



Statens vegvesen

Geofysiske og geologiske undersøkelser i forbindelse med Eikrem tunneltrase, rv 70

RAPPORT

Teknologiavdelingen

Nr. 2624

Tunnel- og betongseksjonen
Dato: 2010-12-15



Statens vegvesen

Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep
0033 Oslo

Telefon: (+47 915) 02030

www.vegvesen.no

TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2624

Tittel

Geofysiske og geologiske undersøkelser i forbindelse med Eikrem tunneltrase, rv 70

Utarbeidet av

E. Dalsegg, A. Saintot og G.V. Ganerød, NGU

Dato:

2010-12-15

Saksbehandler

Mona Lindstrøm

Prosjektnr:

600550

Kontrollert av

Alf Kveen

Antall sider og vedlegg:

64 s. / 2

Sammendrag

Vegdirektoratet (ved Tunnel- og betongseksjonen) og Norges geologiske undersøkelse (NGU) har i perioden 2009 - 2011 et samarbeidsprosjekt med temaet forundersøkelser. Et mål er å finne metoder for forundersøkelser som gir mer informasjon og bidrar til større forutsigbarhet ved planlegging og bygging av tunneler. Denne rapporten inngår i en rapportserie utarbeidet i prosjektet.

Rapporten presenterer resultater fra geologisk og geofysisk kartlegging i forbindelse med Eikremtunnelen, rv 70 Øydegard - Bronneset i Møre og Romsdal.

Rapporten er utarbeidet av Norges geologiske undersøkelse (NGU-rapport 2010.006).

Summary

Emneord:

Tunnel, forundersøkelser

NGU Rapport 2010.006

Geofysiske og geologiske undersøkelser i
forbindelse med Eikrem tunneltrase, Rv 70
Øydegard-Brunneset, Tingvoll, Møre og
Romsdal

Rapport nr.: 2010.006		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Geofysiske og geologiske undersøkelser i forbindelse med Eikrem tunneltrase, Rv 70 Øydegard-Brunneset, Tingvoll, Møre og Romsdal				
Forfatter: Einar Dalsegg, Aline Saintot og Guri V. Ganerød		Oppdragsgiver: Statens vegvesen / NGU		
Fylke: Møre og Romsdal		Kommune: Tingvoll		
Kartblad (M=1:250.000) Kristiansund		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1321 II Kristiansund		
Forekomstens navn og koordinater: Eikremtunnelen 32V 450590 6986270		Sidetall: 67	Pris: 250,-	
Feltarbeid utført: Juni 2009		Rapportdato: 30.04.2010	Prosjektnr.: 329500	Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>
<p>Sammendrag:</p> <p>I samarbeid med Statens vegvesen har NGU utført geofysisk og geologisk kartlegging i forbindelse med Eikremtunnelen, Rv 70 Øydegard-Brunneset. Det er totalt samlet inn ca 2.8 km resistivetsdata fordelt på to profiler, som så er prosessert og tolket. Det er tatt hensyn til eksisterende geologiske og geofysiske data fra tidligere arbeid, og strukturgeologiske data fra kartlegging i tolkningen av de sammenstilte dataene. Den geofysiske kartleggingen med 2D resistivitet har påvist flere soner i berggrunnen enn det som er kartlagt på overflaten, og fdet er godt samsvar mellom påviste soner på overflaten og i resistivetsprofilene.</p> <p>Langs tunneltraseen forekommer det to hovedenheter av bergarter. I nordvest består berggrunnen av granittisk til diorittisk gneis, som er en enhet av god kvalitet med relativt lite sprekker og mindre utpreget foliasjon. Enheten i sørøst er svært sammensatt og består vekselvis av glimmerskifer, amfibolitt, kalksilikatskifer, metasandstein, kalkspatmarmor og paragneis, som er av dårligere kvalitet, er stedvis svært oppsprukket og er tydelig preget av foliasjonen. Bergartskontakten mellom de to geologiske enhetene er utsatt for forkastninger, forvitring og vannførende soner. Foliasjonen har generell trend NØ-SV strøketning og ca 40° fall mot NV. Andre strukturer som er observert i felt er (1) steile NØ-SV forkastninger og/eller sprekkesoner som er utviklet langsetter foliasjonen hvor foliasjonen er steilere enn 40°, eller forkastningssonene kutter foliasjonen der foliasjonen har moderat til slakt fall. (2) steile forkastninger og/eller sprekkesoner med en klar Ø-V trend som kutter foliasjonen. Disse to typene av strukturer er observert i blotninger og kan relateres til store strukturer og svakhetssoner som er kartlagt i resistivetsprofilene. I regional skala er det kartlagt to hovedtrender av lineament med fjernanalyse fra ortofoto, NV-SØ trend og NØ-SV trend som sammenfaller med foliasjonen.</p> <p>Resistivetsmetoden indikerer flere soner i berggrunnen enn det som er kartlagt på overflaten og vi kan angi bredde, fall og "kvalitet" på sonene. Det er godt samsvar mellom soner som er kartlagt med geofysikk i grunnen og kartlegging av forkastninger og sprekkesoner i felt. Ved å kombinere disse to formene for kartlegging kan vi med større sikkerhet angi strøk og fallretning av påviste soner, samt angi sonens karakter i form av utstrekning og omfang med tanke på vannføring og ustabilitet.</p>				
Emneord: Geofysikk		2D resistivitet	Tunnel	
Kartlegging		Berggrunnsgeologi	Sprekkesone	
Strukturgeologi		Tolkning	Fagrapport	

INNHold

1. INNLEDNING	6
2. KORT GEOLOGISK BESKRIVELSE AV OMRÅDET	7
3. GEOFYSIKK – METODEBESKRIVELSE	8
3.1 Målemetode	9
3.2 Utførelse	9
3.3 Strømstyrke og datakvalitet	9
3.4 Inversjon.	9
3.5 Tolking.....	10
4. GEOFYSISK KARTLEGGING	11
4.1 Resultater fra resistivitetmålingene.....	11
5. STRUKTURGEOLOGISK KARTLEGGING	18
5.1 Fjernanalyse av strukturer i området: lineamenter og foliasjon fra ortofoto	18
5.2 Strukturgeologisk feltarbeid: metoder	19
5.2.1 Bruk av stereoplott for å vise felldata	19
5.2.2 Felt data: oversikt over foliasjon og sprekkeretninger	20
5.3 Detaljert strukturell analyse av feltobservasjoner	22
5.3.1 Detaljert bilde av strukturgeologien i område A, sør for tunneltraseen	23
5.3.2 Detaljert strukturgeologi område B.....	31
5.3.3 Detaljert strukturgeologi område C.....	34
5.3.4 Detaljert strukturgeologi område D.....	37
5.3.5 Detaljert strukturgeologi område E	43
5.3.6 Detaljert strukturgeologi område F	47
5.3.7 Detaljert strukturgeologi område G.....	49
5.3.8 Detaljert strukturgeologi område H.....	50
5.4 Regional betydning av detaljert strukturstudie i forbindelse med Eikremtunnelen ..	56
6. SAMMENDRAG AV GEOLOGISK OG GEOFYSISK KARTLEGGING.....	57
7. KONKLUSJONER	63
8. REFERANSER	64

KARTBILAG

Oversikt over hvor 2D resistivitetmålingene er samlet inn langs tunneltraseen.....	71
--	----

1. INNLEDNING

Sommer 2009 foretok NGU (Norges geologiske undersøkelse) en geofysisk og geologisk kartlegging i samarbeid med SVV (Statens vegvesen) i forbindelse med den planlagte 1050 m lange tunneltraseen Eikrem på Rv 70 mellom Øydegard og Bronneset. Denne tunnelen er en del av prosjektet Stor-KRIFAST (Figur 1). Totalt 2,8 km (to profiler på 1400 m) langs tunneltraseen ble kartlagt med metoden 2D resistivitet. Strekningen er kartlagt fra nordvest til sørøst fra Øydegard til Tveekra (Figur 1). Hensikten med dette var å påvise og karakterisere svakhetssoner forut for tunneldrivingen. NGU vil poengtere at karakterisering av svakhetssoner ved hjelp av resistivitetsdata er en ny teknologi, og at dette prosjektet er et ledd i å bygge opp kompetanse på tolking av denne type data. I tillegg til resistivitesmålingene er området kartlagt geologisk med vekt på stukturer som sprekkesoner og forkastninger som kan gi både vannlekkasje og stabilitetsproblemer i tunnelen.



Figur 1. Oversiktskart over deler av tunnelprosjektet StorKriFast, Rv 70 Øydegard-Bronneset og den planlagte tunnelen Eikrem, i Møre og Romsdal fylke (kilde www.vegvesen.no).

Innenfor prosjektet "Miljø- og Samfunnstjenlige tunneler", som ble gjennomført i perioden 2001 til 2003, ble metoden 2D resistivitet introdusert som en interessant teknikk ved forundersøkelser for tunneler (Rønning, 2003). På grunnlag av målinger ved Lunnertunnelen, ble det foreslått en modell for karakterisering av svakhetssoner i fjell (Rønning m.fl., 2003). Under de rådende geologiske forhold, Oslofeltets intrusiver og sedimenter (Syenitt og sandstein) indikerte resistivitetsverdier høyere enn ca 3000 Ωm stabilt godt drivbart fjell; soner med resistivitet i området 1000 til 3000 Ωm store vannlekkasjer, mens i soner hvor resistiviteten var lavere enn 500 Ωm var det mindre vann og i tillegg var fjellet ustabil. I ettertid har NGU utført modellberegninger som viser at resistivitetsmetoden har muligheter for geometrisk karakterisering av svakhetssoner (Reiser et al., 2009). Disse modelleringene viser at metoden kan nyansere sonenes utstrekning mot dypet, sonenes bredde dagnært og i tillegg kan metoden indikere sonenes fall. Ut fra dette har en konkludert med at resistivitetsmetoden har et potensial for å lokalisere svakhetssoner i fjell og i tillegg foreta geometrisk og mineralogisk karakterisering av svakhetssoner. Det finnes også svakheter med

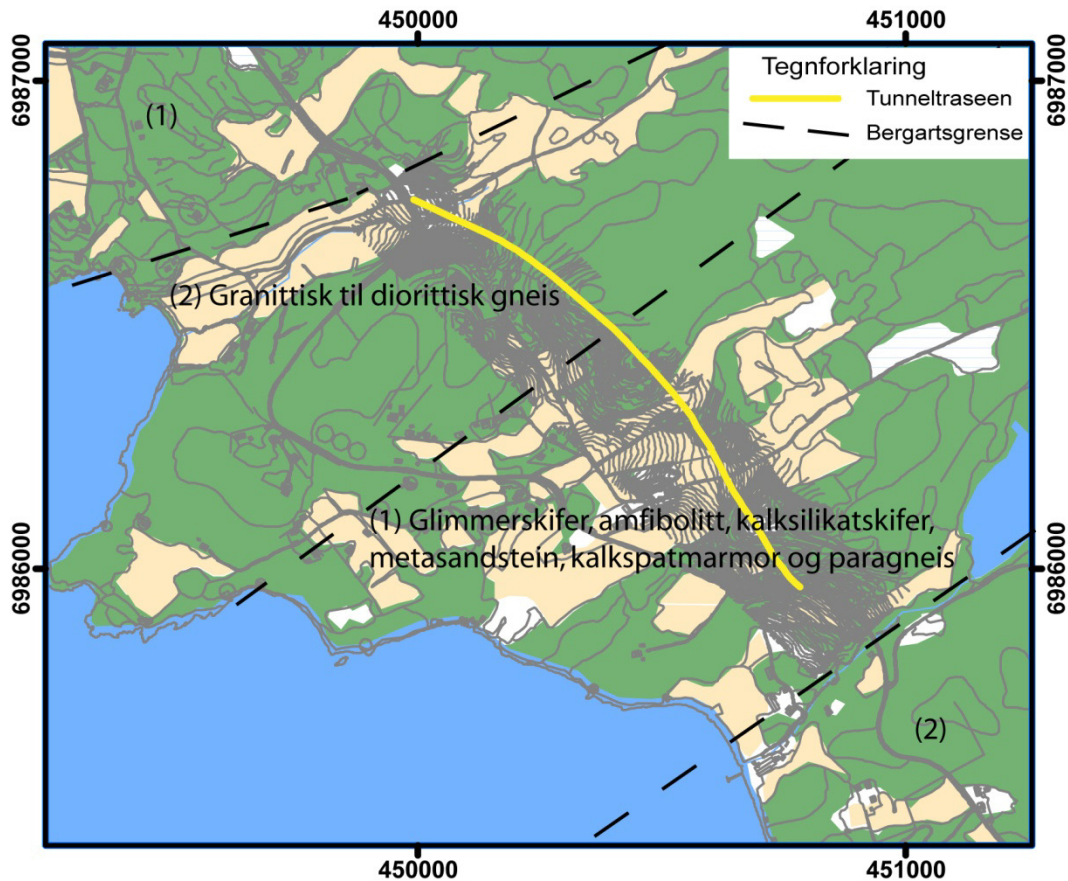
denne metoden. Lav resistivitet i ikke oppsprukket bergart gir lavere kontrast og tykt overdekke av godt ledende masser (leire) hindrer strømmen i å nå ned i fjellet. Begge disse effektene reduserer mulighetene for kartlegging av svakhetssoner. I tillegg har modellering vist at det kan oppstå kunstige effekter ved inversjonen av måledata.

Dataene er prosessert og tolket, og det er tatt hensyn til eksisterende og nyinnsamlede geologiske data fra kartlegging i tolkningen av de geofysiske dataene. Soner som er tolket til å være sprekkesoner eller forkastninger er lagt inn i profilene, og er vist som figurer. Plassering av sonene er i tillegg angitt i tabellform med koordinat langs måleprofilen og UTM-koordinat. I tillegg er tolket fall og fallretning på sonene gitt. Sonene er angitt med koordinater med +/- 5 m nøyaktighet, samt antatt fall på sonen, slik at det blir lettere å korrelere dataene til tunnelnivå. Profil 1 følger stort sett planlagt tunneltrase. Begrunnelsen for å måle profil 2 var at en da hadde mulighet for å kunne kartlegge retningen på de påviste sonene, og i tillegg var det på forhånd foretatt seismiske målinger langs denne traseen.

I tillegg til geofysiske undersøkelser ble geologisk feltarbeid utført for å få en bedre strukturgeologisk forståelse av området rundt tunneltraseen. I denne analysen er alle typer strukturer tatt med. De strukturelle data som i hovedsak er beskrevet her er (1) metamorf foliasjon og folding relatert til duktil deformasjon og (2) sprø deformasjon som utgjør sprekker (brudd) som blir klassifisert som sprekkesystem, sprekker med mineralisering, åpne tensjonsbrudd, forkastningsflater med striasjoner (indikasjon på bevegelse), og forkastningsbergarter som breksje og forkastningsmel (gouge). Strukturene er også sett i en større sammenheng i form av utstrekning og regional betydning. Med slike analyser får en oversikt av strukturenes betydning i området som igjen brukes til å tolke strukturer kartlagt med geofysiske metoder, som 2D resistivitet.

2. KORT GEOLOGISK BESKRIVELSE AV OMRÅDET

Det finnes to typer bergarter langs traseen for Eikremtunnelen; (1) en sammensatt bergart av glimmerskifer, amfibolitt, kalksilikatskifer, metasandstein, kalkspatmarmor og paragneis (gneis dannet fra sedimenter, Figur 2, Askvik & Rokoengen, 1985) av kaledoniske omdannede overflatebergarter fra Ertvågøygruppen og (2) en eldre granittisk til diorittisk gneis, som er stedege bergarter i grunnfjellet og stedvis er migmatittisk (blandingsbergart som er stedvis duktilt deformert). Bergartsgrensene sammenfaller med dalføret, hvor bergartsgruppe (1) ligger i dalene, mens bergartsgruppe (2) utgjør høydene i området.



Figur 2. Bergartene i tunnelområdet: (1) glimmerskifer, amfibolitt, kalksilikatskifer, metasandstein, kalkspatmarmor og paragneis og (2) en eldre granittisk til diorittisk gneis, som er stedege bergarter i grunnfjellet og som stedvis er migmatittisk. Bergartsgrensene er vist med svarte linjer og tunneltraseen med gul linje. Fra geologiske kart 1/250000 Kristiansund (Askvik & Rokoengen, 1985.) og 1/50000 Tingvoll (Bryhni et al., 1990).

3. GEOFYSIKK – METODEBESKRIVELSE

Ved denne undersøkelsen ble det foretatt måling av **2D resistivitet og induisert polarisasjon (IP)**. IP måles samtidig med resistivitetmålingene og fører til noe utvidet måletid. Dette er av mindre betydning i forhold til viktigheten av også å måle IP. Ved å kombinere de to metodene kan risiko for feiltolkninger reduseres. I det følgende blir metoden og utførelse kort beskrevet. En mer utførlig beskrivelse av metoden finnes på

<http://www.ngu.no/no/hm/Norges-geologi/Geofysikk/Bakkegeofysikk/Elektriske-metoder/>.

3.1 Målemetode

Et 2D resistivitetsprofil med de kabler som her er benyttet har en dybderekkevidde på ca. 130 meter. Oppløsningen avtar mot dypet og resistivitetsdata dypere enn ca. 80 meter er erfaringsmessig lite pålitelig. At sonene blir bredere i dypet er en kunstig effekt av inversjonsprosessen, og ikke en reel utvikling av sonen. Det er mer sannsynlig at sonene blir smalere i dypet pga økt omslutningstrykk med dypet. Inntil videre er det ikke vurdert å måle noen tverrprofil i området. Ut i fra overflatekartleggingen ser det ut til at de fleste sonene har en vinkel til profilet, og bør derved bli indikert på 2D resistivitetsprofilene.

Elektronisk ledende mineraler som sulfider, metalloxyder og grafitt kan gi økt elektrisk ledningsevne (reduert resistivitet), og derved gi anomalier av samme type som ved vannfylte svakhetssoner med eller uten leire. De nevnte mineralene gir utslag på IP-metoden, og ved å gjøre disse målingene kan faren for feiltolking reduseres.

3.2 Utførelse

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høgskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Systemet består av en releboks (Electrode Selector ES10-64) og to eller fire multielektrode kabler. Måleprosessen styres av et ABEM Terrameter SAS 4000 (ABEM 1999). Ved denne undersøkelsen ble det benyttet fire kabler på 200 meter og GRADIENT elektrodekonfigurasjon med 10 meters elektrodeavstand. Med dette utlegget oppnås en maksimal dybderekkevidde på ca 130 meter. Hele systemet kan flyttes langs profilet slik at utstrekningen av et profil er ubegrenset. Samlet vil en da ha en elektrodeavstand på 10 meter langs hele profilet med unntak for de første og siste 200 meterne hvor elektrodeavstanden er 20 meter. Størst oppløsning oppnås i de øverste 50 – 60 meterne.

3.3 Strømstyrke og datakvalitet

Strømstyrken for mesteparten av målingene lå i områdene 100 og 200 mA. Datakvaliteten var meget god, og kun et fåtall måledata måtte fjernes før inversjon.

3.4 Inversjon.

Ved alle resistivitetsmålinger måles en tilsynelatende resistivitet. Denne representerer et veid middel av alle resistiviteter som er innenfor målingens influensvolum. For å finne den spesifikke resistivitet i de ulike deler av undergrunnen må data inverteres. Dette utføres ved at bakken deles opp i blokker som tilordnes en bestemt resistivitetsverdi. Denne blir så justert i flere trinn (iterasjoner) inntil responsen fra den teoretiske modellen blir mest mulig lik de målte data.

Resistivetsmålingene ble invertert ved bruk av dataprogrammet RES2DINV (Loke, 2007). Det ble gjort forsøk med forskjellige inversjonsmetoder (Least Square og Robust) og det ble eksperimentert med forskjellige inversjonsparametre, dempningsfaktorer og forskjellige filtre. Dette ga ikke noen endringer i hovedtrekkene i de inverterte profilene, men mindre avvik i detaljer. Det er benyttet vertikal/horisontal-filter 2, som gjør at vertikale strukturer fremheves (Reiser et al., 2009).

3.5 Tolking

I et forsøk på å gjøre tolkingen mer anvendelig for ingeniørgeologer har vi kommet opp med en klassifisering hvor det er tatt hensyn til sonens dybde, bredde og resistivetsverdi. Klassene går fra 1 til 4, hvor 1 tilsvarer godt fjell, mens 4 antyder antatt problematisk fjell (se Tabell 1). Øket sonebredde antas å gi større problemer, og lav resistivetsverdi kan indikere leire på sprekke og derved ustabile forhold (Rønning et al., 2009). En slik karakterisering er gitt for begge resistivetsprofilene. Soner som er tolket til å være sprekkesoner eller forkastninger er lagt inn i resistivetsplottene, og plasseringen av sonene er i tillegg angitt i tabellform med koordinat langs resistivetsprofilene og UTM-koordinater. Her er også tolket fall og fallretning angitt. Hensikten er at med å koordinatfeste sonene på overflaten og angi fall vil det være mulig å projisere sonen ned i tunnelnivå. Sonene er angitt med koordinater med +/- 5 m nøyaktighet på overflaten. I tillegg angis om det kan være sulfider eller andre mineraler som kan forklare lave resistivetsverdier.

Tabell 1. Klassifisering av soner. Sonene som er indikert ved hjelp av 2D resistivitet er klassifisert i klasse 1-4 ut i fra dybde (A), bredde (B) og resistivitet (C) på sonen.

A - Dybde på sone	B - Bredde på sone	C - Resistivitet på sone	Klasse
0-20 m	0-10 m	>3000 ohmm	1
20-40 m	10-20 m	3000-1000 ohmm	2
40-60 m	20-40 m	1000-500 ohmm	3
> 60 m	> 40 m	< 500 ohmm	4

2D resistivetsmetoden viser fall på sonene, men det er usikkert om hvor korrekt fallgraden er og det er derfor valgt å angi fallet på sonen etter klassifiseringen "steil, moderat og slak", se Tabell 2 for inndeling av klassene. Selv om profilene er vist med horisontal og vertikal skala 1:1, trenger ikke fallet på sonene å være helt korrekt, samt at det er usikkerhet forbundet med nøyaktig hvor sonen vil skjære tunnelen.

Tabell 2. Klassifisering av fall på soner

Klassifisering	Fall
Steilt fall	80-90°
Moderat fall	45-80°
Slakt fall	<45°

4. GEOFYSISK KARTLEGGING

4.1 Resultater fra resistivetsmålingene

Resultatene av arbeidet er presentert i figurer og tabeller. Resistivetsmålingene er fremstilt i figurer med et fargeflott som gjenspeiler resistiviteten (det inverse av elektrisk ledningsevne i berggrunnen), hvor det er tatt hensyn til topografi. Fargeskalaen går fra lav resistivitet gitt i BLÅTT (50-500 Ωm) til høy resistivitet gitt i RØDT (15.000-40.000 Ωm). Rødt indikerer generelt godt fjell, mens blått indikerer dårligere fjell. Der det er påvist lavresistivitetssoner er disse nummerert og markert (stiplet sort) med angivelse av indikert fall.

Resistivetsmålingene påviste flere lavresistivitetssoner langs tunneltraseen (Figur 3, og profil 1 i Figur 4). I Figur 3 er resultatene sammenstilt i et oversiktskart, hvor de er sammenlignet med tidligere resultat for seismikk og overflatekartlegging. De fleste sonene er påvist både i profil 1 og i profil 2 (Figur 4 og Figur 5) slik at retningen på sonene kan bestemmes. Den generelle resistiviteten i området er stedvis lav, noe som gjør at for store deler av området er det forholdsvis liten kontrast mellom de påviste sonene og den omliggende bergart. Høyest resistivitet er påvist i starten av profilene hvor bergarten består av granittisk til diorittisk gneis. Den høye resistiviteten indikerer at bergarten er lite oppsprukket og vil trolig ikke skape problemer ved tunneldrivingen.

