etter kategoriseringen i tabell 5.9. 156 brønner er vurdert.

Brønncategori basert på inndeling i tabell 5.9	Innlekkasje og/eller sprekker < 10 m under bakkenivå		Ingen innlekkasje eller sprekker < 10 m under bakkenivå	
	Antall	Prosent	Antall	Prosent
1. Lekkasje og/eller oppsprekking i underkant av foringsrøret (87 stk)	68	44	19	12
2. Mulig lekkasje og/eller oppsprekking i underkant av foringsrøret (18 stk)	16	10	2	1
3. Ingen lekkasje eller oppsprekking i underkant av foringsrøret (51 stk)	36	23	15	10

En samlet vurdering av dataene fra tabellene 5.9 og 5.10 gir at i 141 av 156 brønner (90 %) observeres én eller flere av de nevnte problemindikatorerne knyttet til sprekker og lekkasje, mens kun 15 brønner (10 %) ikke har noen av dem. I tillegg er det 24 brønner (12 %) hvor det er usikkert om indikasjoner på problemer foreligger.

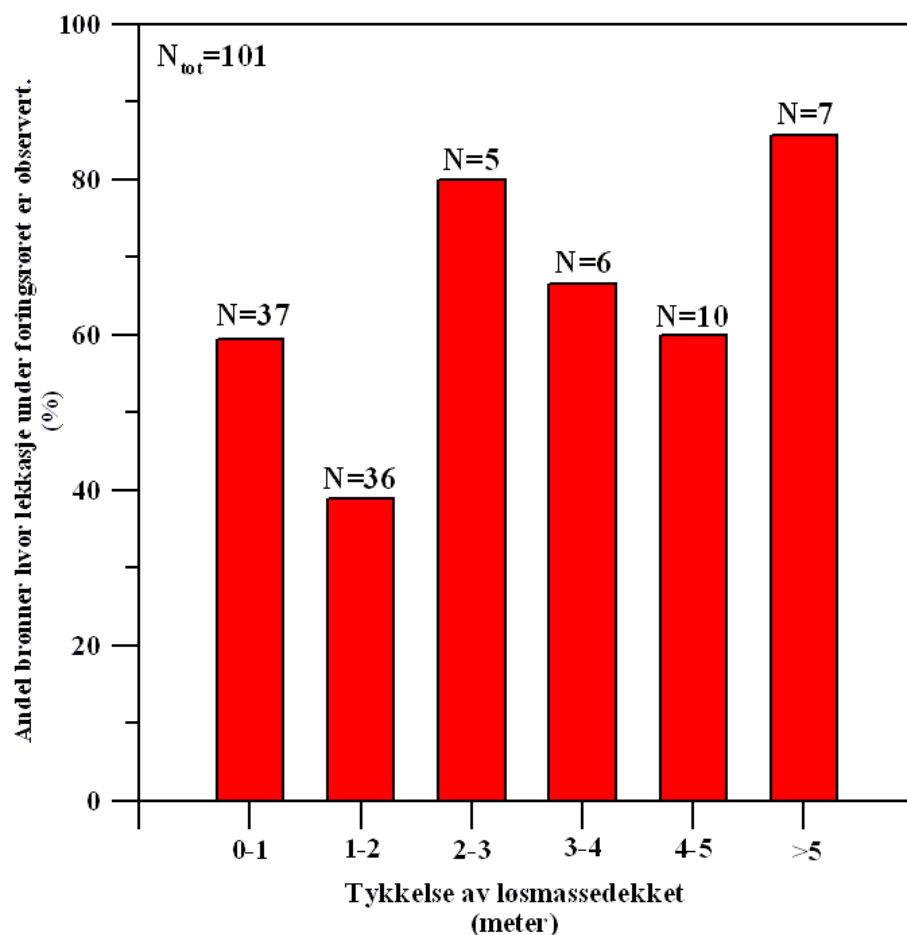
I den samlede vurderingen foran er begroing og/eller belegg i brønnene ikke inkludert som en problemindikator. Bakgrunnen for dette er at prosjektet i første rekke har rettet fokus mot brønninstallasjonenes og berggrunnens tekniske/fysiske tilstand, og disse faktorenes mulige påvirkning på vannkvaliteten. Vi besitter ingen dokumentasjon som belyser hvorvidt begroing/belegg i brønner er indikasjon på dårlig vannkvalitet eller om begroing/belegg kan føre til dårlig vannkvalitet. Dersom vi likevel inkluderer begroing/belegg i totalvurderingen, viser det seg at blant de 210 brønnene som er undersøkt, registreres det kun 3 brønner (1,4 %) hvor ingen av de fire problemindikatorerne er observert.

