

## Bioforsk Rapport

Vol. 2 Nr. 76 2007

# Hydrogeologisk vurdering av grunnvannsobservasjoner ved Slorene i Follo

Påvirkningen av tunnel gjennom Nøstvetmarka i Follo på våtmarksområde ved Gjersjøen

Nils-Otto Kitterød

Bioforsk Jord og miljø





Hovedkontor  
Frederik A. Dahls vei 20,  
1432 Ås  
Tel.: 03 246  
Fax: 63 0092 10  
post@bioforsk.no

Bioforsk Jord og miljø  
Frederik A. Dahls vei 20  
1432 Ås  
Tlf: 03 246  
Faks: 63 00 94 10  
jord@bioforsk.no

<i>Tittel/Title:</i> Hydrogeologisk vurdering av grunnvannsobservasjoner ved Slorene i Follo			
<i>Forfatter(e)/Autor(s):</i> Nils-Otto Kitterød			
<i>Dato/Date:</i> 28.06.2007	<i>Tilgjengelighet/Availability:</i> Åpen	<i>Prosjekt nr./Project No.:</i> 2110055	<i>Arkiv nr./Archive No.:</i> -
<i>Rapport nr./Report No.:</i> 76/2007	<i>ISBN-nr.:</i> 978-82-17-00249-9	<i>Antall sider/Number of pages:</i> 27	<i>Antall vedlegg/Number of appendix:</i> 13 figurer
<i>Oppdragsgiver/Employer:</i> Multiconsult/Statens Vegvesen		<i>Kontaktperson/Contact person:</i> Inger Marie Bjølseth	
<i>Stikkord/Keywords:</i> Vannbalanse, våtmarksområde, tunnelbygging Water balance, wet land, tunnel construction		<i>Fagområde/Field of work:</i> Geologi og hydrologi Hydrology and geology	
<i>Oppsummering</i> I forbindelse med driving av ny tunnel gjennom Nøstvetmarka har Bioforsk Jord og miljø vurdert lokale geologiske og hydrologiske forhold som kan ha betydning for vannbalansen i Slorene våtmarksområde sør i Gjersjøen i Follo. Tunneltraséen går nær hovedforkastningene i Oslo feltet, men risikoen for betydelige lekkasjer inn i tunnelen fra de store vannkildene i området er likevel liten. De største sprekke og svakhetssonene i fjellet er fylt av marine avsetninger. Lokal drenering av enkelt sprekker derimot er mer sannsynlig.			
<i>Summary:</i> Local geological and hydrological conditions at Slorene wetland south of Gjersjøen in Follo, Norway have been analyzed with respect to change in water balance due to construction of a tunnel through an area called Nøstvetmarka. The tunnel is located close to major fault zone in the Oslo graben, but significant water leakage into the tunnel is not very likely because all major fractures and weakness zones in the bedrock is most likely filled with low permeable marine sediments. Local drainage of water in individual fractures is high. Observations in one well in hard rock indicate changes in local drainage.			
<i>Land/fylke:</i>	Norge/Akershus		
<i>Kommune:</i>	Oppegård, Ås og Ski		
<i>Sted/Lokalitet:</i>	Slorene, Dalselva, ny E-6 trasé		

Godkjent



## Forord

---

Bioforsk Jord og miljø har gjennomført kontinuerlige målinger i to borebrønner i fjell samt en løsmassebrønn for å gi bedre grunnlag for å vurdere om Slorene naturvernområde vil bli påvirket av den nye tunnelen på E6 ved Vinterbro. Dette arbeidet startet opp sommeren 2005 og observasjoner fra dette prosjektet er rapportert til oppdragsgiver tidligere. I forbindelse med ny rapportering av observasjonene, ble Bioforsk bedt om å utvide rapporteringen til å omfatte hydrogeologiske vurderinger av tunneltraséen. Hovedperspektivet i denne rapporten er fortsatt Slorene våtmarksområdet, men geologiske og hydrologiske forhold som er relevant for andre problemstillinger er også tatt med. Dette gjelder spesielt faren for at lokale drikkevannsbrønner og energibrønner i nærheten av tunnelen kan bli påvirket.

## Innhold

---

1. Sammendrag og konklusjoner .....	5
2. Bakgrunn.....	6
3. Observasjoner .....	7
4. Vurdering .....	9
5. Konklusjoner .....	11
6. Referanser.....	13
7. Vedlegg: Figurer.....	14

# 1. Sammendrag og konklusjoner

---

Tunneltraséen ligger nær hovedforkastningene i Oslo feltet og tunnelen vil derfor krysse flere soner med dårlig konsolidert fjell (svakhetssoner og knusningssoner). I tillegg er hele området gjennomført av gangbergarter (permiske diabaser) med varierende tykkelse. De vulkanske gangbergartene kan også gi høye permeabiliteter. Landhevingen etter siste istid har bidratt til å opprettholde permeabiliteten ved mikro bevegelser i svakhetssonene i fjellet. Disse tre geologiske forholdene gir til sammen høy risiko for lokal drenering av mindre fjellsprekker. Indikasjoner på en lokal drenering ser vi i observasjonsbrønn nr 1 (fjellbrønnen nærmest Dalsbekken). 1. mai 2007 (mellom kl. 00:21:15 og kl. 12:21:15) begynte grunnvannstanden å falle. Fallet i grunnvannstanden skjer samtidig med en økning i pH (mer basiske forhold) og en tilsvarende økning i elektrisk ledningsevne (mer oppløste ioner i vannet). Vi anbefaler derfor at drikkevannsbrønner og energibrønner langs tunneltraséen prøvepumpes før tunnelen bygges og observeres under byggeperioden.

De høyeste kollene i Nøstvetmarka (ca. 130 m o.h.) er lavere enn marin grense i Oslo området (ca. 220 m). Det betyr at større sprekker og svakhetssoner i området mest sannsynlig er fylt med marine avsetninger. De marine avsetningene har overveiende lave permeabiliteter. Dalsbekken ligger i en slik svakhetszone med marine avsetninger og risikoen for betydelige lekkasjer fra denne vannkilden ansees for middels lav.

Vannbalansen i Slorene avhenger av vannstanden i Gjersjøen og vannføring i bekkene som renner ut i Slorene. Så lenge vannstanden i Gjersjøen ikke endres vesentlig, er det ingen fare for store endringer i vannhusholdningen i Slorene. Den nest viktigste faktoren for vannbalansen i Slorene er vannføringen i bekkene som renner ut i våtmarksområdet. Jo større vannføringen er, desto viktigere er vannkilden for den lokale vannbalansen i Slorene. Vannlekkasjer inn i tunnelen vest for Dalsbekken vil påvirke avrenningen til Slorene. I forhold til vannføringen i Dalsbekken er imidlertid denne avrenningen meget beskjeden, og sannsynligheten for at vannføringen i Dalsbekken vil påvirkes av tunnelen anses som liten på grunn av de marine avsetningene i området.

Det er en kunstig dam rett over tunneltraséen ved Vinbergåsen. Dammen er kilder for driftsvann til tunnelen. I en periode med liten avrenning vinteren 2006/2007 ble dammen etterflyt ved pumping fra Gjersjøen på grunn av stort forbruk av vann i tunnelen. Avrenning fra dammen kan skje enten vi overflateavrenning eller via sprekker i berggrunnen mot Gjersjøen. Det er ingen indikasjoner på lekkasje fra dammen inn i tunnelen.

## 2. Bakgrunn

---

Bioforsk Jord og miljø har kontinuerlige registreringer av grunnvannstand i to fjellbrønner og en løsmassebrønn ved Slorene i sørenden av Gjersjøen, sør vest for utløpet av Dalselva. Disse observasjonene ble satt i gang for å dokumentere eventuelle endringer i grunnvannet som følge av tunneltraséen som bygges gjennom Nøstvetmarka i Follo. Tunnelen vil delvis gå under Slorene. Slorene er et våtmarksområde som kommunene Ås og Oppegård har regulert som naturvernområde. Dette våtmarksområdet er hovedårsaken til at observasjonene ble satt i gang. Som en del av oppdraget har Bioforsk Jord og miljø, observert grunnvannstand, temperatur, pH og elektrisk ledningsevne. Observasjonene fra oktober 2006 til juni 2007 er dokumentert i eget vedlegg. I denne rapporten har vi i tillegg vurdert geologiske og hydrologiske forhold som kan være viktig for den lokale vannbalansen i Slorene. Datagrunnlaget som er lagt til grunn for vurderingene er satelittbilder, flyfoto, økonomiske kart, løsmassekart samt kart som viser storskala forkastninger og svakhetssoner i grunnfjellet. I tillegg ble området befart i forbindelse med datainnsamlingen i juni 2007.

I denne rapporten kommenteres observasjoner fra grunnvannsovervåkingen i perioden 18.09.2006 til 11.06.2007. (Observasjoner av grunnvannstand fra 01.06.2005 til 01.01.2007 er dokumentert i notat til Multiconsult 25.01.2007). I tillegg fikk Bioforsk Jord og miljø i oppdrag å vurdere de hydrogeologiske forhold som er kan være relevante for vannlekkasjer i tunnelen i området som drenerer vann til Slorene. Denne vurderingen skjer på bakgrunn av generell hydrogeologisk kunnskap og tilgjengelig informasjon fra åpne kilder om området.

