



NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

NGU



SKRIFTER 108



GiN

GRUNNVANN I NORGE

Grunnvannsbrønner Kontroll, vedlikehold, rehabilitering

GIN-VEILEDER nr.: **13**



Norges geologiske undersøkelse
Miljøverndepartementet

Adm.dir.: dr.philos. *Knut S. Heier*

Publikasjoner

NGU utgir publikasjonsseriene Skrifter, Bulletin og Special Publications. De to siste er i hovedsak engelskspråklige, og omfatter vitenskapelige arbeider innenfor norsk geologi. Skrifter er en norskspråklig serie, som først og fremst har tatt opp beskrivelser til berggrunnskart og kvartærgeologiske kart. Videre inneholder serien artikler om teknisk/økonomisk geologi, og generell geologi, geokjemi og geofysikk som grunnlag for arealplanlegging og -forvaltning. Skrifter skal ha som intensjon å presentere geofaglig stoff på en slik måte at det forstås av ikke-geofaglige målgrupper.

REDAKTØR: Siv.ing. *Helge Hugdahl*, Norges geologiske undersøkelse

UTGIVER: Norges geologiske undersøkelse

MANUSKRIPTER: Retningslinjer for forberedelse av manuskripter til Skrifter fås ved henvendelse til redaktøren.

SKRIFTER 108: GiN-VEILEDER NR.13

GiN veilederne er utarbeidet av *Norges geologiske undersøkelse* i samarbeid med *Miljøverndepartementet*.

Veileder nr. 13 gir en oversikt over problemer i brønner med senket kapasitet, gjentetting m.v. Årsaker blir beskrevet og anvisninger gitt for undersøkelse av problemene, forholdsregler som bør tas, og utbedring.

Veilederen henvender seg primært til driftsansvarlige for grunnvannsverk og folk med vannforsyning fra dybbrønner i løsmasser eller fjell. Veilederen kan med utbytte leses også av øvrige personer som faglig eller administrativt arbeider med vannforsyning.

Veilederen er tilrettelagt av *Knut Ellingsen* (NGU).

GiN veileder nr.13

GRUNNVANNS- BRØNNER

**KONTROLL
VEDLIKEHOLD
REHABILITERING**

utarbeidet av:
David Banks, NGU

INNHOLDSFORTEGNELSE

1. INNLEDNING	3
2. HVILKE PROBLEMER KAN OPPSTÅ?	4
3. BAKTERIER KAN TRIVES I GRUNNVANN!	6
4. KORROSJON	6
a) Mekanisk	6
b) Kjemisk	7
c) Biologisk	8
5. TILSTOPPING OG INNKAPSLING	9
a) Mekanisk	9
b) Kjemisk	9
c) Biologisk	9
6. OVERVÅKING	11
7. VEDLIKEHOLD / REHABILITERING	14
a) Korrosjon	14
b) Tilstopping med finstoff	14
c) Innkapsling	15
8. ØKONOMI	16
a) Overvåking	16
b) Vedlikehold og rehabilitering	16
9. NORSKE ERFARINGER	18
10. REFERANSER	19

1 INNLEDNING

En brønn er ikke bare et hull i bakken. Den er et redskap for å hente ut vann fra en akvifer. Dens effektivitet kan forbedres ved å tilpasse utforming og konstruksjon. Som med de fleste typer utstyr, gjennomgår selve brønninstallasjonen og akviferen tett rundt denne en naturlig aldriingsprosess. God utforming, forsvarlige driftsrutiner, regelmessig overvåking samt periodevis vedlikehold er nødvendig for å forsinke aldriingsprosessen, øke brønnens levetid, senke driftskostnadene og holde brønnen i best mulig tilstand. Informasjon om utforming av brønnen, prøvepumping, driftslogger, og kjemiske og biologiske analyseresultater er en forutsetning for å kunne drive effektiv grunnvannspumping, kontroll og vedlikehold.

De første tegn på problemer i borhull kan være:

- *Nedsatt spesifikk kapasitet (dvs. mindre vann for en gitt vannstandssenkning under pumping, eller en større senkning i vannstand for å få ut en gitt mengde vann)*
- *Sand/silt i vannet (i løsmassebrønner)*
- *Innkapsling (begroing eller utfelling) på stigerør og pumpe*
- *Korrosjon på stigerør og pumpe*

I senere faser kan slike symptomer føre til dramatisk nedgang i effektivitet, stigning i pumpekostnader og kanskje ødeleggelse av hele brønnen.

Det har i løpet av 1991 blitt utført en spørreundersøkelse for å finne ut graden av overvåking og vedlikehold av brønner i Norge /1/. Ca. 60 kommuner og noen få andre større brukere av grunnvann ble kontaktet, og 38 av 55 vannverk med 134 borhull returnerte brukbare svar. Responsen var god, men svarene noe deprimerende! En tredjedel av vannverkene har ikke resultater fra prøvepumping utført ved etablering; kun 12 vannverk overvåker enten vannivå eller ytelse og kun 5 vannverk overvåker begge deler. I bare 4 tilfeller eksisterer det program for regelmessig vedlikehold av brønnen. En del vannverk har likevel lagt merke til problemer i sammenheng med kapasitetsnedgang (8 vannverk), innkapsling (11 vannverk rapporterte rødbrune belegg på pumpe, rør eller i brønnen) eller korrosjon (7 vannverk). Sett i forhold til antall vannverk som overvåker brønnene sine, må dette betraktes som bare toppen av isfjellet.

2 HVILKE PROBLEMER KAN OPPSTÅ?

De vanligste problemene dekkes av to kategorier:

- *Korrosjon*
- *Nedgang i kapasitet*

Først og fremst er det viktig å lokalisere problemet. Er det i selve akviferen, i og rundt brønnen, eller skyldes det pumpen og stigerøret? Tabell 1 angir de vanligste problemtypene, deres symptomer og mulige årsaker. Mange av problemene kan oppstå i både fjell- og løsmassebrønner, men problemer med grusfilter og filterrør finnes kun ved grunnvannsanlegg i løsmasser.

