

MILJØ- OG SAMFUNNSTJENLIGE TUNNELER

Rapport nr: **15**

Oppsummering av utførte undersøkelser
og prognose for innlekkasje
ved Gualiatunnelen



A



Intern rapport nr. 2284



Statens vegvesen



OPPSUMMERING AV UTFØRTE UNDERSØKELSER,
OG PROGNOSE FOR INNLEKKASJE VED GRUALIATUNNELEN,
PROFIL NR. 1700 - 3250

Trondheim, 14. mai 2002

Kristin H. Holmøy
Dr. ing. stipendiat

INNHOLD	Side
SAMMENDRAG	2
1. INNLEDNING	3
2. SAMMENSTILLING AV FORUNDERSØKELSER OG RESULTATER	4
2.1 Feltkartlegging / strukturgeologisk kartlegging	5
2.2 Kjerneboring under Langvannet	6
2.3 Helikopter målinger	7
2.4 Geofysiske målinger på bakken	8
2.4.1 Refraksjonsseismikk	8
2.4.2 2D-resistivitetsmålinger	8
2.4.3 VLF-målinger	10
2.4.4 Magnetometri	11
2.5 Geofysiske målinger i borehull	11
2.5.1 Optisk televiewer	12
2.5.2 Temperatur, ledningsevne og naturlig gammastråling	13
2.5.3 Resistivitet	15
2.6 Sammenstilling	17
3. TOLKNING AV RESULTATER MED PROGNOSE FOR INNLEKKASJE	18
4. REGNEEKSEMPEL INNLEKKASJE	21
5. SLUTTKOMMENTAR	24
6. REFERANSER	25

VEDLEGG

Tegning nr. 1 Grualietunnelen, ingeniørgeologisk tolkning og prognoser

SAMMENDRAG

Foreliggende rapport oppsummerer undersøkelsene som er utført i forbindelse med Grualiatunnelen. Det er utført geologiske forundersøkelser i regi av Statens vegvesen, og i tillegg er det i forbindelse med prosjektet "Miljø og samfunnstjenlige tunneler" utført flere undersøkelser. I de sistenevnte undersøkelsene er det brukt teknikker som har vært lite brukt ved forundersøkelser for tunnelprosjekt. Disse undersøkelsene bestod bl.a av helikoptermålinger, 2D resistivitetsmålinger og optisk televiwer.

Tunnelen er under driving, og det er derfor fokusert på området mellom profil nr. 1700 og 3250 som ennå ikke er ferdig drevet (pr. mars 2002). Hovedvekten av undersøkelsene er også utført i dette området. Det er lagt stor vekt på området like vest og vest i Langvannet, her går det flere svakhetssoner som er godt undersøkt. Det er her utført både de tradisjonelle forundersøkelsesmetodene som refraksjonsseismikk og kjerneboring med vanntapsmåling (Lugeon) i tillegg til 2D-resistivitet, VLF og optisk televiwer.

For å lage prognose for innlekkasje er det forsøkt å se på alle undersøkelsene som er utført under ett. De fleste undersøkelsene har vist anomalier i de samme områdene som feltkartleggingen har registrert svakhetssoner. I prognosen for innlekkasje er det derfor antatt at de største innlekkasjene vil komme i forbindelse med svakhetssoner.

I tillegg til å vurdere resultatene fra forundersøkelsene er det utført et regneeksempel basert på Lugeon-målingene som ble utført i kjernehullet under Langvannet. Det må understrekes at regneeksempellet forutsetter isotrop tilstand noe som ikke er tilfelle i en bergmasse. Ved å ta et gjennomsnitt av Lugeonverdiene over 100 m (der Lugeonverdiene er høyest) får man en teoretisk innlekkasje på 686 l/min over en strekning på 100 m.

På grunnlag av denne prognosen forventes det størst innlekkasje mellom profil nr. 2220 og 2390, med totalt 600 l/min, fordelt som følger:

Pr.nr. 2220 – 2270	120 l/min	(240 l/min/100m)
Pr. nr. 2270 – 2310	40 l/min	(100 l/min/100m)
Pr. nr. 2310 – 2390	440 l/min	(550 l/min/100m)

1. INNLEDNING

Som en del av prosjektet "Miljø og samfunnstjenlige tunneler", heretter kalt MST, er det i denne rapporten utført en foreløpig sammenstilling over de utførte undersøkelsene i forbindelse med Grualiatunnelen. Resultatene blir diskutert med henblikk på potensiell lekkasje, og en prognose for den delen av tunnelen som ikke er drevet (mars 2002) vil bli presentert.

Denne rapporten er ikke en fullstendig oversikt med samtlige resultater. Det er lagt mest vekt på de resultatene som er ment å ha størst betydning i forhold til innlekkasje i tunnelen. Rapporten er skrevet først og fremst for å teste ut hvor gode prognoser de nye teknikkene kan gi. For å finne ut hvor gode prognoser det er mulig å lage ut fra de undersøkelsene som er utført, er det viktig å lage en prognose for innlekkasjen i tunnelen før tunnelen er ferdig drevet.

2. SAMMENSTILLING AV FORUNDERSØKELSER OG RESULTATER

Forundersøkelsene er utført over lang tid, og det er utført mer undersøkelser enn det som er normalt ved tunnelanlegg. Det er utført forundersøkelser i regi av Statens vegvesen, i tillegg er det i forbindelse med MST utført flere undersøkelser som tidligere har vært lite brukt ved tunnelprosjekt. Det er derfor et behov for å sammenstille hva som er utført, når det er utført og av hvem. Det er i tabellen under stilt opp kronologisk hva som er utført, og hvor resultatene er rapportert. Det er i tillegg tatt med om det er Statens vegvesen eller MST som har initiert det.

Type undersøkelse	Når utført	Utført av	Bestilt av St vv / MST	Rapport
Feltkartlegging	Sept – okt. 1994 og Juli – sept. 1995	Kirkeby og Iversen Statens vegvesen	Statens vegvesen	Oppdrag E-218, rapport nr. 2, okt –96
Refraksjonsseismiske målinger over Langevatn	97	Geomap AS	Statens vegvesen	Rapport nr. 97.943 nr.1
Kjerneboring under Langvann	Okt. –97 – jan. –98	Geo Drilling	Statens vegvesen	Oppdrag E218, rap. Nr. 3, mars –98
Helikopter målinger Geofysiske anomalier	Juni 1997 og juli 2000	NGU	MST	NGU rap. 2001.046/ MST. del A Rap. 5
Geofysiske målinger på bakken og borehullslogging	Juni / juli 2001	NGU	MST	NGU rapport 2001.090/ MST. del A rap. 7
Borehullslogging og strukturgeologiske studier	November 2001	NGU	MST	NGU rapport 2001.117/ MST. del A rap. 10

2.1 Feltkartlegging / strukturgeologisk kartlegging

Feltkartlegging ble utført av Kirkeby og Iversen i 1994 og 1995 i forbindelse med de geologiske undersøkelsene for detaljplanen. Resultatene vises på diverse kart og profiler, [ref 1]. Tegning nr. 1 vedlagt denne rapporten viser en sammenstilling av de fleste undersøkelsene.

