



Ved elektronisk overføring kan det ikke garanteres for konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet må ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

*Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.*

*This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document deals with. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the proprietor's consent. No changes or amendments to the document shall be made without consent from NGI.*

Til: **Norse Decom AS**  
v/: **Per Varskog**  
Fra: Norges Geotekniske Institutt  
Dato: 2005-05-30  
Prosjekt: **20051312 Fjelldeponi for LRA på Stangeneset,  
hydrogeologisk og ingeniørgeologisk vurdering**  
Utarbeidet av: Eystein Grimstad, Kim Rudolph-Lund, Jan Erik Sørлие  
Kontrollert av: Audun Hauge

---

Tittel: **Vurdering av ingeniørgeologiske og hydrogeologiske forhold**

## INNLEDING

Det foreligger planer om å etablere et fjelldeponi for lavradioaktivt avfall (LRA) ved Stangeneset i Gulen kommune. Prosjektet har vært ute til høring, og Statens strålevern har pålagt prosjekteierne å utrede mer i detalj forholdene omkring inn- og utstrømningen i forhold til fjelldeponiets spesifikke beliggenhet.

I denne forbindelse er NGI blitt kontaktet av A. Varskog ved firma Yera om å foreta en ekspertvurdering. NGI har valgt først å gjennomgå foreliggende materiale, en konsekvensutredning, to rapporter om miljørisikovurdering og bergromsutforming kombinert med befaring av prosjektområdet. Rapporteringen skal omfatte observasjonene fra befaringen og en kort utredning om hva vi mener om de hydrogeologiske og de ingeniørgeologiske forholdene med sikte på strømning av grunnvann, transport av forurensning og plassering av deponiet. Vi vil videre vurdere om stedet er egnet, og anbefale hvilke tilleggsutredninger og feltundersøkelser som eventuelt bør utføres.

## INGENIØRGEOLOGI

### Bakgrunnsopplysninger

På bakgrunn av tidligere undersøkelser gjengitt i Notebys rapport nr. 610468-2 av 8 desember 2004 og konsekvensutredningen for LRA-deponiet, er det gitt estimater for konduktivitet og stabilitet i bergmassene omkring det planlagte deponiet. Det er i denne rapporten referert til geologisk kartblad Bergen i målestokk 1:250 000. Rapporten beskriver generelle bergartstyper og strukturtrekk fra dette kartet. Det er

videre gitt kart og profiler som viser det planlagte deponiet lagt i tunnel med 10 m fjelloverdekning under en liten fjellrygg. Deponiet er planlagt i en fjellhall/tunnel sprengt ut med 10 m bredde. Med fjelloverdekning tilsvarende tunnelbredden, vil vanligvis stabiliteten i tunnelen være redusert på grunn av manglende innspenning fra omliggende bergmasser. Unntak fra dette forholdet får en bare ved høye horisontalspenninger helt opp til fjelloverflaten. Det er ikke kjent at slike spenninger er påvist i dette området.

### Observerte geologiske forhold

Ryggen som går over den planlagte tunnelen var delvis overdekket av tilkjørte masser av askeavfall, kalt deponi A. På nordsiden av ryggen var det eksponert en ca. 5-10 m bred stripe med isskurt fjelloverflate, se foto 1. Her er sannsynligvis et tidligere morenedekke fjernet. Bergarten i fjellryggen er en lys grå, finkrystallin, stripet, relativt homogen gneis uten nevneverdig bånding eller intruderte granittårer. Gneisen er trolig av diorittisk eller granodiorittisk mineralsammensetning. Dette stemmer også med bergartstyper som er angitt på kartblad Bergen 1:250 000 i dette området, selv om målestokken er for grov til å kunne tolkes i detalj. Den eksponerte fjelloverflaten er, til tross for at den er isskurt og avrundet, preget av to sprekkesett.