Slorene er et våtmarksområdet eller en elveslette som er den egentlige betydningen av navnet, i den sørøstre bukta av Gjersjøen i området hvor Dalsbekken renner ut i innsjøen (fig. 1). I nedre del av elvesletta meandrerer Dalsbekken. Løsmassene i elvesletta varierer fra klastiske<sup>1</sup> sedimenter i selve elve- eller bekkeløpet og organisk materiale (myr) på sletta. Kornstørrelsen på de klastiske sedimentene avhenger av vannføringen i bekken og hvilket materiale bekken renner gjennom. I dette tilfellet er det mye leir og silt, men det vil også være noe grovere materiale som er avsatt i perioder med større vannføring. Det organisk materiale nydannes og brytes ned i en dynamisk likevekt som er styrt av vannbalansen og temperaturen i området.

I tillegg til nedbør og fordampning på selve elvesletta, er de viktigste faktorene for vannbalansen i Slorene vannstanden i Gjersjøen og vannføringen i bekkene som renner ut på elvesletta. Endres en av disse faktorene vil også naturmiljøet i Slorene bli endret. Hverken nedbør eller vannstand i Gjersjøen vil bli påvirket av tunnelen, det eneste som kan tenkes er at vannlekkasjer inn i tunnelen kan redusere vannføringen i bekkene som renner over tunneltraséen. Risikoen for at det skal skje har blitt vurdert i denne rapporten.

Mengden vann som kan dreneres av tunneler (eller borebrønner i fast fjell) bestemmes av permeabiliteten i bergartene og hvor store arealer som naturlig dreneres til tunnelens (eller brønnens) influensområde. Permeabiliteten i fjellet avhenger av bergartstypen samt sprekker og svakhetssoner i fjellet. Sprekker og svakhetssoner er som regel mer eller mindre tett med sekundære sprekkeminerale og eventuelt løsmasser som har dekket landmassene i tidligere tider. Studier viser at landhevningen påvirker permeabiliteten i fjellet ved at små vertikale bevegelser holder gamle sprekker og svakhetssoner åpne (Rohr-Torp, 1994).

---

<sup>1</sup> mineralske partikler som er dannet ved forvitring og erosjon av fast fjell



### 3. Observasjoner

---

Tunneltraséen befinner seg i nærheten av to hovedforkastninger i Oslofeltet (fig.1). Alle sprekker og svakhetssoner i nærheten av store forkastninger inneholder dårlig konsolidert fjell. Tunneltraséen krysser en regional svakhetszone ved Dalsbekken. Denne svakhetssonen har bestemt terrengformen hvor Dalsbekken renner og den sørøstligste delen av Gjersjøen hvor Storene befinner seg (fig. 1). Et særtrekk ved bergartene i nærheten av Oslofeltet er hyppig forekomst av vulkanske gangbergarter (diabaser fra Permtiden). Gangbergarter og svakhetssoner med dårlig konsolidert fjell gir begge deler fjell med høy permeabilitet. Den relative landhevingen i Osloområdet er målt til mellom 3 og 4 mm/år (Danielsen, 2001). Landhevingen bidrar til at permeabiliteten i fjellet opprettholdes.

Marin grense i Osloområdet er ca. 220 m over havet. Terrenget over tunneltraséen befinner seg dermed under marin grense og svakhetssonen hvor bl.a. Dalsbekken renner, er derfor fylt med marine sedimenter. Siden de marine avsetningene i dette området inneholder mye leire og silt reduserer dette permeabiliteten i sprekkesonene. På det kvartærgeologiske kartet til Norges Geologiske Undersøkelse er det riktignok avmerket at de marine avsetningene i Dalsbekken er relativt tynne (fig.2). Dette øker risikoen for lekkasjer inn i tunnelen, men selv et tynt lag med tette sedimenter vil redusere faren for lekkasje betydelig.

På tunnelstrekningen mellom Vinterbro og Dalsbekken er nedbørsarealene som kan dreneres til tunnelen relativt beskjedne og vannmengdene som kan lekke inn i tunnelen vest for Dalsbekken er derfor små. To mindre bekker som drenerer til den kunstige dammen sør for brønn 2 ved Haugbruåsen kan blir berørt av tunnelen, det samme gjelder en mindre bekk ved Lauåsen (fig. 3). Også i dette området er større sprekker og svakhetssoner påvirket av marine avsetninger. På flyfoto i figur 4 er lokale sprekker og svakhetssoner i nærheten av observasjonsbrønnene skissert. Ved brønn 1 er det en relativt kraftig svakhetszone som krysser tunneltraséen.

**Loggerdata for brønn 1 og 2 fra 18.09.2006 til 11.06.2007, og brønn 3 fra 29.04.2007 til 11.06.2007**

For å dokumentere endringer i grunnvannsparmetre i nærheten av tunneltraséen ble det boret to fjellbrønner (brønn 1 og 2, fig. 5). I tillegg er det satt ned et peilerør i Storene(rør 3, fig. 5). Alle målepunktene er utstyrt med SEBA logger system som måler grunnvannstrykket (eller grunnvannstanden), elektrisk ledningsevne, pH og vanntemperatur. Brønn 1 står ca. 10 m fra sterkt trafikkert vei (E6). Geologisk sett er brønn 1 plassert nær den regionale svakhetssonen hvor Dalsbekken renner. Det er flere lokale sprekker og svakhetssoner mellom brønn 1 og tunneltraséen (fig. 5). Brønn 2 står lenger fra veien, og det er ingen klart markerte sprekker i terrengoverflaten. Brønn 2 ligger nedstrøms en mindre dam som har avrenning nordover til Gjersjøen. Rør 3 står i randen av våtmarksområdet ca. 100 m fra hovedløpet til Dalsbekken og ca. 500 m fra Gjersjøen.

#### *Grunnvannstand*

Fram til 1. mai er det relativt god samvariasjon mellom grunnvannstanden i brønn 1 og 2 (fig. 6). Etter 1. mai er det registrert et unormalt stort trykkfall i brønn 1. Dette sammenfaller med økning i elektrisk ledningsevne (fig. 7) og i pH (fig. 8) for brønn 1. Loggerutstyret i våtmarksbrønnen ble utsatt for hærverk og målinger ble gjenopptatt fra 29.04.2007.

#### *Elektrisk ledningsevne*

Ledningsevnen i brønn 1 varierer mellom 122 og 333  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (fig. 7). Brønn 1 viser i grove trekk en tendens til lavere ledningsevne fra oktober 2006 til april 2007. På mindre tidsskala ser vi imidlertid at ledningsevnen i brønn 1 øker når grunnvannstanden faller (fig. 8). Lokale max verdier opptrer litt forsinket i forhold til minimumspunktet i grunnvannstanden. Når grunnvannstanden øker blir ledningsevne lavere. Minimumsverdi i ledningsevnen kommer som regel litt forskjøvet i forhold til tidspunktet for max grunnvannstanden. Fra 1. mai til begynnelsen av juni er ledningsevnen i brønn 1 unormalt høy. Dette faller sammen med et unormalt stort fall i grunnvannstanden. Ledningsevnen i brønn 2 varierer mellom 338 og 461  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Den er m.a.o. høyere enn i brønn 1, men er mer stabil. Også i brønn 2 er det en fallende tendens fra oktober 2006 gjennom vinteren og fram til mars 2007. I forhold til brønn 1 er samvariasjon mellom grunnvannstand og elektrisk ledningsevne motsatt: Ledningsevnen faller med fallende grunnvannstand og får lokale max verdier når grunnvannstanden er høy (fig. 9). Ledningsevnen i våtmarksbrønnen (brønn 3) varierer mellom 1550 og 2372  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Disse verdiene er omlag en størrelsesorden høyere enn i fjellbrønnene. Høyest ledningsevne opptrer i perioder med stabil lav grunnvannstand.

### *pH*

pH i brønn 1 varierer rundt 7 fram til 1. mai. På mindre tidsskala er det samvariasjon mellom ledningsevne og pH (fig. 11), og dermed også mellom pH og grunnvannstand. Fra 1. mai til begynnelsen av juni er det en økning i pH til omlag 7.84. Fra begynnelsen av juni er det et tilsvarende brått fall i pH, men tidsserien etter pH reduksjonen er for kort til å si om dette er et omslag til svingninger rundt en ny verdi. pH i brønn 2 er svakt basisk og øker stabilt gjennom hele observasjonsperioden. Små avvik fra trenden sammenfaller med endringer i elektrisk ledningsevne og grunnvannstand. Økt elektrisk ledningsevne skjer samtidig med et lite fall i pH i brønn 2 (fig.12). pH i brønn 3 varierer mellom 6 og 5.5. Høyest pH i brønn 3 opptrer i perioden med lav vannstand og høy ledningsevne.

### *Grunnvannstemperatur*

Vanntemperaturen i brønn 1 varierer rundt 5.65 °C og har den mest stabile vanntemperaturer av de tre observasjonsbrønnene (fig. 13). Brønn 2 har økende temperatur gjennom vinteren fra omlag 5.73 °C til max 5.85 °C i slutten av mars. Etter det er temperaturen stabil rundt ca. 5.8 °C. I observasjonsperioden for brønn 3 (29.04.2007 - 11.06.2007), øker temperaturen fra 4 til 11 °C.