De geologiske forhold er beskrevet som følger: *Grualiatunnelen vil fra vest gå i hornfels, mens østre del vil krysse en forkastning/sprekkesone, og komme inn i syenitt. Lenger mot øst består berggrunnen av vulkanske bergarter, fortrinnsvis lava (bl.a. rombeporfyr) og tuffer/ignimbriter (vulkansk aske og fragmenter av lava/bergarter/krystaller), samt sedimentære bergarter som sandstein og særlig konglomerat.*

Det er brukt flyfoto og topografiske kart for å avdekke svakhetssoner i terrenget. Tunnelen vil krysse flere markerte svakhetssoner, disse er inntegnet på kart og merket med bokstaver fra "D" til "S", se tegning nr. 1. De fleste svakhetssonene er steile og med retning (N-S) som er gunstig i forhold til tunnelen. Det samme gjelder hovedsprekkeretningen i området. 6-7 av sonene antas å være utholdende og nå ned til tunnelnivå.

Mellom profil nr. 1600 og 2200 ligger det flere N-S og NNØ – SSV stående soner (I og J). I overgangen mellom hornfels og syenitten i øst er det en forkastningssone, profil nr. 2200 – 2250. Flyfoto og topografi tyder på at forkastningssonen representerer en svakhetsone (K/2225). I dette området kan det være flere soner enn det som er inntegnet, og bergmassen kan være oppsprukket. Like øst for forkastningssonen er det registrert to svakhetssoner på hver side av Langvatnet (L/2375 og M/2600).

På østsiden av Langvatnet er det vulkanske bergarter og konglomerater med underliggende syenitt, trolig i tunnelnivå. Noe lenger øst er det en svakhetsone (N/2700) med antatt steilt fall mot vest. Lengst øst i det området som studeres ligger det en svakhetsone (O/3225) med 45° i forhold til tunneltraséen. Svakhetssonene lenger øst, P, Q, R og S er drevet forbi.

I 2001 utførte NGU en strukturgeologisk kartlegging rundt svakhetssoner i berggrunnen, [ref 2]. Sonene ble kartlagt med vekt på å beskrive brudd/sprekkesystemer, og svakhetssoner ble

delt inn i forskjellige deler, for definisjoner, se Braathen og Gabrielsen 2000, [ref 3]. Den mest markante N-S strukturen følger kontakten mellom hornfels og syenitt. Her er det en ca. 20 m bred sone med intens oppsprekning karakterisert ved både tensjons og skjærbrudd (glidespeil); den er klassifisert som en steil forkastning. I tillegg til hovedsprekkeretningen N-S er det en rekke NV-SØ til V-Ø-brudd langs forkastningen. Disse sonene er ikke litifisert, dvs. at de er løse, noe som antyder at de er dannet ved en yngre tektonisk hendelse enn de andre bruddpopulasjonene i området.

Fire soner på østsiden av Langvannet har vært nærmere studert, [ref 2]. Alle er subvertikale, mellom 10-20 meter brede, og karakterisert ved moderat til høy oppsprekningsgrad. Den mest markante bruddpopulasjonen stryker N-S, subparallelt med lineamentene, men en NV-SØ bruddpopulasjon ser ut til å opptre i hele området.

2.2 Kjerneboring under Langvannet

For å undersøke bergmassekvalitet og lekkasjepotensiale under Langvannet ble det utført kjerneboring. Det er boret et 448,5 m langt styrt kjernehull. Boringen ble utført fra 17/10 1997 til 26/1 1998. Boringen var til tider problematisk og tidkrevende, dette skyldtes innrasing av ensgradert sand i dårlige soner rundt 100 m. Kjernehullet er avviksmålt (mindre dimensjon der avviksboringen er utført).

Det er tatt bilder av alle kjernene, og det er registrert RQD-verdier, sprekkefrekvens og Q-verdier, for detaljer se [ref 4]. Kjernehullet er boret fra vestsiden av Langvannet, med ansett like øst for sone K. De første 8 meterne er boret i hornfels før man kom inn i syenitt. Kontakten er intrusiv og forseglet, og uten særlig oppsprekking. Fra 8 meter til 52 meter er syenitten moderat oppsprukket med få knusningssoner.

Fra 52 meter blir bergarten mer oppsprukket og med knusningssoner på 2-20 cm. Bergarten må karakteriseres som middels til dårlig og med kun korte strekninger med godt fjell. Fra 90 meter blir bergarten enda dårligere med hyppige knusningssoner og sterkt oppsprukket fjell i soner på opptil 60 cm. Halvparten av kjernene fra 90 m til 190 m må karakteriseres som dårlig til svært dårlig. Her er også partier med ekstremt dårlig fjell i svakhetssoner. Fra 190 m og ut til hullbunnen på 448,5 m er bergarten stort sett meget god til ekstremt god.

Partiet med dårligst bergmassekvalitet antas å komme i tunnelnivå mellom profil nr. 2250 og 2400.

Det er målt vanntap med ca. 10 m's intervall fra 100 m. Om lag 68% av Lugeonverdiene er mindre enn eller lik 1,0. I de siste 200 metrene er det registrert lave Lugeonverdier, ingen Lugeonverdier over 1. Høyeste Lugeonverdi er 4,25, og er registrert ved ca. 140 m, dvs. ca. 65 m over tunnelhengen. Området med høyeste vanntap i borehullet antas å påtreffes i tunnelen mellom profil nr. 2280 og 2380.

2.3 Helikopter målinger

I juni 1997 og juli 2000, ble det utført geofysiske målinger fra helikopter over Grualiatunnelen, [ref 5]. Fire typer data ble registrert: magnetisk, radiometrisk, elektromagnetisk og VLF data. Målingene ble utført for å identifisere mulige geofysiske anomalier som kan være relatert til forkastninger og sprekkesoner. Målingene kan også være til hjelp for planlegging av feltkartleggingen.

Det ble registrert anomalier for alle datatypene: 12 magnetiske, 15 radiometriske, 17 elektromagnetiske og 10 VLF. De fleste av anomaliene skjærer tunneltraséen tilnærmet vinkelrett. Kun 3 av anomaliene skjærer tunneltraséen med en spiss vinkel. Største opphopning av anomalier opptrer på nordvest siden av Langvannet. Enkelte av anomaliene ser ut til å være relatert til overgangen mellom hornfels og syenitt. Men det er også anomalier som ligger nær vannkanten som antageligvis kommer fra en knusningssone som følger strandkanten, og som også er registrert på refraksjonsseismikken og kjernehuset under Langvannet.

