

Vegtunnelene Eikremtunnelen og Knappetunnelen:

Vurdering av refraksjonsseismikk,
resistivitetmålinger og
laboratorieundersøkelser som en del av de
ingeniørgeologiske undersøkelsene

Mari Lie Arntsen

Geofag og petroleumsteknologi

Innlevert: Juni 2012

Hovedveileder: Bjørn Nilsen, IGB

Medveileder: Mona Lindstrøm, Statens vegvesen, Vegdirektoratet

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for geologi og bergteknikk



MASTEROPPGAVEN

Kandidatens navn: Mari Lie Arntsen

Oppgavens tittel: **Sammenligning mellom forundersøkelsesresultater og faktiske forhold for Eikremtunnelen og Knappetunnelen**

English title: Comparison of pre-investigation results and as-built conditions for Eikrem and Knappe road tunnels

Utfyllende tekst:
1.

Oppgaven går ut på å sammenligne resultater fra forundersøkelser med ingeniørgeologiske forhold påtruffet i tunnelen, og på dette grunnlag analysere og diskutere mulige årsaker til eventuelle avvik, spesielt med hensyn til svakhetssoner. Som grunnlag for analysen benyttes data fra Eikremtunnelen i Møre og Romsdal som nylig er ferdig drevet, og Knappetunnelen som er under driving i forbindelse med Ringveg Vest byggetrinn 2 i Bergen. Begge tunnelene dokumenteres i Novapoint, som sammen med rapporter fra forundersøkelsene utgjør det viktigste grunnlagsmaterialet for denne oppgaven.

Spesiell vekt skal legges på analyse og diskusjon av nytteverdien av:

- Refraksjonsseismikk.
- Resistivitetsmålinger.
- Laboratorieundersøkelser, spesielt med hensyn til sleppematerialer.

Feltbefaring til Ringveg Vest skal foretas for rekognoserende kartlegging med registrering og vurdering av faktiske forhold i tunnelen, samt prøvetaking for analyse av sleppemateriale.

2. Masteroppgaven gjennomføres i samarbeid med Statens vegvesen, Vegdirektoratet med Geolog Mona Lindstrøm som kontaktperson og ekstern medveileder.

Studieretning: Teknisk geologi

Hovedprofil: Ingeiørgeologi og bergteknikk

Tidsrom: 13.01.-18.06.2012

Bjørn Nilsen, Professor/hovedveileder

Sammendrag

For å kunne planlegge og drive en vegtunnel, er det nødvendig med tilstrekkelig informasjon om grunnforholdene. Svakhetssoner er i denne sammenheng særlig viktig da uforutsette svakhetssoner kan gi store problemer under driving. Soner med svellende materiale kan dessuten over tid føre til utrasninger i tunnelen, med potensielt store konsekvenser.

For å få et godt bilde av svakhetssoner i berggrunnen, benyttes blant annet refraksjonsseismikk og resistivitetsmålinger som forundersøkelser. Under driving benyttes laboratorieundersøkelser på sleppematerialer for å vurdere materialets svellende egenskaper.

I oppgaven blir det gjort en sammenligning av prognosene fra forundersøkelsene med forhold møtt i tunnel ved de to vegtunnelene Eikremtunnelen og Knappetunnelen. Eikremtunnelen ligger i Møre og Romsdal og er ferdig drevet og satt i bruk. Knappetunnelen sør for Bergen er omtrent halvveis ferdig drevet. Grunnlaget for sammenligningen er i hovedsak rapporter fra forundersøkelsene og data samlet inn under driving ved de to vegtunnelene. I tillegg ble det gjennomført en befaring i Knappetunnelen i forbindelse med kryssing av en vanskelig svakhetszone.

Egenskapene til metodene refraksjonsseismikk og resistivitetsmålinger vurderes i oppgaven fra denne sammenligningen, knyttet opp mot det teoretiske grunnlaget og erfaringer fra tidligere arbeid. Avvik mellom prognoser og erfaring blir diskutert og flere mulige årsaker til avvik presenteres. Selv om en del avvik skyldes stedsforhold, kan flere reduseres ved tilpasning av metodene.

Funnene ligner erfaringene gjort ved tidligere tunnelprosjekter og viser at begge metodene bidrar til å avdekke svakhetssoner i grunnen. Refraksjonsseismikken viser seg i tillegg å kunne estimere bergmasseklasser ellers langs måleprofilen på en god måte, gjennom antatte korrelasjoner mellom seismisk hastighet og Q-verdi. Metodens manglende evne til å angi orientering av svakhetssoner har derimot vist seg å kunne gi store feiltolkninger.

Resistivitetsmetoden har avdekt mange av de møtte svakhetssonene, men det behøves mer erfaring med bruk av metoden før den kan stå selvstendig i forundersøkelsene. Målingene har bl.a. vist varierende evne til å anslå fall og dybderekkevidde av svakhetssonene, som opprinnelig er et av hovedargumentene for bruk av metoden.

Laboratoriedelen av oppgaven inkluderer i tillegg til en vurdering av det tilgjengelige grunnlagsmaterialet, testing av sleppematerialer med hensyn på sveleegenskaper i laboratoriet. Nyttverdien av metoden diskuteres med utgangspunkt i kravet gitt av Statens vegvesen til utstøpning for svelletrykk over 0,50 MPa.

Funnene viser at metoden har potensiale for å bestemme sikringsomfang, men at logistikken rundt laboratorietestene er noe mangelfull. Dessuten viser funnene at det er problemer med prøvenes representativitet for forholdene i prøvesonen, og det anbefales derfor å ta flere materialprøver.

Summary

In order to plan and excavate a road tunnel, it is necessary to have sufficient information about the ground conditions. Weakness zones are of particular importance in this context, as unexpected weakness zones can cause major problems during excavation. Furthermore, zones with swelling material can over time result in fallouts in the tunnel, with potentially dire consequences.

To get a good picture of weakness zones in the bedrock, both seismic refraction surveys and resistivity profiling are employed as feasibility studies. During excavation, laboratory tests on gouge materials are performed to assess its swelling properties.

In this thesis, the results from engineering geological investigations are compared with conditions encountered in the Eikrem and Knappe road tunnels. The Eikrem tunnel is situated in Møre og Romsdal county and has already been completed and put in service. The Knappe road tunnel is about halfway complete. Reports from the geological investigations and data collected during excavation forms the basis for the comparison. In addition, a visit to the Knappe tunnel was conducted in order to inspect a particularly difficult weakness zone.

Based on the comparisons, characteristics of seismic refraction surveying and resistivity profiling are highlighted and linked to theory and experience from previous work. Deviations between the forecasts and experience are discussed along with possible causes for the deviations. Although some deviations are due to site conditions, others can be reduced by fine tuning of the methods.

The findings are similar to those of previous tunnel projects and show that both methods help to discover weakness zones. Seismic refraction surveys also allows identification of rock mass classes elsewhere in the sounding profile, through the assumed correlation between seismic velocities and Q values. The inability of the method to estimate orientation of weakness zones, however, has shown to result in major misinterpretations.

Resistivity profiling has uncovered many of the weakness zones encountered, but more experience is necessary before the method can be used reliably by itself. The profiling has, for instance, shown varying ability to estimate dip and depth range of the weakness zones, which has been one of the main arguments for the use of the method.

The part concerning laboratory tests includes an assessment of the available raw material, in addition to testing of gouge material with respect to swelling properties. The usefulness of the method is discussed based on requirements for swelling pressure above 0.50 MPa as set by the Norwegian Public Roads Administration.

The findings show that laboratory tests have potential to estimate the required rock support, but also that logistics around the laboratory tests are somewhat lacking. Furthermore, the findings reveal that the representativeness of the test zone is problematic, and it is therefore recommended to collect multiple testing samples.

Forord

Denne masteroppgaven er utført ved Institutt for Geologi og Bergteknikk ved Norges teknisknaturvitenskaplige universitet (NTNU) av Mari Lie Arntsen som en avslutning på det 5-årige masterstudiet Geofag og petroleumsteknologi. Arbeidet er gjennomført i tidsrommet januar 2012 til juni 2012.

Oppgaven vurderer nytteverdien av bruk av refraksjonsseismsikk, 2D resistivitet og laboratorieundersøkelser i forbindelse med vegtunnelprosjekter. Oppgaven er gjennomført i samarbeid med Statens vegvesen, hvor Vegdirektoratet var initiativtaker for tema. I tillegg til faglig veiledning gjennom medveileder Mona Lindstrøm i Vegdirektoratet, har Statens vegvesen stilt med økonomisk støtte i forbindelse med oppgaven. Hovedveileder har vært professor Bjørn Nilsen ved NTNU. Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) har også vært en viktig samarbeidspartner.

Til å begynne med ønsker jeg å takke Bjørn Nilsen. Ikke bare for gode faglige diskusjoner, men også for hans evne til å motivere gjennom de tunge midtsemester-tidene. Takk også til medveileder Mona Lindstrøm som har vært til stor hjelp og kommet med mange gode kommentarer til oppgaveteksten i innspurten.

Fra NGU ønsker jeg å takke Jan Steinar Rønning og Guri Venvik Ganerød for deres innspill og erfaringer i forbindelse med tolkningen av resultatene.

Jeg ønsker å takke alle ved prosjektkontoret for Ringveg Vest for en god mottagelse under befaringen i Knappetunnelen. Særlig vil jeg takke Terje Kirkeby for tilgang til data og rapporter samt innspill på hans tolkninger av forhold i tunnelen. I tillegg ønsker jeg å takke Lars Langhelle for mange lærerike samtaler om tunneldriving og noen flotte turer inn i tunnelen. Audhild Storbråten og Wenche Iren Høyenes fortjener en spesiell takk for deres tålmodighet og upåklagelig raske svar på e-posthenvendelser.

Ved Eikremtunnelen ønsker jeg å takke Tore Humstad for at han har tatt seg tid til å stille med dokumentasjon og å svare på spørsmål i sin travle hverdag. Ellers takker jeg gutta på SINTEF-laben for deres hjelp.

Også mine fantastiske medstudenter fortjener å nevnes for deres vennskap og alle kaffepausene i gangen på Bergbygget. Til slutt en stor takk til Johannes som har vært en særdeles tålmodig og hjelpsom støttespiller gjennom hele semesteret.

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn for tema	2
1.2	Formål	3
1.3	Omfang og begrensninger	4
1.4	Metode	4
1.5	Struktur	5
2	Introduksjon til metoder	7
2.1	Refraksjonsseismikk	7
2.2	2D resistivitetsmålinger	10
2.3	IP-målinger	13
2.4	Q-verdi, bergklasse og bergsikring	14
2.5	Novapoint Tunnel	17
2.6	Sleppematerialets sveleegenskaper	17
2.6.1	Laboratorieundersøkelse	18
2.6.2	Bruk av laboratorieresultatene	24
3	Tidligere arbeid	27
3.1	Refraksjonsseismikk	27
3.2	Resistivitetsmålinger	28
3.2.1	Resistivitetsmodellens egenskaper	28
3.2.2	Erfaringer fra praktisk bruk av metoden	29
3.3	Laboratorieundersøkelser	35

4	Eikremtunnelen	37
4.1	Prosjektbeskrivelse	37
4.1.1	Geologisk historie	37
4.1.2	Driving	39
4.1.3	Forundersøkelser	40
4.1.4	Utsatte undersøkelser	41
4.1.5	Rapportgrunnlag for Eikremtunnelen	42
4.2	Prognoser fra forundersøkelsene	43
4.2.1	Bergarter, foliasjon og oppsprekking	43
4.2.2	Bergklasser og bergsikring	46
4.2.3	Svelleleire	46
4.2.4	Svakhetssoner	47
4.3	Erfaringer fra driving	52
4.3.1	Svelleegenskaper	52
4.3.2	Bergart, oppsprekking, bergklasser og bergsikring	52
4.3.3	Svakhetssoner	54
4.4	Sammenligning av prognoser og erfaringer	64
4.4.1	Svakhetssoner	64
4.4.2	Andre ingeniørgeologiske forhold	68
4.4.3	Oppsummering	69
5	Knappetunnelen	71
5.1	Prosjektbeskrivelse	71
5.1.1	Geologisk historie	72
5.1.2	Driving	73
5.1.3	Forundersøkelser	74
5.1.4	Utsatte undersøkelser	75
5.1.5	Rapportgrunnlag for Knappetunnelen	76
5.2	Prognoser fra forundersøkelsene	77
5.2.1	Bergarter, foliasjon og oppsprekking	78
5.2.2	Bergklasser og bergsikring	79
5.2.3	Svelleleire	79

5.2.4	Svakhetssoner	79
5.3	Erfaringer fra driving	88
5.3.1	Svelleegenskaper	88
5.3.2	Bergarter og bergmasseklasser	93
5.3.3	Svakhetssoner	95
5.4	Sammenligning av prognoser og erfaringer	105
5.4.1	Svakhetssoner	105
5.4.2	Andre ingeniørgeologiske forhold	108
5.4.3	Oppsummering	108
6	Diskusjon	111
6.1	Mulige årsaker til avvik	111
6.1.1	Refraksjonsseismikk	111
6.1.2	Resistivitetsmålinger	112
6.2	Vurdering av nytteverdi	115
6.2.1	Refraksjonsseismikk	116
6.2.2	Resistivitet	118
6.2.3	Refraksjonsseismikk kontra resistivitet	119
6.3	Laboratorieundersøkelser	121
7	Konklusjon	125
8	Videre arbeid	127
	Vedlegg	133

Figurer

1.1	Geologisk kart med plassering av prosjektene.	2
2.1	Prinsippskisse for refraksjonsseismikk.	9
2.2	Eksempel på refraksjonsseismisk profil.	9
2.3	Skjematisk skisse av prinsippet bak resistivetsmålinger	11
2.4	Økt elektrodeavstand gir økt dybderekkevidde.	11
2.5	Eksempel på pseudoseksjon og iterert modell fra resistivetsmålinger.	12
2.6	Konstruktiv interferens ved XRD-analyse.	19
2.7	Apparatur, DTA.	20
2.8	DTA-eksempelkurver.	21
2.9	Prinsippskisse frivelling.	22
2.10	Prinsipp for måling av svelletrykk ved konstant volum.	23
2.11	Apparatur for svelletrykksmåling	24
3.1	Effekt av endret V/H-filter.	30
3.2	Effekt av endret kontrast.	31
3.3	Sprekkefrekvens mot tilsynelatende resistivitet, Asker-Jong og Lun- nertunnelen.	33
4.1	Oversiktskart Stor-KRIFAST.	38
4.2	Berggrunnsgeologi for Eikremtunnelen.	39
4.3	Resultater fra forundersøkelser ved Eikremtunnelen, lengdesnitt gjennom tunnelen.	44
4.4	Foliasjon Eikremtunnelen.	45
4.5	Sprekkerose Eikremtunnelen.	45

4.6	Resultat fra resistivitetsmålinger, Eikremtunnelen.	48
4.7	Lengdeprofil av Eikremtunnelen med angivelse av svakhetssoner fra forundersøkelsene.	48
4.9	Sprekkerose for sprekkemålinger gjort i Eikremtunnelen.	53
4.8	Faktisk bergartsfordeling og kartlagt bergmasseklasse i Eikremtunnelen.	53
4.10	Legende Novapoint.	55
4.11	Utsnitt fra Novapoint, profilnummer 830-875 ved Eikremtunnelen.	56
4.12	Utsnitt fra Novapoint, 910-925 ved Eikremtunnelen.	57
4.13	Utsnitt fra Novapoint, profilnummer 975-990 ved Eikremtunnelen.	57
4.14	Utsnitt fra Novapoint, profilnummer 1020-1035 ved Eikremtunnelen.	58
4.15	Utsnitt fra Novapoint, profilnummer 1050-1065 ved Eikremtunnelen.	59
4.16	Utsnitt fra Novapoint, profilnummer 1098-1115 ved Eikremtunnelen.	59
4.17	Utsnitt fra Novapoint, profilnummer 1010-1220 ved Eikremtunnelen.	61
4.18	Utsnitt fra Novapoint, profilnummer 1280-1320 ved Eikremtunnelen.	62
4.19	Utsnitt fra Novapoint, profilnummer 1320-1360 ved Eikremtunnelen.	63
4.20	Utsnitt fra Novapoint, profilnummer 1360-1380 ved Eikremtunnelen.	63
4.21	Utsnitt fra Novapoint, profilnummer 1450-1455 ved Eikremtunnelen.	64
4.22	Svakhetssoner fra forundersøkelsene og påmøtte svakhetssoner ved Eikremtunnelen.	65
5.1	Oversiktsfoto byggetrinn 2 av Knappetunnelen.	72
5.2	Regionalgeologi ved Knappetunnelen med Bergensbuene	73
5.3	Drivestatus per 7. mai, Knappetunnelen.	74
5.4	Berggrunnsgeologi Knappetunnelen	78
5.5	Resistivetsprofiler Knappetunnelen.	81
5.6	Forventede svakhetssoner ved Knappetunnelen, lengdeprofil.	82
5.7	DTA-kurve, prøve 11-7828.	89
5.8	Frisvelling.	90
5.9	Svelletrykksplott for prøve 11-7828.	90
5.10	Utsnitt fra Novapoint profil 8635-8655 løp 11, Knappetunnelen.	93
5.11	Amfibolitt langs gneisfoliasjonen i nordre del av Knappetunnelen.	94
5.12	Legende for normalisert borsynk (%) for Knappetunnelen	95

5.13	Forventede og faktiske svakhetssoner ved Knappetunnelen, lengdeprofil.	97
5.14	NNV-orientert sone i S12S, profilnummer 5153, Knappetunnelen. . .	98
5.15	BPT profil 5300-5400 Knappetunnelen.	99
5.16	Utsnitt fra geologisk kartlegging i Novapoint, profil 12-5740, Knappetunnelen.	99
5.17	BPT profil 5705-5800 Knappetunnelen.	100
5.18	Foto: L11, profil 7282, Knappetunnelen.	101
5.19	Foto: Løp 12, profil 8050, Knappetunnelen.	102
5.20	BPT profil 8290-8400, Knappetunnelen.	102
5.21	Sprøytebetongbuer ved profil 8300-8330 i løp 12, Knappetunnelen. .	103
5.22	BPT profil 8505-8530, Knappetunnelen.	103
6.1	Foto fra feltkartlegging sone K6d.	116
6.2	Forventet og faktisk bergmasseklassefordeling for begge tunneler. . .	117
6.3	Plott av svelletrykk mot smektittinnhold, Knappetunnelen.	122

Tabeller

2.1	Tolkning av svakhetssonetype fra resistivitet og IP-effekt.	14
2.2	Foreslått tolkning av Q-verdi ut fra seismisk hastighet.	15
2.3	Bergmasseklasser og tilhørende sikringsklasser.	16
2.4	Inndeling av materialer ut fra frisvelling.	22
2.5	Klassifisering av svelletrykk.	23
4.1	Forventet bergklassefordeling ved Eikremtunnelen.	46
4.2	Forventet sikringsomfang.	46
4.3	Forventede svakhetssoner i Eikremtunnelen.	51
4.4	Laboratorieresultater fra Eikremtunnelen.	52
4.5	Erfart bergklassefordeling i Eikremtunnelen.	53
4.6	Oversikt over utført sikring- og injeksjonsarbeid.	54
4.7	Oversikt over påtrufne soner i Eikremtunnelen.	55
4.8	Sammenheng mellom resistivitet og sonekarakter for begge tunneler.	68
4.9	Sammenstilling av bergmasseklassefordeling tolket fra forundersøkelsene og kartlagt i Eikremtunnelen.	69
4.10	Antall soner funnet av de ulike forundersøkelsene.	69
4.11	Sammenstilling av prognoser og erfaringer vedr. svakhetssoner i Eikremtunnelen.	70
5.1	Forventet bergklassefordeling ved Knappetunnelen	79
5.2	Forventede svakhetssoner i Knappetunnelen.	80
5.3	Laboratorieresultater Knappetunnelen.	91
5.4	Sammenstilling av svelletrykk og sikringsomfang for begge tunneler.	92
5.5	Faktisk fordeling av bergmasseklasser per 8. mai 2012.	93

5.6	Påtrufne svakhetssoner i Knappetunnelen.	96
5.7	Sammenligning av soner fra forundersøkelsene og påmøtte soner i Knappetunnelen.	107
5.8	Sammenheng mellom resistivitet og sonekarakter for Knappetunnelen.	108
5.9	Sammenstilling av bergmasseklassefordeling fra forundersøkelsene og erfaringer fra driving.	108
5.10	Antall soner funnet fra de ulike forundersøkelsene	109
6.1	Sammenheng mellom resistivitet og sonekarakter for begge tunneler.	119
6.2	Sammenstilling av svelletrykk og sikringsomfang for begge tunneler.	121

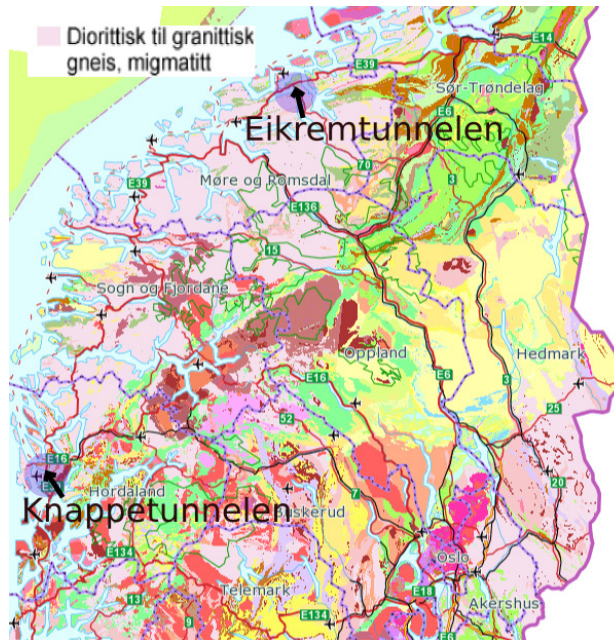
Kapittel 1

Innledning

Hovedtema for oppgaven å vurdere nytteverdien av ulike ingeniørgeologiske undersøkelsesmetoder. Dette gjøres med utgangspunkt i en sammenligning mellom forventede og faktiske ingeniørgeologiske forhold i vegtunnelene Eikremtunnelen og Knappetunnelen. Eikremtunnelen ligger på nordsiden av Tingvollfjorden i Møre og Romsdal og er en del av en forbedring av vegstandarden i området rundt Kristiansund. Knappetunnelen er en del av andre utbyggelsesfase av prosjektet Ringveg Vest sør for Bergen, som skal gi mindre trafikk-kork langs en høyt trafikkert strekningen. Plassering av prosjektene er vist i på det geologiske kartet i Figur 1.1.

Dette første kapitlet gir bakgrunn for valg av tema, presenterer metoden brukt i arbeidet samt omfang og begrensninger i behandlingen av tema. Til slutt gis det en orientering vedrørende struktur i resten av oppgaven.

I arbeidet er det særlig fokusert på *svakhetssoner* i tunnelbygging. Med svakhetszone menes soner med bergmasse som består av *vesentlig dårligere kvalitet* enn bergmassen rundt. En svakhetszone kan skyldes både forkastninger, svake mineralag, slepper osv (Nilsen, Palmstrøm, 2000). I arbeidet med oppgaven gjøres det en skjønnsmessig vurdering av termen “vesentlig dårligere kvalitet” i hver enkelt tilfelle og det forekommer derfor at soner som ikke er blitt registrert som svakhetssoner under kartleggingen har blitt tolket som svakhetssoner i resultatdelen og motsatt.



Figur 1.1 – Geologisk kart for Sør-Norge med lokalisering av Eikremtunnelen og Knappetunnelen. Kartet er hentet fra NGUs berggrunnskart på nett (www.ngu.no/kart/berggrunn).

1.1 Bakgrunn for tema

Før bygging av underjordsprosjekter er det ønskelig å ha et tilstrekkelig godt bilde av grunnforholdene slik at prosjektet kan planlegges og gjennomføres på en god måte. Utilstrekkelig informasjon om bergmassekvalitet, spenningsforhold, løsmasser, vannforhold osv. kan få store økonomiske og inndriftsmessige konsekvenser. For å hindre dette er det viktig med en god planlegging og gjennomføring av prosjekttilpassede ingeniørgeologiske forundersøkelser.

Effekten av utilstrekkelige forundersøkelser ble erfart blant annet ved den undersjøiske Bjørøytunnelen ved Bergen, hvor en uforventet sandsoner like etter byggestart førte til en dobling i total drivekostnad i forhold til estimert kostnad. I ettertid har det vist seg at denne sonen kunne blitt avdekt, dersom det hadde blitt gjennomført mer omfattende seismiske undersøkelser. Kjerneboring kunne også avdekt sandsonen (Palmstrøm et al., 2003).

Et annet eksempel som Palmstrøm et al. (2003) beskriver er Romeriksporten jernbanetunnel hvor det under driving oppstod store problemer med vannlekkasjer fra vannførende soner som ikke var identifisert av forundersøkelsene. Problemene førte til en merkostnad på 790 millioner kroner i grunnarbeid, altså et tillegg på over 120 % av prognosene på 650 millioner kroner. Ved Romeriksporten kan det

tenkes at nyere forundersøkellesmetoder som for eksempel 2D resistivitetsmålinger hadde avdekt sonene.

En viktig forutsetning for å planlegge å gjennomføre riktige forundersøkelser, er at en kjenner egenskapene til de ulike metodene - både styrker og svakheter. Dette masterarbeidet tar i for seg to geofysiske undersøkelsesmetoder; refraksjonsseismikk og 2D resistivitetsmålinger. Hovedfokus ligger på metodenes evne til å identifisere og karakterisere svakhetssoner. Både Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) og Statens vegvesen er interessert i en vurdering av de ulike metodene og det var Vegdirektoratet som foreslo temaet for oppgaven.

Svellende sleppematerialer kan skape et stort trykk på den monterte bergsikringen i en tunnel. Ved feil valg av sikringsmetode eller utilstrekkelig dimensjonering av sikringen vil dette kunne føre til utrasninger i tunnelen. Dette skjedde ved Rafnes vanntunnel, bygget mellom 1974 og 1976. Her ble det sikret med sprøytebetong på stoff, senere forsterket av nettarmering. Etter fylling av vanntunnelen gikk det flere ras. Dette viste seg å skyldes sleppeleire med meget aktive svelleegenskaper. Under rehabiliteringen av tunnelen ble rassonene sikret med betongutstøpning (Palmstrøm et al., 2003).

Dette eksemplet illustrerer bakgrunnen for laboratoriedelen av oppgaven. Tilstrekkelig informasjon om sleppematerialers svelleegenskaper er avgjørende for å kunne bygge en sikker tunnel på en økonomisk måte. Siden svelleleire ikke kan oppdages og karakteriseres med det blotte øye har Statens vegvesen satt ned krav til betongutstøpning ved tilstrekkelig høye svelletrykk i soner over en viss mektighet i vegtunneler. Spørsmålet er hvordan disse kravene blir møtt og fungerer i praksis i tunnelbygging. Også dette temaet ble foreslått av Vegdirektoratet som en del av masteroppgaven.

1.2 Formål

Oppgaven har to hovedtema:

- Refraksjonsseismikk og resistivitetsmålinger som forundersøkellesmetoder ved vegtunneler, med særlig fokus på svakhetssoner. I dette inngår følgende mål:
 1. **Analysere mulige årsaker til avvik mellom prognoser og erfaring**
 2. **Analysere nytteverdi av de to metodene som en del av forundersøkelsene ved vegtunneler**
- Laboratorieundersøkelser på sleppematerialer i vegtunneler. Målet er å:
 3. **Analysere nytteverdien av å laboratorieteste sleppematerialer fra vegtunneler**

Analysene bygger på erfaringer gjort i de to vegtunnelene Eikremtunnelen og Knappetunnelen, men knyttes opp mot erfaringer gjort tidligere ved andre tunneler.

1.3 Omfang og begrensninger

Opgavens overordnede formål er beskrevet i forrige avsnitt. Her blir målene videre beskrevet med tanke på hva de innbefatter.

Analysen av mulige årsaker til avvik mellom prognoser og erfaringer for de to tunnelene krever en sammenligning mellom forundersøkelsenes tolkning og erfaringene fra driving ved de to tunnelene. Knappetunnelen bygges med på- og avkjøringsramper til hovedløpene, men rampene er ikke inkludert i dette arbeidet.

Årsak til avvik i forbindelse med andre ingeniørgeologiske forhold enn svakhetssonene er ikke diskutert.

Refraksjonsseimikken og resistivitetmålingenes evne til å avdekke andre ingeniørgeologiske forhold er derimot tatt med - i svært begrenset grad, i vurderingen av metodens nytteverdi (mål 2). I forbindelse med målene 1 og 2 er størst vekt lagt på resistivitetmetoden, da det er for denne metoden det finnes minst erfaringer fra tidligere. I tillegg kan denne metoden ses som en utfordrer til den mer kjente refraksjonsseimsikken.

Et litteraturstudie på tidligere arbeid er også gjennomført. Litteraturstudiet begrenser seg til noen få utvalgte prosjekter. Særlig prosjektet *Miljø- og samfunnstjenlige tunneler* (Lindstrøm, Kveen, 2004) er i denne sammenheng aktuell.

Opgaven tar ikke for seg andre geofysiske undersøkelsesmetoder. Det er ikke gjort beregninger på kostnader ved de ulike metodene. Omfanget av forundersøkelser er heller ikke kvantitativt vurdert. Dette gjelder for alle målene 1-3.

I forbindelse med mål 3 er det gjennomført laboratorieundersøkelser på én sleppeprøve. Eventuelle svakheter og feilkilder med selve laboratorietestene er ikke behandlet i vurderingen av nytteverdien av metoden.

Det presiseres at resultatene og vurderingene gjelder innenfor det bestemte geologiske miljøet. Egnetheten for bruk av metodene i andre geologiske regioner diskuteres ikke.

1.4 Metode

Arbeidet er i hovedsak gjort som et rapportstudie på de to vegtunnelene Eikremtunnelen i Møre og Romsdal og Knappetunnelen i Hordaland. De viktigste kildene bak arbeidet er geologiske og geofysiske rapporter fra forundersøkelsene og drivedata fra byggeprosessen. I tillegg har en del informasjon blitt gitt personlig gjennom møter, e-post og telefonkontakt med Statens vegvesens geologer på de to prosjektene. Det er også foretatt et litteraturstudie på erfaringer fra lignende arbeid fra tidligere prosjekter.

Siden Eikremtunnelen er satt i trafikk, er ikke denne tunnelen besøkt, men 27.-28. mars 2012 ble det holdt et i møte i Oslo med Mona Lindstrøm og Tore

Humstad fra Vegdirektoratet. Tore jobber også ved Statens vegvesens kontor i Molde og har vært hovedkontaktperson i forbindelse med Eikremtunnelen. Under møtet ble de foreløpige resultatene fra arbeidet lagt frem og mer erfaringsdata fra tunneldrivingen ble samlet inn.

Befaring i Knapptunnelen ble utført 7.-8. mai 2012 og bestod av omvisning i tunnelene fra begge sider, kartlegging på stuff og møter med ansatte fra Statens vegvesen på anlegget. I tillegg ble det tatt en prøve av sleppematerialet ved sone 10 ved profil 7828 i løp 11 for testing av svelleegenskaper. Opprinnelig plan var å ha et lengre opphold i Bergen under kryssing av vanskelige svakhetssoner, men forsinkelser i drivingen gjorde at dette ikke ble mulig å gjennomføre.

Besøket i Bergen satte punktum for hvilke deler av tunnelen som er behandlet i erfaringsdelen av oppgaven og dette begrenser seg til profil 5155-6075 og fra profil 7839 ut tunnelen i nord. Disse profilnummerene gjelder for sørgående løp. Nordgående løp har per 8. mai kommet 11 meter lengre fra påhugget ved Liavatnet; til profil 7028.

Tilbake i Trondheim ble den innsamlede materialprøven analysert i SINTEFs laboratorier med differentialtermisk analyse, frisvellingsforsøk og svelletrykksforsøk med ødometer ved konstant volum som beskrevet i Avsnitt 2.6.1. Prøven ble preparert av SINTEF mens selve forsøkene ble utført av studenten i samarbeid med ansatte ved SINTEF.

1.5 Struktur

Rapporten er bygd opp på følgende måte: I Kapittel 2 gis en kort teoretisk innføring i de ulike metodene som danner grunnlaget for arbeidet, med blant annet beskrivelse av de geofysiske metodene, laboratorieundersøkelsene, Q-verdisystemet etc. Erfaringer fra utvalgte, relevante prosjekter er presentert i Kapittel 3.

I Kapittel 4 og 5 gis først en introduksjon til henholdsvis Eikremtunnelen og Knapptunnelen, etterfulgt av en presentasjon av resultater fra forundersøkelsene og erfaringene gjort under driving ved disse to vegtunnelene. Til slutt i hvert av disse kapitlene sammenlignes prognosene med erfaringene fra driving.

Diskusjonen som behandler de tre målene med oppgaven gitt i Avsnitt 1.2 følger i Kapittel 6. Til slutt blir konklusjonene fra arbeidet oppsummert i Kapittel 7 før forslag til videre arbeid er presentert i Kapittel 8.

Kapittel 2

Introduksjon til metoder

I dette kapittelet gis en innføring i de viktigste metoder som ligger til grunn for oppgavens rapportgrunnlag. I tillegg til refraksjonsseismikk, 2D resistivitet og laboratorieundersøkelser presenteres også prinsippet for IP-målinger, Q-verdisystemet og bergmasseklassifisering. Det gis også en kort presentasjon av verktøyet Novapoint Tunnel: Geologi og Bergsikring. Det antas at leseren har god kjennskap til hvordan geologisk og ingeniørgeologiske kartstudier og feltkartlegging med grunnboringer forgår. Denne basismetoden for forundersøkelsene blir derfor utelatt i presentasjonen og leseren henvises til for eksempel Nilsen, Palmstrøm (2000) for beskrivelse av metoden.

Det er utenfor oppgavens omfang å gi en full gjennomgang av behandling og tolkning av data fra de geofysiske undersøkelsene; for en mer detaljert beskrivelse av metodene og bearbeiding og tolkning av resultater i forbindelse med refraksjonsseismikk og resistivitetsmålinger henvises det til faglitteratur på området, for eksempel Reynolds (1997) eller til NGUs nettsider, hvor metodebeskrivelser finnes (www.ngu.no).

2.1 Refraksjonsseismikk

Refraksjonsseismikk benyttes for å undersøke løsmassetykkelse og løsmassetyper, bergmassekvalitet og grunnvannsnivå samt for å lokalisere svakhetssoner i grunnen. Ofte utføres de refraksjonsseismiske undersøkelsene i de mer kritiske områdene av en tunnel, for eksempel ved portalområdene og hvor terrenget indikerer vanskelige driveforhold. Seismikk kan også skytes langs hele tunneltraseen, særlig er dette aktuelt for undersjøiske tunneler (Holmøy, 2008). Å skyte refraksjonsseismikk langs hele tunneltraseen for prosjekter på land er ofte vanskelig å forsvare økonomisk; omtrentlig enhetspris for refraksjonsseismikk var i 2003 150 kr/m (Palmstrøm et al., 2003).

Den seismiske hastigheten i berg avhenger av følgende forhold (Holmøy, 2008):

- Bergartstype
- Oppsprekingsgrad: Tett oppsprukket berg gir lavere seismisk hastighet
- Spenningsnivå: Lave spenninger senker den seismiske hastigheten
- Vanninnhold: Tørre masser har lavere seismisk hastighet enn vannfylte
- Sprekkefyllinger: Fyllinger senker den seismiske hastigheten.
- Åpne sprekker senker hastigheten.

Den seismiske hastigheten sier med andre ord en del om bergmassen egenskaper. Det er ikke mulig å sette en klar hastighetsgrense som skiller godt berg fra svakhetssoner, men områder med seismisk hastighet lavere enn 3500/4000 m/s er vanligvis tolket som svakhetssoner (Nilsen, 2012)/(Pedersen, 2003).

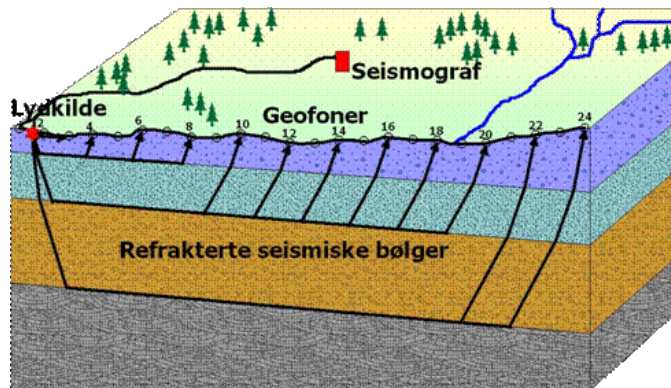
I all enkelhet går en refraksjonsseismisk land-undersøkelse ut på å frigi et seismisk signal i bakken som registreres av geofoner i en stor avstand fra kilden. Så registreres gangtiden for de refrakterte bølgene som beveger seg i laggrenser i bergmassen (Landrø, 2008).

De seismiske bølgene er elastiske, og tiden fra skudd til første *refrakterte* signal når av geofonene registreres Dette i motsetning til ved refleksjonsseismikk, hvor første *reflekterte* signal registreres. Tidmålingene gir utgangspunkt for et plott av gangtid mot distanse.

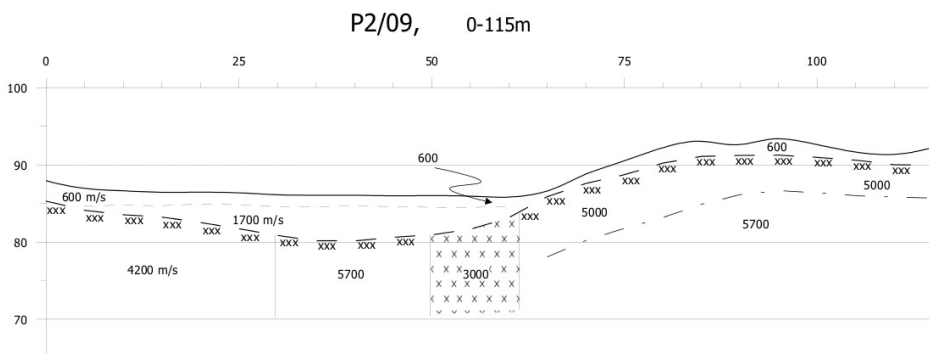
Metoden baserer seg på at den seismiske hastigheten øker nedover i grunnen. Da vil de refrakterte signalene fra underliggende lag ta igjen signalene fra laget over når avstanden mellom lydkilde og geofon er av en viss størrelse. Prinsippet er skissert i Figur 2.1. Her ser en at førsteadkomst ved geofonene nærmest lydsignalet (geofon 1-9) stammer fra bølgene fra det øverste laget, men når en beveger seg lenger bort, har bølgene fra det underliggende laget tatt igjen de øverste bølgene, slik at bølgene fra lag 2 registreres. Fra geofon 22 har de refrakterte bølgene fra det nederste laget passert *disse* bølgene igjen, slik at gangtidene herfra og ut til geofon 24 gjelder for lag 3 (Pedersen, 2003).

Siden det kun er første signal som registreres, vil dette kunne brukes til å finne både tykkelse og seismisk hastighet av de ulike lagene. Tolkningen framstilles grafisk som et snitt gjennom måleprofilen i en seismisk seksjon, som vist i Figur 2.2. Her ser en de tolkede svakhetssonene som vertikale soner med avvikene lav hastighet i forhold til bergmassen rundt. Av profilen framkommer også overflatetopografien, tolket dybde av løsmassene med inntegning av eventuelle løsmasselag samt en laggrense i berg. Denne linjen representerer som regel overgangen mellom dagberg og fast berg (Pedersen, 2003). Seksjonen i Figur 2.2 er laget for seismikk skutt som en del av forundersøkelsene til Knappetunnelen.

For å kunne identifisere alle de geologiske lagene i grunnen, stilles det krav til at den seismiske hastigheten øker nedover i profilen og at de ulike seismiske lagene



Figur 2.1 – Prinsippskisse for refraksjonsseismikk som viser lydkilde, geofoner og de refrakterte signalene (www.geophysix.com). Se tekst for forklaring.



Figur 2.2 – Eksempel på refraksjonsseismisk profil. Illustrasjonen er hentet fra Geo-Physix (2009) og viser et profil fra målinger gjort ved Stormyra ved Knappetunnelen. Den heltrukne linjen viser terrengoverflaten. Den tynde stiplede linjen indikerer laggrenser i løsmasser mens den tykke stiplede linjen viser bergoverflaten. Den nederste stiplede linjen indikerer dagbergsonen. En svakhetszone ses mellom profil 50 og 60 som en vertikal sone med lav hastighet.

har en tilstrekkelig mektighet for å detekteres. I enkelte tilfeller kan seismiske lag i grunnen bli oversett i målingene eller tolkningene av gangtidsplottene. Reynolds (1997) beskriver følgende mulige årsaker til usynlige lag:

- Seismisk inversjon (lavere seismisk hastighet nedover i bergmassen)
- Lav hastighetskontrast
- For liten mektighet av laget
- For stor geofonavstand

I tillegg til disse feilkildene, er det viktig å huske at det er flere mulige tolkninger av gangtidsplottene. Det er dessuten ikke mulig å skille på om en kalkulert lav hastighet skyldes for eksempel oppsprekking i kombinasjon med vann eller om det skyldes kun intens oppsprekking i tørt berg. Ved standard inversjonsmetoder gir refraksjonsseismsikken ingen indikasjoner på fall og dybderekkevidde av lavhastighetssonene (Rønning, 2012b).

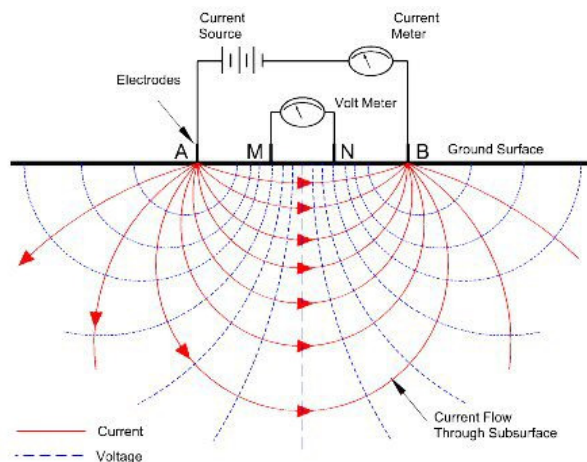
2.2 2D resistivitetsmålinger

Denne metoden benytter grunnens evne til å lede strøm til å lage en 2D-modell av resistivitetsfordelingen mot dypet. Modellen benyttes for å lokalisere soner med svakere bergmasse og eventuelt tilstedeværelse av vann og/eller leirmineraler (Rønning, 2003).

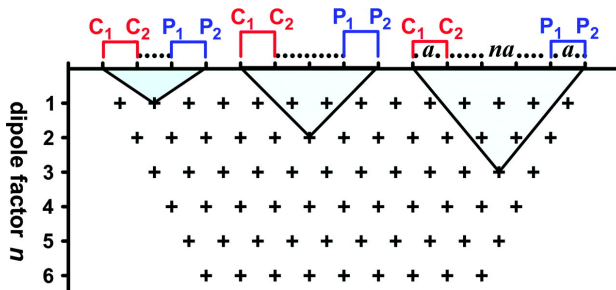
I og med at de fleste bergartsdannende mineraler ikke leder elektrisk strøm avhenger resistiviteten i hovedsak av pore- og sprekkeegenskapene til bergmassen. Svakhetssoner med tett oppsprekking og eventuelt leirmineraler vil lede strøm godt og dermed være lavresistive (Holmøy, 2008). Metoden gjør det dessuten mulig å skille mellom soner med vann som hovedproblem og soner med leire og mer ustabile bergmasser ved at leirsoner har lavere resistivitet enn rene vannsoner på grunn av at leirmineraler leder strøm (Rønning, 2003).

Målingen går ut på legge ut kabler med en rekke elektroder tilkoblet, for så å sende en direktestrøm ned i bakken mellom to strømelektroder mens spenningsstapet måles og registreres ved to og to parvise potensialelektroder etter et fastsatt mønster. Hver elektrode kan fungere både som strøm- og potensialelektrode og alt er koblet sammen i et relé hvor hele prosessen styres fra en PC. Et system med fire kabler kan se 130 meter ned i bakken. I praksis er rekkevidden ofte mindre, typisk rundt 80 meter (Rønning, 2003, 2012b). Utbredelse av strømmen og spenningsfordelingen i bakken er vist i illustrasjonen i Figur 2.3.

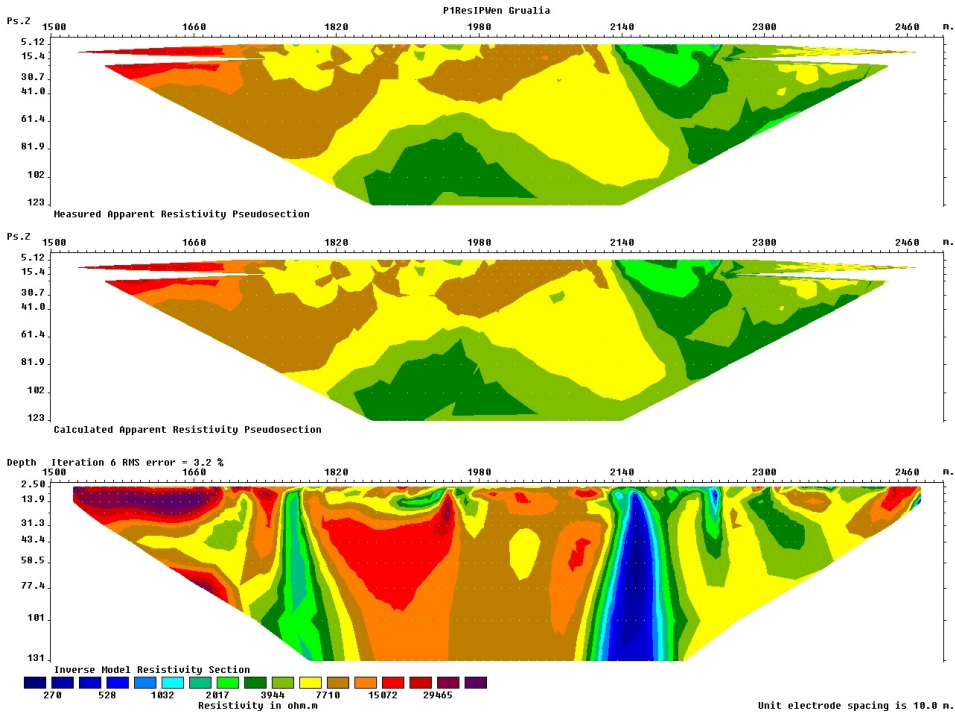
For å produsere et lateralt profil, flyttes elektrodene sideveis. For å se mot dypet, økes elektrodeavstanden. Ved å benytte flere elektroder kan en få fram et to-dimensjonalt bilde (Pedersen, 2003). Prinsippet bak dette er vist i Figur 2.4. Som en ser, vil en stadig kunne se lenger ned i bakken ved økende elektrodeavstand.



Figur 2.3 – Skjematisk skisse av prinsippet bak resistivitetsmålinger. Figuren er hentet fra nettsidene til Northwest Geophysical Associates, Inc. (www.nga.com)



Figur 2.4 – Skisse som viser illustrerer at økt avstand mellom elektroder gir økt dybderekkevidde. Kombinert med en lateral bevegelse av målekablene gir dette et todimensjonalt resistivitetsbilde (al Hagrey, 2006).



Figur 2.5 – Pseudoseksjon fra målte data (øverst) med den itererte modellen nederst. I midten ses pseudoseksjonen for modellen (NGU, 2008). Eksempelet er fra Lunnertunnelen.

Figuren viser elektrodekonfigurasjonen dipol-dipol, men økt elektrodeavstand vil gi tilsvarende muligheter til å se i dypet med andre oppsett.

De målte resistivitetene plottes i to dimensjoner i en såkalt pseudoseksjon. Dette viser den tilsynelatende resistiviteten i et fiktivt dyp i profilet og representerer et snitt av resistiviteten til alle materialene strømmen har gått gjennom (NGU, 2008).

For å finne den faktiske resistiviteten, benyttes inversjon og iterasjoner for å finne fram til en modell som passer til de målte data. Grunnen deles da opp i mindre blokker som blir satt til å ha en viss resistivitet som endres fram til en har fått en modell hvor modellens pseudoseksjon passer den opprinnelige pseudoseksjonen. Denne modellen vil bli den endelige modellen for resistiviteten i grunnen (NGU, 2008).

Figur 2.5 viser et eksempel fra Lunnertunnelen på pseudoseksjon fra feltmålinger (øverst) og den tilsvarende modellen (nederst) med sin pseudoseksjon (i midten). Som en ser er de to pseudoseksjonene svært like, noe som tyder på en god modell for de målte dataene (NGU, 2008).

I inversjonen kan det benyttes forskjellige vertikal/horisonenl-filtre (V/H-filtre). Ved bruk av filter, kan vertikale/horisontale strukturer favoriseres. Et filter på 2 som favoriserer vertikale strukturer er ofte brukt. Det er også mulig å velge et

nøytralt filter på 1 eller et som favoriserer horisontale strukturer ($V/H=0,5$) (Reiser et al., 2009).

Dersom den generelle bergmassen i området har tilstrekkelig høy resistivitet kan en se eventuelle lavresistive soner i resistivitetsmodellen. Høy resistivitet kreves for å kunne oppnå en tilstrekkelig høy kontrast mellom høy- og lavresistive områder som kan gjøre sonene synlige (NGU, 2008). Erfaringer fra prosjekter i Norge har vist at tilstrekkelig kontrast oppnås ved generell resistivitet høyere enn $5000 \Omega m$ (Rønning, 2012a). Nederst i Figur 2.5 ses to slike lavresistive soner i blå til grønn farge.

En svært nyttig egenskap ved resistivitetsmetoden er at den gir informasjon om soners orientering mot dypet. Som en ser nederst i Figur 2.5, er de to lavresistive sonene tolket å være vertikale. Fallet kan ikke fastsettes kvantitativt, men settes i tolkningen til å være slakt ($< 45^\circ$), moderat ($45-80^\circ$) eller steilt ($>80^\circ$). Fallet er angitt som det tolkede fallet langs måleprofilen (Rønning, 2012b).

I tillegg til å være en billig metode (Louis et al., 2002), er metoden forholdsvis effektiv: To personer kan i løpet av en dag måle resistivitet langs et profil på 500-600 meter før data inverteres i løpet av 3-4 timer. Metoden er altså lite ressurskrevende og gjør heller ikke skade på naturen. I motsetning andre metoder som for eksempel den elektromagnetiske metoden *Very Low Frequency* (VLF, se f.eks. Reynolds (1997)), forstyrres resistiviteten dessuten lite av tekniske installasjoner i nærheten, og relative resistivitetsverdier kan uansett finnes (Rønning, 2003).

2.3 IP-målinger

Som en konsekvens av at enkelte mineraler, blant annet grafit, er strømledende, vil disse kunne forstyrre resultatene fra resistivitetmålingene ved at strømledende mineraler vil senke resistiviteten og dermed kunne gi uriktige svakhetssoner i resistivitetsprofilen (Holmøy, 2008). Derfor er det anbefalt å måle IP-effekt samtidig som en gjennomfører resistivitetmålinger. Dette gjøres med samme utstyr (Rønning, 2003).

Metoden går ut på å måle bakkens evne til å polariseres ved å indukere en polarisasjon og måle hvor fort reststrømmen i bakken forsvinner etter at strømkilden er slått av (time domain). I tillegg til å luke ut soner med feiltolket lav resistivitet, kan metoden i teorien bidra til å skille de ulike svakhetssonetyperne fra hverandre som vist i Tabell 2.1 (Holmøy, 2008). Metoden har imidlertid vist dårlig samsvar mellom IP-effekt og svakhetssoner (Rønning, 2003).

Tabell 2.1 – Tolkning av svakhetssonetype ut fra resistivitet og IP-effekt (fra Holmøy (2008)).

Svakhetssonetype	Resistivitet	IP-effekt
Leirrik	Lav	Lik/høyere enn omliggende berg
Vannførende og leirrik	Lav	Lavere enn omliggende berg
Vannførende	Medium	Lavere enn omliggende berg
Tørt, oppsprukket berg	Høyere enn for vannførende soner	Lik som omliggende berg

2.4 Q-verdi, bergklasse og bergsikring

En måte å kvantitativt klassifisere bergmassekvalitet er via Q-metoden. Gjennom å tallfeste verdier for blokkstørrelse/oppsprekkingsgrad, sprekkeegenskaper, vanninnhold og bergspenninger beregnes en Q-verdi mellom 0,001 og 1000 ut fra Formel 2.1. RQD og J_n i formelen beskriver blokkstørrelse og oppsprekkingsgrad, J_r og J_a angir ruhet og sprekkefylling og J_w og SRF beskriver henholdsvis vann- og spenningsforhold (Statens vegvesen, 2010a).

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (2.1)$$

Lavere Q-verdi angir en svakere bergmasse. Kriterier for å sette parameterverdiene i Formel 2.1, samt en mer detaljert beskrivelse av metoden finnes i Teknologirapport 2538 (Statens vegvesen, 2010a) og er gjengitt i Vedlegg C.1.

Q-verdien kan beregnes i forundersøkelsene fra feltkartlegging og kjerneboring. I tillegg finnes det en relasjon mellom seismisk hastighet og Q-verdi: hastigheter over 4500 m/s tilsvarer Q-verdier >10 og hastigheter <3500 m/s tilsvarer Q-verdier <1 (Statens vegvesen, 2010a). Seismisk hastighet avhenger imidlertid av bergartstype, bergartens trykkstyrke, anisotropi og hovedspenningsretning, slik at dette også må med i betraktningen når Q-verdien anslås. En mer prosjektspesifikk inndeling kan også gjøres, som ved Eikremtunnelen. Tabell 2.2 viser den antatte relasjonen mellom Q-verdi og seismisk hastighet for denne tunnelen.

(Barton, 2002) har dessuten foreslått følgende sammenheng mellom Q-verdi og seismisk hastighet (V_p):

$$V_p = \log Q_c + 3,5 = \log\left(\frac{Q \times \sigma_c}{100}\right) + 3,5 \quad (2.2)$$

Her er σ_c er bergartens enaksiale trykkstyrke. V_p er i km/s.

Tabell 2.2 – Antatt sammenheng mellom Q-verdier og seismisk hastighet fra forundersøkelsene ved Eikremtunnelen (Humstad, 2009).

Q-verdi	Seismisk hastighet (m/s)
10-40	>4500
4-10	4000-4500
1-4	3500-4000
0,1-1	3000-3500
0,01-0,1	<3000

Bartons formel har imidlertid vist seg å ikke stemme godt overens med observasjoner gjort på sammenhengen mellom Q-verdi og seismisk hastighet slik at heller en direkte overføring som i Tabell 2.2 benyttes (Rønning, 2003) .

Q-verdien brukes til å dele berget inn i syv forskjellige bergmasseklasser fra A til G. Statens vegvesen har definert seks egne sikringsklasser for vegtunneler ut fra Q-verdi/bergmasseklasse, presentert i Håndbok 021 (Statens vegvesen, 2010b). Inndelingen er vist i Tabell 2.3.

Som en ser av tabellen setter sikringsklassen krav til alt fra type og antall bolter til bruk og oppbygging av sprøytebetongbuer. Gjennom forundersøkelsene kan en altså anslå Q-verdien langs traseen og benytte denne for å anslå bergmassekvaliteten og det tilhørende sikringsomfanget for en vegtunnel. En videre prosjektilpasset inndeling og spesifisering av de forskjellige klassene ut fra Q-verdi er også mulig.

Under driving av vegtunneler fastsettes Q-verdien for hver salve i henhold til krav til dokumentasjon gitt av Statens vegvesens (Statens vegvesen, 2010b), og sikringsklasse bestemmes ut fra dette. I tillegg vil resultatene fra forundersøkelsene være med å bestemme sikringsomfanget langs tunnelen ved at det ved driving mot forventede svakhetssoner skal etableres en undersøkelses- og sikringszone minst 15 meter før sonen er forventet. Her skal sonderboring, forbolting og eventuell injeksjon startes (Statens vegvesen, 2010b).

Tabell 2.3 – Bergmasseklasse og sikringsklasse fra Q-verdi (Statens vegvesen, 2010b).

Bergmasse klasse	Bergforhold Q-verdi ⁽¹⁾	Sikringsklasse Permanent sikring
A/B	Lite oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand > 1m. Q = 10 – 100	Sikringsklasse I - Spredt bolting - Sprøytebetong B35 E700 tykkelse 80 mm, ned til 2 m over såle
C	Moderat oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand 0,3 – 1 m. Q = 4 – 10	Sikringsklasse II - Systematisk bolting (c/c 2 m), endeforankrete, forspente, gyste - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm, sprøytes ned til såle
D	Tett oppsprukket bergmasse eller lagdelt skifrig bergmasse. Midlere sprekkeavstand < 0,3 m. Q = 1 – 4	Sikringsklasse III - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 100 mm eller mer. - Systematisk bolting (c/c 1,5 m), endeforankrete, endeforankrete som gyses i ettertid, eller gyste
E	Svært dårlig bergmasse. Q = 0,1 – 1	Sikringsklasse IV - Forbolting ved Q < 0,2, ø25 mm, maks. c/c 300 mm - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm. - Systematisk bolting, c/c 1,5 m, gyste - Armerte sprøytebetongbuer ved Q < 0,2, buedimensjon E30/6 ø20 mm, c/c 2 – 3 m, buene boltes systematisk, c. 1,5 m, lengde 3 – 4 m. ⁽²⁾ - Sålestøp vurderes
F	Ekstremt dårlig bergmasse. Q = 0,01 – 0,1	Sikringsklasse V - Forbolting, c/c 200 – 300 mm, ø32 mm eller stag (selvborende). - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 – 250 mm. - Systematisk bolting, c/c 1,0 – 1,5 m, gyste. - Armerte sprøytebetongbuer, buedimensjon D60/6+4, ø20 mm, c/c 1,5 – 2 m, buene boltes systematisk, c. 1,0 m, lengde 3 – 6 m. ⁽²⁾ - Armert sålestøp, pilhøyde min. 10 % av tunnelbredden.
G	Eksepsjonelt dårlig bergmasse, stort sett løsmasse, Q < 0,01	Sikringsklasse VI - Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt.

⁽¹⁾ Q-verdiene er gitt for uniaxial compressive strength, UCS = 100 MPa

⁽²⁾ For krav til materialer, metoder og løsninger henvises til Teknologirapport nr. 2538: Arbeider foran stoff og stabilitetssikring i veggutninger.

2.5 Novapoint Tunnel

Begge prosjektene diskutert i denne oppgaven har gjennom Statens vegvesens NArundskriv 2007/3 krav til å levere en teknisk sluttrapport etter ferdigstillelse. Teknisk sluttrapport skal blant annet inkludere dokumentasjon av geologisk og ingeniørgeologisk kartlegging, utført bergsikring i tunnelen og eventuelle avvik mellom forventet og faktisk sikringsomfang med årsaker til disse avvikene (Statens vegvesen, 2007b).

For å sikre kontinuerlig datafangst og en god måte å lagre og presentere data på, benyttes programvaren *Novapoint Tunnel: Geologi og bergsikring* (heretter bare kalt Novapoint) ved begge de undersøkte tunnelene. Novapoint er et system for registrering og dokumentasjon av geologi og sikring under driving av tunneler. I programmet registreres alt fra geologi til utført sikringsarbeid og borparametertolkninger (BPT) og kan i ettetid enkelt benyttes for å produsere grafiske og skjematisk framstillinger av forholdene langs tunnelen. Eksempler på geologiske elementer som kartlegges på stuff og legges inn i Novapoint er sprekkemålinger, bergartstype og svakhetssoner (Høien, 2009).

2.6 Sleppematerialets svelleegenskaper

I forbindelse med dette arbeidet, skal nytteverdien av laboratorieundersøkelser på sleppematerialer i forbindelse med bestemmelse av sikringsomfang i tunnel vurderes. Her brukes ordet “sleppemateriale” for løsmateriale i slepper og svakhetssoner. Materialets svelleegenskaper er i denne sammenheng av størst interesse, da svellende leirmateriale vanligvis utgjør den største risikoen for stabilitetsproblemer i leirfylte soner (Nilsen, Broch, 2009).

Dette skyldes at svellende materialer vil kunne utøve et stort trykk på bergmassen og oppført sikring i en tunnel og gi stabilitetsproblemer. Ikke-svellende leire gir problemer mer i retning av nedsatt friksjon og utvasking av sleppemateriale (Nilsen, Broch, 2009).

Svellende leirmineraler kalles *smektitter*, hvorav det mest aktuelle leirmineralet i Norge er montmorillonitt. Dette mineralet finnes i ulike mengder i alle norske geologiske formasjoner, men er særlig vanlig i prekambriske gneiser hvor mineralet kan dannes som et forvittringsprodukt av feltpat (Løset, 2006).

Prøvetaking av sleppemateriale gjøres som regel ikke under forundersøkelsene. Det er mulig å ta opp prøver av sleppematerialet fra dagen ved bruk av kjerneboring for å inkludere resultatene som en del av forundersøkelsene. Ved bruk av kjerneboring til å ta prøve er det viktig å være forsiktig med vannspylingen for å sikre nok prøvemateriale. Laboratorieundersøkelsene planlegges derfor heller som en del av de utsatt undersøkelsene. Prøvene samles da enten på stuff eller fra kjerneboringer framover langs tunneltraseen for så å bli testet i laboratoriet (Nilsen, 2012).