## 4. Vurdering

---

Det mest påfallende trekket ved loggerdataene er hendelsen som inntraff i brønn 1 i tidsrommet mellom kl. 00:21:15 og 12:21:15 1. mai 2007. I det tidspunktet faller grunnvannstanden med omlag 2 m (fig. 6). Den elektriske ledningsevnen i brønnen øker samtidig markant (fig. 7), og det samme gjør pH (fig. 8). Det bør undersøkes nærmere om denne hendelsen kan relateres til anleggsvirksomhet i tunnelen eller andre hendelser langs E-6 i det aktuelle tidsrommet som f.eks. en forurensningsulykke. Brønnen ligger i en svakhetszone og det er mye mulig at små rystelser i berggrunnen kan gi økt utstrømning av brønnen uten at det observeres noen lekkasjer i tunnelen. Mulig forklaring på det plutselige fallet i grunnvannstand kan være bevegelse i sprekker i brønnen som øker dreneringen av vann enten mot Dalsbekken eller mot Slorene. Senkning av grunnvannstanden i brønnen endrer i sin tur det lokale tilsiget til brønnen, og dermed kan saltpåvirket vann fra veien bli drenert inn i brønnområdet. En annen mulig forklaring er at sonderboringer eller tunneldrivingen har kommunisert med sprekker som leder vann fra brønnen. Vannmengdene som dreneres fra slike sprekker kan være så små at et ikke blir registrert som lekkasjer i tunnelen. Denne hendelsen viser imidlertid at vannforsyningsbrønner og energibrønner i området nær tunneltraséen bør overvåkes. I det følgende vil jeg kommentere noen andre trekk ved loggerdataene som jeg håper kan bidra til å kaste lys over strømningsforholdene i berggrunnen.

Endringer i grunnvannstand er på lang sikt styrt av infiltrasjon av vann fra snøsmelting og- eller nedbør. Generelt gjelder at jo mindre grunnvannsmagasinet er, desto mer direkte er sammenhengen mellom infiltrasjon og grunnvannsnivå. Selv om samvariasjonen mellom brønn 1 og 2 er god fram til 1. mai, behøver ikke det å bety at det er noen hydraulisk forbindelse mellom disse to brønnene. De kjemiske parameterene tyder tvert i mot på at samvariasjonen ikke skyldes hydraulisk kontakt, men snarere at vannstanden henger sammen med snøsmelting og nedbør. Meteorologiske forhold vil ikke variere særlig mye mellom disse to brønnene. Avstanden mellom brønnene er bare litt over 200 m. Brønn 1 synes å nå max vannstander omlag 3 m under terrenget. Over dette nivået dreneres vannet i denne brønnen enten østover mot Dalsbekken eller nordover mot Slorene. Etter snøsmelting og- eller mye nedbør, står grunnvannstanden i brønn 2 i terreng høyde, og grunnvann kan i slike perioder renne ut på terreng overflaten. Dette er typisk for utstrømningsområder hvor strømningsgradientene er rettet oppover.

Den elektriske ledningsevnen varierer med konsentrasjonen av oppløste ioner i grunnvannet og viser derfor først og fremst forskjellen i vannkvalitet mellom de tre observasjonspunktene (fig. 7). Ledningsevnen i brønn 1 varierer mellom 122 og 333  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , i brønn 2 varierer ledningsevnen mellom 338 og 461  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mens brønn 3 varierer mellom 1550 og 2372  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Mengden oppløste ioner i grunnvannet er langt mindre i fjell enn i våtmarksområder hvor det er store mengder organisk materiale. Generelt har nedbør mindre oppløste ioner enn grunnvann. Oppløsning av ioner i grunnvannet har derfor sammenheng med oppholdstid i grunnen og kontaktarealet mellom vannet og det faste stoffet. Vannhastigheten i fjell er relativt rask i forhold til strømningshastigheten i våtmark, dessuten er kontaktareal mellom vann og fast stoff mye større i våtmark enn i fjell. Begge disse faktorene forklarer forskjellene i elektrisk ledningsevne.

I brønn 1 faller elektriske ledningsevne gjennom vinteren, noe som tyder på at brønnen ikke er påvirket av veisalt. Det er systematisk sammenheng mellom grunnvannstand og elektrisk ledningsevne i brønn 1: Ved lave grunnvannstander er det relativt høy ledningsevne, og ved høy grunnvannstand synker ledningsevnen. Infiltrasjon fra nedbør med lav konsentrasjon av oppløste ioner, senker ledningsevnen i grunnvannet. I perioder med lite nedbør får brønn 1 tilsig av grunnvann fra fjellkollene i Nøstvetmarka og ledningsevnen øker samtidig som grunnvannstanden synker. Brønn 2 derimot har motsatt oppførsel:

Ledningsevnen øker med økende vannstand og synker med synkende vannstand. Dette kan ha sammenheng med at brønnen befinner seg i nærheten av et området med mye sprengmasser fra tunnelen. I perioder med nedbør kan sprengmassene gi avrenning med relativt høye konsentrasjoner av oppløste stoffer. Avrenning fra sprengmassene ser ut til å influere på vannkvaliteten i brønn 2 noe som forklarer hvorfor den elektriske ledningsevnen øker i perioder med infiltrasjon i fjellgrunnen. Denne forklaringen forutsetter at sprengmassene ligger høyere i terrenget (høyere grunnvannspotensial) enn grunnvannet i brønn 2. Det naturlige grunnvannet i fjellet har lavere ledningsevne enn vannet som infiltrerer brønn 2 i perioder med nedbør eller snøsmelting. Dette forklarer hvorfor ledningsevnen avtar når grunnvannstanden øker. I tørkeperioder transporterer grunnvannet bort oppløste stoffer som har infiltrert brønn 2.

pH i brønn 2 styrker antagelsen om at brønnen er influert av sprengmasser fra tunnelen. Sprengmassene gir svakt basisk avrenning, noe som forklarer den jamne pH-økning vi observerer gjennom hele perioden. Den jamne økningen blir bare avbrutt av små, skarpe senkninger i pH. Disse senkningene opptrer samtidig med økt grunnvannstanden og økning i den elektriske ledningsevnen. Årsaken er infiltrasjon fra nedbør: Nedbør er surere enn avrenningen fra sprengmassene, samtidig som nedbør vasker med seg oppløste stoffer fra sprengmassene og ned i grunnvannet.

Grunnvannstanden i brønn 2 kan være påvirket av vannstanden i dammen sør for brønnen. I følge opplysninger fra Vegvesenet blir det sporadisk pumpet opp vann fra Gjersjøen for å opprettholde vannstanden i dammen. I det siste har det kun skjedd en gang i forbindelse med stort vannforbruk i tunnelen. Det er ikke registrert noen lekkasje fra dammen inn i tunnelen. Området har imidlertid naturlig avrenning til Slorene, og denne avrenningen har selvsagt økt etter at dammen ble etablert. Det innebærer at det renner vann fra dammen enten via overflaten eller via sprekker i berggrunnen eller begge deler. Dersom det er avrenning fra dammen i fjellsprekker som står i hydraulisk kommunikasjon med brønn 2, vil vannstanden og vannkjemi i brønn 2 bli påvirket av dammen. De observasjonene vi har til nå gir imidlertid ingen klare indikasjoner på at det er noen slik kommunikasjon.

I forhold til observasjonsbrønnene i fjell, er grunnvannstanden i våtmarksområdet meget stabil. Årsaken er at grunnvannstanden i våtmarksområdet blir styrt av vannstanden i Gjersjøen og at vannlagringskapasiteten i våtmark er mye større enn i sprekke i fast fjell. Kun i perioder med økning i vannføringen fra bekkene som drenerer til våtmarksområdet, er det en økning i vannstanden. De ekstremt høye ledningsevnene i våtmarksbrønnen kan tyde på at området får tilført betydelige mengder veisalt. Mindre veisalt vil ubetinget være en fordel for Slorene våtmarksområdet. De lave pH verdiene i våtmarksområdet skyldes mest sannsynlig organiske syrer som dannes under nedbrytning av organisk materiale.

Grunnvannstemperaturen i de tre brønnene har sammenheng med hvor dypt sensoren er plassert under terrenget og til en viss grad hvordan vannet strømmer i brønnen. I brønn 1 er grunnvannet 3 m under terrenget på sitt høyeste og vanntemperaturen varierer minimalt. Oppløsningen på temperatursensoren er ca. 0.2 °C. I observasjonsperioden varierer ikke temperaturen i brønn 1 på mer enn 0.6 °C. I brønn 2 er temperaturen noe høyere enn i brønn 1, og temperaturen øker ca. 1.2 °C fra oktober til begynnelsen av mars. Dette styrker antagelsen om at brønn 2 befinner seg i et utstrømningsområde. I våtmarksbrønnen samvarierer vanntemperaturen med lufttemperaturen på en helt annen måte enn i fjellbrønnene.