*Foto 1 Oversikt over nordsiden av fjellryggen, som går langs planlagt tunnel.*



De to dominerende sprekkesettene består av:

- a) Foliasjonen, som står med strøk N82°Ø til N90°Ø (på langs av planlagt tunnel) med fall 63-72° mot nord. Sprekkeavstanden mellom foliasjonssprekken er 0,1-1,0 m. Sprekkene er for det meste plane og ru, men kan også være undulerende. Foliasjonssprekkene er ofte gjennomsettende med utstrekning på 5-10 m og mer, se foto 2 og 3.
- b) Vertikale tverrsprekker, som står med strøk ca. N165°Ø. Sprekkeavstanden varierer fra 2-10 cm i smale sprekkebelter til over 1,0 m. Disse sprekkenes er plane til undulerende og ru. I overflaten på den omtalte fjellryggen er tverrsprekkene diskontinuerlige med utstrekning på 1-2 m.

På bakgrunn av observasjoner i overflaten av den omtalte fjellryggen, synes ingen av disse sprekkesettene å inneholde finstoff. Derimot fører foliasjonssprekkene rustfarget jord og silt i deler av steinbruddet 500 m lengre nord, hvor dette skrå gjennom en svakhetssone. I steinbruddet er også observert en dolerittgang, som er en helt forvitret og omvandlet til rustfarget silt.



*Foto 2 Foliasjonssprekkene preger den eksponerte nordsiden av fjellryggen.*

På østsiden og i enden av den omtalte fjellryggen ved deponiet er det sprengt ut en ca. 3 m dyp grøft i fjell, som antas å være en drenasjegrøft for planlagt deponi B, askeavfall. I kanten av denne grøften kommer både foliasjonssprekkene og de steile tverrsprekkene tydelig fram, se foto 3 og 4.



*Foto 3 Nordlig del av utsprengt drengroft med kanter preget av både foliasjon (på tvers av grøften) og tverrsprekker (i spiss vinkel til grøften).*



*Foto 4 Sørlig del av utsprengt drengroft med kanter preget av både foliasjon og tverrsprekker, samt noen horisontale sprekker.*

I tillegg til de to dominerende sprekkesettene opptrer det mer sjelden en nær horisontal oppsprekking. Denne opptrer mer sporadisk og varierer i utstrekning fra 1 til over 5 m. Disse horisontale sprekkenes er undulerende og ru. Et bilde på hvordan bergmassen kan oppføre seg etter sprengning er illustrert i foto 5, som er fra en kjøretunnel i tilknytning til steinbruddet noen hundre meter lengre nord på samme område.





*Foto 5 Utsprengt fjelloverflate over tunnel i steinbruddet viser tre sprekkesett, hvorav foliasjonen er mest fremtredende og gjennomsettende.*

Bergmassekvaliteten med hensyn på stabilitet i en tunnel er avhengig av flere parametere. Dette er beskrevet i Notebys rappr 610468-2 ved hjelp av Q-systemet, som er utviklet på empirisk grunnlag for å sammenligne erfaringer fra sikring i tidligere anlegg med observerte bergmassekvaliteter i nye prosjekter. Q-verdiene gjengitt her synes å dekke de lokale forhold som ble observert under befaringen 9 mai 2005. Spenningsparameteren SRF bør muligens være 5 i stedet for 2,5 fordi fjelloverdekningen er lik tunnelens spennvidde, og i tillegg ligger under en rygg. Dette vil redusere Q-verdien til halvparten og medføre litt mer sikring.

## **HYDROGEOLOGI**

Den regionale grunnvannsstrømningen er i retning sjøen. I tillegg er det grunnvannsuttømming mot lokale fordypninger som begge de lokale forsenkningene (deponi for brent borkaks) på hver side av tunnelalternativet. I det planlagte tunnelnivået er grunnvannsstrømmen styrt av det høyereliggende fjellpartiet bak det planlagte borekaksdeponiet. Under bygging av tunnelen og drift av deponiet vil det være en innadrettet grunnvannsstrømning mot tunnelen fra alle sider. Dette vil medføre en viss senketrakt av grunnvannet over tunnelen. Utstrekningen vil være avhengig av sprekkåpningene kombinert med injiseringsskjermen rundt tunnelen. Allerede på dette stadiet kan man si at det ikke vil være noen mulighet for at sjøvann kan nå frem eller opp til tunnelen. Etter avslutning av deponiet og tetting vil tunnelen virke som en tett monolitt på tvers av grunnvannsuttømmingen.