Det er få anomalier vest for Langvannet, enten er det færre store sprekkesoner på denne siden av Langvannet eller så gir ikke strukturene geofysiske anomalier. Øst for Langvannet er det flere spredte anomalier over et stort område, men to plasser er det flere anomalier samlet. Den ene samlingen av anomalier ligger omtrent 700 m fra der tunneltraséen krysser den østlige strandlinjen til Langvannet (sone P og Q). Den andre samlingen av anomalier øst for Langvannet ligger i tunneltraséen 200 m fra tunnelpåhugget (sone R og S).

2.4 Geofysiske målinger på bakken

2.4.1 Refraksjonsseismikk

Som en del av forundersøkelsene for Grualiatunnelen har Geomap as utført refraksjonsseismiske grunnundersøkelser i Langvannet, [ref 6]. De seismiske målingene ble utført i november 1997. Det er målt fire utlegg a 115 m, tre sammenhengende over tunneltraséen og et for vurdering av soneretning.

Profil 1, 2 og 3 utgjør et sammenhengende profil over tunneltraséen. Løsmassemektigheten varierer mellom 1 og 10 m. Seismisk hastighet i løsmassene varierer fra 1900 m/s til 2200 m/s, som er typisk hastighet for morene. I profil 4 er det et løsmasselag med seismisk hastighet 1500 m/s som representerer sorterte masser (leire/silt/sand).

Mot vestsiden av Langvannet er det registrert en 55 m bred svakhetszone med seismiske hastigheter på 3300 og 3900 m/s. Dersom svakhetssonen står vertikalt vil den skjære tunnelen mellom profil nr. 2400 og 2455. Sonen med hastighet 3300 m/s er ca. 21 m bred og forventes å samsvare med en svakhetszone som følger strandkanten langs vannet.

Profil 4 ligger ca. 50 m lenger nord inn mot vika i nordenden av Langvannet. Det er her registrert en 10 m bred svakhetszone med seismisk hastighet på 2200 m/s. Den lave hastigheten tyder på sterk oppknusningsgrad, evt. en åpen og løsmassefylt kløft. Det synes som om denne sonen følger retningen av vika i enden av vannet og treffer traséen i det området hvor det er lave hastigheter.

Utenom sonene er det registrert seismiske hastigheter fra 4300 (mot vestsiden) til 5700 m/s, som karakteriseres som noe under middels bra til bra bergmassekvalitet med hensyn på tunneldrift.

2.4.2 2D-resistivitetsmålinger

Resistivitetsmålinger (elektrisk motstandsmåling) i 2 dimensjoner er utført i 2 profiler over Grualiatunnelen i nærheten av Langvannet, [ref 7]. Profil 1 og 2 er henholdsvis 2500 og 1300 meter, se tegning nr. 1. Av praktiske årsaker (dårlig fremkommelighet) ligger ikke profilene

direkte over tunneltraséen, men profilene krysser de mest markerte sprekkesystemene i området.

Geoelektriske metoder for kartlegging av sprekker var brukt en del på 80-tallet i Norge, men er lite brukt senere. Utstyret den gang var tungvint og det tok lang tid å samle inn data. Metodene er utviklet videre, og både kabelsystem og datainnsamling er forbedret. 2D-resistivitetsmålingene ved Grualiatunnelen ble utført med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høgskolen i Lund (LUND-systemet, [ref 8]). Selve målingene som ble styrt av en PC, og ble foretatt med en kombinasjon av Wenner og Schlumberger elektrodekonfigurasjon. For hver 100 meter langs profilet ble det foretatt 190 målinger med forskjellige elektrodekonfigurasjoner. Ved å utnytte dette utlegget maksimalt kan en kartlegge resistiviteten ned til ca. 120 meters dyp. Størst oppløsning oppnås i de øverste 50 – 60 metrene.

Generelt ligger resistiviteten for syenitten og de vulkanske bergartene i øst mellom 5000 til ca. 60000 ohmm, mens resistiviteten i hornfelsen jevnt over er noe lavere, 500 til 3000 ohmm. Denne variasjonen kan indikere generelt høyere oppsprekning i hornfelsen. Mest interessante er soner med lavere resistivitet enn det generelle nivået. Lavere resistivitet kan skyldes økt oppsprekning (større porøsitet), men også tilstedeværelse av ledende mineraler (sulfider, oksyder og leirmineraler).

Profil 1 ligger 150 til 350 m nord for tunneltraséen i vest, lenger øst krysser profil 1 traséen og ligger 150 m sør for tunneltraséen lengst øst. Profil 1 dekker et område tilsvarende profil nr. 1800 til østre tunnelpåhugg, (profil nr. 3950). Lengst vest dekker profil 1 hornfelsesområder og i øst er det syenitt, vulkanske og sedimentære bergarter. Profil 1 kjennetegnes med en meget stor variasjon i resistivitet. Laveste verdi er ned mot 1 ohmm mens høyeste er over 60000 ohmm. På tegning nr. 1 er områder med lav resistivitet lagt inn, dyp lav resistivitet er markert med blått.

I overgangen mellom hornfels og syenitten (koordinat 700, profil 1), er det en sone med spesielt lav resistivitet. Målingene rekker ikke ned til tunnelnivå (385 m.o.h), men sonen viser ingen tegn til svekning, og vil trolig nå ned til tunnelnivå (sone K). Soner med lav resistivitet lenger øst er knyttet til depresjoner i terrenget som tidligere er kartlagt som svakhetssoner

(Kirkeby og Iversen 1996). Enkelte av disse sonene med lavere resistivitet synes å dø ut mot dypet, mens 3 soner fortsetter mot dypet og vil trolig nå ned til tunnelnivået (markert blått på tegning nr. 1). Den ene lavresistivitets sonen (koordinat 820, profil 1) kan tolkes til å være den samme sonen som ble registrert på refraksjonsseismikken som sone ny. De to andre lavresistivitetssonene ligger lenger øst, like ved sone Q og R, se tegning nr. 1.

Profil 2 er 1300 meter langt, og starter noe lenger vest i forhold til profil 1, omtrent rett over tunneltraséen ved profil nr. 1200 og fortsetter østover til Langvannet. I øst ligger profilet 180 m sør for tunneltraséen.

I den østlige delen av profil 2 er det syenitt og resistiviteten er her 5000 ohmm og høyere. I hornfelsen ligger resistiviteten generelt lavere enn 5000 ohmm i likhet med profil 1. Grensen mellom syenitt og hornfelsen fremkommer tydelig da resistiviteten er lavere i hornfelsen, men det er ingen sone med spesielt lav resistivitet. Sentralt i profilet er det et større område med meget lav resistivitet (under 100 ohmm). Verdiene anses å være så lave at det er mistanke om at det kan være sulfider eller grafitt til stede. Det samme er tilfelle på høydedraget vest for Langvannet.