## 5. Konklusjoner

---

Naturmiljøet i Slorene blir i stor grad styrt av vannbalansen lokalt i våtmarksområdet. Denne vannbalansen avhenger av vannstanden i Gjersjøen og tilsiget av vann fra fjellsidene og bekkene som dreneres til Slorene. Både vannstanden i Gjersjøen og tilsiget av vann til våtmarksområdet avhenger av nedbør og temperatur. Det som kan tenkes å påvirke vannbalansen i Slorene er vannlekkasje inn i tunnelen. For at vannlekkasjen skal ha målbar effekt på Slorene, må imidlertid lekkasjen være av en slik størrelsesorden at det overstiger de naturlige årsvariasjonene i vanntilsiget fra fjellsidene og fra vannføringen i de større bekkene i området. Slike lekkasjer vil ikke bli akseptert av sikkerhetsmessige hensyn, og påvirkningen av tunnelen på våtmarksområdene må derfor ansees som meget liten. Elektrisk ledningsevne i våtmarksbrønnen er relativt høye. Veisalt er mest nærliggende forklaring på disse verdiene. Redusert veisaltning vil være et positivt bidrag til naturmiljøet.

Det er tre geologiske faktorer som hver for seg peker i retning av at vi må forvente fjell med høye permeabiliteter langs den aktuelle tunneltraséen:

- 1) Tunnelen befinner seg nær hovedforkastningene til Oslo feltet. I nærheten av disse forkastningene er det svakhetssoner med forvitret, dårlig konsolidert fjell ("råttent fjell").
- 2) Vulkanske gangbergarter forekommer hyppig i dette området. Vulkanske gangbergarter gir ofte fjellpartier med høy permeabilitet.
- 3) Den relative landhevingen på Østlandet er målt til 3-4 mm/år (Danielsen, 2001). Norges Geologiske Undersøkelse har vist at det er god samvariasjon mellom landheving og permeabilitet i borebrønner i fjell (Rohr-Torp, 1994).

Disse forholdene innebærer at lokale borebrønner i fast fjell kan bli påvirket av tunnelen. Vi anbefaler derfor at Vegvesenet prøvepumper brønner i området og starter observasjoner for å dokumentere endringer i brønnforholdene før og etter tunnelkonstruksjon.

Store lekkasjer i området mellom Vinterbro og Dalsbekken er imidlertid ikke sannsynlig av følgende grunner:

- 1) Området befinner seg under marin grense, og alle sprekker og svakhetssoner er derfor mer eller mindre fylt av marine sedimenter. Det er mest sannsynlig at de marine sedimentene består av nok silt- og leire partikler til å redusere infiltrasjonskapasiteten betydelig.
- 3) Bortsett fra Dalsbekken er det ingen store nedbørsfelt i området. Store mengder vann kan derfor ikke drenes inn i tunnelen. Det eneste unntaket er en kunstig dam som ligger svært nær tunneltraséen. Eventuelle lekkasjer fra denne dammen lar seg lett kontrollere ved pumpingen av vann fra Gjersjøen. Overflateavrenningen mellom brønn 1 og 2 kan bli påvirket av tunnellekkasjer, men fordi nedbørsarealet som drenerer til tunnelen er lite, vil mindre lekkasjer i dette området ikke påvirke vannbalansen i Slorene.

Det er derfor lite sannsynlig at vannbalansen i Slorene naturvernområde blir påvirket av tunnelen gjennom Nøstvetmarka. Når svakhetssonen til Dalsbekken krysses bør imidlertid vannlekkasjer fra sonderboringene registreres. I følge standard retningslinjer for tunnelbygging vil store vannlekkasjer bli tettet med injeksjonsmasser før tunnelen drives videre. Etter at tunnelen er bygd bør ikke vannlekkasjene overstige mer enn maks 5% av minstevannføringen i Dalsbekken for å sikre at vannhusholdningen i Slorene ikke påvirkes som følge av tunnelen. Sannsynligheten for slike vannlekkasjer ansees som liten fordi svakhetssonen er dekket av marine avsetninger.



## 6. Referanser

---

Danielsen, J.S., 2001, A Land Uplift Map of Fennoscandia", Survey review Vol. 36, side 282-291

Rohr-Torp, E., 1994, Present uplift rates and groundwater potential in Norwegian hard rocks, Geological Survey of Norway, Bulletin 426, 47-52