2.6.1 Laboratorieundersøkelse

Ved Eikremtunnelen og Knappetunnelen ble følgende laboratorieundersøkelser på sleppemateriale gjennomført:

- Mineralogi
 - Røntgendiffraksjonsanalyse (XRD)
 - Differentialtermisk analyse (DTA)
- Svelling
 - Frisvelling
 - Svelletrykksmåling i ødometerskål

Under følger det en metodebeskrivelse av disse fire undersøkelsene. Bruken av laboratorieresultatene behandles i Avsnitt 2.6.2.

Prøvepreparering

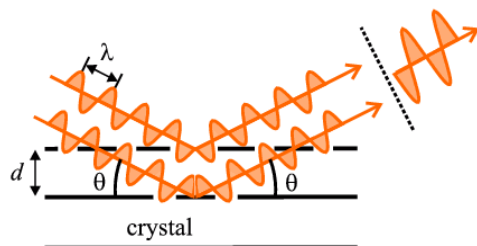
Prøven prepareres likt for alle de følgende testmetodene. Den innsamlede materialprøven inneholder ofte en del grovere materiale som grus og stein i tillegg til det finere materialet. Testmaterialet $<20 \mu\text{m}$ skilles ut ved sedimentering i destillert vann. Prøvefraksjonen plasseres deretter i tørkeskap, før den får hvile ute i laboratoriet. Til slutt males prøvematerialet ned til pulver i en porselensmorter (Mao et al., 2011). Prøvematerialet for XRD-analysen gjennomgår den samme prosessen en gang til, for å få prøvemateriale mindre enn $6 \mu\text{m}$ (Dahl, 2012).

XRD

XRD-analyse eller *røntgendiffraksjonsanalyse* er en mineralogisk undersøkelse som registrerer interferensmønstre som oppstår når mineraler reflekterer røntgenstråler. De konstruktive interferensmønstrene oppstår når gangforskjellen fra de ulike planene i mineralet er lik et helt antall bølgelengder (Nilsen, Broch, 2009). Ut fra dette kan en finne avstanden mellom planene - *gitteravstanden* i reflektormineralet ut fra Braggs lov:

$$n\lambda = 2d \times \sin\theta \quad (2.3)$$

Gitteravstanden d er forskjellig fra mineral til mineral. Om en kjenner n og λ og har målt θ , kan en ut fra Formel 2.3 beregne d og identifisere det tilhørende mineralet gjennom en sammenligning mot en database med kjente mineraler. Metoden angir mengder av de ulike mineralene i vekt-prosent (wt%) (Nilsen, Broch, 2009; SINTEF, 2012b).



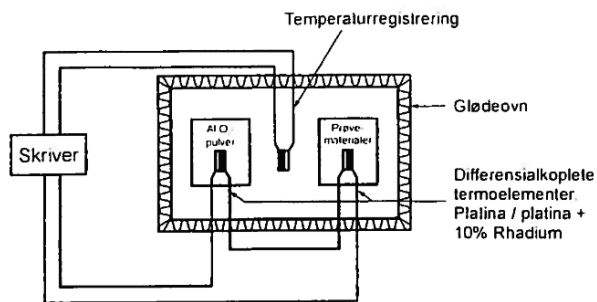
Figur 2.6 – Prinsipp for konstruktiv interferens ved røntgendiffraksjon. Figuren er fra School of Crystallography, Birkbeck, University of London (<http://pd.chem.ucl.ac.uk>).

DTA

Den *differentialtermiske analysen* av sleppematerialet bygger på at en del mineraler ved spesielle temperaturer enten avgir eller tar opp varme i det de forandrer krystallstruktur. Dette brukes så til å bestemme hvilket eller hvilke mineraler prøvematerialet består av ved å se på hvilke reaksjoner som skjer ved de ulike temperaturene (SINTEF, 2012a).

Under analysen varmes mineralpulveret kontrollert opp samtidig med et kontrollmateriale som ikke undergår noen termisk reaksjon under det gitte temperaturintervallet. Når en endoterm eller eksoterm reaksjon skjer i prøvematerialet, registreres dette av apparaturet ved at det oppstår en temperaturforskjell mellom prøvematerialet og kontrollmaterialet. Prøven kjøres ofte opp til 1050°C før temperaturen igjen senkes ned til utgangspunktet. Målingene foregår både under oppvarming og nedkjøling. Under analysen gjort i forbindelse med dette masterarbeidet, ble oppvarmingen avsluttet ved 750°C , da dette er vanlig prosedyre på laboratoriet.

Figur 2.7a viser skjematisk oppsettet av apparaturet. Prøvene og kontrollmaterialet er plassert i hver sin beholder hvor det er plassert termometerelementer som måler temperaturen i materialene under oppvarming. Temperaturforskjellen mellom de to materialene plottes mot testtemperatur. Mineralene identifiseres gjennom en sammenligning av DTA-kurven med kurver fra kjente mineraler, f.eks. som vist i Figur 2.8. Metoden gir ikke ut noen mengdeangivelse av de ulike mineralene, i motsetning til XRD (SINTEF, 2012a).

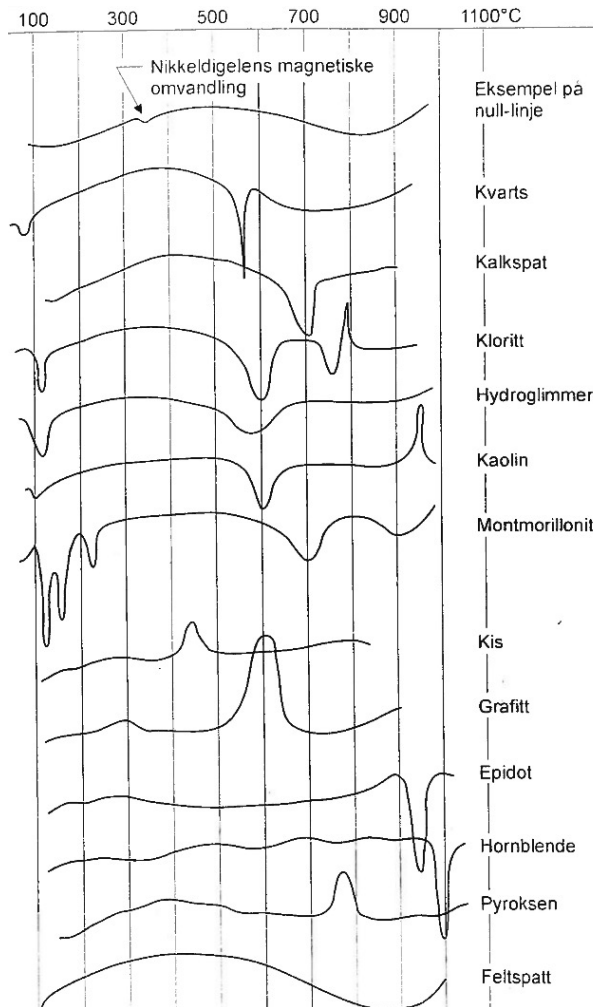


(a) Prinsippkisse av DTA-apparatur som viser prøvene inne i en glødeovn med kjent temperatur. Når det oppstår en temperaturforskjell mellom prøvematerialet og kontrollmaterialet, oppstår en spenning mellom de (SINTEF, 2012a).



(b) To parallelle prøver plassert i analyseapparatet med referansemateriale til høyre. Foto: Mari Lie Arntsen.

Figur 2.7 – Prinsippkisse og foto av apparatur for differentialtermisk analyse.



Figur 2.8 – Eksempelkurver for ulike mineraler undersøkt ved DTA (SINTEF, 2012a). De kjente kurvene brukes for å identifisere mineraler i prøven.

Frisvelling

Frisvellingforsøket går ut på å måle volumet vann undersøkelsesmaterialet tar opp under sedimentasjon. Fri svelling (FS) defineres som det volumet materialet inntar etter å ha fått svellet fritt, uttrykt i prosent av opprinnelig volum på 10 ml av løst pakket materiale (Statens vegvesen, 2007a; Palmstrøm et al., 2003).

Med utgangspunkt i Figur 2.9, brukes følgende beregningsformel for fri svelling:

$$FS = \frac{V_1}{V_t} \times 100\%$$

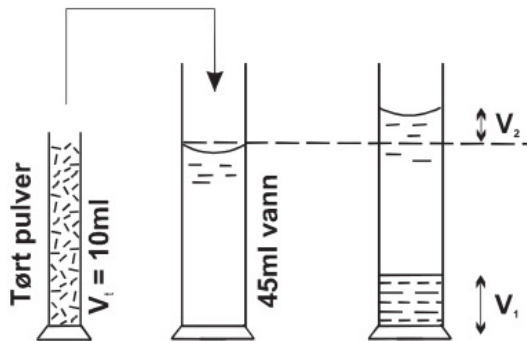
V_1 og V_t er volum av henholdsvis sedimentert materiale etter fri svelling og volum av tørt, løst pakket materiale (Nilsen, Broch, 2009).

Testen gir raskt et grunnlag for å vurdere om prøvematerialet er svellende eller ikke, og materialet klassifiseres fra *ikke aktivt* til *meget aktivt* etter inndelingen vist i Tabell 2.4. Metoden gir ikke grunnlag for å vurdere potensielt svelletrykk i prøven.

Tabell 2.4 – Sammenheng mellom fri svelling og svelleegenskaper til leirmateriale (Statens vegvesen, 2007a).

FS, %	Materialegenskaper
>150	Meget aktivt
120-150	Middels aktivt
80-120	Lite aktivt
<80	Ikke aktivt

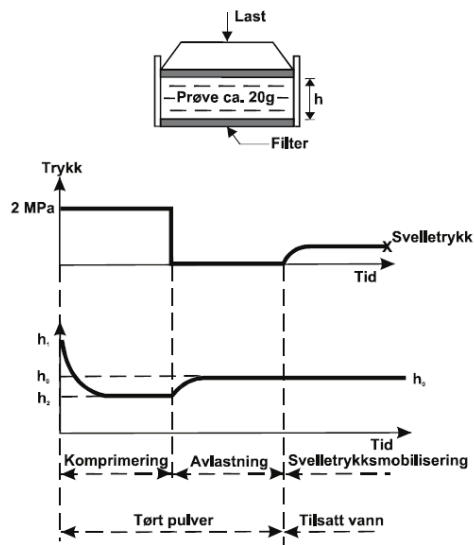
Prøver som viser svellende egenskaper, sendes ofte til videre måling av svelletrykk.



Figur 2.9 – Prinsippkisse for fri svelling (Palmstrøm et al., 2003).

Svelletrykk

Måling av svelletrykk kan gjøres enten ved konstant volum eller som avlastningsforsøk med konstant trykk. I dette masterarbeidet foreligger kun resultater fra forsøk med konstant volum, og det er denne metoden som presenteres her.



Figur 2.10 – Prinsipp for måling av svelletrykk ved konstant volum (Palmstrøm et al., 2003).

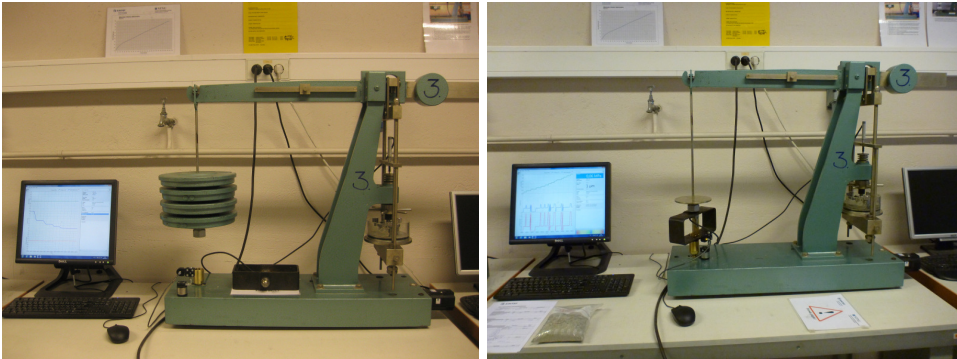
Tabell 2.5 – Inndeling av svelletrykk.

Klassifisering	Svelletrykk, MPa
Meget høyt	>0,75
Høyt	0,30-0,75
Middels	0,10-0,30
Lavt	<0,10

Prinsippet for forsøket er illustrert i Figur 2.10. Under forsøket plasseres det tørre materialet i en ødometerskål som først påføres et trykk på 2 MPa i minst 24 timer før deretter å bli avlastet igjen to timer før testingen begynner. Volumet prøven har etter avlastning er det konstante volumet som beholdes gjennom hele forsøket. Prøven settes i vann, og trykket som oppstår når materialet sveller registreres i minst 24 timer. Svelletrykket er definert som stabiliseringstrykket hvor prøven er ferdig svellet og gis i MPa. Inaktive materialer gir vanligvis svelletrykk på under 0,15 MPa. Aktive materialer har svelletrykk fra ca. 0,3 MPa og oppover (Palmstrøm et al., 2003; SINTEF, 2012b).

Apparatet er vist i Figur 2.11. Prøvematerialet er plassert i ødometeret til høyre i bildene.

Norsk bergmekanikkgruppe (NBG) klassifiserer svelletrykket som lavt, middels, høyt og meget høyt etter inndelingen vist i Tabell 2.5 (Mao et al., 2011).



(a) Forkompaktering med 4×100 N vektskiver (til venstre), tilsvarende 2 MPa i ødometerskålen (til høyre).

(b) Under svelling i vann. Prøvevolumet holdes konstant og svelletrykket registreres av en kraftring (til venstre) og logges digitalt.

Figur 2.11 – Apparat for svelletrykksmåling under konstant trykk. Foto: Mari Lie Arntsen.

2.6.2 Bruk av laboratorieresultatene

Resultatene fra de mineralogiske undersøkelsene brukes til å få en indikasjon på sleppematerialets svelleegenskaper ved at enkelte mineraler er mer svellende enn andre. XRD-analysen angir dessuten anslått mengde av de ulike mineralene. De mineralogiske undersøkelsene fungerer kun brukt som et supplement eller en indekstest til svellestene (Løset, 2006).

Som nevnt utføres ofte frissvelletesten som en innledende undersøkelse av sleppematerialet. Dersom materialet viser seg å være aktivt, sendes det videre til svelletrykksmåling. Resultatet herfra vil være med på å bestemme det endelige sikringsomfanget i tunnelen.

Betongutstøpning gir en sterk sikringskonstruksjon i tunnel. I tillegg har det vist seg at det maksimale svelletrykket kan senkes betraktelig ved å tillate noe utvidelse av materialet. Betongstøp gir mulighet for utvidelse, slik at sikringskonstruksjonen blir utsatt for langt lavere trykk enn det en evt. sprøytebetong sprutet rett på bergoverflaten ville opplevd (Nilsen, Broch, 2009).

På grunn av dette er det fra Statens vegvesen stilt krav om at soner med sleppemateriale med målt svelletrykk på over 0,5 MPa fra ødometer sikres med betongutstøpning dersom svelleleiresonen er over to meter bred eller om sonen følger tunnelen i mer enn to løpemeter (Statens vegvesen, 2010b,a). I Teknologisk Rapport 2538 Statens vegvesen (2010a) står det videre at “ved mistanke om svelleleire så skal dette undersøkes grundigere med fargetest, svellestest, differentialtermisk analyse eller røntgendiffraksjon (XRD)“.

Siden grenseverdien gjelder for maksimalt svelletrykk målt i laboratoriet, tar kravet altså kun hensyn til det potensielle svelletrykket i finfraksjonen av sleppematerialet

og ingen hensyn til de faktiske svelleegenskapene til sleppematerialet in-situ. Kravet basere seg altså på et *worst case scenario*. In-situ svelletrykk avhenger av blant annet pakningsgrad, leirinnhold, vanntilgang i sonen og partikkelbindinger (Nilsen, Broch, 2009).

Dersom materialet viser seg å være svellende, men med svelletrykk *under* grensa på 0,5 MPa, benyttes ofte sprøytebetongbuer som sikring. Sprøytebetongbuer egner seg relativt godt til sikring i soner med svellende materiale da buene tillater en viss deformasjon av berget og gir en mindre stiv sikring enn den vanlige sikringen med bolter og sprøytebetong. Dersom det hverken benyttes sprøytebetongbuer eller betongutstøpning gjennom svelleleiresonen, *kan* sikring med radielle bolter og sprøytebetong benyttes dersom et elastisk materiale som for eksempel steinull, legges mellom bergoverflaten og den fiberarmerte sprøytebetong. Dette gir rom for noe deformasjon, slik at det endelige svelletrykket kan reduseres (Sve et al., 2008).

Kapittel 3

Tidligere arbeid

Studier tilsvarende denne masteroppgaven, med vurdering av bruk av refraksjonsseismikk og resistivitetsmålinger i forbindelse med tunnelprosjekter er gjort tidligere. Erfaringer fra bruk av metodene ved tunnelene listet under presenteres her.

- Lunnertunnelen, vegtunnel Oppland
- Asker - Jong, jernbanetunnel Akershus
- E39 Øysand - Thamshavn: Viggjatunnelen, Storsandtunnelen, Mannsfjelltunnelen, vegtunneler Sør-Trøndelag
- Bolmentunnelen, vanntilførselstunnel Skåne, Sverige
- Hanekleivtunnelen, vegtunnel Vestfold
- Ravneheitunnelen, vegtunnel Vest-Agder
- Vadfosstunnelen , vegtunnel Telemark

Det er gjort få analyser av laboratorieundersøkelsers nytteverdi tidligere, men Catrine Hatlenes (Hatlenes, 2011) berører temaet i sin masteroppgave ved NTNU fra 2011. Noen hovedmomentene fra hennes vurderinger blir presentert i Avsnitt 3.3.

3.1 Refraksjonsseismikk

Refraksjonsseismikk er fra før brukt i langt oftere enn resistivitetsmålinger, men direkte sammenligning mellom tolkningene fra seismikken og de faktiske forholdene i tunneller er fortsatt gjennomført i mindre grad; ofte er det den generelle egnetheten for metoden som blir presentert: Metoden egner seg godt for å avdekke

svakhetssoner og dårlig bergmasse, men dekker kun de øverste meterene av grunnen (se for eksempel Rønning (2003); Stanfors (1987); Ganerød et al. (2006)).

En mer kvantitativ sammenligning av resultatene fra refraksjonsseismikken og observasjoner under driving av Bolmen vanntunnel, viser at av totalt 482 hastighetsanomalier (seismisk hastighet under 5000 m/s) registret av refraksjonsseismikken ble 449 relatert til svakhetssoner i tunnelen under driving. For Bolmen tunnel har dessuten seismiske hastigheter < 3900 m/s en klar sammenheng med vannlekkasjer inn i tunnelen (Stanfors, 1987).

En viktig ulempe ved metoden er at den ikke gir informasjon om soners fall og utstrekning med de metodene som normalt benyttes i dag. Nye tomografiske inversjonsmetoder har imidlertid gjennom flere studier vist seg å kunne estimere orientering og utbredelse av lavhastighetssoner mot dypet. Metoden gir også jevnere overganger fra svakhetssoner og godt berg, noe stort sett vil stemme bedre med virkeligheten enn de markerte skillene gitt av for eksempel GRM-metoden, som vanligvis benyttes. Det viser seg imidlertid at den endelige hastighetsmodellen ved bruk av tomografisk inversjon avhenger i stor grad av hvilken utgangsmodell som velges før iterasjonen starter. Selv om metodikken i dag gir usikre resultater, ligger det muligens et stort potensiale i den refraksjonsseismiske metoden om den tomografiske inversjonsmetoden videreutvikles og forbedres (Rønning et al., 2011).

3.2 Resistivitetsmålinger

De siste årene har det blitt gjennomført flere undersøkelser og vurderinger på hvor godt resistivitetsmetoden egner seg til å avdekke og karakterisere svakhetssoner. Her blir først funnene fra en simulerings-studie presentert, før erfaringer vedrørende bruk av metoden i felt blir presentert i Avsnitt 3.2.2.

3.2.1 Resistivitetsmodellens egenskaper

Reiser et al. (2009) har undersøkt resistivitetsmålingenes evne til å produsere et godt bilde av en svakhetssonemodell med varierende fall, bredde, dyp og kontrast ved bruk av fire ulike elektrodekonfigurasjoner: Dipol-dipol, Wenner, Pol-dipol og Gradient. Gjennom arbeidet ble det oppnådd en økt kunnskap angående metodens svakheter og muligheter.

Reiser et al. (2009) fant at elektrodekonfigurasjonen Gradient generelt ga best resultater i modelleringen. Arbeidet viste at det er mulig å lage gode modeller for resistiviteten i berggrunnen. Modellene kan vise både svakhetssoners bredde, fall og rekkevidde i dypet.

Evnen til å finne rett fall, viser seg å avhenge av hvilket filter som benyttes i inversjonen. I Figur 3.1 modelleres en lavresistiv sone med 60° fall (nederst) ved bruk av nøytralt filter (øverst) og et filter som forsterker de vertikale strukturene (i midten). Som en ser fra formen på utslaget i resistivitetsmodellen, viser den nederst modellen ($V/H=2$) en steilere sone enn i modellen med $V/H=1$.

Det oppstår flere kunstige effekter i modellen. For det første synes sonene å bli bredere mot dypet, slik at sonens faktiske tykkelse må leses fra sonens utgående. Når det gjelder modellering av soners fall ved resistivitet viser det seg at det tolkede fallet avviker mer og mer mot dypet, slik at også dette må avleses i den øverste delen av modellen (Reiser et al., 2009). Begge disse forholdene ses i Figur 3.1. Dette tar ikke hensyn til variasjon i orientering mot dypet (Rønning, 2012b).

En annen effekt som oppstår i modellen er at resistiviteten virker å øke mot dypet, også dette kommer fram i Figur 3.1 ved at fargen i sonen endrer seg fra blå/grønn til gul/orange. Som nevnt i Avsnitt 2.2 viser det seg dessuten nødvendig med en høy kontrast for å godt kunne modellere sonen. Effekten av utilstrekkelig kontrast mellom resistiviteten i den lavresistive sonen og bergmassen rundt er vist i Figur 3.2, hvor en ser at den øverste sonen, på 2000 Ωm ikke gir særlig utslag, mens en ellers lik sone på 500 Ωm i samme generelle bergmase gir klart utslag på modellen.

Studien viste også at smale lavresistive soner ikke kunne følges mot dypet i den resulterende modellen, slik at de ser ut til å være mindre utholdende i dypet enn i virkeligheten. Dette problemet oppstod ikke ved modellering av bredere lavresistive soner (Reiser et al., 2009)

Til sist ble det funnet at resistiviteten til løsmassene langs profilet også spiller en viktig rolle i hvorvidt svakhetssoner vil bli oppdaget. Tykke lavresistive avsetninger (for eksempel salt marin leire) vil kunne føre til at svakhetssoner i berget under blir usynlige (Reiser et al., 2009). Løsmassedekker vil også kunne forstyrre modelleringen og gi kunstige effekter som for eksempel utvidelse av sonen mot dypet (Rønning et al., 2011).

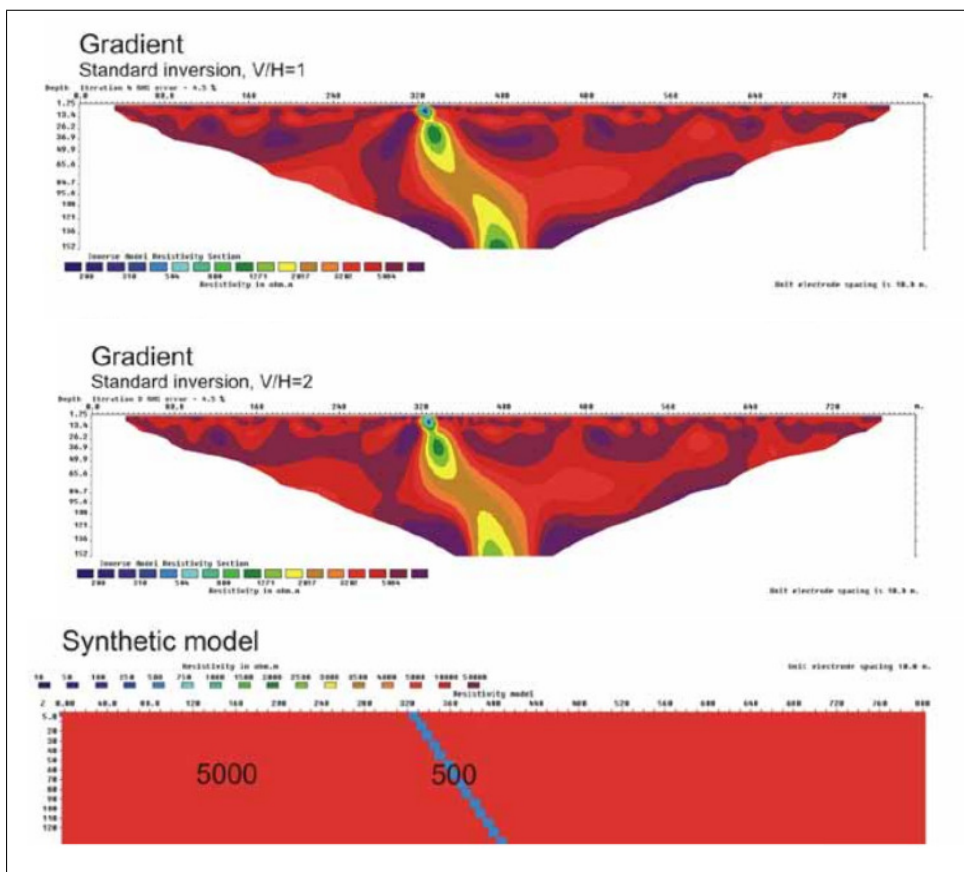
Ut fra resultatene ser det ut til at resistivitetmålinger kan gi en god indikasjon på svakhetssoner og deres fall, utstrekning og dyp så fremt en tar hensyn til svakheteene i modelleringen under tolkningen (Reiser et al., 2009).

3.2.2 Erfaringer fra praktisk bruk av metoden

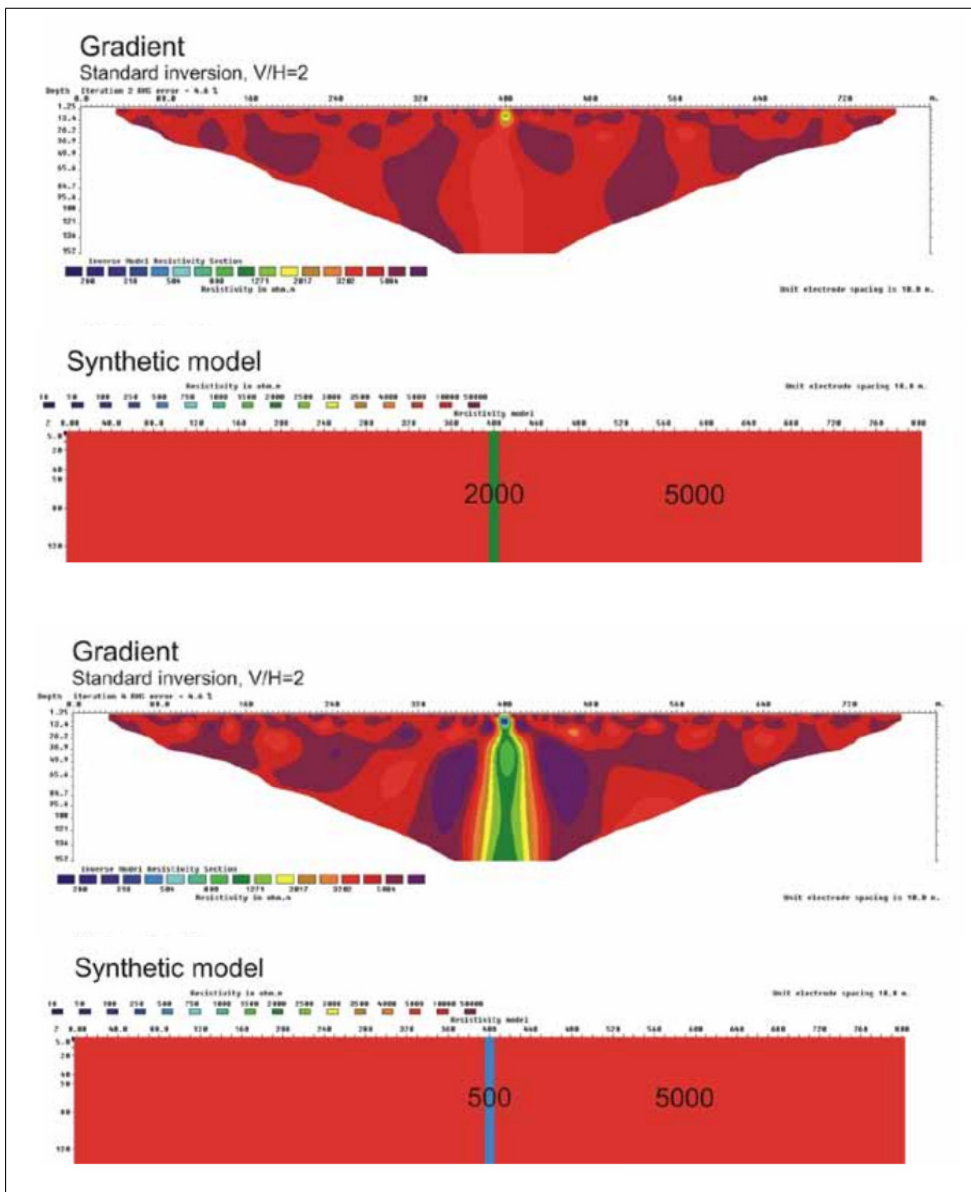
Bransjeprojektet “Miljø- og samfunnstjenlige tunneler” ble gjennomført i tidsrommet 2000-2003. Ett av delprosjektene, hvor NGU var deltaker, omhandlet metoder for forundersøkelser, hvor blant annet nye undersøkelsesmetoder ble utprøvd og evaluert. Resistivitet var en av disse metodene, og ble utprøvd i blant annet Lunnertunnelen, Romeriksporten og Asker - Jong (Rønning, 2003). I senere samarbeidsprosjekt mellom NGU og Statens vegvesen er arbeidet fortsatt, med undersøkelser ved andre tunnelprosjekter.

Lunnertunnelen er den tunnelen det er lagt mest vekt på i prosjektet Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Erfaringene herfra viste at resistivitetmålingene avdekket alle svakhetssonene kartlagt under den ingeniørgeologiske feltkartleggingen, men målingene fant i tillegg to ekstra soner, hvorav den ene viste seg å kreve trippel injeksjonsskjerm under driving (Rønning, 2003).

Et problem som oppstod var at viktige soner ikke ble indikert ned til tunnelnivå gjennom metoden. Årsaken til dette ble antatt å skyldes at sonen var for smal til



Figur 3.1 – Effekt av endret V/H-filter ved modellering av 60° steil lavresistiv sone. V/H=1 øverst, V/H=2 i midten. Modifisert fra Reiser et al. (2009).



Figur 3.2 – Effekt av endret kontrast ved modellering av vertikal lavresistiv sone i 5000 Ωm bergmasse. Sone på 2000 Ωm øverst og 500 Ωm nederst. Modifisert fra Reiser et al. (2009).

å detekteres mot dypet. Sonene som *kunne* følges mot dypet, viste derimot ofte feilaktige utvidelser.

Som nevnt i Avsnitt 2.3 kan enkelte mineraler fungere som ledere, slik at svært lave resistiviteter ikke nødvendigvis behøver å henge sammen med svakhetssoner. Ved Lunnertunnelen ble ekstremt lave resistiviteter registrert som følge av sulfidmineraliseringer på sprekker (Rønning, Dalsegg, 2001). Det anbefales derfor å alltid utføre resistivetsmålinger i en kombinasjon med IP-målinger for å avdekke slike forhold (Rønning et al., 2009a). Rønning (2003) poengterer viktigheten av å legge resistivetsprofilene så nært tunneltraseen som mulig for å oppnå gode og detaljerte resultater.

Ved Asker-Jong kom metodens svakhet i tilfeller med lav resistivetskontrast tydelig fram. Som nevnt i Avsnitt 2.2, behøves en tilstrekkelig høy generell resistivitet i bergmassen for å kunne finne svakhetssoner gjennom metoden. Ved Asker-Jong var den generelle resistiviteten lavere enn 5000 Ωm , og svakhetssoner ble her ikke like godt avdekket som ved de andre tunnelene i prosjektet, hvor metoden avdekket svakhetssoner like godt som refraksjonsseismikken.

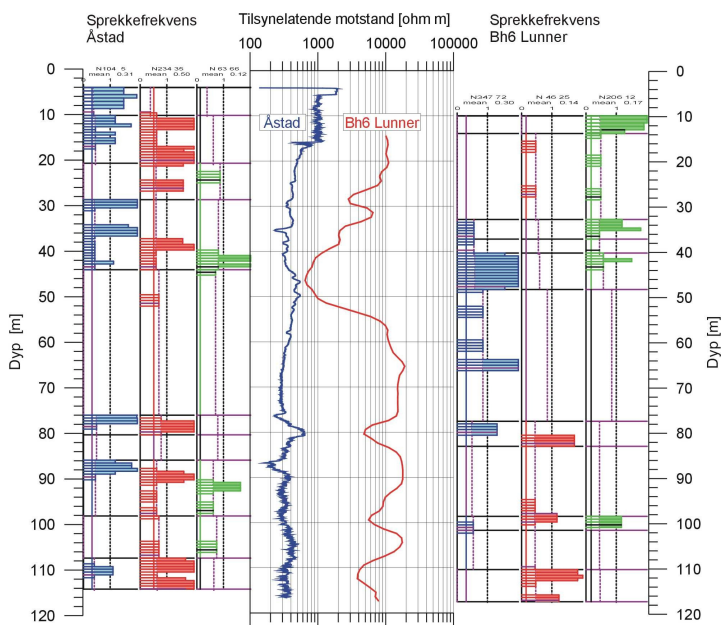
Figur 3.3 illustrerer problemet som oppstår når den generelle resistiviteten er for lav. I figuren er sprekkefrekvens og tilhørende målt resistivitet vist for målinger i borhull ved Asker-Jong (Åstad) og Lunnertunnelen. Borhullet ved Åstad går gjennom leirskifer og kalksteiner fra ordovicumsk til silurisk tid, mens borhullet ved Lunnertunnelen går gjennom yngre bergarter (Dalsegg et al., 2004; Holmøy, 2008).

Som en ser, gir høy oppsprekking et stort utslag på resistiviteten ved Lunnertunnelen hvor den generelle resistiviteten er høy, sammenlignet med ved Asker - Jong, hvor den generelle resistiviteten ligger mellom 1000 og 5000 Ωm . Her er det som en ser av figuren vanskeligere å se forskjell på resistiviteten i uoppsprukket og oppsprukket berg.

Konklusjonene fra Miljø- og samfunnstjenlige tunneler var imidlertid at under visse geologiske forhold, fungerer metoden *meget godt* for påvisning av svakhetssoner i berg. Metoden viste seg dessuten å kunne *karakterisere svakhetssonene* med tanke på oppsprekking og leire-/vanninnhold og i tillegg indikere soners fall. Metoden er vurdert som like god som tradisjonelle seismiske undersøkelser, men mer kostnadseffektiv (Rønning, 2003).

I tillegg til kartlegging av svakhetssoner, viste metoden å egne seg til å kartlegge *gode bergkvaliteter*; områder med høy resistivitet langs traseen viste seg å tilsvare gode driveforhold i tunnelen. Metoden vil dermed kunne bidra til å gi et godt kostnadsoverslag for tunnelprosjekter (Rønning, 2003).

Viggjatunnelen (E39 Øysand - Thamshavn) ble videre undersøkt fram til ferdigstilling i 2005 etter at prosjektet Miljø- og samfunnstjenlige tunneler var avsluttet i 2003. Her ble de fleste sonene avdekt gjennom resistivetsmålingene også observert i tunnelen. Det var også god overensstemmelse mellom vannlekkasjer i tunnelen og soner med lav resistivitet. Dette til tross for en kompleks geologi, noe som førte til en generelt positiv konklusjon vedrørende metoden som sier at 2D resistivetsmålinger i framtiden kan være aktuelt som et alternativ til refraksjonsseismikk ved tunnelprosjekter (Ganerød et al., 2006).



Figur 3.3 – Eksempel på forhold mellom sprekkfrekvens og tilsynelatende resistivitet for Asker-Jong (t.v.) og Lunnertunnelen (t.h.) (Dalsegg et al., 2004). Høy oppsprekking gir mindre utslag Åstad enn ved Lunnertunnelen på grunn av lavere generell resistivitet.

Ganerød et al. (2006) understreker likevel at metoden har sine svakheter: For det første tolket som regel metoden fallet på sonene til å være steilere enn i virkeligheten. I tillegg viste det seg å være vanskelig for metoden å avdekke soner som går langs måleprofilen samt soner som krysser andre soner. Ved bruk av metoden kan det bli behov for å måle resistivitet også på tvers av tunneltraseen for å få et så godt bilde som mulig av svakhetssonene som kan påvirke tunneldrivingen. Dessuten viste resistivitetsmodellen en ukorrekt utvidelse av sonene mot dypet.

I etterkant av prosjektet Miljø- og samfunnstjenlige tunneler ble i 2007-2008 metoden videre vurdert av NGU ved tre andre tunneler; Hanekleivtunnelen, Ravneheitunnelen og Vadfosstunnelen. Felles for disse tre ferdigstilte tunnelprosjektene var at det hadde oppstått problemer enten under driving eller etter ferdigstilling. Hovedformålet med prosjektet var å vurdere hvorvidt den foreslåtte tolkningsmodellen fra Lunnertunnelen (se under) også gjaldt under disse geologiske betingelsene, men en vurdering av metodens evne til å avdekke og karakterisere svakhetssoner med tanke på geometri ble også gjennomført (Rønning et al., 2009a).

Erfaringene var at alle de påmøtte svakhetssonene fra drivingen av de tre tunnelene ga utslag på resistivitetmålingene. I tillegg ble to ekstra soner funnet ved Hanekleivtunnelen og én ekstra sone påvist ved Vadfosstunnelen (Rønning et al., 2009a).

Når det gjelder metodens evne til å avdekke soners geometri var hovedresultatene at bredden på sonene i varierende grad ble estimert korrekt. Sonenes fall ble godt modellert, selv om en kvantitativ tolkning av fall ikke viste seg mulig. Estimeringen av rekkevidden til soner mot dypet ga ikke klare resultater ved disse tre tunnelene, i motsetning til hva en tidligere hadde opplevd ved Lunnertunnelen (Rønning et al., 2009a).

Resistivitetmetoden ble også vurdert av Stanfors (1987) i forbindelse med Bolmen vanttunnel i Sverige. Hovedkonklusjonene vedrørende resistivitetmålingers egnethet til å avdekke svakhetssoner i berg var at metoden egner seg godt, særlig for å identifisere brede soner som også inneholder leire eller vann. Eksempelvis identifiserte resistivitetmålingene 95 % av alle brede svakhetssoner (>50 m) påtruffet i tunnelen som lavresistive soner ($<3000 \Omega m$). 80% av de smale svakhetssonene (smalere enn 10 m) ble registrert som lavresistive soner (Stanfors, 1987). Stanfors fant at resistivitetsprofilering kan benyttes for å sette opp et estimat for nødvendig sikringsomfang for tunnelen ut fra at lavresistive soner krever tyngre sikring enn områdene med høyere resistivitet. For eksempel behøvde 75% av tunnelengden med resistivitet under $500 \Omega m$ sikring med sprøytebetong, mens kun 20% av tunnelengden hvor resistiviteten var funnet å være mellom 1000 og $3000 \Omega m$ ble det benyttet sprøytebetong (Stanfors, 1987).

I Bolmentunnelen viste det seg vanskelig å identifisere vannførende enkeltsprekker. Svakt hellende soner var dessuten vanskeligere å oppdage enn de steilere svakhetssonene (Stanfors, 1987).

Lunnertunnelen - tolkningsmodell for resistivitetmålinger i fjell

Med basis i erfaringene fra Lunnertunnelen, ble det foreslått følgende tolkningsmodell av resistiviteten i forhold til karakteren til den lavresistive sonen (Rønning et al., 2009b):

- $<500\Omega m$: Soner med leire og stabilitetsproblemer, mindre vann enn ved høyre resistivitet.
- $500-4000\Omega m$: Soner med åpne sprekker med mye vann. Mindre stabilitetsproblem ved høyere resistivitet.
- $>4000\Omega m$: God stabilitet og lite vann

Tidligere versjoner av modellen satte grensen mellom vannførende soner og godt berg ved $3000\Omega m$, slik at erfaringene angående bruk av tolkningsmodellen ofte bygger på denne grensen.

Denne modellen gjelder for Lunnertunnelens geologiske miljø. Lunnertunnelen ligger i *Oslofeltet*, i kambro-silurske sedimentære og kontaktmetamorfe bergarter (hornfels) og bergarter vulkanske og plutonske bergarter fra senkarbon og perm som for eksempel syenitt (Holmøy, 2008).

Tolkningsmodellen foreslått passer med erfaringene fra Bolmentunnelen vedrørende sammenhengen mellom resistivitet og sonekarakter (Stanfors, 1987). Også her viste det seg at soner hvor resistiviteten var målt til $< 500\Omega m$ ble det ofte i tunnelen påtruffet leirrike soner med behov for tung sikring.

I ettertid har tolkningsmodellen fra Lunnertunnelen vist seg å stemt bra med resultatene fra de tre tunnelene Hanekleivtunnelen, Ravneheitunnelen og Vadfosstunnelen gjennom et oppfølgingsprosjekt gjennomført av NGU. Her ble svelleleire påvist på sprekker der hvor resistiviteten var lavere enn $500\Omega m$. Ingen av sonene i de tre tunnelene hadde resistiviteter i intervallet $1000-3000\Omega m$, slik at den foreslåtte tolkningsmodellen på rene vannførende soner i dette intervallet kunne ikke etterprøves (Rønning et al., 2009a).

3.3 Laboratorieundersøkelser

Catrine Hatlenes påpekte i sin masteravhandling (Hatlenes, 2011) flere interessante svakheter i forbindelse med Statens vegvesens krav til betongutstøpning ved høye svelletrykk. Noen av hovedpoengene er at full utstøpning er en metode som er på vei ut innen norsk tunnelbygging og armerte sprøytebetongbuer tar i stadig større grad over som sikringsmetode i bergmasse helt nede i klasse F. Sikringsbuer kan tenkes å gi tilstrekkelig sikring også gjennom svakhetssoner med høye svelletrykk, nettopp av årsaken nevnt i Avsnitt 2.6.1; at buene gir rom for deformasjon av berget. Sprøytebetongbuer er dessuten vesentlig billigere enn en betongutstøpning.

Hatlenes (2011) påpeker også at kravet stilt av Statens vegvesen kan være noe diffus. Kravene sier at svellesoner på “2 meters mektighet eller som følger tunnelen i mer enn 2 meter“ (Statens vegvesen, 2010b) skal støpes ut, men hva menes med “2 meters mektighet”? En vil så og si aldri møte på 2 meter tykke rene leirsoner, slik at om setningen tolkes bokstavelig vil det aldri bli behov for sikring. Hun nevner dessuten at siden det ikke er krav til noen kontinuerlig prøvetaking av sleppematerialer, kan svellende soner overses og svellesoner ble med en ren tilfeldighet oppdaget i Karmøytunnelen.

Kapittel 4

Eikremtunnelen

Dette kapitlet er delt i fire deler. Først gis det en introduksjon til Eikremtunnelen med presentasjon av prosjektet, den geologiske historien en gjennomgang av de utførte grunnundersøkelse. I Avsnitt 4.2 presenteres resultatene fra forundersøkelsene, mens i Avsnitt 4.3 gis tolkningene av de dokumenterte forholdene i tunnelen. Til sist gjøres det en sammenligning av prognosene og erfaringene fra Eikremtunnelen, til bruk i senere diskusjon.

4.1 Prosjektbeskrivelse

Eikremtunnelen inngår i andre utbyggelsesfase av prosjektet Stor-KRIFAST som skal forbedre vegstandarden i områdene rundt Kristiansund. Tunnelen er en del av en utvidelse og omlegging til stamvegstandard av Rv. 70 mellom Øydegard og Bronneset i Tingvoll kommune, Møre og Romsdal. Denne strekningen utgjør et av totalt tre delprosjekter for andre utbyggingsfase. Tunnel er valgt på strekningen pga miljø- og sikkerhetshensyn. Prosjektet utføres av Statens vegvesen Region midt (Statens vegvesen, 2012b).

Eikremtunnelen utgjør rundt 970 m av delprosjektets totale lengde på 4200 m. Tunnelen er bygd i tunnelklasse B med T8,5-profil i perioden oktober 2010 til februar 2012 (Humstad, 2009). Figur 4.1 gir en oversikt over Stor-KRIFAST-prosjektet og viser beliggenheten av Eikremtunnelen som stiplet linje ved Øydegard.

4.1.1 Geologisk historie

Eikremtunnelen ligger i et geologisk område kalt *den vestre gneisregionen*. Gneisregionen strekker seg fra Sognefjorden i sør og nordover til Nord-Trøndelag og ligger vest for de kaledonske dekkene. Bergartene i regionen stammer i hovedsak fra proterozoisk tid (1500-1850 Ma). Det spesielle med bergartene i den regionen



Figur 4.1 – Oversiktskart Stor-KRIFAST med plassering av Eikremtunnelen (Humstad, 2009).

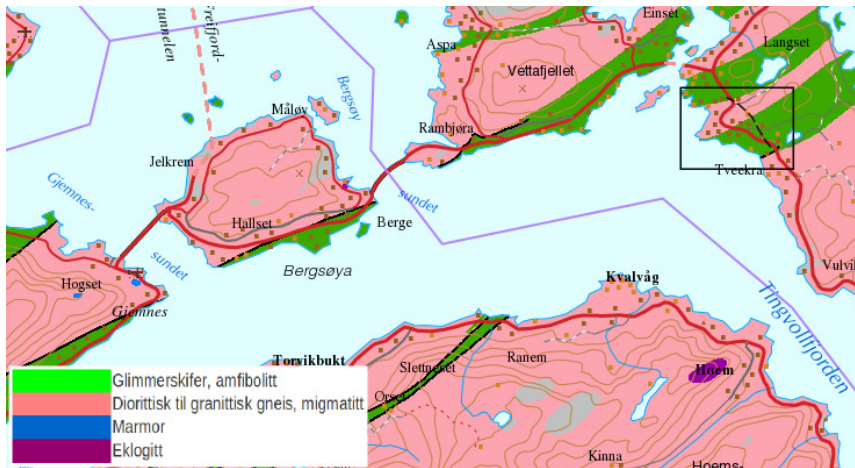
er at disse grunnfjellsbergartene er mye mer omdannet enn grunnfjellsbergartene lenger øst (Ramberg et al., 2007).

Før den kaledonske fjellkjeden ble dannet, lå Skandinavia på kontinentet *Baltika*. I kambro-silur (500-400 Ma) begynte Baltika og det nordamerikanske kontinentet *Laurentia* å bevege seg mot hverandre. I det disse kontinentene kolliderte for omtrent 425 millioner år siden, ble store bergmasser revet løs og skjøvet innover Baltika som skyvedekker og den Kaledonske fjellkjeden ble dannet. På Nordmøre ble dekkene skjøvet inn fra vest-sørvest.

Under denne prosessen ble de prekambriske bergartene trykt ned i dypet og gjennomgikk en omdanning og deformasjon under høye trykk og temperaturer (Ramberg et al., 2007).

Flere store ØNØ-VSV-liggende forkastninger finnes i regionen, blant annet Hitraforkastningen og Tarvaforkastningen. Muligens har det vært aktivitet langs disse forkastningene under landehevinga i Tertiærtiden. Disse forkastningene kan ses igjen i fjorder og daler som NØ-SV-orienterte svakhetssoner. Langs kysten er det dessuten markerte sprekker og forkastninger vinkelrett på disse, også fra kambro-silursk tid (Løset, 2006; Ramberg et al., 2007). Det er naturlig å tenke seg at også Tingvollfjorden ved Eikremtunnelen er en slik kaledonsk svakhetszone.

De kambriske skyvedekkerne i denne delen av landet deles inn i *undre*, *midtre* og *øvre dekkeserie*. I Troms og Finnmark finnes i tillegg det som kalles den *øverste dekkeserie*. Den undre dekkeserien består av korttransporterte sedimentære avsetninger fra den baltiske randen/skjoldet fra før kontinentkollisjonen, omdannet under lave trykk og temperaturer. Den midtre dekkeserien består av prekambrisk grunnfjell fra Baltika, mer omvandlet enn den undre dekkeserien. Øvre dekkeserie består av tidligere havbunn, skyvd opp over de nederliggende dekkeseriene (Ramberg et al., 2007).



Figur 4.2 – Berggrunnsgeologi, Eikremtunnelen. Fra NGUs karttjeneste på www.ngu.no.

Etter at kollisjonsbevegelsen har stoppet opp, har de kaledonske dekkene sklidd tilbake, blitt strukket og erodert ned slik at den underliggende bergmassen - det prekambriske grunnfjellet - igjen har blitt synlig (Ramberg et al., 2007).

Selv om Eikremtunnelen ligger i gneisregionen, finnes det likevel en del glimmerskifer fra øvre dekkserie her (Solli, Nordgulen, 2006). På berggrunnskartet Figur 4.2 ligger disse som NØ-SV-liggende bånd innimellom gneisen.

4.1.2 Driving

Eikremtunnelen er drevet fra én stoff, fra Øydegard i nord fra profil 484 og sørover til profil 1,449. Første salve gikk 7. oktober 2010 og selve drivingen av den omlag 970 meter lange tunnelen tok ett år og syv måneder. Tunnelen ble åpnet for trafikk 27. februar 2012. Hovedentreprenør for tunneldrivingen var arbeidsfelleskapet Betonmast-Anlegg/Mika (nå Implenia) (Todnem, 2012).

Strekningen under det lavereliggende området mellom Kolåsen og Kjerringhaugen ble lagt i geoteknisk prosjektklasse 3 på grunn av dårligere bergmassekvalitet, noe som har satt krav til strengere oppfølging og tredjepartskontroll. Resten av tunnelen ble lagt i prosjektklasse 2 (Humstad, 2009).

Tunnelen ble drevet med typisk fem meter lange salver med systematisk sonderboring der hvor geoteknisk prosjektklasse var 3. Tunnelrommet er sikret i henhold til sikringsklasse ut fra kartlagt Q-verdi i tunnelen som presentert i Avsnitt 2.4.

4.1.3 Forundersøkelser

Det er utført en rekke forundersøkelser i forbindelse med tunnelen og disse beskrives her. Undersøkelsene er gjennomført i tidsrommet 1993-2009. Resultatene fra forundersøkelsene er presentert i rapportgrunnlaget listet i Avsnitt 4.1.5.

Geologisk kartlegging

Den geologiske kartleggingen bestod av kartstudier av berggrunnskart, løsmassekart og topografi samt geologisk og ingeniørgeologisk kartlegging i felt. Første feltkartlegging ble gjennomført høsten 1993 for vurdering av tunneltrase. I 2007-2008 ble det gjennomført ingeniørgeologisk kartlegging og feltbefaring for å planlegge gjennomføring av seismiske undersøkelser. Kartleggingen er gjennomført av Statens vegvesen, i tillegg til Asplan Viak AS, som utførte feltbefaringer på senhøsten 2008.

NGU gjennomførte i juni 2009 en strukturgeologisk kartlegging rundt tunnelområdet. Resultatene er presentert i Dalsegg et al. (2010) og er ikke inkludert i geologisk rapport.

Grunnboringer

Totalt er det gjennomført 22 boringer rundt Eikremtunnelen i tre omganger; i 1996, 2008 og 2009. Alle boringene er gjort av Statens vegvesen. Den første runden grunnboringer ble gjort med tanke på tidligere trasealternativ, mens de to siste rundene ble gjennomført med tanke på plassering av påhugsområdet i nord samt grunnforhold for to bygg.

Geofysiske undersøkelser

Refraksjonsseismiske grunnundersøkelser har blitt utført i to omganger: September 2007 av Geomap langs seks profiler og langs ytterligere seks profiler i mai 2008 av GeoPhysics. Kun den sørlige delen av endelig tunneltrasé er dekket av refraksjonsseismikken. Dette skyldes at tunnelen opprinnelig var planlagt å ligge slik at det nordre påhugget kom lenger vest enn dagens tunnel. Resultatene fra den refraksjonsseismiske undersøkelse fra 2008 førte til at det nordre påhugget ble flyttet lenger øst (Statens vegvesen, 2012a; Todnem, 2008).

NGU har utført 2D resistivitetsmålinger og IP-målinger langs to profiler for å avdekke potensiell ustabil bergmasse med eller uten vann og/eller leire. Profil 1 følger i stor grad tunnelens trasé mens profil 2 ligger lenger vest. Målingene ble gjort i april 2009 over en total lengde på 2,8 km. Det ble benyttet Gradient elektrodekonfigurasjon med 10 meters elektrodeavstand. Under inversjonen av måledataene ble det benyttet en V/H-faktor på 2. Inversjonen ble gjort ved bruk av programmet RES2DINV.

Laboratorieundersøkelser

Det er ikke gjennomført laboratorieundersøkelser som en del av forundersøkelsene for Eikremtunnelen.

4.1.4 Utsatte undersøkelser

Undersøkelsene gjennomført under/etter driving blir her gjennomgått. Resultatene fra undersøkelsene har vært tilgjengelig gjennom rapportgrunlaget listet i Avsnitt 4.1.5.

Ingeniørgeologisk kartlegging

Statens vegvesen har kartlagt tunnelstuppen for (omtrent) hver salve under drivingen i henhold til NS 3480¹. Forhold som har blitt kartlagt og kommentert er Q-verdi, svakhetssoner, sprekkefyllinger, profilkontur og orientering av sprekker og foliasjon. Bergartstype er kartlagt sporadisk. Kartleggingen er registrert i Novapoint.

Sonderboringer

Sonderboringer er gjennomført systematisk mellom profil 950 og 1250 i henhold til krav til supplerende undersøkelser under bygging i geoteknisk prosjektklasse 3 (NS 3480). Det er boret 23 meter lange hull med 7-8 meters overlapp i dette området. Ellers er det gjennomført sonderboringer der det syntes nødvendig.

Laboratorieundersøkelser

To sleppematerialeprøver har blitt testet ved SINTEF byggforsk med tanke på svelleegenskaper. Både frissvellingsforsøk og svelleforsk i ødometer ble gjort på begge prøvene.

Konvergenzmåling

Ved profil 1177 er det gjennomført en konvergenzmåling ved bruk av ekstensometer for å kontrollere stabiliteten etter oppføring av tung bergsikring.

¹Norsk standard for geoteknisk prosjektering. Fra mars 2010 trukket tilbake til fordel for den europeiske standarden *Eurokode 7*. Prosjektering av Eikremtunnelen og Knappetunnelen ble gjort før utskiftningen, og forholder seg derfor til NS 3480 etter krav gitt i Statens vegvesens Håndbok 021.

Lekkasjemålinger

Det ble gjort en vurdering av innlekkasje ut fra mengden oppsamlet vann i brønn ved profil 743 etterhvert som stoffen har bevegde seg framover.

Etter at tunnelen var ferdig drevet, men før vann- og frostsikringen ble montert, ble vannlekkasjer i tunnelen kartlagt langs hele traseen av NTNU-student Alexander Korssund Andrianopoulos. I skrivende stund er fortsatt ikke alle lekkasjer ført inn i Novapoint.

Brønnmålinger

Grunnvannsbrønner over tunnelen ble jevnlig kontrollert gjennom driveperioden.

Kjerneboring

Én kjerneboring har blitt gjort i tunnelen under driving. Boringen ble startet ved profil 1156 og 52 meter kjerne ble tatt ut fram til profil 1210.

Borparametertolkning

Borrigen ved Eikrem var utstyrt med loggeutstyr for borparametre som registrerer borsynk, matetrykk, rotasjonstrykk, hammertrykk, rotasjonshastighet, vannmengde, vanntrykk og tid. Denne dataen brukes for å få informasjon om bergmassen en borer i, som f.eks. vanninnhold, oppsprekking og bergartsstyrke. Rockma stod for denne tolkningen ved Eikremtunnelen. Tolkningen er presentert grafisk, hvor fargekoder viser relative verdier. Loggeren var aktiv under all boring for å få et kontinuerlig bilde langs hele tunneltraseen.

4.1.5 Rapportgrunnlag for Eikremtunnelen

I forbindelse med oppgaven, har følgende rapporter fra forundersøkelsene vært tilgjengelig:

- Geologisk rapport på byggeplannivå, rapport nr. 2007129523-15 med tilhørende ingeniørgeologisk kart, datert 18.06.2009 (Humstad, 2009) (ingeniørgeologisk ligger i oppgavens Vedlegg A.1).
- Rapport fra NGU på resistivitet og strukturgeologi, NGU rapport nr. 2010.006, datert 30.04.2010 (Dalsegg et al., 2010) (måleprofiler, kart og oppsummering i oppgavens Vedlegg A.3, A.4 og A.5).
- Rapport fra refraksjonsseimsike undersøkelser fra Geomap + tegninger, rapport nr. 271929.01, datert 16.10.2007 (Geomap, 2007).

- Rapport fra refraksjonsseismiske undersøkelser fra GeoPhysix, rapport nr. 08162a, datert 30.06.2008 (GeoPhysix, 2008).
- Notat om valg av tunneltrasé, datert 10.11.2008 (Todnem, 2008).

Tidligere versjoner av materiale er ikke listet opp.

Når det gjelder rapportering og dokumentasjon fra driving, har følgende materiale vært tilgjengelig:

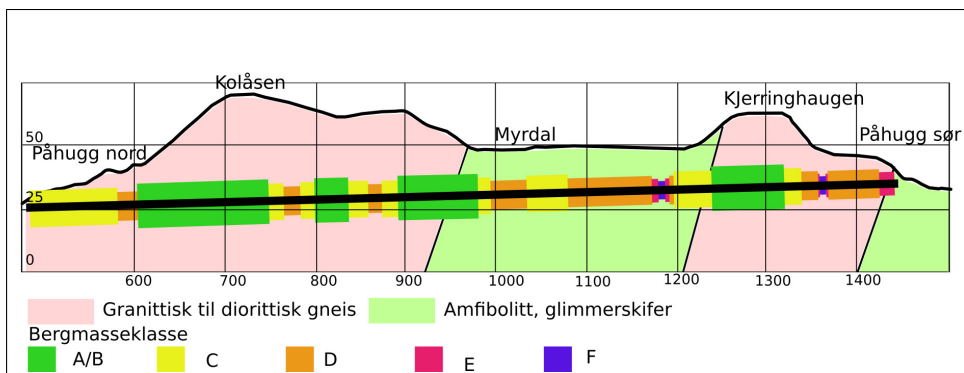
- Utskrift av kartlegging gjort i Novapoint med borparametertolkning, mottatt 27.03.2012 (Vedlegg A.6).
- Eksport av Q-verdi-kartlegging og kartleggingskommentarer fra Novapoint, Excel-regneark, datert 28.02.2012.
- Eksport av sprekke- og foliasjonsmålinger fra Novapoint, Excel-regneark, datert 28.02.2012.
- Løpende borparametertolkning (hardhet, oppsprekking og vann) langs traseen, datert 20.07.2011 (Vedlegg A.7).
- Lekkasjekartlegging i ferdig tunnel, fra 2011 (Vedlegg A.8).
- Kjerneboring fra pel. nr. 1156, Excel-regneark med tilhørende foto, datert 06.02.2011 (logg i Vedlegg A.9).
- Salverapport, Excel-regneark, datert 23.05.2012.
- Ingeniørgeologisk sluttrapport, Statens vegvesens rapport nr. 2010037467-11 med vedlegg, datert 21.05.2012 (Todnem, 2012).

4.2 Prognoser fra forundersøkelsene

Dette avsnittet presenterer hovedresultatene fra forundersøkelsene gjennomført i forbindelse med planleggingen av Eikremtunnelen. Prognosene for de ingeniørgeologiske forholdene som er presentert er i hovedsak sammenfattet fra geologisk rapport på byggeplannivå (Humstad, 2009), dersom annet ikke er oppgitt. Figur 4.3 oppsummerer prognoser for antatte bergarter, Q-verdier og svakhetssoner langs tunneltraseen.