Sone A og B ligger inne i denne gneisen. I profil 1 (Figur 4) er sonene gitt en resistivitet på ca 500 Ωm , noe som indikerer at sonene kan inneholde leire på sprekkene. Som Figur 3 viser, er sone A markert både i profil 1 og 2 (Figur 4 og Figur 5). Det er her forholdsvis stor avstand mellom profilene (ca 160 meter), så denne sammentrekkingen er noe usikker. Resistiviteten i sone A i profil 2 er noe høyere enn i profil 1 (1000-1500 Ωm , Figur 5). Sonenes fall er i profil 1 indikert til tilnærmet steilt, mens i profil 2 er sone A indikert å ha et markert fall mot nord.

Det er tidligere utført refraksjonsseismiske målinger langs flere profiler i området (GeoPhysix 2008, Geomap 2007). Sone A og B er ikke dekket av seismikk langs tunneltraseen (profil 1, Figur 3). Sone A og B er antatt å ha NØ-SV strøk, og Sone B går parallelt med en sone som er kartlagt på overflaten og krysser tunneltraseen og profil 1 (Figur 3). Ved profil 2 er det flere parallelle soner med NV-SØ strøk som også er påvist med seismikk med blant annet en lavhastighetszone på 3400 m/s (Figur 3, GeoPhysix 2008, Geomap 2007)

I den sentrale delen av tunneltraseen består bergarten av amfibolitt/glimmerskifer. Den generelle resistiviteten i denne bergarten er vesentlig lavere enn i gneisen (< 5000 Ωm). Dette behøver ikke å bety at denne bergarten er mer oppsprukket, men at bergartens sammensetning gir en generell lavere resistivitet. Langs profil 1 ble det i dette området påvist fem soner (sone C, D, E, F og G), hvor sone D, E og G også er påvist i profil 2. Sone C ser ut til å være knyttet til bergartsgrensa mellom gneis og amfibolitt/glimmerskifer. Målingene indikerer et forholdsvis steilt fall mot sørøst, mens bergartsgrensa på Figur 5 er angitt med nordøstlig fall.

Sone D som også er påvist på begge profilene, indikerer på profil 1 sørøstlig fall mens den på profil 2 ser ut til å være tilnærmet steil. Sone D krysses av to parallelle seismikkprofiler. På det vestligste profilet faller sonen sammen med en bred lavhastighetszone, mens det andre seismikkprofilet ikke har indikert noen sone. Hva dette skyldes er uklart, men kan skyldes varierende oppsprekking langs sonen. Sonen ligger nær opptil en svakhetszone som tidligere er kartlagt på overflaten.

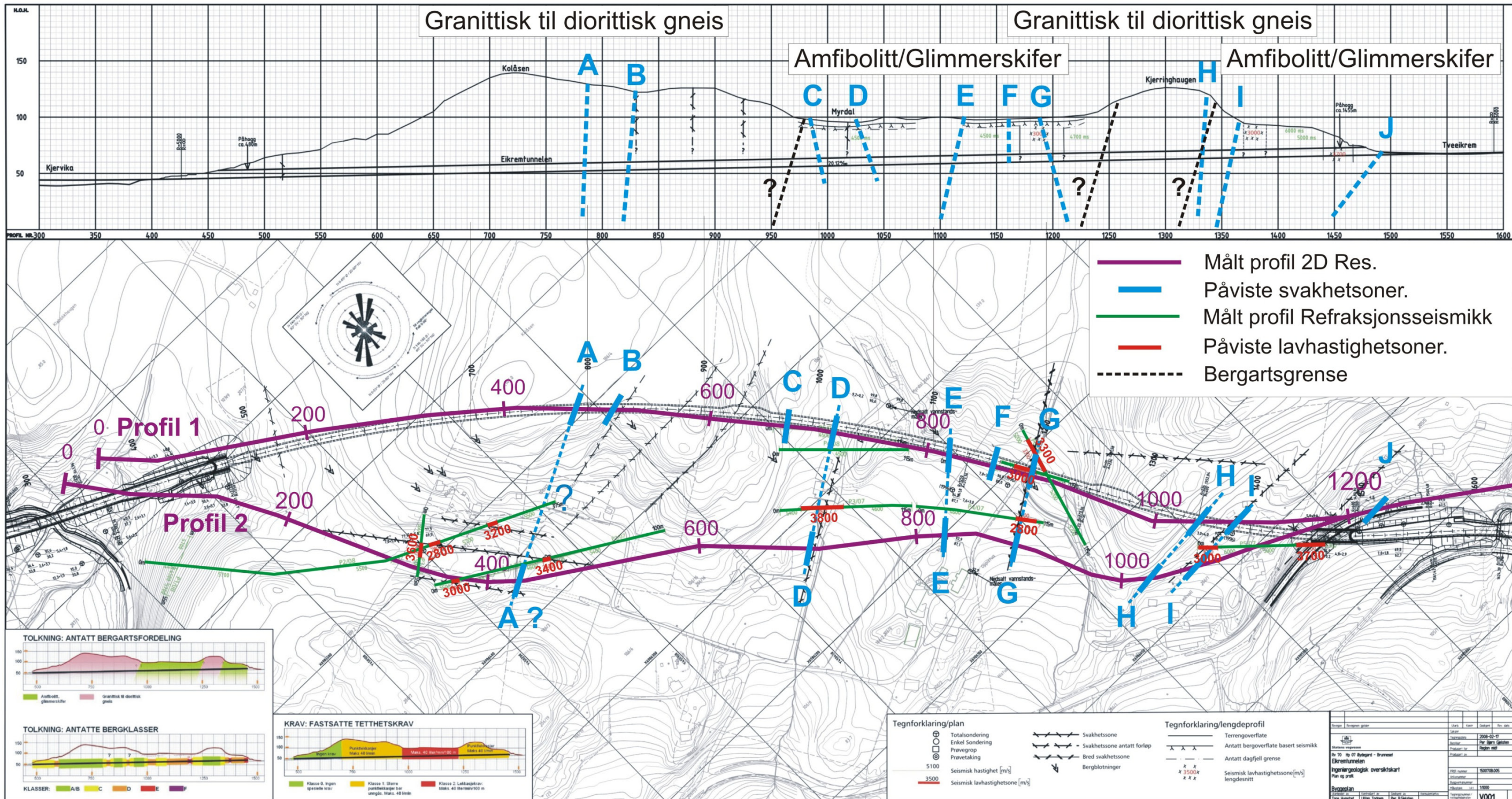
Videre mot sør i amfibolitt/glimmerskiferen er sone E og G mest markert (Figur 3). Sonene har en resistivitet på $< 500 \Omega\text{m}$, noe som mest trolig skyldes tilstedeværelse av leire på sprekke. Sonene er påvist på begge profilene, mens bare sone G er påvist på de seismiske målingene. Tre seismiske profiler krysser denne sonen og alle har indikert forholdsvis brede soner med hastigheter på 2800 – 3300 m/s. Sonen faller og sammen med en tidligere kartlagt svakhetszone. Fallet på sone E er for begge profilene indikert mot nordvest, mens sone G indikeres å ha et steilt fall mot sørøst.

I følge det geologiske kartet er det langs tunneltraseen videre mot sør igjen et parti med gneis (Kjerringhaugen, Figur 3). Dette området kommer også fram med noe høyere resistivitet på profil 1 (Figur 4). Den nordligste overgangen mellom bergartsgrensene har ikke gitt noen lavresistivitetssone, mens overgangen til gneis igjen på sørsiden faller sammen med sone H (Figur 3). Resistiviteten i sonen er ca. $1000\Omega\text{m}$, og med et tilnærmet steilt fall. Sonen er påvist på begge profiler, men er ikke dekket av seismikkprofil.

I bunnen av den bratte skrenten indikeres på profil 1 en markert sone med resistivitet på $< 500 \Omega\text{m}$, som er merket med I (Figur 3 og Figur 4). Resistivetsverdier under $500\Omega\text{m}$ er som tidligere nevnt indikasjon på leire på sprekke og kan derfor skape stabilitetsproblemer ved drivingen av tunnelen. Sonen faller sammen med en svakhetszone som tidligere kartlagt på overflaten (Figur 3). Sonen dekkes av et seismikkprofil og faller sammen med en lavhastighetszone på 3000 m/s.

Det er også indikasjoner på en svakhetszone ved ca. koordinat 1240 (Sone J i Figur 3). Da denne sonen ligger helt på flanken profilet med manglende data på dypet, er spesielt angivelsen av fallet mere usikkert enn vanlig. Sonen vil trolig ikke skape problemer da den i følge oversiktskartet ligger utenfor tunnelinnslaget.

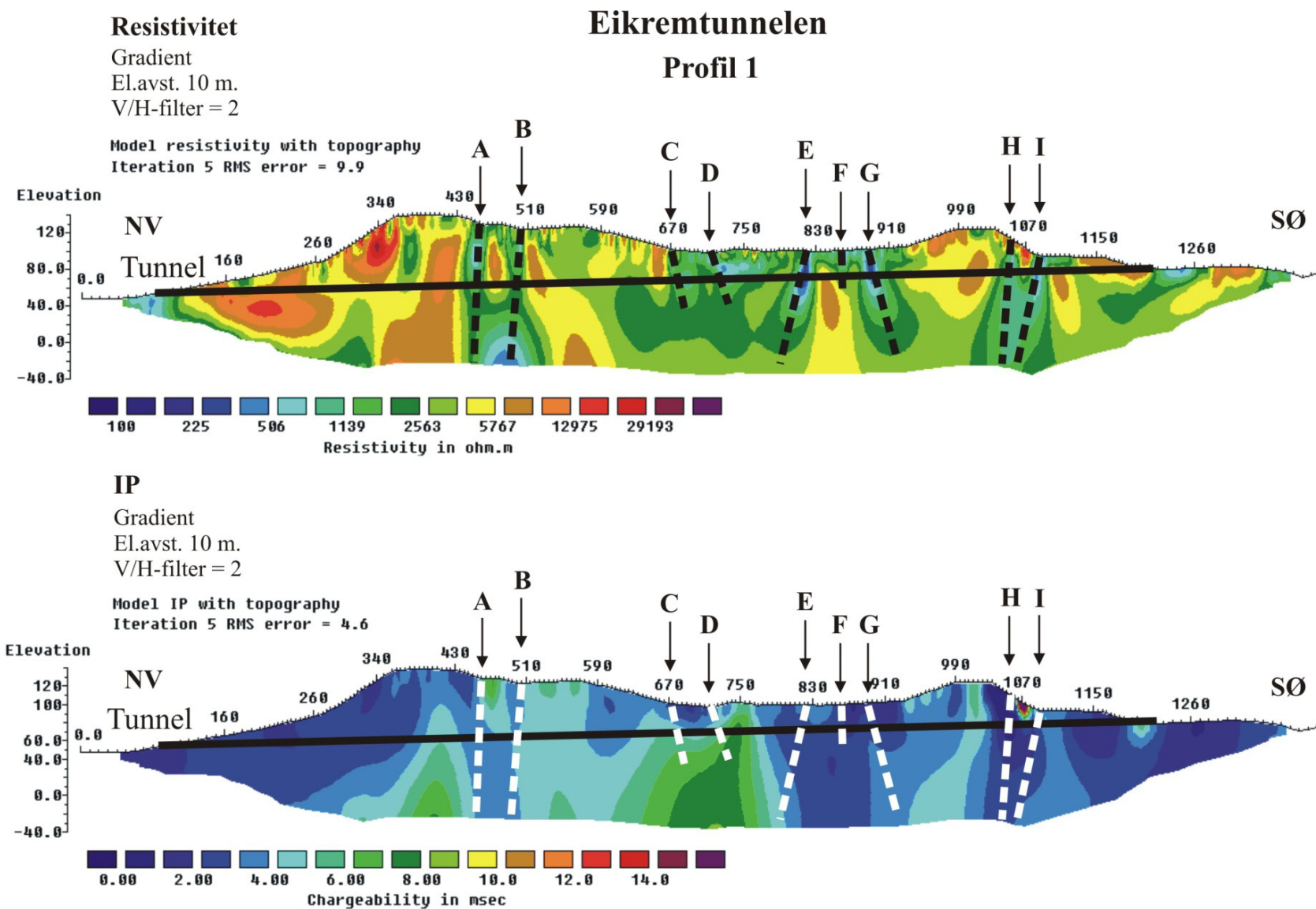
Som nedre del av Figur 4 og Figur 5 viser er det også målt IP på begge profiler. Som tidligere nevnt vil disse målingene kunne gi svar på om noen av lavresistivitetssonene skyldes elektronisk ledende mineraler. Det er noe variasjon i IP-effekten langs profilene, men denne er ikke stor nok til å skyldes noe vesentlig innslag av elektronisk ledende mineraler, områder med IP-effekt ser ikke ut til å vær knyttet til de påviste svakhetssoner. Dette tilsier at de lavresistivitetssonene som er påvist ikke er påvirket av ledende mineraler, men skyldes partier med økt oppsprekking med eller uten innslag av leire.



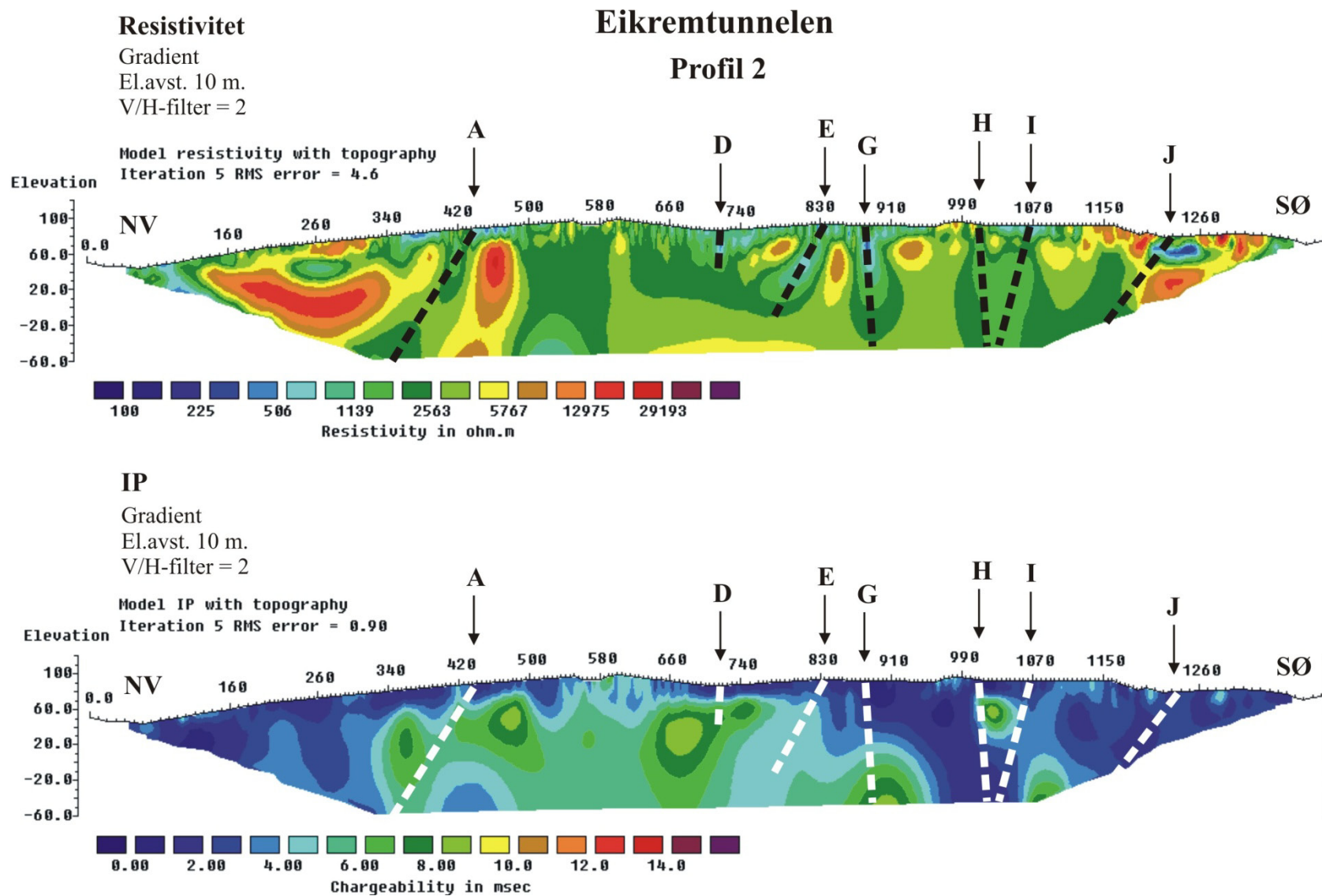
Figur 3. Kart over tunnelraseen som viser hvor sonene med lav resistivitet forekommer. Sonene med lav resistivitet er også tegnet inn i tverrsnittet til tunnelen med angitt fall (over).

Tabell 3: Karakterisering av soner påvist med 2D resistivitetsmetoden langs traseen til Eikremtunnelen.

ca profilnr. 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 profilnr. 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



Figur 4. Resistivitetsprofil 1, det nordligste profilet som følger tunneltraseen. Flere soner er kartlagt i profilet som er fortløpende gitt en bokstav for id.

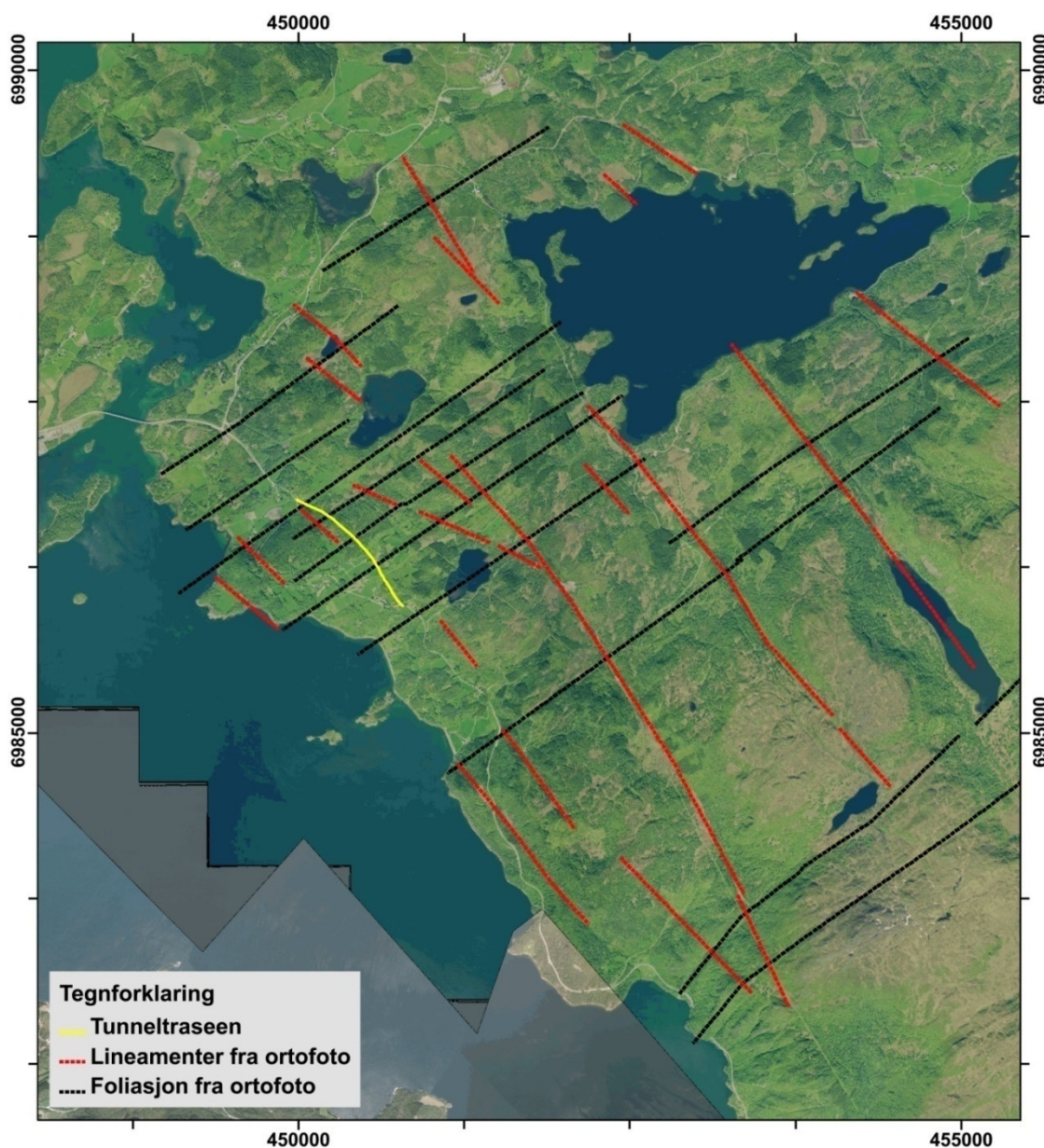


Figur 5. Resistivetsprofil 2, det sørligste profilet. Flere soner er kartlagt i profilet og er gitt en bokstav for id. Flere av sonene i profil 2 samsvarer med soner i profil 1.

5. STRUKTURGEOLOGISK KARTLEGGING

5.1 Fjernanalyse av strukturer i området: lineamenter og foliasjon fra ortofoto

De tilgjengelige geologiske kartene (geologiske kart 1/250000 Kristiansund og 1/50000 Tingvoll) viser en foliasjon i fjellet med NØ-SV strøk i området for tunneltraseen. En analyse av ortofoto tilgjengelig på www.norgebilder.no gir to hovedretninger på strukturer (Figur 6) som samsvarer med den velutviklede foliasjonen med strøk N055 og lineamenter med NV-SØ strøkkretning.



Figur 6. Analyse av ortofoto fra www.norgebilder.no viser to hovedstrukturer; en som følger foliasjonen med N055 strøk (NØ-SV) og lineamenter med NV-SØ strøkkretning i området for Eikremtunnelen.

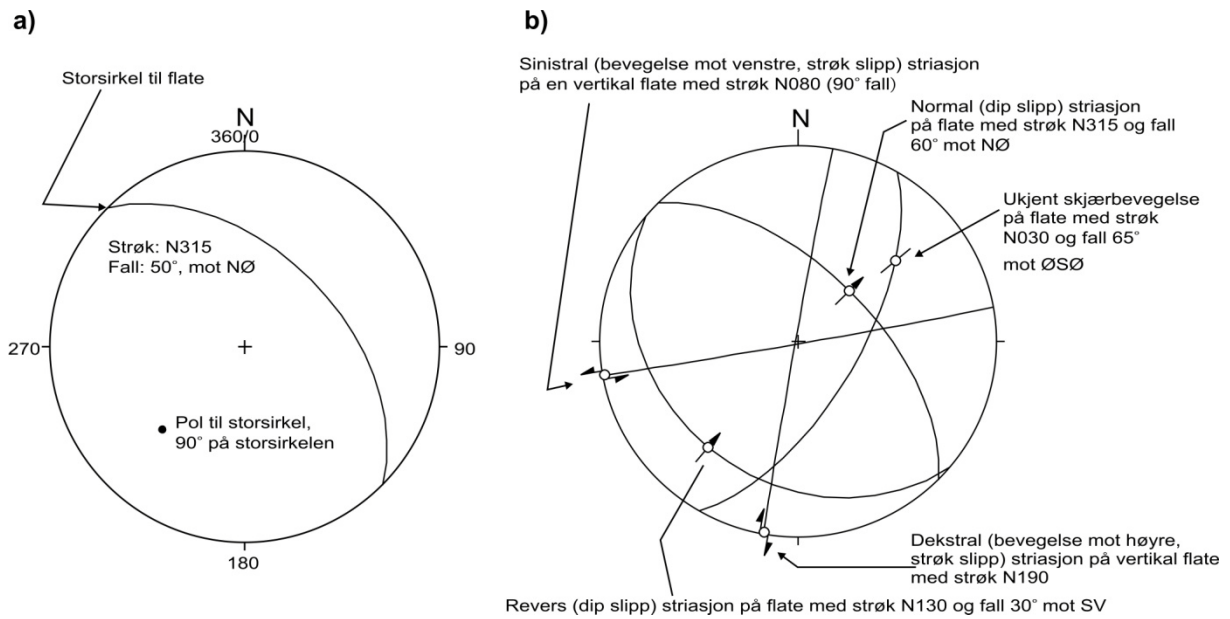
5.2 Strukturgeologisk feltarbeid: metoder

Feltarbeid langs deler av den planlagte traseen ble gjennomført i april 2009. Som grunnlag ble det brukt tilgjengelige geologiske kart og en foreløpig lineamentstolkning over området. Hovedhensikten med feltarbeidet var å få en oversikt over de viktigste strukturene (forkastninger, sprekker, ganger og foliasjon) i området langs traseen. Lokalitetene ble valgt ut på grunnlag av hvor det var tilgjengelige blotninger i rimelig nærhet til den planlagte traseen. I beskrivelsen er det brukt begreper i samsvar med det som er definert i Braathen & Gabrielsen (2000); se også Fossen & Gabrielsen (2005).