## 7. Vedlegg: Figurer

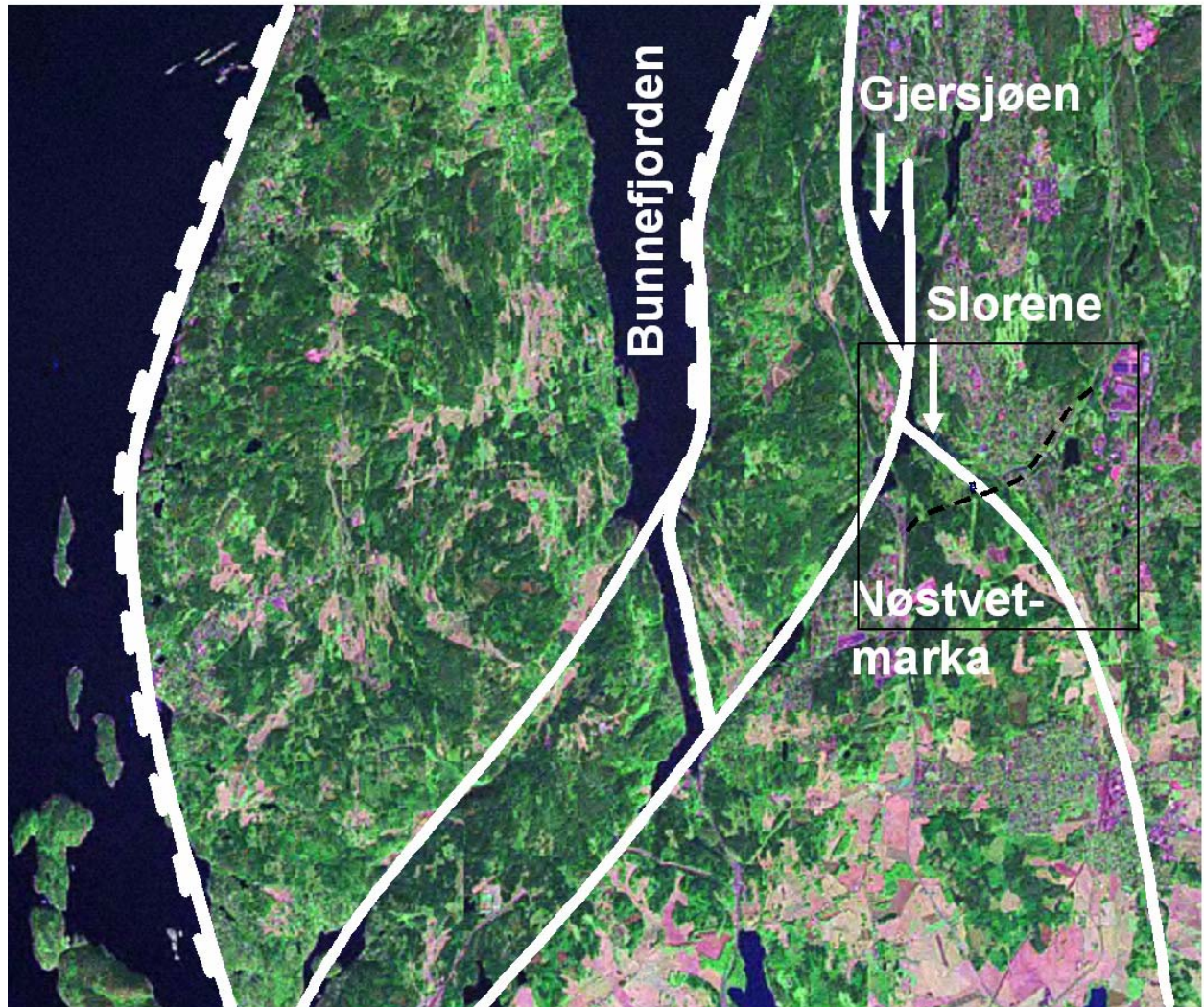
---

### Figur nr. Figurtekster

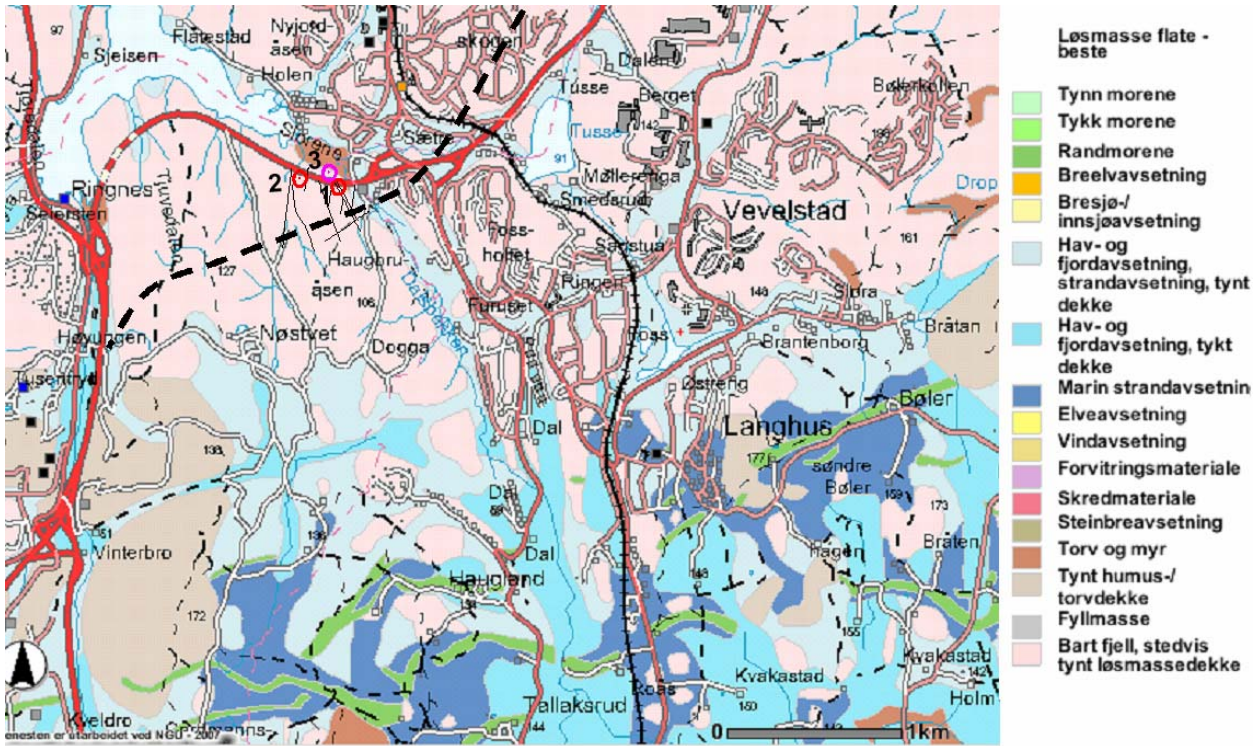
---

- 1 Satelittbilde med hovedforkastinger og svakhetssoner i nærheten av Nøstvetmarka.
  - 2 Kvartærgeologisk kart over Nøstvetmarka.
  - 3 Topografisk kart med skisse av tunneltrase og lokale sprekkesoner i nærheten av observasjonsbrønnene.
  - 4 Flyfoto med plassering av observasjonsbrønner, skisse av tunneltrase, og mindre svakhetssoner mellom Slorene og tunneltraséen.
  - 5 Økonomiskkart med plassering av fjellbrønner (1 og 2) og våtmarksbrønn (3) i forhold til lokale fjellsprekker og svakhetssoner.
  - 6 Grunnvannstand i borebrønner i fjell (brønn 1 og 2) og i peilerør i våtmark (brønn 3).
  - 7 Elektrisk ledningsevne i borebrønner i fjell (brønn 1 og 2) og i peilerør i våtmark (brønn 3).
  - 8 pH i borebrønner i fjell (brønn 1 og 2) og i peilerør i våtmark (brønn 3).
  - 9 Vannstand og elektrisk ledningsevne i brønn 1.
  - 10 Vannstand og elektrisk ledningsevne i brønn 2.
  - 11 pH og elektrisk ledningsevne i brønn 1.
  - 12 pH og elektrisk ledningsevne i brønn 2.
  - 13 Vanntemperatur i borebrønner i fjell (brønn 1 og 2) og i peilerør i våtmark (brønn 3).
-





Figur 1. Satellittbilde med hovedforkastinger og svakhetssoner i nærheten av Nøstvetmarka (hvite streker). Tunneltraséen er skissert med stiplet strek. Gjersjøen er betinget av to svakhetssoner. Dalsbekken følger en svakhetssone som ender i Gjersjøen. Satellittbildet (Landsat) er hentet fra: [zulu.ssc.nasa.gov/mrsid](http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid))



Figur 2. Kvartærgeologisk kart over Nøstvetmarka (kilde: [www.ngu.no](http://www.ngu.no)). Tunneltrasen er skissert med stiplest strek. Lokale svakhetssoner ved observasjonsbrønnene er skissert med sort strek. Svakhetssonen hvor Dalsbekken renner er dekket av marine avsetninger.





Figure 3. Topografisk kart med skisse av tunneltrase og lokale sprekkesoner i nærheten av observasjonsbrønnene. Bortsett fra Dalsbekken er det nedbørsfeltet som kan drenere til tunnelen svært begrenset. Kartet er hentet fra [ngis2.statkart.no/norgesglasset/default.html](http://ngis2.statkart.no/norgesglasset/default.html).