INNLEGG 1

Beregning av energiforbruk ved pumping

Spesifikt energiforbruk defineres som energien som brukes til å løfte 1 m³ vann en høyde av 1 meter. Jo mindre diameter på røret, og jo ruere overflate på røret, desto høyere er energiforbruket. Utfelling av mineraler og tilvekst av mikroorganismer kan føre til større friksjonstap i røret.

Spesifikt energiforbruk beregnes slik:

$$\text{Spesifikt energiforbruk (W t/m}^4\text{)} = \frac{\text{Energiforbruk (kWh)} \times 1000}{\text{Opp-pumpet vann (m}^3\text{)} \times \text{totalhøyde (m)}}$$

For et veldimensjonert anlegg vil en få en verdi omkring 5 - 6 Wt/m⁴, iflg. Grundfos /7/. En høyere verdi kan tyde på problemer med pumpen, innkapsling i stigerør eller ledningsnett, eller lekkasjer fra rørene. Denne verdien sier likevel ingenting om tilstanden til brønnen. For å vurdere dette må man se på *spesifikk kapasitet* (se innlegg 2 og 3).

Tabell 1: Symptomer og mulige årsaker til problemer i grunnvannsbrønner.

PROBLEM	SYMPTOMER	MULIGE ÅRSAKER
Redusert pumpekapasitet	Nedsatt spesifikt energiforbruk (innlegg 1)	<ul style="list-style-type: none"> • Pumpe satt på galt nivå i forhold til vannstand under pumping • Utslitt pumpe • Feildimensjonert pumpe eller stigerør • Brudd på stigerør • Begroing/utfelling i pumpe, stigerør eller ledningsnett
Redusert brønnkapasitet	Nedsatt spesifikk kapasitet (se innlegg 2 og 3)	<ul style="list-style-type: none"> • Lav vannstand i akviferen pga. liten tilførsel av nedbør • Lav vannstand i akviferen pga. overpumping (dvs. pumperate er for stor for etablering av likevektsforhold i akviferen) • Begroing/igjentetting av filterrør, grusfilter eller akvifer
Korrosjon/abrasjon på pumpe/stigerør	Synlig korrosjon / abrasjon Redusert pumpekapasitet	<ul style="list-style-type: none"> • For høy pumperate • Inntrengning av sand • Dårlig valg av materialer
Korrosjon/abrasjon på brønnrør	Inntrengning av sand / dårlig vann Brønnkollaps	<ul style="list-style-type: none"> • Dårlig utformet filter-rør • Dårlig utformet kunstig grusfilter • Dårlig utviklet naturlig grusfilter
Korrosjon/abrasjon på filterrør	Inntrengning av sand Brønnkollaps	<ul style="list-style-type: none"> • Korrosivt vann • Begroing/utvikling av biofilmer • Tilstopping av filteråpninger
Sandpumping	Inntrengning av sand	<ul style="list-style-type: none"> • Dårlig utformet filterrør/grusfilter • Dårlig utviklet naturlig grusfilter • Veldig dårlig sortert akvifer • For høy pumperate • Korrosjon på brønnrør eller filterrør • Tilstopping/begroing av filteråpninger • Sand/leirfylte sprekker i fast fjell
Brønnkollaps		<ul style="list-style-type: none"> • Dårlige/uegnede brønnmaterialer • Dårlig sveising/koblinger osv. • Langvarig sandpumping (utvasking av formasjonen) • Alvorlig korrosjon • Ujevnt installert grusfilter

3 BAKTERIER KAN TRIVES I GRUNNVANN!

Grunnvann er ofte omtalt som et sterilt miljø, men dette er ikke helt riktig. Grunnvann er vanligvis godt beskyttet mot tilførsel og spredning av sykdomsfremkallende mikroorganismer. Likevel er det flere grupper bakterier som trives i grunnvannsmiljøet. To grupper er spesielt fremtredende:

- **Sulfat-reduserende bakterier.** Disse bakterier er anaerobe. Dvs. at de ikke trenger surstoff. De trives best i reduserende miljø - i dype akviferer, i sedimenter med et høyt organisk innhold eller f.eks. under en avfallsfylling. Deres hovedoppgave er å redusere sulfat (SO_4^-) til sulfid (S^-). Dette kan føre til dannelse av hydrogensulfidgass (lukter som råtne egg). Bakteriene reduserer sulfat (på liknende måte som vi forbruker surstoff) for videre å kunne oksydere deres organiske "mat", og på denne måten skaffe seg energi.
- **Metalloksiderende / slimdannende bakterier.** Dette er en omfattende gruppe. De fleste medlemmer trenger noe surstoff for å overleve. De pleier å danne et slimaktig lag av polysakkarid, og mange av dem katalyserer utfellingen av tungmetallforbindelser fra vann, spesielt jern- og mangan oksyhydroksyder. Noen bakterietyper kan få oksydasjon av metaller til å skje (f.eks. fra løslig jern[II] til uløselig jern[III]), og utnytte energien som er frigjort i prosessen. Et lag av levende og døde bakterier, polysakkarid-slim, utfelte metall-forbindelser og oppbundete sedimentpartikler kalles **en biofilm**. Fersk biofilm er ofte bløt og slimaktig, men etter hvert kan den bli hard og sementert. Ingen er sikker på om disse bakteriene lever i upåvirket grunnvann, eller om de introduseres under boring osv. Men de er rapportert i brønner fra mange land og i forskjellige typer akviferer.

4 KORROSJON

Korrosjon i en brønn kan føre til flere typer problem (Tabell 2).

a) Mekanisk

En bedre betegnelse for mekanisk korrosjon er *abrasjon* (slitasje). Dette oppstår fordi brønnen er dårlig utformet, eller dårlig drevet.

Et for grovt grusfilter eller filterrør vil tillate fine partikler (silt/sand) å komme inn i en løsmassebrønn. Pga. høy hastighet i det inntrengende grunnvann vil disse

partiklene føre til slitasje på filterrøret, og forstørre filteråpningene slik at stadig mer finstoff kan transporteres inn. Andre hull i brønn- eller filterrøret, forårsaket av dårlig sveising eller kjemisk korrosjon, vil kunne føre til liknende effekter.

Pumping av et borhull med for høy kapasitet kan trekke inn fine partikler med høy hastighet og dermed fremme abrasjon. Tilstopping eller begroing av filterrøret vil også kunne forårsake økt innstrømningshastighet og dermed inntrengning av partikler.