Videre er metoden for analyse av strukturgeologiske data forklart, med hensyn til bruk av stereonett og tilhørende symboler. Analysene som presenteres er basert på felldata. Kapitlet er inndelt i avsnitt som først beskriver en oversikt av strukturgeologi og hovedstrukturene i området (avsnitt 5.2.2), mens detaljert beskrivelse av lokaliteter i felt er gitt i avsnitt 5.3. Feltobservasjonene er oppsummert i avsnitt 5.4

5.2.1 Bruk av stereoplott for å vise felldata

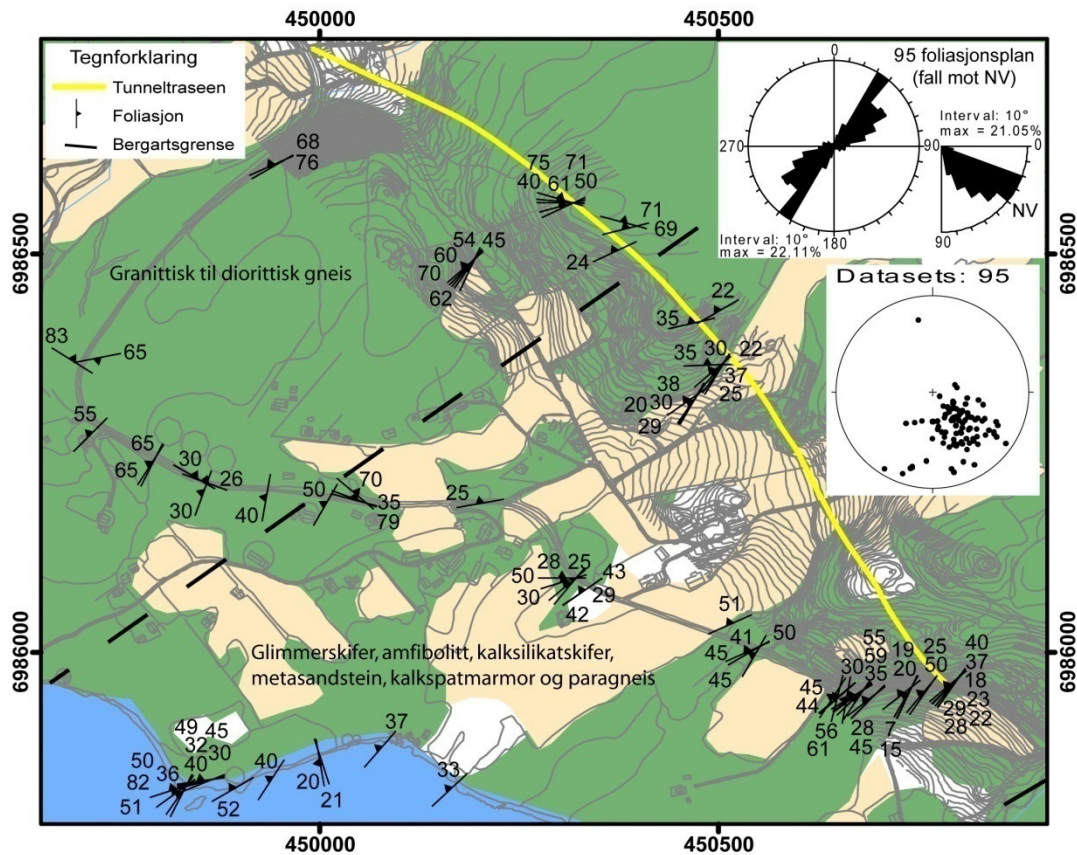
For visuell fremstilling av strukturelle data er stereonett, og da typen Schmidts projeksjon og nedre hemisfære, benyttet. Dette er en annen måte å fremstille romlige geometrier av strukturer enn rosedigram, samt at det gir en 3D forståelse av strukturene. Stereoplott fremstiller strøk og fall til flere sprekker i et plott, mens rosedigram kun angir retning på sprekken og ikke tilhørende fall. Rosedigram er derfor ansett som utilstrekkelig når en skal angi korrekt analyse av strukturer. En forkastning består gjerne av en eller flere glideflater som har striasjoner. Flere eksempler på glideflater er vist i figurene i avsnitt 5.3. Striasjoner er spor i bergflaten eller mineralbelegget som viser indikasjon på bevegelse. Slike striasjoner kan vise om bevegelsen av forkastningsblokkene er normal eller revers (dip-slip), det vil si opp eller ned, eller sidelengs bevegelse (strike-slip), det vil si bevegelse mot høyre eller venstre. I den følgende beskrivelsen vil det bli gitt detaljert analyse av planare strukturer vist som plan i stereonett (Figur 7).



Figur 7. Eksempel på stereonett for ulike strukturelementer, som sprekker, foliasjon, forkastninger/knusningssoner, ganger og glideplan med Schmidts projeksjon og undre halvkule. (a) projeksjon med storsirkel av en planar struktur (sprekk, gang, foliasjon, osv.) med strøk N315 og fall 50 grader (mot NØ), og tilhørende pol (svart prikk) av den samme flaten. (b) Forkastningsflater med striasjon; pil representerer striasjonen (lineasjon) på forkastningsflaten og bevegelsen av hengblokken med bevegelse innover tilsvare revers forkastning, mens utover bevegelse tilsvare normal forkastning. Doble piler: disse pilene indikerer sidelengs bevegelse (strøk-slipp), enten dekstral (høyre) eller sinistral (venstre) sidelengs forkastning. Linje uten pilhode representerer en striasjon hvor retningen (skjærbevegelsen) ikke er bestemt.

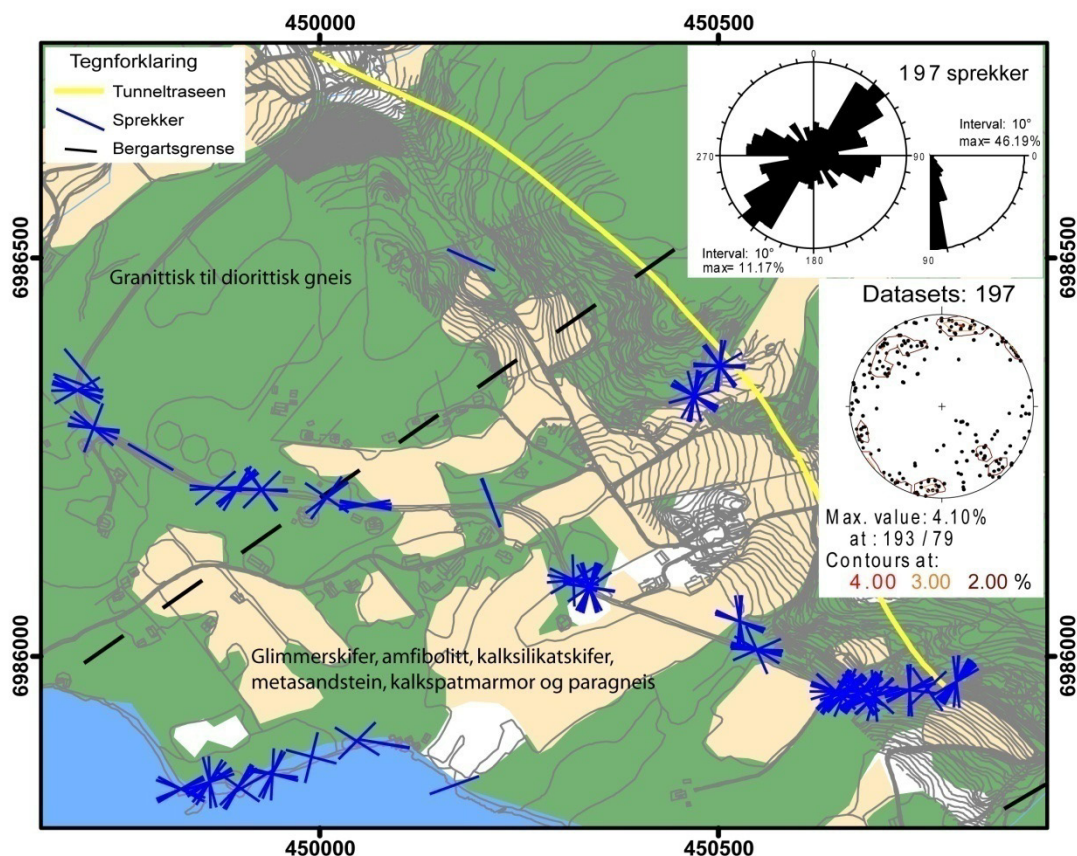
5.2.2 Felt data: oversikt over foliasjon og sprekkeretninger

Foliasjonen i området er ensartet i strøk (NØ-SV) og fall mot NV. Fallet er generelt slakt til moderat, mens NV i området blir fallet til foliasjonen steilere, over 60 grader, og utgjør de bratte skrentene i terrenget (Figur 8).



Figur 8. Kartlegging av foliasjonen i området. Feltnålinger er vist med strøk, fallretning og fall angitt i grader, vist med symbol og tall på kartet. Rosediagram av retning og fall (grader) og stereonett av polplott av 95 målte foliasjonsplan som samsvarer med kartet.

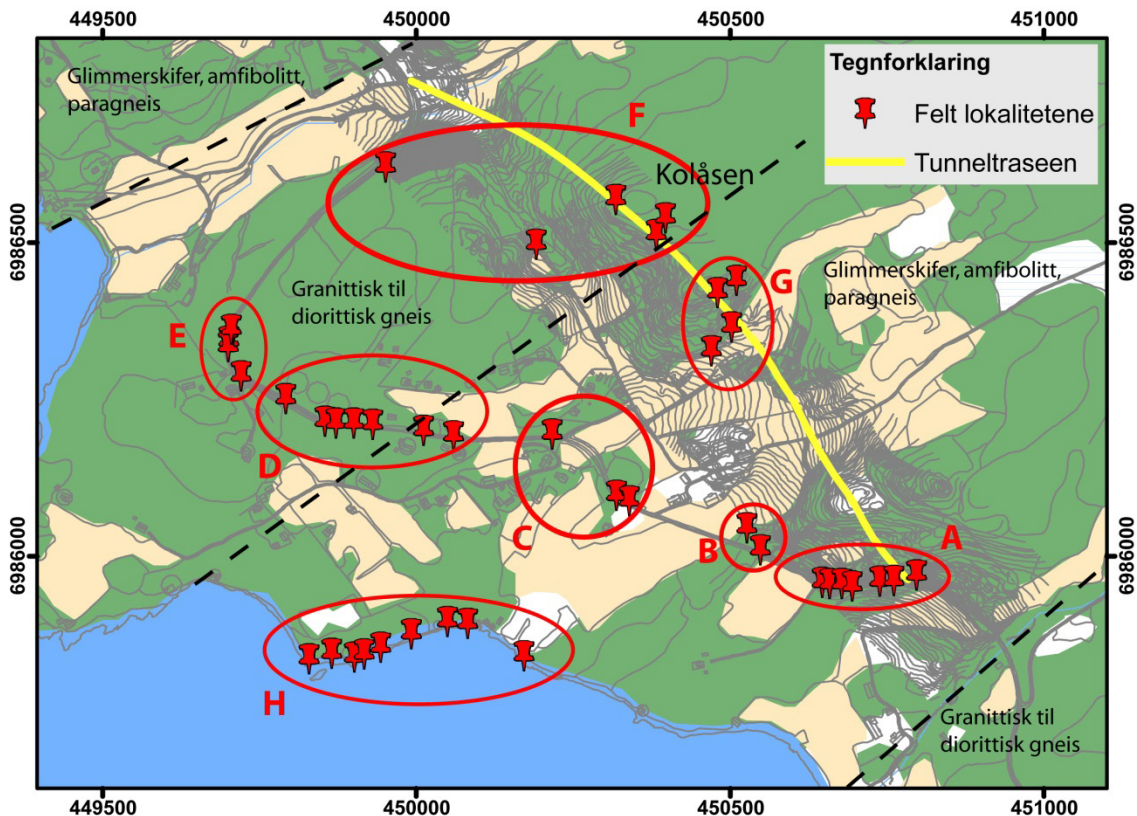
Spredningen i strøkretning av 197 sprekkene er vesentlig (se kontur plott i Figur 9), hvor fallet er generelt steilt og ca halvparten av de målte sprekkene har fall mellom 80-90 grader (se rosedigram i Figur 9). To hovedretninger av sprekkene dominerer som vist i rosedigrammet for hele datasettet: NØ-SV og VNV-ØSØ. Det sistnevnte kommer også tydelig frem i konturplottet for maksimale verdier (Figur 9), med et gjennomsnittlig strøk på N103 og fall 79°. NV-SØ retningen som kommer tydelig frem i fjernanalysen av ortofoto er også tydelig både i rosedigrammet og i kontur plottet (Figur 9).



Figur 9. Oversikt over de dominerende sprekkeseettene i området. Rosediagram og stereonett med polplott av 197 målte sprekker med tilhørende konturplott.

5.3 Detaljert strukturell analyse av feltobservasjoner

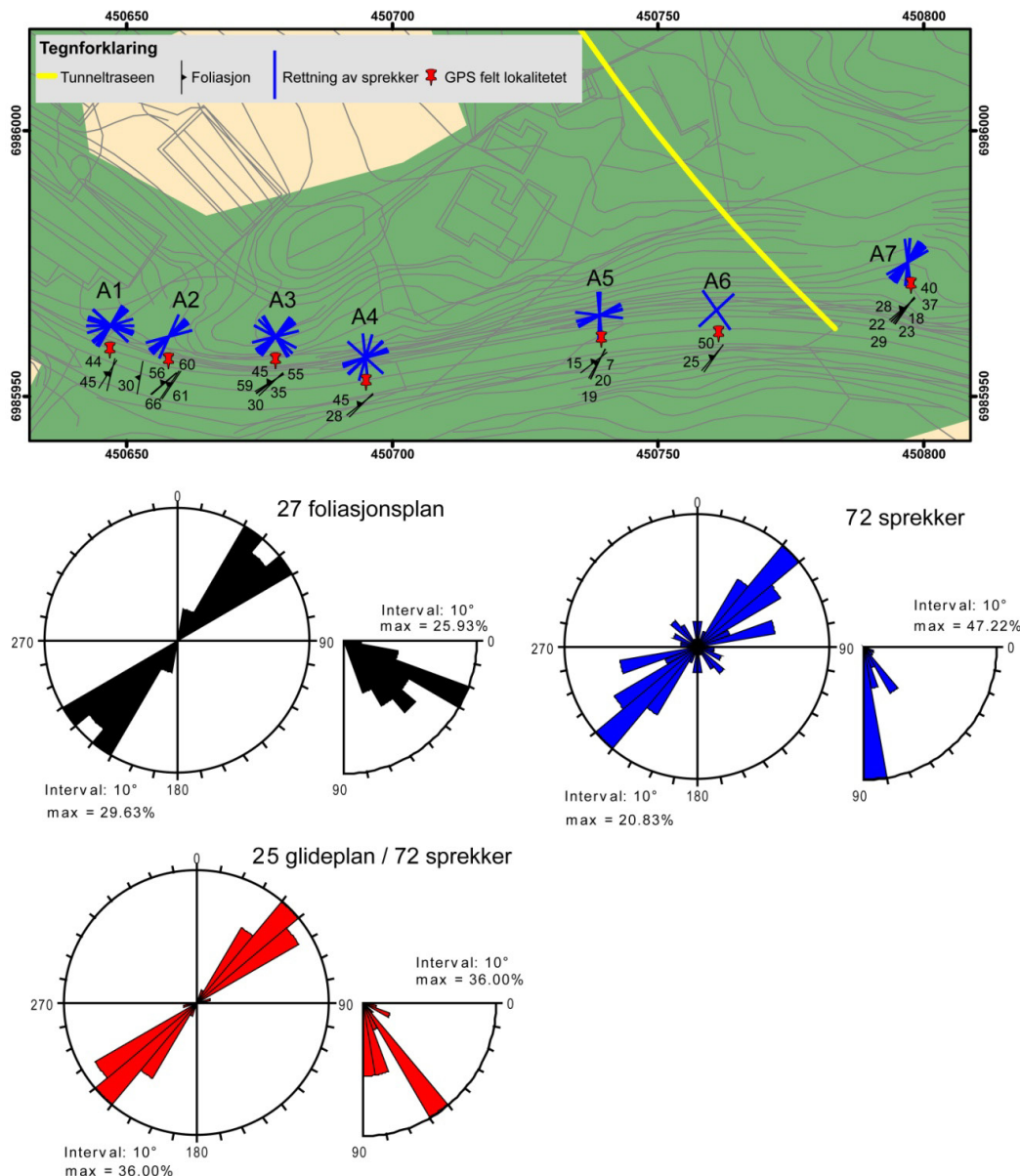
De fleste lokalitetene i felt er langs hovedveien på grunn av tilgjengelige blotninger i veiskjæringene (område A, B, C, D og E), men noen lokaliteter er også langs strandlinjen (område H) og i bratte skrenter ved Kolåsen (område F og G; Figur 10). I teksten under er strukturegeologien i området beskrevet, basert på feltobservasjoner og feltmålinger (henholdsvis navngitt A, B, C, ...til H i Figur 10) med en oversikt over strukturelle trender vist med rosedigram. I undergrupper, er trendene til strukturene ved enkelte lokaliteter vist med stereonett for fullstendig analyse av orienteringen av strukturene.



Figur 10. Feltlokaliteter vist med GPS posisjon som danner grunnlaget for den strukturelle analysen i området for Eikremtunnelen.

5.3.1 Detaljert bilde av strukturgeologien i område A, sør for tunneltraseen

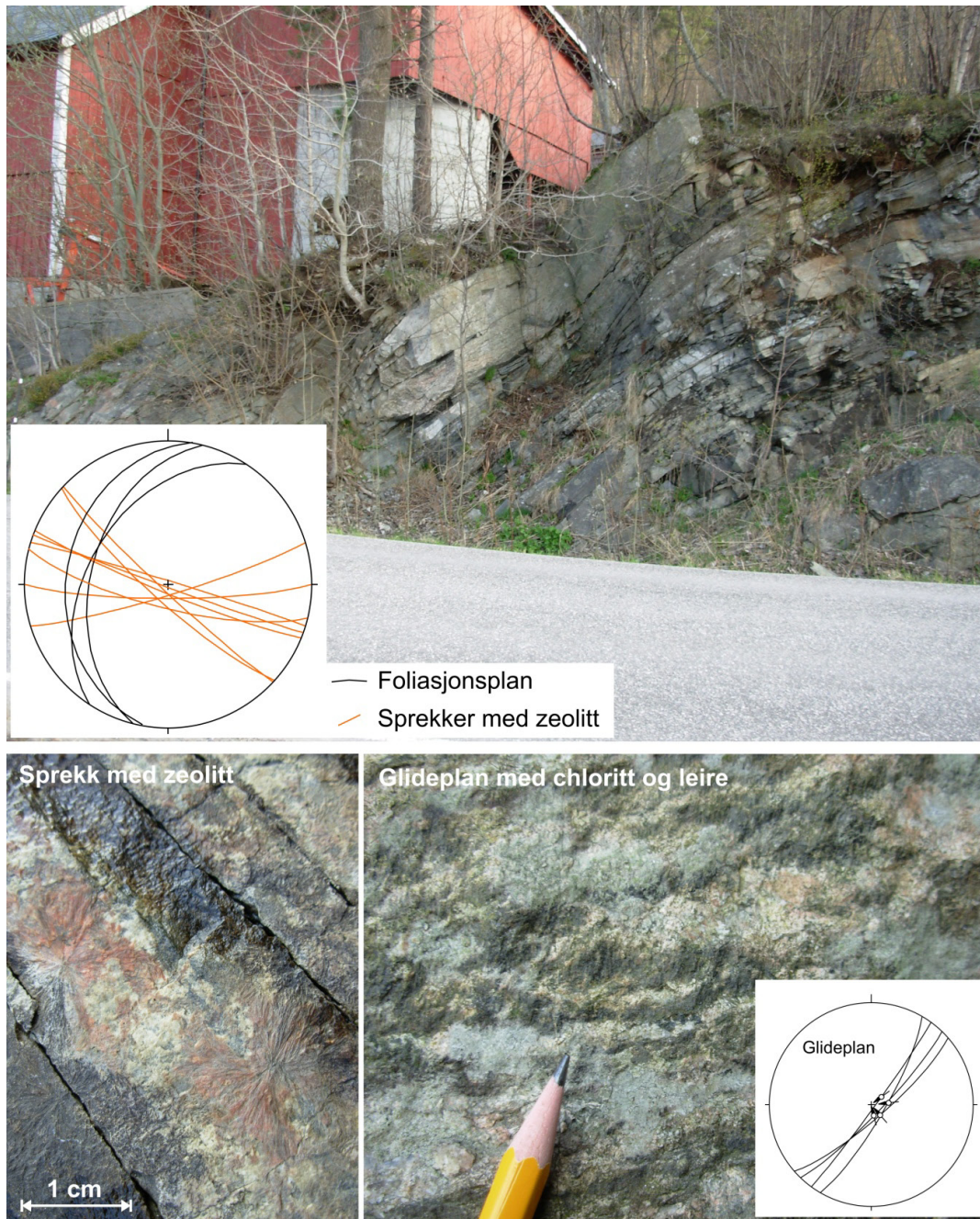
Blotningene er langs store veiskjæringer. Berggrunnen i område A består av amfibolitter, glimmerskifer, felsisk paragneis og granat-rik amfibolittisk gneis. De observerte strukturene har en generell NØ-SV trend (Figur 11). Foliasjonen i området er konsekvent med slakt fall mot NV (Figur 11). Sprekkene har generelt strøk parallelt med foliasjonen, men har steilere fall enn foliasjonen (Figur 11). Et stort antall forkastningsplan, hvor det er målt striasjon (slickensides) på 25 plan, har NØ-SV strøk og med 50° til 60° fall. De følgende avsnittene (5.3.1.1 til 5.3.1.7) gir en detaljert beskrivelse av observerte strukturer i område A med syv lokaliteter.



Figur 11. Strukturer i område A. (se Figur 10 for plassering). Kartet viser de 7 lokalitetene som utgjør område A, og som er beskrevet i detalj i teksten. Rosediagrammene viser trendene for foliasjonen, sprekker og glideplan.