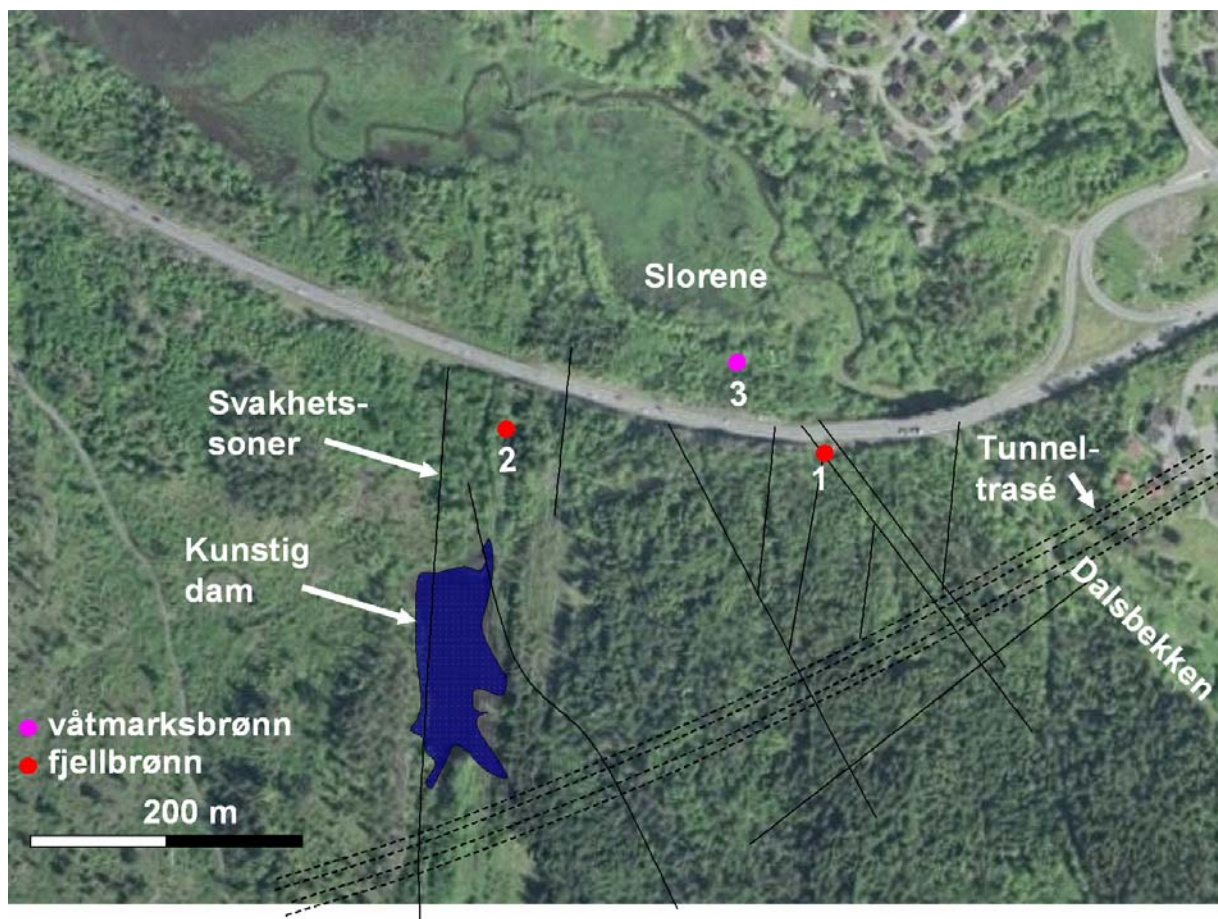
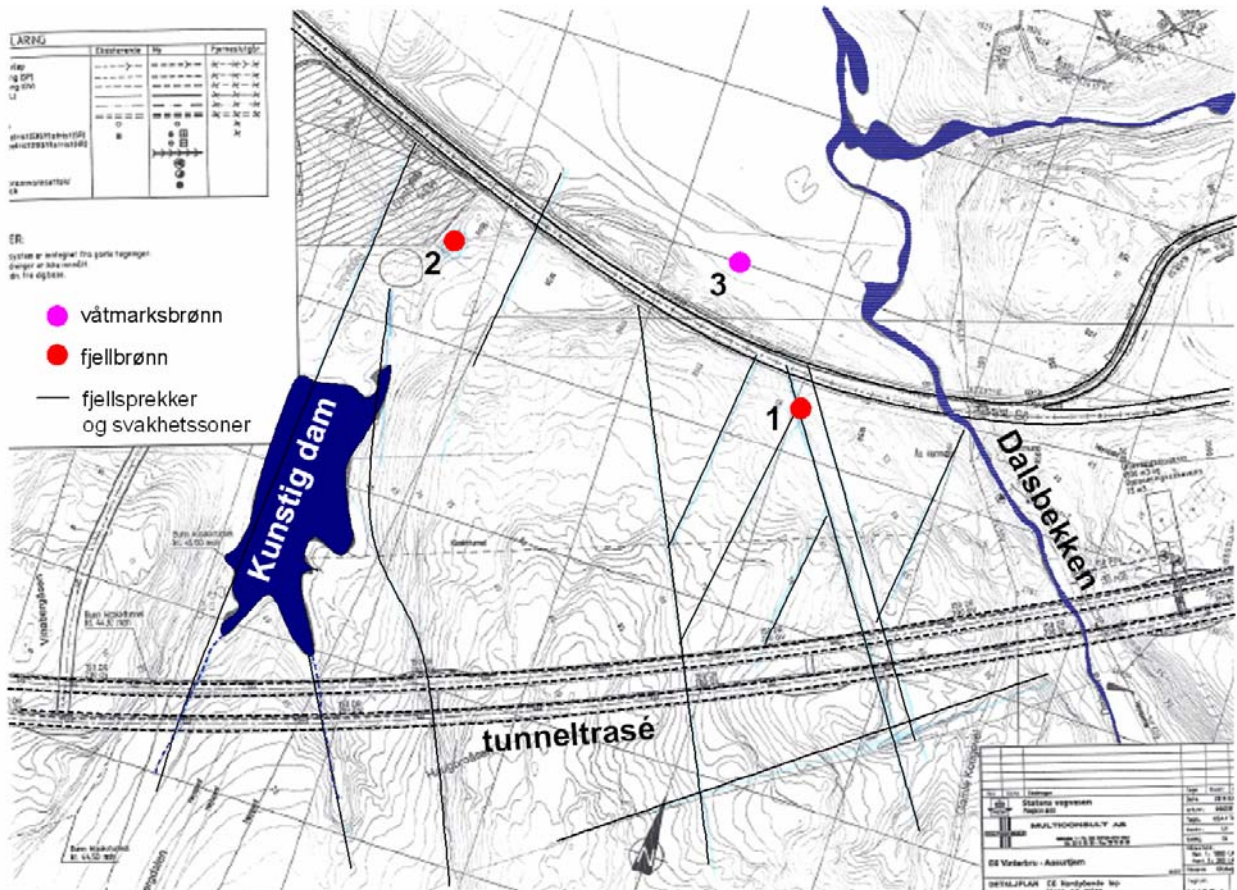
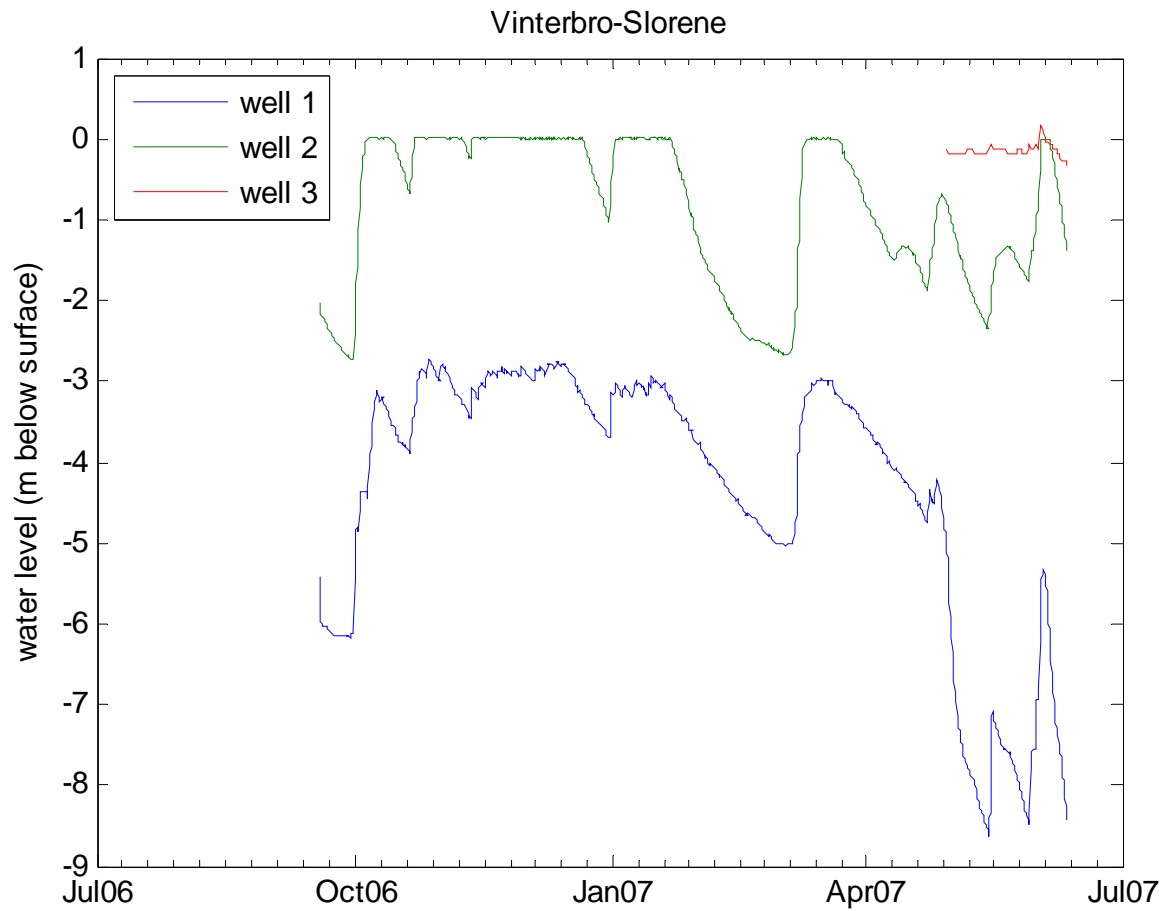


Figure 4. Flyfoto med plassering av observasjonsbrønner, skisse av tunneltrase, og mindre svakhetssoner mellom Slorene og tunneltraséen. Flyfototet er hentet fra [www.norgebilder.no](http://www.norgebilder.no).