Langvarig sandpumping kan føre til betydelig utvasking av materiale fra akviferen, kollaps av deler av akviferen og dermed brønnekollaps. I alvorlige tilfeller kan dette også forårsake differensialsetninger i grunnen rundt brønnen. Alvorlig sandpumping har ofte sin årsak i dårlige installasjonsrutiner (f.eks. ujevn plassering av grusfiltermasse) og oppdages først under drift av anlegget.

Tabell 2: Problemer ved korrosjon i grunnvannsbrønner.

Korrosjon på:	Kan føre til:
Brønnrør (foringsrør i fjellbrønner)	Inntrengning av overflatenært grunnvann, ofte av dårlig kvalitet.
Filter-rør	Inntrengning av sand, med fare for skade på pumper osv., og evt. brønnekollaps.
Pumpe	Innefektiv drift. Ødeleggelse av deler.
Stigerør og ledningsnett	Lekkasjer, og dermed økte pumpekostnader. Eventuell utløsning av uønskede metaller i vannet fra rørene.

b) Kjemisk

Muligheter for kjemisk korrosjon avhenger av to faktorer:

- *metallets elektrokjemiske sårbarhet*
- *vannets kjemiske sammensetning*

Nikkel, kobber, og blandinger slik som "Monel" (70% Ni, 30% Cu), "Everdur" (96% Cu, 3% Si, 1% Mn), bronse (Cu + Sn), messing (Cu + Zn) er lite sårbar mht. korrosjon og brukes derfor til dyrere pumpedeler.

Vanlig jern og stål er blant de mest sårbare metalltypene når det gjelder korrosjon. For å redusere sårbarheten mot korrosjon kan det for eksempel tilsettes krom eller nikkel, som danner en beskyttende oksid-film i kontakt med oksygenholdig vann (rustfritt stål). I kjemisk reduserende vann kan slikt rustfritt stål være ganske sårbart.

Korrosjon foregår spesielt raskt ved uregelmessigheter i metallens overflate, f.eks. ved koblinger, eller sveising. Godskvaliteten og tilstand av sveiseskjøtene bør kontrolleres nøye før installering. Bruk av to forskjellige metaller i

brønnrøret vil også lett føre til økt korrosjon av det mest sårbare metallet, spesielt i nærheten av koblingen, og denne praksisen bør derfor unngås.

To-metallsprinsippet brukes likevel i galvanisert stål, der stålet dekkes av et forbrukende lag av sink. Sinken korroderes lett i forhold til stål, som følgelig blir beskyttet. Stålet kan også dekkes med et beskyttende lag av bitumen. Disse typene er billigere enn rustfritt stål, men er mindre tilfredsstillende mht. korrosjon. En brønn laget av rustfritt stål koster omtrent dobbelt så mye som en brønn av galvanisert stål.

Konstruksjon i plast løser selvfølgelig korrosjonsproblemet, men er ikke egnet til alle forhold, pga. mindre styrke samt sårbarhet mot abrasjon.

Flere vannkjemiske parametre har også betydning for korrosjonsfaren. Følgende egenskaper i vann må regnes for spesielt korrosive:

- *pH <5*
- *Lavt oksygen-innhold (mht. rustfritt stål)*
- *Mye hydrogensulfid*
- *Høy saltholdighet (TDS >1000 mg/l)*
- *Klorid >300 mg/l*
- *Høyt sulfat-innhold*
- *Lav alkalitet (<0.6 meq/l)*
- *Høy temperatur*
- *Høy strømningshastighet*
- *Høyt CO₂-innhold*

Korrosjon kan finne sted i både oksygenholdig og reduserende vann. I oksygenholdig vann vil jernet som er oppløst under korrosjon oksyderes og felles ut som blemmer eller knuter med rust. Under blemmene kan reduserende forhold dannes og korrosjonen fortsette.

c) Biologisk

Sulfatreduserende bakterier katalyserer korrosjonsreaksjonen. Man trenger ikke å ha reduserende vann i borhullet for å finne sulfatreduserende bakterier. De kan ofte finnes i oksygenfrie mikromiljøer, for eksempel i små lommer under en biofilm som vokser på metalloverflaten. Dersom man tar vekk en biofilm, finnes derfor ofte korrodert metall under.

5 TILSTOPPING OG INNKAPSLING

a) Mekanisk

Et dårlig utformet grusfilter kan medføre tilstopping på grunn av at fine partikler trekkes inn i filteret slik at permeabiliteten minker. Tilstopping av grusfilteret eller akviferens porerom kan også oppstå ved pumping med for høy kapasitet.

b) Kjemisk

Utfelling av kjemiske forbindelser, slik som kalsium-/jernkarbonat og jern-/manganoksyhydroksyder, kan forårsake tilstopping av akviferens sprekker eller porerom, grusfilter, filterrør, stigerør eller ledningsnett. Utfelling av oksyhydroksyder har svært ofte biologiske årsaker, og omtales nedenfor. Utfelling kan også skyldes kjemiske forhold i reduserende vann med et høyt innhold av oppløst jern. Jernet oksyderes av surstoff i nærheten av brønnen og felles ut. Utfelling av karbonater kan finne sted i vann med høy hardhet, alkalitet og pH. Muligheten for utfelling kan vurderes med bakgrunn i kjemiske beregninger hvor disse parametrene inngår.

Høye inngangshastigheter til brønnen kan også føre til økt utfelling av karbonater. Det kan forårsakes av:

- *Overpumping (for høy pumperate)*
- *For lite åpent filterområde*
- *Diskontinuerlig pumping med høy kapasitet, isteden for mer kontinuerlig pumping med lavere kapasitet.*

c) Biologisk

De aller fleste tilstoppingsproblemer i brønner har en blanding av fysiske, kjemiske og biologiske årsaker. I mange land finnes i stadig flere borhull problemer med innkapsling på grunn av biofilmer. Biofilmene kan vokse i akviferen, i grusfilteret, på filterrøret, på pumpen og i stigerøret. Biofilmen pleier å tilstoppe akviferens eller grusfilterets porerom, eller slissene i filterrøret (fig.1). Dette fører til nedgang i brønnens kapasitet. Biofilmer kan finnes i de aller fleste grunnvannsmiljøer, fra ganske bløtt, ferskt grunnvann, til salt, marint grunnvann; fra løsmasser til fast fjell; og fra tropisk India til arktisk Vardø.