5.4 Samvariasjon mellom problemindikatorer

For noen av de målingene og observasjonene som er gjort under videologgingen av brønner, er det grunn til å anta at det kan eksistere funksjonelle sammenhenger når det gjelder variasjonsmønster. Vi har sett nærmere på mulig samvariasjon for følgende parameterpar:

- tykkelse av løsmasseoverdekke – forekomst av lekkasje under foringsrør
- tykkelse av løsmasseoverdekke – volum av lekkasje under foringsrør
- brønnenes etableringsår – grad av begroing
- oppsprekking under foringsrør – lekkasjer under foringsrør

Figur 5.7 gir indikasjoner på at prosentandelen av brønner med lekkasje under foringsrøret øker med økende tykkelse av løsmassedekket. Datasettet er imidlertid sterkt skjevfordelt idet 73 av 101 datapunkter tilhører de to populasjonene med det tynneste løsmassedekket (0-1 og 1-2 meter). Usikkerheten i tallene for prosentandel lekkasje er derfor betydelig større for løsmassedekkene 2-3, 3-4, 4-5 og >5 meter enn for gruppene 0-1 og 1-2 meter. Ved en lineær regresjonsanalyse av de foreliggende data fremkommer en korrelasjonskoeffisient på 0,34 dvs. den lineære sammenhengen for dataene er ikke "veldig overbevisende".

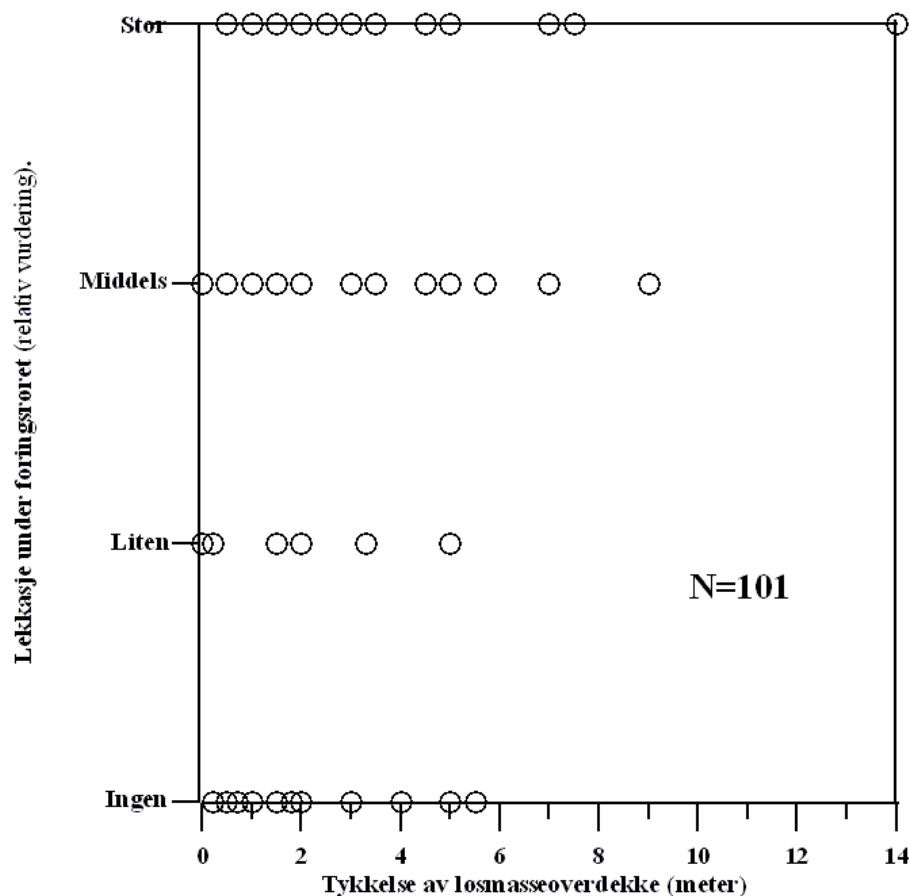


Figur 5.7 Tykkelse av løsmassedekket i forhold til antall brønner hvor lekkasjer under foringsrøret er observert. "N_{tot}" angir totalt antall brønner som inngår i hele datasettet. "N" angir antallet brønner i hver gruppe. Eks.: N=37 betyr at datasettet inneholder 37 brønner med løsmasseoverdekke 0-1 m og grafen viser at lekkasje er observert i 60% av disse.