Det finnes to soner med lav resistivitet som strekker seg mot dypet, disse sonene korrelerer bra med soner som er kartlagt i dagen. Den mest markerte sonen har resistivitet under 100 ohmm, og er registrert mellom sone G og H, det blir ca. profil nr. 1520 i tunnelnivå. Den andre sonen har resistivitet ca. 500 ohmm, og kan korreleres til en I-sone ved ca. profil nr. 1720, se tegning nr. 1.

2.4.3 VLF-målinger

VLF (Very Low Frequency) er en elektromagnetisk metode som bl.a gir anomalier på økt elektrisk ledningsevne som skyldes mineralisering eller større vanninnbrudd i oppsprukket fjell. Profil 1 og 2 ble målt i juli samtidig med resistivitetsmålingene. Profil 3 og 4, som begge er målt for å få data rett over tunnelen ble målt den 28. august. Profil 3 krysser sone K, og profil 4 krysser sone P og Q, se tegning nr. 1.

VLF-målingene har gitt klare indikasjoner på sprekkesoner på alle profiler. Styrken på de fleste anomaliene er av en slik størrelse en kan forvente over sprekkesoner. Unntaket er i vest

på profil 1 der anomaliene er så store og markerte at anomaliårsaken trolig er mineraliserte soner. (sulfider eller grafitt).

De sprekkesonene som har gitt de klareste VLF-anomaliene er sonene K (profil 1 og 3), L og S. Oppe på høydedraget vest for Langvannet er sprekkesystemet mer uryddige, og det er derfor noe vanskelig å si hvilke anomalier som faller sammen med de tidligere påviste sprekkesonene.

2.4.4 Magnetometri

De utførte målingene av jordens totale magnetfelt gir i hovedsak opplysninger om berggrunnens magnetittinnhold. Det magnetiske totalfeltet ble målt kun på profilene 1 og 2. Måledataene viser at totalfeltet varierer rundt 51000 nT (nano Tesla, enhet for magnetisk flukstetthet) med noen høy- og lavmagnetiske soner. På begge profilene kommer overgangen mellom hornfelsen og Oslofeltets bergarter fram ved at totalfeltet øker med ca. 700 nT når en kommer inn i syenitten. Det er forventet at større sprekkesoner vil komme fram som lavmagnetiske soner på grunn av omvandlingen av magnetitten. Selv om dette ikke er spesielt markert, viser måledata noen lavmagnetiske soner på profil 1. De aller fleste ser ut til å ha tilknytning til sprekkesoner. Denne reduksjonen kan delvis være styrt av økt avstand til magnetisk materiale (økt løsmasse-mektighet over sonene). Uansett årsak til anomaliene, har metoden i dette tilfellet ikke gitt opplysninger ut over det som den geologiske kartleggingen og andre geofysiske metoder gir oss.

2.5 Geofysiske målinger i borehull

Totalt er det utført geofysiske målinger i 8 borehull, se tegning 1, [ref 2 og 7]. Borehullene er slagboret og har en diameter på 70 til 160 mm. I borehull 1 og 2 er det kun utført resistivitetsmålinger [ref 2]. I de resterende borehullene er det utført optisk televiewer, temperatur, ledningsevne, naturlig gammastråling og resistivitetsmålinger [ref 7].

Borehull 1 og 2 ligger ved Munkerudtjernet, like sør for tunneltraséen, ca. profil nr. 1800. Borehull 3, 4, 5 og 8 er boret på sone K som markerer overgangen mellom hornfelsen og syenitt, profil nr. 2220. Borehull 6 er boret ca. 150 m nord for tunneltraséen, og det er boret

mot sone Q som krysser tunneltraséen ved profil nr. 3380. Borehull 7 er boret omtrent like over tunneltraséen mot sone R, profil nr. 3750.

2.5.1 Optisk televiewer

Optisk televiewer er en geofysisk metode som brukes ved inspeksjon av borehull. Instrumentet består av et videokamera som kan senkes ned i borehull med en diameter på 70-160 mm. Instrumentet senkes med en konstant hastighet på 1 m/min og gjør et kontinuerlig opptak av den innvendige borehullsveggen. Bildet som presenteres er borehullsveggen brettet ut 360°. Oppløsningen er bra, og en kan se sprekker med en tykkelse ned til 0,5 mm. Innbygde magnetometre og akselerometre orienterer bilder. Alle indikerte sprekker og geologiske strukturer kan presenteres i stereogram, histogram som viser sprekkefrekvenser langs et borehull og logger med retning og fall til hver sprekke som er indikert i hullet. I tillegg beregnes borehullsforløpet som kan presenteres som horisontal- og vertikalprojeksjon samt som et 3D-plott.

Ca. halvparten av de indikerte sprekkenes har strøkretning ca. N-S +/- 15°. Fallet er forholdsvis steilt, 45° –82°, men også nær horisontale sprekker er indikert, spesielt i Bh 3 og 4. Alle hull bortsett fra Bh 8, viser hovedsprekkeretning tilnærmet nord-sør. Bh 4 og 8 står nær hverandre og begge viser sprekkeretninger NS eller ØV. I Bh 8 er ØV den dominerende retningen.

Borehull 3 (106 m) viser en betydelig oppsprekking mellom 30 og 50 m. Sprekkene har slakt fall, 5° - 15°. Det slake fallet gjør at denne sprekkesonen ikke når ned til tunnelnivået. Sprekkene er tynne, lukkede sprekker i syenitten. Under 52 m består borehullet av massiv syenitt med god bergmassekvalitet. I **Borehull 4** (89 m) er sprekkenes mer fordelt langs hele hullet enn hva som er tilfellet i borehull 3. Også i borehull 4 er det mest oppsprukket mellom 35 og 55 m's dyp. Enkeltsprekker forekommer fra 55 m og nedover. Den gjennomsnittlige sprekkefrekvensen ligger under 1 sprekke pr. meter, men lokalt i sonene, er det beregnet sprekkefrekvenser på ca. 3 og 6 (steilt fall).

Borehull 5 (0-72 m) går hovedsakelig i hornfels med innslag av lysere syenittganger. Borehullsinspeksjonen indikerer generelt svært dårlig bergmassekvalitet, oppsprekkingen synes spesielt stor fra ca. 60 m og nedover. Hullet ble boret 160 m, men ved logging var det tett ved 72 m. Oppboring mislyktes på grunn av ras i hullet, og vannivået stod like under

overflaten. Ved pumping av brønnen viste det seg at vann strømmet inn i hullet under foringsrør på ca. 6 m dyp. Borerapporten rapporterer om store vanninslag i Bh 5 ved 141-144 m og 156-160 m.

Borehull 8 ble boret som et ekstrahull på grunn av raset i Bh 5. Det ble boret ca. 5 m vest for Bh 4. Hullet ble boret til 140 m med stopp i ras. Ved etterfølgende logging var hullet tett ved 88 m. Bh 8 er generelt mye oppsprukket med mye dårlig fjell. Hullet står på grensen mellom hornfels og syenitt, men mesteparten av hullet går i syenitten. Brønnen ga store vannmengder ved pumping.