4.2.1 Bergarter, foliasjon og oppsprekking

Kartstudier, feltkartlegging og erfaringer fra nærliggende anlegg konkluderer med at det er to hovedbergarter i området: Prekambrisk grunnfjell med amfibolittisk og granittisk gneis og migmatitt samt en ofte flakig amfibolitt med innslag av svakere glimmerlag. Bergartsfordelingen er i konkurransegrunnlaget tolket til å



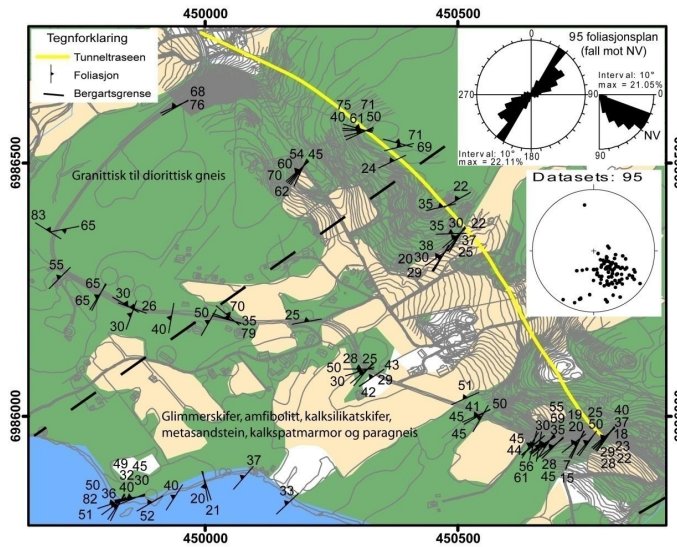
Figur 4.3 – Antatt bergartsfordeling og bergmasseklasser for Eikremtunnelen.

være som vist i Figur 4.3. Den antatte fordelingen av bergarter fra feltkartleggingen stemmer overens med resultatene fra seismikkundersøkelsene, som viste en generelt høyere seismisk hastighet ved Kolåsen og Kjerringhaugen og lavere hastighet i de lavereliggende områdene. Dette gjenspeiles også fra resistiviteten, med høyere resistiviteter i det høyereliggende områdene (Dalsegg et al., 2010). Dette ses øverst i Figur 4.6 som viser resultatene fra resistivitetsmålinger langs profil 1. Fra figuren ser en at på de høyereliggende områdene er resistiviteten i det gul-oransje intervallet, mens i de lavere områdene ligger den mer i det grønne området ($< 5000 \Omega m$) og indikerer dårligere bergmasse.

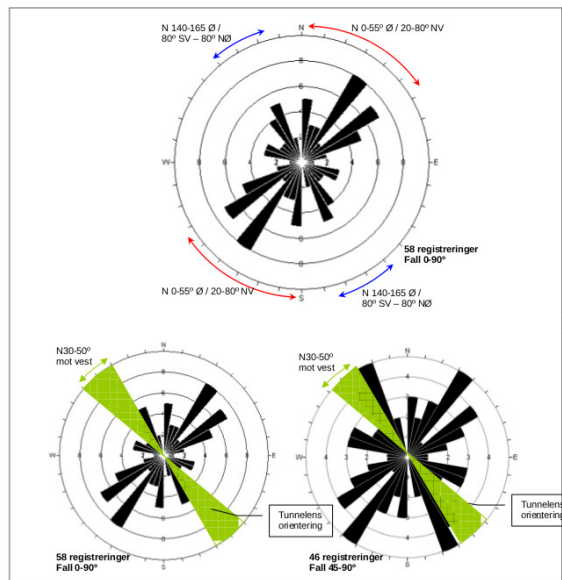
Bergartene viser deg svært foldet med utpreget foliasjon. Foliasjonen varierer veldig både med tanke på strøk og fall, men de aller fleste målingene viser at foliasjonen stryker NØ-SV. Fallet varierer fra under 20° til opptil 80° , men hovedtyngden av målingene viser et nordvestlig fall på $20-40^\circ$ (Dalsegg et al., 2010).

Som en ser av kartutsnittet i Figur 4.4 varierer orienteringen og fallet av foliasjonen veldig selv på korte avstander. Figuren gir også oversikt over alle foliasjonsmålinger gjort av NGU med tilhørende foliasjons-rose.

Foliasjonen faller sammen med ett av totalt to hovedsprekkesett i tunnelområdet. Det andre hovedsprekkesettet går på tvers av foliasjonen, og faller steilt mot både NØ og SV. Sprekkerosen i Figur 4.5 viser alle relevante sprekke-målinger (ikke inkludert NGUs kartlegging) for Eikremtunnelen. Som en ser er tunnelen orientert gunstig i forhold til foliasjonen, men det andre sprekkesettet kan treffe tunnelen i en uheldig vinkel med tanke på til stabiliteten.



Figur 4.4 – Samtlige foliasjonskartlegginger gjort under strukturgeologisk kartlegging rundt Eikremtunnelen (Dalsegg et al., 2010).



Figur 4.5 – Sprekkerose for kartlagte sprekker relevante for Eikremtunnelen (Humstad, 2009). Øverst vises de to hovedsprekkesettene (foliasjonen rød og tverrsprekkene blå). Nederst er tunnelorienteringen tegnet inn med alle sprekker til venstre og med sprekker med $>45^\circ$ fall til høyre.

4.2.2 Bergklasser og bergsikring

Q-verdier for traseen er anslått ut fra en sammenstilling av den geologiske feltkartleggingen med grunnboringer og seismikkresultatene og brukt til å anslå bergsikringsklasser som presentert i Avsnitt 2.4. Den antatte fordelingen er vist i Figur 4.3 med bergklasse A-F. Generelt er bergmassen mer oppsprukket i den sørlige delen av tunnelen enn i nord. I sør er det registrert sukkerbitberg og til dels sterkt forvitret berg. Dette bekreftes av grunnboringer i fjell. Ut fra denne fordelingen av bergklasser - presentert i % av tunnallengde i Tabell 4.1, og det tilhørende sikringsomfang er det antatt et totalt sikringsomfang som presentert til venstre i Tabell 4.2. I kontrakten med entreprenør ble mengdene angitt som til høyre i samme tabell. Mengdene er som en ser her økt noe. Dette skyldes at det er tatt høyde for fare for uforutsette forhold i tunnelen.

Tabell 4.1 – Antatt fordeling av bergklasse.

Bergklasse	Antatt fordeling
A/B	37 %
C	31 %
D	27 %
E	3 %
F	2 %

Tabell 4.2 – Antatt sikringsomfang ut fra byggeplansrapport og entreprenørkontrakt.

Sikring	Anslått mengde i byggeplan		Anslått mengde i kontrakt	
Radielle bergbolter	4250 stk	4,3 bolt/lm	5800 stk	5,9 bolt/lm
Forbolter	500 stk	0,5 bolt/lm	1700	1,7 bolt/lm
Sprøytebetong	2200 m ³	2,3 m ³ /lm	3160m ³	3,2 m ³ /lm
Sprøytebetongbuer	20 stk		20 stk	
Betongutstøpning	0		25 m	
Injeksjon	-		200 tonn	

4.2.3 Svelleleire

Det ble ikke gjennomført særskilte undersøkelser for å vurdere mulighetene for å treffe på svelleleire under forundersøkelsene. Erfaringer fra tidligere tunnelanlegg i området tilsier at svelleleire kan forekomme langs slepper og svakhetssoner, men

svelletrykket har stort sett vært moderat. Leiren er ofte tett, noe som fører til lite vannlekkasjer (Løset, 2006).

4.2.4 Svakhetssoner

I følge det ingeniørgeologiske kartet i Ingeniørgeologisk rapport for byggeplan (Humstad, 2009) (gjengitt i Vedlegg A.1), er det forventet 10 svakhetssoner langs tunneltraseen. I resistivitetsrapporten (Dalsegg et al., 2010) er det funnet en ekstra sone, som også tas med her. Sonene beskrives kronologisk etter økende profilnummer og gis egne navn. De fleste av sonene er registrert av resistivitetsmålingene, men sone E1 er utelukkende funnet fra terrenget, og flere soner i sør (økende profil - og sonenummer) er i tillegg funnet ut fra refraksjonsseismikken.

Beskrivelsen av svakhetszone er sammenfattet ut fra den ingeniørgeologiske rapporten (Humstad, 2009) og resistivitetsrapporten (Dalsegg et al., 2010), dersom ikke annet er oppgitt. Angivelse av hovedproblem (vann eller leire) bygger på Lunner-tunnelens tolkningsmodell (Avsnitt 3.2.2). Generelt er det i grunnlagsmaterialet gitt lite antydninger om drive- og stabilitetsforhold i forbindelse med svakhetssonene i grunnlagsmaterialet.

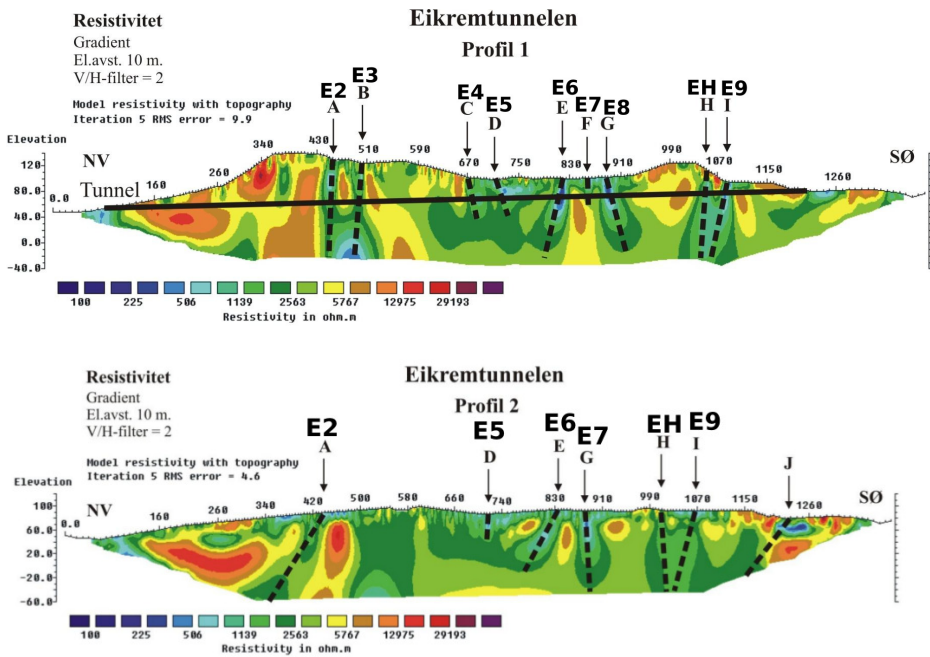
NGUs tolkning av svakhetssoner basert på resistivitetsmålinger stemmer ikke alltid overens med Statens vegvesens tolkning basert på en helhetsvurdering av seismikk, topografi og resistivitet. Dette fører til avvik i plassering og orientering av svakhetssonene mellom de to rapportene. Avviket kan tilskrives forskjellig tolkning av strøk. Resultatene fra resistivitetsmålingene *skal* vurderes opp mot geologiske forhold, slik at det er plasseringene presentert i ingeniørgeologisk rapport som er lagt til grunn her. Der det er avgitt forskjellige fall på sonene i de to rapportene, er imidlertid begge tolkninger tatt med, for å sikre en rettferdig og fullstendig vurdering av metodens evne til å angi fall. I disse tilfellene er det her oppgitt to mulige krysningspunkt i tunnelnivå.

Figur 4.6 viser de tolkede sonene fra resistivitetsmålingene. Ingen av sonene viste forhøyet IP-effekt, slik at lavresistivitetssonene påvist skyldes partier med økt oppsprekking med eller uten leire (Dalsegg et al., 2010). IP-profilene er gjengitt sammen med resistivetsprofilene i Vedlegg A.4.

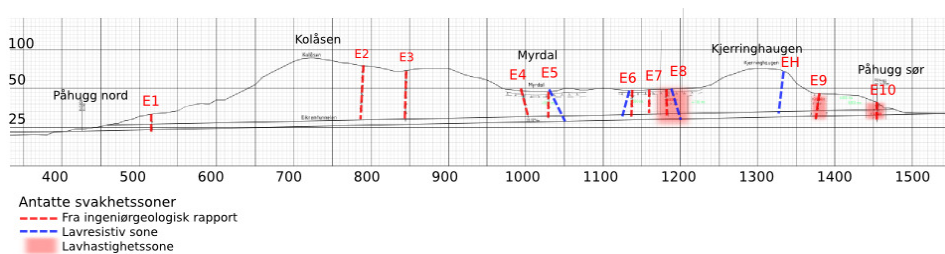
Alle sonene er orientert omtrent vinkelrett på tunnelaksen med et NØ-SV-gående strøk, med unntak av sone E3, EH, E9 og E10 (se nedenfor), som stryker mer øst-vest. En oppsummering av de forventede svakhetssonene i tunnelen med angivelse om sonen er registrert av seismisk, resistiviteten og/eller feltkartleggingen finnes i Tabell 4.3. Svakhetssonene er tegnet inn i lengdeprofilen i Figur 4.7.

Profil 515: Svakhetszone E1

Denne sonen er tolket ut fra søkk i terrenget, men sonen er antatt å være beskjeden og det er ikke sikkert at den når ned til tunnelnivå. Flere slike søkk er registrert,



Figur 4.6 – Resistivitetsmodell for Eikremtunnelen (Dalsegg et al., 2010). Navnene A, B, C, D etc. er navnene til sonene i resistivitetsrapporten. Sonen “J” treffer utenfor tunneltraseen og har dermed ikke blitt tildelt nytt navn.



Figur 4.7 – Lengdeprofil av Eikremtunnelen med angivelse av svakhetssoner fra forundersøkelsene.

men ikke tolket som svakhetssoner i følge geologisk rapport. Bergklassen er over profilet satt til C.

Profil 785: Svakhetszone E2

E2 er en lavresistiv sone med fall steilt nordover og som anslås å treffe tunnelen rundt profil 785. Resistiviteten er mellom 500 og 1000 Ωm og tyder på vann i sonen. Sonen er ikke dekket av de seismiske undersøkelserne og fremgår heller ikke tydelig av topografien. Sonen er tolket til å bestå av bergmasse av klasse D.

Profil 845: Svakhetszone E3

Denne sonen er kartlagt langs samme resistivetsprofil, med tilsvarende lave resistivitet som sone E2 (500-1000 Ωm). Den er også observert langs resistivetsprofil lenger sørvest. Området er satt til å være bergklasse C (middels), men en sone med klasse D er antydning i nærheten. Resistiviteten antyder vann i forbindelse med sonen.

I de endelige tolkningene er den tegnet inn som en vertikal sone, men tolkningene av resistivetsmålingene viser et steilt nordvestlig fall og en tilhørende forskyvning av krysningspunktet i tunnelen 5-10 meter lenger nordvest. En såpass liten forskyvning har derimot liten reell betydning under de geologiske betingelsene med sterkt foldete bergarter.

Profil 1005: Svakhetszone E4

Denne sonen er registrert langs begge resistivetsprofilene som en vannførende sone med resistivitet på 500-1000 Ωm . Sonen ligger i det antatte skillet mellom amfibolitt og gneis, slik at et nordvestlig fall langs bergartsgrensen kan være mulig. Isåfall er det foreventet å møte sonen ved profil 960-970 i tunnelen.

Profil 1030: Svakhetszone E5

Denne sonen er observert i resistivetsmodellen, hvor den ses som en sone med resistivitet på 500-1000 Ωm , som tyder på tilstedeværelse av vann. I tillegg ses den som et søkk i terrenget. Sonen er antatt å falle vertikalt i følge geologisk rapport, mens i resistivetsrapporten er den tegnet inn med et moderat sørøstlig fall, noe som også her gir to mulige plasseringer; ved profil 1030 og 1040.

Profil 1135: Svakhetszone E6

Sonen ses som en svært lavresistiv sone (resistivitet $< 500\Omega m$) langs begge de målte profilene. Den lave resistiviteten tyder på at det er leire i sonen. Antatt fall er steilt mot nordvest, slik at sonen treffer ved profil 1025. I ingeniørgeologisk rapport er E6 tegnet inn som en vertikal sone.

Profil 1160: Svakhetszone E7

Denne vertikale sonen er kun funnet ut fra resistiviteten (500-1000 Ωm).

Profil 1185: Svakhetszone E8

Denne brede svakhetssonen gir utslag både på seismikken og resistivitetsmålingene. Seismisk hastighet er målt til 3000 m/s over en lengde på ca. 40 m, mens resistiviteten er lavere enn 500 Ωm , noe som i følge NGU betyr tilstedeværelse av leire i sonen. Ut fra resistiviteten antas sonen å falle steilt mot sørøst og treffe 10 meter lenger sør, ved profil 1195. I ingeniørgeologisk rapport er den tegnet inn vertikal. Langs denne sonen kan bergklassen komme helt ned i klasse F (ekstremt dårlig berg), og klasse E/F (svært/ekstremt dårlig) er forventet langs 20 meter av tunnelen.

Profil 1330: Svakhetszone EH

Denne svakhetssonen er ikke tatt med i geologisk rapport, men er ut fra resistiviteten tolket til å være en steil vannførende svakhetszone, under 10 meter bred og med en resistivitet på 500-1000 Ωm . Sonen er funnet langs begge resistiviteitsprofilene.

Profil 1375: Svakhetszone E9

Omtrent 100 m fra påhugget i sør er det forventet en nordvestfallende svakhetszone med seismisk hastighet 3000 m/s og resistivitet 500-1000 Ωm (Dalsegg et al., 2010). Den lave hastigheten er målt langs ca. 20 meter av det seismiske profilet. Slik som for sone E8 er det her også forventet ekstremt dårlig berg av klasse F, her med vann.

Profil 1455: Svakhetszone E10

I påhuggsområdet er det forventet en omtrent 25 m bred svakhetszone med seismisk hastighet 3700 m/s. Bergoverdekningen nede i under 10 m, noe som kan senke stabiliteten ytterligere. Bergkvaliteten er antatt å være svært dårlig (klasse E). Sonen er antatt å være en del av de regionale N-NNV-liggende strukturerne. I følge Dalsegg et al. (2010) er ikke sonen funnet langs tunneltraseen av resistivitetsmålingene, men det er kartlagt en vertikal breksjeforkastning her under den strukturgeologiske kartlegginga.

Tabell 4.3 – Oversikt over svakhetssoner og hvor langs tunneltraseen de er forventet å komme i følge forundersøkelsene. “X” betyr at sonen ikke vises på seismikken/resistiviteten, “-” betyr seismikk/resistivitet ikke utfør over sonen.

Profil	Sone	Seismisk hastighet, m/s	Resistivitet, Ωm	Kartlagt ^a
515	E1	-	X	Ja
785	E2	-	500-1000	Nei
845	E3	-	500-1000	Ja
1005	E4	X	500-1000	Nei
1030	E5	X	500-1000	Ja
1135	E6	X	<500	Nei
1160	E7	X	500-1000	Nei
1185	E8	3000	<500	Nei
1330	EH	-	500-1000	Nei
1375	E9	3000	500-1000	Nei
1455	E10	3700	X	Ja
Totalt ant.	11	3	9	4

^aDet kommer ikke klart fram av grunnlagsmaterialet hvorvidt de ulike sonene er funnet under den ingeniørgeologiske kartleggingen og det tas forbehold om feil i oversikten.

4.3 Erfaringer fra driving

Her presenteres erfaringene gjort under driving i tunnelen. Resultatene bygger på en helhetlig vurdering av rapporteringsgrunnlaget listet i Avsnitt 4.1.5.

4.3.1 Svelleegenskaper

Det er tatt to prøver av sleppemateriale i Eikremtunnelen, begge fra en 10-50 cm mektig leirsone ved profilnummer 1167. Resultatene fra laboratorieundersøkelsene er presentert i Tabell 4.4. Her er også andelen av prøvematerialet mindre enn 20 μm listet for de to prøvene.

Som tabellen viser er materialet ut fra frisvellingen klassifisert som middels aktivt, helt på grensen til meget aktivt (se Tabell 2.4). Svelletrykket ligger akkurat i grensland mellom et middels og et høyt svelletrykk etter inndelingen fra NBG (Tabell 2.5). Ut fra dette er det ikke krav til utstøpning av sonen og dette er heller ikke gjort. Sonen er drevet gjennom med forinjeksjon, forbolting og fjellbånd i tillegg til den vanlige sikringen med sprøytebetong og radielle bolter.

Tabell 4.4 – Resultater fra laboratorieundersøkelser av sleppemateriale, profilnummer 1167 (Todnem, 2012).

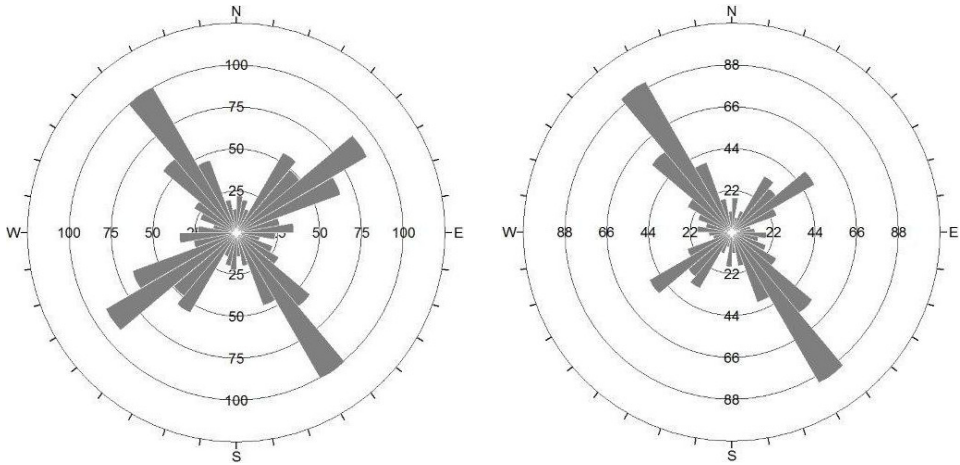
Prøvenr.	FS, %	Svelletrykk, MPa	Andel materiale < 20 μm , %
1	148	0,26	45
2	150	0,29	10

4.3.2 Bergart, oppsprekking, bergklasser og bergsikring

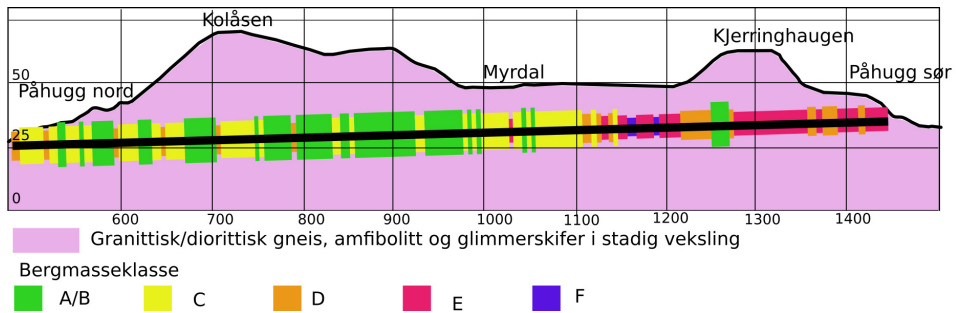
Det har vist seg at det ikke er noen klare bergartsskiller i tunnelen; de ulike bergartene opptrer mer i en stadig veksling (Todnem, 2012). Fordelingen av bergklasse (A-F) langs tunnelen er beregnet fra kartleggingsskjema for Q-verdi og er vist som prosentvis fordeling langs tunnallengden i Tabell 4.5. Bergartsfordeling og bergklasser langs traseen er vist i Figur 4.8.

Når det kommer til oppsprekking, er denne framstilt ved bruk av sprekkerose i Figur 4.9. Som en ser av figurens venstre del, er det omtrent lik fordeling av sprekker langs og på tvers av foliasjonen som stryker NV-SØ. Blant de steilere sprekke (>45°), dominerer tverrsprekkene. Dette er vist til høyre i Figur 4.9.

Mengde sikring utført er presentert i Tabell 4.6.



Figur 4.9 – Sprekkerose for sprekkemålinger gjort i tunnel. Alle sprekker til venstre, sprekker med fall $> 45^\circ$ til høyre (Todnem, 2012).



Figur 4.8 – Faktisk bergartsfordeling og kartlagt bergmasseklasse i Eikremtunnelen.

Tabell 4.5 – Fordeling av kartlagte bergklasser(Todnem, 2012).

Bergklasse	Fordeling
A/B	33 %
C	31 %
D	13 %
E	21 %
F	2 %

Tabell 4.6 – Oversikt over utført sikring- og injeksjonsarbeid.

Sikring	Total mengde i tunnel	
Radielle bergbolter	5494 stk.	5,6 bolt/lm
Forbolter	2250 stk.	2,3 bolt/lm
Sprøytebetong	3417 m ³	3,5 m ³ /m
Sprøytebetongbuer	15 stk.	
Betongutstøpning	0	
Injeksjon, totalt	25,6 tonn	

4.3.3 Svakhetssoner

I Novapoint er det registrert i alt over 30 større og mindre svakhetssoner langs Eikremtunnelen. Disse blir her presentert med tanke på orientering, utstrekning og materialkarakter. I presentasjonen av de møtte sonene er utsnitt fra Novapoint med utbrett av ingeniørgeologisk kartlegging og BPT over den aktuelle strekningen vist. Figur 4.10 viser legende som gjelder for alle utsnittene. Tolkningen av vann fra borparameterene er ikke vist her, men er brukt for å finne omfanget av vann gjennom sonene. Vanntolkningen er gjengitt i Vedlegg A.7.

Fallangivelsen gitt er beregnet trigonometrisk ut fra inntegningen av den kartlagte sonen i Novapoint og tunnelens geometri (T8,5 normalprofil + 0,4 meter (Statens vegvesen, 2012a)). For de aller fleste sonene er det beregnede fallet det samme som fallet langs tunneltraseen, siden de krysser tunnelen i omtrent 90°. Fallet på sonene som krysser tunnelen i en annen vinkel enn dette er justert til tunnelaksen ved bruk av tilsynelatende fall-skjemaet i Vedlegg C.2.

Svakhetssonene har i stor grad falleretning omtrent parallelt med tunnelaksen, gunstig for stabiliteten. I en del områder er det registrert flere likt orientert svakhetssoner nært hverandre og er i presentasjonen slått sammen til én registrering. Tabell 4.7 lister opp svakhetssonene som ble møtt i tunnelen.

Det er registrert to hovedtyper svakhetssoner: De fleste følger foliasjonen med et relativt slakt fall og dette er de bredeste og største sonene i tunnelen. I tillegg er det registrert en del steilere soner, stort sett på under en meters mektighet. Disse smale, steile sonene antas å ha en planere orientering opp mot dagen enn foliasjonssonene (Ganerød, 2012).

Profil 830-862

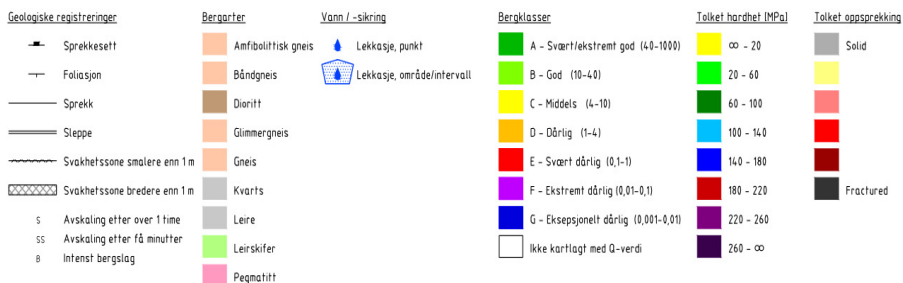
Over en vel 30 meter lang strekning er det i tunnelen møtt på flere brede og en smalere svakhetszone. De brede sonene faller rundt 50° mot nordvest, mens den smale sonen i midten er steilere og faller rundt 75°, denne også mot nordvest. De slake sonene følger grensen mellom amfibolittisk og granittisk gneis

Tabell 4.7 – Påtrufne svakhetssoner Eikremtunnelen, registrert under Novapoint Tunnel-kartlegginga for tunnelen.

Profilnummer ^a	Type ^b	Hovedproblem
845	B	Vann
830-862	A	Oppknust berg med leire
915	A	Oppknust berg med leire
975-986	B	Vann
1027-1030	B	Vann
1062	A	Vann
1094	B	Oppknust berg med noe vann
1117	B	Oppknust berg med leire
1140	B	Oppknust berg med leire
1135-1240	A	Varierende
1280-1320	A	Vann
1333	A	Oppsprukket berg med leire
1365-1409	A	Oppsprukket berg med leire
1445	B	Usikkert

^aEnkelt tall angir profilnummer hvor enkeltsoner først treffes i tunnelen. Doble tall (fra-til) angir profilnummer hvor det finnes flere svakhetssoner, slått sammen i en registrering.

^bA=foliasjonssone, B=ikke foliasjonssone



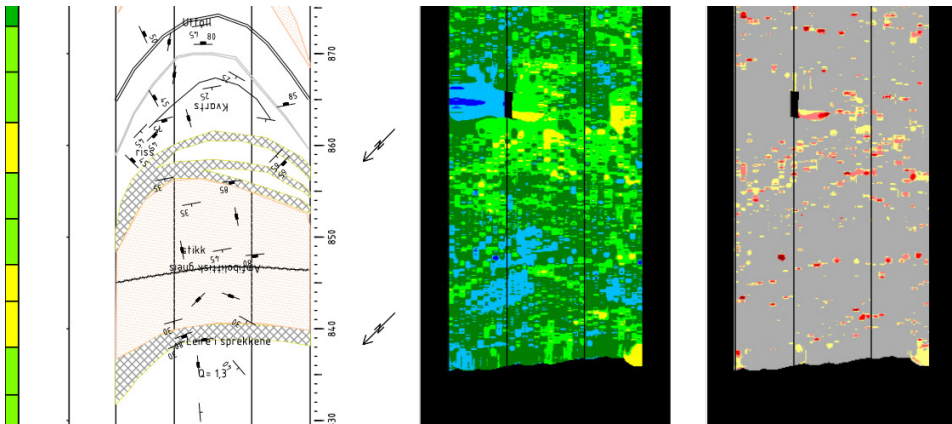
Figur 4.10 – Legende til figurene 4.11-4.21. Geologi og bergmasseklasser øverst, BPT nederst (sakset fra Todnem (2012)).

langs foliasjonen, mens den smale, steilere sonen ser ut til å skjære gjennom foliasjonen. Alle sonene krysser tunnelen i en vinkel på $\sim 90^\circ$, noe som er gunstig for tunneldrivingen.

Som det framkommer av Figur 4.11 kommer særlig den bredeste sonen (tegnet inn som en bred sone som deles i tre smalere soner til venstre i Figur 4.11) fram på borparametertolkningen som en sone med lav hardhet og høy oppsprekkingsgrad. Den smale sonen ses også tydelig på oppsprekkingsutbrettet i samme figur.

Q-verdien til sonene er satt til 1,3 - tilsvarende bergklasse D, mens det omliggende berget har bergklasse B og C. Det er registrert leire i foliasjonssprekkene, mens BPT viser vann i den steile sonen. Typisk lekkasje etter tunnelens ferdigstilling er 15 drypp/minutt.

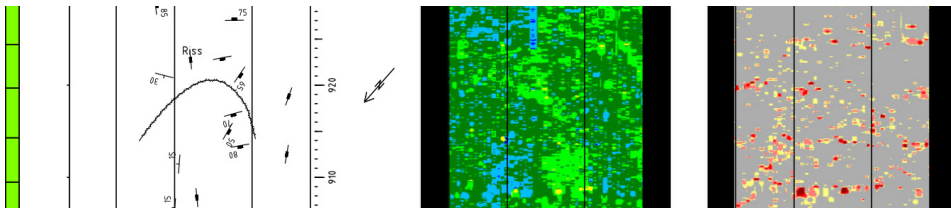
Av ekstra sikring gjennom sonen, er det påført et ekstra lag sprøytebetong helt ned til sålen i den første brede sonen ved profil 840. Ellers er strekningen drevet gjennom som normalt med sikring i henhold til sikringsklasse.



Figur 4.11 – Utsnitt fra Novapoint-utskrift, profilnummer 830-875. Fra venstre: Q-verdi og bergklasse, utbrett av geologisk kartlegging og utbrett av borparametertolkning (hardhet til venstre og oppsprekking til høyre).

Profil 915-920

Her er det registrert en smal svakhetssone i hengen og venstre vegg i et område hvor bergmassen ellers er av god kvalitet (klasse B). Området består av en amfibolittisk gneis med bånding. Ut fra formen på sonen i tunnelutbrettet ser den ut til å ha et slakt fall på mellom 35 og 40° , typisk for foliasjonen. Som de foregående sonene, faller også denne mot nordvest. Novapointutskrift med geologisk kartlegging og BPT er vist i Figur 4.12.

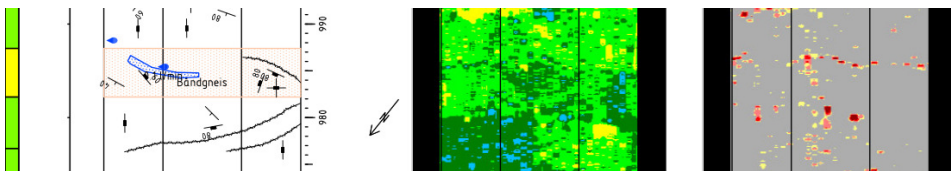


Figur 4.12 – Utsnitt fra Novapoint-utskrift, profilnummer 910-925. Fra venstre: Q-verdi og bergklasse, utbrett av geologisk kartlegging og utbrett av borparameter-tolkning (hardhet til venstre og oppsprekking til høyre).

Profil 975-986

Over denne 11 meter lange strekningen er det registrert og tegnet inn tre smale svakhetssoner i Novapoint. Utsnitt fra kartleggingen over strekningen er vist i Figur 4.13. De to første sonene er parallelle og faller moderat mot SØ, altså motsatt vei av foliasjonen. En av disse kan følges over hele tunnelprofilen mens den andre kun ses i høyre vegg og vederlag. Den siste sonen ser ut til å falle moderat mot NV. Også denne er kun observert i høyre vegg og vederlag.

Den ser ut som om hovedproblemene knyttet til sonen er i forbindelse med vannlekkasjer: Det er registrert en områdelekkasje i nærheten og det er ikke montert opp ekstra sikring utover den vanlige sikringsklassen, som tyder på at bergmassen er stabil.



Figur 4.13 – Utsnitt fra Novapoint-utskrift, profilnummer 975-990. Fra venstre: Q-verdi og bergklasse, utbrett av geologisk kartlegging og utbrett av borparameter-tolkning (hardhet til venstre og oppsprekking til høyre).

Profil 1027-1030

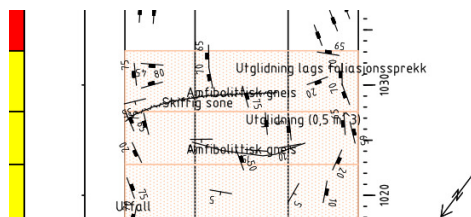
Fra rundt profil 1000 blir berget mer oppsprukket og sprekke er fylt med bl.a. forvitret plagioklas og kloritt i lag på 0,1-5 cm. Glimmermineralisering forekommer også.

Noen svakhetssone treffer imidlertid ikke tunnelen på før ved profil 1027. Her krysser en skifrig sone tvers over tunnelen. Fallet på sonen er estimert til å være rundt 70° mot NV. Det har forekommet flere utglidninger i og rundt sonen. Som en ser av Figur 4.14 er foliasjonen her målt inn til å falle 5° mot nordvest. Sonen er med andre ord ikke en del av denne.

Det er registrert små drypp av vann og fukt i veggene i tunnelen etter driving. Bergkvaliteten er funnet til å være middels, altså klasse C. Figur 4.14 viser registreringen av sonen i Novapoint. Utsnittet viser dessuten kommentarer som viser hvor utfall er registrert. Loggeutstyret på borryggen har ikke vært aktivt gjennom sonen, så det er ikke gjort borparametertolkninger.

Langs strekning fra profil 1021 til 1047 er det utført ekstra sikring i form av at sprøytebetongen er ført helt ned til sålen i 10 cm tykkelse. Dette tyder på at fjellkvaliteten har vært dårlig også rundt selve svakhetssonen.

Av Figur 4.14 se en at på salven etter at sonen er passert, er berget funnet å være av klasse E. Salven etter er bergklassen igjen satt til C. Denne ene E-kartleggingen viser seg å være gjort av en annen geolog enn de andre salvene og SRF-verdien er satt til å være 2,5 i stedet for 1,0 som den er i områdene rundt. Dermed antas det at det ikke forekommer særlig dårligere berg over denne strekningen enn ellers i området og at E-klassen snarere er et resultat av at Q-verdien påvirkes av subjektive vurderinger av inngangsparameterne.



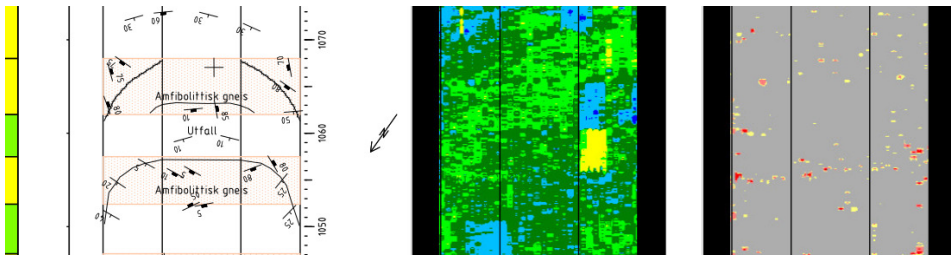
Figur 4.14 – Utsnitt fra Novapoint-utskrift, profilnummer 1020-1035. Q-verdi og bergklasse til venstre, utbrett av ingeniørgeologisk kartlegging til høyre.

Profil 1062-1067

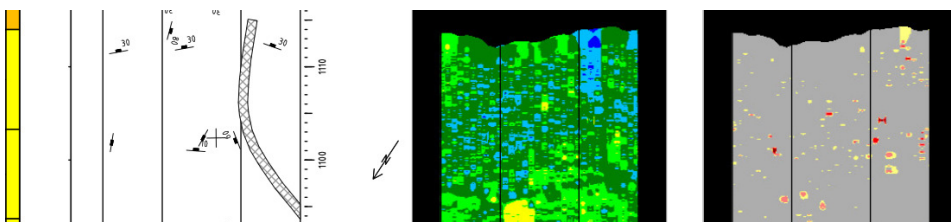
Denne sonen er som vist i Figur 4.15 også en typisk foliasjonssone med slakt til moderat fall mot NV og strøk omtrent vinkelrett på tunnelaksen. Det er registrert sporadiske smådrypp i tunnelen samt enkelte fuktflekker i og rundt sonen. Det finnes dessuten to gjennomsettende foliasjonssprekker som kan ses over hele profilet i nærheten av svakhetssonen, også disse avgir vann. Sonen ligger i en amfibolittisk gneis med utfall registrert under kartlegging.

Profil 1094-1115

Langs 26 tunnelmeter ses en bred svakhetsone bestående av sterkt oppsprukket materiale i høyre vegg og vederlag. Denne sonen skiller seg fra de fleste andre sonene i tunnelen ved at den faller mot sørvest. Tilsynelatende fall langs tunnelaksen er slakt mot sørøst. Sonen kommer ikke fram på borparametertolkningen. Sett bort fra sporadiske drypp er område tørt. I ettertid har det blitt utført ekstra sikring i form av ekstra sprøytebetong fra sålen og åtte meter opp. I tillegg er boltingen ført ned til sålen på den siden svakhetssonen ligger.



Figur 4.15 – Utsnitt fra Novapoint-utskrift, profilnummer 1050-1065. Fra venstre: Q-verdi og bergklasse, utbrett av geologisk kartlegging og utbrett av borparameter-tolkning (hardhet til venstre og oppsprekking til høyre).



Figur 4.16 – Utsnitt fra Novapoint-utskrift, profilnummer 1094-1115. Fra venstre: Q-verdi og bergklasse, utbrett av geologisk kartlegging og utbrett av borparameter-tolkning (hardhet til venstre og oppsprekking til høyre).

Profil 1117-1240

Fra profil 1117 går tunnelen inn i et område med mange svakhetssoner orientert med et strøk ortogonalt tunnelaksen. Novapointutskriften er vist i Figur 4.17. Som en ser av kartleggingen i figuren er fem av sonene over en meter brede. Alle sonene faller mot driveretningen; de fleste slakt, men to soner i nord (ved profil 1117 og 1140) faller steilere i et område med få foliasjonmålinger. De fleste sonene ses over hele tunnelprofilen.

Bergklassen er stort sett satt til klasse E - svært dårlig bergmassekvalitet, men det finnes også steder med "ekstremt dårlig berg" (klasse F). På grunn av lav overdekning og svakhetssoner er SRF økt til 2,5 og 5,0 over en del salvelender, noe som er med på å senke Q-verdien ytterligere (se Avsnitt 2.4).

Bergmassen er sterkt til meget sterkt oppsprukket med RQD nede i 15 (se Avsnitt 2.4). Det forekommer ofte hvit og grønn leire langs foliasjonssprekker. Stort sett ligger de i tynne lag, men leiremektigheter på opptil 5 cm er registrert. I tillegg forekommer det glimmermineraliseringer på foliasjonssprekker samt en del rustrød forvitret feltspat. Grønne mineralbelegg er registrert rundt profil 1155.

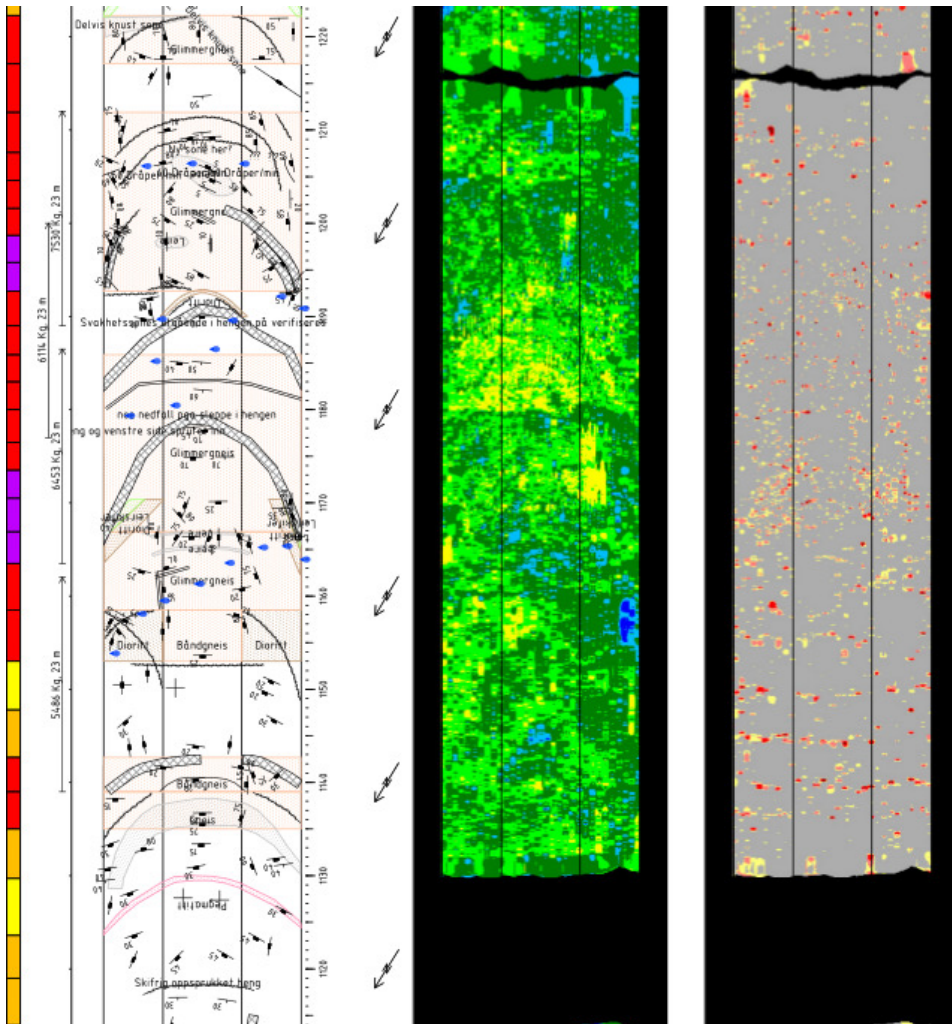
I det første området med bergklasse F er det registrert leirsoner med 10-50 cm mektighet. I F-sonen mellom profil 1192 og 1199 er berget svært oppknytt og dette har ført til blottlegging av forbolter som følge av nedfall. Selv ved forsiktig pigging forekommer det nedfall, og det faller også en del materiale etter pigging.

Fra profil 1222 blir bergmassekvaliteten noe bedre (klasse D), men to svakhetssoner er igjen påtruffet ved profil 1236. Disse gir imidlertid ikke utslag i økt skifrihet/oppsprekking i tunnelen, men området rundt viser seg å være fuktig under etter-kartleggingen av vann i tunnelen.

På borparametertolkningen kommer det fram strukturer som følger svakhetssonenes orientering, men det er vanskelig å korrelere de ulike sonene med bestemte strukturer i borparametertolkningen. Langs deler av strekningen ser det dessuten ut til at det er enda et utpreget sprekkesett; det er registrert større oppsprekking i strukturer som går i en rett linje over utbrettet. Da disse i stor grad følger salvelenden de imidlertid tolket til å skyldes sprengningsforstyrrelser snarere enn svake partier bergmassen.

Under etterkartleggingen av vann er dryppregn registrert rundt profil 1160, 1190 og 1205. Opptil 2 l/min er målt ved profil 1150-1160.

Når det gjelder driving og sikring gjennom sonene, så har det blitt benyttet forinjeksjon fra profil 1139 og ut til profil 1211, totalt 25583 kg, fordelt på fire skjerner à 23 meter. Gjennom de vanskeligste sonene fra profil 1163-1208 er det dessuten salvelengden redusert fra fem til tre meter. Sikring er utført i samsvar med sikringsklasse IV og V, med forbolting, fjellbånd, armerte sprøytebetongbuer (total 11 stykk) og gyste bolter. Svelletrykksmålinger er gjort av leirprøve fra sonen ved profil 1170. Resultatene viste moderate til høye svelletrykk på 0,26 og 0,29 MPa, som tidligere presentert i Tabell 4.4.



Figur 4.17 – Utsnitt fra Novapoint-utskrift, profilnummer 1010-1120. Fra venstre: Q-verdi og bergklasse, utbrett av geologisk kartlegging og utbrett av borparameter-tolkning (hardhet til venstre og oppsprekking til høyre).

Profil 1280-1455

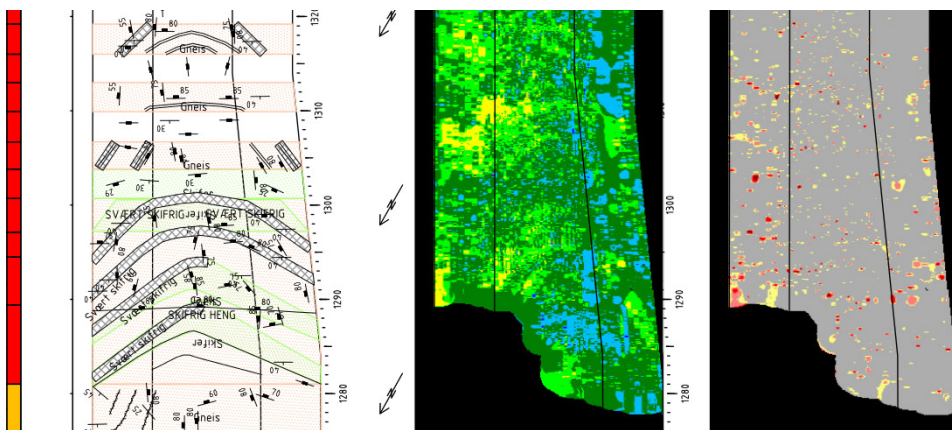
Fra profil 1280 og ut tunnelen i sør er bergmassen stort sett av svært dårlig kvalitet. Langs strekningen er det kartlagt definerte svakhetssoner langs tre strekk, mellom profil 1280 og 1320, profil 1365 og 1409 samt ute ved påhugget ved profil 1446-1451. Stort sett hele strekningen er drevet med tre meters salvelengder med forbolting og fjellbånd i tillegg til systematisk bolting og sprøytebetong.

Profil 1280-1320 Under Kjerringhaugen ved profil 1280 treffer tunnelen på fire etterfølgende brede svakhetssoner i forbindelse med oppsprekninger langs foliasjonen. Alle er orientert på tvers av tunnelaksen med et fall på rundt 40° mot nordvest.

Sonene består av svært skifrig leirskifer. Rødt materiale, trolig forvitret feltspat, ligger i 0,1-5 mm tykke lag på tre sprekkesett, men ikke langs foliasjonen. Noe leire er imidlertid observert på foliasjonssprekkene og området er vått under etterkartleggingen av vann. En del av lekkasjene kommer fra boltehull. Bergklassen er satt til klasse E - svært dårlig berg. Ved profil 1300 er Q-verdien satt til 0,2 og det er dermed satt opp en armert sprøytebetongbue etter krav til dette ved så lave Q-verdier (Todnem, 2012).

Under driving ble det erfart vanskelig boring med mye fastboring gjennom sonene og det er drevet med kun halv salvelengde.

Disse sonene som kan følges over hele profilet, slutter ved profil 1301. Etter dette er det mer sporadiske registreringer av svakhetssoner, men bergmassen er fortsatt satt til klasse E. Her er det imidlertid tørt.

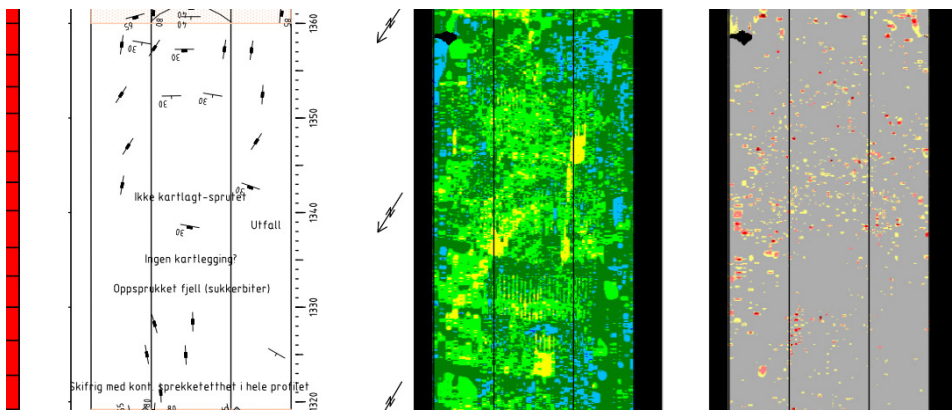


Figur 4.18 – Utsnitt fra Novapoint-utskrift, profilnummer 1280-1320. Fra venstre: Q-verdi og bergklasse, utbrett av geologisk kartlegging og utbrett av borparametertolkning (hardhet til venstre og oppsprekking til høyre).

Profil 1320-1365 Her er karleggingen noe mangelfull, men det er registrert meget sterkt oppsprukket berg med sukkerbitberg (RQD nede i 20). En sone med sterkt oppsprukket mørkt fjell og tynne leirbelegg er registrert i sålen ved 1333 i følge kommentarene gjort under driving. Sonen beveger seg etterhvert oppover i stufen, og kan være en foliasjonssprekkesone. Som en ser av Figur 4.19 er ikke sonen tegnet inn i Novapoint.

Sonen ses derimot i borparametertolkningen, som vist i Figur 4.19. Her ser en tolkningen av oppsprekking helt til høyre en klar buformet fortykning av røde og

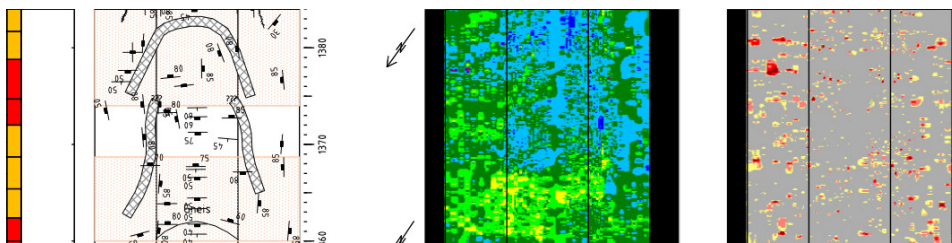
gule flekker som viser økt oppsprekking. Den buede formen styrker antakelsen om at det dreier seg om en foliasjonssone.



Figur 4.19 – Utsnitt fra Novapoint-utskrift, profilnummer 1320-1360. Fra venstre: Q-verdi og bergklasse, utbrett av geologisk kartlegging og utbrett av borparameter-tolkning (hardhet til venstre og oppsprekking til høyre).

Profil 1365-1409 Her er det kartlagt mer slakt hellende foliasjonssprekkesoner. Eksakt fall på sonene er vanskelig å finne ut fra kartleggingen, men fallet antas å ligge mellom 20 og 30° mot nordvest. Berget er noe bedre her enn tidligere, men det er leirbelegg på foliasjonssprekkene. Bergklassen varierer mellom D og E. Langs enkelte soner trekkes forboltingen en meter lenger ned i vegg. I sonen ved profil 1400 er det en 2-15 cm mektig klorittsleppe. Av vann er det registrert smådrypp og området er fuktig.

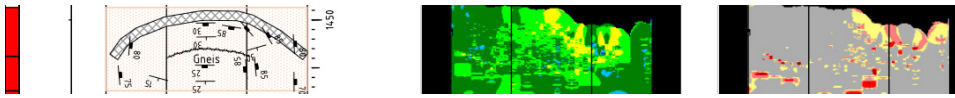
I tillegg til svakhetssonene er det markerte steile slepper som gir utglidninger.



Figur 4.20 – Utsnitt fra Novapoint-utskrift, profilnummer 136-1385. Fra venstre: Q-verdi og bergklasse, utbrett av geologisk kartlegging og utbrett av borparameter-tolkning (hardhet til venstre og oppsprekking til høyre).

Profil 1446-1451 Helt ute i påhuggsområdet er det påtruffet en smal og en bred sone som ser ut til å falle noe steilere (55-60°) enn foliasjonen i området som er

på rundt 30°. Det er ikke gitt noen spesielle kommentarer i forbindelse med sonen under driving. I ettertid er det kartlagt små vanddrypp og fukt i tunnelen.



Figur 4.21 – Utsnitt fra Novapoint-utskrift, profilnummer 1455-1450. Fra venstre: Q-verdi og bergklasse, utbrett av geologisk kartlegging og utbrett av borparameter-tolkning (hardhet til venstre og oppsprekking til høyre).

4.4 Sammenligning av prognoser og erfaringer

I dette avsnittet blir prognosene fra forundersøkelsene sammenlignet med erfaringene fra drivingen. Hovedvekten ligger på svakhetssoner, deres geometri og karakter og en vurderingen av hvilke soner fra forundersøkelsene som tilsvarer hvilke soner fra drivingen. Figur 4.22, hvor alle forventede og påmøtte soner er tegnet inn har vært et nyttig verktøy i sammenligningen.

Dette er en ren sammenligning av prognosene og erfaringene fra driving. Årsaker til avvik og videre diskusjon følger i Kapittel 6.

4.4.1 Svakhetssoner

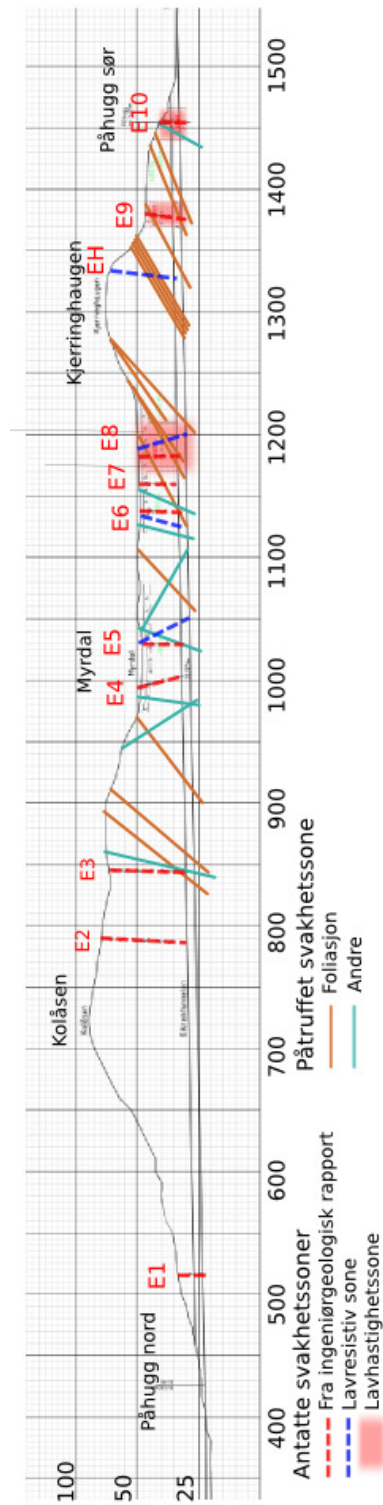
I dette avsnittet gjennomføres det en analyse av prognosene og erfaringene fra tunneldrivingen for å se hvilke soner fra forundersøkelsene som ble møtt i tunnelen. Sammenligningen begynner med sonene i sør og tar for seg alle sonene både fra forundersøkelsene og fra drivingen.

Det påpekes at ved Eikremtunnelen er bergmassen svært foldet og dette vanskeliggjør tolkninga av hvilke soner fra forundersøkelsene og som tilsvarer de ulike sonene møtt i tunnelen. En vanlig forenkling er å anta at svakhetssonene er plane (Nilsen, 2012), men ved Eikremtunnelen er bergmassen svært foldet, slik at dette blir en forenkling som ikke har hold i virkeligheten (Ganerød, 2012). Det må derfor tas forbehold om store avvik i plassering av svakhetssoner i dagen.

Fra nordre påhugg og gjennom Kolåsen, profil 484-970

Bergforholdene nord i tunnelen var forventet å være gode, kun med noen svakhetssoner. Den ingeniørgeologiske kartleggingen under forundersøkelsene indikerte en sone (E1), men denne ble ikke påtruffet i tunnelen. Det er registrert noe mer oppsprukket berg i området i tunnelnivå, men ingen svakhetssone.

Sonen E2 er heller ikke påtruffet i tunnelen, kun en gjennomsettende sprekk ved profil 790. Bergklassen er dessuten funnet å være B. Den antatte bergklassen var



Figur 4.22 – Samlefigur over alle svakhetssoner fra forundersøkelsene og fra drivingen av Eikremtunnelen.

satt til å være D. Resistiviteten for den antatte sonen indikerte at en kunne få vannproblemer under driving, men det er heller ikke registrert noe vann i området. Bergforholdene i tunnelen var altså mye bedre enn antatt fra forundersøkelsene rundt sone E2.

Sone E3 fra forundersøkelsene faller sammen med svakhetszone mellom profil 830 og 862 påtruffet under driving. Som sagt faller de brede sonene slakt mot i nord, mens den mellomliggende smale sonen faller 75° mot nordvest. Dette stemmer bedre med det antatte steile fallet for sone E3. I motsetning til foliasjonssonene, inneholdt denne sonen vann, som forventet i sone E3.

Myrdal - Kjerringhaugen nord

Ved profil 1005, hvor sone E4 var forventet å treffe tunnelen i følge geologisk rapport, er det ikke registrert spesielle forhold i tunnelen. Derimot ser en ut fra Figur 4.22 at den nordvestfallende sonen ved profil 985 har utgående i dagen ved der hvor E4 ble lokalisert av resistivitetsmålingene. E4 var opprinnelig tolket til å falle steilt mot sørøst, men dette kan selvfølgelig være en feiltolkning. Resistiviteten indikerte vannproblemer i sonen, noe som stemmer med forholdene i tunnelen hvor et område med lekkasje er registrert i forbindelse med sonen. Utstrekningene av sonen er dessuten beskjedne, som forventet. Av dette tolkes det at den nordvestfallende sonen ved profil 985 tilsvarer sone E4 fra forundersøkelsene.

Ved profil 980, finnes det to sørøstfallende svakhetssoner. Disse to har ingen forakring i svake terrengformer i dagen og er heller ikke fanget opp av de andre ingeniørgeologiske forundersøkelsene. Sonene viser noe uregelmessig forløp over profilet, slik at det er godt mulig at disse faktisk faller motsatt vei enn antydning i Figur 4.22 og er en del av sone E4. Uansett har disse to sonene ikke gitt særlige driveproblemer.

Sone E5 sammenfaller med sonen ved profil 1030 i tunnelen. Resistiviteten indikerte vann i sonen, noe som også er påtruffet i tunnelen.

For denne sonen er det imidlertid to ganske forskjellige angivelser av orientering mot dypet i geologisk rapport og i NGUs resistivetsrapport: I geologisk rapport er den satt til å være vertikal, mens i følge resistiviteten faller den moderat til steilt mot sørøst. Det tolkes dithen at den steiltfallende sonen ved 1030 tilsvarer sone E5 og at denne er registrert av resistiviteten.

Den første sonen i den problematiske strekningen fra 1117 til 1240 er truffet og orientert slik at passer godt med sone E6 fra forundersøkelsene. I tillegg inneholdt sonen i tunnelen mye leire, som forventet for sone E6 ut fra den lave resistiviteten. Sonen ved 1117 settes derfor å være den lavresistive sonen E6.

Sone E7 tolkes til å tilsvare den brede, steile sonen ved profil 1140. I motsetning til det forventede ut fra resistiviteten, er det hverken fra BPT eller lekkasjekartleggingen registrert særlig vann her.

Når det kommer til sonen E8 fra seismikken, er det grunn til å anta med utgangspunkt i Figur 4.22 at foliasjonssonene som treffer tunnelen ved profil

1140 og 1150 er årsaken til at en lav hastighet er målt her. Det kan tenkes at foliasjonssonene som treffer under den inntegnede lavhastighetssonene har gitt noe utslag på seismikken, men hovedutslaget tilskrives sonen ved profil 1140. På grunn av at seismikken ikke angir noe fall, ble sonen derimot tolket som steil og med det antatt å treffe 20-40 meter lenger nord enn disse foliasjonssonene.