Grunnvannsstrømningen i bergmassene vil primært gå i sprekke. For å vurdere potensiell strømning for grunnvann gjennom bergmassen ble Darcys lov brukt til å vurdere bergartens hydrauliske konduktivitet. "Typiske" verdier for tilsvarende gneisbergarter ble brukt til å anta hydrauliske konduktiviteter mellom  $10^{-6}$  –  $10^{-8}$  m/s

i de antatte nord-sør regionale bruddstrukturene og konduktiviteter mellom  $10^{-7}$  –  $10^{-9}$  m/s i øst-vest retning. Konduktivitetene og den antatte gradienten ble brukt til å regne ut en grunnvannshastighet fra det planlagt deponiet til fjorden.

Ved bruk av Darcys lov for å se på den potensielle strømningsraten, må man ta hensyn til grunnvannstrømningen i sprekkene. Grunnvannsstrømning i en enkel sprekk kan skje mye fortere enn en forenklet bruk av Darcys lov gir uttrykk for. Strømningsraten i en sprekk uttrykkes ved bruk av "kubikk"-loven:

$$Q = -ew (e^2\rho g/12\mu)\nabla h$$

der

e er sprekkens åpning,  
w er bredden av sprekkene,  
 $\rho$  er tettheten av vann,  
g er gravitasjonskonstant,  
 $\mu$  er viskositeten av vann, og  
 $\nabla h$  er gradienten.

Både arealet ( $ew$ ) og fluksen ( $e^2\rho g/12\mu$ ) er avhengig av sprekkens åpning. Uten å ta hensyn til sprekkene vil man sterkt undervurdere hastigheten fra deponiet ut til sjøen. Strømningsforhold i sprekkene vil kunne belyses gjennom felttester som benytter fjellboringer til å krysse de forskjellige sprekkesettene.

Det er observert at foliasjonssprekkene fører rustfarget jord og silt i deler av steinbruddet. Det er også observert en helt forvitret dolerittgang som er omvandlet til rustfarget silt.

## FORURENSNINGSTRANSPORT

Når man kan beregne mengde grunnvann som strømmer rundt eller gjennom deponiet (basert på visse forutsetninger), kan man modellere mulig forurensningstransport ut til sjøen. Mulige forurensningskomponenter som radionuklider og tungmetaller vil følge grunnvannet i sprekkene. I sprekkene vil forurensningen komme i kontakt med mineralene i bergmassene og innfylling i sprekkene og bli retardert (adsorbent) på veien til sjøen.

Det mest kritiske scenariet som kan inntreffe er at deponiet disintegreres slik at grunnvannsstrømmen kommer i kontakt med avfallet. Under visse forutsetninger kan dette modelleres, og det mest fornuftige i dette tilfelle er å benytte en 2-D- modellering.

Det påpekes at avbøtende tiltak som å legge tunnelen under den avspente og mer oppsprukne dagfjellsonen og/eller injeksjon for å tette eventuelle sprekker vil hindre eller sterkt redusere kontakt mellom grunnvannet og betongmonolitten med det innstøpte avfallet.

## FORSLAG TIL KOMPLETTERENDE UNDERSØKELSER

I tråd med beskrivelse gitt i Konsekvensutredning etter Plan og bygningsloven, datert 18 november, under avsnitt 3.4.2.1 "Deponi", bør det foretas kompletterende undersøkelser i forbindelse med planlagt deponi i tunnel. Lokaliseringen i fjellryggen under askedeponiet ser ut til å være et godt valg med hensyn til bergmassekvaliteten og det faktum at det her blir et lokk av deponert masse med lav permeabilitet over bergoverflaten..