5.3.1.1 Fra lokalitet A1 til lokalitet A2

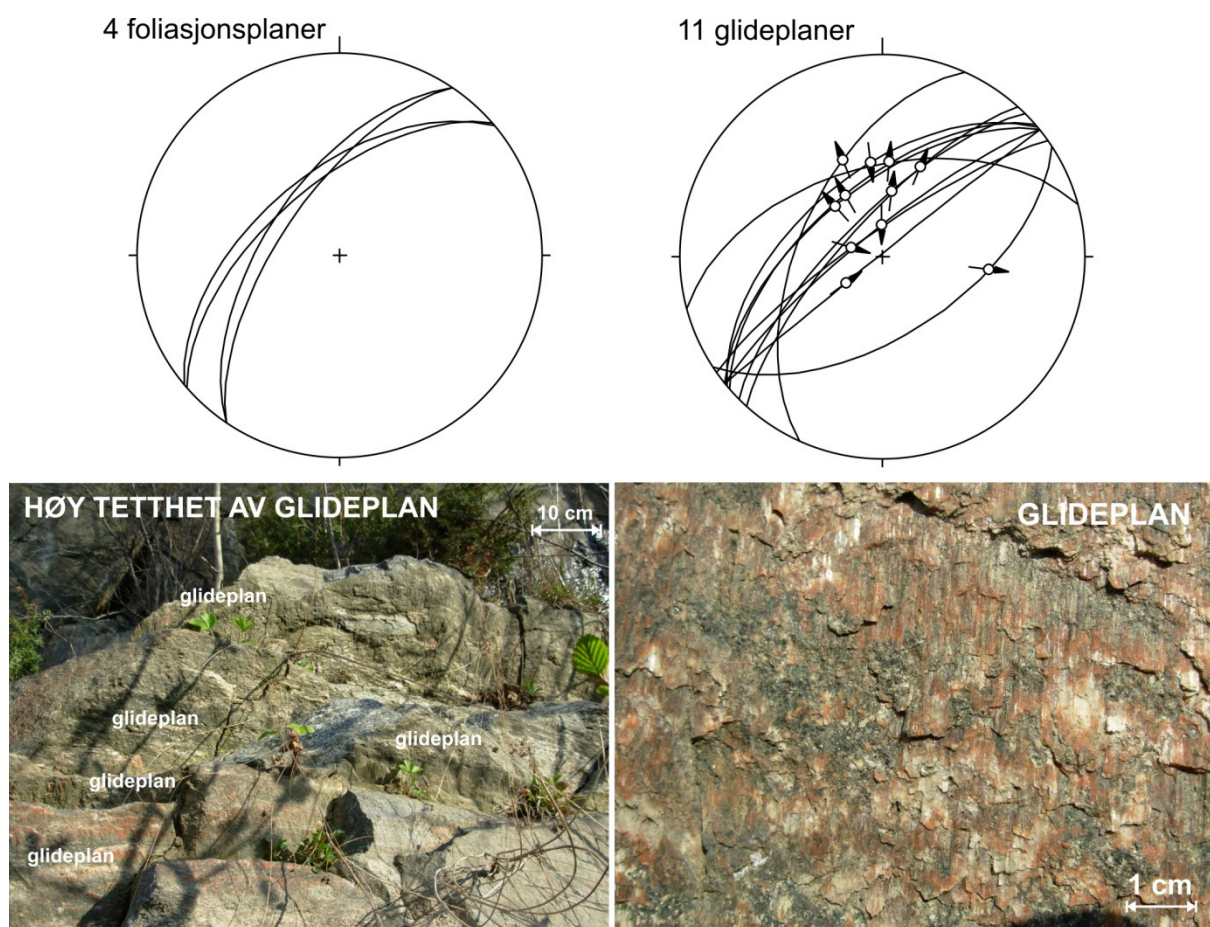
I blotningen mellom lokalitet A1 og A2 består berggrunnen lagvis av mafisk gneis og amfibolitt. Foliasjonen har NNØ-SSV strøk og ca 40° fall mot VNV (Figur 12). Steile tensjonssprekker med åpning har strøk fra ØNØ-VSV til NV-SØ, og er dekket av et belegg med zeolitt (Figur 12). Avstanden mellom de åpne tensjonssprekkene er ca 1 meter. Fire forkastningsflater med normal bevegelse (dip-slip) er identifisert hvor alle viser NØ-SV strøk og steilt fall. Disse forkastningsflatene har kloritt og leirmineraler på sprekkeflatene (Figur 12).



Figur 12. Strukturer mellom lokalitet A1 og lokalitet A2 (se Figur 11 for plassering). Øverst: Foto som viser foliasjon med moderat fall i en mafisk gneis, og tilhørende stereonett av foliasjon og tensjonssprekker målt i bløtningen. Nederst til venstre: en tensjonssprekk med VNV-ØSØ strøk, med zeolittbelegg. Nederst høyre: Nærbilde av striasjon (slickensided) forkastningsflate med leirmineral og tilhørende stereonett av glideflatene målt ved denne lokaliteten.

5.3.1.2 Fra lokalitet A2 til lokalitet A3

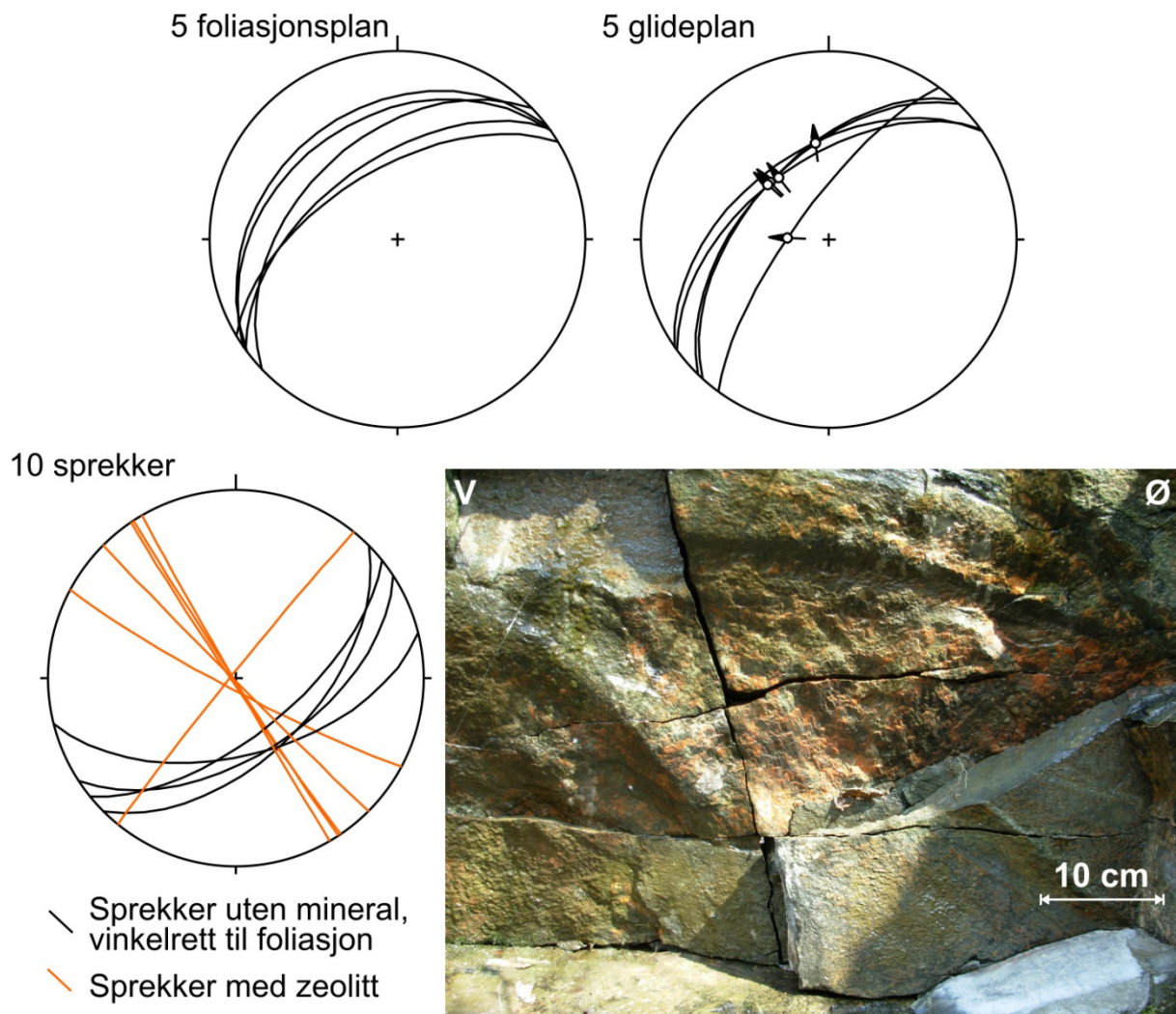
Foliasjonen ved denne lokaliteten er steil med NØ-SV strøk (Figur 13). Lokaliteten er karakterisert av mange forkastningsplan som er parallelle med foliasjonen, og har steilere fall eller samme fall som foliasjonen (Figur 13). På grunn av at foliasjonen har gunstig strøk og fall retning ble foliasjonen reaktivert som flater i en normalforkastning under den senere sprø deformasjonen. Denne lokaliteten viser at forkastningene sannsynligvis er styrt av den tidligere eksisterende foliasjonen, som her har gunstig strøk og fall for skjær bevegelse (reaktivering).



Figur 13. Strukturer fra lokalitet A2 til A3 (se Figur 11 for plassering). Øverst: stereonett av foliasjonen med steilt fall mot NV (venstre) og av 11 forkastninger med striasjon (slickensided, høyre). Nederst: foto som viser den høye konsentrasjonen av forkastningsflater (venstre) og en forkastningsflate som viser striasjon (slickensides) og steg (høyre).

5.3.1.3 Fra lokalitet A3 til lokalitet A4

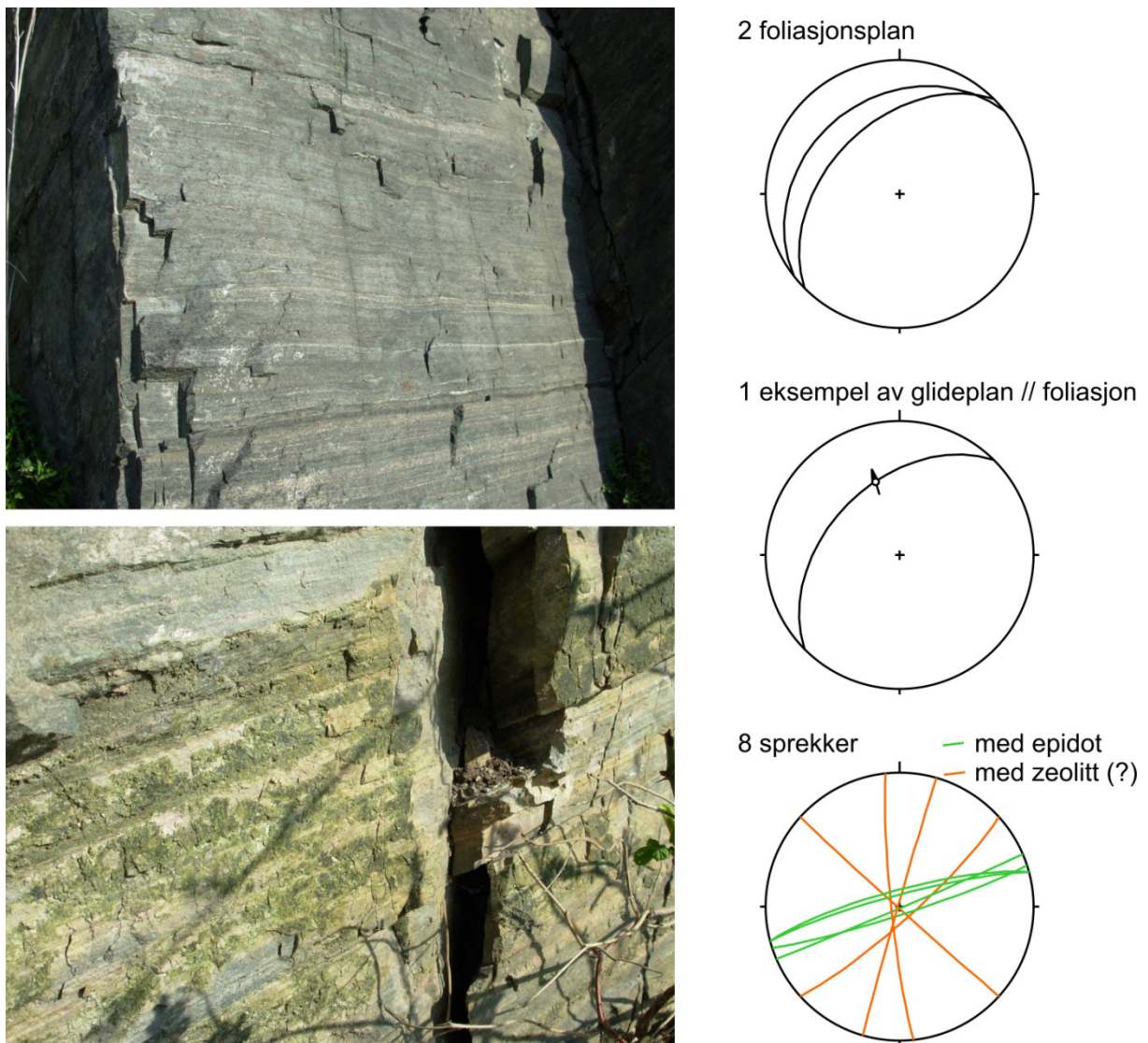
Foliasjonen faller her moderat mot NV og et sett med NV-SØ sprekker er utviklet vinkelrett på foliasjonen (Figur 14). Disse sprekke er åpne tensjonssprekker med zeolittbelegg, forekommer i intervall på 40 cm og dominerer i blotningen (Figur 14). Som beskrevet for området mellom lokalitet A2 og A3 er glideplan til forkastninger utviklet langs foliasjonen, hvor foliasjonen har en gunstig orientering for reaktivering av skjærbevegelse.



Figur 14. Strukturer fra lokalitet A3 til A4 (se Figur 11 for plassering). Øverst: stereonett av foliasjonen som har moderat fall mot NV (venstre) og stereonett av 5 foliasjonsparallele glideplan i en forkastning med striasjoner (slickensided, høyre). Nederst: stereonett av sprekker og åpne tensjonssprekker med zeolittbelegg (venstre) og bilde av en "typisk" stegvis glideflate med striasjon (høyre).

5.3.1.4 Fra lokalitet A4 til lokalitet A5

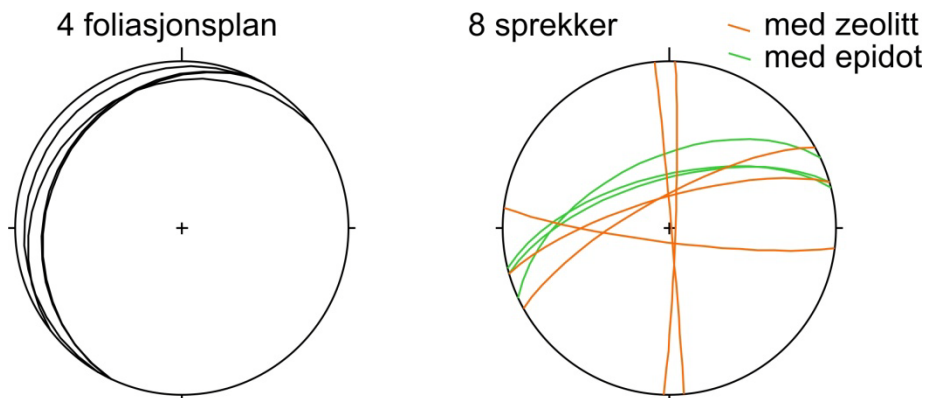
Berggrunnen består av svært mafisk bergart med enheter som er rik på granat (Figur 15) og tykke lag av amfibolitt. Glideplan med striasjoner (slickensides) er flertallig med et intervall på 2 m og de er utviklet parallelt til foliasjonen som her har en gunstig orientering for rekativering av skjærbevegelse (Figur 15). På østlige side av blotningen, mot lokalitet A5, flater foliasjonen ut og forkastningene blir mindre tydelige. Åpne tensjonssprekker med ØNØ-VSV strøk og epidotbelegg er markante strukturer ved denne lokaliteten (Figur 15).



Figur 15. Strukturer fra lokalitet A4 til A5 (se Figur 11 for plassering). Øverst til venstre: Bilde av mafisk enhet i berggrunnen, her med granatrike lag. Høyre: stereonett av foliasjonen som har slakt fall mot NV (øverst), midten; eksempel på glideflate med striasjoner (slickensided) som er parallell med foliasjonen, og åpne tensjonssprekker med zeolitt og epidott belegg (nederst). Nederst til venstre: bilde av en åpen tensjonssprekk med ØNØ-VSV strøk og steilt fall.

5.3.1.5 Lokalitet A5

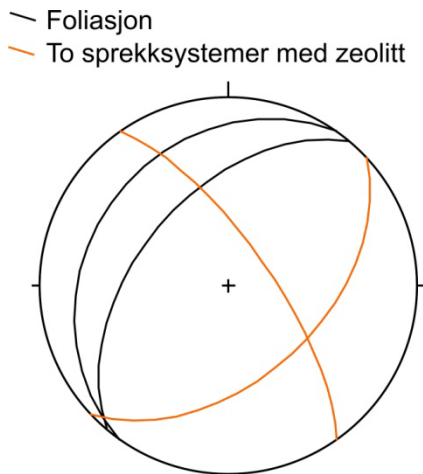
Berggrunnen ved lokalitet A5 består av lagvis felsisk gneis. Foliasjonen har slakt fall mot NV (Figur 16). Forkastninger med glideplan observeres ikke her. Dette bekrefter antagelsen i tidligere avsnitt om systematisk reaktivering av foliasjonsflater som forkastninger der hvor foliasjonsretningen er gunstig. Likevel, steile sprekker med ØNØ-VSV strøk og epidotbelegg og steile, åpne tensjonssprekker med ØNØ-VSV og N-S strøk og zeolittbelegg er fremdeles tilstedeværende.



Figur 16. Strukturer ved lokalitet A5 (se Figur 11 for plassering). Stereonett av foliasjon med veldig slakt fall mot NV (venstre) og av åpne tensjonssprekker med belegg av zeolitt og epidot (høyre).

5.3.1.6 Lokalitet A6

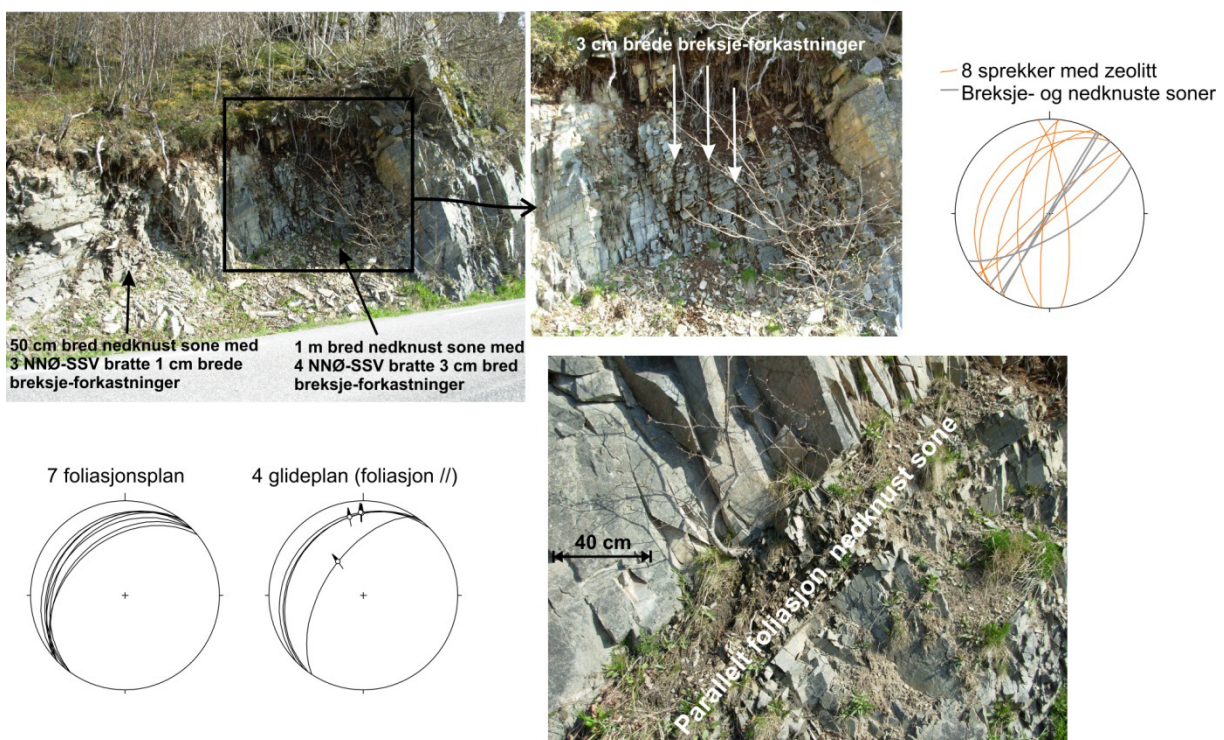
Bergartene ved lokaliteten er amfibolitt og glimmerskifer. Foliasjonen har moderat fall mot NV (Figur 17). To systemer av nær vertikale sprekker med zeolittbelegg karakteriserer lokaliteten. Begge sprekkesettene er nær vinkelrett på foliasjonen, det ene settet har strøkretning parallel med foliasjonen mens det andre settet har strøkretning vinkelrett på foliasjonen (Figur 17).



Figur 17. Strukturer ved lokalitet A6 (se Figur 11 for plassering). Stereonett av foliasjon med slakt fall mot NV og to markante systemer med åpne tensjonssprekker som har zeolittbelegg.

5.3.1.7 Lokalitet A7

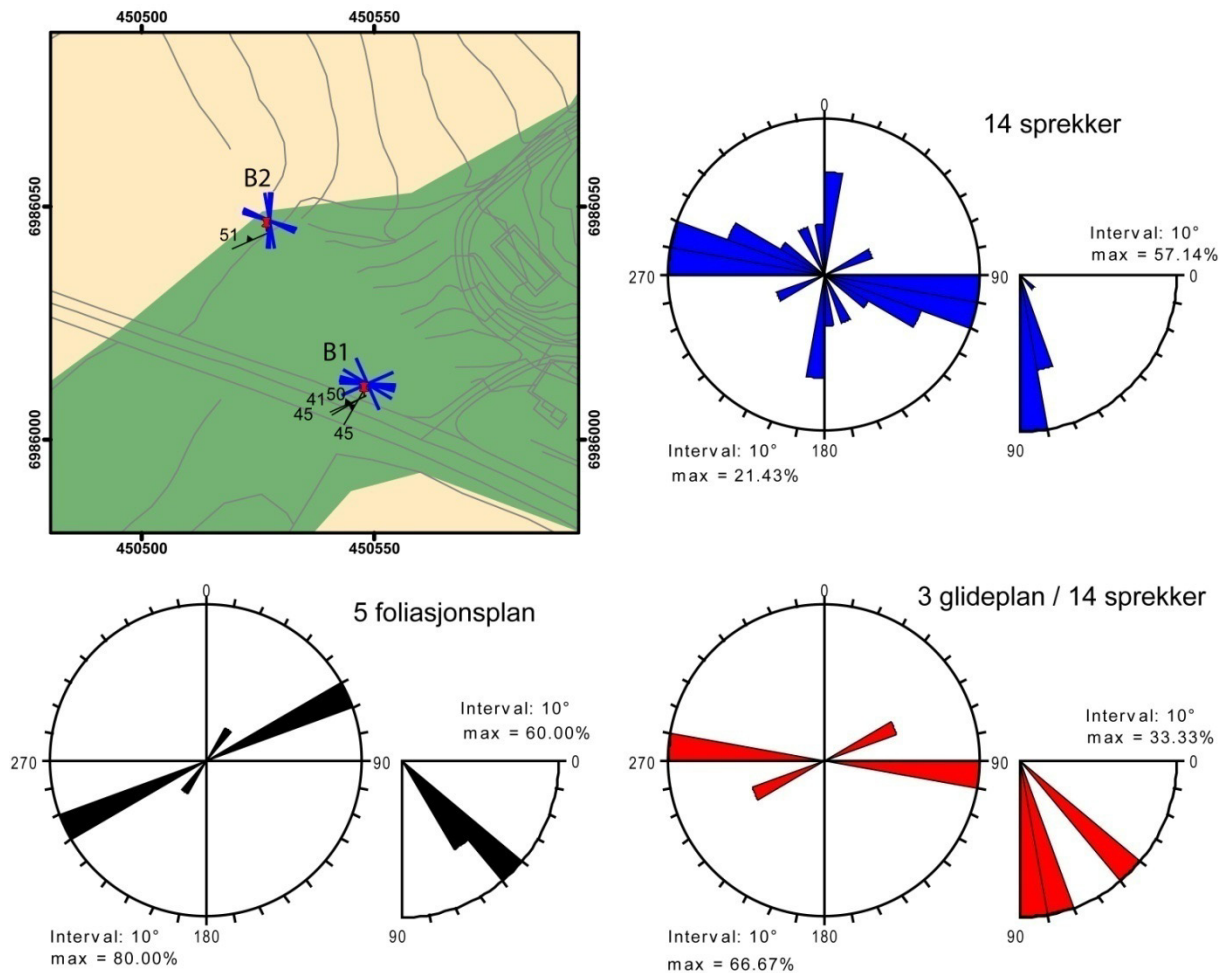
Ved lokalitet A7 er bergarten felsisk og består av tynne lag (Figur 18). Foliasjonen har slakt fall mot NV. Noen få foliasjonsparallele glideflater med striasjoner forekommer her (Figur 18). Sprekker med N-S strøk, steilt fall og zeolittbelegg er fremtredende (Figur 18). Tre 40 cm til ca. 1 m brede knusningssoner karakteriserer lokaliteten; to av knusningssonene er nær vertikale og skjærer foliasjonen og en 1-3 cm bred ikke-kohesiv breksjert forkastning med NNØ-SSV strøk og steilt fall forekommer i disse to knusningssonene (Figur 18). Den tredje knusningssonen er utviklet parallelt med foliasjonen i østlige ende av blotningen, hvor foliasjonen blir brattere til ca. 40° (Figur 18).