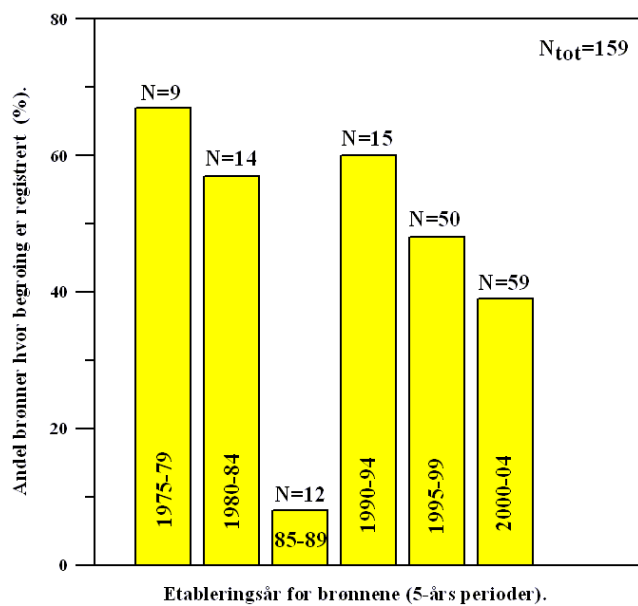
Samme datasett som i figur 5.7 er i figur 5.8 benyttet for å se på sammenhengen mellom tykkelsen av løsmassedekket og størrelsen (volum) av lekkasjer under foringsrøret. Figuren viser at størrelsen på lekkasjer under foringsrøret er helt uavhengig av løsmassedekkets tykkelse opp til ca 6 meters mektighet. For løsmassetykkelser > 6 m er det svake (meget få datapunkter) indikasjoner på at middels til store lekkasjer er dominerende.

Praktisk erfaring viser at vannforsyningsbrønner som etableres i områder med tykt løsmassedekke kan gi meget store vannmengder. Forklaringen antas å være at grunnvann fra de overliggende løsmassene dreneres ned langs foringsrøret og inn i fjellbrønnen eller infiltreres mer spredt gjennom dagnære sprekker i fjellgrunnen.

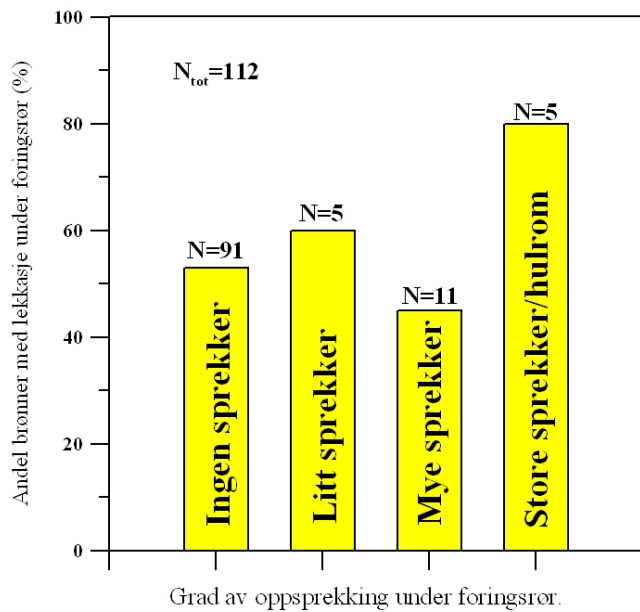
Figur 5.9 gir ved første blick indikasjoner på at prosentandelen av brønner med begroing øker med økende alder for brønnene. Datasettet er, på samme måte som anført under lekkasjevurderingene foran, sterkt skjevfordelt idet 109 av de 159 datapunktene tilhører populasjonen av brønner boret i 1995-2004. Usikkerheten i tallene for prosentandel begroing er derfor betydelig større for brønner boret i 1975-95 enn for brønner boret i 1995-2004. Ved en lineær regresjonsanalyse av de foreliggende data fremkommer en korrelasjonskoeffisient på 0,08. Med andre ord påvises det ingen lineære sammenheng i dataene.



Figur 5.8 Tykkelsen av løsmassedekket i forhold til mengden av lekkasje under foringsrøret. "N" angir totalt antall brønner som inngår i datasettet.