Noen grunnvannsforhold kan likevel sies å være spesielt sårbare mht. vekst av biofilm. Noen bakterietyper trenger visse mengder jern eller andre tungmetaller, men mengdene kan være små, og dette er sjelden en begrensende faktor. Bakteriene trenger også noe oksygen. Biofilmer kan ofte oppdages i borhull som tar ut både dypt jernholdig vann, og oksygenholdig vann fra et

høyere nivå. Diskontinuerlig pumping, som forårsaker store, plutselige fluktusjoner i hullets vannstand, eller overpumping, som senker vannstanden under filterrørets topp, kan også være ugunstig, fordi det dermed trekkes inn surstoff i akviferen omkring brønnen. Mange bakterier trenger også en kilde for organisk karbon og andre næringsstoffer. Brønner som trekker inn "næringsrikt" vann fra en elv eller fra en forurensningskilde kan være spesielt sårbare.

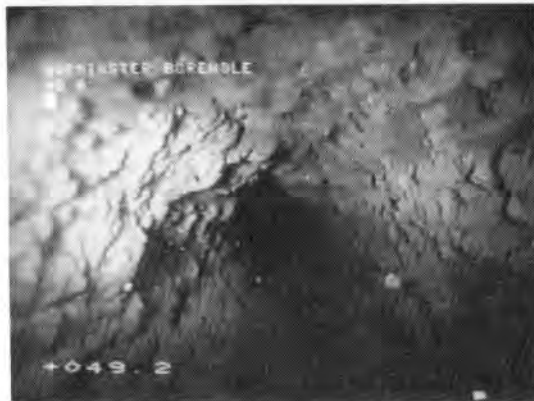
Problem med biofilmer i et borhull kan oppdages ved en kombinasjon av følgende observasjoner:

- *Nedgang i kapasitet*
- *Leilighetsvis påvisning av høyt kimtall i vannanalyser. (Biofilm-bakteriene er fastsittende og påvises vanligvis ikke i rutinemessig prøvetaking. Av og til vil et stykke biofilm løsne og dermed gi et høyt analyseresultat)*
- *Et rødbrunt, "rust"aktig slimlag eller hard skorpe på stigerør, pumpe eller i ledningsnettet.*

Hvis disse tegn er tilstede kan det være fornuftig med TV-inspeksjon av borhullet. Denne teknikken, som er lite benyttet i Norge, kan gi et klart bilde av det hemmelige livet i en brønn! Se fig.1 og 2.

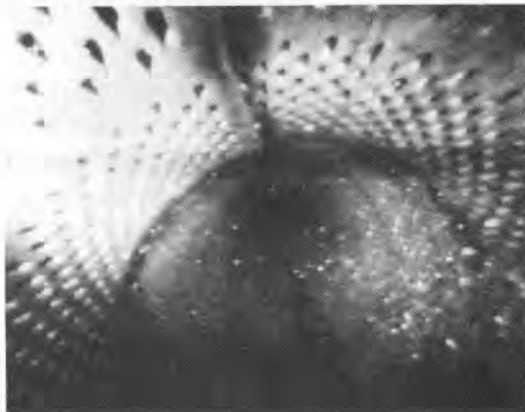
Figur 1.

Undervanns TV-bilde som viser tilstopping av filterrøret i en brønn (bildet gjengis etter tillatelse av Wessex Water, Storbritannia).



Figur 2.

Undervanns TV-bilde som viser filterrøret i en brønn som har blitt rengjort ved bruk av wire-børsting for å fjerne et innkapslingslag. Bildet viser også ødelagt sveising i filterrøret, som førte til inntregning av sand. (bildet gjengis etter tillatelse av National Rivers Authority, Thames Region, Storbritannia).



6 OVERVÅKING

Det er viktig å bli klar over de ovenfornevnte problemene før det er for sent. For å vurdere evt. nedgang i kapasitet eller korrosjonsfare er det nødvendig

- å utføre korttids (gjerne trinnvis) og langtids prøvepumping før hver borebrønn settes i ordinær drift. BEHOLD resultatene, og send kopi til NGU for arkivering ¹.
- å ta vannprøver for kjemisk/bakteriologisk analyse. Leilighetsvis høye kimtall er IKKE nødvendigvis en analyseringsfeil. Det kan indikere innkapslingsproblemer.
- å legge merke til belegg eller korrosjon på eller inne i stigerøret, pumpen eller ledningsnett under regelmessig inspeksjon.

Ved alle kommunale vannverk anbefales det

- å beregne energiforbruk ved pumping (se innlegg 1). Økt energiforbruk pr. meters løftehøyde kan tyde på innkapsling i pumpe, stigerør eller ledningsnett, eller på korrosjon i pumpe eller stigerør.
- å registrere spesifikk kapasitet, dvs. vannstand i borhull under pumping, og den tilsvarende ytelsen (se innlegg 2) minst en gang hver annen måned. Sammenlign resultatene med tidligere spesifikke kapasiteter.
- å gjøre en kortvarig kapasitetstest minst en gang hvert annet år. I løsmassebrønner vil dette omfatte trinnvis pumping med måling av vannstandssenkning for fire ulike ytelser i to-timers perioder (innlegg 2). I fjellbrønner vil det omfatte utpumping av hullet, og overvåking av restaurering av vannstanden (se innlegg 3). Resultatene sammenlignes med den opprinnelige prøvepumpingen.