Figur 18. Strukturer ved lokalitet A7 (se Figur 11 for plassering). Øverst: bilder av knusningssoner som består av cm-skala ikke-kohesive breksjer i forkastningen, og stereonett av åpne tensjonssprekker med zeolittbelegg samt av knuste og breksjerte hovedsprekker. Nederst: stereonett av foliasjon med veldig slakt fall mot NV og av glideplan som er parallell med foliasjonen. Bilde av ca 40 cm bred knusningssone som er parallell med foliasjonen.

5.3.2 Detaljert strukturgeologi område B

Berggrunnen i område B består av mafisk gneis som har en foliasjon med moderat fall mot NV (Figur 19). Sprekkene er generelt steile og har Ø-V orientering (Figur 19). Detaljert informasjon om strukturgeologien ved lokalitet B1 og B2 er beskrevet nedenfor i avsnitt 5.3.2.1 og 5.3.2.2.



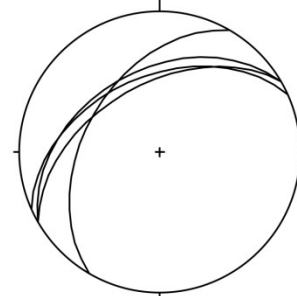
Figur 19. Strukturer i område B (se Figur 10 for plassering). Tegnforklaring til kartet øverst til venstre er den samme som for Figur 11. Kartet viser to lokaliteter i område B, som er beskrevet i detalj i teksten under. Rosediagramt viser foliasjonen, sprekker og 3 glideplan blant de målte sprekkene.

5.3.2.1 Lokalitet B1

Lokalitet B1 er en liten veiskjæring hvor berggrunnen består av mafisk amfibolitt-rik gneis i tynne lag. Foliasjonen har moderat fall mot NV (Figur 20). Steile sprekker med mineralisering har ca Ø-V strøk, og et velutviklet system av NV-SØ til NNV-SSØ sprekkesett deler opp berget. To steile forkastninger med Ø-V strøk og en forkastning som er parallell med foliasjonen er observert (Figur 20).

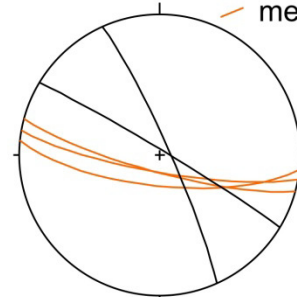


4 foliasjonsplan

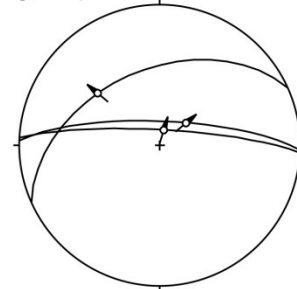


5 sprekker

— uten mineral
— med mineraler



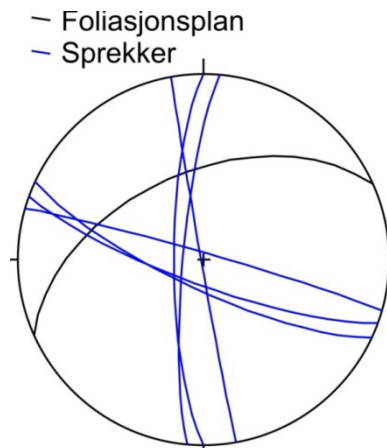
3 glideplan



Figur 20. Strukturer ved lokalitet B1 (se Figur 19 for plassering). Venstre: bilde av veiskjæringen (øverst) og bilde av et foliasjonsparallelt forkastningsplan som viser steg (nederst). Høyre: stereonett av foliasjon med moderat fall mot NV (øverst), av mineraliserte sprekker med ca. Ø-V strøk og av sprekkesettet med NV-SØ til NNV-SSØ strøkkretning (midten), og stereonett av glideplan til to forkastninger (nederst).

5.3.2.2 Lokalitet B2

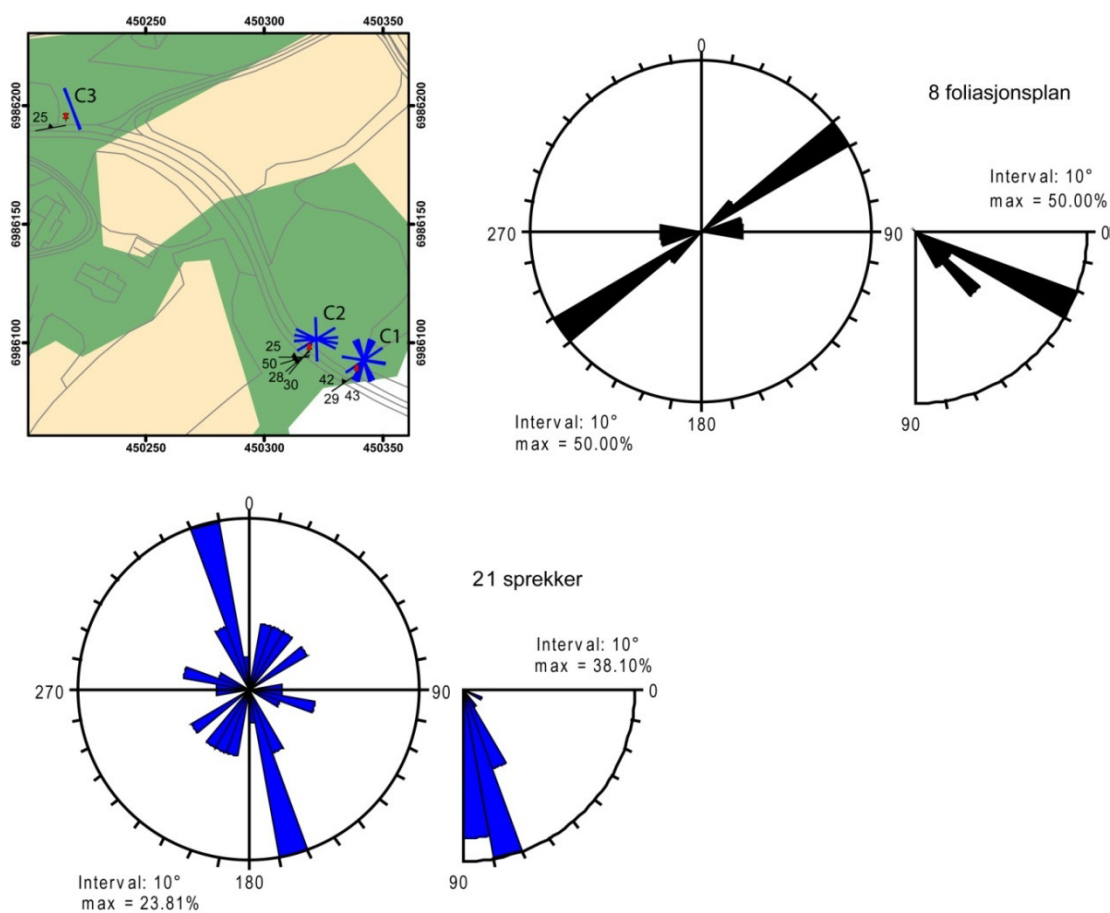
Blotningen er begrenset i utstrekning, men viser den regionale trenden for foliasjonen med moderat fall mot NV. I tillegg forekommer et tydelig konjugert system av VNV-ØSØ og N-S sprekker (Figur 21).



Figur 21. Strukturer ved lokalitet B2 (se Figur 19 for plassering). Stereonett av foliasjon med 50° fall mot NV og et velutviklet konjugert sprekkesystem med VNV-ØSØ og N-S strøkretning.

5.3.3 Detaljert strukturgeologi område C

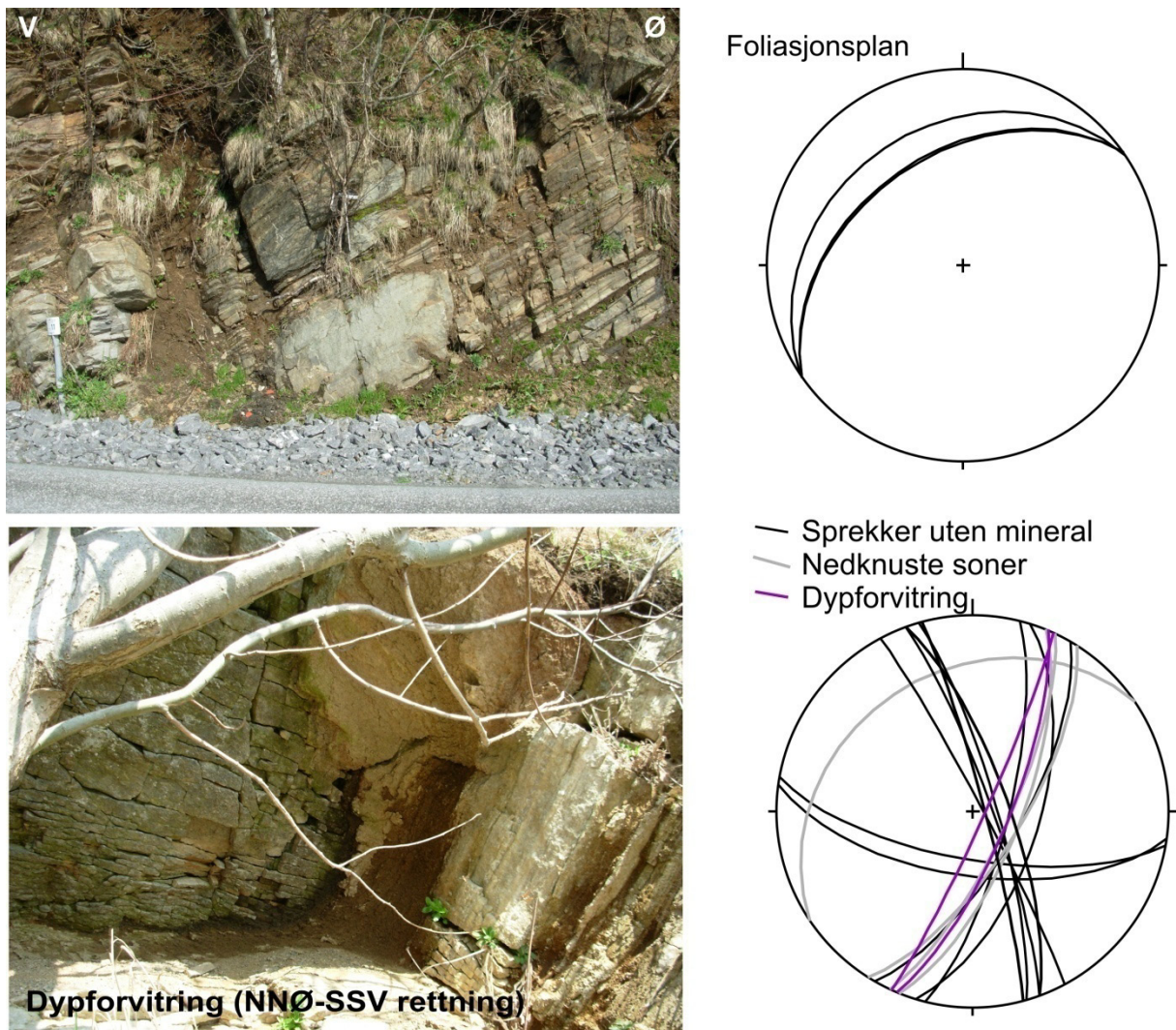
Blotningene i område C består av veiskjæringer med begrenset utstrekning. Berggrunnen er sammensatt av mafiske enheter som amfibolitt og granat-rik diorittisk gneis. Foliasjonen har slakt fall mot NV (Figur 22). Steile sprekker er observert og orientering på sprekkeene varierer, med en tydeligere NNV-SSØ trend (Figur 22). Detaljert beskrivelse av strukturgeologien ved tre lokaliteter i område C er gitt i avsnittene under 5.3.3.1, 5.3.3.2 og 5.3.3.3.



Figur 22. Strukturer i område C (se Figur 10 for plassering). Tegnforklaring til kartet er det samme som for Figur 11. Kartet viser tre lokaliteter i område C, som er beskrevet i detalj i avsnittene under. Rosediagram viser orienteringen til foliasjonen og sprekker i området.

5.3.3.1 Lokalitet C1

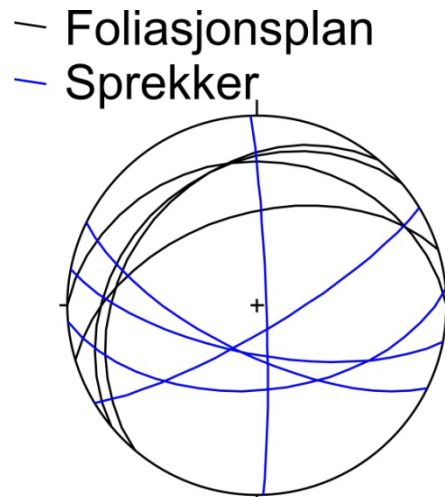
Ved lokalitet C1 er berggrunnen veldig lagdelt og foliasjonen har slakt fall mot NV (Figur 23). Tre steile sprekkesett med NNØ-SSØ, ØNØ-VSV og NNØ-SSV strøk deler opp berget (Figur 23). Langs et sprekkesett med ca. 70° ØSØ strøk er knusningssoner vanlig (Figur 23). Dette sprekkesettet kan ha høy sprekkefrekvens med opp til 8 sprekker pr meter. En bred knusningsone er observert langs en foliasjonsflate med ca 45° fall (Figur 23). Ved sørøstlig ende av blotningen er en sone med dypforvitring observert, som også følger sprekkesettet med NNØ-SSV strøk og steilt fall (Figur 23).



Figur 23. Strukturer ved lokalitet C1 (se Figur 22 for plassering). Venstre: bilde av blotningen viser hvor lagdelt berget er, og den høye tettheten av sprekker med 70°fall mot ØSØ (øverst) og en sone med dypforvitring langs en steil sprekk med NNØ-SSØ strøk (nederst). Høyre: stereonett av foliajon med slakt fall mot NV (øverst) og nedenfor stereonett av (1) tre steile sprekkesett med NNØ-SSØ, Ø-V og NNØ-SSW orientering, (2) knusningssoner som er parallelle med foliasjonen og det steile sprekkesettet med NNØ-SSV trend, og (3) sonen med dypforvitring langs sprekkesettet med NNE-SSV strøk (bilde nederst til venstre).

5.3.3.2 Lokalitet C2

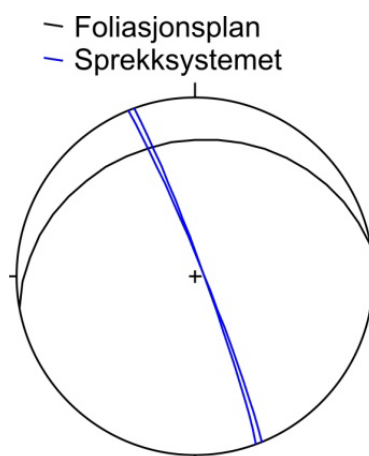
Berggrunnen ved lokalitet C2 består av enheter med amfibolittisk og granat-rik mafisk gneis. Foliasjonen har slakt fall mot N til NV (Figur 24). To nær vertikale sprekkesett er observert med N-S og NØ-SV strøk (Figur 24). Et godt utviklet sprekkesett med ca. 65° fall mot S er den mest fremtredene strukturen ved lokaliteten (Figur 24). En av sprekkeflatene er belagt med zeolitt.



Figur 24. Strukturer ved lokalitet C2 (se Figur 22 for plassering). Stereonett av (1) foliasjon med veldig slakt fall mot N til NV, (2) to nær vertikale sprekkesett med N-S og NØ-SV strøk og (3) et sprekkesett med ca. 65° fall mot S.

5.3.3.3 Lokalitet C3

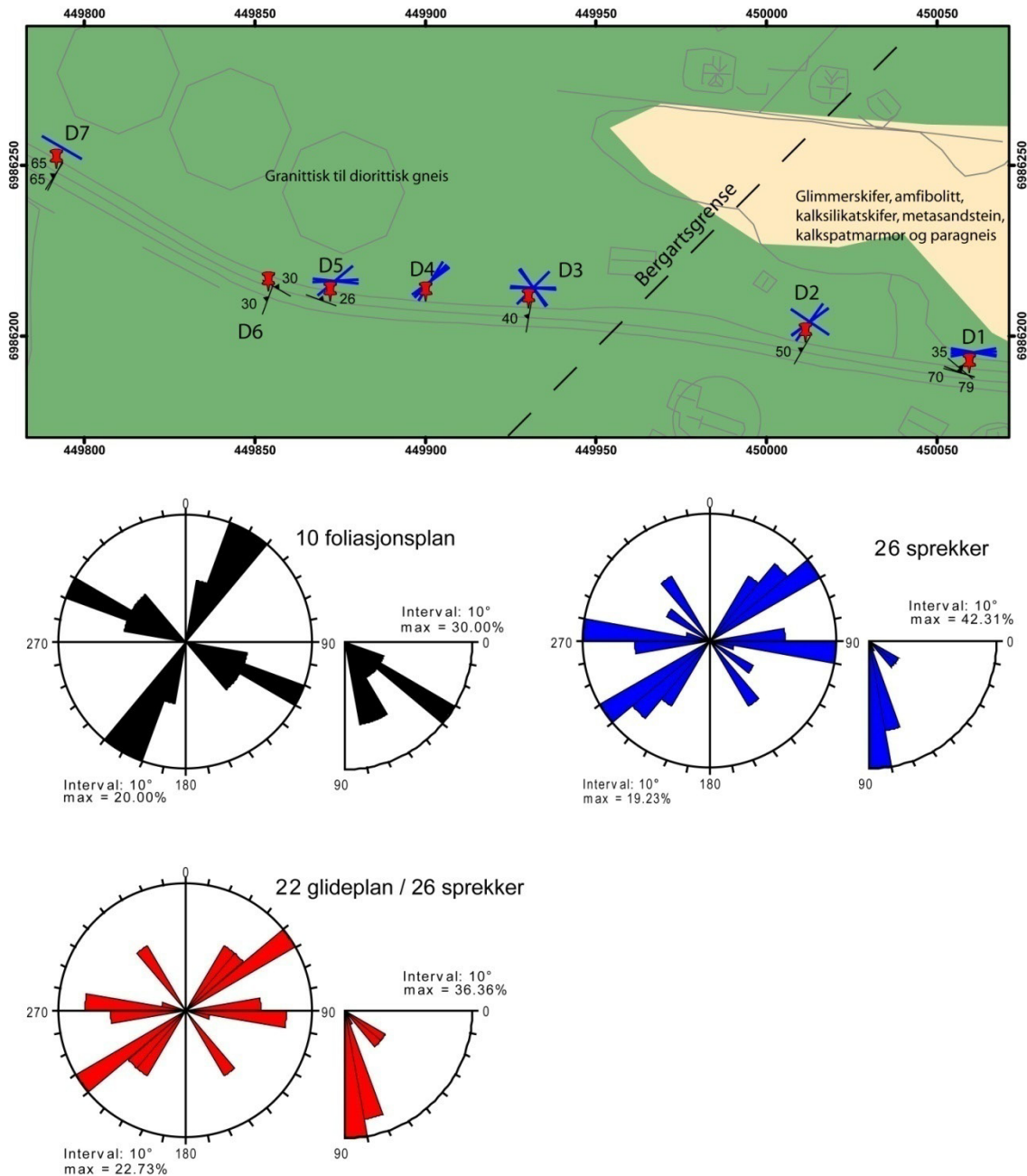
Blotningen som består av amfibolitt ved lokalitet C3 er relativt liten. Foliasjonen er her noe forskjellig fra den regionale orienteringen (fall mot NV), med et slakt fall mot N, lignende som ved lokalitet C2 (se Figur 24). I tillegg til foliasjonen er det bare observert et velutviklet sprekkesett av nær vertikale sprekker med NNV-SSØ strøk.



Figur 25. Strukturer ved lokalitet C3 (se Figur 22 for plassering). Stereonett av foliasjonen med slakt fall mot N og det nær vertikale sprekkesettet med NNV-SSØ strøk.

5.3.4 Detaljert strukturgeologi område D

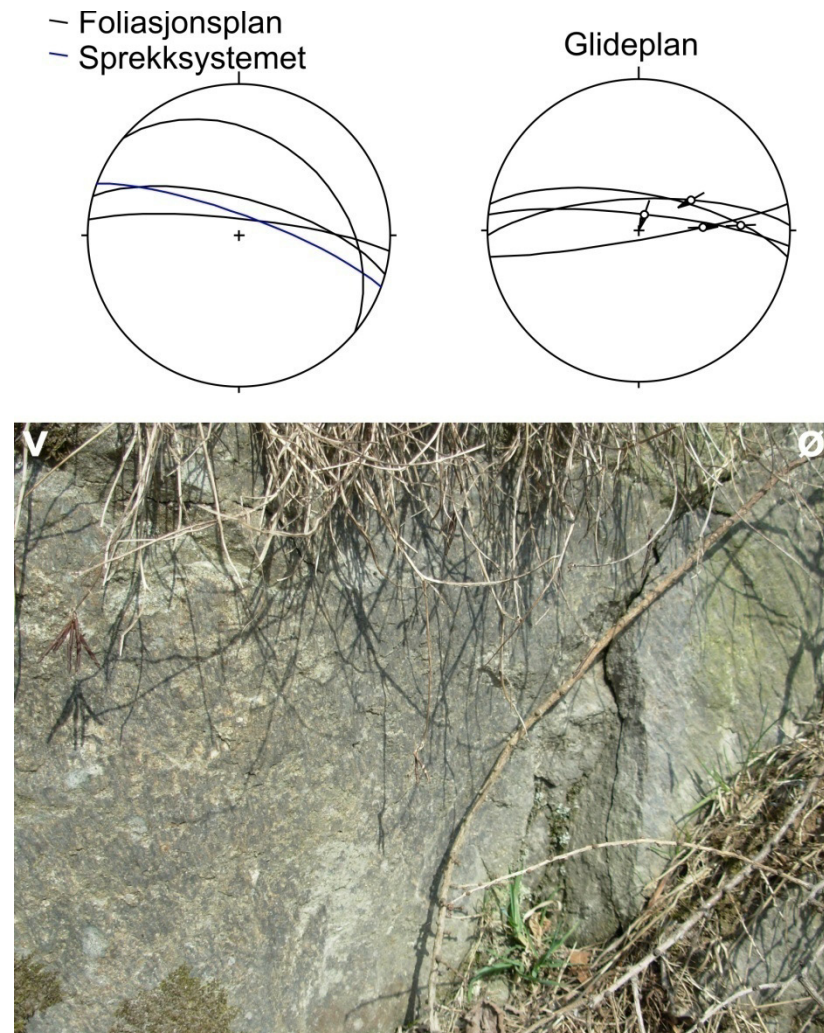
Berggrunnen består av mafiske enheter av amfibolitter og granat-rik diorittisk gneis. Foliasjonen varierer fra moderat til steilt fall mot NV til NNV (Figur 26). Steile sprekker og sprekker med moderat fall samt forkastningsflater har ca. Ø-V, NV-SØ og NØ-SV strøk (Figur 26). Detaljert informasjon om strukturgeologien ved syv lokaliteter (D1 til D7) er beskrevet i avsnittene under; 5.3.4.1 til 5.3.4.7. Bergartsgrensen mellom de to hovedenhetene i området, amfibolitt/glimmerskifer/paragneis og granittisk/diorittisk gneis (se, Figur 2 og avsnitt 2) går mellom lokalitet D2 og D3 (Figur 26).