Tunnelen er nå drevet forbi de områdene der borehull 6 og 7 er boret, og de ligger utenfor det området som studeres for å gi en prognose på innlekkasje. Resultatene fra borehull 6 og 7 er likevel interessante og er derfor tatt med i korte trekk.

Borehull 6 er boret mot svakhetssone Q som skjærer tunnelen ved ca. profil nr. 3350. Det er registrert flere åpne sprekker, ved 41,8 og 46,7 m er det påvist to sprekker med åpning mellom 5 og 10 cm. Sprekkene har retning NNV-SSØ med et fall på 75°. Bh 6 ga store vannmengder ved pumping, >7000 l/time (Storrø 2002, [ref 9]) og halvparten av vannmengden kom fra disse to sprekkeene. Denne sprekkesonen har utgående 40 – 50 m vest for borehullet og kan sees som et lite dalsøkk. Det er også påvist åpne sprekker ved 79, 99 og 111 m. Mellom sprekkeene er det god fjellkvalitet, massiv syenitt.

Borehull 7 er boret mot svakhetssone S som skjærer tunnelen ved ca. profil nr. 3700. Borehull 7 ble boret til 81 m, men ras blokkerte hullet ved 67 m. Inspeksjonen viser generelt dårlig bergmassekvalitet, spesielt synes nedre del av hullet fra 55 – 65 m å være sterkt oppsprukket (ras i borehullet). Mellom 37,8 og 38,5 er det observert et stort åpent hull i store deler av borehullsveggen. Pumpetest viste innstrømning i dette området, total vanngiverevne for borehull 7 ble registrert til 1000 l/time (Storrø 2002, [ref 9]).

2.5.2 Temperatur, ledningsevne og naturlig gammastråling

Temperatur, ledningsevne og gammalogg (TCN-logg) blir vanligvis registrert forut for OPTV. Disse parametrene logges med en og samme sonde med en loggehastighet på 3 m/min.

I **borehull 3 og 4** står vannspeilet på ca. 38 m. En svak økning i ledningsevnen ved ca. 40 m i borehull 4 kan skyldes en sprekk ved 40,3 m. En økning fra 83 m kan også skyldes observerte sprekker (innstrømning av vann). I Bh 3 og 4 ligger gammastrålingen på ca. 100 cps (counts per second) som trolig indikerer syenitt. Lyse lag med økende feltspatinnhold (kalifeltspat) gir stedvis økt naturlig gammastråling.

I **borehull 5** lå vannspeilet på ca. 1 m. Dette var unormalt da vannspeilet i Bh 3 og 8, 30 – 40 m unna, lå mellom 35 og 40 m. Ledningsevnen i vannet er svært lav de øverste 40 m, ca. 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (mikro Sievert/centimeter), noe som kan bety overflatevann. Ved pumping av brønnen viste det seg at vann strømmet inn i hullet like under foringsrøret på 6 m dyp. Ved 40 m øker ledningsevnen noe, til ca. 45 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dette skyldes trolig at en her kommer ned til det naturlige grunnvannsspeilet der vannet har noe høyere ledningsevne. En svak økning i ledningsevne fra ca. 55 m kan skyldes innstrømning i brønnen. Det er ikke observert klare åpne sprekker i dette området, men fjellet er generelt mye oppsprukket og ser dårlig ut på den optiske loggen.

Vannspeilet i **borehull 8** ligger på 36 m og ledningsevnen i vannet er konstant i helle hullet. Temperaturen viser en konstant gradient under vannspeilet, 1,65 $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Dette er betydelig høyere enn i Bh 4 (1,18) som står like ved og i Bh 5 (0,95) 30 – 40 m unna. Mulig årsak kan være ustabile forhold i Bh 8. Gammastrålingen ligger på ca. 100 cps i mesteparten av hullet. Optisk logg viser for det meste syenitt.

Vannspeilet i **borehull 6** er på ca. 9 m. Ledningsevnen er tilnærmet konstant langs hele hullet bortsett fra en markert økning ved 12 m. Den øverste delen kan være påvirket av overflatevann. En svært liten økning kan observeres ved 42, 79 og 115 m.

Temperaturen viser derimot tydelige økninger ved de samme dyp bortsett fra ved 115 m. I tillegg observeres en tydelig økning ved 47 m. Dette tyder på innstrømning av vann med annen temperatur. Den optiske loggen indikerte oppsprukket fjell mellom 40 og 50 m med to tydelige åpne sprekker. Ved 47 m er det observert en sprekk med 5 – 10 cm åpning. Også ved 79 og 111 m er det indikert oppsprukket fjell med åpne sprekker. Brønnen ga ved pumpetest (Storrø 2002) ca. 7 m^3/time . Dette er mye for en fjellbrønn. Strømningsmålinger i brønnen ved forskjellige dyp viste strømning fra alle tre nivåene med oppsprukket fjell (Storrø 2002,).

Borehull 7 har konstant ledningsevne i hele hullet bortsett fra en økning like under vannspeilet. Den lave ledningsevnen øverst kan skyldes overflatevann. Verken ledningsevne eller temperaturlogg indikerer vanninnstrømning i brønnen, men pumping indikerte i underkant av $1 \text{ m}^3/\text{time}$.

2.5.3 Resistivitet

Med resistivitetsmålinger i borehull måles den tilsynelatende elektriske motstand i berggrunnen. Bergartenes tilsynelatende motstand er bl.a. avhengig av vanninnhold og en kan på denne måten registrere sprekker og svakhetssoner i fjellet. Da dette er en elektrisk målemetode, kan målingene foretas kun i den delen av borehullet som er vannfylt.

Målingene i de to borehullene oppe ved Munkerudtjernet (**borehull 1 og 2**) viser noenlunde samme forløp når det gjelder tilsynelatende resistivitet i borehullene. Resistiviteten synker i begge borehullene, og fra ca. 20 m til 50 / 60 m ligger den tilsynelatende resistiviteten på 30 til 70 ohmm. Dette er meget lavt og vanligvis verdier vi forbinder med mineraliserte soner (sulfider eller grafitt). **Borehull 2** viser at det i dette området er en dårligere ledende sone mellom 26 og 30 m med en tilsynelatende resistivitet på ca. 1000 ohmm. Ved 50 m i borehull 2 og 65 m i borehull 1 kommer en inn i en dårlig ledende bergart igjen. I borehull 2 synker resistiviteten igjen mot bunnen til meget lave verdier.

Den tilsynelatende motstanden i **borehull 3** er generelt meget høy. Fra 50 m er motstanden større enn 20000 ohmm. Betydelig oppsprekking mellom 30 og 50 m forklarer den noe lavere motstanden over 50 m.