Dersom vannets kjemiske egenskaper eller de nevnte observasjoner tilsier fare for korrosjon eller innkapsling, kan det være nødvendig med nærmere regelmessig overvåking, f.eks.:

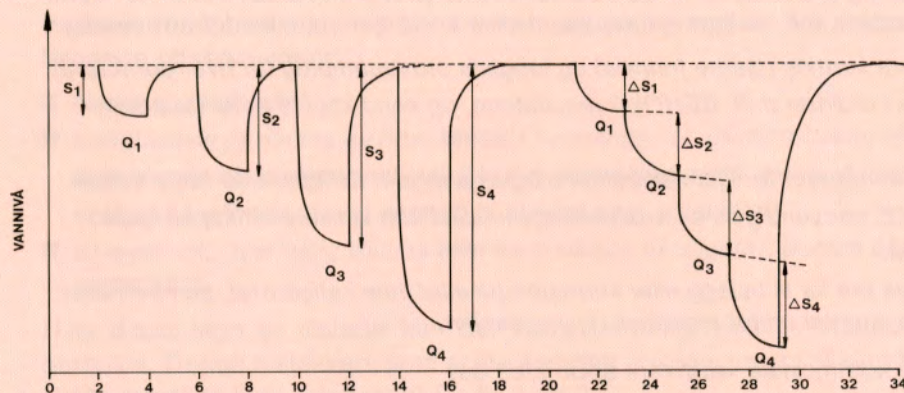
- TV-undersøkelser av brønnens tilstand
- Henge små metall/glass-plater ned i hullet, som kan evt. vise korrosjons- eller innkapslingstendensen.
- Bruk av spesielt måleutstyr for å analysere på innkapslende bakterier (f.eks. BARTS-kits - /2/)

1 Spesielt med borehull i fjell er det sjelden utført tilfredsstillende prøvepumping. Et fullstendig program bør omfatte korttids kapasitetstesting, fulgt av langtidstesting over en periode på flere uker, og avsluttet med en annen korttids kapasitetstest.

INNLEGG 2

Beregning av spesifikk kapasitet - Borhull i løsmasser

Det er vanlig å måle kapasiteten ved en trinnvis prøvepumping. Dette kan gjøres på to måter (fig.3); enten ved separate trinn, eller sammenhengende trinn. Den første metoden gir resultater som er lettere å tolke, mens den andre metoden er hurtigere å gjennomføre. I begge metoder er vannuttaket (Q_1) ved det første trinnet ca. en fjerdedel av brønnens maksimale kapasitet. Ved de andre trinnene økes vannuttaket (Q_2, Q_3, Q_4) med en fjerdedel på hvert trinn.



Figur 3.

Mulige metoder for å utføre kapasitetstesting i en løsmassebrønn.

Ved metode 2 beregnes:

$$S_2 = \Delta S_1 + \Delta S_2$$

$$S_4 = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4 \quad \text{OSV.}$$

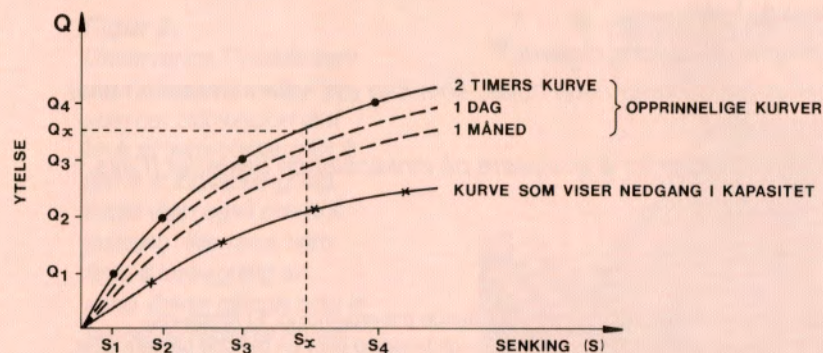
Trinnene varer vanligvis mellom 1 og 2 timer. Ytelse (Q) mot senkning (s) plottes for hvert trinn (fig.4). Spesifikk kapasitet kalkuleres ved:

$$\text{Spesifikk Kapasitet } C = Q/s$$

Bemerk at C avhenger av vannføring og pumpeperioden. C minker vanligvis med økende vannføring og økende pumpeperiode. Det er derfor viktig å oppgi pumpeperioden og ytelse sammen med en måling av spesifikk kapasitet.

Hvis man foretar en liknende prøvepumping etter noen år, og finner at spesifikk kapasitet har minket, dvs. at Q mot s kurven ligger under den opprinnelige kurven, har det vært en nedgang i kapasitet som kan skyldes overpumping av akviferen, mangelfull nedbør eller problemer med innkapsling i brønnen. Observasjonsbrønner omkring pumpebrønnen vil kunne si om problemet ligger i selve brønnen eller i akviferen.

"Spot"-målinger av spesifikk kapasitet kan også foretas under drift, ved å måle ytelsen og dividere den ved senkning i vannstand sammenlignet med det naturlige grunnvannsnivået. Finnes en vedvarende nedgang i spesifikk kapasitet, kan dette tyde på problemer.



Figur 4.

Beregning av spesifikk kapasitet.

INNLEGG 3

Beregning av spesifikk kapasitet - Borhull i fjell

Spesifikk kapasitet i fjellbrønner er mer vanskelig å beregne, men følgende metoder kan benyttes:

a) Sett pumpen på et visst nivå. Sug vannstanden ned til pumpenivået, og hold pumpen i gang. Ytelsen under pumping (Q) dividert med senkningen (s) gir spesifikk kapasitet (C). C avhenger ofte av pumpetiden. Metoden er egnet i høykapasitetshull.

b) Sett pumpen på et visst nivå. Sug vannstanden ned til pumpen. Slå pumpen av/på/av for å tømme slangen, og la hullet fylles i en kort periode t (f.eks. 15 min). Slå på pumpen og mål vannmengden (q) som kommer ut. Den spesifikke kapasiteten gis ved:

$$C = Q/s = q/(t \cdot s)$$

hvor s = senkning. Metoden er egnet for lavkapasitetshull, og bør gjentas flere ganger.

c) Som metode b, men etter at pumpen er slått av, bør pumpen tas ut og vannstandsøkningen måles ved bruk av målebånd i regelmessige tidsintervaller Δt . Hvis vannstanden stiger Δs meter i perioden Δt i hullet med radius r , kan vanninnstrømning (Q) beregnes ved:

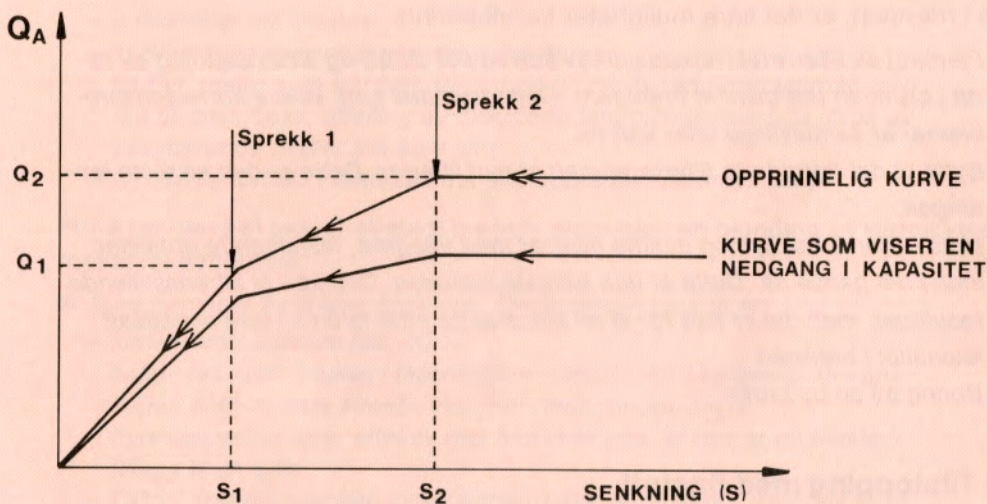
$$Q = \frac{\Delta s \cdot \pi \cdot r^2}{\Delta t}$$

Plottes Q mot s , fås ofte et diagram som ligner på fig.5. Den spesifikke kapasiteten på enkelte sprekker kan beregnes ved:

$$C_2 = (Q_2 - Q_1) / (s_2 - s_1)$$

$$C_1 = (Q_1/s_1) - C_2$$

Metoden fungerer best i lavkapasitetshull. I borhull med høyere kapasitet vil "kurven" ofte ikke kunne deles opp i lineære segmenter, og kurven vil også avhenge veldig mye av pumpeperioden før gjenvinnelsestesten.



Figur 5.

Kapasitetstesting ved måling av vannstandsøkningen i en fjellbrønn.

OBS! Senkning = vannstand under pumping/gjenvinnelse minus naturlig vannstand.

7 VEDLIKEHOLD / REHABILITERING

Ved alle vedlikeholds- og rehabiliteringsmetoder er valgfriheten styrt av brønnmaterialene og brønnutformingen. F.eks. kan en brønn som er konstruert av PVC være sårbar mht. noen av de mer "voldsomme" metodene beskrevet nedenfor. Før slikt arbeid settes igang må all informasjon om brønnens utforming være tilgjengelig, og valg av metode må tilpasses brønnmaterialenes kjemiske og fysiske egenskaper.

a) Korrosjon

For å hindre korrosjonsproblemer bør det satses på:

- *Riktig utforming av brønnen, filterrøret og grusfilteret.*
- *Riktig valg av materialer for brønnkonstruksjon*
- *Forsvarlig drift av brønnen (dvs. ikke pump ut større vannmengder enn brønnen er dimensjonert for)*
- *Eventuell vannbehandling, f.eks. alkalisering av surt vann*

Om et korrosjonsproblem oppstår blir det oftest reparert ved erstatning av de korroderte delene. Hvis filterrøret er alvorlig korrodert slik at masser trekkes inn i brønnen, er det flere muligheter for utbedring:

- *Fjerning av filterrøret, reparasjon av korroderte deler, og tilbakesetning av røret i brønnen (heftplaster metoden). Dette frarådes fordi videre korrosjonsproblemer er sannsynlige etter kort tid.*
- *Bytte ut det korroderte filterrøret med et nytt filterrør. Dette er den sikreste løsningen.*
- *Installasjon av et nytt og mindre filterrør med integrert, fastsittende grusfilter inne i det gamle /3/. Dette er den billigste metoden. Den kan gi tilfredsstillende resultater, men det er fare for at en slik praksis etter hvert vil føre til nedsatt kapasitet i brønnen.*
- *Boring av en ny brønn*

b) Tilstopping med finstoff

Tilstopping av akviferens eller grusfilterets porerom med finstoff eller leirpartikler synes å være et betydelig problem i norsk sammenheng (se tabell 4). I kommunene Lom, Nord-Fron, Røros, Ullensaker og Årdal har de taklet dette problemet ved å tilsette trykkluft på brønntoppen, ved å spyle filteret med luft og vann; eller ved å løfte brønnen. Rehabiliteringene har i de fleste tilfeller vært tilfredsstillende. Det kan også være aktuelt å bruke dispergeringsmidler, bl.a.

natrium polyfosfater, i forbindelse med mekaniske metoder ("surging", høytrykksspyling) /5/. Disse midlene gjør at partiklene blir lettere å fjerne. Polyfosfater kan være næringstoff for bakterier, og det anbefales derfor å tilsette hypokloritt som desinfiseringsmiddel sammen med polyfosfatene.

c) Innkapsling

Innkapsling i brønnen av karbonat og andre uorganiske stoffer kan løses opp og fjernes ved bruk av syrer (se nedenfor) i forbindelse med en mekanisk metode, f.eks. høytrykksspyling. En "inhibitor" kan brukes sammen med syren for å hindre angrep mot metalleder. Stigerør og ledningsnett kan behandles ved liknende metoder.

Problemer med bakteriebelegg kan være vanskelig å unngå. Men der hvor en kjenner til at en akvifer eller et område er spesielt utsatt for bakterievekst, kan man gjøre følgende:

- *Bruke sterile boreteknikker*
- *Pumpe mest mulig kontinuerlig, for å hindre inntrengning av oksygen i brønnen og akviferen*
- *Tilsette klor kontinuerlig i brønnen, f.eks. i tablettform*
- *Bruke kun sterilisert utstyr/målebånd i brønnen*

Howsam /4/ mener at en fullgod metode for å rengjøre et bakteriebelagt borhull må oppfylle fire krav:

- i) *Bakterier må drepes*
- ii) *Biofilm og mineralavsetninger må fjernes*
- iii) *Evt. rester som har blitt dannet på grunn av rengjøringsprosessen må fjernes, f.eks. utfelling av oksyderte jernforbindelser pga. bruk av oksyderende midler slik som klor*
- iv) *Sterile forhold i borhullet må gjenopprettes (desinfeksjon)*