Her oppstår det et interessant forhold: Sonene under den antatte E8 er strengt ikke avdekt av forundersøkelsene, men traff tunnelen inne i et område hvor forundersøkelsene indikerte dårligere bergforhold som en konsekvens av en *annen* lavhastighetssone. I den faglige diskusjonen vedrørende lavhastighetssone E8, vil med andre ord disse sonene ikke ha noen betydning. *Drivemessig* i tunnelen med tanke på økonomi og tidsprognoser kan en derimot si at de *har* blitt avdekt og at *lavhastighetssonen* E8 - *uten fallangivelse* - er påtruffet. Sonen har likevel vist seg over en mye større strekning enn prognosene tilsa: Det var forventet bergmasseklasse E/F langs 20 meter, mens i virkeligheten var bergmasseklassen E/F langs 70 meter! Definerte svakhetssoner kommer og går langs hele denne strekningen.

Ingen soner truffet i tunnelen kan direkte knyttes opp mot den lavresistive, steile sonen E8 fra forundersøkelsene. Det vil si; en liten, ikke utholdende svakhetszone ses i venstre vegg ved profil 1193 i Figur 4.17, men i forhold til foliasjonssonene her, har denne ingen betydning for driveforholdene og sonen blir som en dråpe i havet.

Gjennom Kjerringhaugen og ut til påhugg sør

Sonene under Kjerringhaugen tolkes til å ikke ha noen forankring i sonene funnet under forundersøkelsene.

Ved profil 1330, hvor sonen EH var forventet å treffe tunnelen, mangler den ingeniørgeologiske kartleggingen i Novapoint. På BPT kan en slak foliasjonssone skimtes. Denne er også kommentert i kartleggingsskjemaet for Q-verdi. Det er mulig at steilere soner også finnes her, men en vurdering av hvorvidt sone EH har blitt møtt eller ikke er ikke mulig.

Når en beveger seg til sørsiden av Kjerringhaugen og sone E9, tolkes foliasjonssonen ved profil 1333 å representere lavhastighetssonen funnet her: Denne sonen har utgående i sørenden av lavhastighetssonen og forvinner ned under Kjerringhaugen på nordenden av lavhastighetssonen. Her stopper også det seismiske måleprofil. Lave hastigheter ble målt over en 20 meter lang strekning.

Som en ser av Figur har en her samme situasjon som ved E8: Sonene påtruffet i tunnelen innenfor lavhastighetssonen er ikke de samme sonene som ga utslag på seismikken.

Når det gjelder den steile lavresistive sonen E9 har ikke denne blitt møtt.

Sone E10 ser ut til å tilsvare sonen truffet i det sørlige påhugget, men med feil estimat av fall: Dersom en forlenger sonen i tunnelen ut mot dagen, treffer den inne i området hvor seismikken viste dårligere bergforhold.

Resistiviteten registrerte ikke sone E10 her, men sonen *er* faktisk avdekt av resistivitetsmålingene, men tolket å ligge utenfor påhugget (merket sone “J” i Figur 4.6).

Lunnertunnelens tolkningsmodell

Erfaringene fra Eikremtunnelen vedrørende Lunnermodelles tolkningsmodell, presentert i Avsnitt 3.2.2, er oppsummert i tabellform nedenfor (Tabell 4.8). Som en ser, har modellen stemt for de fleste sonene, med unntak av sone E7, hvor resistiviteten indikerte vann, mens det i tunnelen kun er observert noe leire.

Tabell 4.8 – Resistivitet og sonekarakter for alle lavresistive soner truffet i tunnelene.

Sone	Resistivitet, Ωm	Sonekarakter	Tolkningsmodell
E3	500-1000	Vann	Vann
E4	500-1000	Vann	Vann
E5	500-1000	Vann	Vann
E6	<500	Leire	Leire
E7	500-1000	Leire	Vann

4.4.2 Andre ingeniørgeologiske forhold

I foten av Kolåsen var det forventet et bergartsskille mellom gneis og amfibolitt. Under driving ble det som sagt ikke observert klare bergartsskilleer noe sted langs traseen, og denne grensen er altså ikke møtt.

Sammenligner man Figurene 4.5 og 4.9 ser en at foliasjonens tverrsprekker har vært mer utbredt i tunnelen enn prognosene tilsa. Når det gjelder bergmasseklassefordelingen, ser en ut fra sammenstillingen av prognosene med faktisk fordeling i Tabell 4.9 at prognosene har stemt bra om man ser på bergklasse C og opp. En ser imidlertid at omfanget av bergklasse E er mye større enn forventet.

Når det gjelder sikringsomfang, ser en av Tabellene 4.2 og 4.6 at det ikke er store avvik i mengdene oppgitt i kontrakten og de faktisk utførte mengdene når det kommer til bruk av bolter, sprøytebetong og sprøytebetongbuer. Selv om betongutstøpning var lagt inn i kontrakten har ikke dette blitt benyttet i tunnelen. En ser også at injeksjonsarbeidet har vært vesentlig mindre omfattende enn fryktet (26 tonn utført mot 200 tonn i kontrakten). Disse to avvikene skyldes at det i kontrakten var tatt høyde for at de vanskeligste sonene kunne bli enda vanskeligere enn det forundersøkelsene tilsa. Dette har ikke vært tilfelle (Todnem, 2012).

Tabell 4.9 – Sammenstilling av bergmasseklassefordeling tolket fra forundersøkelsene og kartlagt.

Bergklasse	Fra forundersøkelsene	Faktisk fordeling
A/B	37%	33%
C	31%	31%
D	27%	13%
E	3%	21%
F	2%	2%

Tabell 4.10 – Oversikt over antall soner funnet av de ulike forundersøkelsene. T=feltkartlegging, S=refraksjonsseismikk, R=resistivitetsmålinger.

Metode:	T	S	R
Antall soner fra forundersøkelsene	4	3	9
Av disse møtt i tunnel	3	3	5
Av disse kun avdekt av aktuelle metode	0	2	3

4.4.3 Oppsummering

En oppsummering av sammenligningen over vedrørende svakhetssonene er gitt i Tabell 4.11. I tabellen er sonene listet opp med profilnummer fra forundersøkelsene, profilnummer i tunnel og angivelse av hvilke forundersøkelser som avdekket sonen.

Som en oppsummering av samsvaret mellom prognoser og erfaringer fra Eikrem-tunnelen, kan det sies at resistiviteten i stor grad har identifisert de steile svakhetssonene i tunnelen, men i liten eller ingen grad sonene i forbindelse med foliasjonen. Refraksjonsseismikken har vist utslag på tre påmøtte svakhetssoner. Resistivitetsmålingene er metoden som har avdekt flest svakhetssoner i tunnelen. En oppsummering av antall soner funnet av de ulike metodene er gitt i Tabell 4.10. Første rad i tabellen angir totalt antall svakhetssoner de ulike metodene har avdekt ved Eikremtunnelen. Rad to angir hvor mange av disse som ble møtt i tunnel, mens rad tre sier hvor mange av disse sonene igjen som ble avdekt *utelukkende* av den aktuelle metoden.

Som forventet av forundersøkelsene har bergmassen i nord har generelt vært god. Forholdene var kanskje enda bedre enn forventet og sonene E1 og E2 ble ikke møtt. I de lavtliggende områdene ved Myrdal og sørover har bergmassekvaliteten som forventet vært dårligere og alle sonene E4-E7 kan korreleres med soner fra tunnelen.

Helt sør i tunnelen er samsvaret mellom prognoser og erfaringer mindre, med særlig to belter av svakhetssoner i forbindelse med foliasjonen som teknisk sett ikke har blitt avdekt av forundersøkelsene.

Vanskelighetsgraden av de verste svakhetssonene i tunnelen har vært som forventet.

Tabell 4.11 – Sammenstilling av svakhetssoner fra forundersøkelser og driving. T=geologisk kartlegging, S=refraksjonsseismikk, R=resistivitetmålinger. X angir at sonen er registrert av den aktuelle metoden.

Svakhetszone	Funnet fra:			Profilnummer	
	T	S	R	Prognose	Faktisk
E1	X			515	Ikke møtt
E2			X	785	Ikke møtt
E3	X		X	845	845
Ikke funnet ^a				-	830-862
Ikke funnet				-	915
E4			X	1005	985 (evt. 975-986)
E5	X		X	1030 (1040)	1030
Ikke funnet				-	1062
Ikke funnet				-	1094
E6			X	1135 (1125)	1117
E7			X	1160	1140
E8		X	X ^b	1185 (1195)	1135
Ikke funnet ^a				-	1165-1220
Ikke funnet				-	1280-1320
EH			X	(1330)	Ikke møtt
E9		X	X ^b	1375	1333
Ikke funnet ^a				-	1365-1409
E10	X	X		1455	1445

^aSonene treffer tunnelen i et område hvor det fra forundersøkelsene var forventet svakhetssoner. Sonene ble imidlertid ikke tolket å være årsaken til lavere resistivitet/seismisk hastighet og listes derfor som "ikke funnet".

^bDen lavresistive sonen ikke møtt.

Kapittel 5

Knappetunnelen

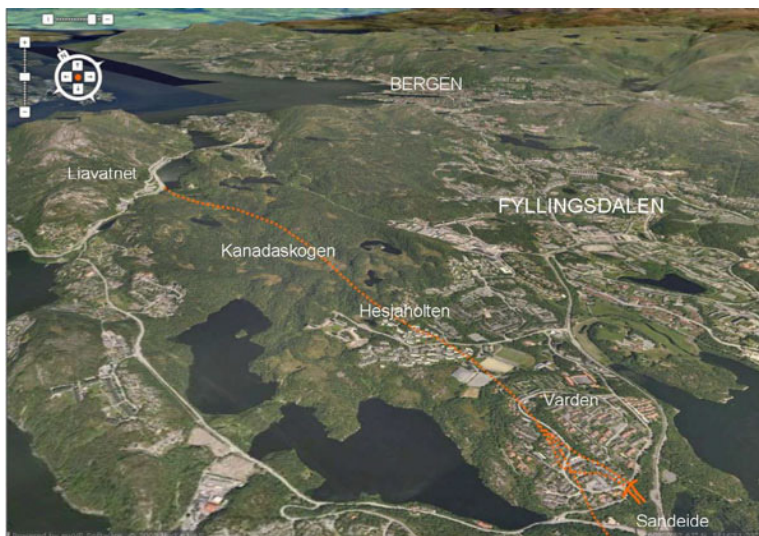
Dette kapitlet består av fire deler. Først gis det en introduksjon til Knappetunnelen med presentasjon av prosjektet, den geologiske historien en gjennomgang av de utførte grunnundersøkelse. Resultatene fra forundersøkelsene presenteres i Avsnitt 5.2. I Avsnitt 5.3 tolkes det tilgjengelige erfaringsmaterialet fra tunnelen. Til sist gjøres det en sammenligning av prognosene og erfaringene fra tunnelen, til bruk i senere diskusjon.

5.1 Prosjektbeskrivelse

Knappetunnelen sørvest for Bergen er en del av prosjektet Ringveg Vest som skal forbedre veiforbindelsen mellom Flyplassvegen i sør og Liavatnet i nord. Byggetrinn 2 strekker seg fra Sandeide til Liavatnet, som vist i Figur 5.1, med Bergen i bakgrunnen i nordøst. Trafikken langs strekningen går i dag i stor grad gjennom tett bebyggelse og det er flere flaskehals lang strekningen som resulterer i kødannelse i rushtiden (Kirkeby, 2010; Statens vegvesen, 2012b).

Ringveg Vest består av tre byggetrinn: Dolvik - Sandeide (ferdig september 2010), Sandeide - Liavatnet (planlagt ferdig sommeren 2015) og Flyplassvegen - Dolvik (byggetrinn 3, ikke påbegynt). Knappetunnelen ble påbegynt under byggetrinn 1, og skal fortsettes nordover under byggetrinn 2. Vegtraseen som skal bygges under dette trinnet strekker seg over 3,8 km - fra Sandeide i sør, under Kanadaskogen og til Liavatnet i nord (Figur 5.1). Strekningen bygges som to-løps tunnel med to felt i hver tunnel. I tilknytning til tunnelenes hovedløp, skal det bygges av- og på-kjøringsramper ved Sandeide, ned til hovedtunnelene. Dette er vist i ingeniørgeologisk kart i Vedlegg B.1.

Tunnelene bygges generelt med T9,5-profiler, med utvidelser opp til T13. Rampene bygges som T7,5+1-profil, dvs et modifisert T7,5-profil hvor bredden er utvidet med én meter. Totalt skal 8325 m tunnel drives langs de to løpene, hvorav 685 meter er ramper (Statens vegvesen, 2012a; Kirkeby, 2010).



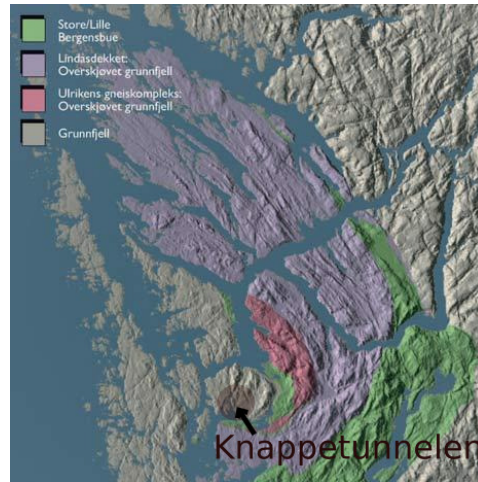
Figur 5.1 – Oversiktsfoto byggetrinn 2 (Kirkeby, 2010).

5.1.1 Geologisk historie

Byggetrinn 2 av Knappe tunnelen ligger i bergarter lik de i den vestre gneisregionen og området har en lik geologisk historie som Eikremtunnelen (se Avsnitt 4.1.1). Området er likevel spesielt:

Rundt Bergen finner en de såkalte Bergensbuene som består av en rekke forskjellige skyvedekker. Figur 5.2 viser bergensbuene. Byggetrinn 2 av Knappe tunnelen går gjennom kjernen av buene og berggrunnen består her av prekambrisk grunnfjell fra Baltika. Denne kjernen kalles *Øygarden gneiskompleks*. Den ytterste og innerste buen (Store og Lille Bergensbue) består av bergarter typisk for øvre dekkelag. Mellom disse to buene ligger det imidlertid buer av overskjøvet grunnfjell (lengst øst) og en bue med grunnfjell og kvartsitt, antatt å representere det midtre dekket. Disse midtre dekkene hviler på den øvre dekkeserien og dekkestratigrafien er med andre ord invertert her. Dannelsesprosessen for buene er uklar, men én mulige forklaringer er nord-sør-rettet trykk som ga foldning (Ramberg et al., 2007).

Byggetrinn 1 av Knappe tunnelen går gjennom Bergensbuene, mens videreføringen av tunnelen nordover under byggetrinn 2 holder seg i Øygardkomplekset hvor granittiske gneiser med innslag av amibolitt dominerer (Ramberg et al., 2007).



Figur 5.2 – Bergensbuene (Ramberg et al., 2007)

5.1.2 Driving

Hvert av hovedløpene drives fra tre stuffer; sørover og nordover fra Sandeide og sørover fra Liavatnet med økende profilnummer nordover. De ulike stoffene betegnes med følgende navn:

- S11S/S12S: Sørover fra Sandeide, løp 11/12
- S11N/S12N: Nordover fra Sandeide, løp 11/12
- L11/L12: Fra Liavatnet, løp 11/12

Løp 11 er løpet for nordgående trafikk, løp 12 for sørgående.

Hele tunnelen er lagt til geoteknisk prosjektklasse 3 etter NS 3480. Prosjektklasse 3 er valgt blant annet på grunn av strenge rystelsekrav, stedvise lave overdekninger med dårlig bergmasse og forventninger om omfattende injeksjonsarbeid over lengre strekninger (Kirkeby, 2012).

Normalt drives det med fem meters salvelengder, men i vanskelige partier og i partier med lav overdekning benyttes redusert salvelengde, ofte på tre meter. Systematisk forinjeksjon benyttes der hvor det er tolket nødvendig fra forundersøkelsene.

Per 8. mai 2012 er omtrent halve tunnelengden drevet. Illustrasjonen i Figur 5.3 viser de ferdigdrevne delene av tunnelen 7. mai.

Hovedentreprenør for tunnelen er AF.



Figur 5.3 – Oversiktsbilde av tunneltraseen med de drevne strekninger per 7. mai markert i rødt (Statens vegvesen, 2012b).

5.1.3 Forundersøkelser

Det er utført en rekke forundersøkelser i forbindelse med tunnelen og disse beskrives her. Undersøkelsene er gjennomført i tidsrommet 1998-2009. Resultatene fra forundersøkelsene er presentert i rapportgrunnlaget listet i Avsnitt 5.1.5.

Geologisk kartlegging

Geologisk og ingeniørgeologisk kartlegging er gjennomført i flere omganger fra 1998 av Statens vegvesen samt av studenter ved Universitetet i Bergen (UiB) i 2001 og 2003.

Grunnboringer

Statens vegvesen Hordaland gjennomførte en rekke fjellkontrollboringer og totalsonderinger i syv områder langs traseen i 1998-2002 og 2009 for å finne dyppet til bergoverflaten og for å anslå bergkvaliteten.

Geofysiske undersøkelser

Refraksjonsseismiske undersøkelser er gjennomført i fem omganger; i 2002 og 2003 av Geomap AS og i 2004, 2009 og 2010 av GeoPhysix. 15 profiler er skutt i nærheten av tunneltraseen med stor dekningsgrad.

2D resistivitetsmålinger og IP-målinger ble utført av NGU i 2010 langs en 3000 meter lang strekning som følger tunneltraseen fra Hesjakollen ved ca. profil 6250 og nordover til påhugget ved Liavatnet ved profil 8830. Det ble benyttet Gradient elektrodekonfigurasjon med 10 meters elektrodeavstand. Ved Hesjakollen ble det målt et ekstra profil med halvert elektrodeavstand for et mer detaljert bilde. Under inversjonen av måledataene er det benyttet en V/H-faktor på 2. Inversjonen er gjort ved bruk av programmet RES2DINV.

Laboratorieundersøkelser

Statens vegvesen laboratorietestet i 2003 bergartsprøver fra totalt seks lokaliteter langs traseen. Tester som har blitt gjort er fallprøve og Los Angeles (alle prøver) og kulemølle (to av prøvene). Det er hverken gjort tester på bergartens borbarehet, sprengbarhet eller mineralogi, heller ikke på sleppematerialer.

Hydrogeologiske undersøkelser

I 2002 gjennomførte Rune Stumo fra UiB sin hovedfagsoppgave på numerisk modellering av bruddnettverk, konnektivitet og permeabilitet i forbindelse med Knappetunnelen (Stumo, 2002). I Guri Ganerøds hovedfagsoppgave fra 2003 ser hun på bruddsystem og spenningsfelt tilknyttet tunnelen (Ganerød, 2003). Også denne oppgaven er gjennomført hos UiB .

Jordforsk (nå Asplan Viak) gjennomførte i 2003 en vurdering av de hydrogeologiske forholdene ved tunnelen og har satt krav til innlekkasje etter sprengning.

Statens vegvesen boret i 2003 seks kontrollbrønner og har laget et program for overvåkning av grunnvannsnivået ved tunneltraseen. COWI utførte georadarundersøkelser og feltundersøkelser av vannkvalitet (konduktivitet og temperatur) i 2009 og har satt opp et anbefalt program for overvåkning av vann i løsmasser.

Befaring og erfaringer fra nærliggende anlegg

Norconsult Bergen gjennomførte i 2010 en befaring av en kloakktunnel som krysser Knappetunnelen ved Sandeide i sør. Det har ikke vært mulig å oppdrive opplysninger fra drivingen av denne tunnelen.

Erfaringer fra drivingen av norddelen av byggetrinn 1 har også vært nyttig da det har vært forventet samme bergarter og samme forhold i den sørlige delen av byggetrinn 2. Herfra har en informasjon om sprekkefrekvens, sprekkeegenkaper, sprekkegeometri, spenninger, lekkasjeproblemer og bergarter. I tillegg er det gjort laboratorietesting av sleppematerialer med hensyn på svelleegenskaper.

5.1.4 Utsatte undersøkelser

Undersøkelsene gjennomført under driving blir her gjennomgått. Resultatene fra undersøkelsene har vært tilgjengelig gjennom rapportgrunlaget listet i Avsnitt 5.1.5.

Ingeniørgeologisk kartlegging

Som i Eikremtunnelen har tunnelstufen blitt kartlagt av en ingeniørgeolog omtrent for hver salve under driving. Under kartleggingen er parametre for Q-verdi anslått og bergartstype, oppsprekking, foliasjon, svakhetssoner og eventuelt andre forhold registrert. Kartleggingsdataen er registrert Novapoint.

Kjerneboring

Så langt er det gjennomført to kjerneboringer fra stoff i Knappetunnelen. Begge hullene er plassert i sør ved profil 5180 og strekker seg 45 og 37 meter sørover.

Borparametertolkning

Borriggen er utstyrt med loggeutstyr for å registrere borparametrene borsynk, matetrykk, rotasjonstrykk, hammertrykk, rotasjonshastighet, vannmengde, vanntrykk og tid under all boring i tunnelen. Denne dataen brukes for å få informasjon om bergmassen en borer i, som f.eks. vanninnhold, oppsprekking og bergartsstyrke. Bever Control AS har stått for tolkningen av borloggen.

Laboratorietesting av sleppemateriale

Per dags dato er i alt 21 prøver blitt samlet inn og sendt inn for analyse. Dette inkluderer laboratoriearbeidet gjort i forbindelse med dette masterarbeidet. Prøver som viser frissvelling blir trykk- og XRD-testet. Testene er gjennomført ved SINTEFs Ingeniørgeologiske Laboratorium.

Sonderboringer

Sonderboringer har fram til nå blitt gjennomført ved all driving fra Sandeide. Fra Liavatnet-stuffen er det sonderboret fra ca. profil 8450 og sørover.

5.1.5 Rapportgrunnlag for Knappetunnelen

Fra forundersøkelsene, som danner grunnlaget for oppsummeringen av de forventede forholdene til bruk i sammenligningsdelen av oppgaven, har følgende relevante rapporter/dokumenter vært tilgjengelig og blitt brukt:

- Ingeniørgeologisk rapport til konkurransegrunnlaget, rapport nr. 2010127742-001, datert 15.10.2010 (Kirkeby, 2010) (ingeniørgeologisk kart samt oppsummering av lavresistive soner i oppgavens Vedlegg B.1 og B.4).
- 2D resistivitetsrapport, NGU rapport nr. 2009.077, datert 15.01.2010 (Ganerød et al., 2009) (resistivitetsmodellene finnes i Vedlegg B.3).
- Rapporter fra refrakssjonsseismiske undersøkelser gjennomført av Geomap, rapportnummer 211316.01 og 231521.01, datert hhv. 25.02.2002 og 24.11.2003 (Geomap, 2002, 2003).
- Rapport fra refrakssjonsseismiske undersøkelser fra GeoPhysix, rapport nr. 09171 og 09431, datert hhv. 21.08.2009 og 21.04.2010 (GeoPhysix, 2009, 2010).

Tidligere versjoner av materiale er her ikke tatt med i oversikten. Det finnes blant annet mange ingeniørgeologiske rapporter fra tidligere plannivå. Resultatene fra tidligere rapporter og fra de andre undersøkelsene (grunnboringer, hydrogeologiske undersøkelser osv.) er inkludert i ingeniørgeologisk rapport.

Når det gjelder rapportering og dokumentasjon fra driving, har følgende materiale vært tilgjengelig under arbeidet:

- Utskrift av kartlegging gjort i Novapoint for begge løp sammenstilt med sikringsomfang, datert 04.06.2012/08.05.2012 (løp 11/12) (Løp 12 i Vedlegg B.5).
- Utskrift av kartlegging gjort i Novapoint for nordgående løp (løp 11) sammenstilt med BPT av hardhet og oppsprekking, datert 20.04.2012.
- BPT av normalisert borsynk for løp 12 i bildeforamt, datert 08.05.2012.
- Framdriftskart med markering av svakhetssoner og sprøytebetongbuer i tunnelen, med kommentarer, mottatt 19.04.2012.
- Eksport av Q-verdi-kartlegging og kartleggingskommentarer fra Novapoint for begge løp, Excel-regneark, datert 08.05.2012.
- Eksport av sprekke- og foliasjonsmålinger fra Novapoint for begge løp, Excel-regneark, datert 08.05.2012.
- Kjerneboring ved pel nr. 5180; løpende registrering av Q-verdiparametre, Excel-regneark med tilhørende foto, mottatt 20.04.2012 (logg i Vedlegg B.6).
- Resultater fra frivellingsforsøk av sleppemateriale, Excel-regneark fra Statens vegvesens sentrallaboratorium, datert 20.02.2012
- Rapport fra laboratorieundersøkelser av svelleegenskaper til aktive sleppematerialer, SINTEF rapport nr. 12015IG, datert 09.05.2012 (Dahl, 2012).

I tillegg er mye informasjon gitt direkte fra de ansatte ved Ringveg Vests prosjektkontor i Bergen.

5.2 Prognoser fra forundersøkelsene

Dette avsnittet presenterer hovedresultatene fra forundersøkelsene gjennomført i forbindelse med planleggingen av Knapptunnelen. Prognosene for de ingeniørgeologiske forholdene som er presentert er i sammenfattet fra ingeniørgeologisk rapport for konkurransegrunnlaget (Kirkeby, 2010), dersom annet ikke er oppgitt.



Figur 5.4 – Berggrunnskart med inntegnet tunneltrasé.

36 = Granittisk gneis, rød, omdannet granitt.

47 = Gneis, overveiende granittisk til granodiorittisk med rød kalifeltspat, uensartet til migmatittisk, stedvis båndet, overveiende amfibol og biotittrik, stedvis grå granodiorittisk til tonalittisk gneis.

Modifisert figur fra Kirkeby (2010).

5.2.1 Bergarter, foliasjon og oppsprekking

Tunnelen vil gå gjennom Øygardskomplekset innerst i Bergensbuene (Avsnitt 5.1.1), som her består av homogene granittiske gneiser i sør og omdannet granitt, gneisgranitt og båndete/migmatittiske gneiser i nord, med innslag av amfibolitter og mørke biotitt/amfibol-rike gneiser. Berggrunnsgeologisk kart for tunneltraseen er vist i Figur 5.4. Laboratorietester på prøver fra seks lokasjoner viste at bergarten generelt er av god kvalitet.

Bergarten viser både foliasjon (strøk/fall VSV-ØNØ/15-20°S i sør og VSV-ØNØ/20-30°S i nord) og lineasjon (stupning 5-15° ØNØ). Stort sett er det ikke forventet å være gjennomsettende oppsprekking i forbindelse med foliasjonen, men det synes å være økt oppsprekking langs den i de sentrale delen av tunnelen, ved Kanadaskogen.

Subvertikale tverrsprekker orientert NNV-SSØ er markerte i terrenget og opptrer langs hele tunnallengden. Avstanden mellom enkeltsprekker langs dette sprekkesettet varierer fra 0,5-1,5 meter til til meget tett oppsprekking i opptil 3 meter brede soner. I disse sonene kan det forekomme leire. Disse sonene er ugunstig orientert i forhold til tunnelaksen og kan tenkes å gi et mer firkantet tunnelprofil.

5.2.2 Bergklasser og bergsikring

Den forventede fordelingen av bergklassene langs traseen er vist lengdeprofilen i Figur 5.13. Dersom man utelukkende ser på den delen av tunnelen som er drevet per 8. mai, blir den forventede fordelingen som presentert i Tabell 5.1. Som en ser av tabellen, er det forventet over middels godt berg langs store deler av strekningen.

Det er ikke lyktes å få noen oversikt over antatt sikringsomfang for Knappetunnelen.

Tabell 5.1 – Antatt fordeling av bergklasse.

Bergklasse	Forventet fordeling
A/B/C	84%
D	12%
E/F	4%

5.2.3 Svelleleire

Det er ikke gjennomført særskilte undersøkelser for å vurdere mulighetene for å treffe på svelleleire under forundersøkelsene. Erfaringer fra byggetrinn 1 viste ikke tegn til svellende sprekkemateriale. I følge Løset (2006) er imidlertid svelleleire påtruffet i flere underjordsanlegg i Bergensområdet, slik at det er fornuftig å anta at svelleleire kan forekomme i byggetrinn 2 av Knappetunnelen.

5.2.4 Svakhetssoner

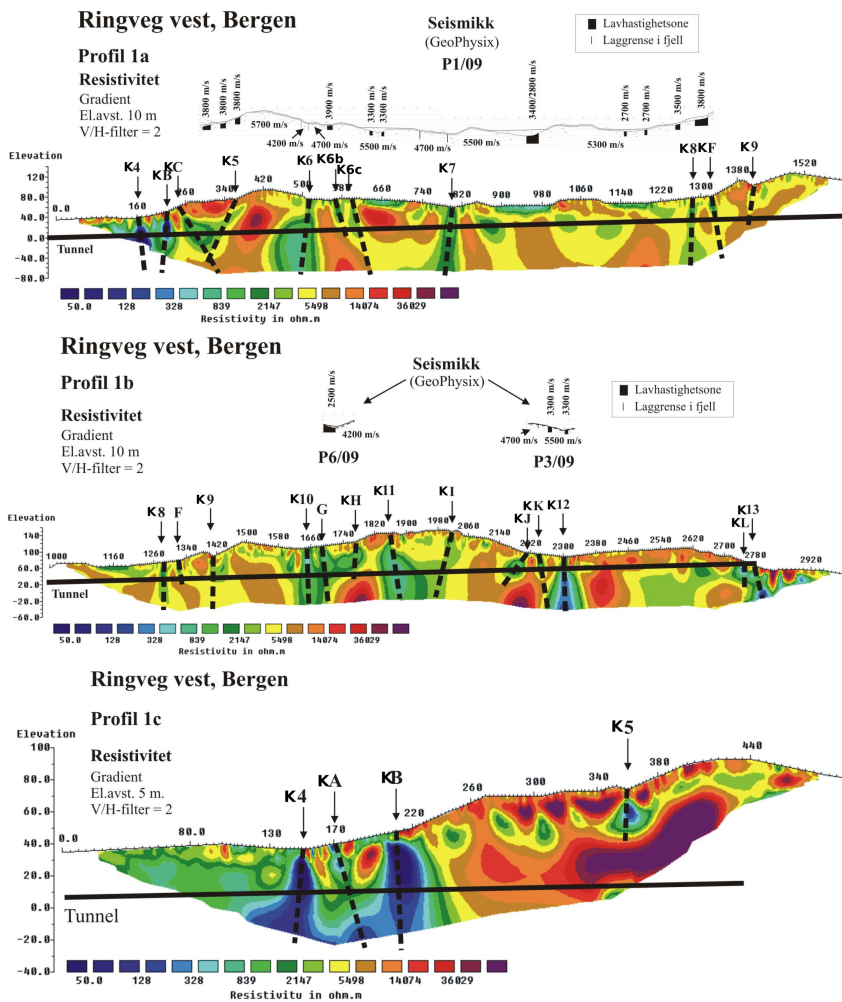
I alt er det tolket å treffe 25 svakhetssoner og belter med svakhetssoner langs de to tunnellopene. 13 av disse ligger i de delene av traseen som er drevet per juni 2012. Under blir sonene beskrevet etter hvor de er antatt å påtreffes, fra sør til nord (økende profilnummer). Profilnummer gjelder for hvor sonene er antatt å treffe langs løp 12. Beskrivelsen av svakhetssoner er sammenfattet ut fra geologisk rapport for konkurransegrunnlaget (Kirkeby, 2010) dersom ikke andre referanser er oppgitt. Resistiviteten som er oppgitt er også hentet fra denne rapporten, fra tabellen gjengitt i Vedlegg B.4. Tabellen er revidert i forhold til det som presenteres i resistivitetsrapporten fra NGU (Ganerød et al., 2009). Sonene som er tatt med her har fått navn som i rapportgrunnlagene, men med

Tabell 5.2 – Oversikt over svakhetssoner og hvor langs tunneltraseen de er forventet å komme i følge forundersøkelsene. “X” betyr at sonen ikke vises på målingen “-” betyr måling ikke utfør over sonen.

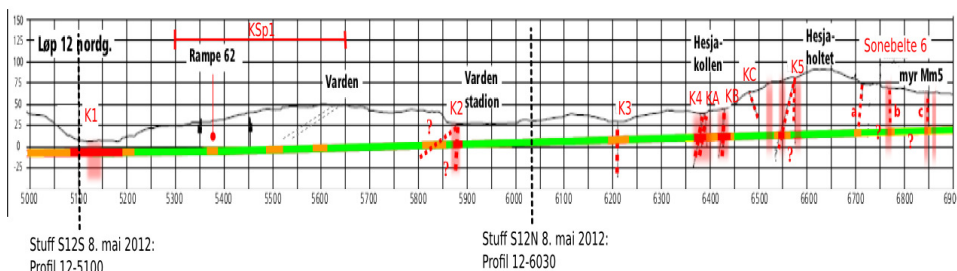
Profil	Sone	Seismisk hastighet, m/s	Resistivitet, Ωm	Kartlagt
5080-5180	K1	3000-3700	-	Ja
ca. 5400-5650	KSp1	-	-	Ja
5830/5880	K2	3200/3900	-	Nei
6210	K3	-	-	Ja
6375	K4	2700	<10	Ja
6380	KA	4800	200-500	Nei
6425	KB	3800	<10	Nei
6520	KC	-	200-500	Nei
6550/5575	K5	3800	500-1000	Ja
6710	K6a	4200	200-500	Ja
6765	K6b	3900	500-1000	Ja
6845	K6c	3300	500-1000	Ja
6940	K6d	X	X	Ja
6970/7000	K7	X	200-500	Ja
7140-7150	KMn2	3400/2800	X	Nei
7340	KMn4.1	2700	X	Nei
7380	KMn4.2	2700	X	Nei
7455	KS1	3500	1000-2000	Nei
7480-7500	K8	3800	1000-2000	Ja
7570-7600	K9	-	1000-2000	Ja
7840-7860	K10	2500	500-1000	Ja
7900	KH	-	500-1000	Nei
8000-8230	K11	-	1000-2000/200-500	Ja
8250	KJ	4000	1000-2000	Nei
8330	KK	X	200-500	Nei
8350	KF1	3300	X	Nei
8380	K12	3000	<200	Ja
8640	KSp2	-	X	Ja
8795	KL	-	<200	Nei
8820	K13	-	<200	Nei
Totalt ant. soner	30	15 ¹	20	16

bokstaven “K” for “Knappetunnelen” foran. I tillegg er soner som mangler navn i konkurransegrunlaget gitt evne navn, f.eks. KMn4.1.

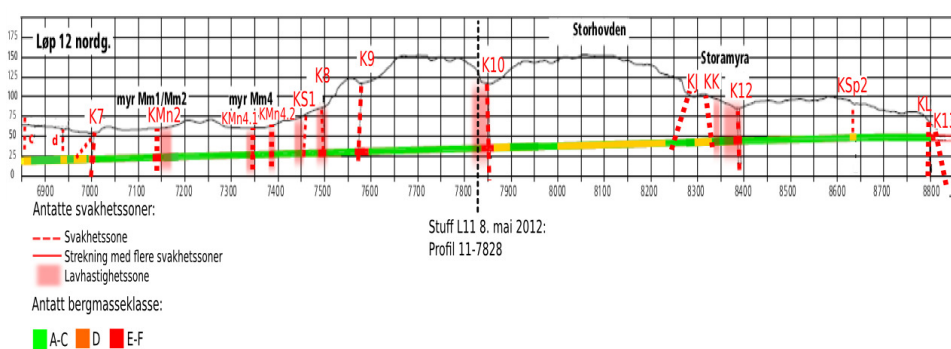
En oppsummering av de forventede svakhetssonene gis i Tabell 5.2. Lengdeprofilen i Figur 5.6 viser svakhetssonene fra forundersøkelsene, indikert i rødt. Ingeniørgeologisk kart viser orienteringen av sonene i dagen. Dette er vedlagt rapporten (Vedlegg B.1). Ingen av sonene fra resistiviteten viste forhøyet IP-effekt noe som betyr at sonene ikke skyldes ledende mineraler, men økt oppsprekking (Ganerød et al., 2009). IP-profilene er derfor ikke inkludert i Figur 5.5, som viser resistivetsmodellen for tunnelen.



Figur 5.5 – Resistivetsprofiler ved Knappetunnelen, sammenstilt med resultatene fra refraksjonseismikken. De to øverste profilene er målt med 10 meters elektrodeavstand, nederste profil viser detaljer rundt sone K4, målt med 5 meters elektrodeavstand (Ganerød et al., 2009).



(a) Profil 5000-6900.



(b) Profil 6850-8800.

Figur 5.6 – Lengdeprofil av Knappetunnelen med plassering av svakhetssoner fra forundersøkelsene og antatt bergmasseklasse. Figuren er basert på Kirkeby (2010).

Profil 5080-5180: Svakhetszone K1 Helt i sør langs tunneltraseen er overdekningen liten, ned mot 5 meter. Seismisk hastighet er her målt til 3000-3700 m/s og bergmassen tolkes å bestå av oppsprukket, forvitret, dårlig innspent dagfjell. Det er forventet å påtreffes NNV-SSØ-gående sprekkesoner i området. Likevel er det forventet godt berg i veksling med det dårligere berget ut fra erfaringer fra grunnboringer og observasjoner langs Børgeveien. Sonen er observert både i forbindelse med feltarbeid/kartstudier og seismikk. Resistivitet er ikke målt i området.

Profil 5300-5650: Svakhetsoner KSp1 Dette området preges av NNV-SSØ-liggende sprekkesoner som faller steilt 70-90° øst/85-90° vest. Det er forventet sprekker med noe sprekke materiale og leire. Strukturene er funnet så langt sør som profil 5300 og muligens vil disse sonene komme og gå i tunnelen helt til og med sone K1. Sonene er tegnet inn på geologisk kart i konkurransegrunnet, men ikke tatt med i selve rapporten, med unntak av ved profil 5600 ved Vardesvingen hvor forventet bergmasseklasse er satt ned til D.

I tillegg er det særlig lengst i nord og helt opp mot profil 5850, observert mer folierte gneiser som det er forventet at kan påtreffes som sprekkesoner i tunnelen. En slik sone danner grunnlaget for å sette forventet bergmasseklasse til D ved profil 5500.

Det er ikke gjort geofysiske undersøkelser eller sonderinger langs strekningen. Mellom profil 5650 og 5750 er det dessuten få bergblotninger, slik at forholdene her er særlig usikre.

Profil 5830/5880: Svakhetszone K2 Ved dette profilet sør for Varden Stadion er det registrert en lavhastighetszone langs to forskjellige seismiske profiler, med hastigheter på hhv. 3200 m/s og 3900 m/s. Orienteringen av denne zonen er usikker; den kan enten være steil og treffe tunneløpene ved profil 5880, eventuelt kan svakhetssonen være en del av foliasjonsstrukturene i området, og falle slakt sørover. Isåfall vil den treffe løpene rundt profil 5830. Denne zonen ble ikke oppdaget i kart- og feltstudier. Resistivitet er ikke målt i området.

Profil 6210: Svakhetszone K3 Observasjoner i felt tyder på en svakhetszone på tvers av tunneløpene ved dette profilet. Sonderboringer viser høy borsynk og lav matekraft, og zonen er satt til å bestå av bergklasse D, om ikke lavere. Det kan bli behov for systematisk injeksjon langs zonen. Hverken seismikk eller resistivitetmålinger er utført over zonen.

Profil 6375: Svakhetszone K4 Ved Hesjakollen finner man en markert svakhetszone, registrert både ved feltkartlegging, refraksjonsseismikk og resistivitetmålinger. Zonen orienterer seg vinkelrett på tunnelretningen og kan følges helt ut i Bjørndalsvatnet, hvor det er registrert brekksjert berg sentralt i zonen med tett risset gneis på begge sider som kan være sensitiv ved sprengning. De geofysiske undersøkelsene viser en seismisk hastighet på 2700 m/s og en resistivitet på under 10 Ωm over zonen, noe som tyder på tett oppsprekking og tilstedeværelse av leire. Bergklassen er anslått til klasse F/G. Zonen er ut fra resistiviteten funnet til å være 10-20 meter bred. Systematisk forinjeksjon igangsatt før området påtreffes vil bedre stabiliteten langs zonen, men det forventes i følge konkurransegrunnlaget "*vanskelige og variable forhold med hensyn til oppsprekking, leire, stabilitet og lekkasjer*" i hele den 100 meter lange strekningen fra profil 6360 til 6460, som foruten svakhetszone 4 inneholder sonene KA og KB, beskrevet under.

Profil 6380: Svakhetszone KA Svakhetszone A ved Hesjakollen er kartlagt gjennom resistivitetmålinger som viser en under 10 meter bred zone med lav resistivitet på 200-500 Ωm , noe som tyder på at det kan være leire på sprekkene.

Profil 6425: Svakhetszone KB Denne zonen er kartlagt som en lavhastighets- og lavresistivetszone ved hvert sitt løp med hastighet og resistivitet på hhv 3800 m/s og <10 Ωm . Bergforholdene forventes å være slik som gjennom zone 4 med tett oppsprekking og leire. Zonen er antatt å være under 10 meter bred ut i fra resistivitetmålingene.

Profil 6550/6575: Svakhetszone K5

I terrenget synes svakhetszone 5 som et dalsøkk med en bekk. Geofysiske målinger angir seismisk hastighet til 3800 m/s og resistivitet til 500-1000 Ωm . Sonen er antatt fra resistiviteten å falle slakt mot sør, noe som er i overensstemmelse med terrenget og sprekkeobservasjoner. Det er imidlertid også mulig at sonen er mer steil og treffer tunnelen ved profil 6575.

Profil 6520: Svakhetszone KC

Resistivitetsmålinger indikerer en svakhetszone her, men det er noe usikkert om det faktisk er noen sone her i og med den ikke kan knyttes til noen strukturer i terrenget over traseen.

Svakhetszoneområde K6

Fra profil 6715-6940 påtreffes det et belte med parallelle soner, som kan deles inn i sonene 6a, b, c og d.

Profil 6710: Svakhetszone K6a Denne sonen er registrert både i felt og ved geofysiske undersøkelser. Resistiviteten er målt til 200-500 Ωm , mens den seismiske hastigheten er 4200 m/s.

Profil 6765: Svakhetszone K6b Denne sonen ses som et markert dalsøkk. Lav seismisk hastighet og resistivitet er målt like nord for antatt krysning i tunnelnivå (3900 m/s og 500-1000 Ωm).

Profil 6845: Svakhetszone K6c Denne svakhetssonen består av flere smale soner funnet fra geofysikken (500-1000 Ωm og 3300 m/s). Sonen ses dessuten som et dalsøkk i terrenget.

Profil 6940: Svakhetszone K6d Denne svakhetssonen er ikke registrert av de geofysiske undersøkelsene, men sonen knyttes til en depresjon i terrenget. Undersøkelser med georadar i forbindelse med de hydrogeologiske undersøkelsene, antyder dessuten NNV-orientert bunntopografi i forlengelsen av den antatte sonen, noe som passer godt med den antatte nord-nordvestlige orienteringen til sonen.

Profil 6970/7000: Svakhetszone K7

Denne antatte svakhetssonen kommer fram i terrenget som en nordvest-sørøstlig forsenkning. Resistivitetsmålinger viser en 20-40 meter bred sone med resistivitet på 200-500 Ωm . Seismikken finner ingen tilsvarende lavhastighetszone i området,

og de tolkede hastighetene er på 4700 m/s og 5500 m/s. Det forventes behov for systematisk forinjeksjon gjennom sonen for å opprettholde kravet til innlekkasje. Det er to tolkninger av fallet på sonen; begge tolkningene antar at den faller mot sørvest, men fallet på sonen kan variere.

Profil 7140-7150: Svakhetszone under myr Mn2 - KMn2

Denne sonen er registrert med hastigheter på 3400 m/s og 2800 m/s langs 25 meter av det seismiske profilet. Georadar viser en trauforn under myren. Resistiviteten er derimot høy og sonen kan heller ikke knyttes til terrenglementer. Det er med andre ord ikke sikkert at en vil treffe på noen sone her, men det kan hende at profilutvidelser for nisjer og havarilommer samt tverrslag må flyttes i forhold til planen dersom stabiliteten tilsier det. Uansett vil det mest sannsynlig bli behov for systematisk forinjeksjon fram til profil 7300, slik at stabiliteten bedres om det faktisk er en svakhetszone her.

Profil 7340: Svakhetszone 1 utkant av myr Mn4 - KMn4.1

Denne sonen er registrert mellom løpene gjennom seismikken, men er ikke identifisert som en lavresistivitetssone. Seismisk hastighet er 2700 m/s. Georadar viser ikke tegn til søkk eller kløfter under myra.

Profil 7380: Svakhetszone 2 utkant av myr Mn4 - KMn4.2

Denne sonen er lik som den foregående og kun registrert av seismikken (2700 m/s).

Profil 7455: Svakhetszone skråning - KS1

Denne sonen er registrert både av seismikken (3500 m/s) og resistiviteten (1000-2000 Ωm). Sonen er antatt å ha en beskjeden utstrekning, på under 10 meter.

Profil 7480-7500: Svakhetszone K8

Denne sonene er registrert både på seismikken og resistiviteten, i tillegg til at den ses i terrenget. Den er tolket til å nå ned til tunnelnivå, men ikke nødvendigvis over en stor lengde (0-10 meter). Seismisk hastighet er målt til 3800 m/s, resistiviteten til 1000-2000 Ωm som for den forrige sonen.

Profil 7570-7600: Svakhetszone K9

Svakhetszone K9 er en mulig vannførende sone (resistivitet 1000-2000 Ωm) i ellers godt berg. Sonen regnes ikke som særlig problematisk og det er heller ikke sikkert at den når ned til tunnelnivå. Bredden er tolket til å være under 10 meter. Seismikk er ikke gjennomført i området.

Profil 7840-7860: Svakhetszone K10

Denne sonen har den laveste registrerte seismiske hastigheten målt på hele prosjektet; 2500 m/s. Hastigheten er målt over en 30 meter lang strekning. Resistiviteten er 500-1000 Ωm og resistiviteitsmodellen indikerer en sonebredde på 10-20 meter. Svakhetssonen ses tydelig i terrenget over en stor strekning. Det er forventet dårlig bergkvalitet i tunnelene over en minst 50 meter lang strekning i forbindelse med svakhetssonen. En mindre lavresistiviteitszone "G" er observert i nærheten av svakhetszone K10, muligens som en del av den (se Figur 5.5).

Profil 8000-8230: Svakhetszone K11

Sone K11 er en samling av N-NNV-strøkende strukturer under Storhovden, lik de observert lenger sør rundt profil 5500. Gneisene i området faller 20 – 30° øst og det er antatt at tilsvarende orientert oppsprekking vil forekomme i tunnelen. Det kommer ikke helt klart fram av den ingeniørgeologiske rapporten om det er forventet mer steile sprekkesoner i tillegg, men resistiviteitsmodelleringen viser sone K11 som steil. Orienteringen er ugunstig i forhold til tunnelaksen og det er fare for at sprekke kan danne asymmetriske tverrsnitt over lengre strekninger.

Sone "KF" fra resistiviteten (se Figur 5.5) ligger der hvor sonene er tegnet inn i ingeniørgeologisk rapport. Denne sonen har resistivitet i området 1000-2000 Ωm . Et ekstra sone er funnet noe lenger sør, denne med resistivitet 200-500 Ωm .

Profil 8250: Svakhetszone KJ

Denne sonen er funnet fra resistiviteten, men er ikke tatt med i geologisk rapport for konkurransegrunnlaget, og er nok dermed ikke ansett å føre til særlige problemer under tunneldrivingen. Resistiviteten er målt til å være 1000-2000 Ωm . Sonen er tolket til å falle omtrent 60 grader mot sør. Bredden er antatt å være liten, 0-10 meter. Den seismisk hastigheten er 4000 m/s, akkurat i grensen for det som klassifiseres som en svakhetszone (se Avsnitt 2.1).

Profil 8330: Svakhetszone KK

Denne sonen er funnet fra resistiviteten (200-500 Ωm), men er ikke tatt med i geologisk rapport for konkurransegrunnlaget. Sonen faller mot nord.

Profil 8350: Svakhetszone fjellkant KF1

Denne sonen er kun tolket ut fra seismiske hastigheter (3300 m/s). Den er ikke tatt med i geologisk rapport for konkurransegrunnlaget, og er nok dermed ikke ansett til å utgjøre noen særlige problemer under tunneldrivingen.

Profil 8380: Svakhetsone K12

Denne 0-10 meter brede sonen er svært markert både i terrenget og fra de geofysiske undersøkelsene. Resistiviteten er målt til å være under $200 \Omega m$ og indikerer problemer med leire, men ikke vann. De seismiske hastighetene er også lave; ned mot 3000 m/s for løp 12. Dette tyder på svært dårlig bergmassekvalitet ned mot klasse F. Det anbefales å benytte systematisk forinjeksjon i god tid før sonen påtreffes, til tross for at området ikke anses som sårbar mtp. drenering. Antatt bredde av sonen fra resistiviteten er under 10 meter.

Profil 8640: Sprekkesone KSp2

Ved profil 8640 er det inntegnet en svakhetsone i kartene til konkurransegrunnlaget som skyldes en mindre sprekkese på tvers av tunnellopene, indikert av terrengformen. Sonen er altså en del av tverrsprekkene til den dominerende NNV-SSØ-orienterte oppsprekningen. Sone KSp2 er ikke registret av resistivitetsmålingene over sonen.

Profil 8795: Svakhetsone KL

Denne sonen er identifisert gjennom resistivitetsmålinger. Resistiviteten er svært lav ($< 200 \Omega m$) og sonen skyldes mest sannsynlig oppsprukket berg med leire. Totalsondering viser også sleppete berggrunn. Seismikk er ikke gjort over sonen. Sonen er ikke antatt å være bredere enn 10 meter.

Profil 8820: Svakhetsone K13

Svakhetsone 13 ses fra resistiviteten som en sone med svært lave resistivitetsverdier ($< 200 \Omega m$). Seismikk er ikke utført ved sonen. Denne sonen ligger i påhugget til løp 12 og er antatt å være 10-20 meter bred.

5.3 Erfaringer fra driving

Her presenteres erfaringene gjort under driving i tunnelen. Resultatene bygger på en helhetlig vurdering av det tilgjengelige rapporteringsgrunnlaget listet i Avsnitt 5.1.5. I tillegg bygger en del på egne observasjoner gjort i tunnel samt direkte overføring av erfaring fra ingeniørgeologer og kontrollingeniører på prosjektet.

Per mai 2012 er det fortsatt mye igjen av drivingen av tunnelen: Nordfra har løp 11 kommet til profil 7875, mens drivingen sørover fra Sandeide har kommet til profil 5100. Drivingen nordover i hovedløpene fra Sandeide er omtrent kommet til profil 6030. Dermed er det naturligvis kun erfaringer fra profil 5100-6030 og 7875-8830 som kan bli presentert her. Siden prognosene fra forrige avsnitt gjelder for løp 12, er det erfaringene fra dette løpet som stort sett blir presentert her. Den siste sonen påtruffet i L11 er i tillegg tatt med, da det forventes at denne også skal treffes i løp 12 om ikke lenge. Profilnummer for sonen i løp 12 er anslått ut fra orientering av sonen.

Stoffnavnene L11, S12N osv. brukes som beskrevet i Avsnitt 5.1.2.

5.3.1 Svelleegenskaper

Underveis under drivingen har det blitt tatt prøver av sleppemateriale i tunnelen og ved tunnelbefaring i forbindelse med dette masterarbeidet ble det tatt én materialprøve (prøve 11-7828) for testing i laboratoriet. Sleppematerialet har blitt testet med hensyn på svellende egenskaper og mineralogi som beskrevet i Avsnitt 2.6.1.

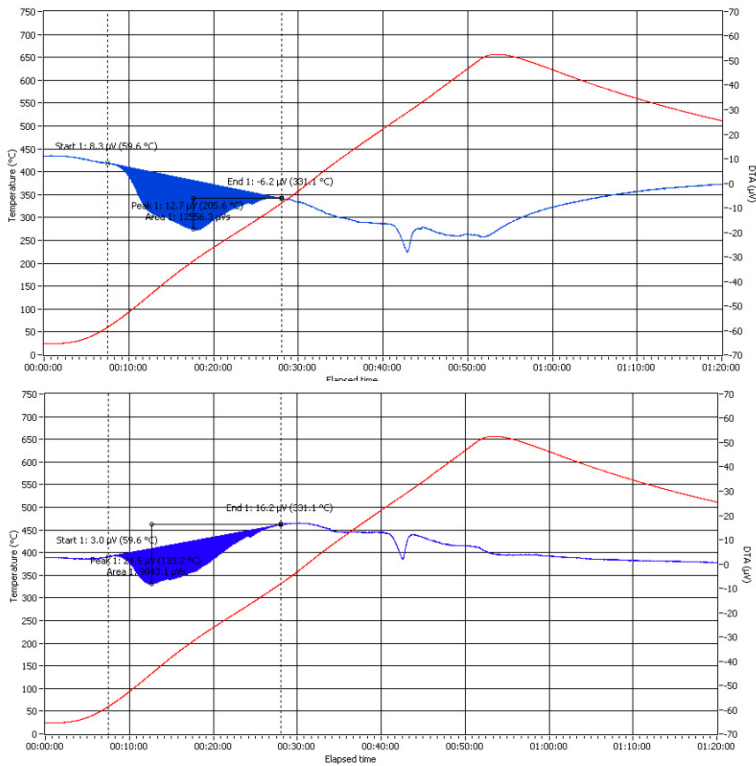
Prøve 11-7828

Her presenteres laboratorieresultatene fra prøven samlet inn under besøket i Knappetunnelen 8. mai.

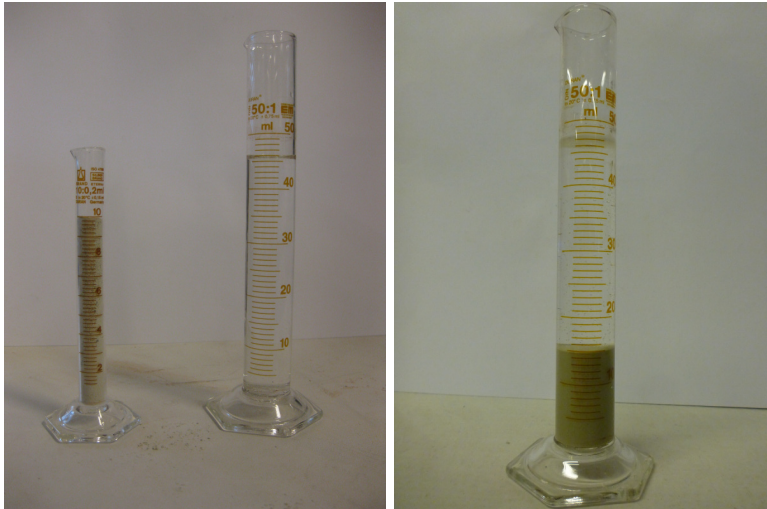
DTA Analysen ble kjørt på to parallelle prøver og gjorde utslag på montmorillonitt. Dette ses av det blå området i DTA-kurvene i Figur 5.7. I tillegg viste prøven utslag på et uidentifisert mineral ved 500-550°C.

Frisvelling Figur 5.8 viser prøvematerialet fra pel 11-7828 før og etter frisvelling. Som en ser av bildene, frisvellet prøven 150% og svelleiren er med det klassifisert som middels til meget aktivt etter inndelingen i Tabell 2.4. Prøven utøvde et svelletrykk på 0,30 MPa.

Svelletrykk Svelletrykkskurven fra forsøket er plottet og vist i Figur 5.9. Som en ser av kurven, er det maksimale svelletrykket til prøven 0,30 MPa.



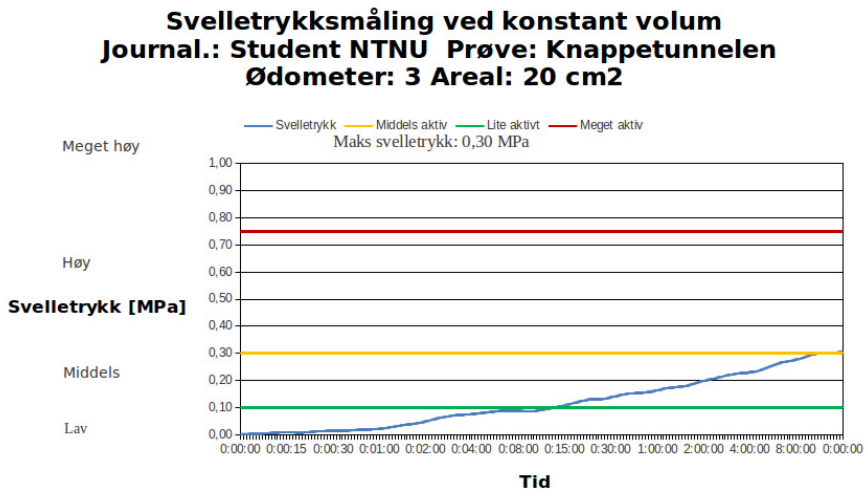
Figur 5.7 – DTA-kurver for prøve nr. 11-7828. Utslaget mellom 59,6 og 331,1°C stammer fra montmorillonitt. Mineralet som gir utslag rundt 550°C er ikke identifisert.



(a) Oppmålt tørt prøvemateriale, 10 ml.

(b) Etter sedimentering og svelling. Prøvematerialet har frisvellet 150 %, til 15 ml.

Figur 5.8 – Frisvellingstest prøve 11-7828, Knappetunnelen. Som en ser, viste prøven fri svelling på 150%. Foto: Mari Lie Arntsen.



Figur 5.9 – Plott av svelletrykk mot tid for prøve 11-7828. Som en ser viser prøven seg å være middels aktiv med et maksimalt svelletrykk på 0,30 MPa.

Tabell 5.3 – Resultater fra labundersøkelser av sleppemateriale. “ - “ betyr at test ikke er gjort, x betyr at det har vært for lite prøvemateriale i korrekt fraksjon til å kjøre forsøket. Resultatene er hentet fra Dahl (2012) med unntak av prøve 11-7828, som ble testet som en del av masterarbeidet.

Prøvenr./profilnr. ^a	Frisvelling, %	Svelletrykk, MPa	Svellende mineraler, wt%
11-5598	65	-	-
61-5326	80	-	-
62-5210	95	-	-
62-5248	110	-	-
62-5256	90	-	-
62-5286	40	-	-
62-5432	63	-	-
62-5480	93	-	-
11-7828	150	0,30	Montmorillonitt (-) ^b
11-8339 (A)	190	0,15	Montmorillonitt (48%)
11-8339 (B)	175	0,20	Montmorillonitt (42%)
11-8570	170	0,16	Montmorillonitt (22%)
11-8651	223	0,60	Montmorillonitt (69%)
12-8310	200	0,43	Montmorillonitt (58%)
12-8760	x	x	Montmorillonitt (87%)
12-8802 (A)	145	0,08	Montmorillonitt (5%)
12-8802 (B)	x	x	Montmorillonitt (59%)
12-8820	180	0,10	Montmorillonitt (6%) Sepiolitt (4%)
12-8825	173	0,12	Montmorillonitt (14%)
12-sone 12 (A)	195	0,15	Montmorillonitt (23%) Sepiolitt (9%)
12-sone 12 (B)	x	x	Sepiolitt (2%)

^a11-, 61-, 12-, 62- gjelder langs henholdvis nordgående løp og rampe og sørgående løp og rampe.

^bFra DTA, ingen mengdeangivelse.

Alle prøver

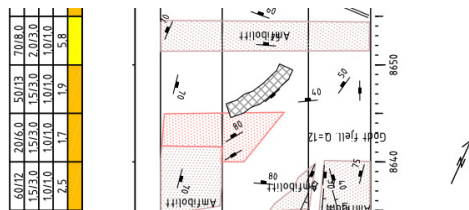
Laboratorieresultatene fra alle prøvene fra tunnelen er presentert i Tabell 5.3. Som en ser fra tabellen finner en de svellende sleppematerialene nord i tunnelen. Maksimal frisvelling er funnet til å være 223 (profil nr 11-8651). Materialprøvene fra den sørlige delen av tunnelen viser lite frisvelling, og dermed er ikke disse prøvene tatt med videre til svelletrykksmåling og mineralogisk undersøkelse.

Som det framgår av Tabell 5.3, viste flesteparten av prøvene middels høye svelletrykk (mellom 0,10 MPa og 0,30 MPa). Av de totalt ni prøvene som ble sendt til svelletrykksmåling, viste to av de høye svelletrykk ($>0,30$ MPa). Av disse to viste én prøve svelletrykk over 0,50 MPa, som er satt som grensetrykket for bruk av betongutstøpning i tunnel (se Avsnitt 2.6.2). Denne prøven er tatt fra svakhetetssonen i hengen ved profil 11-8651, vist i Figur 5.10. Sonen følger tunnelen langs minst fem meter. Avhengig av hvordan kravene stilt i Håndbok 021 tolkes, vil denne potensielt ha behov for å støpes ut.