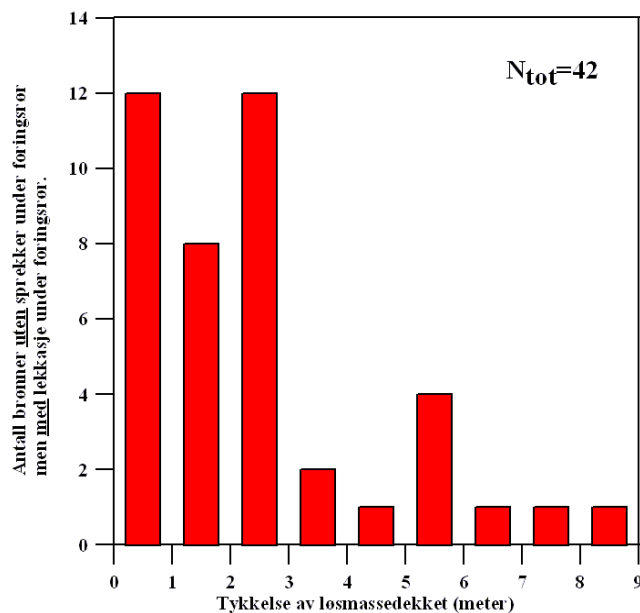


Figur 5.9 Andel brønner hvor ulike former for begroing er registrert, sett i forhold til brønnenes etableringsår (alder). "N_{tot}" angir totalt antall brønner som inngår i hele datasettet. "N" angir antall brønner i hver populasjon. Eks.: N=9 betyr at datasettet inneholder 9 brønner som er boret i 1975-79 og begroing er observert i 67% av disse.



Figur 5.10

Andel brønner med lekkasjer under foringsrøret, sett i forhold til grad av oppsprekking i fjellet under foringsrøret. "N_{tot}" angir totalt antall brønner som inngår i hele datasettet. "N" angir antall brønner i hver populasjon. Eks.: N=91 betyr at datasettet inneholder 91 brønner hvor ingen sprekker i fjellet under foringsrøret er registrert. Lekkasjer under foringsrøret er registrert i 47 av disse brønnene (52%).



Figur 5.11

Løsmassedekket tykkelse i brønner hvor det ikke er registrert oppsprekking i fjellet rett under foringsrøret, men hvor det samtidig *er* registrert lekkasjer i overgangen mellom foringsrør og fjell.

Figur 5.10 indikerer at prosentandelen av brønner med lekkasje under foringsrøret øker med økende grad av oppsprekking i fjellet under foringsrøret. Dette er for så vidt ikke uventet ut fra det forhold at det er sprekkene som er transportveien for tilførsel av vann til borehullene. En lineær regresjonsanalyse gir en korrelasjonskoeffisient på 0.32, dvs. den lineære sammenhengen for dataene er ikke "veldig klar".

Datasettet som er fremstilt i figur 5.10, er på samme måte som anført under lekkasjevurderingene foran, sterkt skjevfordelt idet 91 av de 112 datapunktene (81%) tilhører populasjonen av brønner hvor ingen sprekker under foringsrøret er påvist. Lekkasjer under foringsrøret er registrert for 52% av brønnene i denne populasjonen (47 brønner). Dette lekkasjevannet har sitt opphav i de overflatenære fjellsprekkene og/eller løsmassene på utsiden av foringsrøret. Dermed kan det potensielt føre med seg forurensninger fra overflaten. Det er av interesse å se nærmere på tykkelsen av løsmassedekket i disse brønnlokalitetene. Løsmassetykkelsen er fremstilt i form av histogram i figur 5.11. For 12 brønner (29%) er løsmassedekket mindre enn 1 m og 32 brønner (76%) har løsmassedekke mindre enn 3 m. Når

lekkasjer under foringsrøret observeres i brønner med så vidt liten løsmasseoverdekning, er det grunn til å anta at brønnens naturlige barrierer mot inntrengning av potensielt forurenset overvann ikke er betryggende.

6. DISKUSJON

Løsmassedekke, begroing, materialvalg for foringsrør, lengde av foringsrør og aktiv tetting mellom foringsrør og fjell er tema som har blitt aktualisert gjennom de data som er samlet inn i Brønnkvalitetsprosjektet. I det følgende presenteres en kortfattet diskusjon av disse temaene.