For å rengjøre et bakteriebelagt borhull, anbefales en blanding av kjemiske og mekaniske metoder:

- *Syre benyttes for å løse biofilmen. De vanligste syrene er:*
 - *konsentrert saltsyre (ca. 30 %)*
 - *sulfamisk syre: brukes i tablettform - effektiv mot karbonat-innkapslinger, men mindre effektiv mot jern-/manganutfellinger*
 - *hydroksyeddik syre: effektiv mot biofilmer pga. at den er en biosid, i tillegg til en syre*
 - *OBS ! andre organiske syrer alene - f.eks. sitronsyre - frarådes fordi sluttproduktet, sitrat, kan være et næringsstoff for bakterier².*

2 Mindre mengder sitronsyre, fosforsyre eller tartarsyre kan brukes sammen med saltsyre eller sulfamisk syre for å hjelpe til å holde oppløste mineraler i løsning /5/.

- *Biosider (hypokloritt, peroksyd, klor) kan brukes for å drepe bakteriene, og for å oksydere organiske innkapslinger.*
- *Høytrykkspyling, "surging" eller wire-børsting anvendes sammen med de ovenfornevnte metodene for å fjerne biofilmen.*
- *Hullet bør desinfiseres helt til slutt for å hindre at bakteriene blomstrer opp igjen.*

Ved riktig utforming av et borhull kan evt. rengjøring bli lettere. Bruk av en egnet "Johnson-type"-filter (kontinuerlig-slisset stålwire-filter), med stor gjennomstrømningsflate betyr at høytrykksspyling/skylling kan fjerne bakteriebelegg på utsiden av filterrøret. Noen mekaniske metoder, f.eks. wire-børsting, kan vanskelig fjerne biofilmer på utsiden av filterrøret.

Andre omtalte rehabiliteringsmetoder inkluderer pasteurisering, ultralyd eller radioaktiv stråling direkte i brønnen. Av disse kan pasteurisering muligens være aktuelt i Norge, da elektrisk strøm er forholdsvis billig.

I borebrønner i fjell kan det også anvendes sprengning for å fjerne innkapsling eller bakteriebelegg.

OBS ! Det gjøres oppmerksom på at de ovenfornevnte metodene anvender midler og teknikker som er farlige, hvis de ikke blir brukt i samsvar med gjeldende sikkerhetsprosedyrer av erfarne personer (jfr. f.eks. arbeidsmiljølov og forskrifter). NGU og forfatteren tar ikke ansvar for ulykker som oppstår som en følge av anvendelsen av de ovenfornevnte teknikker. Videre råd finnes i bl.a. referanser /5/ og /6/.

8 ØKONOMI

a) Overvåking

Overvåkingsutstyr for vannstand og ytelse kan være mekanisk (målebånd, "impellor flowmeter") eller elektronisk (transducers og data logging). Elektriske målebånd kan fås for under 2.000 kroner. En transducer + datalogger kan fås for under 10.000 kroner. Overvåkingsutstyr beskrives i GiN Veileder Nr. 10.

Regelmessig korttids prøvepumping innebærer ca. 2 - 4 dagsverk hvert annet år.

b) Vedlikehold og rehabilitering

Erfaringer viser at periodevis rengjøring for innkapslinger i ledningsnett og brønner kan være økonomisk fordelaktig sett i forhold til eventuelle økninger i pumpekostnader. Hyppighet av vedlikeholdsarbeidet avhenger til en viss grad av pumpekostnader. Dersom pumpekostnadene er lave kan intervaller mellom periodevis rengjøring være lengre før det blir økonomisk fordelaktig å

rehabiliterer brønnen. Det kan leses mer om teknikker for å vurdere hyppigheten av rehabilitering i referanse /7/.

Venter man derimot for lenge før det utføres vedlikehold av brønnen, kan en risikere at brønnen ikke vil oppnå full produksjon igjen. Erfaringer viser at hvis kapasiteten minker med mer enn 50 % kan det være umulig å restaurere til 100 % kapasiteten /8/. Det anbefales derfor at man i alle fall rehabiliterer en brønn før den spesifikke kapasiteten har sunket til under 60 % av den opprinnelige verdien.

Tabell 3 viser omtrentlige priser for rehabiliteringstjenester i Norge, pr. høsten 1991.

Tabell 3: Omtrentlige kostnader for rehabiliteringstjenester. Prisene er basert på en 25m dyp brønn, ca. 100km fra brønnborerens hovedkontor, pr. høsten 1991.

TV-undersøkelse	2.500 - 6.000 kr
Høytrykkspyling for å fjerne innkapslingslag	3.500 - 12.000 kr
Bruk av 400l konsentrert saltsyre for å fjerne et innkapslingslag	7.000 - 11.000 kr
Anvendelse av sprengstoff for å fjerne et innkapslingslag i en fjellbrønn	4.000 - 8.000 kr
Wire-børsting for å fjerne et innkapslingslag	opp til 16.000 kr

9 NORSKE ERFARINGER

Følgende kommuner / vannverk har noe erfaring med vedlikeholds- eller rehabiliteringsarbeid (Tabell 4).

Tabell 4: Norske vannverk som har gjennomført rehabiliteringsarbeid.

<i>Kommune/vannverk</i>	<i>Løsmasse/ fjell</i>	<i>Type</i>	<i>Kontakt</i>
Kongsberg / Kongsberg	Løsmasse	4	Ing.C.H.KNUDSEN Tlf.: 03-826040
Lom / Grov	Løsmasse	1	Lom kommune Tlf.: 062-11000
Nes i Akershus / Blaker & Asktjern	Fjell	2	JORDFORSK Tlf.: 09-948140
Nord Fron / Kvam	Løsmasse	1	Nord-Fron kommune Tlf.: 062-90000
Ringsaker / Gaupen	Fjell	2	Ringsaker kommune Tlf.: 065-41955
Røros / Langholmen	Løsmasse	1	Røros kommune Tlf: 074-11555
Ski / Siggerud	Fjell	2	JORDFORSK Tlf.: 09-948140
Ullensaker / Trandum	Løsmasse	1	Forsvaret Tlf.: 06-978010
Årdal / Årdalstangen	Løsmasse	1	Årdal kommune Tlf.: 056-65121
Åmot / Rena	Løsmasse	3,5	Åmot kommune Tlf.: 064-40200