Figur 26. Strukturer i område D (se Figur 10 for plassering). Tegnforklaring til kartet er samme som for Figur 11. Kartet viser de syv lokalitetene i område D som er detaljert beskrevet i avsnittene under. Rosediagrammene viser foliasjonen i området med moderat fall og NNØ-SSV og VNV-ØSØ strøk (svart), 26 målte sprekker (blå) som inkluderer 22 glideplan i området (rød).

5.3.4.1 Lokalitet D1

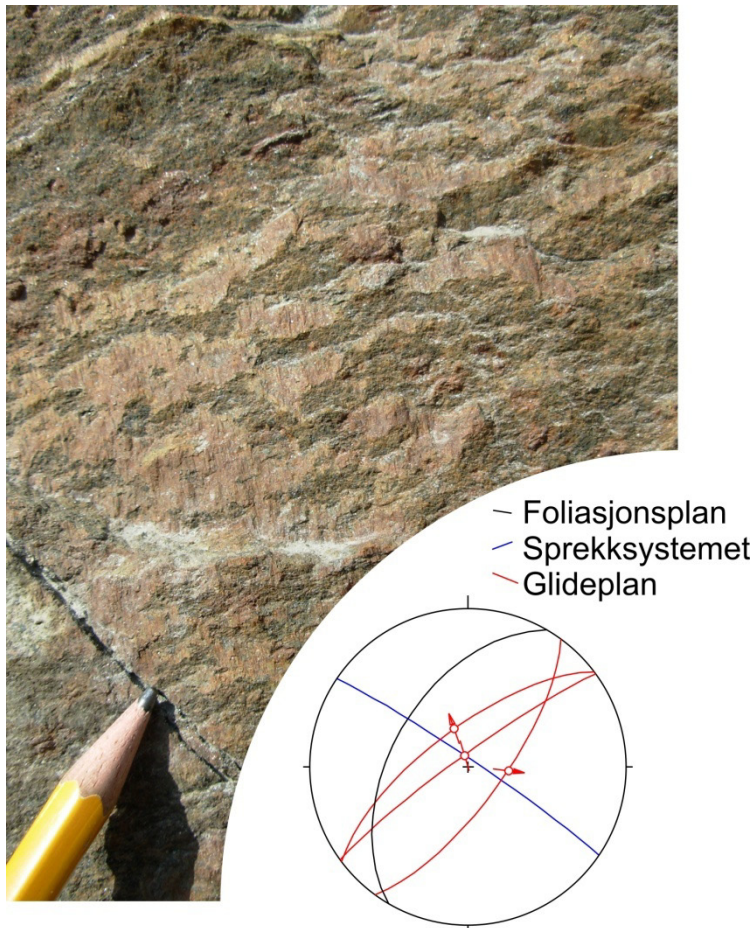
Ved lokalitet D1 består berggrunnen av granat-rik gneis. I blotningen har foliasjonen slakt fall mot NØ i øst som blir gradvis steilere fall mot N i vest (Figur 27). Et sprekkesett og et sett med glideflater er parallelle med den steile foliasjonen (Figur 27).



Figur 27. Strukturer ved lokalitet D1 (se Figur 26 for plassering). Øverst: stereonett av orienteringen til foliasjonen, og av foliasjonsparallele sprekkesett og glideflater. Nederst: bilde av en nær vertical forkastningsflate med striasjon (lineasjon).

5.3.4.2 Lokalitet D2

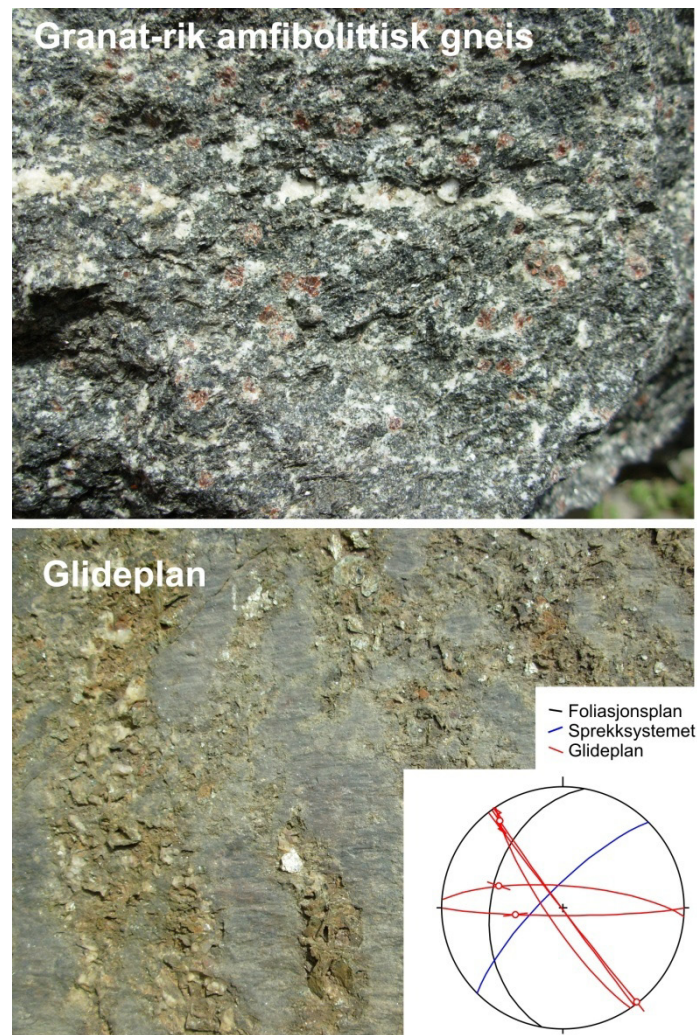
Som for lokalitet D1 består berggrunnen ved lokalitet D2 av enheter med granat-rik gneis som er intrudert av pegmatitt ganger. Foliasjonen er steil med fall mot NV (Figur 28). Et sprekkeseff med nær vertikale sprekker er vinkelrett på foliasjonen (Figur 28). Det forekommer også forkastningsflater med NØ-SV strøk, det vil si samme strøkkretning som foliasjonen men med steilere fall (Figur 28).



Figur 28. Strukturer ved lokalitet D2 (se Figur 26 for plassering). Stereonett av orienteringen til foliasjonen, sprekkeseffet som er vinkelrett på foliasjonen og glideflater. Samt et bilde som viser en steil forkastningsflate som har lineasjon med steg.

5.3.4.3 Lokalitet D3

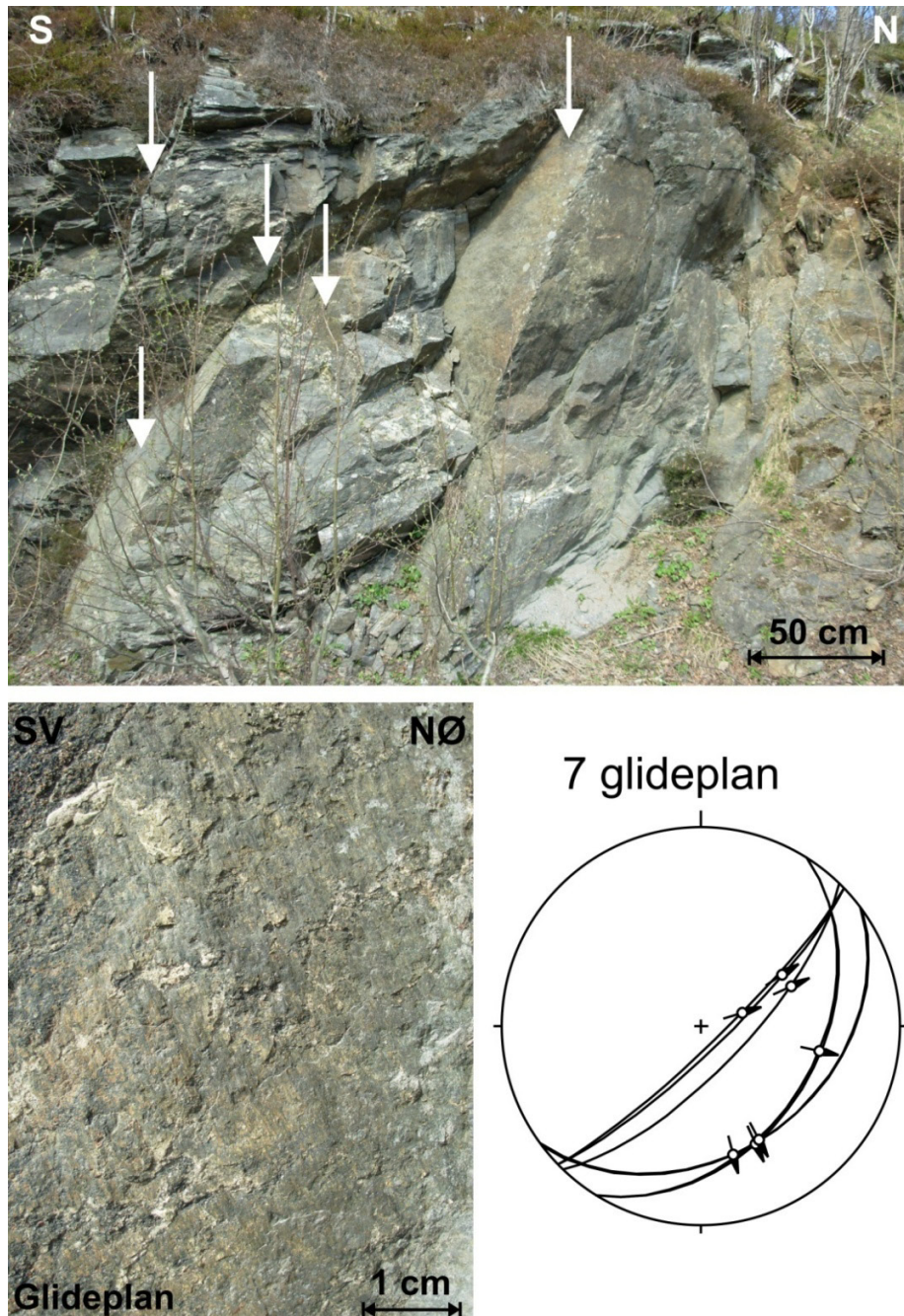
I følge det geologiske kartet (Figur 2) skal bergarten ved lokalitet D3 være granittisk til diorittisk gneis (Figur 26), men bergartene som forekommer er svært mafiske, som for eksempel granat-rik amfibolittisk gneis (Figur 29). Blotningen viser foliasjon med moderat fall mot V (Figur 29) og et system med steile sprekker og NØ-SV strøk er observert, i tillegg til to sett med forkastningsflater med NV-SØ og Ø-V strøk som har striasjon (Figur 29).



Figur 29. Strukturer ved lokalitet D3 (se Figur 26 for plassering). Øverst: bilde av granat-rik amfibolittisk gneis som er observert hvor på kartet berggrunnen er betegnet som granittisk til diorittisk gneis (se tekst for forklaring). Nederst: stereonett av foliasjon med moderat fall mot V, et sett med steile sprekker med NØ-SV strøk, og to sett med steile forkastningsflater med NV-SØ og Ø-V strøk, med striasjon på glideplanet som vist på bildet nederst.

5.3.4.4 Lokalitet D4

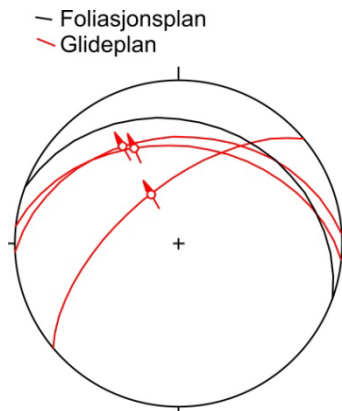
Ved lokalitet D4 består berggrunnen av granittisk til diorittisk gneis, som angitt på det geologiske kartet (Figur 2). Fjellet i blotningen er mer massivt enn ved lokalitetene beskrevet tidligere og foliasjonen er diskret med et moderat fall mot V. Blotningen viser en noen meter bred sone med flere NØ-SV orienterte forkastninger som har steilt til ca. 40° fall mot SØ og glideflater som viser striasjon. Forkastningene forekommer hyppig, med 1-2 pr meter avstand (Figur 30).



Figur 30. Strukturer ved lokalitet D4 (se Figur 26 for plassering). Øverst: bilde som illustrerer den hyppige forekomsten av NØ-SV orienterte forkastninger, med 1-2 m avstand, med glideflater med striasjoner. Nederst: bilde av et glideplan med striasjoner og stereonett av forkastninger med NØ-SV orientering og steilt til ca. 40° fall mot SØ.

5.3.4.5 Lokalitet D5

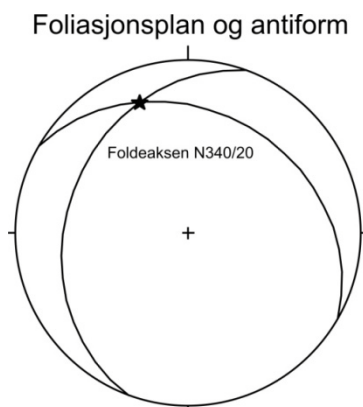
Blotningen ved lokalitet D5 er liten og gir lite informasjon, men foliasjonen er observert med slakt fall mot NNØ og 3 forkastningsplan med striasjoner er målt. To av forkastningsflatene er parallelle med og er utviklet langs foliasjonen. Det tredje forkastningsplanet har 60° fall mot NV (Figur 31).



Figur 31. Strukturer ved lokalitet D5 (se Figur 26 for plassering). Stereonett (nedre hemisfære, Schmidts projeksjon) av foliasjonen med slakt fall mot NNØ og tre forkastningsflater med striasjoner.

5.3.4.6 Lokalitet D6

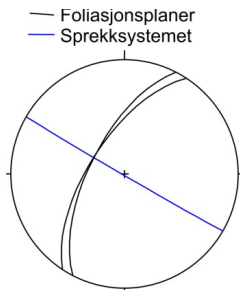
Ved lokalitet D6 er det observert en vertikal, åpen antiformal, hvor foliasjonen har slakt fall mot NNØ og et akseplan med N340 strøk og slakt fall mot NNV (Figur 32).



Figur 32. Strukturer ved lokalitet D6 (se Figur 26 for plassering). Stereonett av foliasjonsflater som utgjør sjenklene til en vertikal, åpen antiform hvor foldeaksen har slakt fall mot NNV.

5.3.4.7 Lokalitet D7

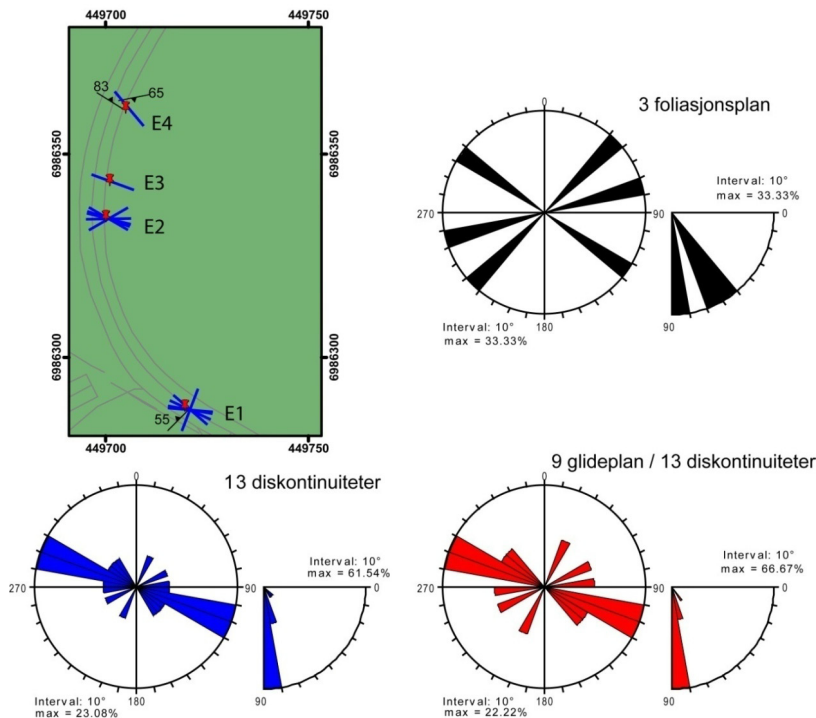
Ingen strukturer med betydning er observert ved lokalitet D7. Foliasjon er relativt steil, med et fall på 65° mot NV. Et system av utholdende, vertikale sprekker har NV-SØ strøk, det vil si vinkelrett på hovedretningen til foliasjonen (Figur 33).



Figur 33. Strukturer ved lokalitet D7 (se Figur 26 for plassering). Stereonett av foliasjon med ca 65° fall mot NV og et system av vertikale sprekker med NV-SØ strøk.

5.3.5 Detaljert strukturgeologi område E

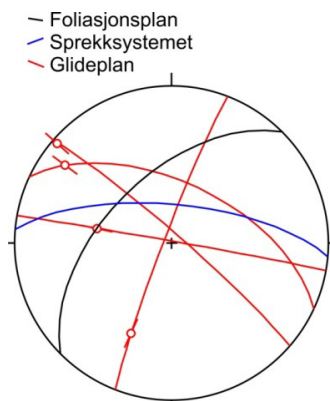
Område E består av en stor veiskjæring hvor signifikante strukturer ble observert ved fire lokaliteter, navngitt E1 til E4 (Figur 34). Foliasjonen i området er generelt steilere enn tidligere observert (Figur 34, se tidligere avsnitt). Ni av tretten observerte strukturer i området er forbundet med forkastninger (Figur 34).



Figur 34. Strukturer i område E (se Figur 10 for plassering). Tegnforklaring til kartet er samme som for Figur 11. Kartet viser de fire lokalitetene E1 til E4 som er nærmere beskrevet under. Rosediagram viser orienteringen til foliasjonen i området og orienteringen til 13 diskontinuiteter, inkludert 9 glideflater.

5.3.5.1 Lokalitet E1

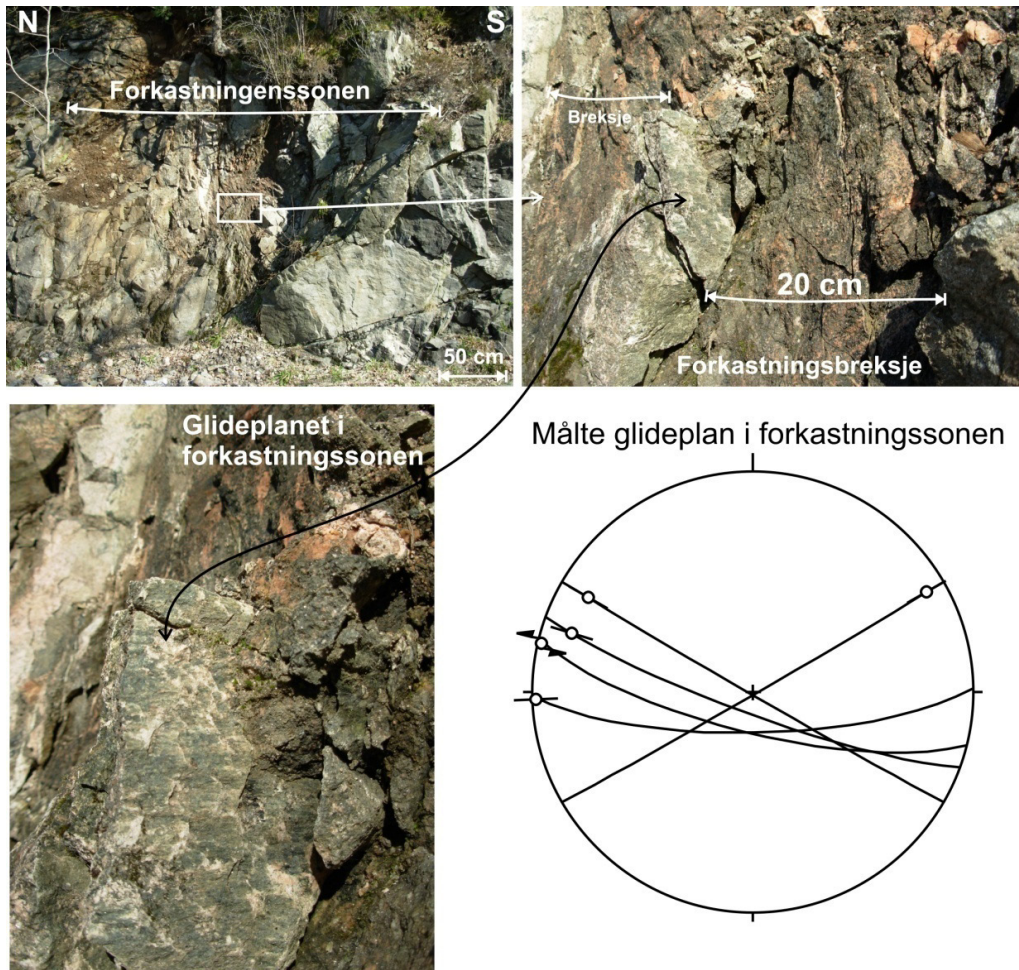
Ved lokalitet E1 er foliasjonen steil mot NV (Figur 35). Interessante observasjoner ved lokaliteten er (1) et system av sprekker med steilt fall mot N som forekommer med et intervall på ca. 1 meter, og (2) en gruppe av glideplaner med striasjoner som har NNØ-SSV, VNV-ØSØ og NV-SØ strøk (Figur 35).



Figur 35. Strukturer ved lokalitet E1 (se Figur 34 for plassering). Stereonett av foliasjonen med steilt fall mot NV, et system av utholdende sprekker med steilt fall mot N og av forkastningsflater (med striasjon) som har NNØ-SSV, VNV-ØSØ og NV-SØ strøk.

5.3.5.2 Lokalitet E2

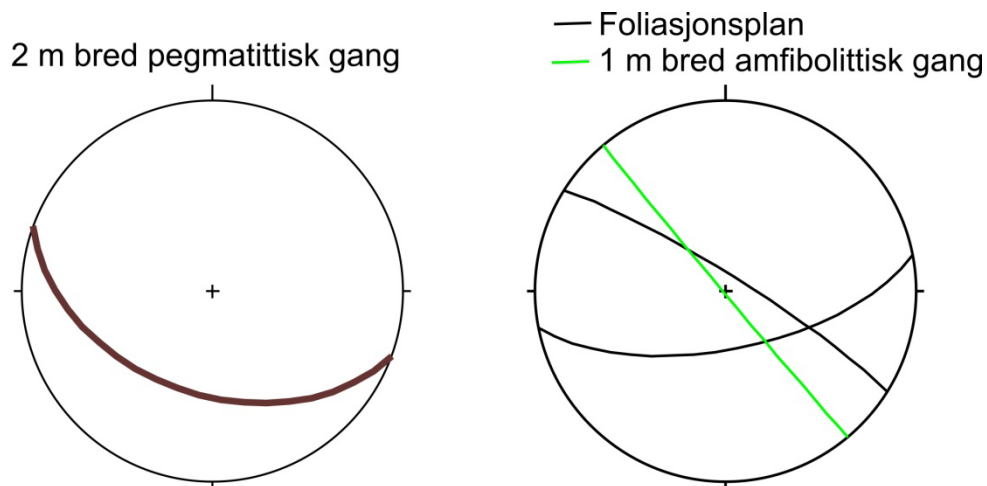
Dette er den eneste lokaliteten hvor det er observert en forkastning som er over 1 meter bred. Forkastningen er steil, med strøk N285 og er ca 3 meter bred. Den har to forkastningskjerner som er 10-tall cm bred, og inneholder ikke-koheasive forkastningsbergarter, som breksje, omgitt av knusningssoner med høy sprekkefrekvens (Figur 36). Flere glideflater med striasjoner er målt og viser samme trender som hovedforkastningen, det vil si steilt og med VNV-ØSØ strøk (Figur 36).