6.1 Løsmassedekke

Som vist i avsnitt 5.4 kan det ut fra de foreliggende data ikke dokumenteres noen entydig sammenheng mellom tykkelse av løsmassedekket og forekomsten av lekkasjer under foringsrør. Generelt sett antas løsmassedekket å representere en barriere som reduserer faren for at potensielt forurenset overvann trenger ned på utsiden av foringsrøret og inn i brønnen under foringsrøret. Barrieren antas å være mer effektiv jo tykkere løsmassedekket er og jo større horisontal utbredelse dekket har. Som omtalt i avsnitt 5.4, kan vannforsyningsbrønner som bores i fjell i områder med tykt løsmassedekke, gi meget store vannmengder. Dette skyldes trolig at grunnvann fra de overliggende løsmassene dreneres ned langs foringsrøret og inn i fjellbrønnen. For slike brønner vil løsmassedekket representere både en barriere mot overvann og en betydelig kilde for tilførsel av grunnvann til brønnen. Lekkasjer under foringsrøret kan derfor ikke betraktes som en entydig kilde for tilførsel av potensielt forurenset overvann. Tykkelsen av løsmassedekket må også trekkes inn i vurderingen av en brønns sårbarhet overfor innlekkasje av overflatevann.

I Norge finnes mange større vannverk som er basert på skråborede brønner i løsmasser. Tykkelsen av de vanngivende sand-/grusmassene er her gjerne mindre enn 6-10 m og brønnenes inntaksfiltre ligger gjerne 3-8 m under bakkenivå. Vannet som hentes ut må derfor betegnes som "meget grunt grunnvann". Vannet viser seg likevel å ha en kvalitet som tilfredsstillende gjeldende drikkevannsnormene. Ut fra en faglig vurdering er det ingen grunn til å anta at "grunt grunnvann" som tas ut i sand-/grusbrønner (filterbrønner) skal ha en bedre drikkevannskvalitet enn "grunt grunnvann" som dreneres fra løsmasseoverdekket og ned i en fjellboret brønn.

6.2 Begroing

De ulike typene/artene av begroing som er observert er diskutert i avsnitt 5.3. Begroingen opptrer også med ulik utbredelse i det enkelte borehull:

- jevn utbredelse langs hele den undersøkte delen av borehullet
- begroing hovedsakelig i foringsrøret og den øverste delen av borehullet
- jevn begroing som opphører ved et gitt nivå i borehullet hvor tydelige sprekkesoner opptrer
- ingen begroing i borehullet ned til et gitt nivå hvor tydelige sprekkesoner opptrer og hvor markert begroing oppstår

De to sistnevnte situasjonene er særlig interessante idet begroingen synes å være koblet opp mot de geologiske forholdene. En mulig forklaring er at begroingen er styrt av vann som strømmer inn i borehullene gjennom sprekkesoner, slik at det er dette vannets beskaffenhet som i gitte situasjoner begunstiger og i andre tilfeller forhindrer, begroing. En nærmere studie

av de vannkjemiske og biologiske forhold knyttet til disse sprekkesystemene kan kanskje gi noen svar på hva som styrer begroing i borehull.

Det ville være nærliggende å anta at begroing er et aldriingsfenomen, ut fra det forhold at det er snakk om levende organismer som gradvis vokser. Som vist i avsnitt 5.4 gir de innsamlede data ingen indikasjoner på at prosentandelen av brønner med begroing øker med økende alder for brønnene.

Mikrobiologer med ferskvannsmiljø som spesialområde vil antagelig kunne gi en nærmere "klassifisering" av den begroing som er observert i brønnene, både når det gjelder artsbestemmelse og angivelse av spesifikke krav til omgivelsene (kalsium og andre mineraler, pH, oksygen). Dette kan gi et svar på hvorfor begroingen opptrer i enkelte brønner men ikke i andre.