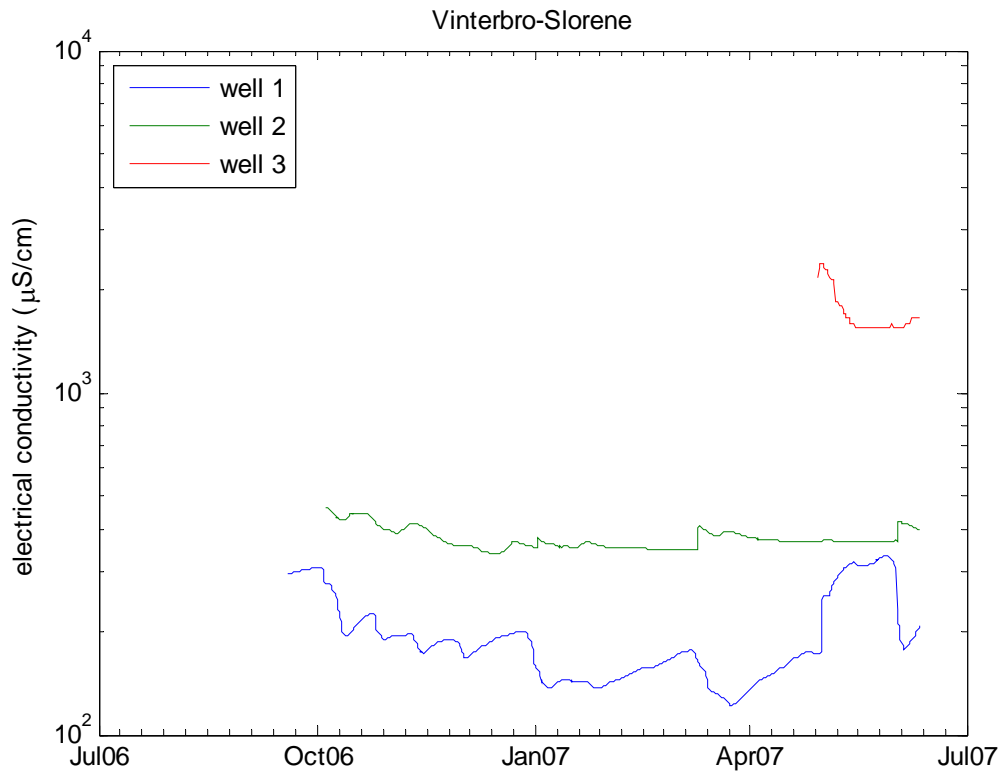




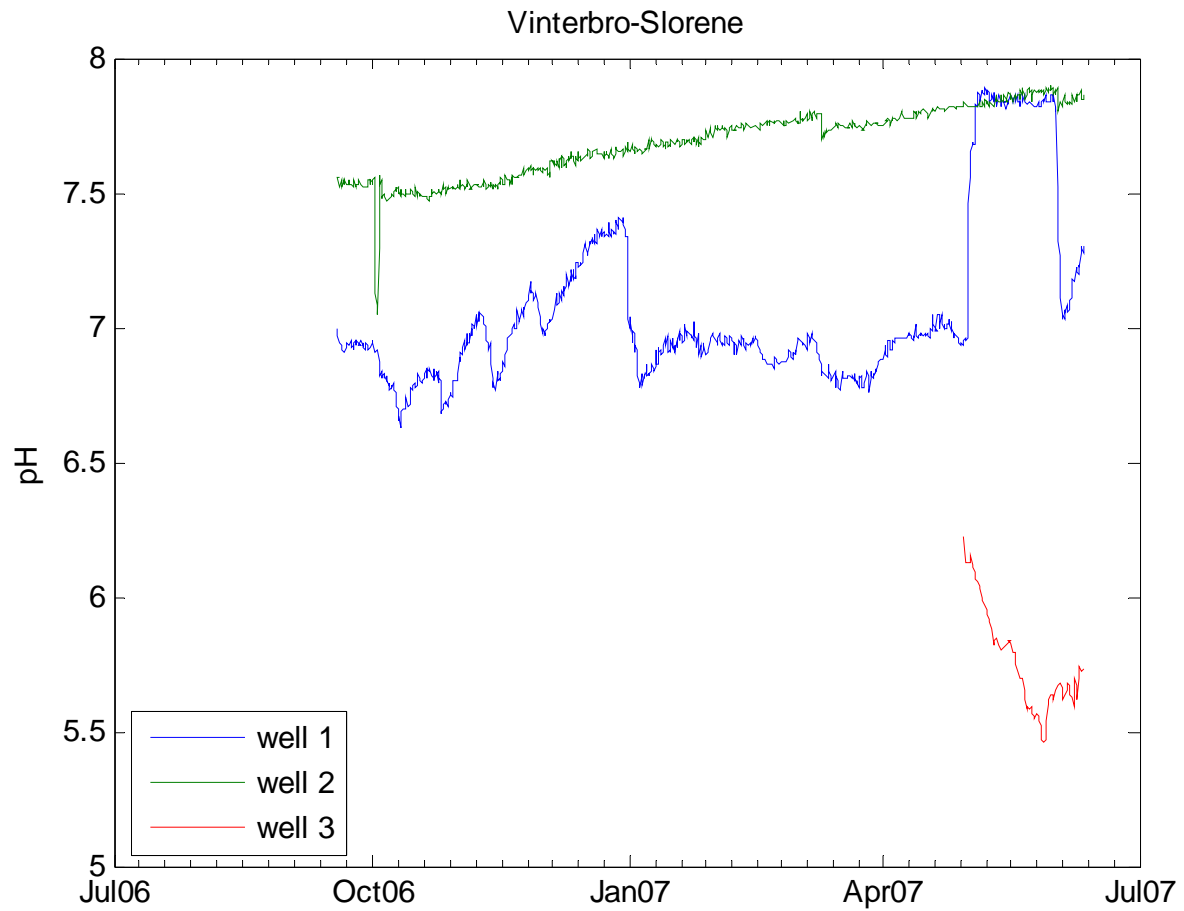
Figur 5. Økonomiskkart med plassering av fjellbrønner (1 og 2) og våtmarksbrønn (3) i forhold til lokale fjellsprekker og svakhetssoner.



Figur 6. Grunnvannstand i borebrønner i fjell (brønn 1 og 2) og i peilerør i våtmark (brønn 3).

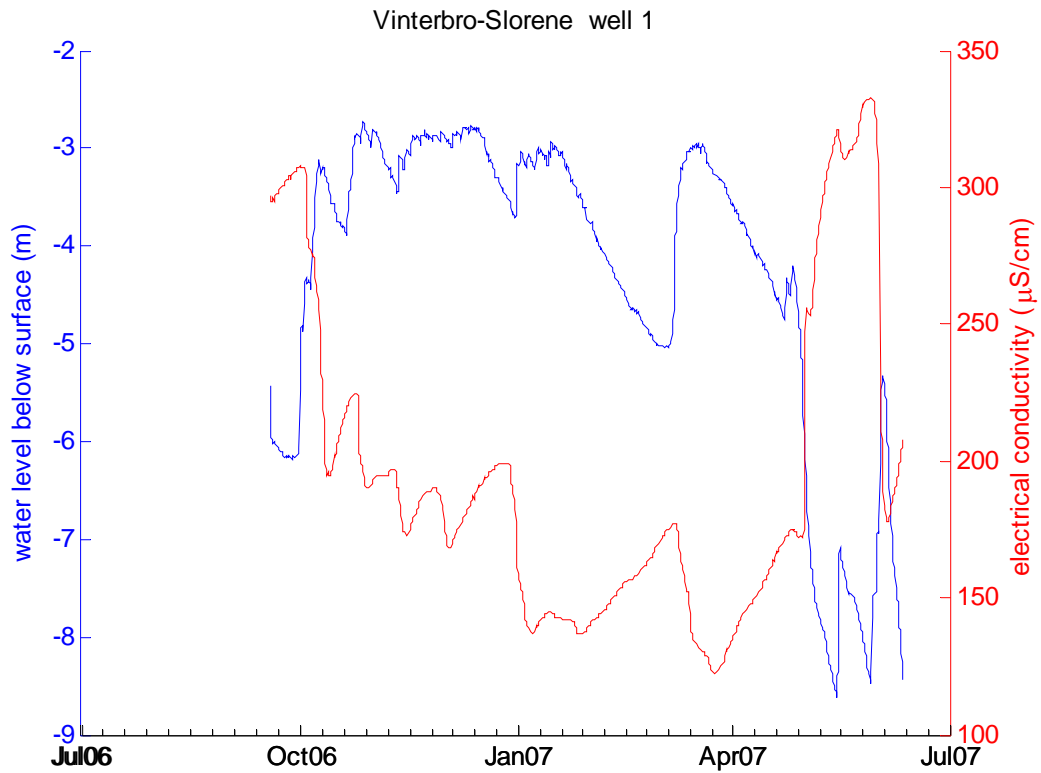


Figur 7. Elektrisk ledningsevne i borebrønner i fjell (brønn 1 og 2) og i peilerør i våtmark (brønn 3).

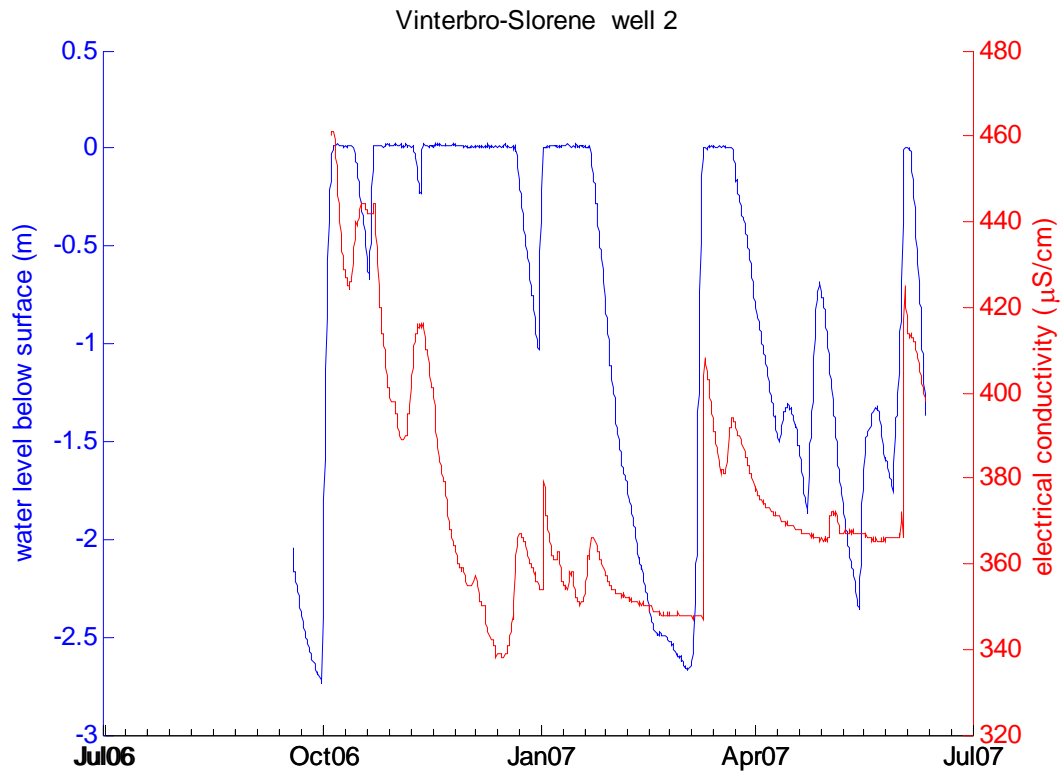


Figur 8. pH i borebrønner i fjell (brønn 1 og 2) og i peilerør i våtmark (brønn 3).