Den tilsynelatende motstand er generelt lavere i **borehull 4** enn i borehull 3. Dette stemmer bra i forhold til den optiske loggen som viser at Bh 4 generelt er mer oppsprukket en Bh 3. Motstanden er lavest, 700 – 1000 ohmm, mellom 45 og 55 m hvor oppsprekkingen er størst. Motstanden synker mot bunnen av hullet (90 m). Dette ser en i alle fire hullene (3, 4, 5 og 8) som er boret mot samme svakhetssone, og kan tyde på dårlig bergmassekvalitet på dette dyp. I Bh 5 og 8 var hullene blokkert på hhv. 72 og 88 m dyp.

I **borehull 5** fikk en målt motstand i hele hullet da vannspeilet var like under bakkenivå. Motstanden er lav, 500 – 600 ohmm, de øverste 33 m. Her går hullet i oppsprukket hornfels. Et parti med høyere motstand, opp til 10000 ohmm, ned til ca. 50 m, tyder på massivt fjell. Herfra synker motstanden mot bunnen og er ca. 275 ohmm i bunn (72 m). Det er grunn til å tro at det her er svært dårlig fjell da hullet var blokkert av ras.

Borehull 8 ble boret ca. 5 m vest for Bh 4. Hullet ble boret til 140 m (stoppet i ras), men ved logging var det blokkert ved 89 m, trolig på grunn av nytt ras. Logging startet ved ca. 40 m (under vannspeil) med en tilsynelatende motstand på ca. 4000 ohmm. Fra 40 m avtar motstanden kraftig og hele resten av hullet, bortsett fra et par punkter ved 60 m, har lav motstand, 200 – 400 ohmm. Dette tyder på oppsprukket og dårlig fjell, noe som bekreftes av den optiske loggen.

I **borehull 6** er flere markerte lavmotstandssoner indikert. Spesielt lav motstand er målt mellom 40 og 50 m dyp. Videre observeres markerte soner ved 80 m, 100 m og 112 m. Den optiske loggen viser sterkt oppsprukket fjell mellom 40 og 50 m. Flere åpne sprekker vises tydelig, spesielt ved 42 og 47 m hvor en sprekk med 5 – 10 cm åpning er indikert. Lavmotstandssonene ved 80, 100 og 112 m bekreftes ved den optiske loggen som åpne sprekker/soner. Mellom sprekkesonene er motstanden høy, 15000 – 19000 ohmm, noe som stemmer godt med observert massiv syenitt på den optiske loggen.

Borehull 7 var boret til 81 m, men var blokkert ved 66 m. Etter en lavmotstandssone ved 14 m dyp øker motstanden ned mot 27 m hvor den er ca. 3700 ohmm. Deretter avtar motstanden hele veien mot bunnen av hullet med en motstand på ca. 300 ohmm i bunnen. Motstanden er lavest i rasområdet.

2.6 Sammenstilling

Det er utført mange ulike undersøkelser ved Grualiatunnelen, og det kan derfor være nyttig å forsøke å sammenstille hva de forskjellige undersøkelsene gir av informasjon. Et forslag til sammenstilling basert på gjennomgangen i denne rapporten er satt opp i matrisen under:

Undersøkelsestype	Identifikasjon av svakhetszone	Orientering / forløp mot dypet	Sonekarakter / material-/min- innhold	Vannføring
Feltkartlegging	x	(x)	(x)	-
Kjerneboring	x	x	x	(x)
Helikoptermålinger ¹⁾	(x)	-	(x)	-
Refraksjonsseismikk	x	(x)	(x)	-
2D-resistivitetsmålinger	x	x	(x)	(x)
VLF-målinger	(x)	-	(x)	(x)
Magnetometri	(x)	-	(x)	-
Optisk televiewer ²⁾	x	(x)	(x)	x

- Ingen / lite informasjon

(x) Noe informasjon

x God informasjon

¹⁾ Helikoptermålinger består av magnetiske, elektromagnetiske, VLF og radiometriske målinger.

²⁾ Optisk televiewer innbefatter logging av strukturgeologi, temperatur, el. ledningsevne, resistivitet, gammastråling og prøvepumping.

Fire av åtte undersøkelsestyper er vurdert å gi noe eller god informasjon om vannføring; kjerneboring, 2D-resistivitetsmålinger, VLF-målinger og optisk televiewer. Det er derfor lagt størst vekt på disse undersøkelsene ved utarbeidelsen av prognosen for innlekkasje.

Kjerneboring gir opptak av en borekjerne som gir god informasjon om oppsprekking og materialinnhold i sonen. Dette kan gi noe informasjon om forventet lekkasje ettersom sterk

oppsprekking og lite leire ofte betyr vann. I tillegg er det i enkelte tilfeller mulig å oppdage innslag av vann under selve kjerneboringen, det er derfor viktig å føre en god borerapport. Utføres det Lugeon-målinger gir det en god indikasjon på hvordan permeabiliteten varierer langs borehullet. Lugeon-verdiene kan brukes i regneeksempler for å stipulere innlekkasje i en tunnel, se kap 4.

Resultater fra 2D-resistivitetsmålinger forteller noe om oppsprekkingen i bergmassen og innhold av ledende mineraler. Soner med redusert resistivitet som kun skyldes ledende mineraler som sulfider eller grafitt, vil neppe ha betydning for tunneldrivingen. I en annen sone kan redusert resistivitet skyldes sterk oppsprekking i kombinasjon med ledende leirmineraler. Dette kan være ugunstig for tunneldriften. Soner med ledende leirmineraler vil ha lavere resistivitet enn vannførende soner med åpne sprekker. Denne usikkerhet i forhold til oppsprekking, vann og ledende mineraler er det mulig å redusere ved å ta i bruk induert polarisasjon (IP) som tilleggsundersøkelse. Svakhetssoner med leirholdig sprekke materiale vil skille seg ut fra åpne soner med lite sprekke materiale. IP-målinger skal utføres ved Grualiatunnelen i sommer (2002).

VLF-målingene har gitt anomalier på flere av sonene som er kartlagt i felt. Det er registrert at VLF-anomaliene kommer på kantene av et ledende parti. 2D-resistivitet gir derfor sikrere tolkninger med hensyn på lokalisering av soner med lav resistivitet.

Optisk televierer kan fortelle noe om vannføring i borehullet ved hjelp av logging av strukturgeologi (åpne sprekker), temperatur, el. ledningsevne og resistivitet. I tillegg kan man foreta en prøvepumping av borehullet. På denne måten kan individuell vanngiverevne for de forskjellige åpne sprekker kartlegges. Det er viktig at det under boring blir ført borerapport for å registrere innslag av vann og andre kommentarer som farge på spylevann, slepper, problem med boring, etc.