Figur 36. Strukturer ved lokalitet E2 (se Figur 34 for plassering). Topp venstre: oversiktsbilde av den 3 meter brede forkastningen. Topp høyre: nærbilde av ikke-koheisiv brekksje i kjernen av forkastningen. Nede venstre: bilde av glideflater i forkastningskjernen. Nede høyre: stereonett av striasjoner på glideflate i forkastningen som viser steilt fall og VNV-ØSØ strøk, samme som forkastningssonen.

5.3.5.3 Lokalitet E3 og E4

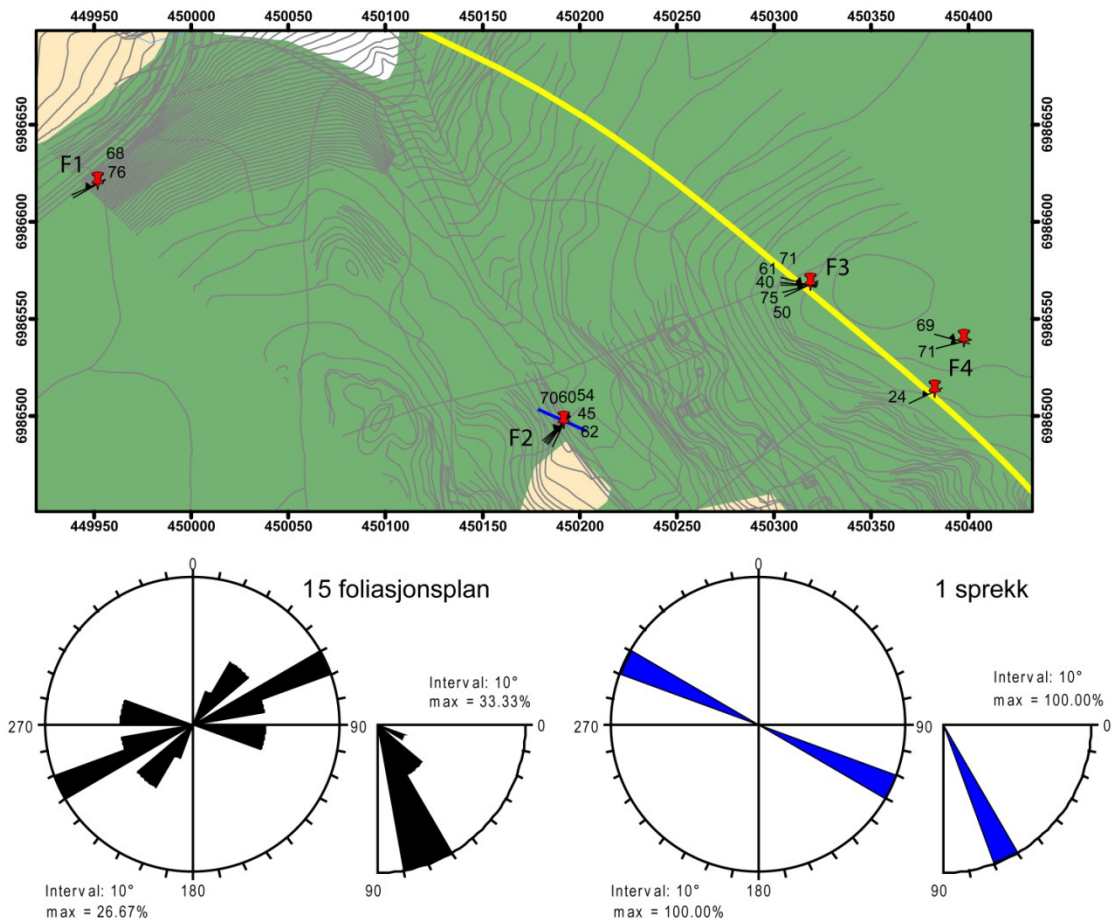
Nord for lokalitet E2, mot lokalitet E3 og E4 er det ingen utpregede strukturer observert med unntak av en 2 m bred pegmatittgang ved lokalitet E3 og en 1 m bred amfibolisk gang ved lokalitet E4, som begge forekommer i den granittiske til diorittiske gneisen. Pegmatittgangen har et slakt fall mot SSV, mens den amfibolittikse gangen er vertikal og har NV-SØ strøk (Figur 37). Foliajonen er steil med ca Ø-V til NV-SØ strøk (Figur 37).



Figur 37. Strukturer ved lokalitet E3 og E4 (se Figur 34 for plassering). Stereonett av pegmatittgang med slakt fall mot SSV ved lokalitet E3 (venstre) og av den amfibolittiske gangen med steilt fall og NV-SØ strøk ved lokalitet E4 (høyre). Foliajonen ved lokalitet E4 er steil med Ø-V til NV-SØ strøk (høyre).

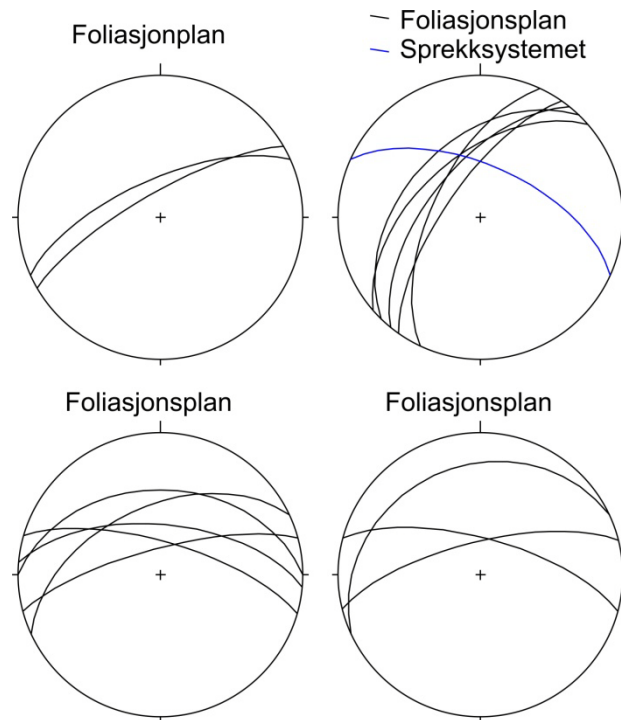
5.3.6 Detaljert strukturgeologi område F

Lokalitetene i område F ligger nær tunneltraseen, men siden området har tett vegetasjon er lokalitetene av dårlig kvalitet, det vil si; har liten utstrekning og er både erodert og forvitret. Berggrunnen består av granittisk til diorittisk gneis. Målinger av 15 foliasjonsflater viser en ØNØ-VSV strøkkretning med moderat til steilt fall (Figur 38). Kun en sprekk med stor utstrekning er observert (Figur 38).



Figur 38. Strukturer i område F (se Figur 10 for plassering). Tegnforklaring til kartet samsvarer med den for Figur 11. Kartet viser de 4 lokalitetene i område F. Rosediagrammer viser trenden til foliasjonen i området og den ene større sprekk som er observert.

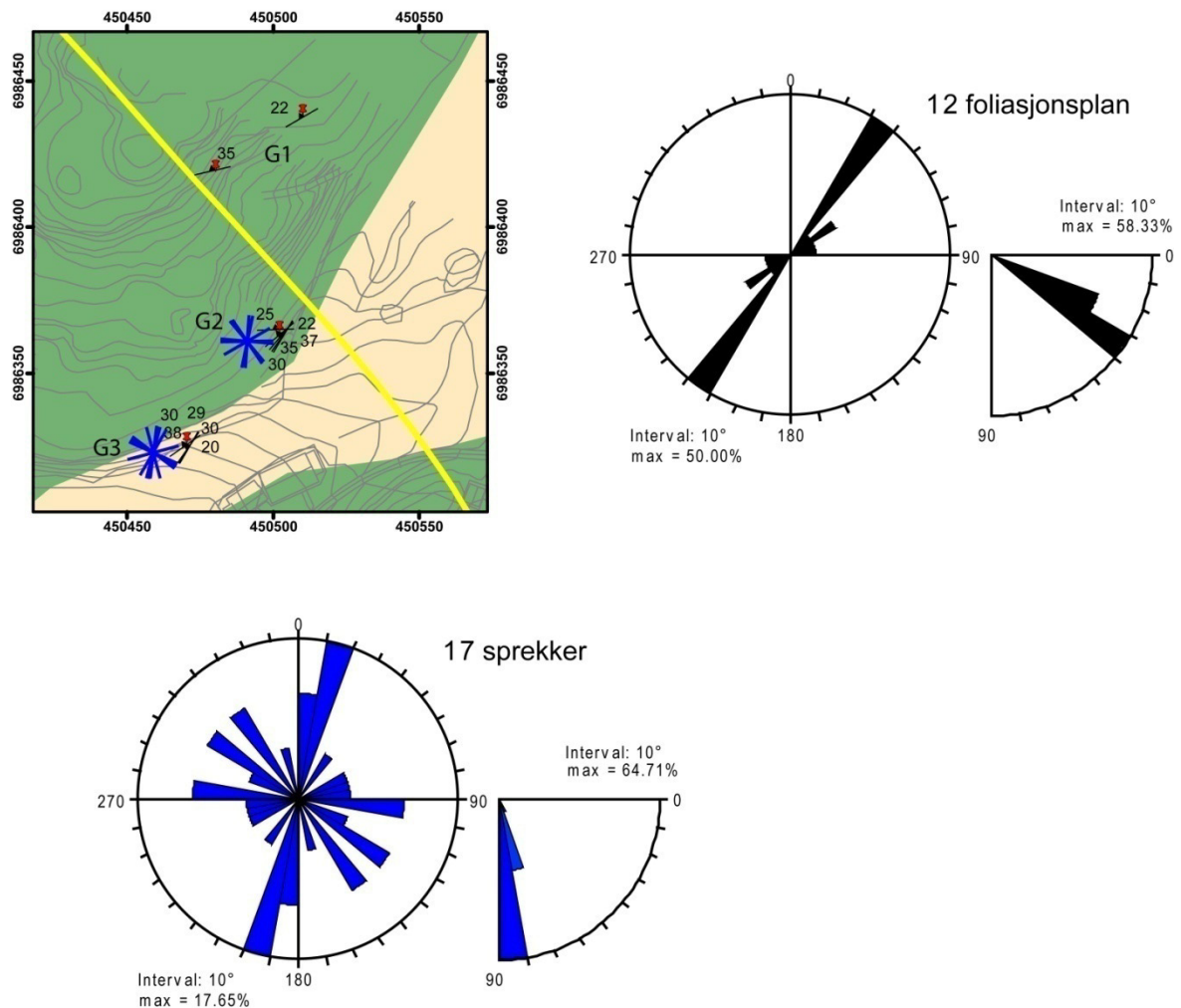
På grunn av knappheten av data fra område F er dataene vist samlet i Figur 39 med stereonett av foliasjonen som har steilt fall mot NV ved lokalitetene F1 og F2 og mot N ved lokalitetene F3 og F4. I tillegg er den storskala sprekk med ca 60° fall mot NNØ, arkert i stereoplottet.



Figur 39. Strukturer ved lokalitetene F1 til F4 (se Figur 38 for plassering). Stereonett av foliasjonen ved de 4 lokalitetene; F1 (øverst til venstre), F2 (øverst til høyre), F3 (nede til venstre) og F4 (nede til høyre), samt den storskala sprekkene ved lokalitet F2.

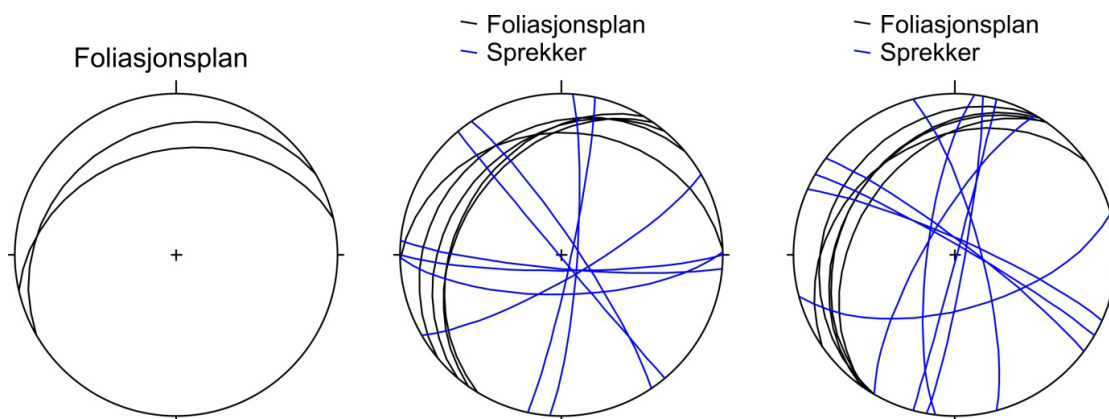
5.3.7 Detaljert strukturgeologi område G

Område G er, som område F, nær tunneltraseen men også her har lokalitetene liten utstrekning og er preget av erosjon og forvitring. Berggrunnen i området er granittisk til diorittisk gneis. Foliajonen viser en tydelig trend med NØ-SV strøk og slakt fall (Figur 40). Totalt 17 sprekker er målt og den mest markante sprekkeretningen er NNØ-SSV (Figur 40).



Figur 40. Strukturer i område G (se Figur 10 for plassering). Tegnforklaring til kartet er den samme som for Figur 11. Kartet viser plasseringen av de 3 lokalitetene i område G. Rosediagram viser trendene til foliasjonen og sprekkesett målt i området.

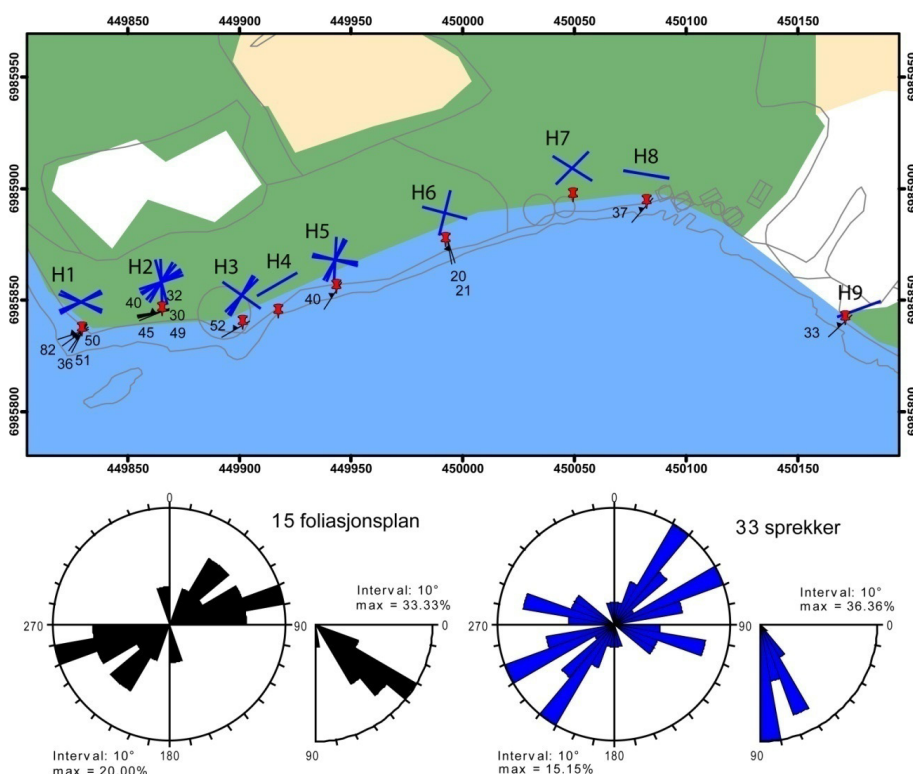
Som for område F er det begrenset med observasjoner i område G, på grunn av få blotninger og dårlig kvalitet på de som er. Derfor er dataene presentert samlet for lokalitet G1, G2 og G3. Figur 41 viser stereonett av foliasjonen med ØNØ-VSV strøk og slakt fall mot NV-NNV, samt sprekker observert ved lokalitet G2 og G3, med retningene N-S, NV-SØ og Ø-V (Figur 41).



Figur 41. Strukturer ved lokalitet G1, G2 og G3 (se Figur 40 for plassering). Stereonett av foliasjonen ved lokalitet G1 til venstre, lokalitet G2 i midten og lokalitet G3 til høyre, samt sprekkene observert ved lokalitet G2 og G3.

5.3.8 Detaljert strukturgeologi område H

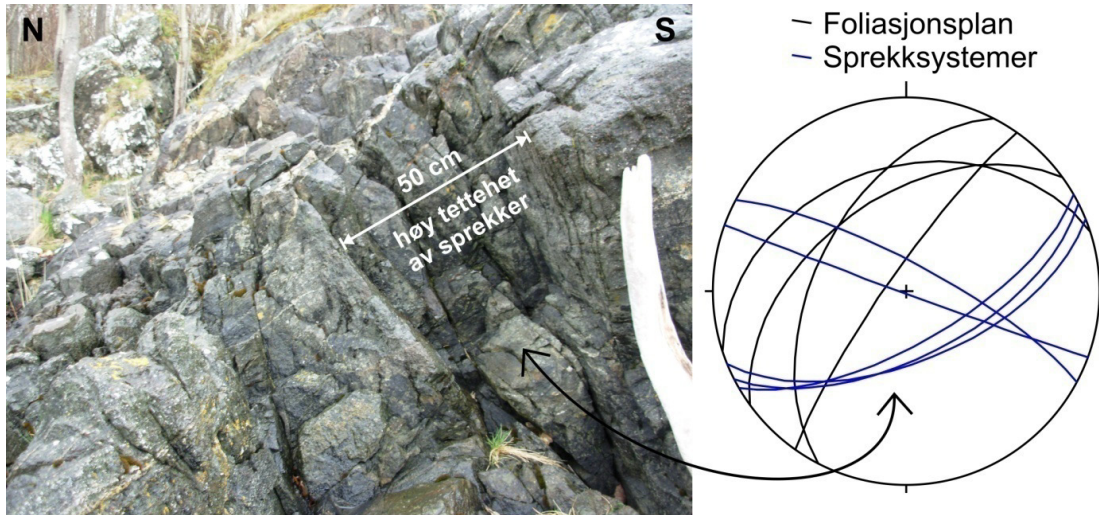
For å øke den regionale forståelsen av strukturene i området ble feltområdet utvidet med utenforliggende lokaliteter. Område H ligger langs kysten med 9 lokaliteter som er detaljert beskrevet (Figur 42). Berggrunnen består av glimmerskifer, amfibolitt, kalksilikatskifer, metasandstein, kalkspatmarmor og paragneis enheter (Figur 2). Foliasjonen har generelt slakt fall mot NV til NNV (Figur 42). Sprekker i området er generelt steile, og tre sprekkesett har hovedsakelig ØNØ-VSV, NØ-SV og VNV-ØSØ strøk (Figur 42).



Figur 42. Strukturer i område H (se Figur 10 for plassering). Tegnforklaring til kartet er den samme som for Figur 11. Kartet viser plasseringen av de 9 lokalitetene i området og som er detaljert beskrevet i teksten. Rosediagram viser trenden til foliasjonen og 33 sprekker som er observert i område H.

5.3.8.1 Lokalitet H1

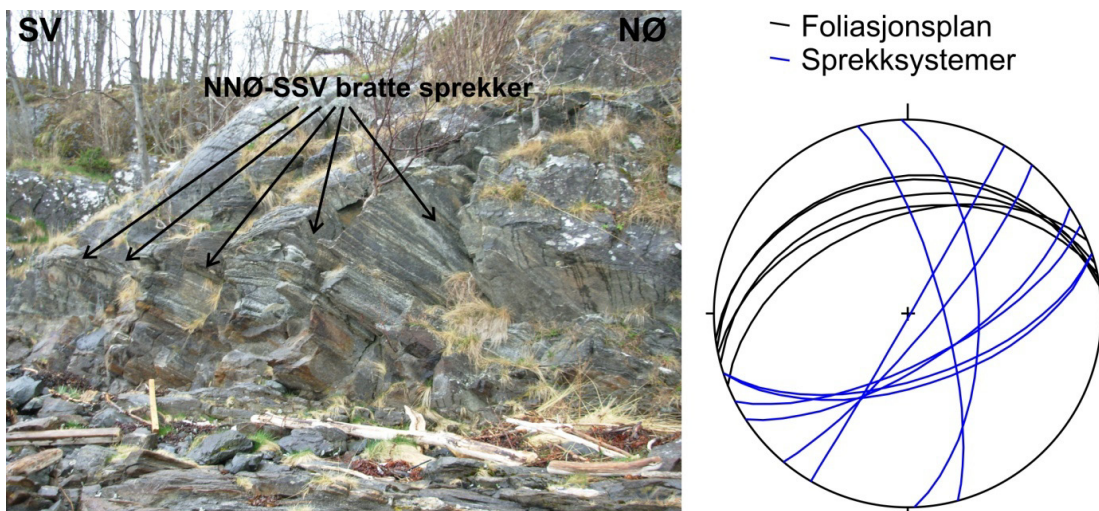
Berggrunnen består av granat-rik gneis som er lagdelt, og foliasjonen har NØ-SV strøk og moderat fall mot NV (Figur 43). To sprekkesett er utpreget, det ene har VNV-ØSØ strøk og nært vertikalt fall, mens det andre sprekkesettet har ØNØ-VSV strøk og steilt fall mot SØ. Det sistnevnte sprekkesettet forekommer med en frekvens med mer enn 15 sprekker pr meter (Figur 43).



Figur 43. Strukturer ved lokalitet H1 (se Figur 42 for plassering). Venstre: bilde illustrerer sprekkesettet med ØNØ-VSV strøk og fall mot SØ og lokalt høy sprekketthet på mer enn 15 sprekker/m. Høyre: stereonett av foliasjonen målt ved lokaliteten og to sprekkesett.

5.3.8.2 Lokalitet H2

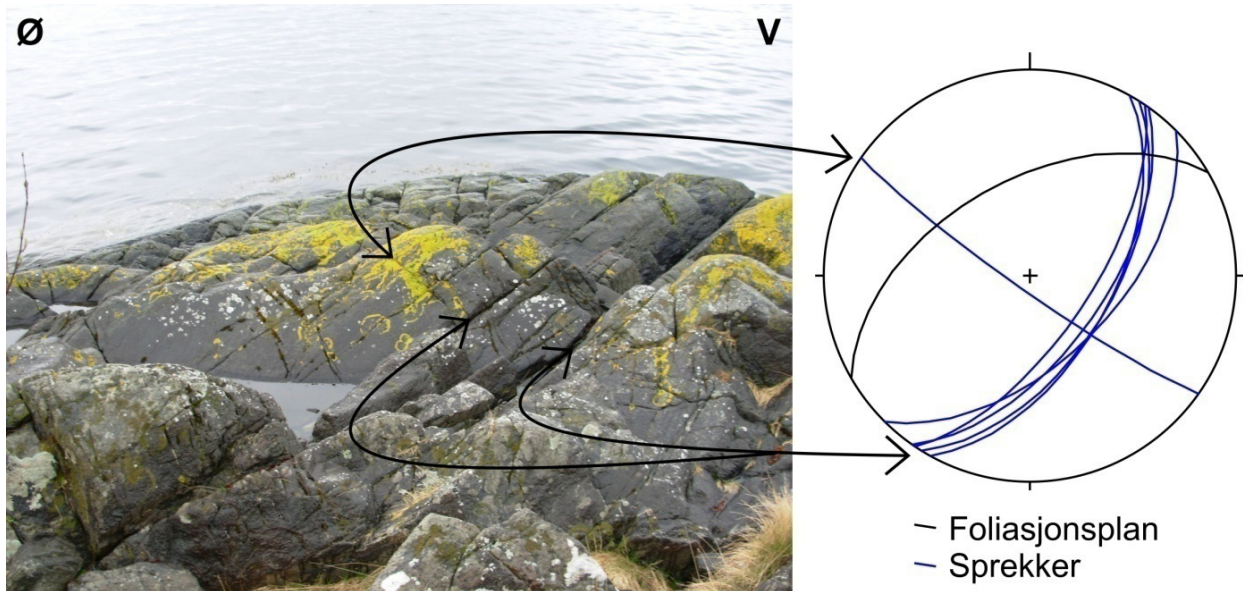
Berggrunnen består av finkornet, lagdelt paragneis som har en foliasjon med fall på ca 40° mot NNW (Figur 44). Sprekkene som forekommer har varierende strøk og fall. Et markant sprekkesett har NNØ-SSV strøk og steilt fall (Figur 44).