6.3 Foringsrøret: Lengde, aktive tett tiltak og materialvalg.

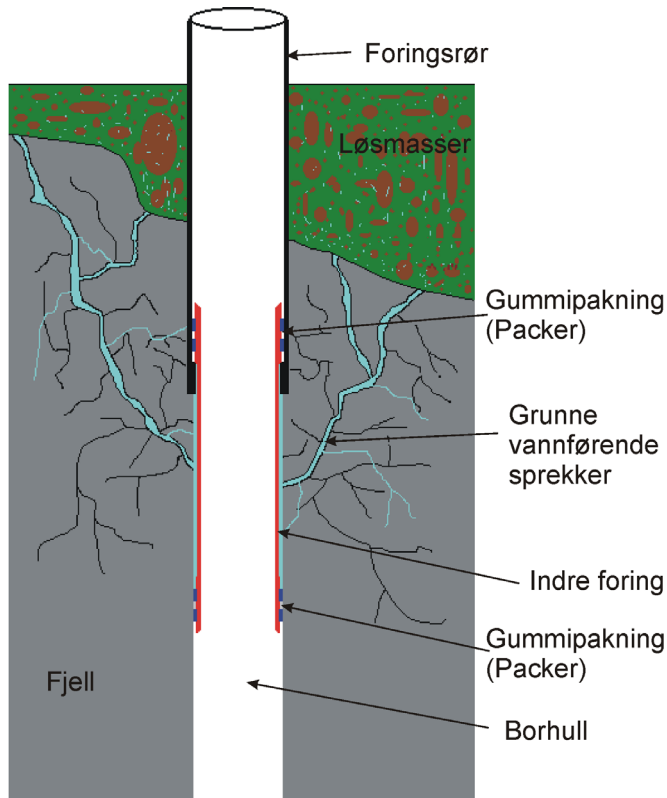
Foringsrørets primære oppgave er å forhindre at løsmasser fra overdekket, eller løse steiner fra berggrunnen, raser ned i borehullet og blokkerer dette. Nødvendig lengde av foringsrøret er derfor i stor grad styrt av tykkelsen på løsmassedeckket og graden av oppsprekking i det overflatenære fjellet. En sekundær oppgave for foringsrøret er å forhindre at potensielt forurenset overvann trenger nedover langs røret og inn i brønnen. Dette kan forhindres naturlig forutsatt at masser fra overdekket, med riktig kornstørrelse/konsistens, trenger ned mellom foringsrøret og fjellet under boreoperasjonen, og tetter hulrommet mellom fjell og foring

Gjennom Brønnkvalitetsprosjektet er det påvist at lekkasjer under foringsrøret opptrer i ca 40% av brønnene. For disse har "naturmetoden" for tetting av hulrom mellom fjell og foring tydeligvis ikke fungert, og aktive tett tiltak burde ha vært iverksatt. Aktive tiltak omfatter ulike former for innsprøyting av materialer (sement, skum, svelleleire m.v.) i den hensikt å tette hulrom, og dermed også stoppe lekkasjer, mellom fjell og foringsrør. Installasjon av innvendige plastforinger er også en aktuell metode for å stenge ute uønsket vann der plastforingene forsegles mot borehullsveggen ved hjelp av en gummipakning (figur 6.1). For at en slik tetting skal fungere må brønnveggen være jevn uten større hulrom og sprekker slik at pakningen tetter fullstendig åpningen mellom brønnveggen og plastrøret. Videoinspeksjon før etablering av slik tetting bør derfor være påkrevd.

For ca 60% av de undersøkte brønnene, er det observert varierende grad av oppsprekking av berggrunnen i området fra underkanten av foringsrøret og ned til et dyp på ca 10 m under terrengoverflaten. Det ble ikke alltid observert lekkasjer fra disse sprekke, men dette kan skyldes de rådende forhold for nedbør/snøsmelting på undersøkelsestidspunktet. Denne oppsprekkingen representerer derfor potensielle kanaler for transport av mulig forurenset overvann inn i brønnen. Beste metode for å sikre seg mot transport av overvann gjennom disse sprekke er å bore foringsrøret ned til et nivå hvor fjellet er tett eller installere annen form for tetting som forhindrer innlekkasje av sigevann/grunt grunnvann.

Ikke rustfrie/syrefaste stålrør er det vanligste foringsrørsmaterialet som benyttes i norske borebrønner i fjell. 86% av brønnene i denne undersøkelsen har denne type foringsrør. Temperaturdifferansen mellom brønnhullet/brønnrøret og lufta utenfor vil ofte være slik at det er gunstige forhold for dannelse av kondens på innsiden av røret. I kontakt med kondensvann eller annet vann ruster disse rørene, og rustvannet vil kunne renne nedover langs stålrøret og videre ned langs borehullsveggen inntil det blander seg med vannet i borehullet. Rust

(jernoksid) har en meget markert rødbrun farge som gjør at fenomenet blir svært fremtredende.



Figur 6.1 Eksempel på bruk av innvendig plastforing for å stenge ute uønsket vann

Rustpartikler fra foringsrøret antas i første rekke å kunne skape problemer knyttet til missfarging av klesvask, servanter, badekar, toalett og lignende. Rustdannelsen fra foringsrøret vil trolig ikke føre til at brønnvannet får så høye konsentrasjoner av løst jern at det overskrider normtallene i drikkevannsforskriften. Et særlig problem er registrert for brønner som benyttes sjelden (hytter/fritidshus m.v.) hvor betydelige mengder rustpartikler fra foringsrøret kan pumpes ut på nettet når brønnen startes etter lengre tids stillstand.