3. TOLKNING AV RESULTATER MED PROGNOSE FOR INNLEKKASJE

Feltkartleggingen viser flere svakhetssoner, men for området mellom profil nr. 1700 og 3250 i tunnelen er det området i og rett vest for Langvannet som er mest interessant. Sone K ligger i overgangen mellom hornfelsen i vest og syenitt i øst. I dagen er det en 20 m bred sone med

intens oppsprekking, med både tensjons- og skjærbrudd, den er klassifisert som en steil forkastning. Den vil i så fall komme ned i tunnelen mellom profil nr. 2200 og 2250.

Refraksjonsseismikk utført ved Langvannet over tunneltraséen og nord i bukta tyder på at det går en svakhetssone ("sone ny") med lydshastighet 3300 og 3900 m/s. Sonen antas å gå delvis ute i Langvannet og skjærer inn i bukta i nordenden i Langvannet. Viss sonen står vertikalt vil den skjære tunnelen mellom profil nr. 2400 og 2455.

Kjerneboringen som er utført under Langvannet fra vestsida, tyder på en lenger strekning med dårlig fjell, mellom 90 og 190 m er bergmassekvaliteten dårlig til svært dårlig. Partiet med dårligst bergmassekvalitet antas i tunnelnivå å ville komme mellom profil nr. 2250 og 2400.

2D-resistiviteten som er målt i 2 profiler viser sammenfallende resultat i forhold til de svakhetssoner som er kartlagt i felt og med refraksjonsseismikk. Profil 1 går rett nord for Langvannet ikke langt fra der det ene utlegget for refraksjonsseismikken var. Det er registrert lav resistivitet over området der sone K og L nærmer seg hverandre og over sone "ny" som ble registrert på refraksjonsseismikken. En svakhet med målingene av 2D-resistiviteten er at registreringene ikke når helt ned til tunnelnivået.

VLF-målingene ga klare anomalier på sonene K og L.

Borehull 3, 4, 5 og 8 er alle boret for å skjære sone K. I Bh 3 og 4 er det observert noen soner med tett oppsprekking mellom 35 og 55 m. Ellers er det lite som tyder på spesielt dårlig fjell. I Bh 5 derimot er det registrert svært dårlig bergmassekvalitet, oppsprekkingen synes spesielt stor fra ca. 60 m og nedover. Hullet ble boret 160 m, men ved logging var det tett ved 72 m. Oppboring mislyktes på grunn av ras i hullet. Under boring er det rapportert om store vanninnslag i Bh 5 ved 141-144 m og 156-160 m. Også i Bh 8 gikk det ras (ved 88 m), det er registrert mye oppsprukket fjell. Brønnen ga store vannmengder ved pumping.

Resultata fra måling av temperatur, ledningsevne og naturlig gammastråling i borehullene bekrefter det man har registrert ved optisk logging. I borehull 5 øker ledningsevnen noe ved 55 m, dette kan skyldes innstrømming i brønnen.

Resistiviteten langs borehullene viser bra samsvar med den optiske logen, det er registrert lavmotstandssoner der det er registrert oppsprukket fjell og åpne sprekker. Når resistivitet synker ned mot 200 - 300 ohmm har det gått ras i borehullene.

Resultatene fra Bh 3, 4, 5, og 8 tyder på at det er svært raske variasjoner i bergmassekvaliteten i området. En svakhet er at i borehullene med dårligst bergmassekvalitet har det gått ras, og det har dermed vært umulig å få logga områdene av størst interesse. Registreringene tyder også på at bergmassekvaliteten er svært varierende, det er kort avstand mellom Bh 4 og 8 med svært forskjellig bergmassekvalitet. Ut fra registreringene antas det at sonen er tilnærmet vertikal, muligens med steilt fall mot vest. Bredden på sonen er vanskelig å si noe om annet enn det som er registrert i dagen (20 m). Det kunne ha vært en fordel å bore gjennom sprekkesonen mer på skrå. Det ville da vært mulig å få mer informasjon om bredde, orientering og forløp mot dypet for sprekkesonen.

Utenom området like vest for Langevannet finnes det en sprekkesone, sone M, like øst for Langevann. 2D resistivitetsmålinger ga her lav resistivitet, men sonen dør ut mot dypet.

Vest for Langvannet finnes det flere sprekkesoner, det er en sone I over ca. profil nr. 1720 som har gitt noe lav resistivitet mot dypet. Et større område med svært lav resistivitet antas å komme av at det er sulfider og grafitt til stede.

Ut fra resultatene som er omtalt over er området fra profil nr. 1700 til 3250 forsøkt inndelt i forhold til forventet innlekkasje (potensiell lekkasje om ingen injeksjon ble utført). Det er først og fremst to områder der det er forventet innlekkasjer: mellom profil nr. 1700 og 1740 og mellom 2200 og 2390. Det siste området deles ytterligere inn i mindre områder med forskjellig prognose for innlekkasje.

Refraksjonsseismikken viste en lavhastighetssone et stykke ute i Langvannet, kjerneboringen viser at området med dårligst bergmassekvalitet ligger noe nærmere strandkanten. Det er derfor en mulighet at "sone ny" som er registrert på refraksjonsseismikken har et fall mot vest, slik at "sone ny" og sone L (som går langs strandkanten) nærmer seg hverandre mot dypet. Viss sone L er stilnærmet steil vil partiet med dårligst bergmassekvalitet og størst fare for innlekkasje komme mellom profil nr. 2310 og 2390.

Basert på tolkningene av resultatene fra undersøkelsene kan det forventes følgende innlekkasje::

Profil nr	Innlekkasje i området	Innlekkasje l/min/100m	Sprekkesone / resultat fra undersøkelser
1700 - 1740	40 l/min	100	Sprekkesone I, dyp lav resistivitet
1740 – 2220	120 l/min	25	Flere sprekkesoner, men lite anomalier
2220 – 2270	120 l/min	240	Sone K, Bh 3,4,5 og 8, VLF, lav resis. pr 1
2270 – 2310	40 l/min	100	Mellom to soner, usikkert område
2310 – 2390	440 l/min	550	Sone L og ”sone ny”, kjerneboring, lav resistivitet (sone L) profil 1, refr seismikk
2390 - 3250	430 l/min	50	Sone M og O, grunn lav resistivitet
1700 – 3250	1190 l/min	77	Hele området totalt

4. REGNEEKSEMPEL INNLEKKASJE

Det er mulig å regne på hvor stor innlekkasje en kan forvente i en tunnel, men det må gjøres en del forenklinger. Det er for eksempel vanlig å forutsette isotrop tilstand, og det er ikke tilfellet med en bergmasse, da vannet følger sprekker og kanaler på sprekkeplan. Regneeksemplet under kan likevel gi en pekepinne på størrelsen på innlekkasjen viss injeksjon ikke blir utført.