I Tabell 5.4 er det foreløpige sikringsomfanget gjennom prøvetakingssonene presentert. Som en ser av tabellen, er så langt ingen av sonene støpt ut. I tillegg til sikringen listet, er tunnelen sikret på vanlig måte med radiale bolter og sprøytebetong.

Tabell 5.4 – Oversikt over målt svelletrykk og tilhørende sikringsomfang i tunnel.

Prøve	Svelletrykk, MPa	Bergsikring
11-7828	0,30	Forinjeksjon Forbolter med fjellbånd Sikringsbuer
12-8310	0,43	Forinjeksjon
12-sone 12 (A)	0,15	Sikringsbuer
12-sone 12 (B)	x	Forbolter med fjellbånd (Sikringen skal suppleres i løp 11.)
11-8339 (A)	0,15	
11-8339 (B)	0,20	
11-8570	0,16	Foreløpig ingen ekstra sikring
11-8651	0,60	Foreløpig ingen ekstra sikring
12-8802 (A)	0,08	Systematisk bolter ned til såle
12-8820	0,10	Sikringsbuer
12-8825	0,12	Forbolting med fjellbånd (Sikringen skal suppleres pga. dårlig hold i berget.)



Figur 5.10 – Utsnitt fra Novapoint profil 8635-8655 løp 11, Knappetunnelen. Prøven 11-8651 ble tatt fra svakhetssonen kartlagt i hengen. Prøven viste 223 % fri svelling og et svelletrykk på 0,60 MPa - hittil de høyeste verdiene for hele Knappetunnelen.

5.3.2 Bergarter og bergmasseklasser

Det kartlegges i liten grad bergartsgrenser under den ingeniørgeologiske kartleggingen av stoff i Knappetunnelen, men bergartene ser stort sett ut til å variere mellom granittisk gneis, amfibolittisk gneis, amfibolitt, båndgneis og glimmergneis.

Særlig i nord er det observert en del amfibolitt, ofte svært biotittisk. Figur 5.11a viser bilde av en slik biotittisk amfibolitt, funnet i tunnelen. Bergarten er svak og kan til dels smuldres med fingrene. Amfibolitten ligger i soner som følger foliasjonen til mer massiv gneis. Den typiske, rødlige gneisen er vist på bildet i Figur 5.11b. Fordelingen mellom de to bergartene er opp mot 50/50 enkelte steder, for eksempel ved profil 12-7900, vist i Figur 5.11c. Her ses amfibolitten som tversgående soner på stoff-flaten.

Q-verdi kartlegges for hver salve og ut fra dette settes bergmasseklassen A-G. Hittil har bergmassen stort sett ligget i klasse A-C og kun 5 % av den ferdigdrevne delen av tunnelen ligger i bergklasse E/F. Tabell 5.5 oppsummerer fordelingen av bergmasseklasser kartlagt hittil i tunnelen.

Tabell 5.5 – Faktisk fordeling av bergmasseklasser per 8. mai 2012.

Bergklasse	Faktisk fordeling
A/B/C	72%
D	23%
E/F	5%



(a) Biotittisk amfibolitt fra profilnummer 12-7904. Foto: Mari Lie Arntsen.



(b) Granittisk gneis fra profilnummer 12-7904. Foto: Mari Lie Arntsen.



(c) Stuff-flaten ved 12-7904 som viser 50/50-fordeling av biotittisk amfibolitt og granittisk gneis. Foto: Lars Langhelle.

Figur 5.11 – Amfibolitt langs gneisfoliasjonen i nordre del av Knappetunnelen.

	-50
	-12.5
	0
	15
	25
	50
	75

Figur 5.12 – Legende for normalisert borsynk (%) for Knappetunnelen .

5.3.3 Svakhetssoner

Oversikten over påmøtte svakhetssoner i Knappetunnelen bygger i liten grad på Novapointkartleggingen, i motsetning til ved Eikremtunnelen, hvor dette var hovedkilden. Dette skyldes at få svakhetssoner er tegnet inn i Novapoint. Årsaken til dette er noe uklar, men det kan skyldes den glidende overgangen mellom det som defineres som dårlig, tett oppsprukket berg og svakhetssoner. Noen av sonene kan dermed ligge i grenseland for hva som betegnes en svakhetszone.

Beskrivelsene baserer seg i stor grad på hittil udokumenterte erfaringer fra Terje Kirkeby. I tillegg er utskrift av BPT blitt hyppig brukt for å avdekke svakhetssoner. Disse gir som regel et bedre bilde av svakhetssonene enn stuffkartleggingen. En rekke av svakhetssonene ses her som soner med høy borsynk (blå farge) på borparametertolkningen. Der dette er tilfelle, er det vist med figurer. Figur 5.12 viser legende for BPT-figurene fra Knappetunnelen. Fargene indikerer normalisert borsynk, men kan overføres til hardhet. Novapointkartleggingen er ikke vist her av årsakene nevnt ovenfor, men finnes i Vedlegg B.5.

Figur 5.13 viser plassering av svakhetssonene langs tunneltraseen, sammenstil med sonene funnet fra forundersøkelsene. De fleste av sonene treffer tunnelen i en liten vinkel og følger traseen over lengre avstander. Dette er illustrert i figuren med diffus turkis farge. Tabell 5.6 oppsummerer de påmøtte sonene og angir sonekarakter og om sonene har strøk med eller på tvers av tunnelaksen.

Tabell 5.6 – Påtrufne svakhetssoner Knappetunnelen.

Profilnummer ^a	Type ^b	Hovedproblem
????-5200	1	Oppsprukket berg med leire
5389-5435	1	Oppsprukket berg med leire
5740-5815	1	Oppsprukket berg med leire
5910-5930	1	Oppsprukket berg med leire
????-7800	2	Vann (opptil 2070 l/min)
8050-8110	1	Vann (opptil 1500 l/min)
8305	2	Oppsprukket berg med leire
8505	1	Oppsprukket berg med leire
8560	2	Oppsprukket berg med leire
8800	1	Oppsprukket berg med leire

^aEnkelt tall angir profilnummer hvor enkeltsoner først treffes i tunnelen, sett mot ønskende profilnummer. Doble tall (fra-til) angir profilnummer hvor det finnes flere svakhetssoner, slått sammen i en registrering.

^b1=NNV-liggende soner 2 = soner på tvers av NNV-strukturene

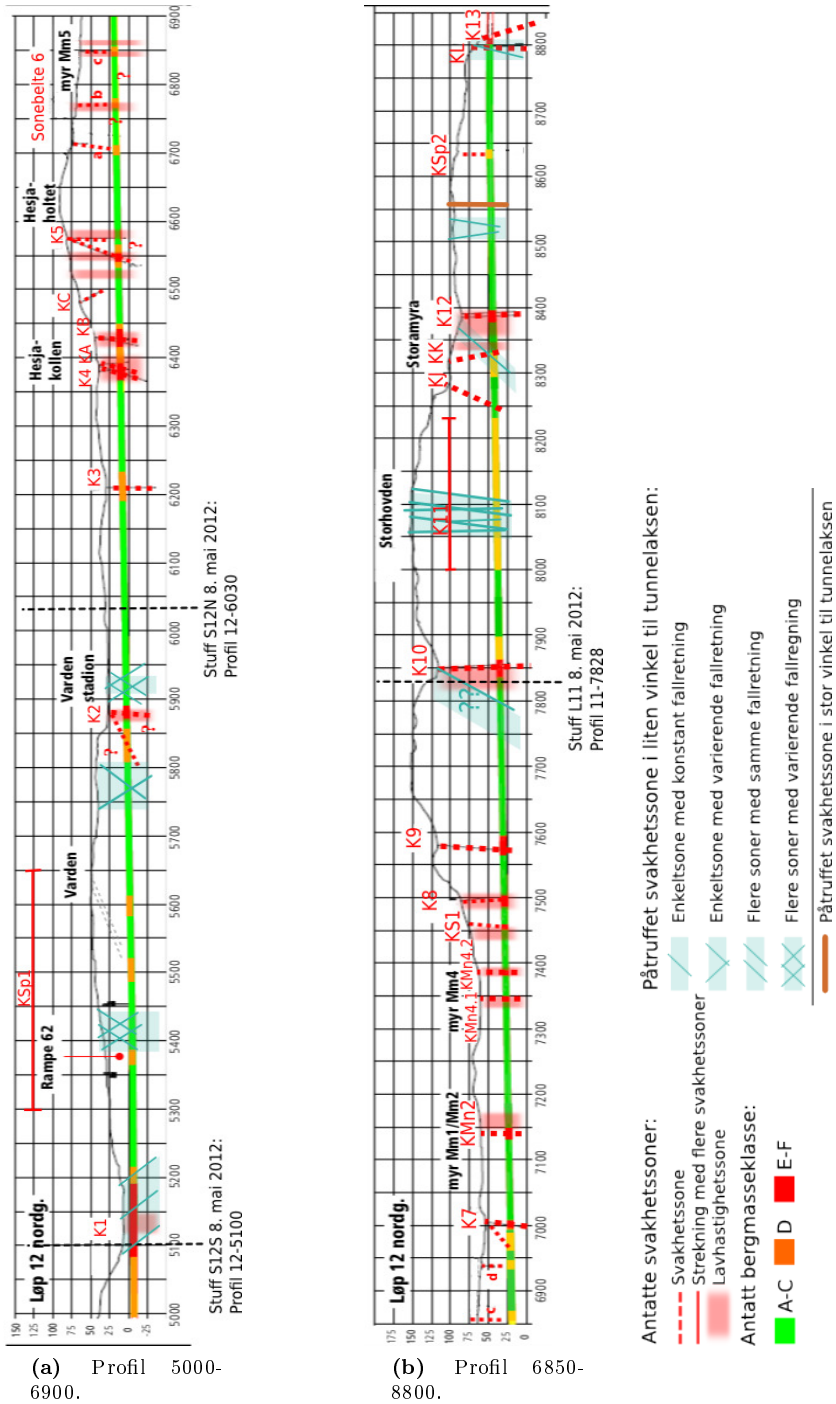
Driving fra Sandeide

Her presenteres sonene møtt under driving fra Sandeide. Sonene bli beskrevet etter økende profilnummer. Forøvrig henvises det til Figur 5.13 for plassering av sonene i tunnel og i dagen.

Profil 5200 og sørover Fra profil 5202 er Q-verdiene kartlagt i tunnelen stort sett under 1,0 - tilsvarende bergklasse E. Dette skyldes for det første en lav overdekning som gir dårlige spenningsforhold, men bergmassen er tydelig mer oppsprukket her enn lenger nord. Sprekkemålinger og kartlegginger av slepper i tunnelen viser en tydelig NNV-SSØ-orientering. I Figur 5.14 vises en slik sone truffet i løp 12. Sonen ses som en oppknust sone i hengen og på stuff-flaten.

Fra profil 5187 er det drevet med tremeters salvelengder og fra profil 5166 brukes i tillegg forbolting med 32 mm kamstålbolter. Langs hele strekningen sprøytes betong helt ned til sålen. Per 8. mai er er fortsatt tunnelstufen i dette området, som i ettetid skal støpes ut i begge løp på grunn av liten overdekning opp til en kryssende kloakktunnel.

Kjerneboringen fra profil 11-5180 viser at bergmasse nede i klasse G (eksepsjonelt dårlig berg) kan komme videre sørover. Kjerneboringsrapporten finnes i Vedlegg B.6.



Figur 5.13 – Lengdeprofil av Knappetunnelen med plassering av svakhetssoner fra forundersøkelsene og driving. Figuren viser også den antatte bergmasseklassefordelingen. Modifisert figur fra Kirkeby (2010).



(a) Overgang mellom stuff-flate og heng.

(b) Detalj, stuff-flate.

Figur 5.14 – NNV-orientert sone ved S12S, profilnummer 5153. Foto: Mari Lie Arntsen.

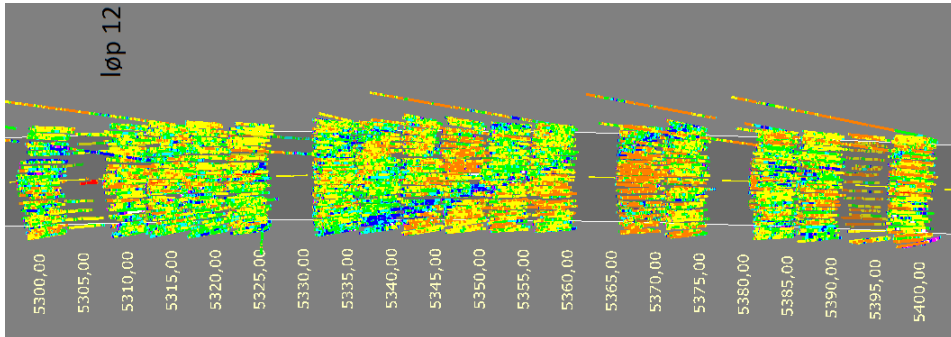
NNV-SSØ-strukturer i sør: Sør i tunnelen har det blitt observert flere steile 0,5-4 meter brede sprekkesoner med strøk omtrent N170E. Sonene kan innimellom ses fra vegg til vegg, men ofte opptrer de kun over deler av tunnelen. Sonene har leire på sprekkeflatene, men materialet viser som sagt ingen svelling (Tabell 5.3). Sprekkesonene har ikke gitt særlige stabilitetsproblemer, men utglidninger i vederlagene har ført til et mer firkantet tunnelprofil enkelte steder.

Borparametertolkningen viser strukturene tydelig langs store deler av strekningen mellom profil 5200 og 5900. Mellom profil 5400 og 5600 synes ikke sonene i like stor grad som ellers. Et eksempel på hvordan hardhetstolkningen typisk ser ut i området er gitt i Figur 5.15. Generelt er bergmassekvaliteten i området god, men langs tre strekk er den satt til å være av klasse D:

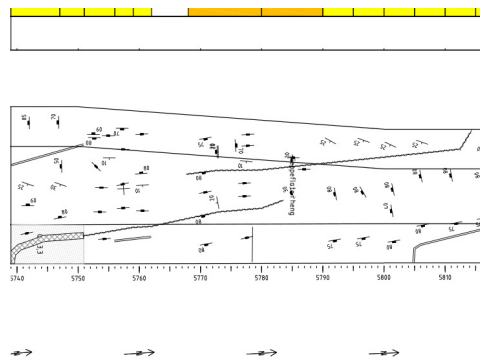
Profil 5389-5435 Her er det under tunneldriving kartlagt flere sleppesoner i både vegg og heng. Sleppene faller steilt mot øst og vest, anslagsvis mellom 75 og 80°. Leirfyllinger på en meters tykkelse er funnet i sprekke i hengen ved profil 5400.

Profil 5740-5815 Som vist i Figur 5.16 kommer her det til syne en bred svakhetssone i høyre vegg, som etterhvert smalner av mens den fortsetter opp til omtrent midt i hengen, hvor nok en smal svakhetssone er kartlagt. Denne sonen følger tunnelen til profil 5815, hvor den forsvinner ut i venstre vegg. Sonene kommer også fram på borparametertolkningen, vist i Figur 5.17. Begge sonene har et fall på rundt 80°. Fallretningen varierer langs sonene. Boltelengden på de radielle boltene er her økt fra tre til fire meter.

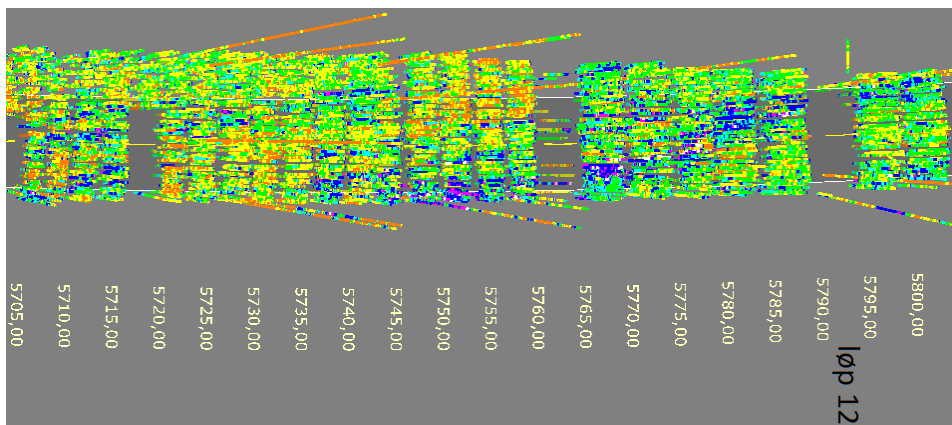
Lignende parallelle soner er kartlagt i løp 11.



Figur 5.15 – Borparametertolkning fra profil 5300 til 5400 som viser NNV-struktur i blått typisk for området sør for Varden stadion (profil 5900).



Figur 5.16 – Inntegnet svakhetszone i Novapoint ved profil 5740, løp 12. Orange farge angir at bergmassen er kartlagt til å være av klasse D, gul farge er klasse C.



Figur 5.17 – Borparametertolkning for profil 5705-5800 med en synlig NNV-sone som starter ved profil 5740.

Profil 5910-5930 Langs dette strekket er det tre slepper i tunnelen; to i hengen og en i venstre vegg. Det er lite hold i den flate hengen. Det er registrert bomt berg i vederlagene.

Driving fra Liavatnet

Her presenteres sonene møtt under driving fra Liavatnet. Sonene bli beskrevet etter økende profilnummer. Det henvises til Figur 5.13 for plassering av sonene i tunnel og i dagen.

Profil 11-7830 (12-7800) og sørover Rundt profil 7830 i løp 11 er en svakhetssone med oppknust materiale påmøtt i tunnelen. Sonen er fortsatt ikke passert, slik at det ikke er mulig å si noe om utstrekningen av den.

I Figur 5.18 vises stoffen ved profil 7828, hvor en leirprøve ble samlet inn under besøket i tunnelen fra sonen som ses midt på stoffen. Sleppe materialet viste middels til høyt svelletrykk (ref. Tabell 5.3).

Sonen fører svært mye vann. Per 12. juni er det store problemer med å få det tørt bak stoff og injeksjonsskjermer i kryss er under utprøving i håp om å få bukt med vannmengdene. Lekkasje på opptil 2070 l/min er registrert samlet for hele injeksjonsskjermen (profil 11-7805) (Kirkeby, 2012).

Om en forlenger forløpet av sonen vestover mot løp 12, ser den ut til å treffe høyre vegg i dette løpet ved profil 12-7800. Dette profilnummeret brukes i den videre omtalen av sonen.

Profil 8050-8110: Denne sonen består av flere smale soner med mye vann. Sonen er kun registrert i løp 12. Lekkasje på opptil 1500 l/min gjennom injeksjonshullene



Figur 5.18 – L11, profil 7828. Leirholdig sone i senter av stuffen. Bildet er tatt mens det utføres injeksjonsarbeid. Foto: Mari Lie Arntsen.

Samlet er estimert ut fra målinger fra borhull (Kirkeby, 2012). I ettertid er det montert opp en provisorisk duk-løsning ved sonen for å lede vannlekkasjer bort fra vegbanen, (Figur 5.19). Det er lite leire observert i sonen.

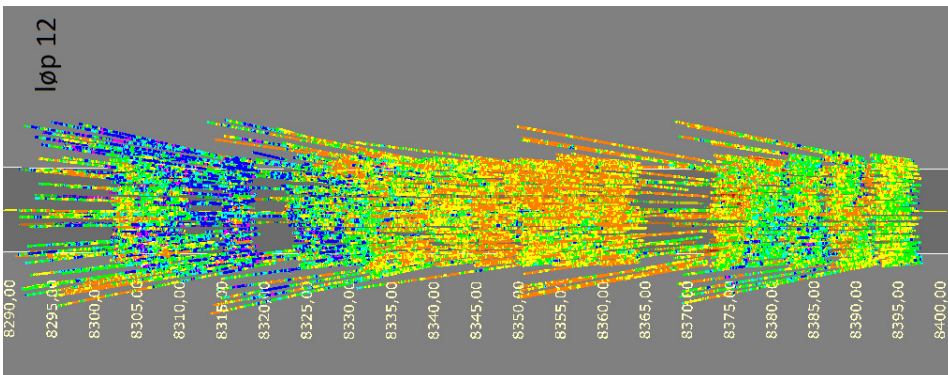
Profil 8300-8330: Denne svakhetssonen krysser tunnelaksen i en vinkel på rundt 55° og faller steilt mot sørøst. Bergmassen er brekksjisert og inneholder alle kornstørrelser, inkludert leire og sonen er antatt å komme av en forkastning med tydelig sprang. Sentralsonen er på 0,5-1,5 meter, men svakhetssonen er minst 10 meter bred. Ut fra borparametertolkningen vist i Figur 5.20 kan det se ut som om sonen er opp mot 15 meter bred.

Det har blitt tatt fem prøver av sleppemateriale i sonen; tre i løp 12 (prøve "12-sone 12 A/B" og 12-8310) og to i løp 11 (11-8339 A/B). Som vist i Tabell 5.3, er svelletrykket målt til å være på opptil 0,43 MPa (12-8310). De andre prøveresultatene viser moderat svelletrykk på 0,15-0,20 MPa.

Under driving har det blitt benyttet forinjeksjon, forbolting og reduserte salvelengder ned mot tre meter. I tillegg er det montert åtte sprøytebetongbuer i sørgående løp (vist i Figur 5.21) og foreløpig fire buer i løp 11. I løp 11 skal det suppleres med flere buer etter hvert. Det har ikke vært problemer med vann gjennom sonen, typisk 10 l/min fra injeksjonshullene (Kirkeby, 2012).



Figur 5.19 – L12, ca profil 8050: Dukløsning for å lede lekkasjevann ned i grøfta gjennom sone med høy vannføring. Foto: Lars Langhelle.

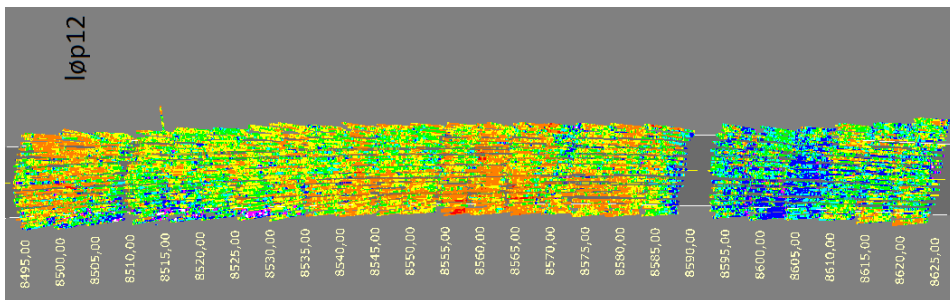


Figur 5.20 – Tolkning av hardhet, profil 8290-8400, løp 12. Svakhetssonen mellom profil 8300 og 8330 kommer tydelig fram som blå farge på borparametertolkningen gjort av Bever Control.

Profil 8505-8530: Her er det igjen registrert en svakhetszone orientert med tunnelretningen, lik de sonene observert lenger sør i tunnelen. Sonen ses også på borparametertolkningen langs høyre vegg, gjengitt i Figur 5.22. Sonen har ikke gitt nevneverdige stabilitetsproblemer og bergklassen er satt til C. Sonen ligger i et område med stadig vekslning mellom granittiske gneiser, amfibolittiske gneiser og amfibolitt.



Figur 5.21 – Sprøytebetongbuer satt opp i løp 12 i forbindelse med forkastningssonen ved profil 8300-8330. Foto: Mari Lie Arntsen.



Figur 5.22 – Tolkning av hardhet ut fra MWD-data, gjort av Bever Control. Svakhetssonen kartlagt ved profil 8505-8530 ses som et blått område i høyre vegg i tolkingen.

Profil 8560-8562: Rundt profil 8560 krysser tunnelen omtrent vinkelrett en smal migmatittsone. Denne strukturen kan skimtes som et oppsprekkingsmønster på borparametertolkningen over en lengre strekning, men disse tversgående sonene med lavere hardhet som kommer med jevne mellomrom kan også komme av forstyrrelser i berget under sprengning. Uansett har ingen av disse formasjonene gitt vann- eller stabilitets-problemer i tunnelen. Den kartlagte svakhetssonen har heller ikke gitt store problem, annet enn at den radiale boltingen er ført helt ned til sålen i venstre vegg. Sleppematerialet samlet ved profil 11-8570 kan være en del av denne sonen. Laboratorietestene av materialet viser en meget aktiv leire, men med kun et middels svelletrykk (se Tabell 5.3).

De større områdene tolket til å ha lavere hardhet rundt profil 8500-8600 (se Figur 5.22) skyldes ikke svakhetssoner, men snarere at bergarten stadig veksler mellom

gneis og amfibolitt. Amfibolitten har en lavere hardhet enn den omkringliggende gneisen, noe som gir høyere borsynk.

Profil 8800-8826: Helt ute mot portalen i løp 12 er det registrert en halv meter bred sleppesone/miniforkastning med en liten vinkel til tunnelaksen og et steilt østlig fall. Sett utenfra tunnelen, treffer sonen løp 12 i venstre vederlag i påhugget og fortsetter over tunnelprofilen før den forsvinner ved profil 8800. Det er funnet svelleleire i større eller mindre grad i alle fire leirprøvene tatt over sonens lengde i tunnelen. Det høyeste registrerte svelletrykket er på 0,12 MPa for prøven med 14 wt% smektitt (Tabell 5.3). Det antas at det potensielle svelletrykket kan være høyere enn dette, da smektittinnhold på opptil 59 wt% er funnet. Dessverre var det ikke nok prøvemateriale til å gjennomføre svelletrykksmåling på denne prøven. Foreløpig er det sikret med åtte sprøytebetongbuer. Siden sonen forsvinner ut i påhugget til løp 12 er den ikke påtruffet i løp 11.

5.4 Sammenligning av prognoser og erfaringer

Her blir prognoser og erfaringer vedrørende de ingeniørgeologiske forholdene ved Knappetunnelen sammenlignet. Dette er en ren sammenligning av prognosene og erfaringene fra driving. Årsaker til avvik og videre diskusjon følger i Kapittel 6.

Sammenligningen dekker naturligvis kun de drevne strekningene av tunnelen.

En oppsummerende sammenstilling av sammenligningen av svakhetssoner fra forundersøkelsene og de møtt i tunnelen finnes i Tabell 5.7 samt i Figur 5.13.

5.4.1 Svakhetssoner

De drevne delene av tunnelen inkluderer svakhetssonene K1, KSp1, K2, KH, K11, KJ, KK, KF1, K12, KSp2, KL og K13 fra forundersøkelsene. Her gis det en analyse av hvilke soner fra forundersøkelsene som ble møtt og ikke. Det blir også kommentert om det er truffet soner i tunnelen som ikke var avdekt av forundersøkelsene. Sammenligningen starter med sonene i sør og beveger seg nordover. Det er skilt mellom driving fra Sandeide og Liavatnet.

Driving fra Sandeide

Svakhetszone K1 som var forventet å treffe S12S ved profil 5180 ble truffet rundt 20 meter tidligere, ved profil 5200. Som forventet fra forundersøkelsene er bergmassen her stekt oppsprukket med tydelige NNV-SSØ-strukturer.

De andre forventede nord-nordvest-strykende sprekkesonene (KSp1) i sør ble også observert i tunnelen. Disse kunne ses som 0,5-4 meter brede sprekkesoner som kommer og går i den sørligste delen av tunnelen. Som tolket fra forundersøkelsene, fantes det noe leire på sprekkeflatene. Disse strukturene fulgte imidlertid tunnelløpet lenger nord enn antatt i tolkningsdelen av geologisk rapport, og er minst funnet opp til profil 5930.

Der hvor svakhetszone K2 var forventet å krysse tunnelen på tvers har det ikke blitt møtt noen sone i tunnelen. I stedet er det her dårligere berg som følge av de NNV-orienterte sprekkesonene.

Driving fra Liavatnet

Per 8. mai er L11 inne i en svakhetszone som fører svært mye vann, opptil 2070 l/min i injeksjonshullene. Denne sonen ser ut til å tilsvare svakhetszone K10 fra forundersøkelsene. K10 hadde den laveste seismiske hastigheten registrert langs alle seismikkutleggene, tydende på høy oppsprekking. I tillegg var sonen forventet å være vannførende ut fra resistiviteten. Fra forundersøkelsene ble det antatt at dårlig berg ville følge tunnelen over 50 løpemeter. Total utstrekning av den påmøtte sonen er det enda ikke mulig å si noe om, siden stoffen fortsatt står inne i sonen.

Svakhetssoneområde K11 har blitt registrert i tunnelen, men kun én er registrert som en svakhetssone i tunnelen. Resistiviteten der sonen treffer var funnet å være opp mot $2000 \Omega m$ og indikerte altså fare for vannproblemer i sonen. Dette stemmer godt med forholdene i tunnelen, hvor svært store lekkasjer på opptil 1500 l/min har blitt registrert samlet gjennom injeksjonshullene. Den laveste resistiviteten ($200 \Omega m$, målt noe lenger sør), har ikke noen forankring i observert forhold gjennom selve sonen *eller* sør for den.

Den påtrufne sonen under Storamyra ved profil 8300 treffer tunnellopet akkurat der hvor sone KK fra forundersøkelsene var forventet å treffe. Sone KKs utgående i dagen er imidlertid lenger sør enn sonen. Med tanke på at sonen i tunnelen er registrert med et sørlig fall er det lite sannsynlig at dette er sone KK. I så fall må fallet endre seg fra moderat sørlig til nordlig i løpet av rundt 50 høydemeter, noe som virker lite sannsynlig.

Sonen tolkes derimot å tilsvare svakhetssone K12 fra forundersøkelsene, forskjøvet rundt 50 lenger sør i tunnellopet i forhold til antatt krysning. Dette tolkes ut fra at den registrerte sonen er parallell med sone K12, samt ut fra at karakteren til sonen stemmer med det forventede for sone K12, med forholdsvis tørre leirmaterialer.

Med grunnlag i denne tolkningen betyr det at fallet på sone K12 er feilestimert i forundersøkelsene, hvor den var tolket å falle steilt. I tunnelnivå faller sonen mellom 45 og 60° mot sørøst, tilsvarende et gjennomsnittsfall på 40 - 45° langs tunnelaksen/resistivitetsprofilen etter korrigering for strøkretning. Det anses derimot som sannsynlig at sonen viser et krummet forløp opp mot dagen, slik at resistivitetsens falltolkning ikke er så feil som det kan se ut Figur 5.13, hvor sonen er tegnet inn som plan. Dette er med bakgrunn i observasjoner gjort av Kirkeby (2012) i forbindelse med den parallelle sonen i påhugget.

Videre nordover er det i tunnelen registrert en NNV-sone som ligner på de møtt i drivingen fra Sandeide. Forundersøkelsene ga ingen indikasjon på slike soner i denne nordlige delen av tunnelen.

Den neste påtrufne sonen - en smal migmatittsone som krysser tunnelen tvers over i stor vinkel, var heller ikke funnet av forundersøkelsene. Seismikk er ikke skutt her. Ut fra ingeniørgeologisk kart ser en at denne sonen sammenfaller med vanlige sprekkestrukturer i området, og at den ligger likt orientert som sonen KSp2, kartlagt lenger nord.

I portalområdet og de første 26 meterne av løp 12 er det møtt på en sleppesone som krysser tunnelen med en moderat vinkel. Under forundersøkelsene ble det registrert to lavresistive soner i området, antatt å treffe tunnelen ved profil 8795 og 8820 (Tabell 5.2). Begge disse var tolket til å falle steilt, men mot hver sin retning. Sonen i tunnelen krysser gjennom den nordligste av de lavresistive sonene, men faller motsatt vei i tunnelen. Her tolkes det at begge de lavresistive sonene stammer fra svakhetssonen i portalen, altså at KL og K13 stammer fra og representerer samme svakhetssone.

Flere av sonene fra forundersøkelsene har ikke vist seg under driving fra Liavatnet, nemlig svakhetssone KH, KJ, KK, KF1 og KSp2.

Tabell 5.7 – Sammenstilling av alle svakhetssoner fra forundersøkelser og driving av Knappetunnelen.

T=geologisk kartlegging, S=refraksjonsseismikk, R=resistivitetsmålinger.

X angir at sonen er registrert av den aktuelle metoden.

Svakhetssone	Funnet fra:			Profilnummer	
	T	S	R	Prognose	Faktisk
K1	X	X		5080-5180	???? ^a -5200
KSp1	X			ca. 5400-5650	ca. 5200-5900
K2		X		5830/5880	Ikke møtt
K10	X	X	X	7840-7860	???? ^a -7800
KH			X	7900	Ikke møtt
K11	X		X	8000-8230	12-8050-12-8110
KJ			X	8250	Ikke møtt
KK			X	8330	Ikke møtt
KF1		X		8350	Ikke møtt
K12	X	X	X	8380	8305-8320
Ikke funnet				-	8505-8530
Ikke funnet				-	8560-8562
KSp2	X			8640	Ikke møtt
KL			X	8795	12-8826-12-8800
K13			X	8820	

^aSonen er ikke drevet igjennom, og start-profil kan derfor ikke settes.

Lunnertunnelens tolkningsmodell

Erfaringene fra Knappetunnelen vedrørende Lunnermodelles tolkningsmodell, presentert i Avsnitt 3.2.2, er oppsummert i Tabell 5.8. Som en ser, har modellen så langt i drivingen stemt for alle påmøtte svakhetssoner funnet fra resistiviteten.

Tabell 5.8 – Resistivitet og sonekarakter for alle lavresistive soner truffet.

Sone	Resistivitet, Ωm	Sonekarakter	Tolkningsmodell
K10	500-1000	Vann	Vann
K11	1000-2000	Vann	Vann
K12	<200	Leire	Leire
KL/K13	<200	Leire	Leire

5.4.2 Andre ingeniørgeologiske forhold

Kartlegging av bergarter er som sagt gjort i liten grad i tunnelen, men generelt ser det ut til at bergartene truffet i tunnelen er som forventet med massive gneiser i sør og mer vekslende med mykere bergarter som amfibolitt innimellom gneisen i nord.

Den antatte bergmassefordelingen er i Tabell 5.9 sammenstilt med bergmassefordelingen beregnet ut fra kartleggingsskjemaene fra tunnelen. Som en ser er det i tunnelen møtt mer bergmasse av klasse D enn forventet, men prognosene vedrørende de dårligste bergmassene har stemt bra med forholdene i tunnelen.

Den NNV-orienterte oppsprekningen har som forventet vært godt representert i tunnelen.

Tabell 5.9 – Sammenstilling av bergmassefordeling fra forundersøkelsene og erfaringer fra driving.

Bergklasse	Fra forundersøkelse	Faktisk fordeling
A-C	84%	72%
D	12%	23%
E-F	4%	5%

5.4.3 Oppsummering

Så langt har prognosene vedrørende svakhetssoner stemt relativt godt med erfaringene fra tunnelen. De steile NNV-SSØ-liggende sonene som var forventet,

kommer og går langs store deler av tunnallengden i sør men de forventede foliasjonssprekkesoner har ikke vist seg i særlig grad så langt. De større tversgående sonene K10 og K12 har vist seg å falle slakere enn antatt fra forundersøkelsene, slik at disse har blitt påtruffet noe senere enn antatt. Tverrsonene K2 og KSp2 har ikke vist seg. Så langt er det ikke møtt problematiske svakhetssoner som ikke har vært forventet fra forundersøkelsene.

Som en ser av Tabell 5.10 er det resistivitetsmålingene som har identifisert *flest* svakhetssoner under forundersøkelsene, men kun fem av disse har blitt møtt i tunnelen. Refraksjonsseismikken har så langt ikke avdekt noen egne soner møtt i tunnelen.

Tabell 5.10 – Oversikt over antall soner funnet av de ulike forundersøkelsene. T=feltkartlegging, S=refraksjonsseismikk, R=resistivitetsmålinger.

Metode:	T	S	R
Antall soner fra forundersøkelsene	6	5	9
Av disse møtt i tunnel	5	3	5
Av disse kun avdekt av aktuelle metode	1	0	2

Kapittel 6

Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres funnene fra oppgaven med hensyn på de tre målene presentert i Avsnitt 1.2. Først diskuteres mulige årsaker til avvik mellom prognosene og erfaringene gjort under driving ved de to undersøkte tunnelene, med hensyn på svakhetssoner. Deretter vurderes nytteverdien av refraksjonsseismikk og resistivitetsmålinger som en del av de ingeniørgeologiske forundersøkelsene. Til slutt diskuteres nytteverdien av laboratorieundersøkelser på sleppemateriale.

6.1 Mulige årsaker til avvik

I dette avsnittet analyseres mulige årsaker til avvik mellom svakhetssoner funnet under forundersøkelsene og erfaring fra driving.

6.1.1 Refraksjonsseismikk

Det ble identifisert tre årsaker til avvik mellom avvik mellom refraksjonsseismikken og erfaringer fra tunnelene.

Manglende evne til å angi orientering

Refraksjonsseismikken kan ikke angi fall av lavhastighetssonene den finner. Denne begrensningen kommer tydelig fram som en svakhet ved metoden ved Eikremtunnelen: Her gir svakhetssonene som følger foliasjonen utslag på seismikken, men siden foliasjonen faller slakt, blir plasseringen av svakhetssonene i tunnelnivå svært unøyaktig. Som en ser av Figur 4.22, er det for eksempel for både sone E8 og E9 rundt 30-40 meter avstand mellom antatt førstepassering av den lavresistive sonen og der hvor en faktisk møtte sonen i tunnelen.

Lav seismisk hastighet

Ved Eikremtunnelen har ingen av sonene E4-E7 blitt avdekt av refraksjonsseismikken. Dette kan tenkes å skyldes at den generelle hastigheten her er en del lavere enn ellers langs traseen (4500 m/s mot >5000 m/s), som beskrevet i Avsnitt 4.2. For det første tyder dette på dårligere bergmasse langs strekningen, selv om noen klar *svakhetszone* ikke tolkes ut av det.

Som beskrevet i Avsnitt 2.1 kan dessuten for lav kontrast mellom hastighetene i ulike geologiske enheter føre til skulte lag. Dermed kan det tenkes at den eventuelle forskjellen i hastigheter i det generelle berget og svakhetssoner her er så liten at endringen ikke registreres under behandlingene av rådataene.

Utilstrekkelig omfang

Refraksjonsseismikk er en kostbar undersøkelsesmetode som kan være vanskelig å gjennomføre i ulendt terreng. Dette gjør at metoden som regel kun benyttes i de deler av tunnelen (se Avsnitt 2.1). En kan si at refraksjonsseismikken heller blir brukt til å *bekreft*e tilstedeværelsen av svakhetssoner funnet via andre metoder (feltkartlegging) enn for å avdekke *nye soner*.

Dette kan synes å være en av årsakene til at en del av foliasjonssone ved Eikremtunnelen ikke ble avdekt av forundersøkelsene. Her viste refraksjonsseismikken generelt god evne til å avdekke svakhetssonene i forbindelse med foliasjonen: Som det framkommer av Figur 4.22 og Avsnitt 4.4 ser det ut til at to av sonene med lav hastighet har vært forårsaket av foliasjonen. Med bakgrunn i dette er det ikke utenkelig at også foliasjonssonene på nordsiden av og under Kjerringhaugen hadde blitt avdekt i dagen, dersom refraksjonsseismikk hadde blitt skutt her.

6.1.2 Resistivitetsmålinger

For resistivitetsmetoden er det funnet flere mulige årsaker til avvik mellom prognosene og erfaringene fra tunnelene. Disse blir her presentert.

Utilstrekkelig kontrast

Ved generell lav resistivitet i bergmassen, kan kontrasten i resistivitet mellom det som kan kalles for godt berg og det som karakteriseres som en svakhetszone bli for liten til at sonen registreres. Dette er godt illustrert i Figur 3.3 (Avsnitt 3.2). I følge Avsnitt 2.2, er 5000 Ωm satt som en veiledende grense for hva som er tilstrekkelig resistivitet for å kunne detektere og korrekt vurdere karakter og forløp av svakhetssoner.

Som en ser av Figur 4.6 er den generelle resistiviteten lavere enn dette i mange områder, særlig i de lavereliggende områdene med svakhetssonene E4-E8. Den lave resistiviteten er en mulig årsak til at svakhetssonene her har blitt vurdert feil med tanke på orientering (se Avsnitt 4.4 og Figur 4.22).

Ugunstig orientering

Erfaringer fra blant annet Viggjatunnelen viste at lavresistive soner kan bli avbildet uriktig dersom vinkelen mellom resistivitetsmåleprofilen og svakhetssonens strøk er liten (se Avsnitt 3.2). Det kan også skje at sonen ikke blir avdekt av metoden i det hele tatt under slike forhold.

Ved disse to prosjektene har resistivetsprofilene stort sett krysset de antatte og påtrufne svakhetssonene i en stor vinkel. For liten vinkel anses likevel som en plausibel årsak blant annet til at sonen K13 i Knappetunnelen ble funnet å falle motsatt vei i forhold til det antydte av resistivetsmålingene.

Også ved NNV-sonene nord for sone K12 følger resistivetsprofilen i stor svakhetssonene møtt i tunnelen. Disse ble ikke avdekt av metoden. Den generelle resistiviteten her er høy generell resistivitet, slik at lav kontrast (se over) sannsynligvis ikke er årsaken til at sonene ikke ble avdekt og antakeligvis har disse blitt oversett på grunn av den ugunstige orienteringen av måleprofilen i forhold til svakhetssonen.

Feil V/H-filter

Flere av sonene viser seg å falle slakere enn det tolket fra resistiviteten. Som en ser av lengdesnittene i Figur 4.22 og 5.13, gjelder eksempelvis for sone E7, K10 og K12.

En mulig årsak til at sonene tolkes for steile er at vertikale strukturer favoriseres med den valgte inversjonskonfigureringen ved disse to prosjektene, hvor et V/H-filter på 2 er benyttet. Som beskrevet i Avsnitt 3.2 vil et vertikal/horisontal-filter på 2 framheve vertikale strukturer og strekker soner mot dypet slik at de virker steilere i resistivetsmodellen enn de er i virkeligheten. Et mer korrekt bilde kunne muligens blitt dannet ved bruk av et nøytralt filter ($V/H=1$).

For smal lavresistiv sone

En svakhet med metoden har vist seg å være at smale lavresistive soner kan overses i modelleringen (Avsnitt 3.2). Ved særlig ett tilfelle i forbindelse med dette masterarbeidet kan dette være en mulig årsak til at en sone ikke har blitt påvist av resistiviteten; ved den smale migmatittsonen nord i Knappetunnelen. I resistivetsmodellen kan en sone skimtes som en gul farge ved måleprofil 2500 i Figur 5.5, men den kan ikke følges ned i profilen. Dette tolkes å skyldes at sonen er for smal.

Begrenset rekkevidde og oppløsning i dypet

En rekke lavresistive soner fra forundersøkelsene har *ikke* gitt problemer under driving. Alle disse sonene har blitt antatt å være smale (<10 meter brede). En

mulig årsak til at disse er feilaktig avdekt kan være at de har dødd ut før tunnelnivå. At dette ikke er oppdaget av metoden kan skyles den begrensede rekkevidden og dårligere oppløsning mot dypet, som beskrevet i Avsnitt 2.2. Dette kan særlig tenkes å gjelde for den sørlige registreringen av sonen K11, hvor overdekningen er over 100 meter (ref. Figur 5.13).

Sensitivitet

Metoden har feilaktig tolket en del soner. Dette kan tenkes å skyles at grensen for hva som defineres som en lavresistiv sone er satt for høyt (for disse to prosjektene ved 3000 Ωm). Høy sensitivitet kan også tenkes å være årsak til at en del soner tolket å nå ned til tunnelnivå i virkeligheten har dødd ut før de har nådd tunnelen.

Feil i tolkningsmodell

Prognosene ut fra den foreslåtte tolkningsmodellen fra Lunnertunnelen avviker fra erfaringene ved ett tilfelle ved Eikremtunnelen, hvor en tolket vann-sone ble møtt som en leirsoner i tunnelen. Dette kan skyldes at den foreslåtte grensa mellom leir/vann-soner ligger for lavt.

Det kan tenkes at dette skyldes at ved Eikremtunnelen er den generelle resistiviteten lavere enn ved Lunnertunnelen. Som beskrevet i Avsnitt 3.2.2 og illustrert i Figur 3.3, vil dette påvirke resistiviteten en får ut av oppsprukne soner. Ut fra samme eksempel, skulle imidlertid grensen for skillet mellom leire og vann blitt senket i stedetfor økt, som ut fra resultatene av dette arbeidet virker som en mer riktig korrigering av modellen for Eikremtunnelen. Det ser dermed ut som feilen i tolkningsmodellen ikke bygger kun på den generelle resistiviteten i bergmassen, men at det er noe mer komplekst enn dette. Her kan det tenkes at forhold som stedtypiske forvittringsmaterialer, vannkarakter og lignende kan spille inn.

Oppsprekking langs foliasjonen

Ved Eikremtunnelen er det gjennomgående at resistiviteten kun har avdekt de steile svakhetssonene, men ingen av foliasjonssonene. Dette er så typisk, at forholdet her gis en egen plass for diskusjon: Hvorfor har ikke resistiviteten klart å avdekke foliasjonssonene ved Eikremtunnelen?

Resistiviteten gir ut tolkninger av plane soner i måleprofilen. En mulig forklaring på at foliasjonen ikke er fanget opp, er at bergmassen og dermed foliasjonen og foliasjonssonene er så foldet at distinkte soner ikke kan tolkes ut fra resistiviteten.

En annen mulig årsak er at bergmassens generelle resistiviteten ved Eikremtunnelen ikke er tilstrekkelig høy til å avdekke soner, selv om foliasjonen viser seg å ikke være så foldet som antatt. Som en ser av Figur 4.6 ligger den generelt i området 1000-5000 Ωm langs store strekninger av måleprofilen.

En siste tolkning går på at disse to forholdene henger sammen ved den lave generelle resistiviteten skyldes den “uryddige” foliasjonen . Det virker sannsynlig at en slik kombinasjon av de to forholdene kan være årsaken til at foliasjonssone ikke er identifisert av resistiviteten.

6.2 Vurdering av nytteverdi

Å ha nok informasjon om bergmassen i området rundt en planlagt tunnel er viktig. Tilstrekkelig og korrekt informasjon gir grunnlag for å optimalisere orientering og utforming at den endelige tunnelen og øker mulighetene til å stille forberedt når en treffer vanskelige partier. Informasjon om grunnforholdene vil også forbedre mulighetene til å utarbeide en god tidsplan og et estimat på totalkostnader ved driving.

I de tidlige planfasene av et tunnelprosjekt er den tradisjonelle ingeniørgeologisk kartleggingen ofte tilstrekkelig. Fordelen med feltkartlegging er at det er enkelt og billig å gjennomføre og kartleggingen kan dekke et stort område i en tidlig planfase for tunnelprosjektet.

En viktig svakhet ved kartlegging i dagen er at forholdene nedover i grunnen ikke kan ses. Bebyggelse, løsmasser og vegetasjon vanskeliggjør dessuten kartleggingen og det kan være vanskelig å få noe godt bilde også av forholdene i dagen over den endelige traseen. Ved begge tunnelprosjektene diskutert i denne oppgaven har dette gitt begrensninger i kartleggingen. Bildet i Figur 6.1 illustrerer godt problemet. Bildet er tatt over svakhetssone K6d og som en ser er det lite berg synlig for å vurdere sonen.

Dette problemet er ikke like aktuelt for refraksjonsseismikk og resistivitetsmålinger. Disse undersøkelsene kan utføres i løsmassedekte områder (gitt at løsmassemerkheten ikke er for stor og løsmassekarakteren ikke hindrer for eksempel strøm å trenge ned i berget), i hager og i bebygde områder og kan dessuten “se” grunnforholdene i dypet.

Dette gjenspeiles i antall svakhetssoner funnet ved de ulike metodene. Sammenligningen mellom prognoser og erfaringer i Avsnitt 4.4 og 5.4 viste at feltkartleggingen ved Eikremtunnelen og for de hittil drevne delene av Knappetunnelen avdekte totalt 10 svakhetssoner; ganske få i forhold til resistivitetsmetoden som fant 18 soner. Av disse lavresistive sonene er det imidlertid kun omtrent halvparten som faktisk har blitt møtt i tunnelene, men resistiviteten har på en annen side avdekt fem møtte soner som ble identifisert av hverken feltkartleggingen eller refraksjonsseismikken. Refraksjonsseismikken har også vist bedre evne enn feltkartleggingen til å avdekke soner som ikke er funnet av andre metoder .

Til tross for at det i det foregående avsnittet er beskrevet mange feilkilder og svakheter i forbindelse med både 2D resistivitet og refraksjonsseismikk, har altså metodene avdekt mange viktige forhold under forundersøkelsene. Dette kapitlet vil med utgangspunkt i både disse styrkene og svakhete diskutere *nytteverdien* av metodene.



Figur 6.1 – Torv og vegetasjon som dekker sone K6d (Knappetunnelen) gir få bergblotninger og vanskeliggjør kartleggingen. Bart fjell ses oppe til høyre. Bildet er hentet fra Kirkeby (2010).

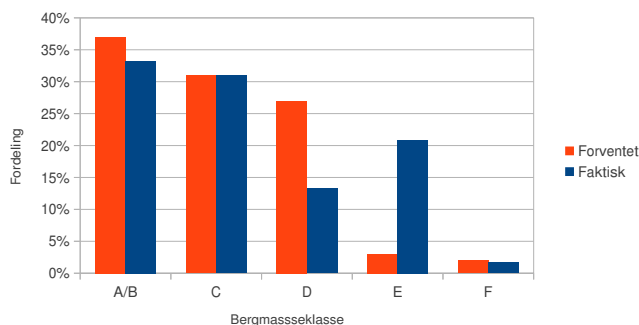
6.2.1 Refraksjonsseismikk

Allerede i en tidlig planfase har refraksjonsseismikken vist seg å være nyttig: Ved Eikremtunnelen ble det bestemt å flytte påhugget og traseen lenger nord for å unngå særlig vanskelige svakhetssoner. Beslutningen ble tatt basert på blant annet resultatene fra de refraksjonsseismiske undersøkelsene. Dette er store valg, som får store konsekvenser for både byggingen av, og den endelige driften og bruken av tunnelen.

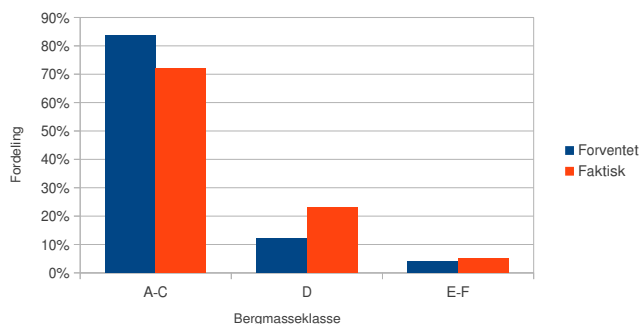
Ved de endelige traseene ser en viser resultatene fra sammenligningene gjort i Avsnitt 4.4 og 5.4 at refraksjonsseismikken har avdekt to svakhetssoner som ikke har blitt funnet av de to andre metodene presentert. Disse to sonene er foliasjonssoner ved Eikremtunnelen. Metoden har i liten grad feiltolket svakhetssoner og metoden ser med andre ord ut til å være forholdsvis sikker når den gir ut indikasjoner på svakhetssoner.

En annen nyttig egenskap ved metoden, er at den sammen med feltkartleggingen har vist relativt gode muligheter til å anslå bergmassekvaliteten også utenom svakhetssonene. I Figur 6.2 er resultatene fra Avsnitt 4.4 og 5.4 vedrørende forventet og faktisk bergmasseklassedeling sammenstilt. Figur 6.2b gjelder for den delen av Knappetunnelen som er drevet per 8. mai, altså omtrent halve tunnelengden.

Som en ser av figuren, har fordelingen av de bedre (klasse A-C) og de dårligere bergmassene (klasse D-F) blitt estimert med en forholdsvis stor nøyaktighet. Siden den generelle bergmassen uten svakhetssoner er det en møter på langs de største delene av tunnelengden, er dette svært nyttig informasjon å få ut av forundersøkelsene for å blant annet kunne estimere sikringsomfang i tunnelen.



(a) Eikremtunnelen, hele tunnelen.



(b) Knappetunnelen per 8. mai 2012.

Figur 6.2 – Grafisk framstilling av forventet og faktisk bergmasseklassefordeling.

Når det kommer til svakhetssoner, ligger i den refraksjonsseismiske metodens natur å ikke kunne angi soners orientering og rekkevidde i grunnen med de inversjonsmetodene som normalt er benyttet. Ved tomografisk inversjon er det en viss mulighet til å indikere fallretning (Kapittel 3), men dette er ikke benyttet ved disse to prosjektene.

Som presentert i Avsnitt 4.4, har dette ført til en feilplassering av soner i tunnelnivå på opptil 40 meter. I forhold til å opprette en undersøkelsessone 15 meter før forventede svakhetssoner, vil dette kunne få store konsekvenser for tunneldrivingen dersom sonen faller mot driveretningen og med det kommer overraskende på. *Hvor stor* konsekvens dette får, avhenger derimot i stor grad av andre forhold ved prosjektet. For eksempel traff disse feilplasserte sonene inne i et *annet* Svakhetszoneområde i Eikremtunnelen, slik at effekten eller *konsekvensen* av at refraksjonsseismikken ikke gir ut informasjon om fall har blitt mye mindre enn hva de kunne ha blitt. Dette gjenspeiles i sikringsomfanget ved Eikremtunnelen, hvor mengde i kontrakt i liten grad avviker fra de faktisk utførte mengdene (se Avsnitt 4.4).

Som diskutert i Avsnitt 6.1.1 har utilstrekkelig omfang av refraksjonsseismiske undersøkelser vist seg å være en mulig årsak til at denne metoden avdekker forholdsvis *få* svakhetssoner, sammenlignet med resistivitetsmålingene. Under forundersøkelsene er det naturligvis ønskelig å få informasjon om så *mange* svakhetssoner som mulig og i forhold til dette er altså ikke refraksjonsseismikk den beste metoden.

Dette er en svakhet med metoden som det er vanskelig å gjøre noe med. Som nevnt i Avsnitt 2.1 er metoden forholdsvis kostbar og tungvindt å gjennomføre, slik at å ha full dekningsgrad på lange tunnelprofiler kan ikke forsvares økonomisk. Dette gjør at metoden ikke kan utnyttes til dens fulle. For å få størst mulig nytte av metoden på en kostnadseffektiv måte, er det derfor nødvendig med en god planlegging av hvor de seismiske profilene skal legges ut fra observasjoner gjort i felt.

6.2.2 Resistivitet

Resultatene viser at denne metoden kart har avdekt *flest* svakhetssoner ved disse to prosjektene; totalt 18 soner innenfor de aktuelle områdene. I tillegg er hittil fem av sonene møtt i tunnelene *utelukkende* funnet via resistiviteten. Begge disse antallene er inkludert strekningen ved Knappetunnelen hvor resistivitet ikke er målt. Metoden viser med andre ord stor styrke når det kommer til å identifisere svakhetssoner.

Resistivitetsmetodens mulighet til å angi karakter, bredde, dyp og orientering av svakhetssoner er et av hovedargumentetene for å videreutvikle metoden og benytte den ved flere underjordsprosjekter. Erfaringene fra dette arbeidet viser at den i en viss grad klarer nettopp dette. Særlig har metoden vist gode evner til å forutse sonens materialkarakter. Resultatene fra sammenligningen gjort i kapitlene 4.4 og 5.4 vedrørende dette er sammenstilt her i Tabell 6.1. Som en ser, stemmer tolkningsmodellen i 8 av 9 tilfeller.

Når det gjelder resistivitetsmetoden, ser en at denne har avdekt mange svakhetssoner under forundersøkelsene. Metoden har vist en viss evne til å anslå fall, dyptgående, mektighet av soner og sonekarakter ut fra den foreslåtte tolkningsmodellen.

Evnen til å skille mellom leirsoner og vannførende soner er svært verdifullt i forbindelse med tunneldrift og kan for eksempel bidra til å vurdere omfang av forinjeksjon. I forbindelse med svelleleire kan det dessuten tenkes at metoden kan luke ut de sonene som det *ikke* vil være leire i - og *dermed heller ikke svelleleire*.

Muligheten til å anslå geometri av svakhetssoner vil, dersom det fungerer, gjøre metoden svært hensiktsmessig å bruke som en del av forundersøkelsene. Erfaringene vedrørende dette fra disse to prosjektene er imidlertid noe blandet. Potensialet ligger der, men det ser altså ut til å ikke fungere like godt i praksis.

Som eksempel nevnes sone K12, hvor feiltolkningen i fallet utgjør 50 meter avvik langs tunneltraseen, til tross for en beskjedne overdekning. I forhold til opprettelese av undersøkelsessone 15 meter før forventede svakhetssoner, vil dette kunne få store konsekvenser for tunneldrivingen dersom sonen faller mot driveretningen. Ved

Tabell 6.1 – Resistivitet og sonekarakter for alle lavresistive soner truffet i tunnelene.

	Sone	Resistivitet, Ωm	Sonekarakter	Tolkningsmodell
Eikrem-tunnelen	E3	500-1000	Vann	Vann
	E4	500-1000	Vann	Vann
	E5	500-1000	Vann	Vann
	E6	<500	Leire	Leire
	E7	500-1000	Leire	Vann
Knappe-tunnelen	K10	500-1000	Vann	Vann
	K11	1000-2000	Vann	Vann
	K12	<200	Leire	Leire
	KL/K13	<200	Leire	Leire

passering av denne sonen (og tilsvarende for sone K10) var en imidlertid heldig ved at fallet går med driveretningen, slik at undersøkelsessoner med sonderboring ble startet opp i god tid før passering. Dette imidlertid prosjektspesifikke forhold som ikke kan brukes i et forsvar av metodens manglende evne til å korrekt estimere fall.

Metoden er dessuten følsom ved at den krever visse forhold for å fungere godt, illustrert av avviksårsakene gitt i Avsnitt 6.1. Enkelte av disse mulige årsakene til avvik kan unngås ved god planlegging og utførelse av målingene, ved å for eksempel gjennomføre målinger langs tverrprofiler. Andre forhold, som at metoden metoden krever en tilstrekkelig kontrast for å fungere godt er det ikke mulig å kontrollere. Dette gjør at metoden potensielt kan ha null verdi i forhold til å avdekke svakhetssoner i bergmassen.

I følge sammenligningen i Avsnitt 4.4 og 5.4, viser det seg at metoden i tillegg til å overse enkelte svakhetssoner også *feilaktig* tolker svakhetssoner i tunnelen. Dette vil kunne gi en unødvendig dyr tunnel, ved at undersøkelses- og sikringsomfang blir overvurdert i forhold til det faktisk nødvendige.

Funnene over mulige årsaker til avvik ved resistivitetsmålinger i Avsnitt 6.1 viser at det fortsatt er en del usikkerhet i resultatene fra metoden. Dette er en klar ulempe ved metoden i dag.

Vurdert opp mot kostnader, peker derimot resultatene mot at nytteverdien av metoden høy. Den kan, som resultatene har vist, avdekke mange svakhetssoner - på en forholdsvis billig måte.

6.2.3 Refraksjonsseismikk kontra resistivitet

Resistivitetsmålinger kan ses som en utfordrer til den tradisjonelle refraksjonsseismikken og en sammenligning av de to metodene med hensyn på bruksverdi er derfor naturlig å inkludere.

Den store fordelen ved resistivitetsmålingene ligger i at metoden er billig og effektiv og at metoden gjør det mulig å vurdere soners geometri og karakter. For å sette det på spissen, kan man si at refraksjonsseismikken på den andre siden er dyr, tungvinn og gir forholdsvis lite informasjon om svakhetssonene utover en ren identifisering.

Begge metodene har derimot vist seg å være et godt tilskudd til feltkartleggingen. Når det kommer til svakhetssoner, ser det derimot ut til at refraksjonsseismikken har begrenset verdi når den blir brukt i kombinasjon med resistivitetsmålinger så fremt forholdene ligger til rette for resistivitetsmetoden. Resultatene tyder på at refraksjonsseismikken i disse tilfeller ikke vil gi noe ekstra informasjon om svakhetssoner utover det resistivitetsmålingene gir. Dersom forholdene *ikke* ligger til rette for resistivitetsmålinger, vil derimot seismikken være nyttig å gjennomføre i tillegg. Denne vurderingen gjøres i lys av at seismikken *ikke* har avdekt noen egne soner i Knappetunnelen, mens i Eikremtunnelen, hvor den generelle resistiviteten i bergmassen var lav, har den funnet to egne soner.

Ut fra dette skulle en tro at den klare konklusjonen fra dette arbeidet er at dersom forholdene tilsynelatende ligger til rette for resistivitetsmålinger bør denne metoden ta over for seismikken. Dette er imidlertid ikke tilfelle: Resistivitetsmetoden er fortsatt en forholdsvis ny metode. Til tross for at metoden ble brukt og viste lovende resultater i forbindelse med for eksempel Bolmentunnelen allerede på 70-tallet, har metoden blitt lite benyttet siden (se Avsnitt 3.2). Dette gjør at erfaringsgrunlaget på bruk av resistivitetsmålinger som en del av forundersøkelsene for tunnelprosjekter er begrenset, og fortsatt er det flere usikkerheter knyttet til metoden. Som beskrevet i Avsnitt 3.2 og 6.1.2 går dette på forhold i felt, så vel som på inversjonsprosessen av måledataene: Det er usikkert om metoden og tolkningene av resultatene kan overføres direkte til andre geologiske miljøer. Blant annet har metoden vist seg å fungere dårlig i leirskifrene i Oslofeltet (se Avsnitt 3.2.2). Og til tross for at det er gjennomført studier for å øke forståelsen av modellen metoden gir ut (se Avsnitt 3.2.1), viser resultatene fra dette masterarbeidet at det fortsatt oppstår en del feilaktige tolkninger. Om metoden kan støtte seg på et bredere erfaringsgrunnlag, vil den altså kunne øke sin nytteverdi.