Brønner hvor vannstanden står opp i jernrøret har ofte ekstra mye rustutfelling og gjerne ulike typer begroing i tillegg. Her kan forholdene se meget uhygieniske ut, noe som i seg selv kan være nok til at en annen løsning for foringsrør er ønskelig.

De mest aktuelle alternativene når det gjelder materialvalg for foringsrør er rustfritt/syrefast stål og plast. Med bakgrunn i det som er dokumentert i Brønnkvalitetsprosjektet, bør det vurderes om rustfritt/syrefast stål og plast skal defineres som standard materialvalg for foringsrør i brønner.

7.2 Rutinemessig videoinspeksjon ved etablering av nye borebrønner

Prosjektet har vist at videoinspeksjon av brønner er nødvendig for å påvise eventuelle innlekkasjer i underkant av foringsrøret og forekomst av overflatenære sprekker og hulrom. Med bakgrunn i dette prosjektet anbefales det at videoinspeksjon inkluderes som en standard prosedyre for teknisk dokumentasjon og sluttkontroll av brønnetableringer.

8. VIDERE ARBEID

Med bakgrunn i erfaringene fra Brønnkvalitetsprosjektet ser vi behov for at det arbeides videre med brønnsikring bl.a. på følgende områder:

1. Revidering av Norsk Standard for brønnboring
2. Videologging som standard undersøkelse ved nye brønnetableringer
3. Begroing og belegg i brønner: hva er dette, hvorfor oppstår det, hvilken innvirkning har det på vannkvaliteten?
4. Utarbeide veileder for brønnsikring (over og under bakken)
5. Forskning på ulike stoffer og metoder for tetting mellom foringsrør og fjell.
6. Formidling av resultatene fra prosjektet til allmenheten, brønnborebransjen, vannverkseiere og myndigheter.

9. REFERANSER

- Banks D., Røyset O., Strand T., Skarphagen H., 1995a: Radioelement (U, Th, Rn) concentrations in Norwegian bedrock groundwaters. *Environmental Geology* 25:165-180
- Banks D., Reimann C., Røyset O., Skarphagen H., Sæther O., 1995b: Natural concentrations of major and trace elements in some Norwegian bedrock groundwaters. *Applied Geochemistry* 10:1-16
- Bjorvatn K., Bårdsen A., Thorkildsen A.H., Sand K., 1994: Fluorid i norsk grunnvann - en ukjent helsefaktor. [Fluoride in Norwegian groundwater - an unknown health factor]. *Vann* 29:124-128
- Englund J., Myrstad J.A., 1980: Groundwater Chemistry of Some Selected Areas in Southeastern Norway. *Nordic Hydrology* 11:33-54
- Frengstad B (2002) Groundwater quality of crystalline bedrock aquifers in Norway. Dr. ing. thesis 2002:53, Norwegian University of Science and Technology, Norway
- Gaut S (2005) Factors influencing microbiological quality of groundwater from potable water supply wells in Norwegian crystalline bedrock aquifers. Doctoral thesis 2005:99, Norwegian University of Science and Technology, Norway
- Hongve D., Weideborg M., Andruchow E. & Hansen R., 1994: Landsoversikt - drikkevannskvalitet. Spormetaller i vann fra norske vannverk. [National overview - drinking water quality. Trace metals in water from Norwegian waterworks]. *VANN* 92, Statens Institutt for Folkehelse, Oslo, 110 pp
- Morland G., 1997: Petrology, lithology, bedrock structures, glaciation and sea level: Important factors for groundwater yield and composition of Norwegian bedrock boreholes? NGU Report 97.122 I, Geological Survey of Norway, 274 pp
- Reimann C., Hall G.E.M., Siewers U., Bjorvatn K., Morland G., Skarphagen H., Strand T., 1996: Radon, fluoride and 62 elements as determined by ICP-MS in 145 Norwegian hard rock groundwater samples. *The Science of the Total Environment* 192:1-19

10. VEDLEGG

Brønnkvalitet - logging av brønner

Lokalisering Lokaltet og brønnnavn Vannverk Enkeltusholdning/hytte

Fylke Kommune Stedfestningsmetode Loggedato

Sone ØV-kordinater NS-kordinater EPE (m)

Borested/Vannverksnavn Gårdsnummer Bruksnummer ID-nr. brønn databasen

Kontaktperson Telefon (arbeid) Telefon (privat)

Brønneierens postadresse

Konsulentfirma Ja Nei (Hvis ja, se merknader)

Har brønneier kommentarer til vannkvaliteten (mye jern, hardt vann, farge osv....)