Den lave fjelloverdekningen, som sannsynligvis gir lave spenninger, vil kunne gi dels åpne sprekker som drenerer grunnvann inn i tunnelen. For å verifisere lekkasjeforholdene i bergmassen omkring tunnelen, anbefales det å måle vanntap i borehull satt ned i to retninger:

- a) Hull parallelt med foliasjonen vil, uten å forstyrres mye av foliasjonssprekkene, krysse tverrsprekkene, og registrere vanntap langs disse sprekke mellom to pakkere.
- b) Hull parallelt med tverrsprekkene vil, uten å forstyrres nevneverdig av tverrsprekkene, krysse foliasjonssprekkene, og registrere vanntap langs disse mellom to pakkere.

Hullene bør bores ned til under nivå for planlagt tunneltak for å gi et mest mulig realistisk bilde av lekkasjeforholdene i ulike høyder. Målingene registreres med enheten Lugeon, som beskriver innpumpet vannmengde i liter per minutt per meter borehull mellom to pakkere under 10 bar overtrykk. Dette vil gi et godt grunnlag for estimasjon av grunnvannsstrømmingene omkring en fremtidig tunnel. Dersom lekkasjemengdene viser seg å være store, kan det kompenseres ved systematisk injeksjon eller ved å senke tunnelen til et større dyp, som gir bedre innspenning og sannsynligvis mindre oppsprekning.

De beskrevne vanntapsmålinger fra borehull kan utføres i forbindelse med detaljplan eller byggeplan hvor tunnelen skal beskrives i større detalj, for på den måten å finne fram til den optimale løsningen med hensyn til senkning av tunnelen og/eller injeksjon under tunneldriften. For å oppnå godt resultat av injeksjonen, må denne utføres i borehull foran stoff (enden av tunnelen under drift) etter hvert som tunnelen sprenges ut. Det er i denne forbindelse nødvendig å bore en krans av borehull rundt hele tunnelprofilen og injisere med relativt høyt trykk. Det kan vise seg å være vanskelig å oppnå høyt nok trykk nær terrengoverflaten. Det anbefales å bore ned til ca. 20 m dyp under overflaten.



## KONKLUSJON

Det foreslåtte prosjektområdet er befart og vurdert, og forholdene ser ut til å være egnet til å kunne plassere LRA-deponiet i en fjelltunnel.

En antar at det vil være nødvendig å sprøyte hengen (taket) og øvre del av veggene i lagringstunnelen for å tilfredsstillere kravene til sikkerhet under tunneldrivingen og som permanent sikring. Da foliasjonssprekkene står parallelt med tunnelaksen, vil dette normalt føre til nedsatt stabilitet i tunnelen. En dreining av tunnelen fra dagens retning med eller mot klokka, slik at tunnelen blir stående omtrent i retning NV-SØ eller NØ-SV, vil gi en vinkel på 30-45° mellom tunnelaksen og foliasjonen, og dermed forbedre stabiliteten.

Det anbefales å utføre vanntapsmålinger for å kunne evaluere den optimale plassering for tunnelen med hensyn til innlekkasje og behov for injeksjon, for om nødvendig å senke tunnelen. Injeksjonskostnadene er ofte høyere enn sprengningskostnadene, slik at en forlengelse av atkomsttunnelen kan bli tjent inn ved mindre injeksjon. I forbindelse med plassering av påhugget er det derfor viktig å ta høyde for at det kan bli nødvendig å senke lagringstunnelen og dermed trenge en lengre tilførselstunnel for å unngå for bratt nedkjøring. Injeksjon av bergmassen vil også hindre vann i å trenge inn mot LRA-deponiet i lagringsfasen når tunnelen er fylt med betong. Dette vil hindre eller forsinke en eventuell forvitningsprosess av betongen i tunnelen. Kontakt mellom grunnvannet og det deponerte avfallet vil først finne sted etter at barrierene er forvitret eller har brutt sammen. Transport av eventuelle løste eller finpartikulære komponenter i avfallet vil tilsvarende være hindret eller forsinket av den foreslåtte injeksjonen.