Det vanligste formelverket for utregning av forventet innlekkasjer er etter Tokheim og Janbu [ref 10] :

$$Q_w = \frac{2\pi \cdot K \cdot L \cdot p}{\mu_w \cdot G}$$

Der Q_w = innlekkasje i tunnel (m^3/s)

K = spesifikk permeabilitet (m^2)

L = lengde av tunnelen (m)

P = Potensial (aktiv høgde av vann) (Pa)

μ_w = dynamisk viskositet av vannet (kg/(ms))

G = Geometri faktor

Den geometriske faktoren beskriver lekkasjestrøm relativt til geometrien av tunnelen, og er gitt ved:

$$G = \ln \frac{(2D - r)(L + 2r)}{r[L + 2(2D - r)]}$$

Der D = avstand mellom lengdeaksen til tunnelen og grunnvannsspeilet

R = "ekvivalent radius" dvs radiusen til en sylinder som vil gi samme overflate areal som tunnelen

Som indikert i ligningen for innlekkasje, er det nødvendig med informasjon om permeabiliteten i bergmassen. Ved Grualiatunnelen er det utført Lugeon tester i kjernehullet under Langvannet. Det ble utført vanntapmålinger hver 10. meter fra 100 m's dyp til enden av kjernehullet (448,5 m). Høyest vanntap ble registrert mellom 100 og 209 m's dyp, gjennomsnittlig Lugeonverdi her er 1,69 L. Videre i kjernehullet er Lugeonverdiene lavere, med et gjennomsnitt på 0,53 L.

Området med høyeste vanntapmålinger tilsvarer ca. 100 m i tunnelen, pr. nr. 2280 til 2380. Det tas utgangspunkt i gjennomsnittsverdien på 1,69 L for dette området i regneeksemplet under. I samme område er grunnvannsspeilet registrert i borehull til å være ca. 40 m under bakkenivå, dvs at grunnvannssøylen er ca. 110 m i det aktuelle området. Tunnelverrsnittet er T8,5, og i regneeksemplet er det brukt ekvivalent radius lik 4 m.

$$K = k \cdot \frac{V}{g} = 2,3 \cdot 10^{-7} \cdot 1,69 \cdot \frac{1,3 \cdot 10^{-6}}{9,81} = 5,15 \cdot 10^{-14} \text{ (m}^2\text{)}$$

der $k = 2,3 \cdot 10^{-7} \cdot \text{Lugeonverdien}$

$$L = 100 \text{ m}$$

$$P = 11 \text{ bar} = 1,1 \cdot 10^6 \text{ (Pa)} \text{ (110 m's vannsøyle)}$$

$$\mu_w = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ (kg/(m.s)) ved } 10^\circ \text{ C}$$

$$G = \ln \frac{(2 \cdot 110 - 4)(100 + 2 \cdot 4)}{4[100 + 2(2 \cdot 110 - 4)]} = 2,394472$$

Setter vi dette inn i ligningen for innlekkasje blir det:

$$Q_w = \frac{2\pi \cdot 5,15 \cdot 10^{-14} \cdot 100 \cdot 1,1 \cdot 10^6}{1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2,394472} = 0,011437 \text{ m}^3/\text{s} = 686 \text{ l/min}$$

Regneeksemplet gir at det på en 100 m lang strekning i tunnelen, pr. nr. 2280 til 2380, med gjennomsnittlig Lugeonverdi på 1,69 (spesifikk permeabilitet på $5,15 \cdot 10^{-14}$) kan komme innlekkasje i størrelsesorden 650 til 700 l/min. Resultatet av regneeksemplet er svært avhengig av hvilken permeabilitet man setter for bergmassen.

Bruker man gjennomsnittsverdien for vanntapmålingene fra 209 til 448,5 m's dyp i kjernehuset, dvs 0,53 L, får man en innlekkasje på 215 l/min på 100 m.

Tallene som dette regneeksemplet har gitt er ikke usannsynlige ut fra erfaringer fra andre tunnelanlegg. Det er likevel ikke lagt særlig vekt på ved prognoseutarbeidelsen.

5. SLUTTKOMMENTAR

Konklusjonene i denne rapporten er med hensikt dratt ganske langt, og detaljeringsgraden er større enn normalt. Dette er gjort for at en skal lære mest mulig om tolkning og troverdighet av resultatene fra de utførte undersøkelsene.

Det er i denne prognosen antatt at innlekkasjen i hovedtrekk vil komme i forbindelse med soner, fordi de fleste anomaliene er knyttet til sonene. Det må likevel understrekes at det kan forekomme innlekkasje fra enkeltsprekker, men disse er vanskelig å forutsi (blir som oftest ikke oppdaget via undersøkelser), og i liten grad tatt hensyn til i prognosen.

Etter at tunnelen er ferdig drevet vil det bli utarbeidet en ny rapport hvor prognosen vil bli sammenlignet med de faktisk påtrufne forhold i tunnelen, og i denne sammenheng vil de enkelte metodenes pålitelighet bli ytterligere diskutert.

Kristin H. Holmøy

6. REFERANSER

1. Kirkeby, T. Og Iversen, E. 1996: Rv. 35 Gualia – Slettmoen, tunnel gjennom Tveitmarktoppen. Geologiske undersøkelser detaljplan. Veglaboratoriet, Oppdrag E-218 A, rapport 2
2. Elvebakk, H., Braathen, A. Og Rønning, J. S. 2001. Tunnelprosjektet. Borehullslogging og strukturgeologiske studier Gualia, Lunner kommune, Oppland. NGU rapport 2001.117
3. Braathen, A. og Gabrielsen, R. H. 2000. Bruddsoner i fjell – oppbygging og definisjoner. NGU Gråsteinen 7, 20 s.
4. Iversen, E. 1998: Rv 35 Gualia – Slettmoen, Kjerneboring for tunnel under Langvann. Veglaboratoriet, Oppdrag E-218 A, rapport 3
5. Beard, L. P. 2001. Assesment og Geophysical Anomalies near Langvatnet, Lunner, Oppland fylke. NGU rapport 2001.046
6. Geomap 1997: Refraksjonsseismiske målinger over Langevatn, Lunner. Geomap Rapport 97.943 nr 1
7. Rønning, J. S. og Dalsegg, E. 2001: Tunnelprosjektet. Geofysiske målinger ved Langvatnet, Lunner, Oppland. NGU Rapport 2001.090
8. Dahlin, T.1993: On the Automation of 2D Resistivity Surveying for Engineering and Environmental Applications. Dr. Thesis, Department of Engineering Geology, Lund Institute of Technology, Lund University. ISBN 91-628-1032-4
9. Storrø, G. og Elvebakk, H. 2002: Tunnelprosjektet. Hydraulisk testing av fjellbrønner ved Gualia, Lunner kommune. NGU Rapport under utarbeidelse
10. Tokheim, O. og Janbu, N. 1984: "Flow rates of air and water from caverns in soil and rock". Proc. ISRM-Symposium on Rock Mechanics related to caverns and pressure shafts, Aachen 1982. A. A. Balkema, Vol. 3, pp. 1335 - 1343