Problemtypene:

- 1: Nedsatt kapasitet, trolig på grunn av at finstoff har tettet til filterrøret eller massene omkring brønnen. Rehabilitering utføres ved løfting av brønnen, tilsetting av trykkluft på brønntoppen, eller spyling med luft og vann mellom pakninger.
- 2: Nedsatt kapasitet, trolig på grunn av at sprekker er tettet med jern/mangan utfellinger eller biofilm. Rehabilitering ved tilsetting av klor og syre.
- 3: Inntregning av finstoff pga. feildimensjonert filterrør. Rehabilitering ved tilsetting av et mindre, innvendig filterrør, med smalere slissåpninger.
- 4: Inntregning av finstoff på grunn av feildimensjonert anlegg. Problemet ble løst ved å bore nye brønner.
- 5: Utfelling av Mn-forbindelser i ledningsnettet. Vedlikeholdes ved regelmessig spyling.

10 REFERANSER

1. **Banks, D. (1992).** "Kontroll og vedlikehold av norske grunnvannsbrønner", Norges geologiske undersøkelse, rapport nr. 92.259.
2. **Howsam, P. -redaktør. (1990).** "Water wells; monitoring, maintenance and rehabilitation". E. & F.N.Spon, Cambridge, U.K., 1990.
3. **Banks, D. (1990).** "A case study of screen failure and borehole rehabilitation in the Lower Greensand aquifer of southern England". Fra Howsam (1990) - red.
4. **Howsam, P. (1988).** "Biofouling in wells and aquifers", *Journal of the Institution of Water & Environmental Management*, Vol.2, Nr.2, s.209-215, April 1988.
5. **Driscoll, F.G. (1986).** "Groundwater & Wells", 2.utgave, Johnson Filtration Systems, St.Paul, Minnesota, U.S.A., s.630-665.
6. **Stow, A.H. & Renner, L. (1965).** "Acidising boreholes". *J.Inst.Wat.Eng.*, 19, s. 557-572.
7. **Grundfos (1988).** "Vandforsyning", Grundfos International A/S, Bjerringbro, Danmark, s.156-167.
8. **Van Beek, C.G.E.M. (1989).** "Rehabilitation of clogged discharge wells in the Netherlands." *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol.22, 1989, s.75-80.
9. **Banks, D. (1991).** "Innkapsling og korrosjon i borebrønner - et forsømt biologisk problem". *Vann*, Nr.2, s.175-179.
10. **Clark, L. (1988).** "The field guide to water wells and boreholes". *Geological Society of London, Professional Handbook Series*, Open University Press, Milton Keynes, U.K. s.128-136.
11. **SIFF (1987).** "Kvalitetsnormer for drikkevann". Statens institutt for folkehelse, Drikkevann G2. Kapittel 4,5,8.
12. **Cullimore, D.R. & McCann, A.E. (1977).** "The identification, cultivation and control of iron bacteria in ground water". Fra "Aquatic Microbiology" av Skinner F.A. og Shewan J.M. (Red.), Academic Press, New York.
13. **Cullimore, D.R. - redaktør (1986).** Proceedings of the 1986 international symposium on biofouled aquifers: prevention and remediation. American Water Resources Association, Bethesda, Maryland, U.S.A.

GRUNNVANN I NORGE (GiN)

Programmet Grunnvann i Norge (GIN) ble initiert av Miljøverndepartementet (MD) i 1989. I 1991 overlot MD ansvaret for videre engasjement i programmet til Statens Forurensningstilsyn (SFT). GiN er idag et samarbeidsprogram mellom Norges geologiske undersøkelse (NGU) og SFT for å fremme økt bruk og bedre vern av grunnvann. Det finansieres av Næringsdepartementet v/NGU, Statens Forurensningstilsyn, Kommunaldepartementet og Landbruksdepartementet. I tillegg bidrar Universitetet i Bergen, Sogn og Fjordane Distriktshøgskule, Telemark Distriktshøgskule m.fl.

GiN omfatter metodeutvikling, oversiktskartlegging, registrering og vurdering av grunnvannsforekomster og forurensningstrusler, i tillegg til informasjonstiltak overfor kommuner og fylkeskommuner. Kontaktpersoner for programmet finnes i fylkeskommunene og de fleste av landets kommuner.

Programmet har en sentral programgruppe med representanter fra SFT (seksjonsleder Oddvar Lindholm, leder, og overingeniør Tør Johannessen), Vassdragsvesenet (sjefingeniør Øystein Aars), Statens Institutt For Folkehelse (seksjonsleder Truls Krogh), Sør-Trøndelag fylkeskommune (avdelingsingeniør Gleny Foslie), Kommunenes Sentralforbund (teknisk sjef Einar Melheim) og Geofuturum a/s (siv.agr. Svein Ole Åstøbøl). NGU har ansvaret for koordinering og praktisk gjennomføring av programmet.

GiN ledes av sjefingeniør Knut Ellingsen (NGU). En referansegruppe er opprettet med representanter fra 12 andre institusjoner som har tilknytning til grunnvann. Program- og referansegruppe i tillegg til fylkesansvarlige geologer i GiN og noen enkeltpersoner fungerer som fast høringsinstans for veilederne.

Tidligere utgitte GiN-veiledere:

1. Grunnvann fra hovedplan til prøvepumping
2. Grunnvann i arealplanleggingen
3. Grunnvannsundersøkelser i løsmasser
4. Grunnvann: Planlegging - Økonomi
5. Grunnvannsanlegg - Eksempler
6. Grunnvatn i fjell til spreidd busetnad

Planlegges utgitt høsten 1991:

7. Grunnvannsbeskyttelse
8. Grunnvannsforekomster i Norge
9. Grunnvann. Anbud og nedsetting av brønn
10. Grunnvannsanlegg - EDB-basert drift og fjernkontroll
11. Grunnvann. Kunstig infiltrasjon
12. Grunnvannskvalitet. Noen problemer og tiltak
13. Grunnvann. Kontroll, vedlikehold og rehabilitering av brønn