Med de rådende hydrogeologiske forhold vil det ikke være mulig for saltvann å kunne nå frem til tunnelen pga. den kontinuerlige utadrettede grunnvannstrømmen, som vil kunne opprettholde en viss vannstand rundt deponiet. I tillegg vil eventuell injisering hindre grunnvann å strømme nær deponiet. For å kunne kontrollere parametersensitiviteten for forurensningstransport til sjøen kan det utføres 2-D modellering med data fra vanntapsmålingene. Hvis det skulle vise seg å være nødvendig å kontrollere saltvanns "up-coning", kan dette også modelleres. Dette arbeidet kan inngå som en integrert del av overvåkingsprogrammet for deponiet.

# Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



|  |  |
|--|--|
| <b>Oppdragsgiver/Client</b><br>Norse Decom AS  | <b>Dokument nr/Document No.</b><br>20051312  |
| <b>Kontraksreferanse/ Contract reference</b> Per Varskog   | <b>Dato/Date</b><br>2005-05-30   |
| <b>Dokumenttittel/Document title</b><br>Vurdering av ingeniørgeologiske og hydrogeologiske forhold ved Stangeneset<br><b>Prosjektleder/Project Manager</b><br>Jan Erik Sørli<br><b>Utarbeidet av/Prepared by</b><br>Eystein Grimstad, Kim Rudolph-Lund, Jan Erik Sørli | <b>Distribusjon/Distribution</b><br><input type="checkbox"/> Fri/Unlimited<br><input checked="" type="checkbox"/> Begrenset/Limited<br><input type="checkbox"/> Ingen/None |
| <b>Emneord/Keywords</b><br>Environmental geotechnology, engineering geology and rock mechanics, hydrogeology   |  |
| <b>Land, fylke/Country, County</b><br>Sogn og Fjordane<br><b>Kommune/Municipality</b><br>Gulen<br><b>Sted/Location</b><br>Stangeneset<br><b>Kartblad/Map</b><br>1116 IV<br><b>UTM-koordinater/UTM-coordinates</b>  | <b>Havområde/Offshore area</b><br><br><b>Felt navn/Field name</b><br><br><b>Sted/Location</b><br><br><b>Felt, blokknr./Field, Block No.</b>                                |

| Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001   |  |                      |       |                       |       |                       |       |
|---|--|----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|
| Kontrollert av/<br>Reviewed by  | Kontrolltype/<br>Type of review  | Dokument/Document    |       | Revisjon 1/Revision 1 |       | Revisjon 2/Revision 2 |       |
|   |  | Kontrollert/Reviewed |       | Kontrollert/Reviewed  |       | Kontrollert/Reviewed  |       |
|   |  | Dato/Date            | Sign. | Dato/Date             | Sign. | Dato/Date             | Sign. |
| AH  | Helhetsvurdering/<br>General Evaluation *  |                      |       |                       |       |                       |       |
| WUT   | Språk/Style  |                      |       |                       |       |                       |       |
| AH  | Teknisk/Technical<br>- Skjønn/Intelligence<br>- Total/Extensive<br>- Tverrfaglig/<br>Interdisciplinary |                      |       |                       |       |                       |       |
| WUT   | Utforming/Layout   |                      |       |                       |       |                       |       |
| JES   | Slutt/Final  |                      |       |                       |       |                       |       |
| WUT   | Kopiering/Copy quality   |                      |       |                       |       |                       |       |
|   |  |                      |       |                       |       |                       |       |
| * Gjennomlesning av hele rapporten og skjønnsmessig vurdering av innhold og presentasjonsform/<br>On the basis of an overall evaluation of the report, its technical content and form of presentation |  |                      |       |                       |       |                       |       |

|  |                  |              |
|--|------------------|--------------|
| <b>Dokument godkjent for utsendelse/<br/>Document approved for release</b> | <b>Dato/Date</b> | <b>Sign.</b> |
|--|------------------|--------------|