En annen interessant tanke er at metodens teoretiske evne til å angi svakhetssoners orientering og karakter gjør at den som skal bruke resultatene, og som kanskje ikke har gjort seg kjent med teorien bak metoden, lett kan stole blindt på resultatene og oppfatte de som en beskrivelse av de *virkelige grunnforholdene*. Ved bruk av refraksjonsseismikk er brukeren antakeligvis mer inneforstått med begrensningene ved metoden.

Dersom resistivitetsmålinger skal kunne konkurrere med refraksjonsseismikken, vil det altså for det første være nødvendig å få mer erfaring i bruk av metoden. I tillegg bør metodens prinsipper og svakheter komme fram på en tydelig måte for de som eventuelt skal benytte resultatene i sine tolkninger av grunnforholdene.

6.3 Laboratorieundersøkelser

På grunn av at det kun er registrert moderate svelletrykk ved Eikremtunnelen og fordi Knappetunnelen fortsatt ikke er ferdig drevet, er grunnlaget for å vurdere nytteverdien av laboratorieundersøkelser for bestemmelse av sikringsomfang ut fra erfaringene herfra noe tynt. Tabell 6.2 repeterer resultatene fra svelletrykkmålingen og sikringsomfanget gjennom den tilhørende sonen, tidligere presentert i Avsnitt 4.3 og 5.3. I tabellen er prøvetakingens profilnummer korrelert med svakhetssonene funnet i tunnel.

Tabell 6.2 – Oversikt over målt svelletrykk og tilhørende sikringsomfang i tunnel.

Sone	Prøve	Svelletrykk, MPa	Bergsikring
E8	1	0,26	Forinjeksjon Forbolter med fjellbånd
	2	0,29	Sikringsbuer
K10	11-7828	0,30	Forinjeksjon Forbolter med fjellbånd Sikringsbuer
K12	12-8310	0,43	Forinjeksjon
	12-sone 12 (A)	0,15	Sikringsbuer
	12-sone 12 (B)	Ikke nok mat.	Forbolter med fjellbånd (Sikringen skal suppleres i løp 11.)
	11-8339 (A)	0,15	
	11-8339 (B)	0,20	
12-8565	11-8570	0,16	Foreløpig ingen ekstra sikring
Løp 11	11-8651	0,60	Foreløpig ingen ekstra sikring
	12-8802 (A)	0,08	Systematisk bolter ned til såle
	12-8820	0,10	Sikringsbuer
	12-8825	0,12	Forbolting med fjellbånd (Sikringen skal suppleres pga. dårlig hold i berget.)

Erfaringer er derimot gjort vedrørende metodens generelle egenskaper og brukervennlighet. Disse danner her grunnlaget for en diskusjon av nytteverdien av laboratorieundersøkelser.

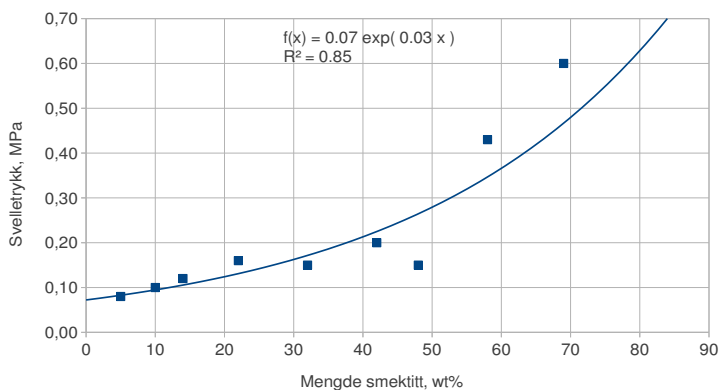
Svellende mineraler er ofte den største utfordringen ved kryssing av leirsoner i tunneler. Et verktøy for å vurdere sikringsomfang gjennom leirholdige soner er laboratorieundersøkelser, hvor resultatene brukes for å vurdere behovet for tung sikring gjennom sonen. Laboratorieundersøkelser på sleppemateriale som en del av forundersøkelsene er sjeldent brukt. Dette til tross for at hvorvidt soner utøver et

høyt svelletrykk eller ikke har store økonomiske konsekvenser (se Avsnitt 2.6.1).

Problemet med å utføre labtestingen som en del av forundersøkelsene er den begrensede muligheter for å få tatt materialprøver: Kjerneboring er som sagt en, om enn noe tungvinn, mulighet. Får en imidlertid samlet nok materiale til å kjøre en mineralogisk undersøkelse, kan en i allefall få informasjon om hvorvidt svellende mineraler finnes eller ikke. Dersom en har direkte tilgang til sonen fra dagen er det jo også mulig å større ta prøver direkte. Problemet med dette er at den dagnære prøven vil kunne være vesentlig forskjellig fra en prøve tatt i tunnelnivå. Mest sannsynlig vil nok uansett ny prøve tas i tunnelen, slik at laboratorieundersøkelser under forundersøkelsene kan være vanskelig å forsvare ut fra en totalvurdering av nytte og kostnader.

Erfaringer fra Eikrem- og Knappetunnelen viser at heller ikke prøver tatt på stoff i tunnelen behøver være representative for de generelle svelleegenskapene i sonen. Med utgangspunkt i Tabell 5.3, ser en at det ved Knappetunnelen er tatt to prøver på samme stoff (prøve A og B) ved tre profiler. I to av tilfelle viser disse forholdsvis like egenskaper mtp mineralinnhold, men om en ser på prøve 12-8802 A og B, er svelleleireinnholdet i prøvene svært forskjellig (henholdsvis 5 wt% og 59 wt %). Prøven med lavest montmorillonittinnhold gir et lavt svelletrykk (0,08 MPa) mens det for prøve B ikke var nok materiale til å måle svelletrykket.

I Figur 6.3 er svelletrykk plottet mot tilhørende svelleleireinnhold for alle prøvene fra Knappetunnelen. En eksponentialfunksjon er tilpasset måledataene. Ut fra figuren ser det ut til at en prøve med 59 wt% svelleleire kan antas å utøve et svelletrykk rundt 0,35 MPa ut fra den generelle trenden ved Knappetunnelen. Dette er nesten 440 % av svelletrykket målt på A-prøven fra samme stoff!



Figur 6.3 – Plott av målt svelletrykk mot smektittinnhold med tilpasset eksponentialfunksjon for sleppeprøver fra Knappetunnelen.

Dette viser tydelig at en prøve nødvendigvis ikke er representativ for forholdene i hele sonen og representerer en klar svakhet i forhold til å benytte laboratorieundersøkelser som bestemmende faktor for endelig sikring. Ved uheldig prøvetaking kan

en måle et mye lavere svelletrykk en det en faktisk har i sonen. På denne måten kan en gå glipp av soner som egentlig burde hatt tung sikring. For å bedre sikre seg mot dette, vil det være lurt å ta flere prøver ved samme stuff og kjøre parallelle analyser på disse. I vurderingen av behov for videre sikring bør deretter det høyest registrerte svelletrykket legges til grunn.

Sleppematerialet kan altså vesentlig endre karakter over avstander på noen få meter. Denne observasjonen taler for at undersøkelsene av sleppematerialet bør utsettes til byggefasen av tunneler. Dersom en prøvetar sleppemateriale fra dagen ved bruk av kjerneboring, vil det for det første mest sannsynlig kun bli tatt én prøve. For det andre kan det være at denne prøven ikke er representativ for forholdene i tunnelen, da materialegenskapne varierer veldig selv over korte avstander.

Utsettelse av undersøkelsene til byggestadiet har dog sine ulemper. Som nevnt er det økonomisk og tidsmessig fornuftig å vite hvorvidt tung bergsikring i form av utstøpning kreves *før* den aktuelle sonen passerer. Ut fra bestillingsskjemaet for laboratorietesting og fra selve laboratorierapporten for svelleforskene ved Knappetunnelen, ser en at det tok nesten to måneder fra bestillingen av svelletrykkstest og XRD-analyse var inne til rapporten fra laboratoriet ble sendt tilbake. Før dette hadde i tillegg alle prøvene blitt testet for fritt svellevolum, slik at tid fra siste prøvetaking til mottatt svelletrykkresultat var nærmere tre måneder. På denne tiden hadde tunneldrivingen kommet langt, og de aktuelle sonene passert for lenge siden.

I dette tilfellet ble svært mange prøver sendt til testing samtidig, slik at ventetiden nok har blitt noe lenger enn det som er nødvendig. Likevel viser det at forholdene ikke ligger til rette for å utnytte metoden til sitt fulle. Hadde prøveresultatene vært klare i løpet av et par dager, kunne en dersom det var nødvendig startet med et utvidet profil tidlig i svelleleiresonen og senere eventuelt strosset ut de meterene som var drevet igjennom på disse få dagene. Per i dag virker det ikke som om den nødvendige kapasiteten og logistikken er til stede for å få til dette.

Den trege prosessen for å få undersøkt materialet i lab kan tenkes å ha en uheldig effekt på sikkerheten i tunnelen. Det er nå engang slik at økonomi er en viktig del av tunnelbygging, og ingen er interessert i å drive med unødvendig utvidet tverrsnitt. Sammen med den uklare formuleringen ang. krav til betongutstøpning (se Avsnitt 2.6.2) kan sen tilbakemelding på laboratorietester føre til at soner, kanskje feilaktig og kanskje overlatt, konkluderes med å være under to meter brede i utstrekning og på den måten blir betongstøp uansett ikke nødvendig. Slik det er i dag, legges det opp til at utstrekningen av leirsonen kan tolkes både svært konservativt og liberalt.

I tillegg stiller ikke Statens vegvesen noe direkte krav til at sleppematerialet skal undersøkes. I Teknologisk Rapport 2538 står det at “ved mistanke om svelleleire så skal dette undersøkes grundigere med fargetest, svellestest, differentialtermisk analyse eller røntgendiffraksjon (XRD).” (se Avsnitt 2.6.2). Streng tatt finnes det ingen muligheter til å *se* svelleleire under tunneldrivingen, slik at det er fare for at svellende materialer ikke blir samlet inn og undersøkt nærmere. Dette er en svakhet med dagens krav som også Hatlenes (2011) har bitt seg merke i; ved Karmøytunnelen som hennes masterarbeid dreide seg om, ble svelleleire avdekt ved flere lokasjoner ved ren tilfeldighet.

Får å unngå å overse svelleleiresoner, vil systematisk innsamling av sleppematerialer gjennom tunnelen være nyttig. Dersom dette skal ha noe for seg, er det som nevnt tidligere viktig med et godt system for rask laboratorietesting av materialet.

Som beskrevet i Avsnitt 2.6.1 tar ikke kravene stilt av Statens vegvesen hensyn til trykkforholdene in-situ. Kravene baserer seg på resultater fra laboratorietester gjort på forstyrret prøve under forhold som kan være svært ulike fra de i tunnelen. Det er naturlig å tenke seg at en tørr sone med lite innhold av svelleleire og med mye grove fragmenter i virkeligheten vil være mindre kritisk enn en sone med mer leire og muligheter for å ta opp vann, selv om laboratorietestene viser like potensielle svelletrykk i de to situasjonene. Dette illustreres godt med erfaringene nevnt innledningsvis i oppgaven, hvor det i Rafnes vanntunnel gikk ras like etter at den ble satt i drift og fylt med vann (se Avsnitt 1.1). Her bygde ikke svelletrykket seg opp før sonen kom i kontakt med vann; altså ikke før de *ytre* forholdene var til stede (se Avsnitt 2.6.1).

På en annen side er konsekvensen av rasulykker i en vegtunnel vesentlig større enn i en vanntunnel. Ut fra dette er det fornuftig at kravene er konservative og baserer seg på det potensielt maksimale svelletrykket som kan oppstå. På denne måten er en bedre sikret mot å undervurdere sikringsomfanget i vegtunnelen.

Kapittel 7

Konklusjon

Både refraksjonsseismikk og resistivitetsmålinger har vist seg å være verdifulle i forbindelse med forundersøkelsene for vegtunneler.

Refraksjonsseismikken i en kombinasjon med feltkartlegging gir et godt estimat på bergmassekvaliteten langs tunnelstrekningen og kan i tillegg å avdekke svakhetssoner i grunnen. Den store begrensningen i nytteverdien av metoden ligger i dens manglende evne til å vurdere svakhetssoners orientering og utstrekning, noe som har vist seg å kunne ha store konsekvenser for antatt treffpunkt med den avdekte sonen. Tomografisk inversjon har ved andre prosjekter vist seg å kunne anslå fall og utstrekning mot dypet og her ligger et mulig forbedringspotensiale til metoden.

Refraksjonsseismsikk er en kostbar geofysisk undersøkelsesmetode. Bruken begrenses derfor til de mest kritiske strekningene langs tunnelen og til områder hvor det fra før er forventet dårlige bergforhold. Refraksjonsseismikk kan således si å være en mer *bekreftende* enn *avdekkende* metode.

Under egnede forhold har resistivitetsmålingene vist stort potensiale til både å avdekke og vurdere svakhetssoner i berggrunnen med tanke på orientering, rekkevidde og sonekarakter. Den foreslåtte tolkningsmodellen fra Lunnertunnelen har vist seg å stemme godt i både Eikremtunnelen og Knapptunnelen. Erfaringene antyder med andre ord at modellen direkte kan overføres fra Lunnertunnelens geologiske miljø til gneisene i Vest-Norge.

Så lenge erfaringene i bruk av resistivitetsmålinger i ulike geologiske miljøer er såpass begrenset som i dag, er det lite aktuelt å la denne metoden *overta* for refraksjonsseismiske undersøkelser på land. Resultatene taler imidlertid for videre bruk av metoden og satsing på å utvikle en bedre forståelse og et større erfaringsgrunnlag i innsamling og tolkning av måledata.

Når det kommer til nytteverdien av laboratorieundersøkelser av sleppematerialet konkluderes det med at selve metoden i teorien egner seg godt til vurdering av behov for tung sikring i vegtunneler, men at utførelsen i praksis preges av utilstrekkelig

logistikk og kapasitet. Kravene som gis av Statens vegvesen vedrørende bruk av tung sikring gjennom svellesoner er dessuten for vagt formulert til at metodens fulle potensiale kan utnyttes.

Forbedringspotensiale finnes altså for alle de tre metodene vurdert i dette arbeidet. For de to geofysiske undersøkelsene vil det være fornuftig med:

- Parallell bruk av de to undersøkelsesmetodene for å få mer erfaring ved bruk av resistivitetsmålinger.
- Videre utforskning av mulighetene ved tomografisk inversjon av refraksjons-seismiske data

Noen mulige tiltak for å styrke verdien av laboratorietesting av sleppemateriale er:

- Presisering av kravene gitt i av Statens vegvesen i Teknologirapport 2538.
- Sette krav til kontinuerlig prøvetaking og laboratorietesting av sleppematerialer for å unngå å overse mulige svelleleiresoner.
- Kreve at minst to prøver fra hver prøvelokalitet blir samlet inn og analysert.

Kapittel 8

Videre arbeid

Det gjenstår flere muligheter for videre arbeid med disse to tunnelene. Dette inkluderer å ferdigstille sammenligningen og diskusjonen av mulige årsaker til avvik mellom prognoser og erfaringer fra Knappetunnelen når den er ferdig drevet. Dette vil gi et større grunnlag for å vurdere nytteverdien av de ulike metodene.

I tillegg vil det være interessant å se på undersøkelsesomfanget ved de to prosjektene. Dette kan gjøres med utgangspunkt Vegdirektoratets publikasjon 101 - "*Riktig omfang av undersøkelser for berganlegg*" (Palmstrøm et al., 2003). Ved å innhente drivekostnader og kostnader knyttet til forundersøkelsene ved de to tunnelene kan det gis en vurdering angående dette.

Ellers vil det være fornuftig å fortsette gjennomføringen av laboratorieundersøkelser på sleppematerialet møtt i Knappetunnelen for å videre studere hvordan kravene gitt av Statens vegvesen til betongutstøpning fungerer i praksis.

På mer generell basis vil det være fornuftig å utføre lignende analyser som gjort her i andre geologiske miljø for å opparbeide seg et større erfaringsgrunnlag i bruk av resistivitetsmålinger, samt for å få en bedre forståelse av metoden. I dette bør Lunnertunnelens tolkningsmodell inkluderes. Kanskje kan det lages modeller som fungerer i hvert sitt geologiske miljø?

Dersom det skal være en reell mulighet for resistivitetsmetoden å ta over for mye av refraksjonsseismikken under forundersøkelsene vil det dessuten være nødvendig å undersøke nærmere resistivitetsmetodens evne til å vurdere løsmassedekkers karakter og tykkelse.

Når det kommer til refraksjonsseismikken, hadde det vært interessant å videre utforske potensialet som ligger i tomografisk inversjon.

Bibliografi

- Barton N.* Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. II 2002. 39, 2. Side 185–216.
- Dahl F.* Prøvingsrapport. Undersøkelse av svelleegenskaper, Ringveg Vest, Bergen, 2. byggetrinn. SINTEF rapport nr. 12015IG. 2012. 36 sider.
- Dalsegg E., Elvebakk H., Rønning J. S.* Tunnelprosjektet. Geofysiske bakkemålinger og borhullslogging, Jong - Asker, Asker og Bærum kommune, Akershud. NGU rapport nr. 2003.006. 2004. 72 sider.
- Dalsegg E., Saintot A., Ganerød G. V.* Geofysiske og geologiske undersøkelser i forbindelse med Eikrem tunneltrase, Rv 70 Ødegard-Brunneset, Tingvoll, Møre og Romsdal. NGU Rapport 2010.006. 2010. 67 sider.
- Ganerød G. V.* Bruddsystem og spenningsfelt tilknyttet tunneltraséen Ringveg Vest i Bergen // Hovedfagsoppgave ved Universitetet i Bergen. 2003. 176 sider.
- Ganerød G. V.* Personlig kommunikasjon. 2012.
- Ganerød G. V., Dalsegg E., Rønning J. S.* Geologiske og geofysiske undersøkelser for tunnelstrekningen Sandeide-Liavatnet, Ringveg Vest, Bergen. NGU Rapport 2009.077. 2009. 23 sider.
- Ganerød G.V., Rønning J. S., Dalsegg E., Elvebakk H., Holmøy K. H., Nilsen B., Braathen A.* Comparison of geophysical methods for sub-surface mapping of faults and fracture zones in a section of the Viggja road tunnel, Norway // Eng. Geol. Env. 2006. Side 231–243.
- GeoPhysics* . Rv 70 Øydegard-Brunneset. Rapport refraksjonsseismikk. 2008. 26 sider.
- GeoPhysics* . Ringveg vest, byggetrinn 2 Sandeide-Liavatnet. 2009. 11 sider.
- GeoPhysics* . Ringveg vest, byggetrinn 2 Sandeide-Liavatnet. Supplerende undersøkelser Hesjakollen. 2010. 12 sider.
- Geomap* . Ringveg vest, strekningen Dolvik - Nordåsstraumen og ved Varden. Refraksjonsseismiske undersøkelser. (Med tegninger.). 2002. 7 sider.

- Geomap* . Ringveg vest, Sandeide - Kryssing under Bjørgeveien Hordaland. Refraksjonsseismiske undersøkelser. 2003. 5 sider.
- Geomap* . Rv70 Øydegard - Brunneset, tunnel forbi Eikrem. Refraksjonsseismiske grunnundersøkelser. 2007. 8 sider.
- Hatlenes C.* T-forbindelsen. Analyse av ingeniørgeologiske forhold knyttet til kryssning av svakhetssoner i undersjøisk tunnel. 2011. 218 sider.
- Høien A.* Novapoint Tunnel - ny modul for geologi og bergsikring. // Bergmekanikkdagen. 2009. Side 28.1–28.2.
- Holmøy K. H.* Significance of geological parameters for predicting water leakage in hard rock tunnels. 2008. Side 71–76.
- Humstad T.* Eikremstunnelen påRv 70 Øydegard-Brunneset. Geologisk rapport for byggeplan. Staten vegvesen rapport nr. 2007129523-15. 2009. 32 sider.
- Kirkeby T.* Ringveg Vest Bergen, 2. byggetrinn. Ingeniørgeologisk rapport til konkurransegrunnlaget. Oppdragsrapport nr. 2010127742-001 fra Statens Vegvesen, Teknologiavdelingen. 2010. 132 sider.
- Kirkeby T.* Personlig kommunikasjon. 2012.
- Landrø Martin.* Anvendt geofysikk i TPG4100 Fysikk og Geofysikk. 2008. Side 39–110.
- Lindstrøm Mona, Kveen Alf.* Miljø- og samfunnstjenlige tunneler - Sluttrapport. Publikasjon nr. 105, Statens vegvesen, Teknologiavdelingen. 2004. 73 sider.
- Løset F.* Norges tunnelgeologi. 2006.
- Louis Ioannis F, Louis Filippos I, Grambas Alexia.* Exploring for favorable ground-water conditions in hardrock environments by resistivity imaging methods: synthetic simulation approach and case study example // International Conference on Earth Sciences and Electronics. 2002, October. 2002. 15 sider.
- Mao D., Nilsen B., Dahl F.* Laboratory Testing of Swelling Gouge from Weakness Zone - Principle and Recent Update // ARMA, American Rock Mechanics Association. 45th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium. 2011. 6 sider.
- NGU* . Metodebeskrivelse 2D resistivitetsmålinger. 2008. 5 sider.
- Nilsen B.* Personlig kommunikasjon. 2012.
- Nilsen B., Broch E.* Ingeniørgeologi berg, grunnkurskompendium. 2009.
- Nilsen B., Palmstrøm A.* Handbook No 2 - Engineering Geology and Rock Engineering. // Utgitt av Norsk bergmekanikkgruppe i samarbeid med Norsk forening for fjellsprenningsteknikk. 2000. Side 54–55.

- Palmstrøm Arild, Nilsen Bjørn, Pedersen Knut Borge, Grundt Leif.* Riktig omfang av undersøkelser for berganlegg. Vegdirektoratets publikasjon nr. 101. 2003. 137 sider.
- Pedersen O. C.* Geofysiske metoder // Kursdagene ved NTNU 2003: Undersøkelse for anlegg i berg - Hvilke metoder br benyttes, hvordan utnytte resultatene? 2003.
- Ramberg I. B., Bryhni I., Nøttvedt A.* Landet blir til - Norges geologi. // 2. utgave, utgitt av Norsk geologisk forening. 2007. 608 sider.
- Reiser F., Dalsegg E., Dahlin T., Ganerød G. V., Rønning J. S.* Resistivity Modelling of Fracture Zones and Horizontal Layers in Bedrock. NGU rapport 2009.070. 2009. 120 sider.
- Reynolds J. M.* An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. 1997. 806 sider.
- Rønning J. S.* Foredrag ved Statens vegvesens geologisamling i Oslo 28.-29. mars. 2012a.
- Rønning J. S.* Personlig kommunikasjon. 2012b.
- Rønning J. S., Dalsegg E.* Tunnelprosjektet. Geofysiske målinger ved Langvatnet, Lunner, Oppland. NGU Rapport 2001.090. 2001. Side 9–11.
- Rønning J. S., Dalsegg E., Elvebakk H., de Beer H., Ganerød G. V., Gundersen P., Reiser F.* Forbedrede forundersøkelser for tunneler - oppsummering av et samarbeidsprosjekt med vegdirektoratet // Bergmekanikkdagen. 2011. Side 25.1–25.19.
- Rønning J. S., Dalsegg E., Heincke B., Olesen O., Tønnesen J. F.* Geofysiske målinger over tunneler ved Hanekleiv, Ravneheia og Vadfoss. NGU Rapport 2009.040. 2009a. 36 sider.
- Rønning J.S.* Miljø- og samfunnstjenlige tunneler: Delprosjekt A, Forundersøkelser. Sluttrapport. 2003. 71 sider.
- Rønning Jan S, Dalsegg Einar, Elvebakk Harald, Ganerød Guri V.* Characterization of fracture zones in bedrock using 2D resistivity // Seminar on Strait Crossings. 2009b. 6 sider.
- SINTEF* . Differentialtermisk analyse (DTA) - metodebeskrivelse. // Mottatt fra SINTEF i forbindelse med laboratoriearbeidet i masteroppgaven. Ukjent forfatter. 2012a. 6 sider.
- SINTEF* . Personlig kommunikasjon. 2012b.
- Solli A., Nordgulen Ø.* Berggrunnskart over Norge og kaledonidene i Sverige og Finland. Målestokk 1:2000000. Utgitt av NGU. 2006.

- Stanfors R.* The Bolmen tunnel project Evaluation of geophysical site investigation methods. 1987. 77 sider.
- Statens vegvesen* . Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser. 2007a.
- Statens vegvesen* . Statens vegvesen NA-rundskriv 2007/3. 2007b. 21 sider.
- Statens vegvesen* . Arbeider foran stuff og stabilitetssikring i vegtunneler. Teknologirapport nr. 2538. 2010a. 48 sider.
- Statens vegvesen* . Håndbok 021: Vegtunneler. 2010b. 55 sider.
- Statens vegvesen* . Novapoint pdf-utskrift profil 5150-5900, Knappetunnelen løp 11. 2012a. 5.
- Statens vegvesen* . www.vegvesen.no/vegprosjekter. 2012b.
- Stumo R.* Numerisk modellering av bruddnettverk, konnektivitet og permeabilitet med anvendelse på tunneler, Ringveg Vest, Bergen // Hovedfagsoppgave ved Universitetet i Bergen. 2002. 114 sider.
- Sve R., Elvøy J., Sagen T., Backer L., Holter K. G., Bollingmo P., Pedersen K. Boge K. B., Aarset A.* Tung bergsikring i undergrunnsanlegg. Norsk Forening for Fjellsprengeteknikks (NFFs) håndbok nr. 05. 2008. Side 33–39.
- Todnem L.* RV 70 Øydegard - Brunneset Nye forundersøkelser og trasévalg for tunnel forbi Eikrem. 2008. 5 sider.
- Todnem L.* Rv. 70 Eikremtunnelen, Ingeniørgeologisk sluttrapport. Statens vegvesens rapport nr. 2010037467-11. 2012. 78 sider.
- al Hagrey S. A.* Geophysical imaging of root-zone, trunk, and moisture heterogeneity // *Journal of Experimental Botany*. 2006. 58, 4. Side 839–854.

Vedlegg

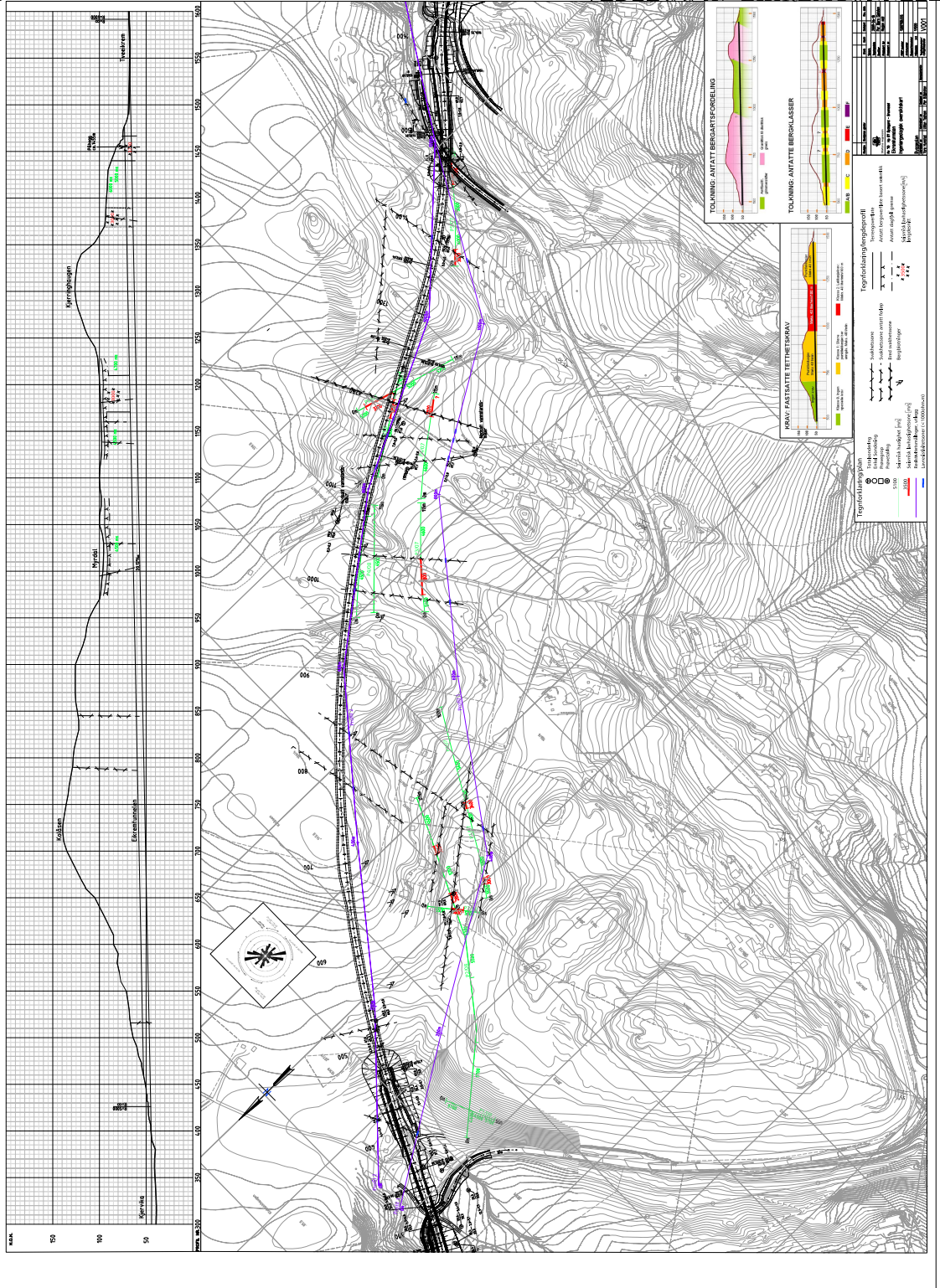
Oversikt over vedlegg:

Vedlegg	Vedlegg nr.
A: Eikremtunnelen	
Ingeniørgeologisk kart	A.1
Sammenheng mellom svakhetssonenavn i oppgavetekst og resistivitetsrapport	A.2
Kart og profil fra resistivitetsrapport	A.3
Resistivitet- og IP-profil	A.4
Tabell over alle lavresistive soner	A.5
Novapoint med geologi og BPT	A.6
BPT, tolkning av Rockma	A.7
Kjerneboringslogg	A.9
B: Knappetunnelen	
Ingeniørgeologisk kart	B.1
Sammenheng mellom svakhetssonenavn i oppgavetekst og resistivitetsrapport	B.2
Resistivitet- og IP-profil	B.3
Tabell med alle lavresistive soner	B.4
Novapointutskrift med geologi og sikring	B.5
Kjerneboringslogg	B.6
C: Diverse	
Parametre til Q-verdi	C.1
Tilsynelatende fall	C.2

Vedlegg A

Eikremtunnelen

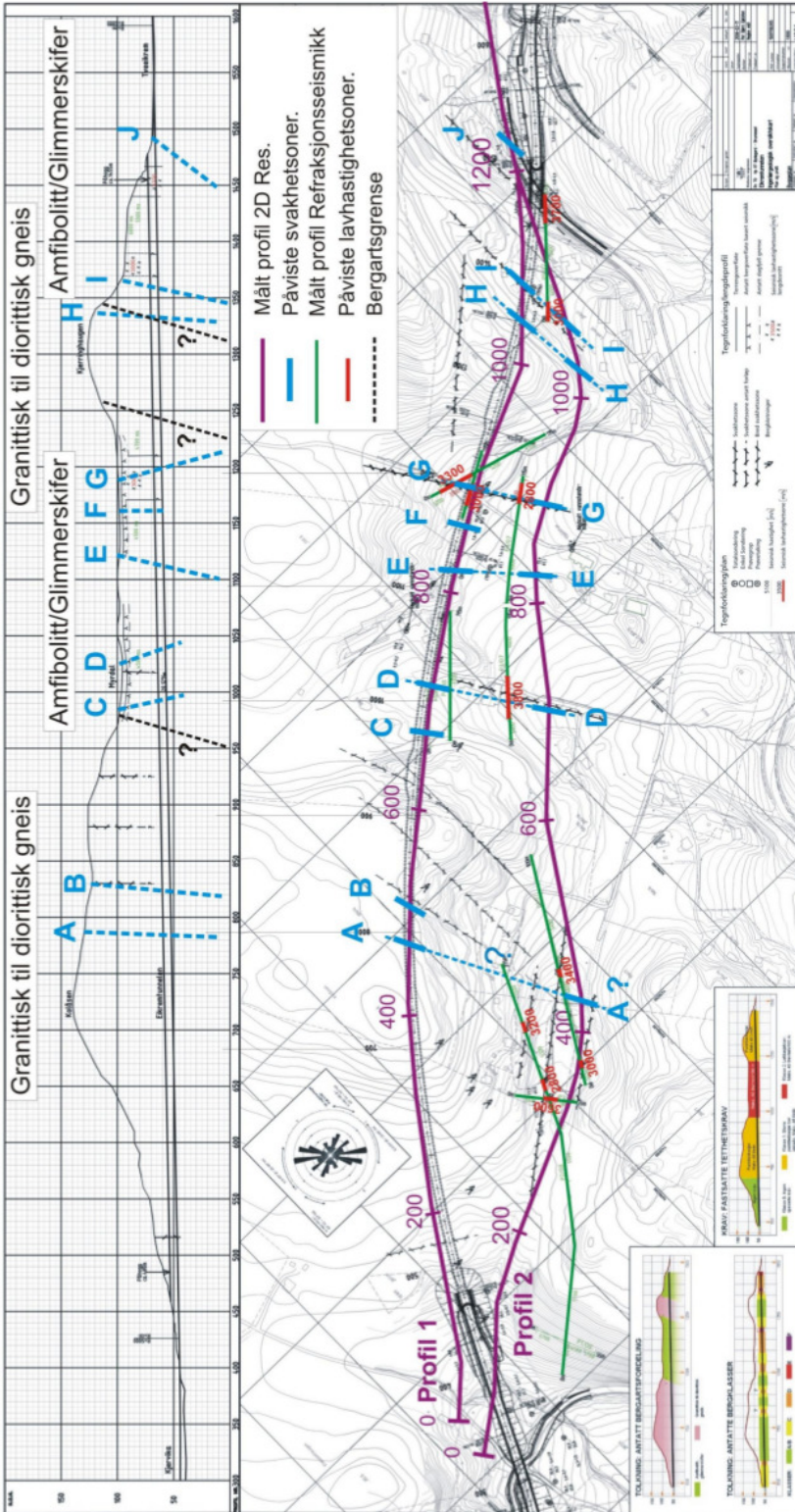
A.1 Ingeniørgeologisk kart



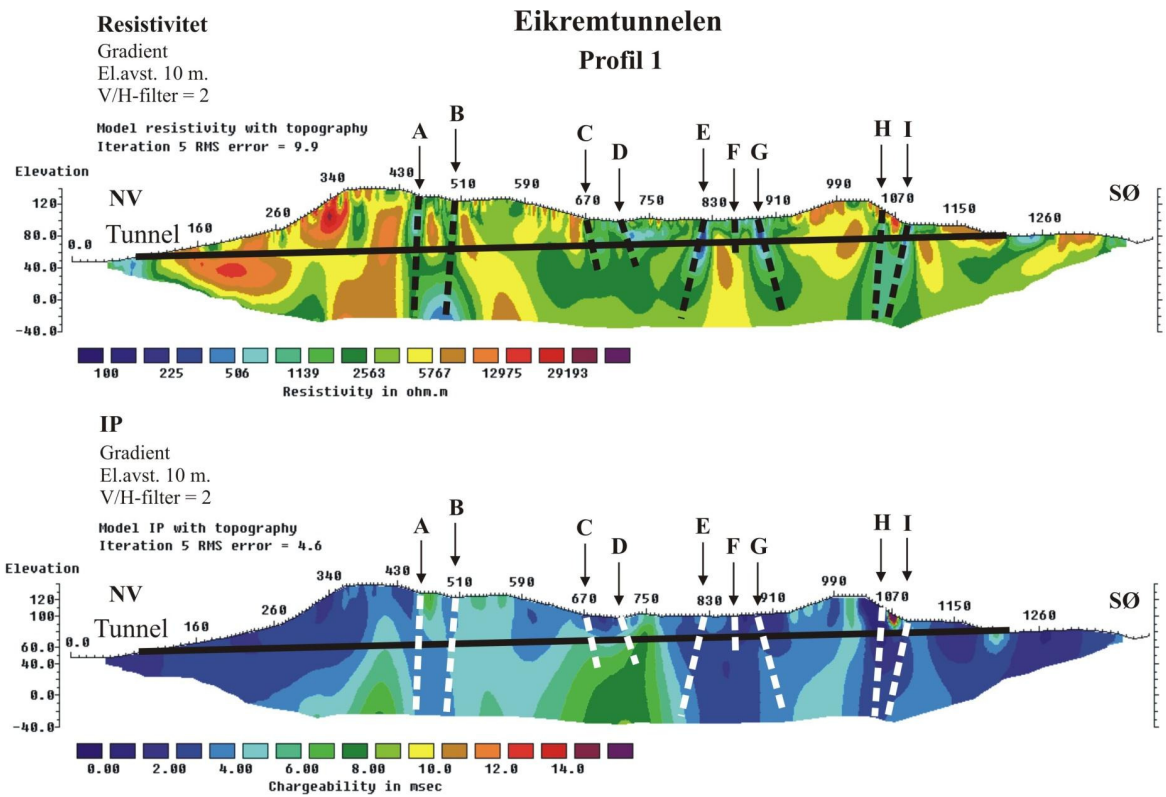
A.2 Sammenheng mellom svakhetssonenavn i oppgavetekst og resistivitetsrapport

Navn i oppgavetekst	Navn i resistivitetsrapport
E2	A
E3	B
E4	C
E5	D
E6	E
E7	F
E8	G
EH	H
E9	I

A.3 Kart og profil fra resistivitetsrapport



A.4 Resistivitet- og IP-profil

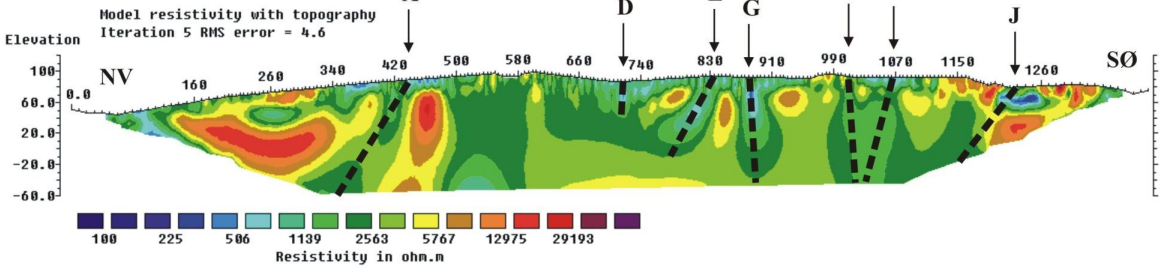


Eikremtunnelen

Profil 2

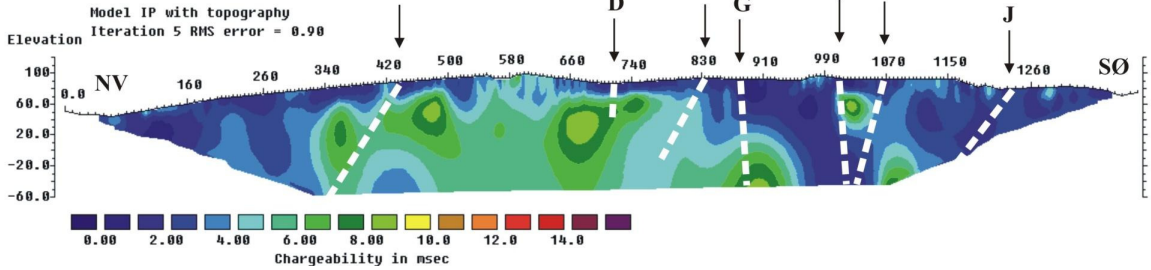
Resistivitet

Gradient
EL.avst. 10 m.
V/H-filter = 2



IP

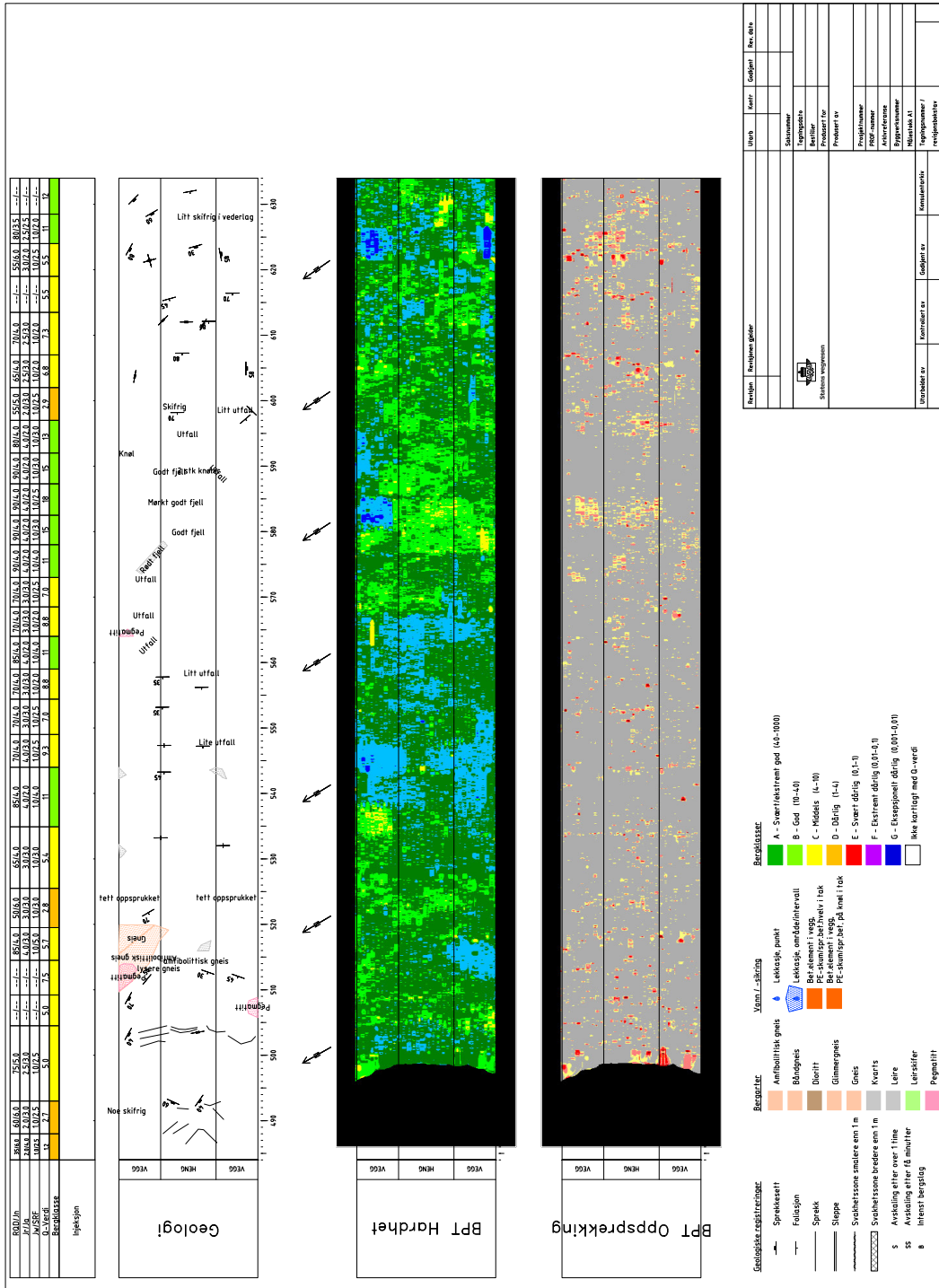
Gradient
EL.avst. 10 m.
V/H-filter = 2

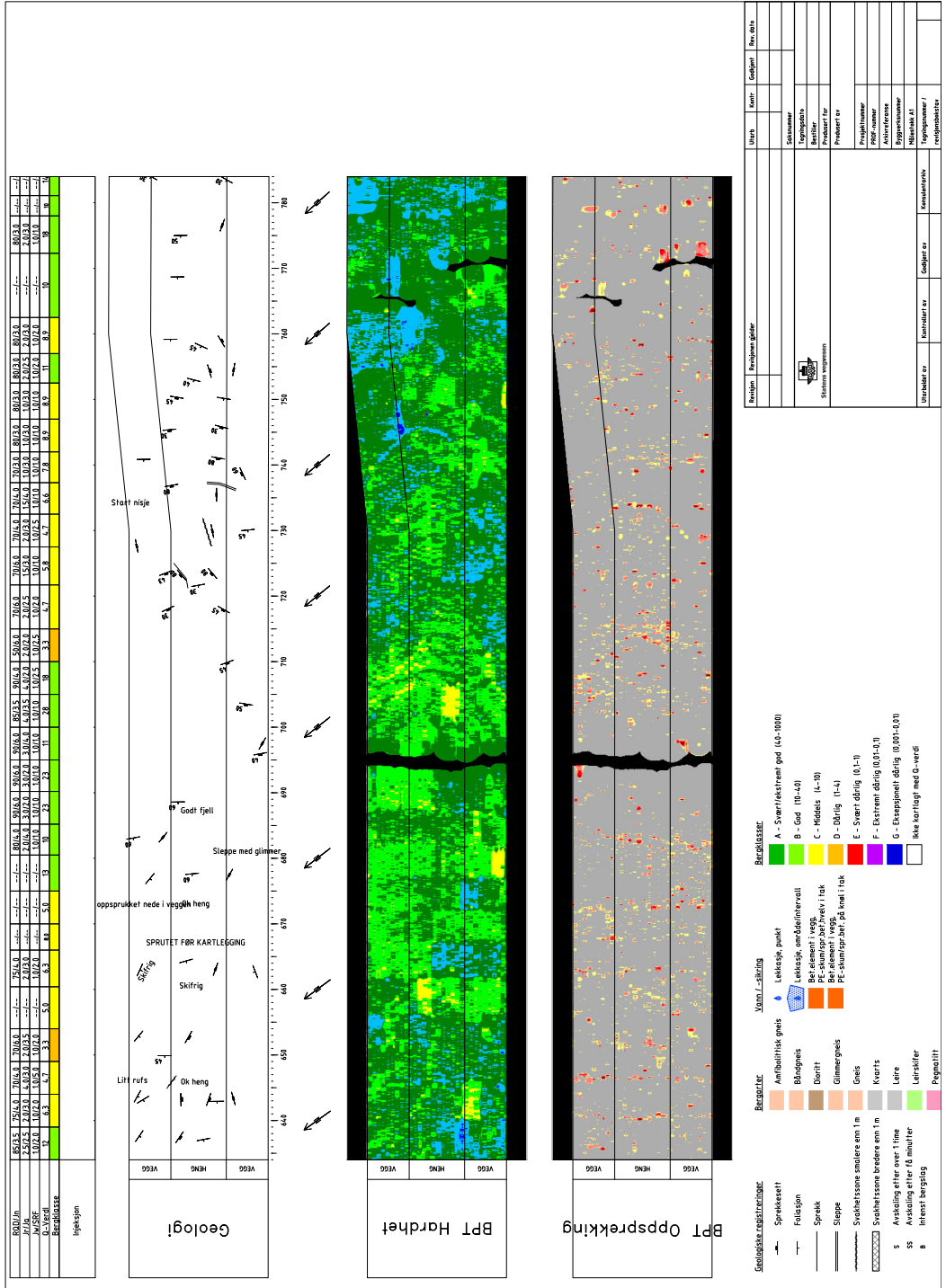


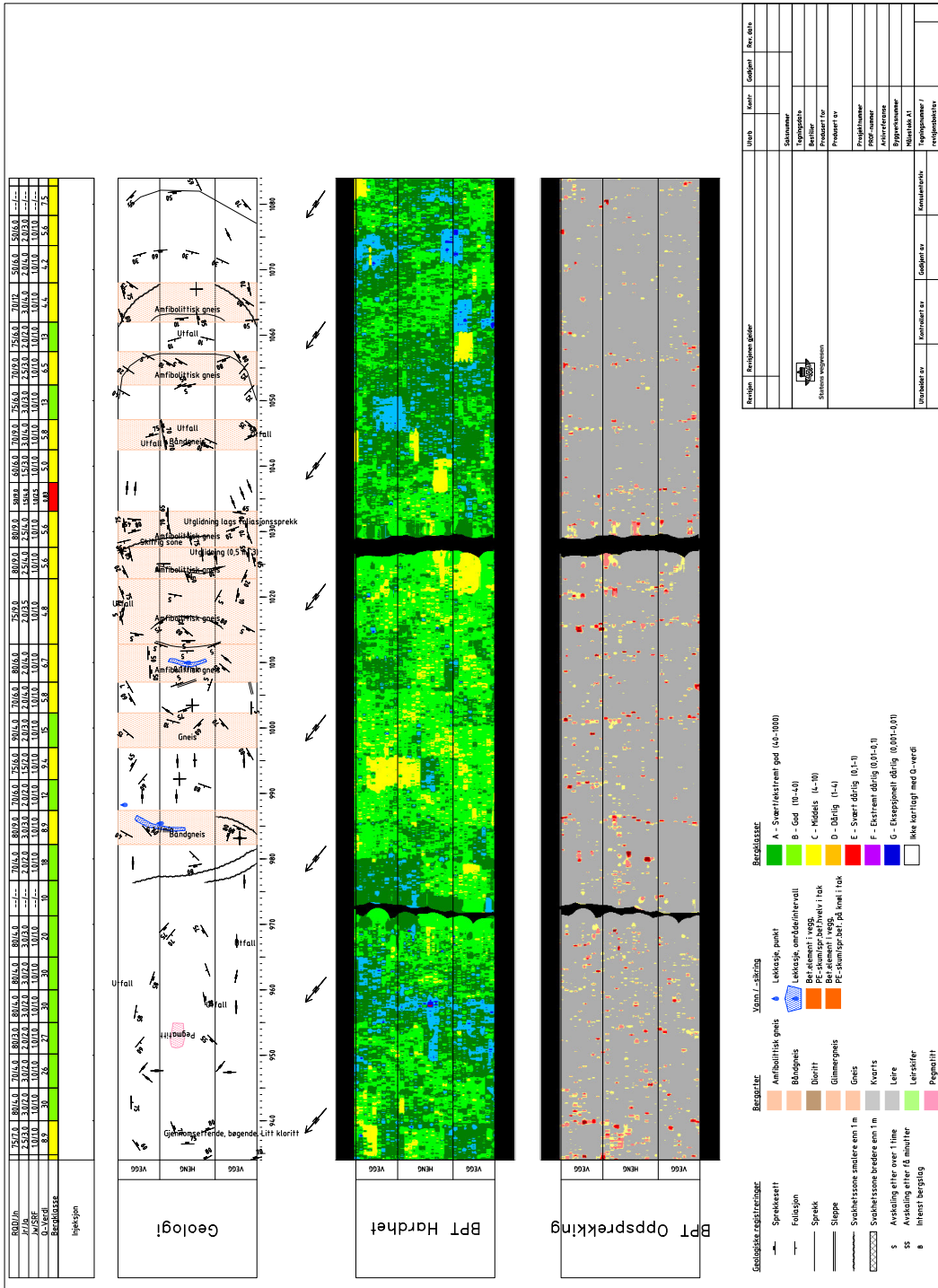
A.5 Tabell over alle lavresistive soner

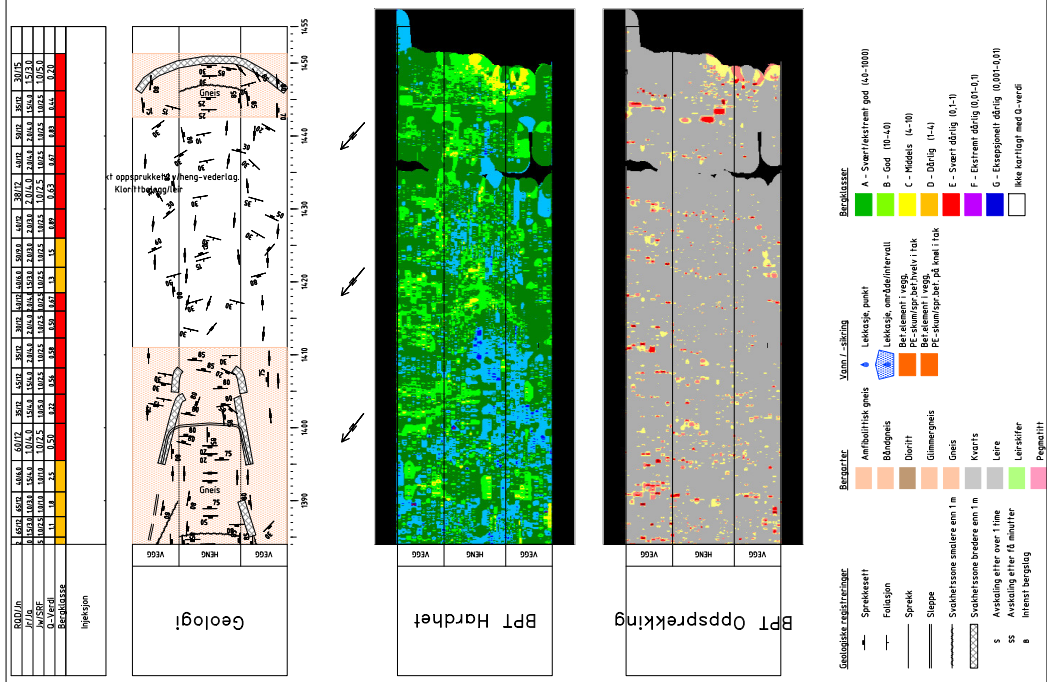
ca prof.inr. Tunnel	Posisjon langs profil 1	WGS 1984 UTM 32N X	WGS 1984 UTM 32N Y	Sone	Fall	A dybde	B bredde	C resistivitet	Seismikk
780	455	450367,61	6986505,22	A	Steil	4	1	3	
840	505	450406,34	6986473,60	B	steil	4	1	3	
980	670	450514,70	6986364,53	C	Sreil mot SØ	3	1	3	
1020	715	450542,15	6986328,87	D	Steil mot SØ	3	1	3	
1130	820	450600,13	6986245,61	E	Steil mot NV	4	1	4	
1165	860	450617,94	6986209,80	F	Steil	3	1	3	
1200	890	450631,29	6986182,93	G	Steil mot SØ	4	1	4	Lavhastighetszone
1355	1055	450714,16	6986053,39	H	Steil mot NV	4	1	3	
1385	1090	450738,44	6986028,18	I	Steil mot NV	4	1	3	
1465	1200	450807,00	6985957,00	J	Moderat mot NV	4	1	2	Lavhastighetszone
ca prof.inr. Tunnel	Posisjon langs profil 2	WGS 1984 UTM 32N X	WGS 1984 UTM 32N Y		Fall	A dybde	B bredde	C resistivitet	Seismikk
840	440	450250,87	6986427,20	B	Moderat mot NV	4	1	2	Lavhastighetszone
1020	720	450472,36	6986264,86	D	Steil	3	1	3	Lavhastighetszone
1130	835	450550,12	6986188,05	E	Moderat mot NV	4	1	3	
1200	880	450573,41	6986149,55	G	Steil mot SØ	4	1	3	Lavhastighetszone
1355	1010	450639,15	6986051,45	H	Steil mot SØ	4	1	3	
1385	1070	450690,96	6986022,07	I	Steil mot NV	4	1	3	Lavhastighetszone

A.6 Novapoint med geologi og BPT



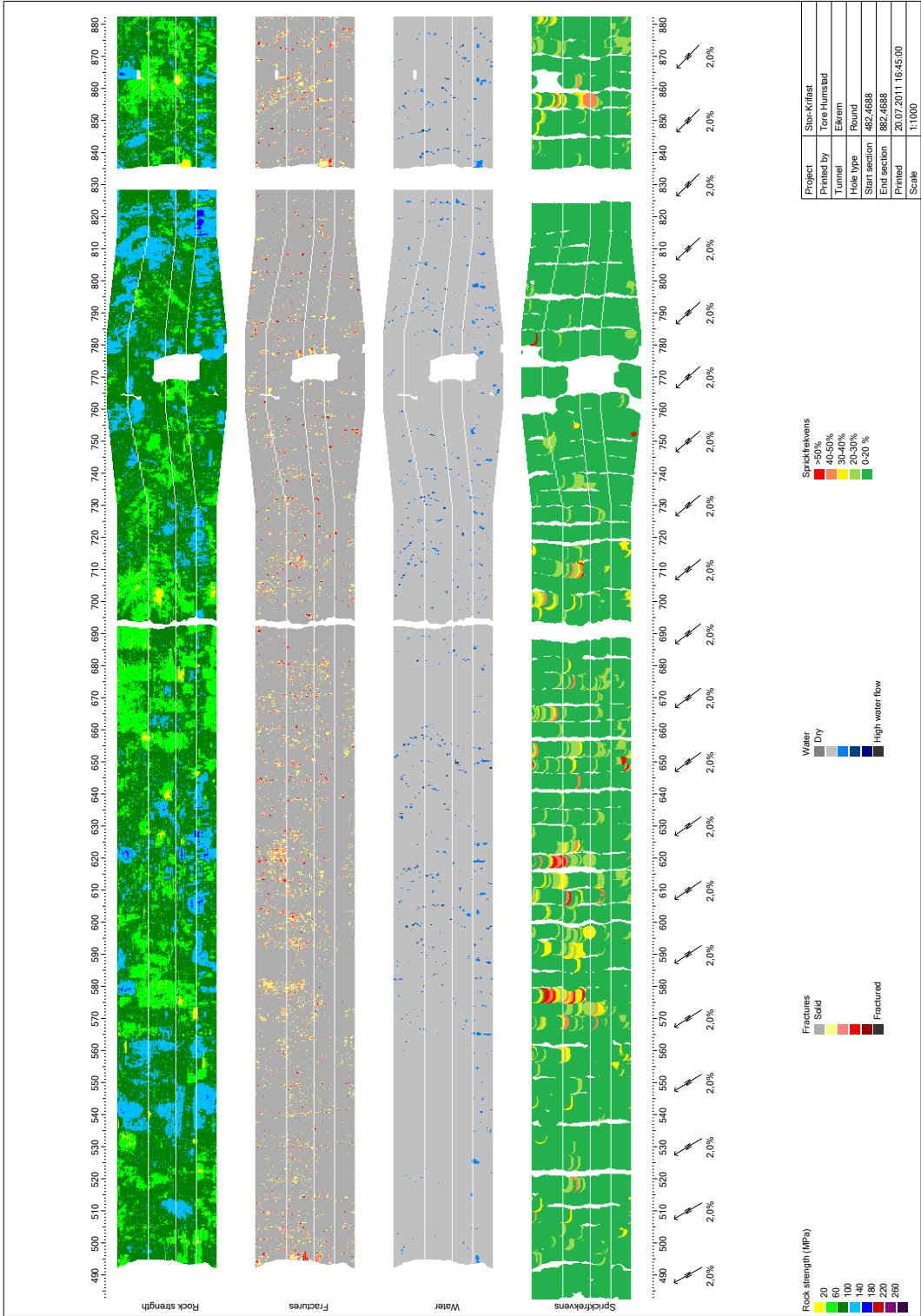


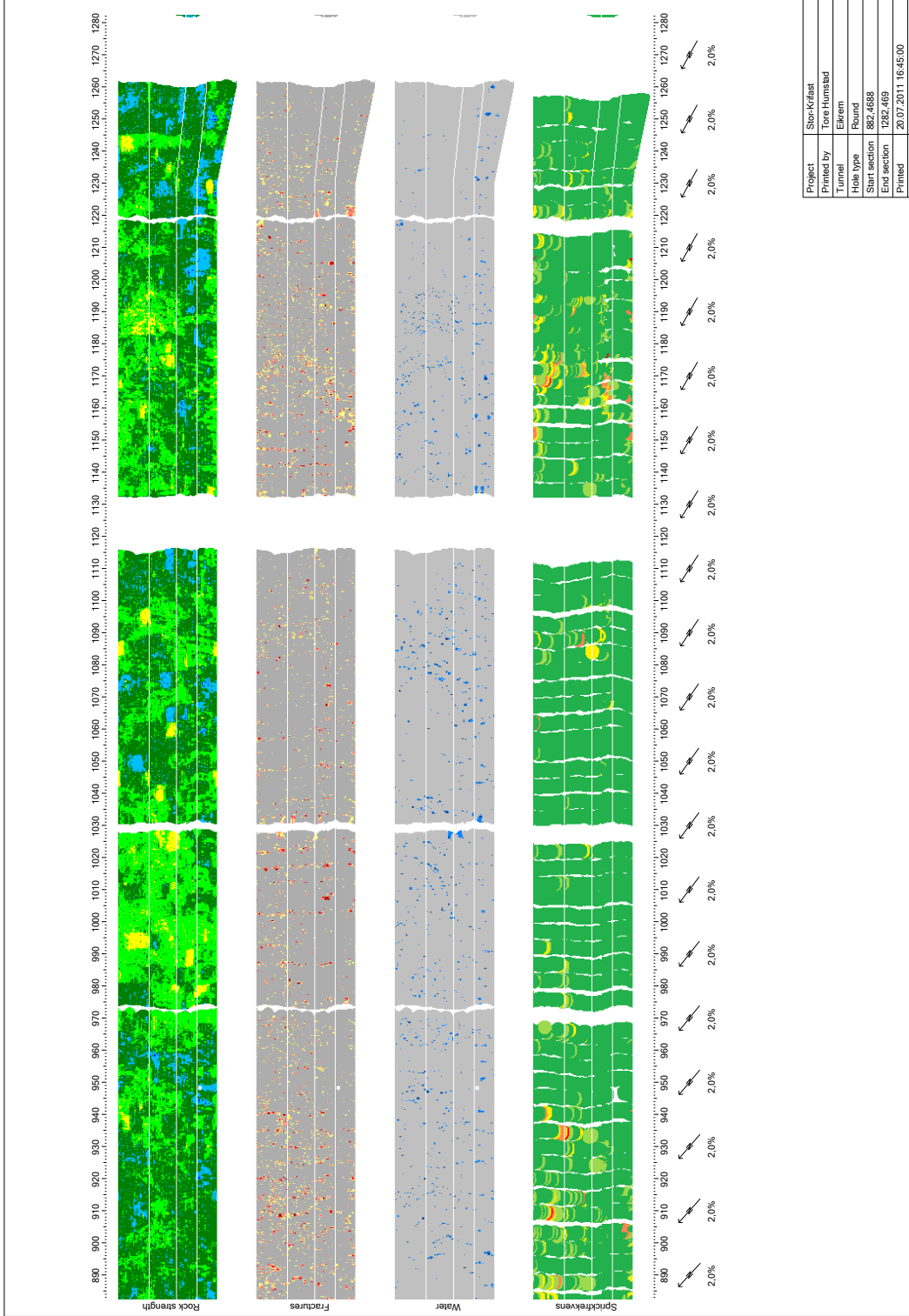




Region	Regionens kode	Utryk	Kont	Godkjent	Rev. dato
Sørlandet regionen		Stammene			
		Uttrykkets			
		Betegnelse			
		Prosjekt nr			
		Prosjektnavn			
		Prosjektets			
Utvalgte uttrykk	Kontrollert uttrykk	Godkjent uttrykk	Kommentarer		