Opptaksinformasjon Video ID 1: Video ID 2: Video ID 3: Video ID 4: Antall foto

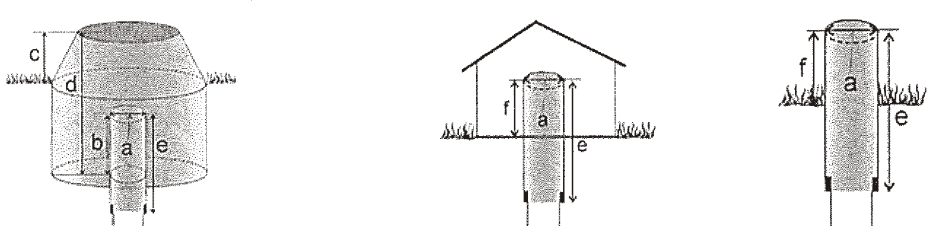
Beskrivelse av foringsrør

Materiale Plastrør Stålrør Løkk på foringsrør Ja Nei Ev. type Topp foringsrør i forhold til bakkenivå Over Under

Diverse mål (m)

Brønn med kum eller brønnhus Brønn med hus og støpt gulv Brønn uten kum/hus

a b c d e a e f



Tetting rundt foringsrør på overflaten

Mulige lekkasjer

Merknader

Beskrivelse av arealbruk innenfor 200 m (Kryss av og husk bilder)

Jordbruk Kornåker Gressdyrking Annet jordbruk Beitemark Angi type dyr:

Beitedyr < 100 m unna Beitedyr < 200 m unna Gjødsling med husdyrgjødsel

Vegetasjon Myr Vidde Løvkog Bærskog Annet:

Bbyggelse Tettbebyggd Få hus Ett hus Gårdsbruk Husdyrhold

Vei Grusvei Småvei Riksvei E-vei Annet

Områdebeskrivelse

Topografi Hellende terreng Flatt Ved fjellvegg/topografi endring Annet

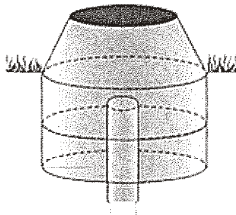
Løsmassedekke Tykkelse
 Tykt Middels Tynt

Utbredelse
 Sammenhengende Usammenhengende Kun tynt torvlag Bart fjell

Overflatevann < 100 m unna Bekk/elv Innsjø Tjern Grøft Saltvann

Andre brønner/peilerør Antall: Beskrivelse (åpen, tettet etc):

Beskyttelse (ta bilder) Inngjerding (radius, type, tetthet)



Kum Brønnhus Annet

Treflokk Sementlokk Jernlokk Uten lokk Tett Utett

Lokket er

Støpt bunn/gulv Drenering

Opphøyd terreng (flombeskyttelse)

Klausulering (spør etter kart)

Antall soner

Annet

VEDLEGG 1 – side 2.

Videologging av brønner

Lokalitet og brønnavn Sone ØV-kordinater NS-kordinater Loggedato

Kameraførere Filmet til (m) Delvis filmet Ikke filmet Vannstand under rørtopp m Foringsrør (m) Tettepakning (fra-til) m

Tilstand foringsrør (belegg, rust, begroing)

Overgang foringsrør/fjell

Lekkasje Oppsprekking under Tetting Kommentar (kontakt foring-fjell)

Hvordan ser brønnvannet ut?

Klart vann (fra-til) m Uklart/blakka (fra-til) m Mineralske partikler (fra-til) m Begroingspartikler (fra-til) m

Begroing/belegg langs borvegg eller rør - oppsummering

Ingen begroing Begroing Ikke belegg Belegg

Annet

Fra (m)	Til (m)	Video ID	Minutter	Vann	Begroing	Belegg	Sprekk	Hulrom	Merknader
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>

Fra (m)	Til (m)	Video ID	Minutter	Vann	Begroing	Belegg	Sprekk	Hulrom	Merknader
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>

VEDLEGG 2.

Utskrift av loggeskjema fra databasen for Brønnkvalitetsprosjektet.