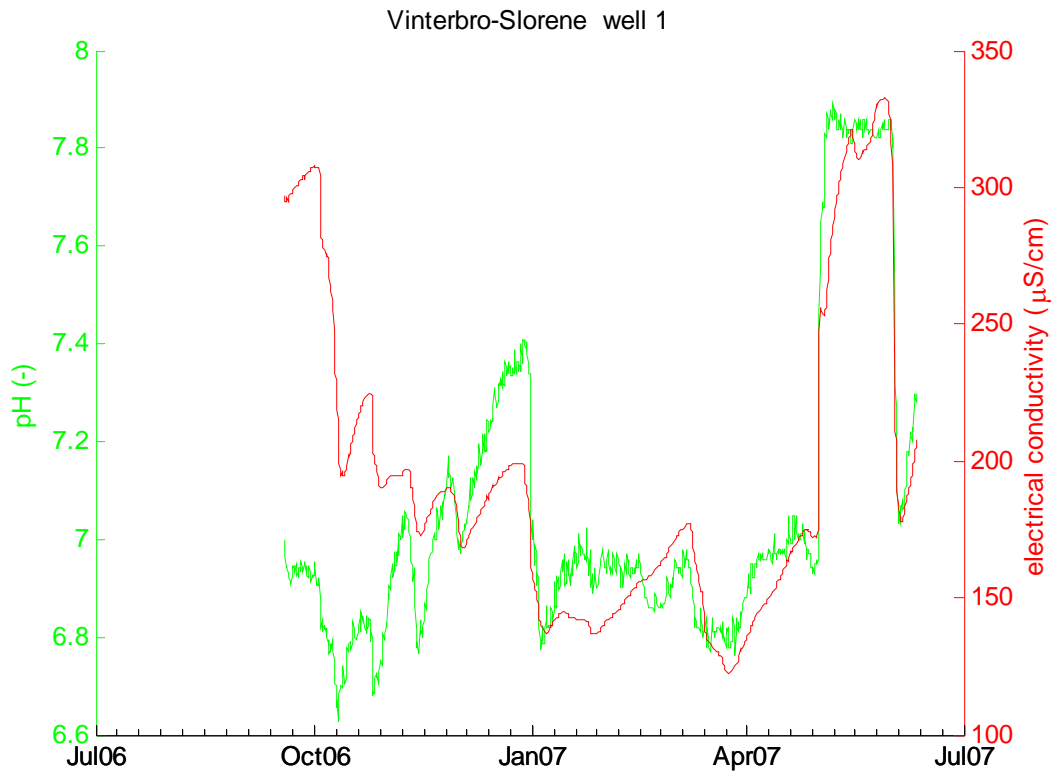




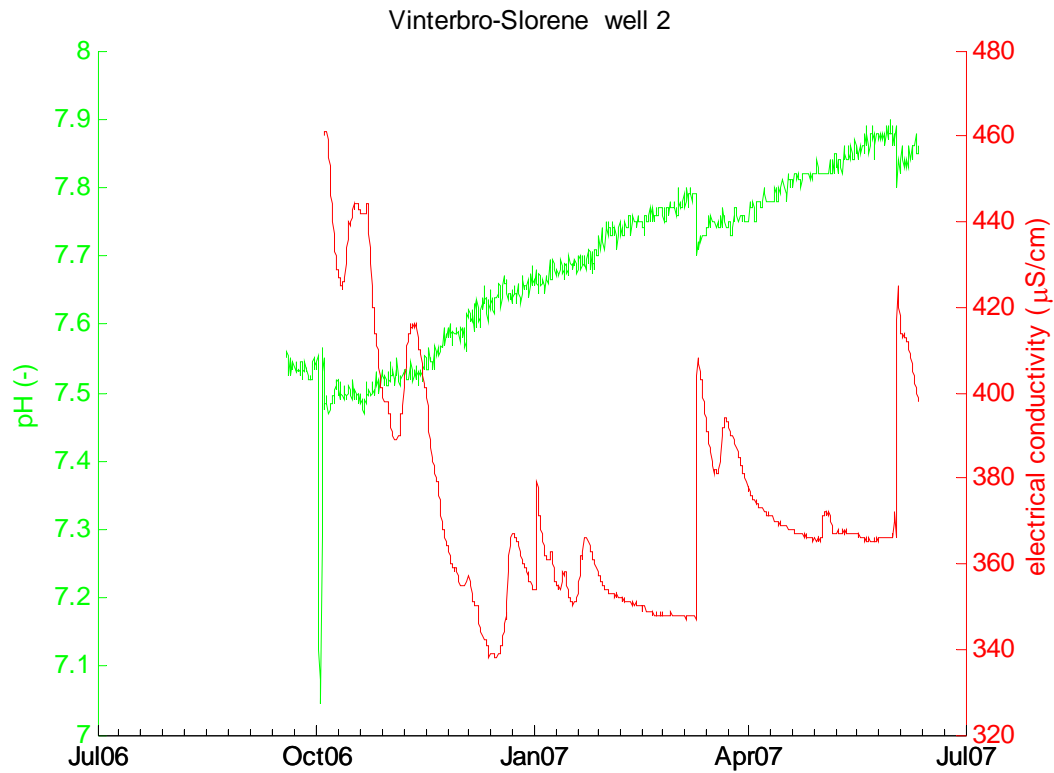
Figur 9. Vannstand og elektrisk ledningsevne i brønn 1.



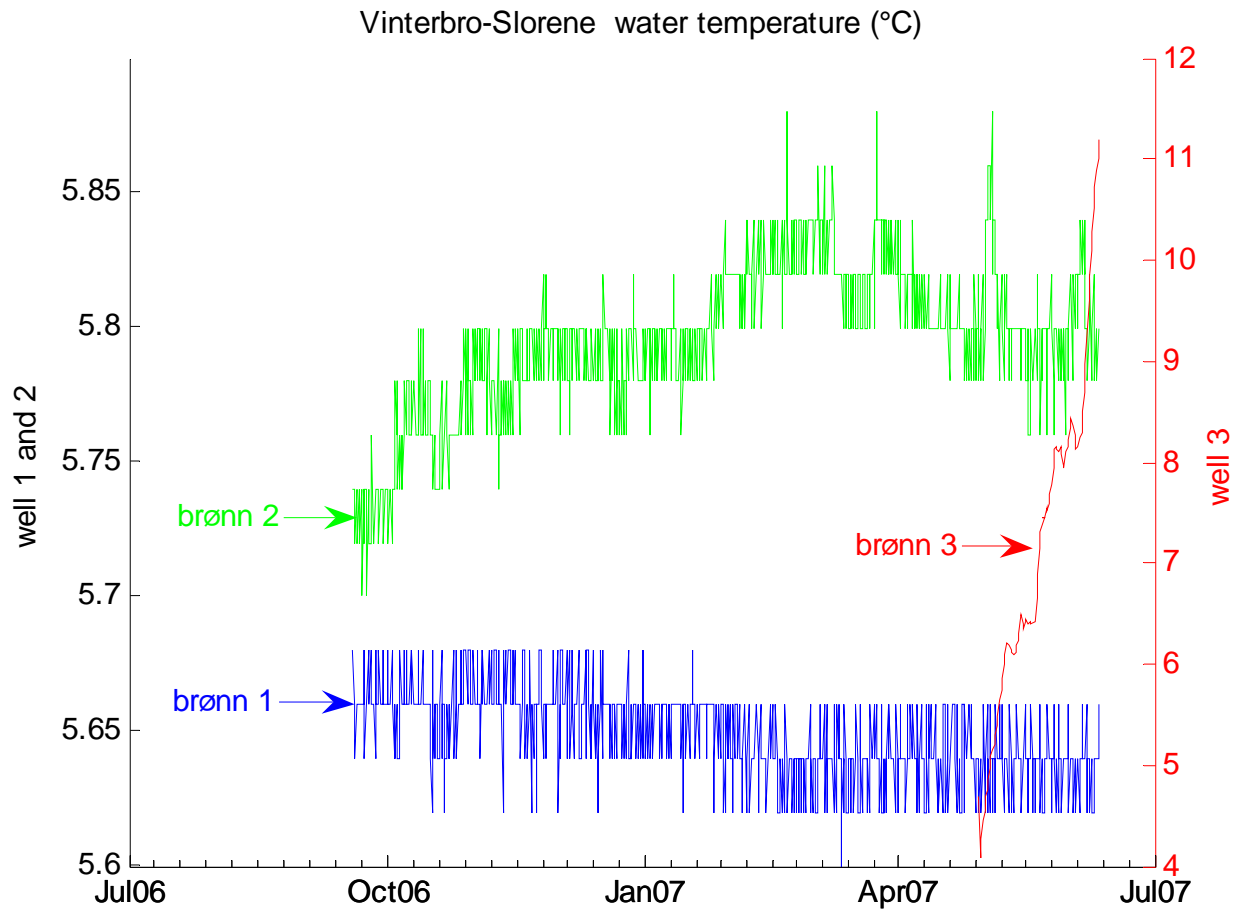
Figur 10. Vannstand og elektrisk ledningsevne i brønn 2.



Figur 11. pH og elektrisk ledningsevne i brønn 1.



Figur 12. pH og elektrisk ledningsevne i brønn 2. pH øker jamt over hele observasjonsperioden avbrutt av små senkninger i forbindelse med nedbør.



Figur 13. Vanntemperatur i borebrønner i fjell (brønn 1 og 2) og i peilerør i våtmark (brønn 3).