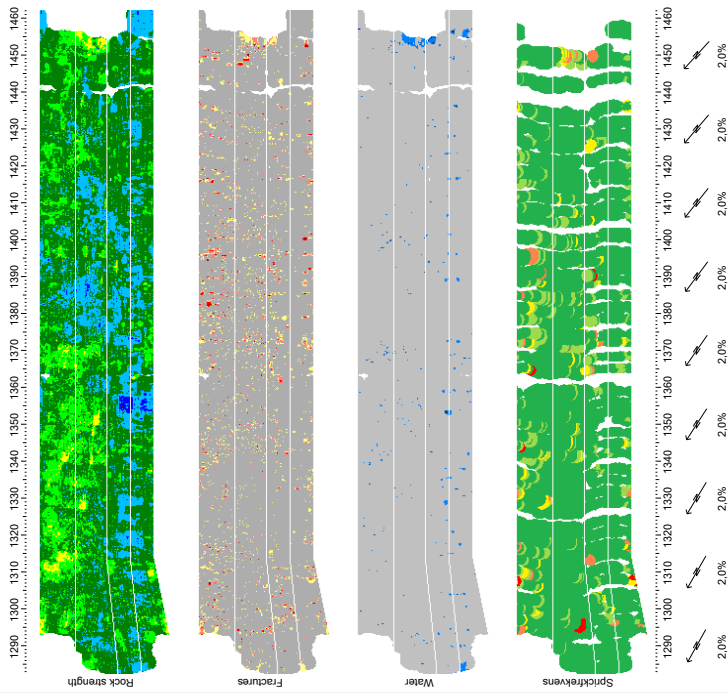
A.7 BPT, tolkning av Rockma





Project	Stor-Kristall
Printed by	Tore Humsbød
Tunnel	Eikrem
Hole type	Round
Start section	882,4688
End section	1282,469
Printed	20.07.2011 16:45:00

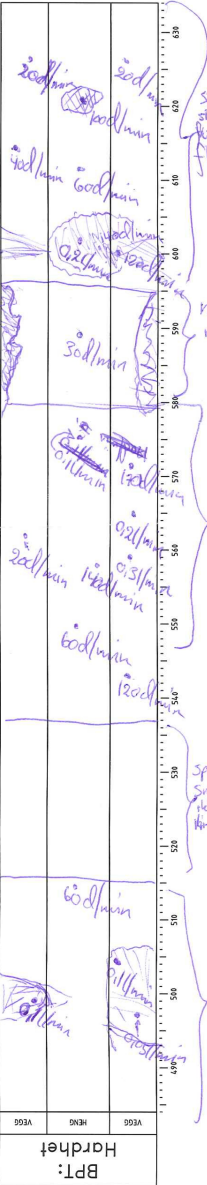
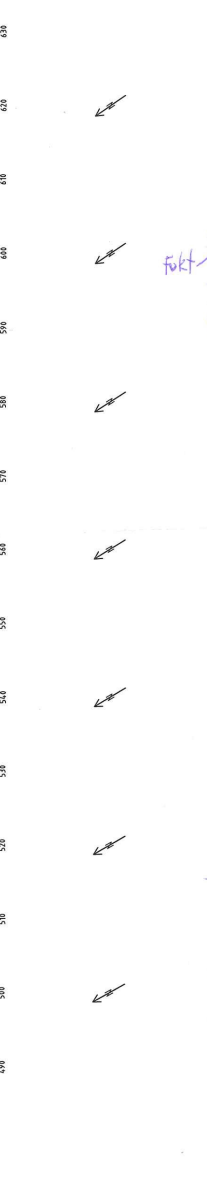
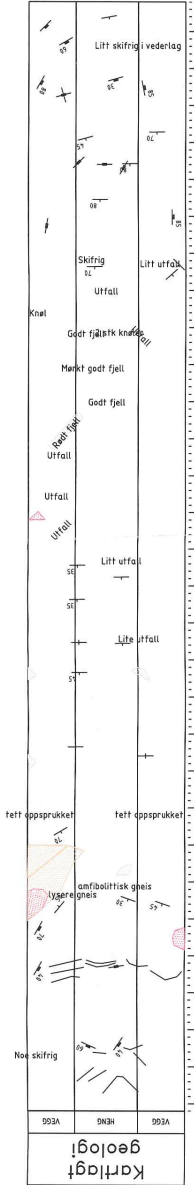
Scale 1:1000



Project	Stor-Krifast
Printed by	Tore-Humsbød
Tunnel	Ekrem
Hole type	Round
Start section	1282.469
End section	1462.394

A.8 Lekkasje kartlegging

RD/lin	386.8	390.0	393.2	396.4	399.6	402.8	406.0	409.2	412.4	415.6	418.8	422.0	425.2	428.4	431.6	434.8	438.0	441.2	444.4	447.6	450.8	454.0	457.2	460.4	463.6	466.8	470.0	473.2	476.4	479.6	482.8	486.0	489.2	492.4	495.6	498.8	502.0	505.2	508.4	511.6	514.8	518.0	521.2	524.4	527.6	530.8	534.0	537.2	540.4	543.6	546.8	550.0	553.2	556.4	559.6	562.8	566.0	569.2	572.4	575.6	578.8	582.0	585.2	588.4	591.6	594.8	598.0	601.2	604.4	607.6	610.8	614.0	617.2	620.4	623.6	626.8	630.0	633.2	636.4	639.6	642.8	646.0	649.2	652.4	655.6	658.8	662.0	665.2	668.4	671.6	674.8	678.0	681.2	684.4	687.6	690.8	694.0	697.2	700.4	703.6	706.8	710.0	713.2	716.4	719.6	722.8	726.0	729.2	732.4	735.6	738.8	742.0	745.2	748.4	751.6	754.8	758.0	761.2	764.4	767.6	770.8	774.0	777.2	780.4	783.6	786.8	790.0	793.2	796.4	799.6	802.8	806.0	809.2	812.4	815.6	818.8	822.0	825.2	828.4	831.6	834.8	838.0	841.2	844.4	847.6	850.8	854.0	857.2	860.4	863.6	866.8	870.0	873.2	876.4	879.6	882.8	886.0	889.2	892.4	895.6	898.8	902.0	905.2	908.4	911.6	914.8	918.0	921.2	924.4	927.6	930.8	934.0	937.2	940.4	943.6	946.8	950.0	953.2	956.4	959.6	962.8	966.0	969.2	972.4	975.6	978.8	982.0	985.2	988.4	991.6	994.8	998.0	1001.2	1004.4	1007.6	1010.8	1014.0	1017.2	1020.4	1023.6	1026.8	1030.0	1033.2	1036.4	1039.6	1042.8	1046.0	1049.2	1052.4	1055.6	1058.8	1062.0	1065.2	1068.4	1071.6	1074.8	1078.0	1081.2	1084.4	1087.6	1090.8	1094.0	1097.2	1100.4	1103.6	1106.8	1110.0	1113.2	1116.4	1119.6	1122.8	1126.0	1129.2	1132.4	1135.6	1138.8	1142.0	1145.2	1148.4	1151.6	1154.8	1158.0	1161.2	1164.4	1167.6	1170.8	1174.0	1177.2	1180.4	1183.6	1186.8	1190.0	1193.2	1196.4	1199.6	1202.8	1206.0	1209.2	1212.4	1215.6	1218.8	1222.0	1225.2	1228.4	1231.6	1234.8	1238.0	1241.2	1244.4	1247.6	1250.8	1254.0	1257.2	1260.4	1263.6	1266.8	1270.0	1273.2	1276.4	1279.6	1282.8	1286.0	1289.2	1292.4	1295.6	1298.8	1302.0	1305.2	1308.4	1311.6	1314.8	1318.0	1321.2	1324.4	1327.6	1330.8	1334.0	1337.2	1340.4	1343.6	1346.8	1350.0	1353.2	1356.4	1359.6	1362.8	1366.0	1369.2	1372.4	1375.6	1378.8	1382.0	1385.2	1388.4	1391.6	1394.8	1398.0	1401.2	1404.4	1407.6	1410.8	1414.0	1417.2	1420.4	1423.6	1426.8	1430.0	1433.2	1436.4	1439.6	1442.8	1446.0	1449.2	1452.4	1455.6	1458.8	1462.0	1465.2	1468.4	1471.6	1474.8	1478.0	1481.2	1484.4	1487.6	1490.8	1494.0	1497.2	1500.4
--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------



Geologiske registreringer:

- Språkessett
- Følgeson
- Sprøkk
- Støtte
- Støtteløsne enklere enn 1m
- Svakt løsne bredere enn 1m
- Avstøling etter over 1line
- Avstøling etter 1/8 minutt
- Inntest bergart

Bergarter:

- Amfibolitt/gneis
- Bålgneis
- Dioritt
- Glimmergneis
- Gneis
- Kvarts
- Leire
- Leirdaier
- Pegmatitt

Vanntilføring:

- Lekkasje, punkt
- Lekkasje, areal/linjefølt

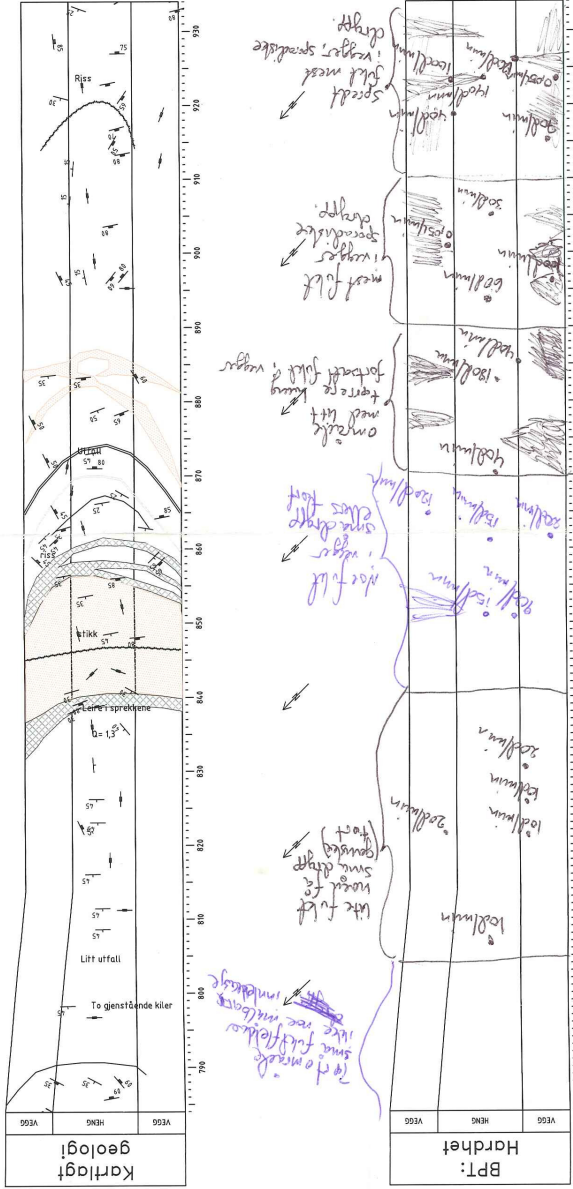
Breddeklasse:

- A - Sverflekkestrekk (4-1000)
- B - God (10-40)
- C - Middels (4-10)
- D - Dårlig (1-4)
- E - Sverf dbrigg (0.1-1)
- F - Ekstrem dbrigg (0.01-0.1)
- G - Ekstrem dbrigg (0.001-0.01)
- Inntest bergart med G-verdi

Prosjektinformasjon:

Prosjekt: Sverfvegen
 Prosjekt nr: 1500
 Prosjektleder: [Blank]
 Prosjektansvarlig: [Blank]
 Prosjektassistenter: [Blank]
 Prosjektassistenter 2: [Blank]
 Prosjektassistenter 3: [Blank]
 Prosjektassistenter 4: [Blank]
 Prosjektassistenter 5: [Blank]
 Prosjektassistenter 6: [Blank]
 Prosjektassistenter 7: [Blank]
 Prosjektassistenter 8: [Blank]
 Prosjektassistenter 9: [Blank]
 Prosjektassistenter 10: [Blank]
 Prosjektassistenter 11: [Blank]
 Prosjektassistenter 12: [Blank]
 Prosjektassistenter 13: [Blank]
 Prosjektassistenter 14: [Blank]
 Prosjektassistenter 15: [Blank]
 Prosjektassistenter 16: [Blank]
 Prosjektassistenter 17: [Blank]
 Prosjektassistenter 18: [Blank]
 Prosjektassistenter 19: [Blank]
 Prosjektassistenter 20: [Blank]

RSD/lin	332.0	250.0	700.0	750.0	810.0	860.0	890.0	910.0	930.0	950.0	970.0	990.0	1010.0	1030.0	1050.0	1070.0	1090.0	1110.0	1130.0	1150.0	1170.0	1190.0	1210.0	1230.0	1250.0
	40.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Q-Verdi	15	7.1	18	78	70	78	77	73	73	5.0	-1	38	15	4.3	11	17	4.8	4.8	15	23	38	19	11	11	7.8
Bæreklasser	[Color-coded cells]																								
lykkeplan	[Color-coded cells]																								



Geologiske registreringer:

- Sprøkkesselt
- Fellestein
- Sprøkk
- Røppe
- Swahattssone smalere enn 1 m
- Swahattssone bredere enn 1 m
- Arkeologisk eller over 1 line
- SS Arkeologisk eller 10 minutter
- b Inntatt beredning

Bæreklasser:

- A - Sverft/ekstremt god (4.0-10.0)
- B - God (10-4.0)
- C - Middels (4-10)
- D - Dårlig (1-4)
- E - Sverft dårlig (0.1-1)
- F - Ekstremt dårlig (0.01-0.1)
- G - Eksplosivt dårlig (0.001-0.01)
- Ikke kartlagt med G-verdi

Ytterligere registreringer:

- Vann L-stilling
- Lekkasje punkt
- Elektriske anledningsnett

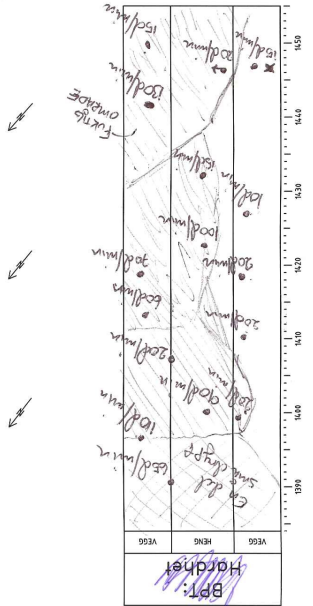
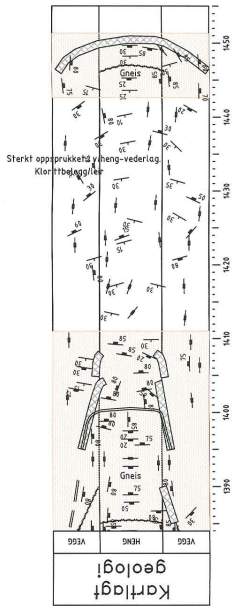
Statistikk:

- Antall
- Gjennomsnitt
- Standardavvik
- Minimum
- Maximum
- Totalt

Geografi (forelegg):

- Kommunenummer
- Geografisk koordinat
- Kartblad
- Prosjekt nr.
- Prosjekt navn
- Prosjekt adresse
- Prosjekt område
- Prosjekt type
- Prosjekt status
- Prosjekt dato
- Prosjekt forfatter
- Prosjekt ansvarlig
- Prosjekt kontakt
- Prosjekt telefon
- Prosjekt e-post
- Prosjekt nettside
- Prosjekt arkiv
- Prosjekt referanse
- Prosjekt notat
- Prosjekt bilde
- Prosjekt lyd
- Prosjekt video
- Prosjekt dokument
- Prosjekt data
- Prosjekt program
- Prosjekt modell
- Prosjekt simulering
- Prosjekt analyse
- Prosjekt rapport
- Prosjekt oppgave
- Prosjekt arbeidsplan
- Prosjekt rapport
- Prosjekt notat
- Prosjekt bilde
- Prosjekt lyd
- Prosjekt video
- Prosjekt dokument
- Prosjekt data
- Prosjekt program
- Prosjekt modell
- Prosjekt simulering
- Prosjekt analyse
- Prosjekt rapport
- Prosjekt oppgave
- Prosjekt arbeidsplan

		Inngangspunkt														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
BRØNN	10025	10026	10027	10028	10029	10030	10031	10032	10033	10034	10035	10036	10037	10038	10039	10040
JU/SØF	10041	10042	10043	10044	10045	10046	10047	10048	10049	10050	10051	10052	10053	10054	10055	10056
BRØNN	10057	10058	10059	10060	10061	10062	10063	10064	10065	10066	10067	10068	10069	10070	10071	10072



Geologiske tegningslegender:

- Sprekkesett
- Fellingsjon
- Sprekk
- Steppa
- Svabehissone smalere enn 1 m
- Svabehissone bredere enn 1 m
- Arveling etter over 1 line
- Arveling etter 1-8 minutter
- Intrest bergting

Bergarter:

- Amfibolitisk gneis
- Båndgneis
- Dioritt
- Glimmergneis
- Gneis
- Kvart's
- Lere
- Leirskifer
- Pegmatitt

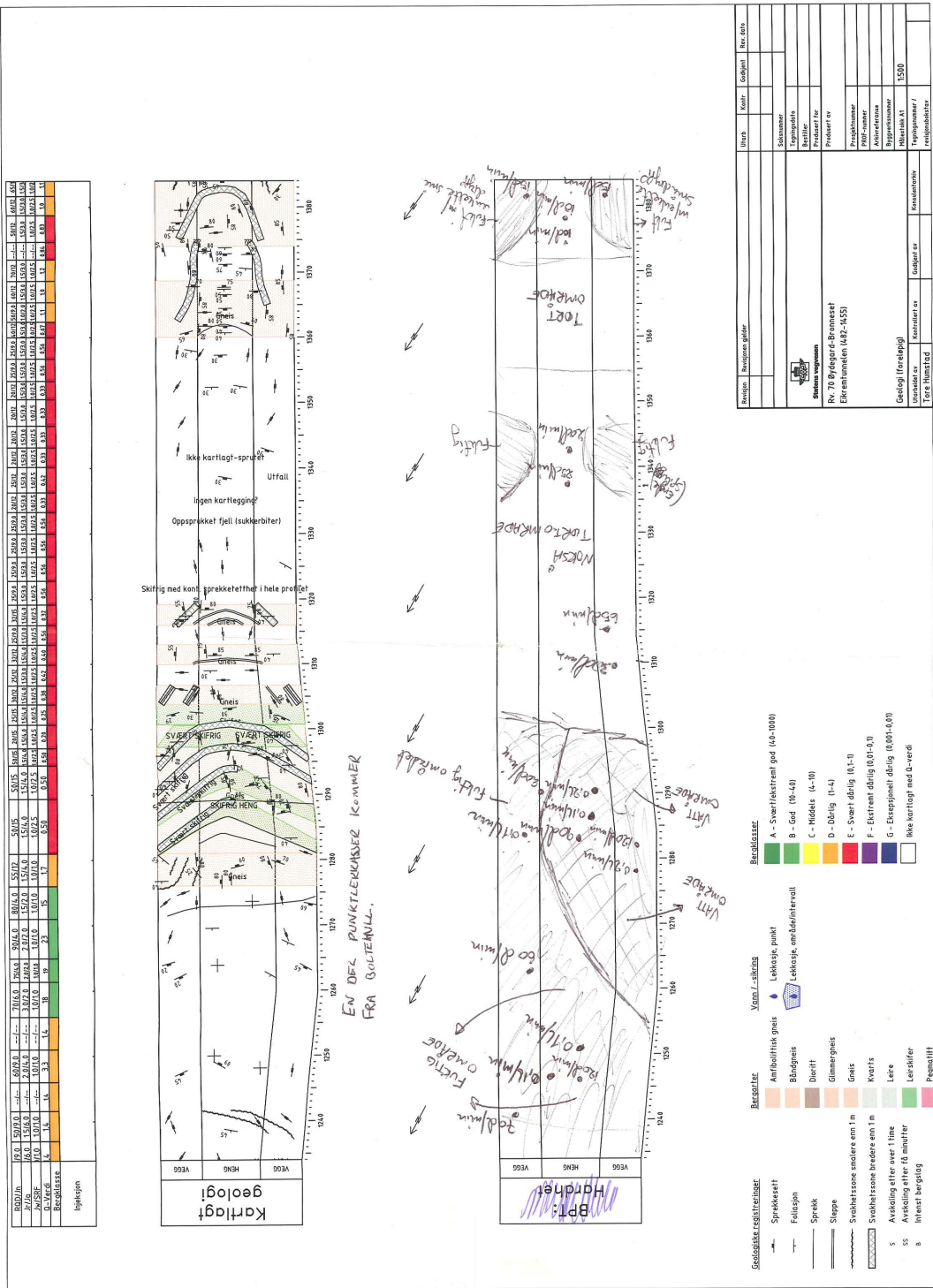
Vann-/støping:

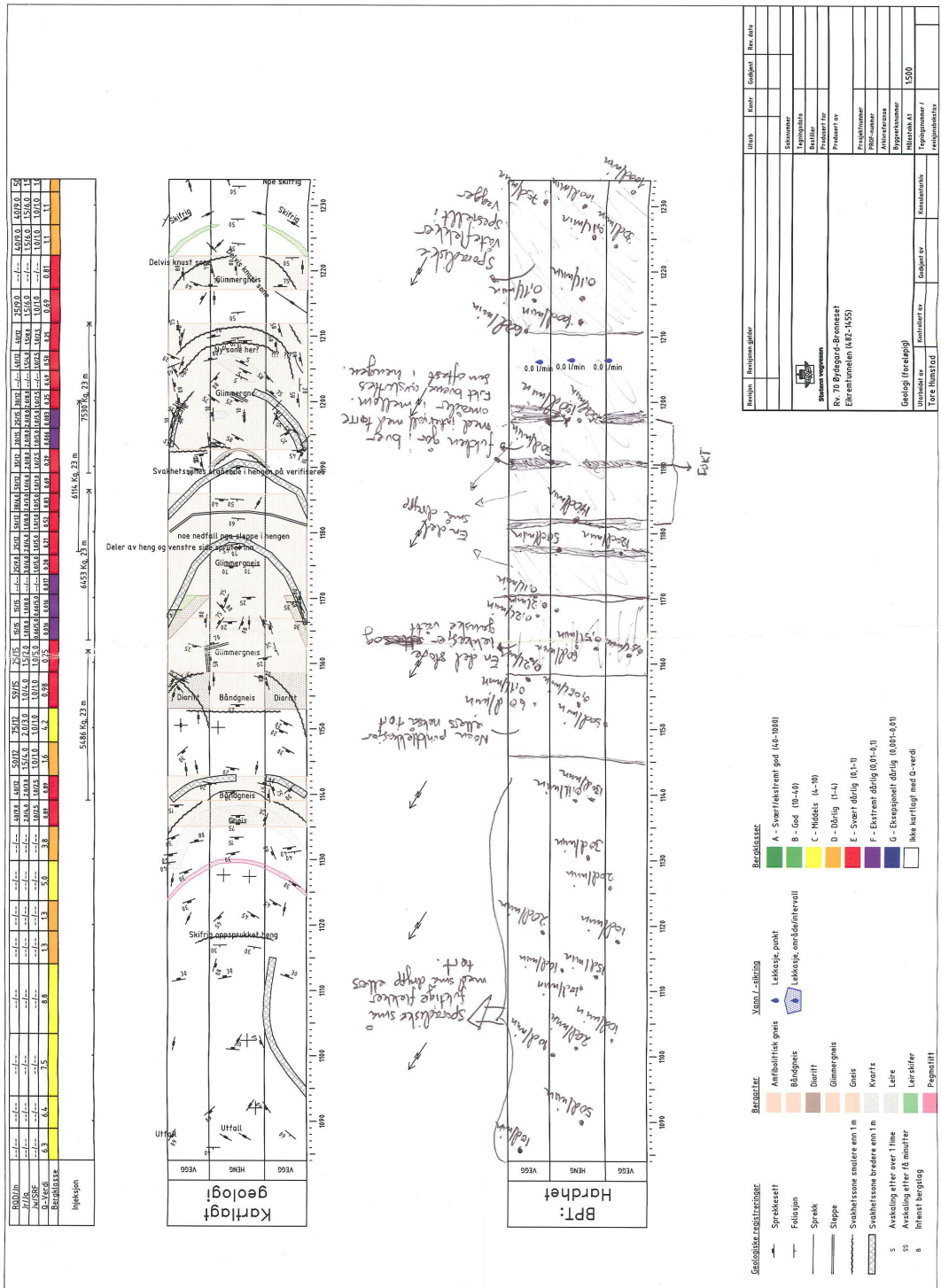
- Lekkasje punkt
- Lekkasje område/interval

Bergklasser:

- A - Svart/hvitt gneis (40-1000)
- B - Gneis (10-40)
- C - Middels (4-10)
- D - dårlig (1-4)
- E - Svart dårlig (0.1-1)
- F - Ekstrem dårlig (0.01-0.1)
- G - Eksplosjon dårlig (0.001-0.01)
- Ikke kartlagt med 0-ved

Region / Resjonens gøle	Utsj	Katr.	Gøgnet	Inn. Gøt.
Sistene vegvesen Rv 70 Bygård-Bromset Eikremtunnelen (482-1455)	Sakansnr.			
	Prosjekt nr.			
	Begrunnelse			
	Ansvarlig			
	Opprinnelse			
	Begrunnelse			
Utsjakt av	Kontroll av	Gøgnet av	Kontroll av	
Tone Håmstad				1550





A.9 Kjerneboringslogg

Kjerneboring Eikremtunnelen,
 Fra peilnummer: 1156
 Ansett:
 Stikning:

Dybde:	Peilnummer	%>10 cm	RQD	# sprekker	# sprekkeset	Jn	ruhet (Jr)	Sprekkeinnfylling (Ja)	Jw	SF	Bergart	Q-verdi
0-1 m	1159.5	51	51	10	3	9	3	1	0.66	1.0	Glimmerik gneis	11.22
1-2 m	1160.5	71	71	8	2 eller 3	6	3	2.0	0.66	1.0	Glimmerik gneis	11.72
2-3 m	1161.5	86	86	8	2	4	2	1.0	0.66	1.0	Diorittisk gneis/Glimmerik gneis	28.38
3-4 m	1162.5	10	10	16	3	9	3	1.0	0.66	1.0	Diorittisk gneis	2.20
4-5 m	1163.5	71	71	9	3	9	2	3.0	0.66	1.0	Granittisk til diorittisk gneis	3.47
5-6 m	1164.5	51	51	14	3	9	2.5	1.5	0.66	1.0	Granittisk til diorittisk gneis	6.23
6-7 m	1165.5	22	22	18	2	4	2.5	1.5	0.66	1.0	Glimmerik gneis	6.05
7-8 m	1166.5	62	62	7	3	9	2	3.0	0.66	1.0	Glimmerik gneis/Dioritt	3.03
8-9 m	1167.5	55	55	11	3	9	2.5	1.0	0.66	1.0	Dioritt	10.08
9-10 m	1168.5	48	48	16	2	4	2.5	1.0	0.66	2.5	Dioritt/ Diorittisk gneis	7.92
10-11 m	1169.5	30	30	16	4	12	2.5	2.0	0.66	2.5	Diorittisk gneis/Granittisk gneis	0.83
11-12 m	1170.5	10	10	12	?	9	2	10.0	0.66	5.0	Glimmerik gneis/Leier/Kjernefag/Gneis	0.03
12-13 m	1171.5	0	10	14		9	2	8.0	0.66	5.0	Amfibolitt/Amfibolittisk gneis/Glimmerik gneis	0.04
13-14 m	1172.5	20	20	13	3	9	2	8.0	0.66	5.0	Glimmerik gneis til gjimmerskiler rik på Kfsp.	0.07
14-15 m	1173.5	23	23	16	2?	9	2	8.0	0.66	5.0	Gjimmerskiler/Glimmerik gneis/Gneis	0.08
15-16 m	1174.5	0	10	23		9	2	8.0	0.66	5.0	Glimmerik skifrig gneis rik på Kfsp.	0.04
16-17 m	1175.5	35	35	15	3	9	2	4.0	0.66	5.0	Diorittisk gneis/ Kfsp-rik gjimmerskiler	0.26
17-18 m	1176.5	40	40	14	3	9	2	8.0	0.66	5.0	Glimmerik skifrig gneis.	0.15
18-19 m	1177.5	10	10	15	3?	9	2	4.0	0.66	2.5	Glimmerik skifrig gneis/ Gneis	0.15
19-20 m	1178.5	80	80	6	2	4	1.5	1.5	0.66	1.0	Granatførende gneis	13.20
20-21 m	1179.5	65	65	9	3	9	2	1.5	0.66	1.0	Granatførende gneis	6.36
21-22 m	1180.5	65	65	10	2	4	2.5	1.5	0.66	1.0	Granatførende gneis	17.88

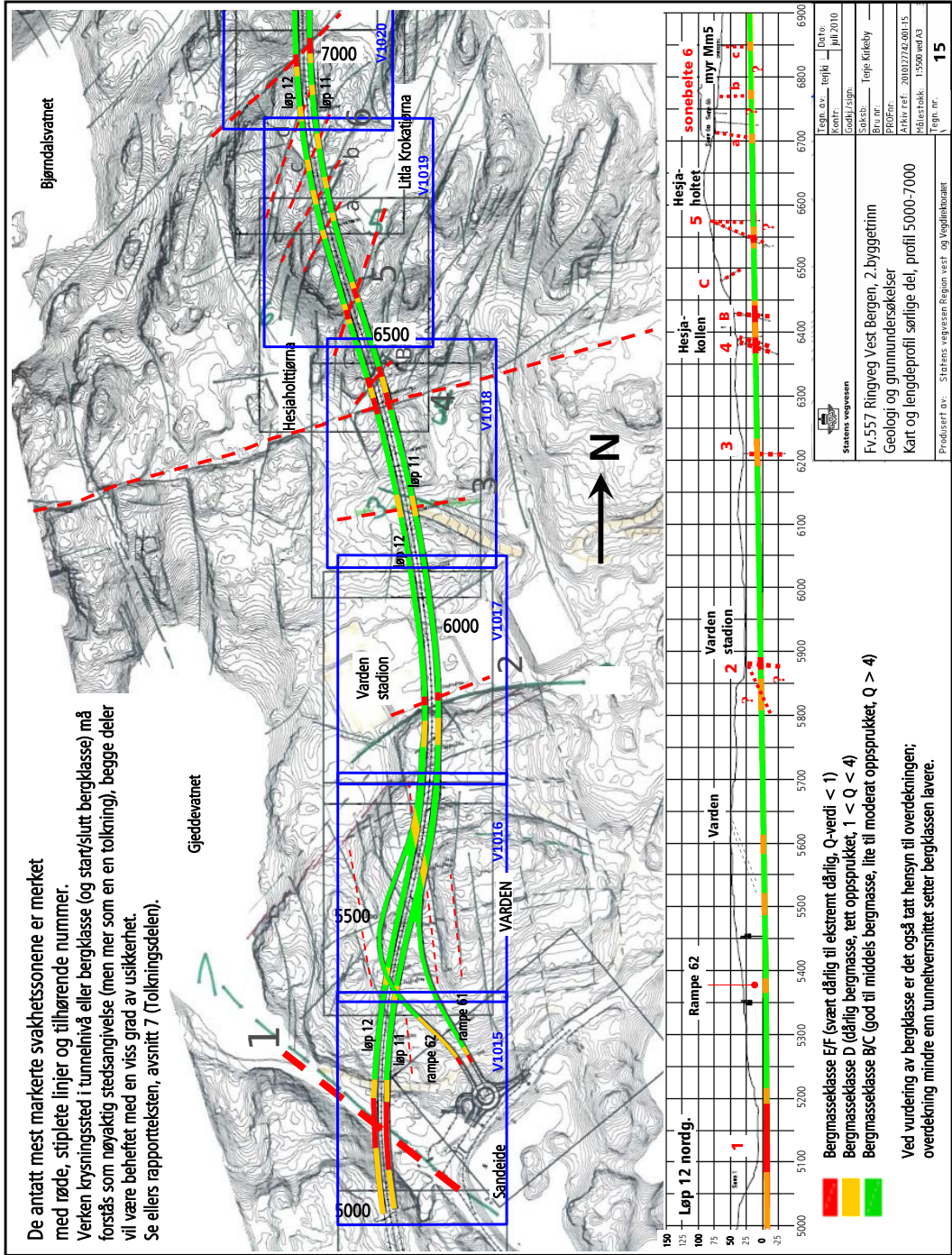
22-23 m	1181.5	50	12	3	9	2.5	4.0	0.66	1.0	Amfibolitt/Amfibolittisk gneis	2.29
23-24 m	1182.5	77	3	3	9	2	4.0	0.66	1.0	Glimmerik gneis/Granittisk til dioritisk gneis	2.82
24-25 m	1183.5	80	2	2	4	1.5	4.0	0.66	1.0	Granittisk til dioritisk gneis	4.95
25-26 m	1184.5	100	3	2	4	3	1.0	0.66	1.0	Glimmerik granittisk gneis	49.50
26-27 m	1185.5	60	11	3	9	1.5	4.0	0.66	1.0	Glimmerik granittisk gneis	1.65
27-28 m	1186.5	60	11	3	9	2	3.0	0.66	1.0	Granittisk gneis/Gneis	2.93
28-29 m	1187.5	57	10	2.5	6	2.5	3.0	0.66	1.0	Granittisk gneis/Gneis	5.23
29-30 m	1188.5	82	5	2	4	3	1.0	0.66	1.0	Granittisk gneis med skilfuge parter	40.59
30-31 m	1189.5	82	6	2	4	3	1.0	0.66	1.0	Dioritt/Diorittisk gneis	40.59
31-32 m	1190.5	70	9	2	4	3	1.0	0.66	1.0	Dioritt/Diorittisk gneis	34.65
32-33 m	1191.5	80	5	2	4	1.5	1.5	0.66	1.0	Amfibolitt/Amfibolittisk gneis	13.20
33-34 m	1192.5	62	9	2.5	6	2.5	2.5	0.66	1.0	Amfibolitt/Amfibolittisk gneis	6.82
34-35 m	1193.5	80	7	1	2	2.5	2.5	0.66	1.0	Diorittisk gneis/Amfibolittisk gneis	26.40
35-36 m	1194.5	95	3	2	4	2	2.0	0.66	1.0	Granatførende amfibolittisk gneis	15.18
36-37 m	1195.5	73	8	2	4	2	2.0	0.66	1.0	Glimmerik amfibolittisk gneis	12.05
37-38 m	1196.5	32	13	3	9	2.5	2.5	0.66	1.0	Glimmerik amfibolittisk gneis	2.35
38-39 m	1197.5	40	9	3	9	2	2.5	0.66	1.0	Amfibolittisk gneis (Kfspråk)	2.35
39-40 m	1198.5	85	6	2	4	2.5	4.0	0.66	1.0	Amfibolittisk gneis	8.77
40-41	1199.5	79	5	2	4	2	3.0	0.66	1.0	Amfibolittisk til granittisk gneis	8.69
41-42	1200.5	47	12	3	9	2	2.5	0.66	1.0	Amfibolittisk til granittisk gneis	2.76
42-43	1201.5	88	3	2	4	3	1.0	0.66	1.0	Glimmerik amfibolittisk til granittisk gneis	43.56
43-44	1202.5	82	3	2	4	2.5	1.5	0.66	1.0	Glimmerik amfibolittisk gneis	22.55
44-45	1203.5	45	12	2	4	2	6.0	0.66	1.0	Glimmerik amfibolittisk gneis	2.48
45-46	1204.5	75	7	2	4	2.5	1.0	0.66	1.0	Amfibolittisk gneis/Amfibolitt	30.94
46-47	1205.5	55	9	2.5	6	2	2.5	0.66	2.5	Amfibolitt	1.94
47-48	1206.5	10	6	3	9	1.5	6.0	0.66	5.0	Amfibolitt	0.04
48-49	1207.5	0	14	3	9	1.5	6.0	0.66	5.0	Amfibolitt (kortnoddig?)	0.04

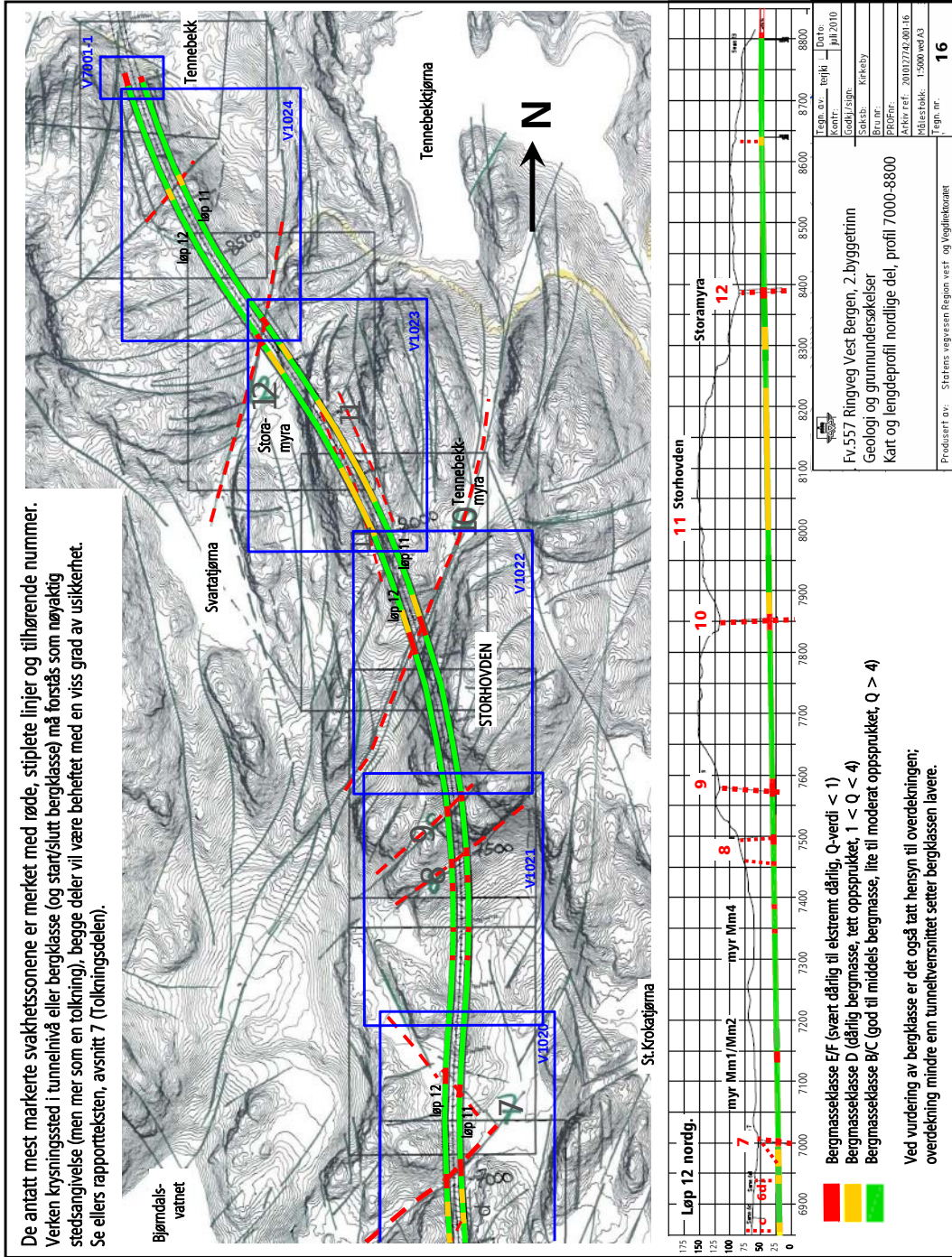
49-50	1208.5	62	5	3	9	2	6.0	0.66	2.5	Amfibolitt/Amfibolittisk gneis	0.61
50-51	1209.5	63	9	3	9	2	3.0	0.66	1.0	Amfibolittisk gneis	3.08
51-52	1210.5	80	5	2	4	2	3.0	0.66	1.0	Amfibolittisk gneis	8.80

Vedlegg B

Knappetunnelen

B.1 Ingeniørgeologisk kart





B.2 Sammenheng mellom svakhetssonenavn i oppgavetekst og resistivitetsrapport

Navn i oppgavetekst	Navn i resistivitetsrapport
K4	4
KA	A
KB	B
K5	5
K6a	6
K6b	D
K6c	E
K7	7
K8	8
K9	9
K10	10
KH	H
K11	11/I
KJ	J
KK	K
K12	12
KL	L
K13	13

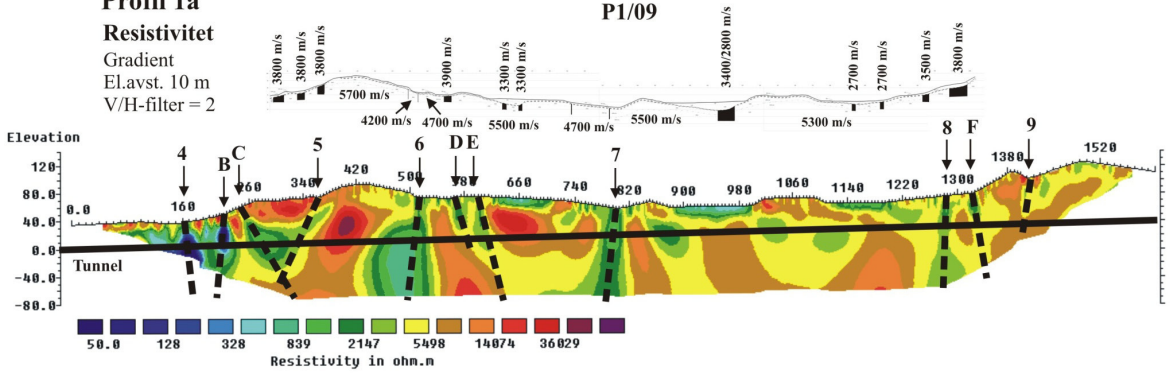
B.3 Resistivitet- og IP-profil

Ringveg vest, Bergen

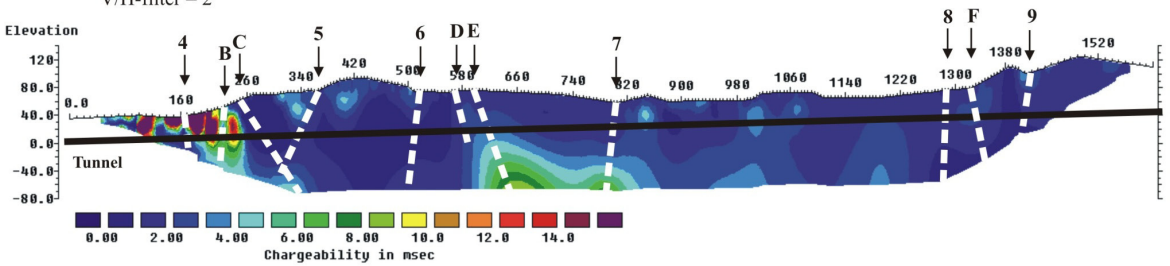
Profil 1a
Resistivitet
 Gradient
 El.avst. 10 m
 V/H-filter = 2

Seismikk
 (GeoPhysics)
P1/09

■ Lavhastighetsone
 | Laggrense i fjell



IP
 Gradient
 El.avst. 10 m
 V/H-filter = 2

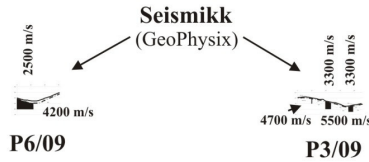


Ringveg vest, Bergen

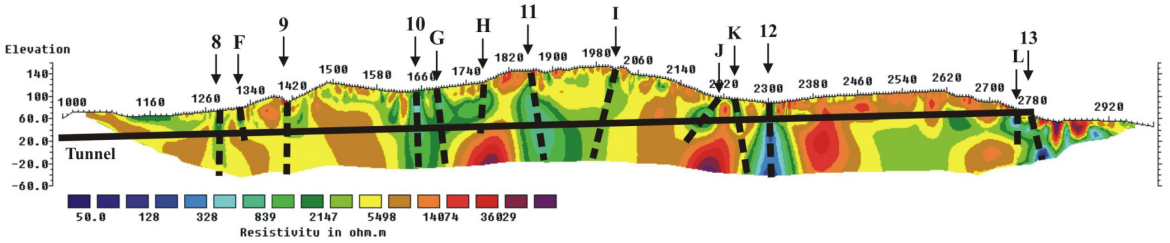
Profil 1b

Resistivitet

Gradient
El.avst. 10 m
V/H-filter = 2

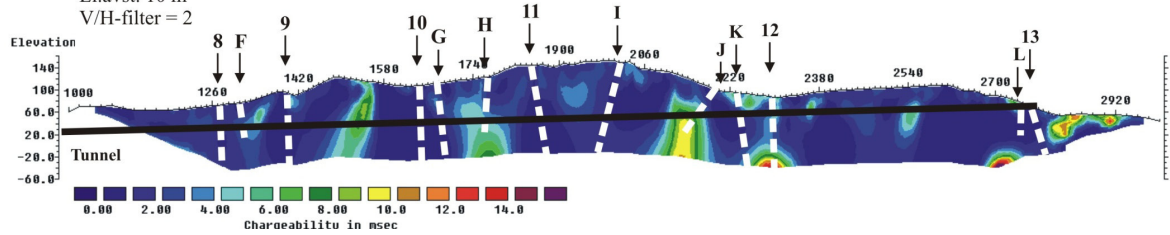


■ Lavhastighetsone
| Laggrense i fjell



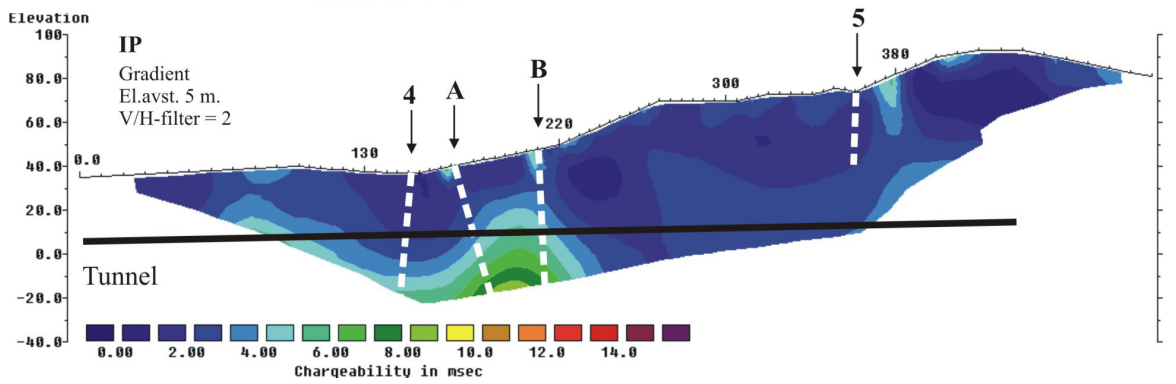
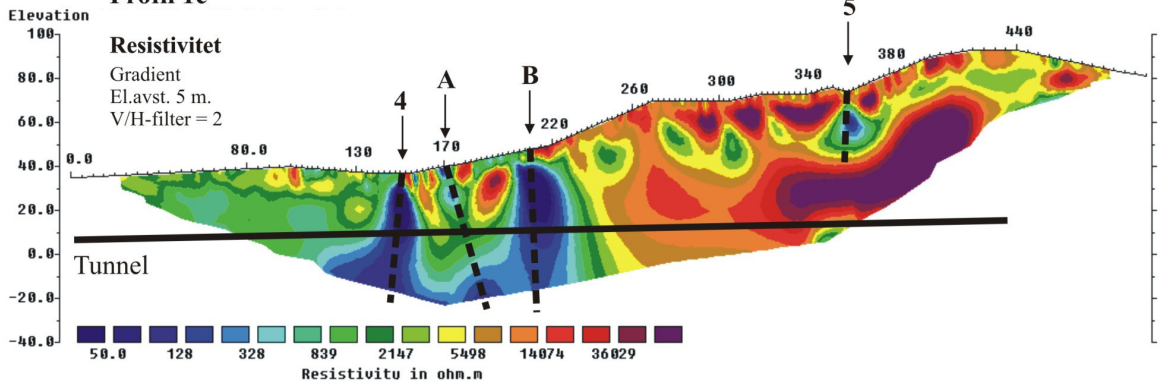
IP

Gradient
El.avst. 10 m
V/H-filter = 2



Ringveg vest, Bergen

Profil 1c



B.4 Tabell med alle lavresistive soner

Karakterisering av soner fra resistivitetmålinger i Kanadaskogen, Ringveg Vest Bergen (modifisert fra NGU-rapport 2009-077)

Avstand langs profillet (m)	profilnummer i terrenng	Koordinat X UTM sone 32	Koordinat Y UTM sone 32	Koordinat X NGO 1948 Akse 1	Koordinat Y NGO 1948 Akse 1	Sone	A dybde (m)	B bredde (m)	C resistivitet (Ωm)	Antatt fall	Seismisk (m/s)	Kommentar
						1						Kartlagt*
						2						Kartlagt*
						3						Kartlagt*
150	11-6385	293857,74	6695661,15	-43501,211	261378,905	4	>60	10-20	< 200	Steil mot S	2700	Kartlagt*
170	11-6400	293890,98	6695599,73	-43465,265	261319,037	A	>60	0-10	500-200	Moderat mot N	(4800)	Ny sone
200	11-6430	293835,00	6695700,00	-43525,660	261416,696	B	>60	0-10	< 200	Steil mot S	2700	Ny sone
245	11-6475	293819,49	6695742,24	-43543,039	261458,197	C	>60	0-10	500-200	Moderat mot N		Ny sone
360	11-6575	293792,19	6695837,39	-43574,558	261552,023	5	>60	0-10	1000-500	Moderat mot S	3800	Kartlagt*
510	6720	293751,16	6695976,83	-43621,769	261689,477	6	>60	10-20	500-200	Steil mot S	4200	Kartlagt*
565	6770	293741,02	6696030,89	-43634,312	261743,024	D	40-60	0-10	1000-500	Moderat mot N	3900	Ny sone
600	6805	293735,00	6696063,00	-43641,759	261774,830	E	>60	0-10	1000-500	Moderat mot N		Ny sone
800	6990	293725,00	6696248,00	-43660,010	261959,180	7	>60	20-40	500-200	Steil mot S	4700	Kartlagt*
1285	7455	293754,95	6696722,98	-43651,312	262434,975	(8)	>60	0-10	2000-1000	Steil mot S	3500	Kartlagt*
1320	7490	293752,63	6696744,86	-43654,606	262456,728	8/F	>60	0-10	2000-1000	Steil mot N	3800	Ny sone
1410	12-7575	293743,25	6696826,97	-43667,643	262538,328	9	40-60	0-10	2000-1000	Steil mot S		Kartlagt*
1650	12-7825	293682,70	6697033,31	-43737,341	262741,736	10	>60	10-20	1000-500	Steil mot N	2500	Kartlagt*
1685	?	293676,88	6697067,82	-43744,695	262775,948	G	>60	0-10	1000-500	Steil mot N		Ny sone
1770	7900	293687,60	6697147,86	-43737,562	262856,379	H	40-60	0-10	1000-500	Steil mot S		Ny sone
1850	11-7960	293680,69	6697210,13	-43747,246	262918,272	11	>60	0-10	500-200	Steil mot N		Kartlagt*
2010	11-8115	293622,68	6697348,47	-43811,369	263053,868	I	>60	0-10	2000-1000	Moderat mot S		Ny sone
2220	11-8305	293531,01	6697515,32	-43910,389	263216,439	J	40-60	0-10	2000-1000	Moderat mot S	4000	Ny sone
2235	11-8320	293523,51	6697528,32	-43918,461	263229,089	K	>60	0-10	500-200	Steil mot N	4000	Ny sone
2300	11-8375	293496,00	6697576,00	-43948,070	263275,488	L	>60	0-10	< 200	Steil mot N	3300	Kartlagt*
2750	12-8795	293300,53	6697955,44	-44160,268	263645,776	12	40-60	0-10	< 200	Steil mot S		Ny sone
2780	12-8820	293296,04	6697985,10	-44166,078	263675,203	13	>60	10-20	< 200	Steil mot N		Kartlagt*

(11 og 12 viser til hhvis N- og S-gående løp, intet tall foran er måling mellom åpene)

Soner med som utmerker seg med en viss bredde, særlig lav resistivitet og/eller spesielt lav seismisk hastighet er merket med **røde farger**

NGU-tolkning: Resistivitet lavere enn 500 Ωm indikerer stabilitetsproblemer grunnet oppsprekking kombinert med leire som sprekke materiale, mens intervallet ca.500-3000 Ωm indikerer mye sprekkeværn

Ringveg Vest Bergen
2.byggetrinn
Tegning 2010127742-001-34

Kartlagt* - Påvist med ingen/ogeologisk overflatekartlegging

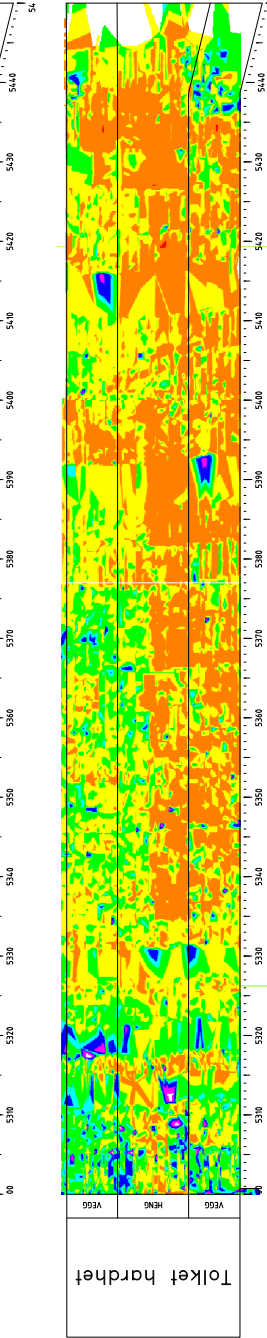
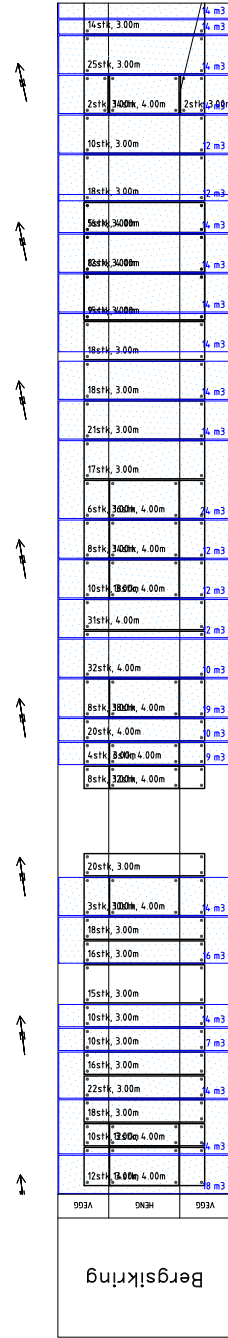
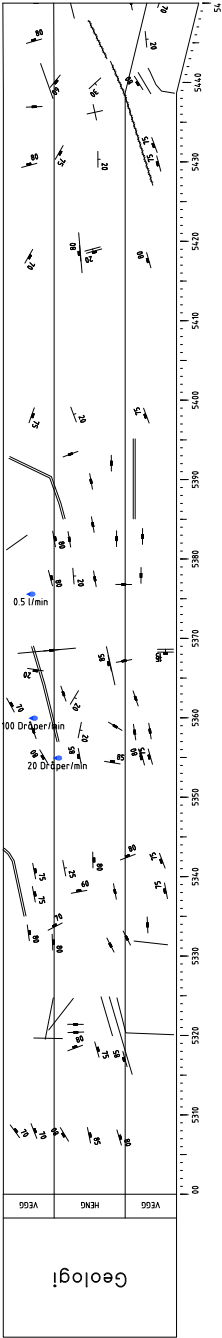
C Resistivitet i sone Klasse
 0 > 2000 ohmm
 1 2000-1000 ohmm
 2 1000-500 ohmm
 3 500-200 ohmm
 4 < 200 ohmm

B Bredden på sone Klasse
 1 0-10 m
 2 10-20 m
 3 20-40 m
 4 > 40 m

A Dybde på sone Klasse
 1 0-20 m
 2 20-40 m
 3 40-60 m
 4 > 60 m

B.5 Novapointutskrift med geologi og sikring

ROD/JH	856,0	864,0	872,0	880,0	888,0	896,0	904,0	912,0	920,0	928,0	936,0	944,0	952,0	960,0	968,0	976,0	984,0	992,0
JULIA	152,0	152,0	152,0	152,0	152,0	152,0	152,0	152,0	152,0	152,0	152,0	152,0	152,0	152,0	152,0	152,0	152,0	152,0
JUL/SRE	107,0	107,0	107,0	107,0	107,0	107,0	107,0	107,0	107,0	107,0	107,0	107,0	107,0	107,0	107,0	107,0	107,0	107,0
Ø-Værdi	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
Bærelast	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Indegsn	4,0-11 kg	4,0-11 kg	4,0-11 kg	4,0-11 kg	4,0-11 kg	4,0-11 kg	4,0-11 kg	4,0-11 kg	4,0-11 kg	4,0-11 kg	4,0-11 kg	4,0-11 kg	4,0-11 kg	4,0-11 kg	4,0-11 kg	4,0-11 kg	4,0-11 kg	4,0-11 kg



Legende

- Bærelast**
 - A - Svært/retstremt ged (4,0-1000)
 - B - God (10-42)
 - C - Middels (4-10)
 - D - Dårlig (1-4)
 - E - Svært dårlig (0,1-1)
 - F - Retstremt dårlig (0,01-0,1)
 - G - Eksepsjonelt dårlig (0,001-0,01)
 - Ikke kartlagt med Ø-værdi
- Vann / -sikring**
 - Lekkasje punkt
 - Lekkasje, område/interval
- Berøstert**
 - Anholitt
 - Amfibolittisk gneis
 - Bålgneis
 - Gimmergneis
 - Gneis
 - Granittisk gneis
 - Kvartekalk
 - Leirinført berg
 - Migmatitt
- Geologiske registreringer**
 - Sprekkelst
 - Følgeson
 - Sprekk
 - Slippe
 - Svulthetssone smalere enn 1 m
 - Svulthetssone bredere enn 1 m
 - Avstaving etter over 1 time
 - SS Avstaving etter 10 minutter
 - B Inntest bergstyg
- Bæringslag**
 - Kombinasjon/mestepå, vedbak stoff
 - Ende/erikende, vedbak stoff
 - Andre bølletyper, vedbak stoff
 - Fornblær
 - Sikringsbuer
 - Sikringsbølg
 - Utstaving
 - Fallobånd
 - Sikringsnett
 - Inngesjon

Rev. dato

Utstedt av

Kontrollert av

Godkjent av

Koordinat

Projeksjons

Blattnummer /

Blattstørrelse

Blattnavn

Blattnummer

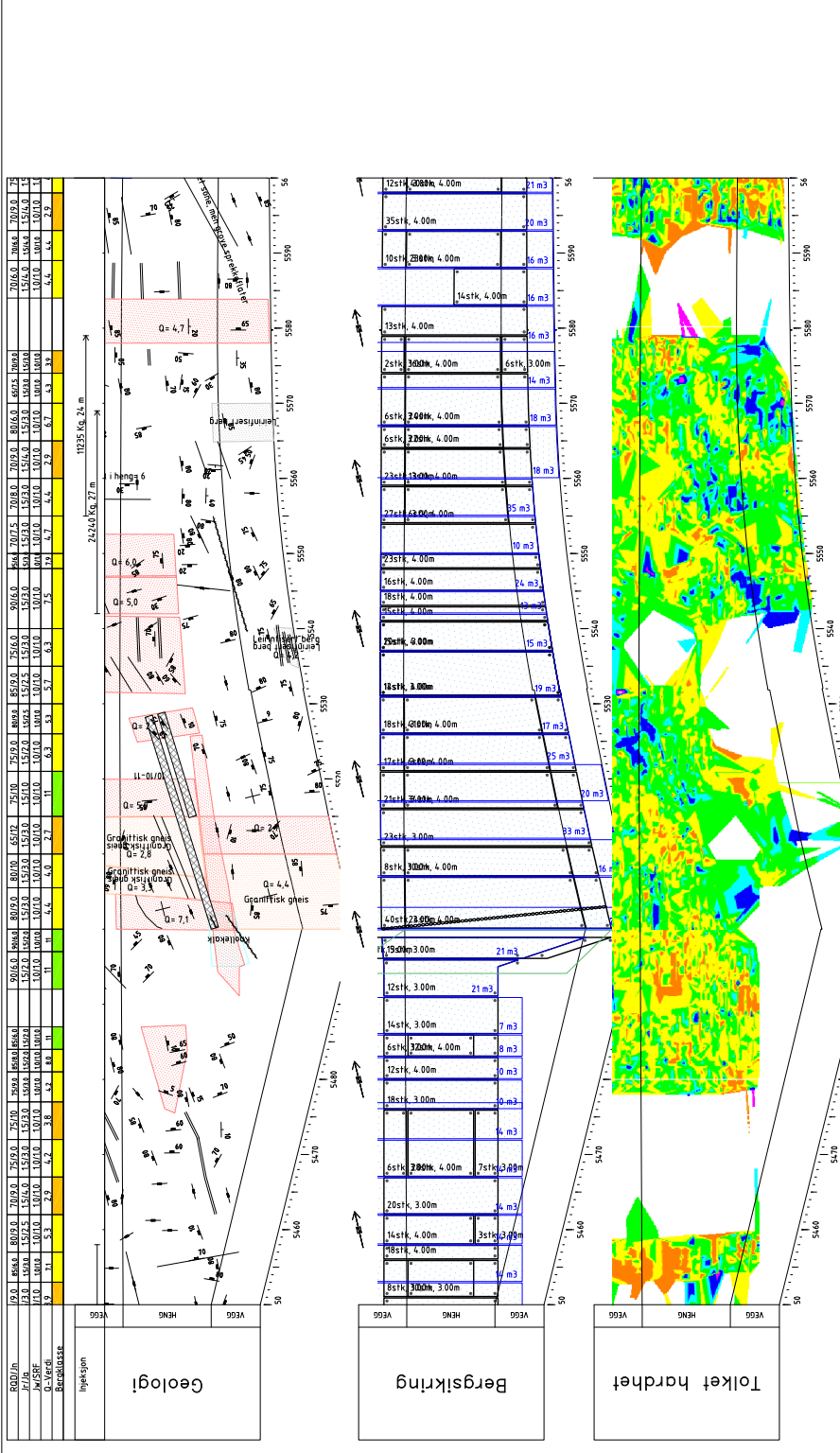
Blattstørrelse

Blattnavn

Blattnummer

Blattstørrelse

Blattnavn



Utsnitt	Koort	Guldet	Rev. dato
Statnummer			
Statnummer			
Inngangspunkt			
Prosjekt for			
Prosjekt nr			
Programnummer			
PROJ-nummer			
Aksjonsnummer			
Byggeskisse			
Målestokk A1			
Tegningsnummer / Tegningsbetydning			
Utsnitt nr			
Kommentar nr			
Kontrollert av			

Lapp 11

Bergklasser

■	A - Svartfjellstrem god (4.0-1000)
■	B - God (10-4.0)
■	C - Middels (4-10)
■	D - Dårlig (1-4)
■	E - Svært dårlig (0.1-1)
■	F - Ekstremt dårlig (0.01-0.1)
■	G - Eksplosivt dårlig (0.001-0.01)
	Ikke kartlagt med D-verd

Bergarter

■	Anfibolitt
■	Ampfibolitt gneis
■	Bånnegneis
■	Gimmergneis
■	Gneis
■	Granittisk gneis
■	Kalk
■	Lenittet berg
■	Migmatitt

Geologiske registreringer

●	Kombinasjon/mestepå, vedbak stuf
●	Endre/erstatte, vedbak stuf
●	Andre bulttyper, vedbak stuf
●	Andre bulttyper, vedbak stuf
●	Føllasjon
●	Sprekk
●	Slette
●	Svovelsulfid smeltet em 1 m
●	Stålbrennstoff smeltet em 1 m
●	Avstalling etter over 1 time
●	Avstalling etter 15 minutter
●	Inntest bergsting

Vann / -særlag

■	Lekkepunkt
■	Lekkasje, område/interval

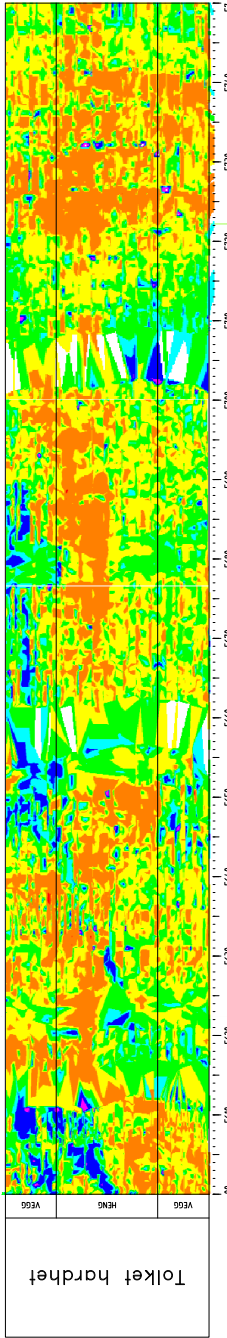
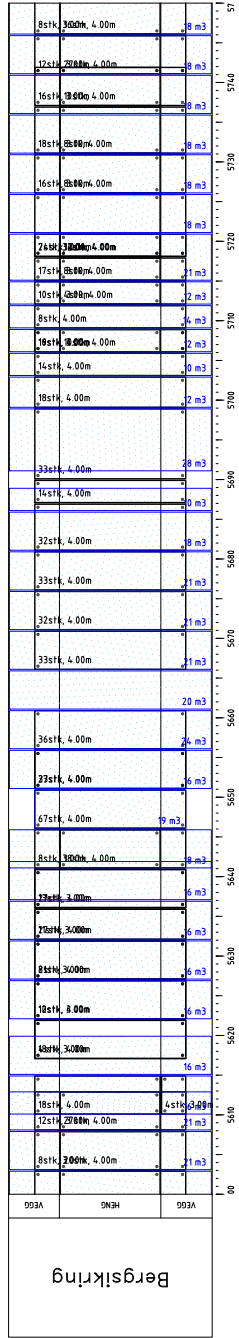
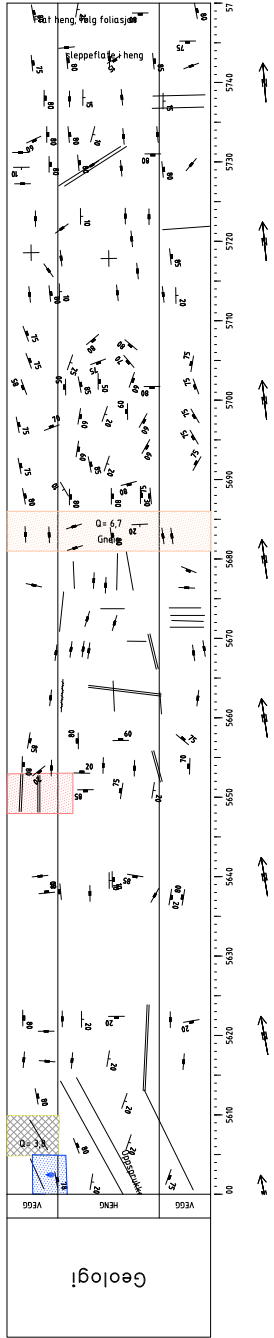
Bergsikring

■	Kombinasjon/mestepå, vedbak stuf
■	Endre/erstatte, vedbak stuf
■	Andre bulttyper, vedbak stuf
■	Andre bulttyper, vedbak stuf
■	Føllasjon
■	Sprekk
■	Slette
■	Svovelsulfid smeltet em 1 m
■	Stålbrennstoff smeltet em 1 m
■	Avstalling etter over 1 time
■	Avstalling etter 15 minutter
■	Inntest bergsting

Bergklasser

■	A - Svartfjellstrem god (4.0-1000)
■	B - God (10-4.0)
■	C - Middels (4-10)
■	D - Dårlig (1-4)
■	E - Svært dårlig (0.1-1)
■	F - Ekstremt dårlig (0.01-0.1)
■	G - Eksplosivt dårlig (0.001-0.01)
	Ikke kartlagt med D-verd

ROD/JH	1/10	1/11	1/12	1/13	1/14	1/15	1/16	1/17	1/18	1/19	1/20	1/21	1/22	1/23	1/24	1/25	1/26	1/27	1/28	1/29	1/30	1/31	
JULIE	1573.0	1574.0	1575.0	1576.0	1577.0	1578.0	1579.0	1580.0	1581.0	1582.0	1583.0	1584.0	1585.0	1586.0	1587.0	1588.0	1589.0	1590.0	1591.0	1592.0	1593.0	1594.0	1595.0
JUL/SRE	1071.0	1072.0	1073.0	1074.0	1075.0	1076.0	1077.0	1078.0	1079.0	1080.0	1081.0	1082.0	1083.0	1084.0	1085.0	1086.0	1087.0	1088.0	1089.0	1090.0	1091.0	1092.0	1093.0
D-Verd	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Berørelse	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0



Bæringslag

- Kombinasjon/mestepå, vedbok stoff
- Ende/erkeende, vedbok stoff
- Andre bølletyper, vedbok stoff
- Forbøtler
- Sikringsbuer
- Sprøytebetong
- Utslagning
- fell/bånd
- Sikringsnett
- Inngjesson

Geologiske registreringer

- Sprekkeløst
- Føllasjon
- Sprekk
- Svakhetszone smalere enn 1 m
- Svakhetszone bredere enn 1 m
- Avsløtting etter over 1 time
- Avsløtting etter 10 minutter
- Innstemt bergsteg

Berørelse

- Anfyllst
- Anfyllstisk gneis
- Bånnegns
- Gimneregns
- Gneis
- Granitisk gneis
- Konkret
- Lentifisert berg
- Migmatitt

Vann / -sikring

- Lekkasje punkt
- Lekkasje, område/interval

Berørelse

- A - Svartfrestrem ged (4.0-1000)
- B - God (10-4.0)
- C - Middels (4-10)
- D - Dårlig (1-4)
- E - Svært dårlig (0.1-1)
- F - Ekstremt dårlig (0.01-0.1)
- G - Eksplosivt dårlig (0.001-0.01)
- Ikke kartlagt med D-verd

Revisjon

Revisjon	Revisjons grader	Utebet	Kont	Godkjent	Rev. dato

Skisser

Skisser	Skisser	Skisser	Skisser

Programnummer

PROJ-nummer

Byggesaksnummer

Administrasjonsnummer

Utebetalt nr

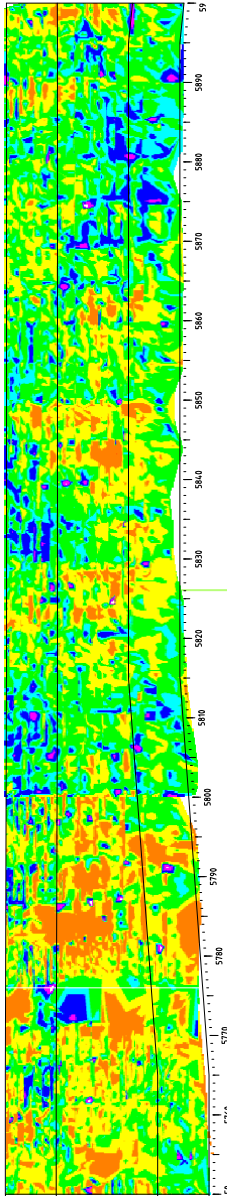
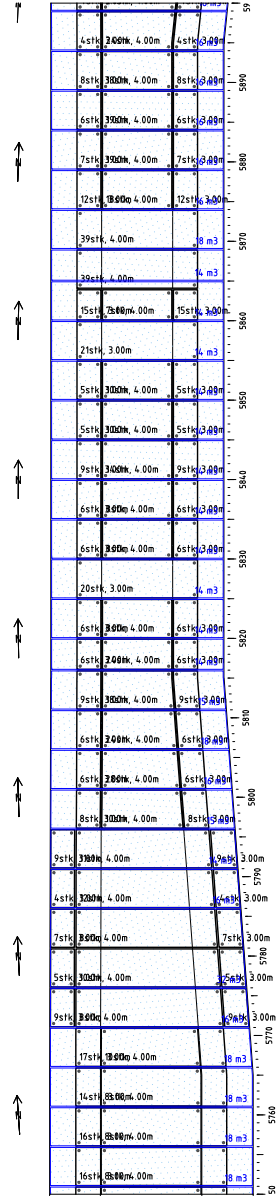
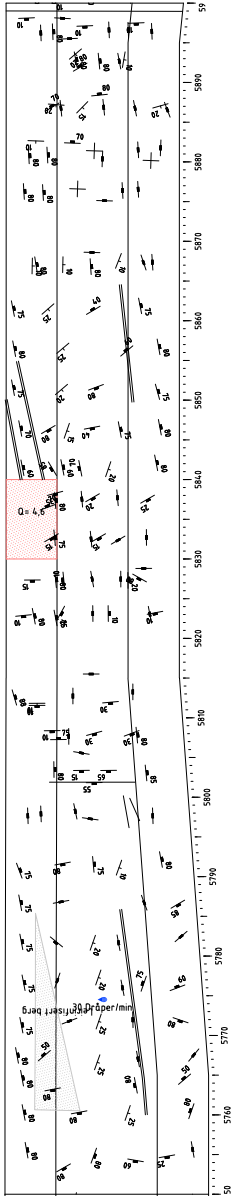
Kommentar nr

Godkjent nr

Konsulentnr

regningsbetalt nr

ROD/år	15/03	16/03	17/03	18/03	19/03	20/03	21/03	22/03	23/03	24/03	25/03	26/03	27/03	28/03	29/03	30/03	31/03									
JULIE	15/03	16/03	17/03	18/03	19/03	20/03	21/03	22/03	23/03	24/03	25/03	26/03	27/03	28/03	29/03	30/03	31/03									
JUL/SRE	0	15/03	15/03	15/03	15/03	15/03	15/03	15/03	15/03	15/03	15/03	15/03	15/03	15/03	15/03	15/03	15/03									
B-Verdi	4.7	5.6	5.7	5.0	7.1	6.7	6.8	6.1	7.1	7.1	6.4	4.4	4.4	10	6.3	5.0	3.8	4.3	5.3	7.1	6.0	5.4	4.7	7.9	5.3	7.5
Berørlig																										
Inngjengen																										



Berørlig

- Kombinasjon/mestepå vedtak stoff
- Endre/erstatte vedtak stoff
- Andre helt nye vedtak stoff

Førarbeid

- Sprøytebetong
- Utsjanger
- Fjellbånd
- Sikringsnett
- Inngjengen

Geologiske registreringer

- Sprekkeseit
- Foliasjon
- Sprekk
- Svovelsulfid smeltet em 1 m
- Svovelsulfid bredder em 1 m
- Avsløring etter 1 time
- Avsløring etter 10 minutter
- Innstendig berg

Berørlighet

- Annbøit
- Armbøitlig gneis
- Bålgneis
- Gimnergneis
- Gneis
- Granulitt gneis
- Kviklekk
- Lenniferert berg
- Migmatitt

Vann / -sirkning

- Lekkasje punkt
- Lekkasje, område/interval

Berørlig

- A - Svart/brun (40-1000)
- B - God (10-40)
- C - Middels (4-10)
- D - Dårlig (1-4)
- E - Svært dårlig (0.1-1)
- F - Ekstremt dårlig (0.01-0.1)
- G - Eksplosivt dårlig (0.001-0.01)
- Inneforlagt med B-verdi

Utbred	Revisjon	Rev. dato

Saksnummer	

Programnummer	

Prosjekt nr	

Prosjekt nr	

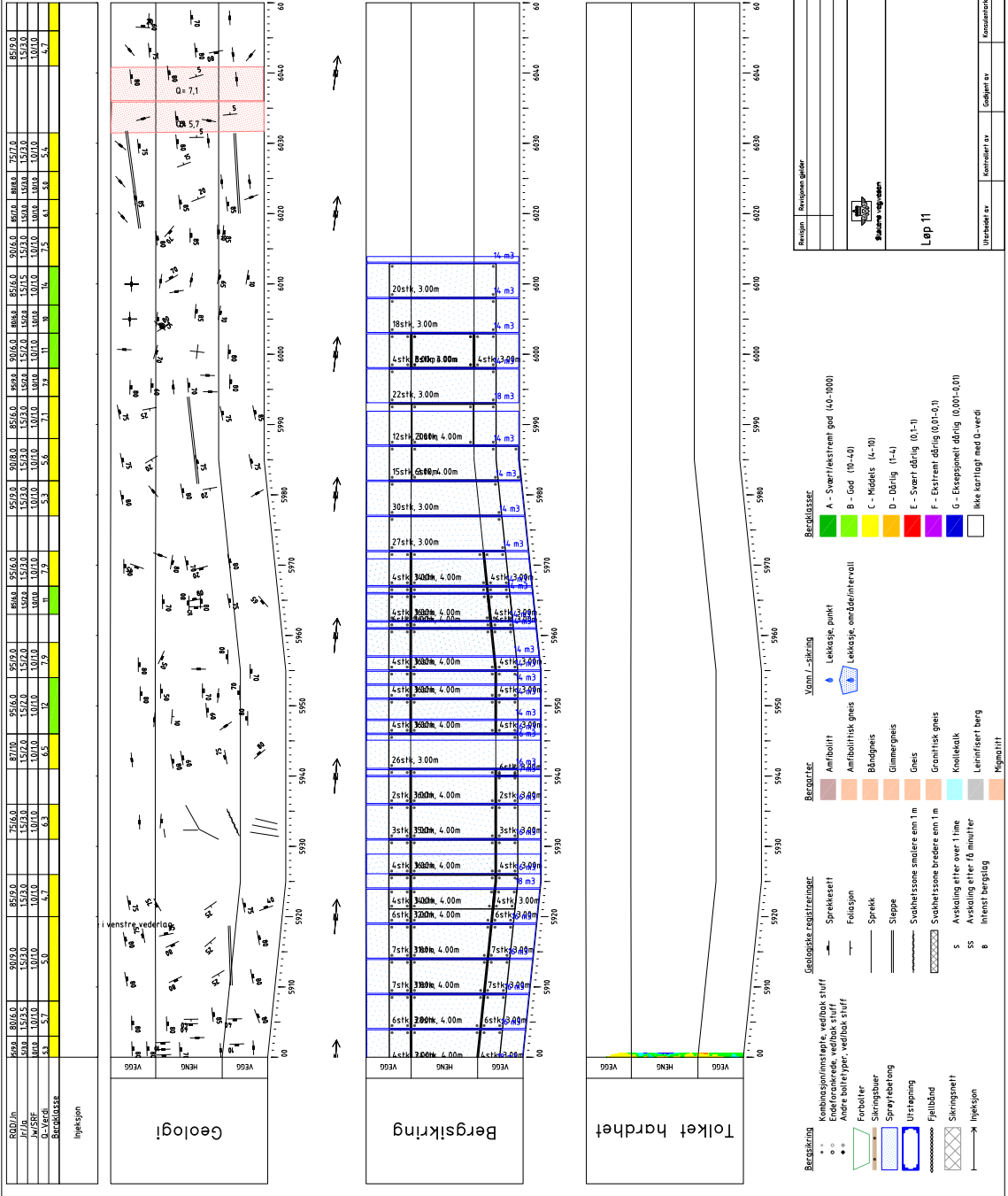
Prosjekt nr	

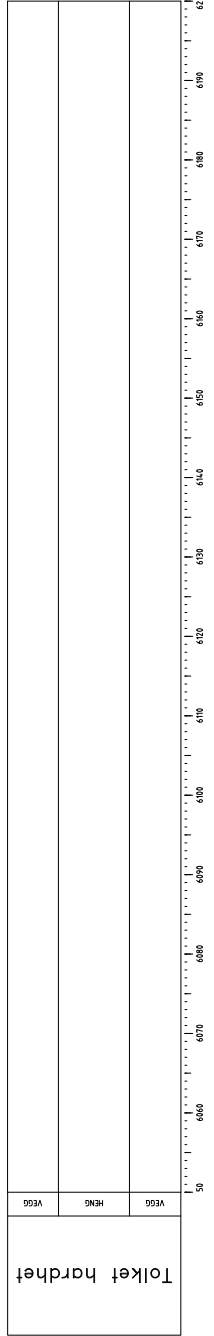
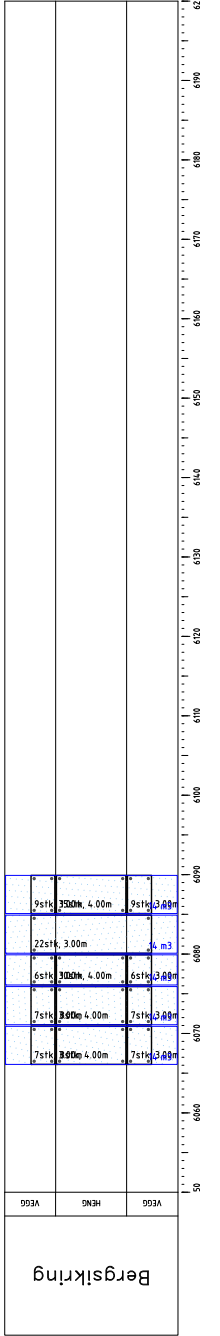
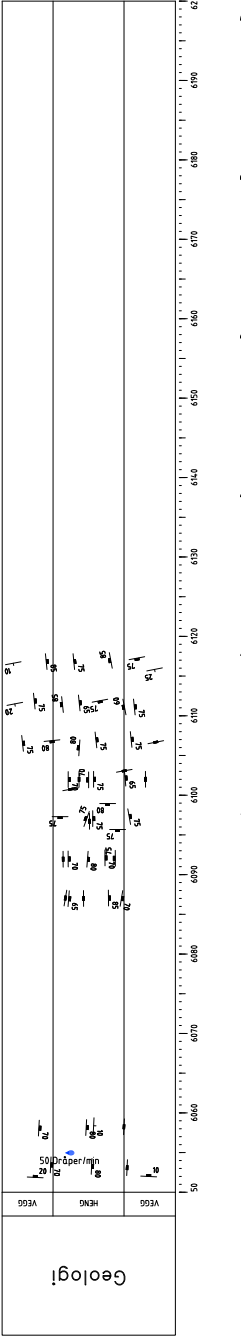
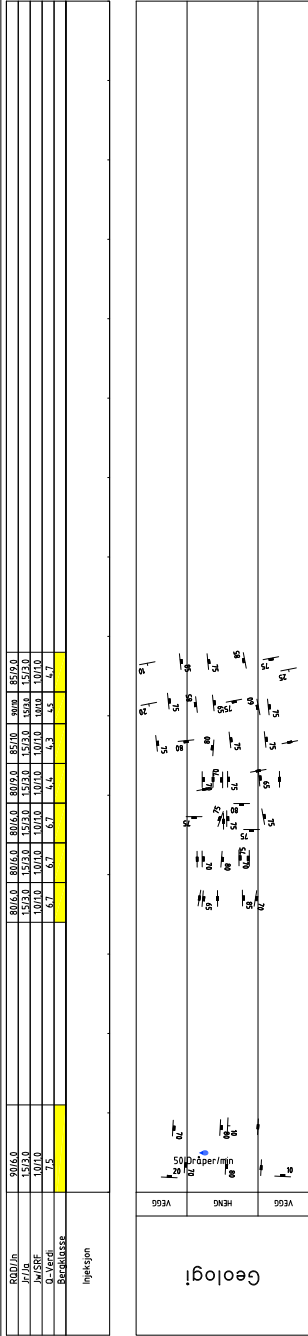
Prosjekt nr	

Prosjekt nr	

Lapp 11

Utbred	Revisjon	Rev. dato





Bergsinking
 Kombinert/mestpart, vedtak stoff
 Endeløst/mestpart, vedtak stoff
 Andre deler, vedtak stoff
 Farveler
 Sikringsbuer
 Sprøytebeleg
 Utstang
 Feilbeleg
 Sikringsnett
 Inngang

Bergsinking
 Sprekketett
 Følgesson
 Sprekk
 Sløkke
 Svulstetone smilere em 1 m
 Svulstetone bredere em 1 m
 S Avstalling etter 1 line
 SS Avstalling etter 10 minutter
 B Inntest bergsting

Bergsinking
 Anballitt
 Anballittisk gneis
 Bållgniss
 Gimmergniss
 Gneis
 Granitisk gneis
 Kvalitativ
 Lenniferert berg
 Høstballitt

Bergsinking
 Vann / -sikring
 Lekekste punkt
 Lekekste, område/interval

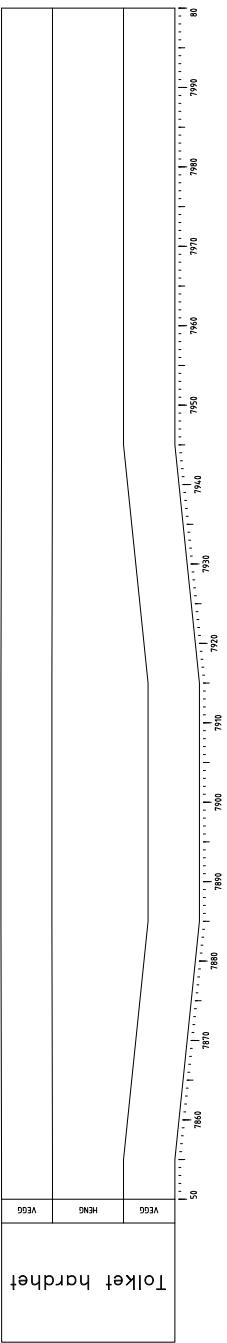
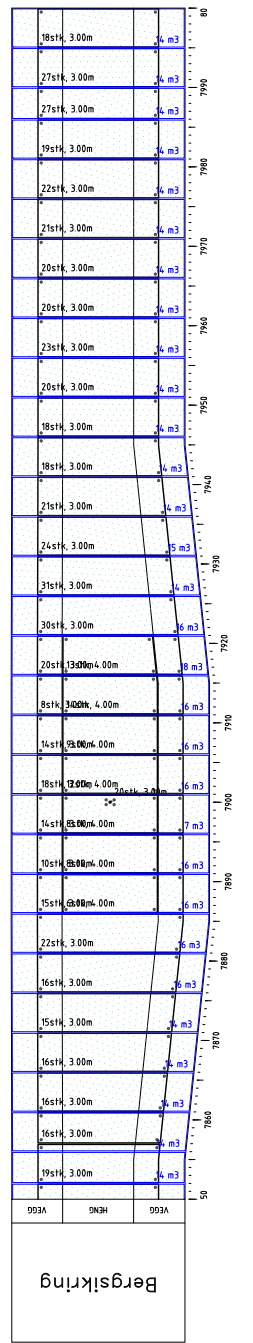
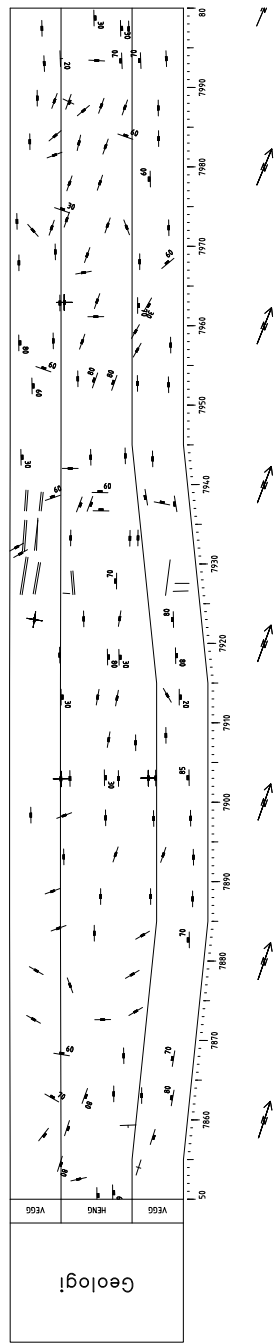
Bergsinking
 A - Svertrrestrem ged (4-1000)
 B - Ged (10-42)
 C - Middels (4-10)
 D - Bållig (1-4)
 E - Svertr dållig (0,1-1)
 F - Bållig dållig (0,01-1)
 G - Bållig dållig (0,01-0,1)
 Ikke kartlagt med B-verd

Utvalg, Revisjons gjelder, Kostnader, Godkjent, Rev. dato

Utvalg, Revisjons gjelder, Kostnader, Godkjent, Rev. dato

Utvalg, Revisjons gjelder, Kostnader, Godkjent, Rev. dato

BOUJr	1811	1812	1813	1814	1815	1816	1817	1818	1819	1820	1821	1822	1823	1824	1825	1826	1827	1828	1829	1830
JEU	26170	26170	26170	26170	26170	26170	26170	26170	26170	26170	26170	26170	26170	26170	26170	26170	26170	26170	26170	26170
JUS	1811	1812	1813	1814	1815	1816	1817	1818	1819	1820	1821	1822	1823	1824	1825	1826	1827	1828	1829	1830
JUS/SRE	1811	1812	1813	1814	1815	1816	1817	1818	1819	1820	1821	1822	1823	1824	1825	1826	1827	1828	1829	1830
D-verdi	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
Bevælsklasse	[Color-coded cells: Green, Yellow, Orange, Red, Purple]																			
Inngang	26170 kg	24592 kg	25538 kg	24528 kg	24383 kg	29783 kg	19984 kg	29752 kg												



Beræklingsklasser:

- A - Svært frekvent god (4.0-1000)
- B - God (10-4.0)
- C - Middels (1-10)
- D - Dårlig (1-1)
- E - Svært dårlig (0.1-1)
- F - Ekstremt dårlig (0.01-0.1)
- G - Ekstremt dårlig (0.001-0.01)
- H - Ikke kartlagt med D-verdi

Beræklingsklasser (Symboler):

- Amfibolitt
- Amfibolitisk gneis
- Båndgneis
- Gimmergneis
- Gneis
- Granulitt gneis
- Konkalk
- Lerniferert berg
- Migmatitt

Geologiske registreringer:

- Kombinasjon/mestepå, vedtak stoff
- Ende/erakende, vedtak stoff
- Andre bølletyper, vedtak stoff
- Sprekkesett
- Følgeson
- Sprekk
- Slette
- Svovelsulfid smeltet em 1 m
- Svovelsulfid smeltet em 1 m
- Avfalling etter over 1 time
- Avfalling etter 10 minutter
- Innest bergstigg

Vann / -særling:

- Lekkesidepunkt
- Lekkeside, område/interval

Legende:

- Utbredelse
- Kontourer
- Kontourer
- Kontourer
- Kontourer
- Kontourer
- Kontourer

Skjema:

Rev. dato: _____

Urett: _____

Kont: _____

Godkjent: _____

Stamnummer: _____

Tegningsstadium: _____

Prosjekt for: _____

Prosjekt nr: _____

Prosjekttype: _____

Prosjektstadium: _____

Byggesystemnummer: _____

Målestokk A1: _____

Tegningsnummer: _____

Tegningsbetjener: _____

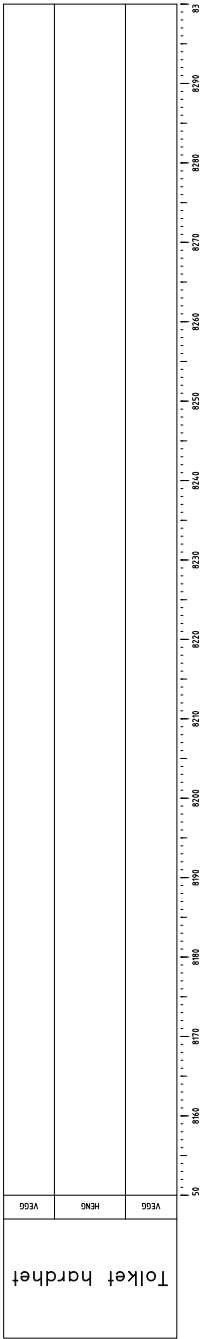
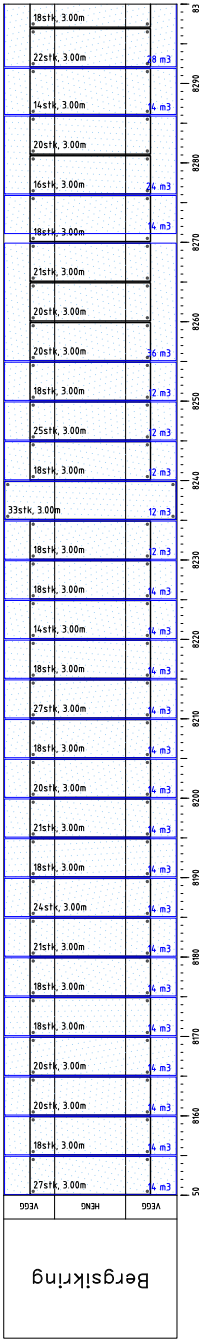
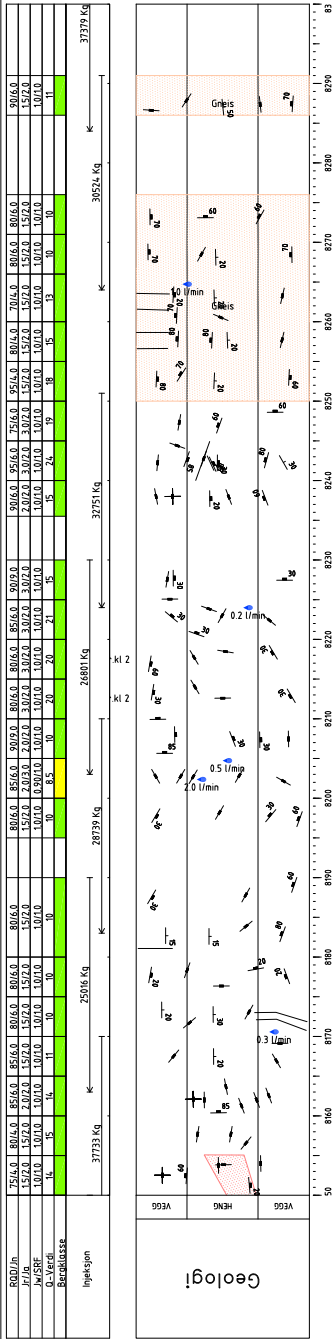
Kontrollert av: _____

Godkjent av: _____

Koordinatshus: _____

Opplysninger:

Opplysninger



Bergklasser
 A - Svartfjellstein (40-1000)
 B - Gød (10-42)
 C - Middels (4-10)
 D - Dårnig (1-4)
 E - Svart dårnig (0,1-1)
 F - Blåstein dårnig (0,01-0,1)
 G - Eksponert dårnig (0,001-0,01)
 Ikke kartlagt med G-verd

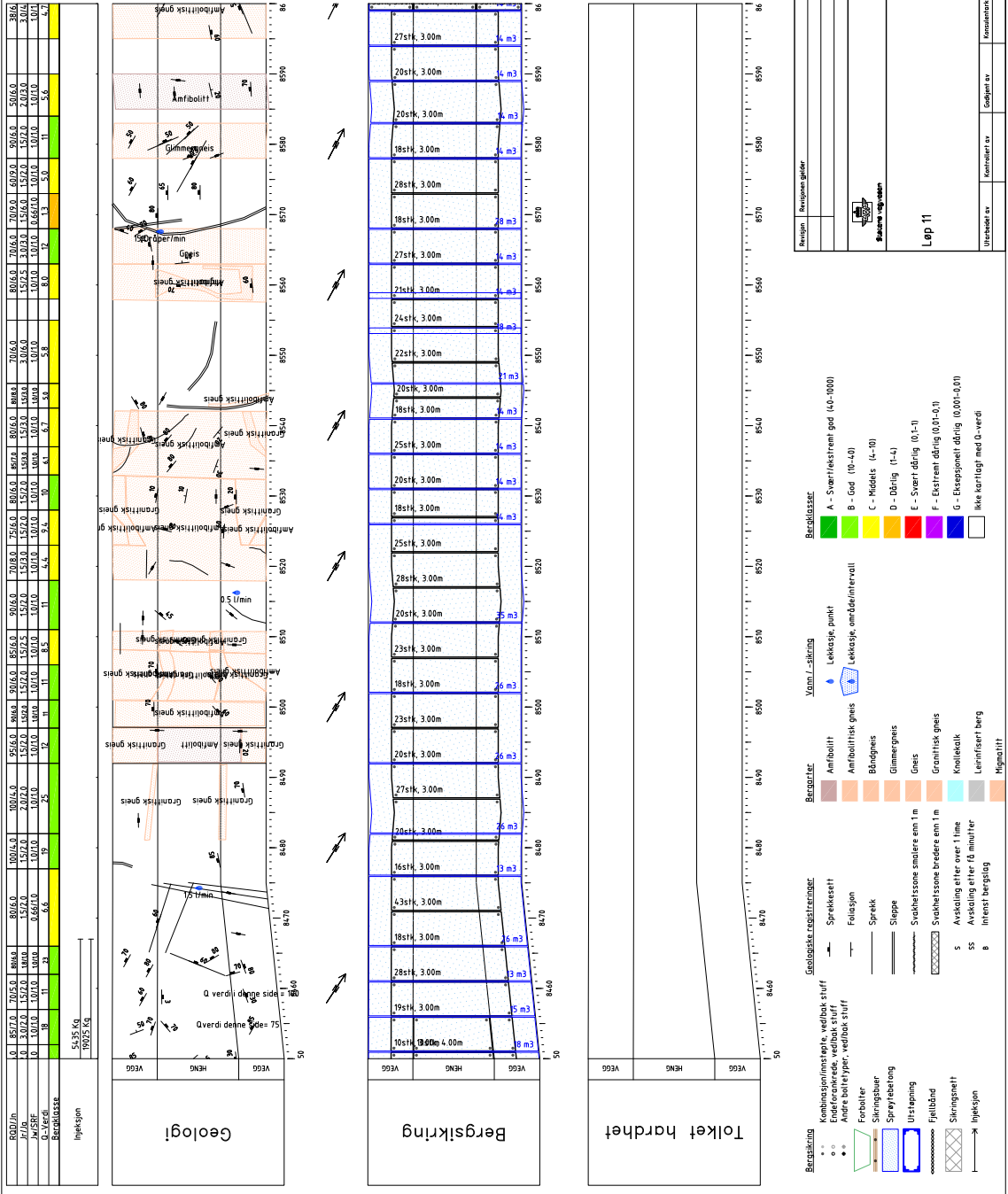
Bergarter
 Amphibitt, Amphibittisk gneis, Bådgneis, Gimmergneis, Gneis, Granittisk gneis, Kvallekalk, Lønnfjort berg, Mjøsbattitt

Geologiske registreringer
 Kombinert/mestep, vedtak stoff, Endekrønde, vedtak stoff, Andre holttyper, vedtak stoff, Følgeson, Sprekk, Sprøytebeleg, Sprøytebeleg, Svulstetone smalere enn 1 m, Svulstetone bredere enn 1 m, Avstøling etter 1 time, Avstøling etter 10 minutter, Inntest bergstigg

Vann / -sårnig
 Lekkasje punkt, Lekkasje, områdeintervall

Utslett Rev. datt

Skjema
 Skjema, Skjema, Produkt for, Produkt nr, Produktnummer, Afskriftsnummer, Byggesnummer, Målestokk A1, Tegningsnummer / tegningsbitstyr



ROD/jn	0	8710.0	7116.5	7416.0	8161.0	8811.0	9071.0	9071.0	9171.0	9171.0	9271.0	9371.0	9471.0	9571.0	9671.0	9771.0	9871.0	9971.0	10071.0	10171.0	10271.0	10371.0	10471.0	10571.0	10671.0	10771.0	10871.0	10971.0	11071.0		
Ju/SRE	0	3.071.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0	1.527.0		
0-verdi	18	11	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	
Beredningsklasse		18	11	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	
Ingstasjon																															

Utebryt																															
Revisjons																															
Revisjons																															

Berøttelse
 A - Svartflekstrem ved (4.0-10.0)
 B - God (10-4.0)
 C - Middels (4-1.0)
 D - Dårlig (1-1)
 E - Svært dårlig (0.1-1)
 F - Ekstremt dårlig (0.01-0.1)
 G - Eksplosivt dårlig (0.001-0.01)
 Ikke kartlagt med D-verdi

Berøttelse
 Amfibolitt
 Amfibolittisk gneis
 Glimmergneis
 Glimmergneis
 Gneis
 Granittisk gneis
 Kalk
 Lenniferert berg
 Mjørtveitt

Vann / -sinking
 Lekkepunkt
 Lekkepunkt, område/interfall

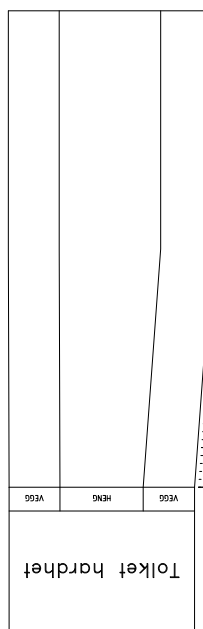
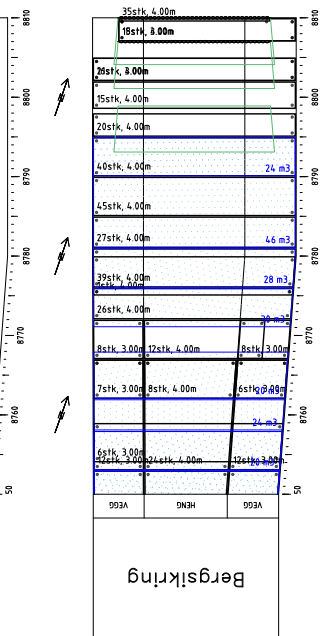
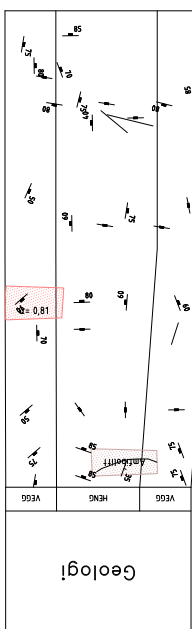
Geologiske registreringer
 Sprekkeseit
 Andre hullfyller, vedbak stoff
 Foliasjon
 Sprekk
 Sleppe
 Svarthetsone smalere enn 1 m
 Svarthetsone bredere enn 1 m
 Avstaving etter 1 line
 Avstaving etter 10 minutter
 Inntest bergstyg

Berøttelse
 Kombinert/mestepke, vedbak stoff
 Endekranrede, vedbak stoff
 Andre hullfyller, vedbak stoff
 Forbitler
 Sikringsbuer
 Sprøytebetong
 Utstapping
 fjellbånd
 Sikringsnett
 Inngang

Kontroll
 Kontroll nr
 Godkjent nr
 Kvalitetssjekk

Lapp 11
 Programnummer
 Profilnummer
 Byggesaknummer
 Målestokk A1
 Tegningsnummer / reagensbetegnelse

ROD/jr	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0	25,0	26,0	27,0	28,0	29,0	30,0	31,0	32,0	33,0	34,0	35,0	36,0	37,0	38,0	39,0	40,0	41,0	42,0	43,0	44,0	45,0	46,0	47,0	48,0	49,0	50,0	51,0	52,0	53,0	54,0	55,0	56,0	57,0	58,0	59,0	60,0	61,0	62,0	63,0	64,0	65,0	66,0	67,0	68,0	69,0	70,0	71,0	72,0	73,0	74,0	75,0	76,0	77,0	78,0	79,0	80,0	81,0	82,0	83,0	84,0	85,0	86,0	87,0	88,0	89,0	90,0	91,0	92,0	93,0	94,0	95,0	96,0	97,0	98,0	99,0	100,0
Jr/SRE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
0-Verd	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Berøkklass	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100



Berøkklass

- A - Svartflekstrem (40-1000)
- B - God (10-40)
- C - Middels (4-10)
- D - Dårlig (1-4)
- E - Svært dårlig (0,1-1)
- F - Ekstrem dårlig (0,01-0,1)
- G - Eksplosivt dårlig (0,001-0,01)
- Ikke kartlagt med B-verd

Berøkklasser

- Amfibolt
- Amfibolittisk gneis
- Bålgneis
- Gimmergneis
- Gneis
- Granittisk gneis
- Knølecalc
- Leirinført berg
- Migmatitt

Geologiske registreringer

- Kombinasjon/mestepå vedtak stoff
- Ende/erakende, vedtak stoff
- Andre løst/løyer, vedtak stoff
- Sprekkesett
- Følgeson
- Sprekk
- Sløppe
- Svovelsisne snitere em 1 m
- Støvrisisne bredere em 1 m
- Avfalling etter 1 time
- Avfalling etter 10 minutter
- Intens bergslag

Vann / -slått

- Lekkasje punkt
- Lekkasje, område/interval

Berøkklasser

- Amfibolt
- Amfibolittisk gneis
- Bålgneis
- Gimmergneis
- Gneis
- Granittisk gneis
- Knølecalc
- Leirinført berg
- Migmatitt

Revisjon	Revisjons gjelder	Utskj.	Kont.	Godkjent	Rev. dato
		Skjema nr.			
		Prosjekt nr.			
		Prosjekt for			
		Prosjekt av			
		Prosjekt nr.			
		PROJ-nummer			
		ABR-nummer			
		Byggesaknummer			
		Hiltsak nr.			
		Tegningsnummer /			
		reguleringssak			
		Kommisjon nr.			
		Godkjent av			
		Kommisjon nr.			
		Kommisjon nr.			

B.6 Kjerneboringslogg

Borhull	Kasse nummer	Lengde fra	til	SnittlenRQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q-verdi
1	1	0	6.5	0.9286						
		0.00	0.93		40	6	1.5	2	1	5
		0.93	1.86		40	9	1.5	3	1	5 0.44444444
		1.86	2.79		35	9	1.5	3	1	5 0.38888889
		2.79	3.71		45	9	1.5	4	1	5 0.375
		3.71	4.64		65	6	1.5	2	1	5 1.625
		4.64	5.57		45	6	1.5	3	1	5 0.75
		5.57	6.50		70	6	1.5	4	1	5 0.875
1	2	6.5	13.5	1.0						
		6.5	7.5		85	4	1.5	1	1	5 6.375
		7.5	8.5		75	4	1.5	3	1	5 1.875
		8.5	9.5		90	4	1.5	2	1	5 3.375
		9.5	10.5		25	6	1.5	2	1	5 0.625
		10.5	11.5		90	4	1.5	2	1	5 3.375
		11.5	12.5		95	3	1.5	2	1	5 4.75
		12.5	13.5		70	4	1.5	1	1	5 5.25
1	3	13.4	21.4							
					75	6	1.5	2	1	5 1.875
					55	6	1.5	2	1	5 1.375
					55	6	1.5	8	1	5 0.34375
					55	6	1.5	2	1	5 1.375
					13	12	1.5	4	1	5 0.08125
					40	6	1.5	4	1	5 0.5
		21.4			35	6	1.5	4	1	5 0.4375
1	4	21.4	28.1							
					12	4	1.5	3	1	5 0.3
					55	6	1.5	2	1	5 1.375
					50	4	1.5	2	1	5 1.875
					45	6	1.5	2	1	5 1.125
					40	6	1.5	2	1	5 1
					85	4	1.5	2	1	5 3.1875
		28.1			50	6	1.5	1	1	5 2.5
1	5	20.1	34.9							
					65	6	1.5	2	1	5 1.625
					80	6	1.5	3	1	5 1.33333333
					55	9	1.5	2	1	5 0.91666667
					40	6	1.5	2	1	5 1
					80	4	1.5	3	1	5 2
					40	6	1.5	2	1	5 1
					40	6	1.5	3	1	5 0.66666667
1	6	34.9	41.6							
					65	4	1.5	2	1	5 2.4375
					85	9	1.5	2	1	5 1.41666667
					90	4	1.5	3	1	5 2.25
					85	4	1.5	2	1	5 3.1875
					40	6	1.5	2	1	5 1
					75	4	1.5	1	1	5 5.625
		41.6			65	6	1.5	3	1	5 1.08333333
1	7	41.6	45.4							
					55	6	1.5	2	1	5 1.375
					65	9	1.5	3	1	5 0.72222222
					45	9	1.5	2	1	5 0.75
		45.4			1	15	1.5	8	1	5 0.0025

2	1	0	6.2	50	6	1.5	2	1	5	1.25	
				50	6	1.5	2	1	5	1.25	
				40	6	1.5	6	1	5	0.33333333	
				65	4	1.5	3	1	5	1.625	
				80	4	1.5	3	1	5	2	
				90	6	1.5	3	1	5	1.5	
		6.2		60	4	1.5	2	1	5	2.25	
2	2	6.2	12.9	50	4	1.5	3	1	5	1.25	
				25	9	1.5	3	1	5	0.27777778	
				95	4	1.5	3	1	5	2.375	
				60	9	1.5	3	1	5	0.66666667	
				20	9	1.5	4	1	5	0.16666667	
				75	6	1.5	6	1	5	0.625	
		12.9		60	12	1.5	6	1	5	0.25	
2	3	12.9	19.6	85	6	1.5	1	1	5	4.25	
				75	6	1.5	3	1	5	1.25	
				90	2	1.5	1	1	5	13.5	
				95	4	1.5	2	1	5	3.5625	
				100	2	1.5	1	1	5	15	
				85	4	1.5	3	1	5	2.125	
		19.9		95	4	1.5	1	1	5	7.125	
2	4	19.6	26.4	60	4	1.5	2	1	5	2.25	
				40	6	1.5	2	1	5	1	
				65	4	1.5	3	1	5	1.625	
				85	4	1.5	1	1	5	6.375	
				70	6	1.5	1	1	5	3.5	
				70	6	1.5	3	1	5	1.16666667	
		26.4		95	2	1.5	2	1	5	7.125	
2	5	26.4	33	0.943	95	2	1.5	1	1	5	14.25
		26.4	27.343	100	2	1.5	1	1	5	15	
		27.3	28.286	80	4	1.5	1	1	5	6	
		28.28571	29.229	45	9	1.5	2	1	5	0.75	
		29.22857	30.171	50	9	1.5	3	1	5	0.55555556	
		30.17143	31.114	25	12	1.5	4	1	5	0.15625	
		31.11429	32.057	55	6	1.5	2	1	5	1.375	
		32.05714	33								
2	6	33	37.5	0.9	30	9	1.5	6	1	5	0.16666667
		33	33.9	65	6	1.5	2	1	5	1.625	
		33.9	34.8	35	6	1.5	6	1	5	0.29166667	
		34.8	35.7	1	15	1.5	8	1	5	0.0025	
		35.7	36.6	1	15	1.5	8	1	5	0.0025	
		36.6	37.5								

Vedlegg C

Annet

C.1 Parametre til Q-verdi

1 Oppsprekkingstall (Rock Quality Designation)	pr. m3	RQD
A Meget sterkt oppsprukket	>27	0-25
B Sterkt oppsprukket	20-27	25-50
C Moderat oppsprukket	13-19	50-75
D Lite oppsprukket	8-12	75-90
E Meget lite oppsprukket	0-7	90-100

Anm.: i) Når RQD er ≤ 10 (inkludert 0), blir verdien 10 brukt ved utregning av Q-verdi
ii) RQD-intervaller på 5, dvs. 100, 95, 90 osv er tilstrekkelig nøyaktig

2 Tall for sprekkesett	J_n
A Massivt, ingen eller få sprekker	0,5-1,0
B Ett sprekkesett	2
C Ett sprekkesett + sporadiske sprekker	3
D To sprekkesett	4
E To sprekkesett + sporadiske sprekker	6
F Tre sprekkesett	9
G Tre sprekkesett + sporadiske sprekker	12
H Fire eller flere sprekkesett, meget sterkt oppsprukket, sukkerbitberg osv	15
E Oppknust berg, jordaktig	20

Anm.: i) Ved tunnelkryss brukes (3 x J_n)
ii) I portaler brukes (2 x J_n)

3 Sprekkeruhestall	J_r
a) Bergkontakt, og b) bergkontakt før 10 cm skjærdeformasjon	
A Diskontinuerlig, hakkete (ru eller glatte)	4
B Ru, bølgete	3
C Glatte, bølgete	2
D Glidespeil, bølgete	1,5
E Ru, plane	1,5
F Glatte, plane	1
G Glidespeil, plane	0,5

Anm.: Første del av beskrivelsen (Ru, glatt etc.) gjelder ruhet/glatthet
Andre del gjelder ujevnheter i støttestreorden dm, m.

c) Ingen bergkontakt ved skjærdeformasjon	
H Sprekkefylling med leir, silt, sand, grus eller knust berg tykk nok til å hindre bergkontakt	1

Anm.: i) Når sprekkeavstanden i det aktuelle sprekkesettet er mer enn 3 m adderes 1 til ruhestallet
ii) $J_r=0,5$ brukes for plane sprekker med glidespeil og lineasjon der lineasjon er orientert langs sannsynlig bevegelsesretning

4 Tall for sprekkefylling	Φ_r (ca)	J_a
a) Bergkontakt		
A Sammenvekste sprekker med harde mineraler som kvarts, feltspat, epidot		0,75
B Uomvandlede sprekkeflater, bare overflateoksidasjon	25-35°	1
C Svakt omvandlede sprekkeflater. Uoppbløtlig mineralbelegg, sandpartikler, oppknust berg, uten leir.	25-30°	2
D Siltig eller sandig sprekkebelegg, litt leir (ikke sveleleire)	20-25°	3
E Oppbløtlig leirbelegg med lav friksjon f.eks kaolinit eller glimmer. Også kloritt, talk, gips, grafit o.a. Kun små mengder sveleleire.	8-16°	4

b) Bergkontakt før 10 cm skjærdeformasjon (tynn mineralutfylling)		
F Sandige partikler, oppknust berg, ikke leir	25-30°	4
G Sterkt overkonsolidert (hardpakket), uoppbløtlig fylling av leirmateriale (kontinuerlig, tykkelse < 5 mm)	16-24°	6
H Middels eller litt overkonsolidert fylling av oppbløtlig leirmateriale (kontinuerlig, tykkelse < 5 mm)	12-16°	8
J Fylling av sveleleire (kontinuerlig, tykkelse < 5 mm). Ja-verdien avhenger av prosentvis innhold av sveleleire.	6-12°	8-12

c) Ingen bergkontakt ved skjærdeformasjon (tykk mineralutfylling)		
K Soner og bånd av knust eller desintegert berg og leir. Sterkt overkonsolidert (hardpakket) uoppbløtlig fylling.	16-24°	6
L Soner og bånd av knust eller desintegert berg og leir. Middels til litt overkonsolidert uoppbløtlig fylling.	12-16°	8
M Soner og bånd av leir eller knust eller desintegert berg. Ja-verdien avhenger av prosentvis innhold av sveleleire.	6-12°	8-12
N Tykke, kontinuerlige soner eller bånd med leir, silt eller sand. Sterkt overkonsolidert (hardpakket), uoppbløtlig.	16-24°	10
O Tykke, kontinuerlige soner eller bånd med leir. Middels til litt overkonsolidert, oppbløtlig.	12-16°	13
P Tykke, kontinuerlige soner eller bånd med leir. Ja-verdien avhenger av prosentvis innhold av sveleleire.	6-12°	13-20

5 Sprekkevannsfaktor	Jw
A Tørre bergrom, fukt eller spredte drypp	1
B Dryppregn, Stedvis utvasking av sprekkefylling.	0,66
C Stor innlekkasje eller høyt trykk i berg med sprekker uten fylling	0,5
D Stor innlekkasje eller høyt trykk. Utvasking av sprekkefylling.	0,33
E Meget stor innlekkasje eller vanntrykk ved utsprengning, avtagende med tiden.	0,2-0,1
F Meget stor innlekkasje eller vanntrykk. Ikke avtagende med tiden. Ofte utvasking av knust bergmasse	0,1-0,05

Anm.: i) Faktorene C til F er antatte. Jw-verdien økes når dreneringslittak blir utført
ii) Spesielle stabilitetsproblemer ved isdannelse er ikke vurdert

6 Spenningsfaktor	SRF		
a) Svakhetssoner som skjærer tunnelen og som kan medføre nedfall			
A Hyppig opptreden av svakhetssoner som inneholder leir eller kjemisk omvandlet berg. Avspent sideberg. Alle dybder.			10
B Hyppig opptreden av svakhetssoner i kompetente (stive) bergarter (uten leir). Avspent sideberg. Alle dybder.			7,5
C Enkle svakhetssoner med eller uten leir eller kjemisk omvandlet berg. Anleggets dybde ≤ 50 m.			5
D Ukonsoliderte, åpne sprekker, sterkt oppsprukket, sukkerbitberg. Alle dybder.			5
E Enkle svakhetssoner med eller uten leir eller kjemisk omvandlet berg. Anleggets dybde > 50 m.			2,5

Anm.: i) SRF-verdiene reduseres med 25-50% når svakhetssonene bare innvirker på stabiliteten, men ikke skjærer anlegget.

b) Harde, kompetente bergarter, bergtrykkproblemer	σ_1/σ_3	σ_2/σ_3	SRF
H Lave spenninger, åpne sprekker. Utfall av blokker pga. lav spenning. Vanligvis nær overflaten.	>200	<0,01	2,5
J Middels høye spenninger, gunstige spenningsforhold.	200-10	0,01-0,3	1
K Høye spenninger. Vanligvis gunstige stabilitetsforhold. Kan være ugunstig for veggstabilitet.	10-5	0,3-0,4	0,5-2
L Moderat avskalling etter mer enn 1 time i massivt berg.	5-3	0,5-0,65	5-50
M Avskalling og bergslag etter få minutter i massivt berg.	3-2	0,65-1	50-200
N Intenst bergslag og umiddelbart dynamisk deformasjonsbrudd i massivt berg.	<2	>1	200-400

Anm.: ii) I tilfeller med sterkt anisotrop, jomfruelig spenningsfelt (dersom målinger foreligger): når $5 \leq \sigma_1 / 10 \leq \sigma_3$, reduseres σ_c til $0,75 \sigma_c$. Når $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, reduseres σ_c til $0,5 \sigma_c$, hvor σ_c = enaksial trykkfasthet, σ_1 og σ_3 er henholdsvis største og minste hovedspenning og σ_a = maksimal tangentialspenning (antatt fra elastisitetsteorien).
iii) Når tunnelhengens dybde under fjelloverflaten er mindre enn spennvidden, økes SRF fra 2,5 til 5, unntatt ved høye horisontalspenninger (se H)

c) Tyeberg: plastisk flytning av inkompetente bergarter under påvirkning av høye spenninger	σ_2/σ_3	SRF
O Moderat tyeberg	1-5	5-10
P Intens tyeberg	>5	10-20

Anm.: iv) Tilfeller av tyeberg kan forekomme for dybder H>350 Q/1/3 (Singh et al., 1992). Bergmassenes trykkfasthet kan estimeres fra $s_{cm} \approx s_c/100 \times 0,7 \times g \times Q/1/3$ (MPa) hvor g = bergartens egenvekt i kN/m³, og s_{cm} = bergmassens trykkfasthet.

d) Svellende berg. Kjemisk sveleaktivitet som avhenger av tilgangen på vann		
R Moderat svelling		5-10
S Intens svelling		10-15

Anm.: For J_r og J_a brukes verdier fra det sprekkesettet som er mest ugunstig for stabiliteten både med hensyn til orientering og skjærstyrke, $\tau = \sigma_n \tan^{-1}(J_r/J_a)$. Velg sprekkesett eller diskontinuitet hvor utglidning mest sannsynlig vil skje.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$



C.2 Tilsynelatende fall

True dip



Apparent dip



Angle between strike and
apparent dip direction