Figur 44. Strukturer ved lokalitet H2 (se Figur 42 for plassering). Venstre: bildet illustrerer sprekkesettet som er mest fremtredende ved lokaliteten, med NNØ-SSV strøk og steilt fall. Høyre: stereonett som viser orienteringen til foliasjonen og sprekker ved lokaliteten.

5.3.8.3 Lokalitet H3

Berget har en gjennomgående foliasjon med NØ-SV strøk og ca 50° fall mot NV (Figur 45). Et sprekkese sett med NØ-SV strøk og ca 60° fall mot SØ er fremtredende. I tillegg forekommer nært vertikale sprekker med NV-SØ strøk og som er vinkelrette på det fremtredende sprekkese settet (Figur 45).



Figur 45. Strukturer ved lokalitet H3 (se Figur 42 for plassering). Venstre: bildet viser det fremtredende sprekkese settet med NØ-SV strøk og ca 60° fall mot SØ, og det mindre fremtredene sprekkese settet som har NV-SØ strøk og nært vertikalt fall og er vinkelrett på det første sprekkese settet. Høyre: stereonett av sprekker og gjennomsnittsverdi av foliasjonen for lokaliteten.

5.3.8.4 Lokalitet H4

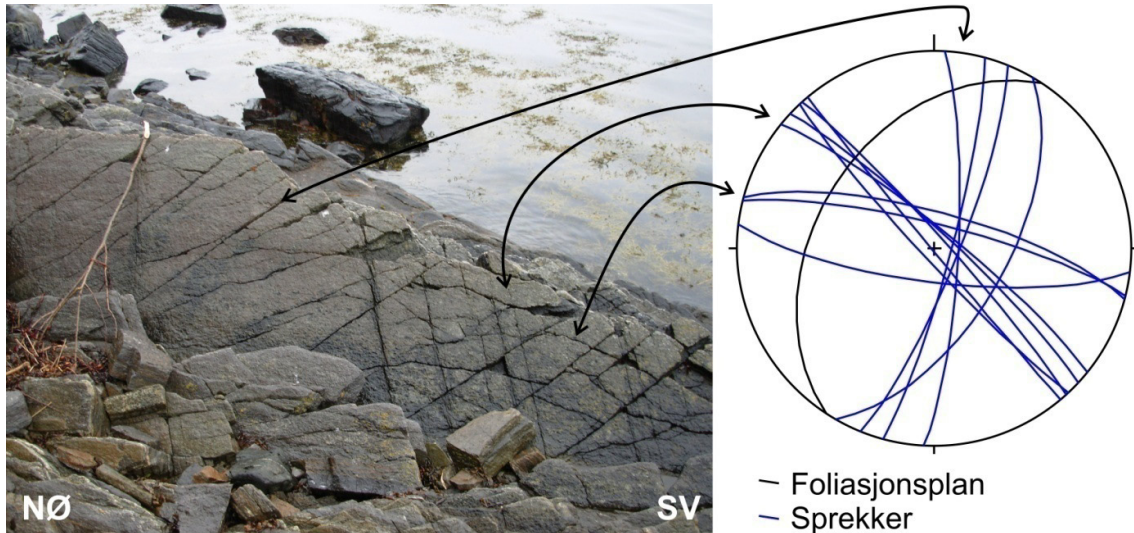
Ved lokalitet H4 er en 4 cm bred breksje observert i en forkastning med strøk N060 og steilt fall, som er omgitt av svært oppsprukket fjell (Figur 46). Et sprekkesett med NNØ-SSV strøk og steilt fall er også observert (Figur 46).



Figur 46. Strukturer ved lokalitet H4 (se Figur 42 for plassering). Bildet viser en 4 cm bred breksjesone i en forkastning med N060 strøk og steilt fall, med svært oppsprukket fjell rundt. I tillegg forekommer steile sprekker med NNØ-SSV strøk.

5.3.8.5 Lokalitet H5

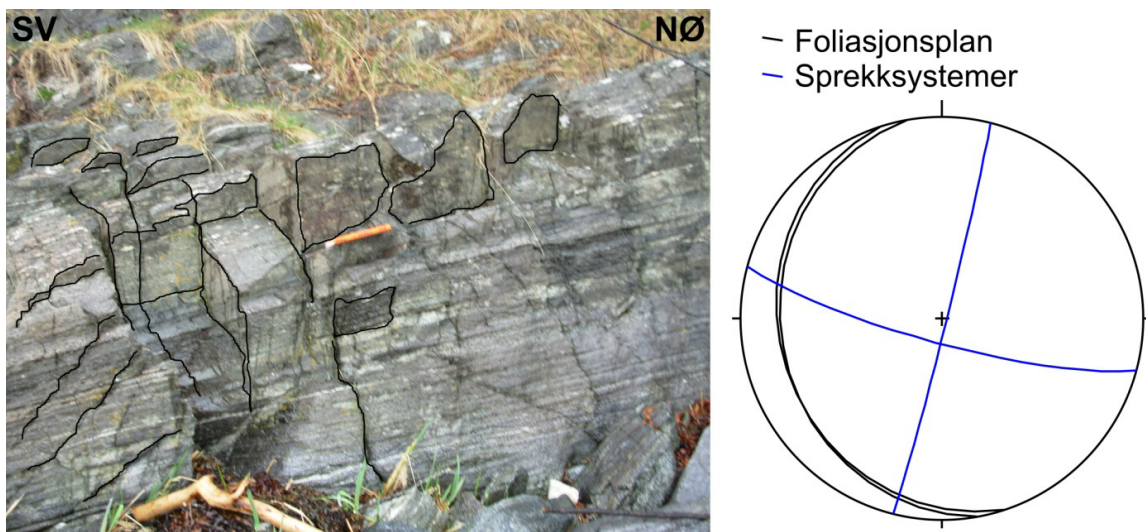
Foliasjonen ved lokalitet H5 har NNØ-SSV strøk og ca 40° fall mot VNV (Figur 47). Tre sprekkesett med VNV-ØSØ, NV-SØ og NNØ-SSV strøk og steilt fall er observert, hvor de to sistnevnte sprekkesettene har stor utstrening (Figur 47).



Figur 47. Strukturer ved lokalitet H5 (se Figur 42 for plassering). Venstre: bilde som viser sprekkesettene med VNV-ØSØ, NV-SØ og NNØ-SSV strøk og steilt fall. Høyre: stereonett av sprekker og gjennomsnittsverdi for foliasjonen ved lokaliteten.

5.3.8.6 Lokalitet H6

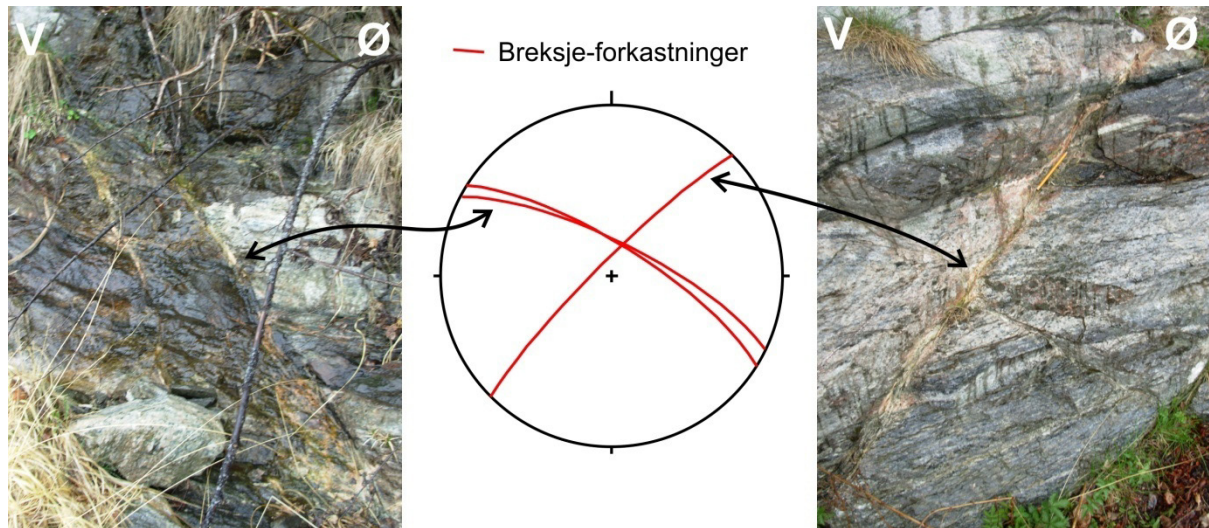
Berggrunnen ved lokalitet H6 består av paragneis, og har en foliasjon med NNØ-SSØ strøk og slakt fall mot VSV (Figur 48). To sprekkesett med strøk NNØ-SSV og VNV-ØSØ og nært vertikalt fall står vinkelrett på hverandre (Figur 48).



Figur 48. Strukturer ved lokalitet H6 (se Figur 42 for plassering). Venstre: bilde som viser de to sprekkesettene som står vinkelrett på hverandre og har NNØ-SSV og VNV-ØSØ strøk og steilt fall (markert med svarte linjer på bildet). Høyre: stereonett av sprekkesettene og foliasjonen med slakt fall.

5.3.8.7 Lokalitet H7

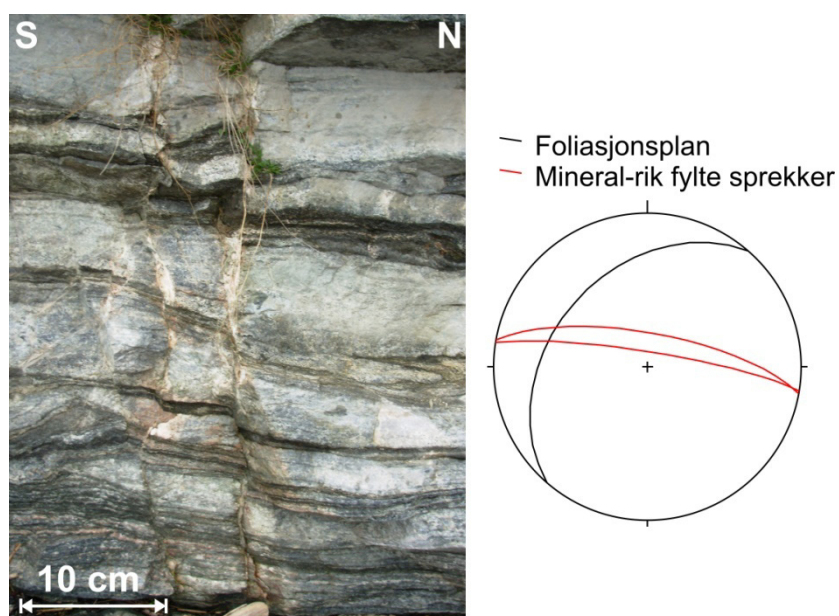
Ved lokalitet H7 er tre forkastninger i cm-skala og breksje i kjernen observert. Berggrunnen består av glimmer-rik paragneis. To av forkastningene har orientering NV-SØ, med 20 cm avstand og den tredje har NØ-SV strøk (Figur 49).



Figur 49. Strukturer ved lokalitet H7 (se Figur 42 for plassering). Bilder og stereonett av forkastningene med breksje i kjernen. Sonene er noen cm brede og har NV-SØ og NØ-SV strøk og steilt fall.

5.3.8.8 Lokalitet H8

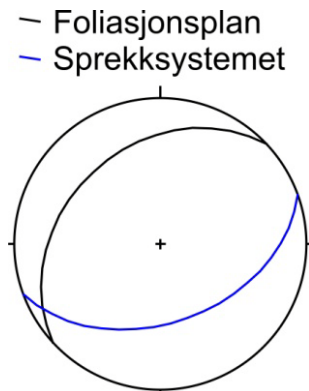
Foliasjonen i paragneisen ved lokalitet H8 har NØ-SV strøk og slakt fall mot NV. To steile sprekker med mineralisering og 20 cm avstand har VNV-ØSØ strøk (Figur 50).



Figur 50. Strukturer ved lokalitet H8 (se Figur 42 for plassering). Venstre: bilde som viser to parallelle og steile sprekker med mineralisering. Høyre: stereonett av foliasjonen ved lokaliteten og de to mineraliserte sprekkene.

5.3.8.9 Lokalitet H9

Ved lokalitet H9 følger trenden til foliasjonen den regionale foliasjonsretningen i området med NØ-SV strøk og slakt fall mot NV (Figur 51). I tillegg er et fremtredende sprekkesett med moderat fall mot SSØ observert.

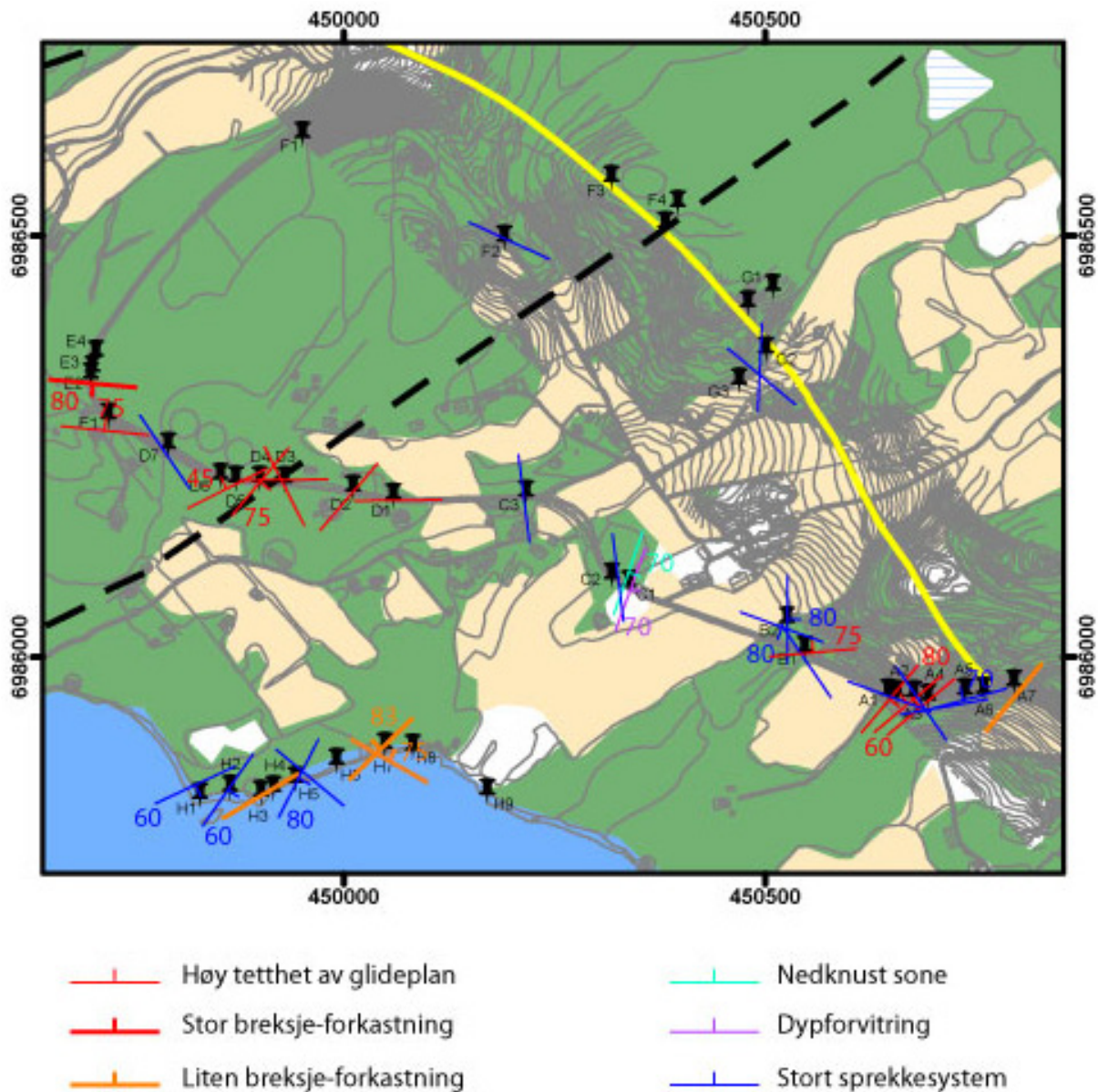


Figur 51. Strukturer ved lokalitet H9 (se Figur 42 for plassering). Stereonett av gjennomsnittlig trend til foliasjonen og orienteringen til det observerte sprekkesettet.

5.4 Regional betydning av detaljert strukturstudie i forbindelse med Eikremtunnelen

Kartet i Figur 52 oppsummerer hovedtrendene til sprekkesett og større strukturer som er observert ved lokalitetene i felt. Dette detaljerte studiet danner grunnlaget for samtolkning av strukturgeologi og geofysisk kartlegging langs tunneltraseen. Det påpekes her at det er avvik mellom det som er observert i felt og det som er kartlagt ved hjelp av fjernanalyse; hvor storskala lineamenter med NV-SØ trend er svært fremtredende på ortofoto (Figur 6), men samsvarer ikke med hovedstrukturer, som forkastninger, observert i felt. I felt er strukturer med NV-SØ retning hovedsakelig sprekker og åpne tensjonssprekker (Figur 52).

Forkastningene observert i felt er i den sørøstlig delen av tunneltraseen steile og har en klar NØ-SV trend (Figur 52). Denne strøkretningen er også observert (1) i mindre omfang langs kysten (område H) som mindre forkastninger med breksje-kjerner, samt ved lokalitet A7 og i område D, og som (2) soner med høy tetthet av NØ-SV glideplan. I område D er den dominerende trenden til forkastningene Ø-V (Figur 52). I område E er også strukturer med Ø-V strøk dominerende, her som store forkastninger med breksje i kjernen. Sprekker og åpne tensjonssprekker har varierende trender, med hovedsakelig NV-SØ og N-S til NNØ-SSV strøk. Sistnevnte retning gjelder for de svært forvitrede sonene observert ved lokalitet C1 (Figur 52).



Figur 52. Kart som oppsummerer strukturene som er observert ved alle lokalitetene. Denne informasjonen er videre brukt til å tolke regionale storskala strukturer, som for eksempel forkastninger med kjerne og knusningszone. Gjennomsnittsverdier for fremtredende sprekkesett og strukturer er vist med strøk og fall på kartet. Lokalitetene er markert med bokstav og tall som samsvarer med teksten.

6. SAMMENDRAG AV GEOLOGISK OG GEOFYSISK KARTLEGGING

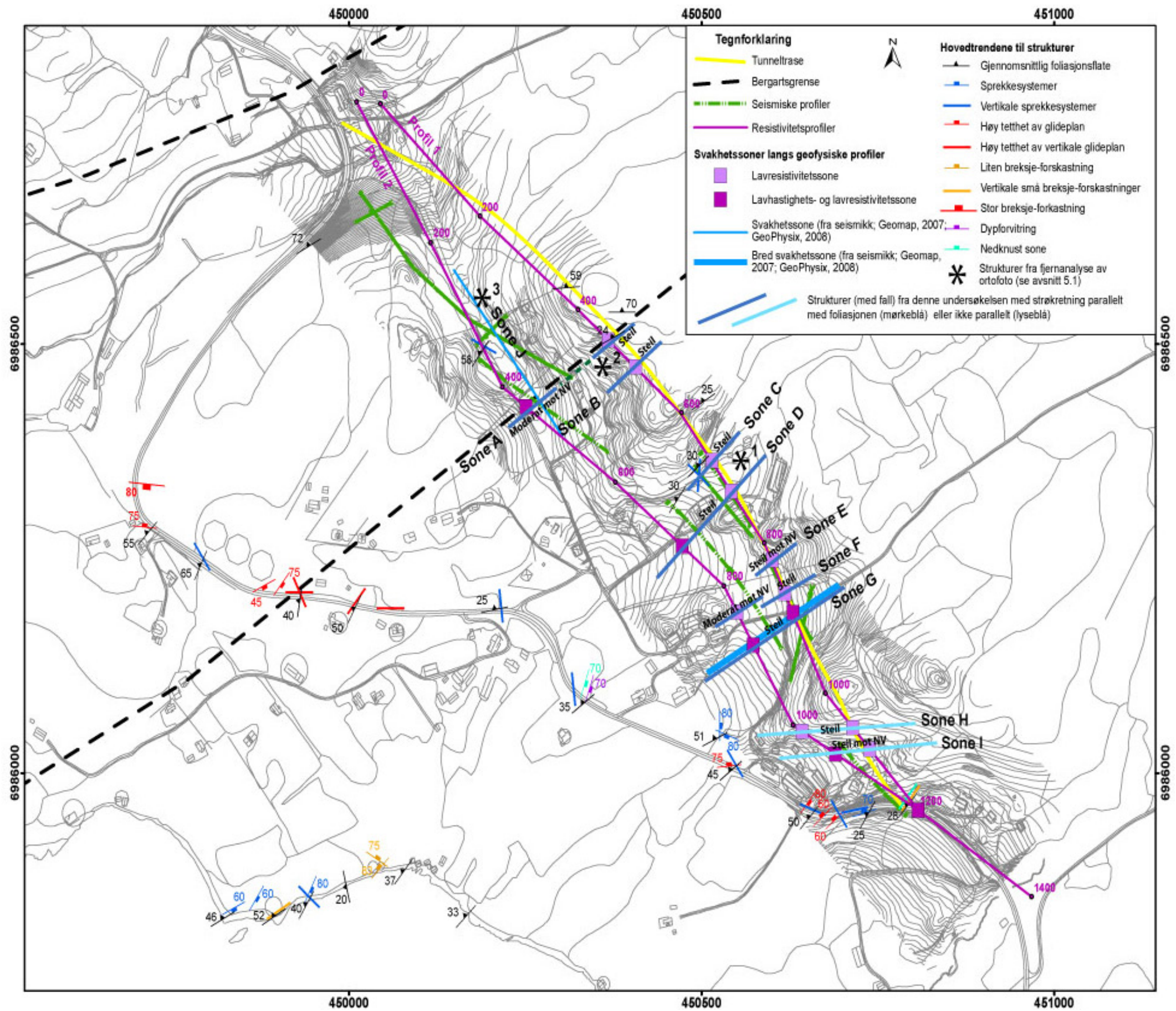
Kartet i Figur 53 oppsummerer de geologiske undersøkelsene gjort i området og tolkninger basert på observasjoner i felt. Videre er de geofysiske responsene og den geologiske tolkningen korrelert. Sammenstillingen gjør det mulig å angi strøketretning og fall på sonene som er kartlagt langs tunneltraseen (Figur 53).

Det er tydelig forskjell i de to bergartsenhetene som forekommer i området (Figur 2). Enheten i nordvest som består av granittisk til diorittisk gneis er godt fjell med få strukturer, mens

enheten i sørøst, bestående av en blanding av glimmerskifer, amfibolitt, kalksilikatskifer, metasandstein, kalkspatmarmor og paragneis, har mange strukturer og har varierende til dårlig kvalitet med hensyn til tunneldriving. Som observert i felt, består enheten i sørøst også av kroppar av granatirik gneis som er massive og har god kvalitet. Bergartsenheten i sørøst er preget av tektonisk deformasjon og har velutviklede duktile strukturer som foliasjon, samt sprø strukturer som forkastninger og sprekkesoner. Kontakten mellom de forskjellige bergartene i den sørøstlige enheten (overgangen mellom glimmerskifer, amfibolitt, kalksilikatskifer, metasandstein, kalkspatmarmor og paragneis) er spesielt utsatt for forkastninger, forvitring og vannførende soner. I motsetning er enheten med granittisk til diorittisk gneis i nordvest som kan betraktes som en homogen enhet.

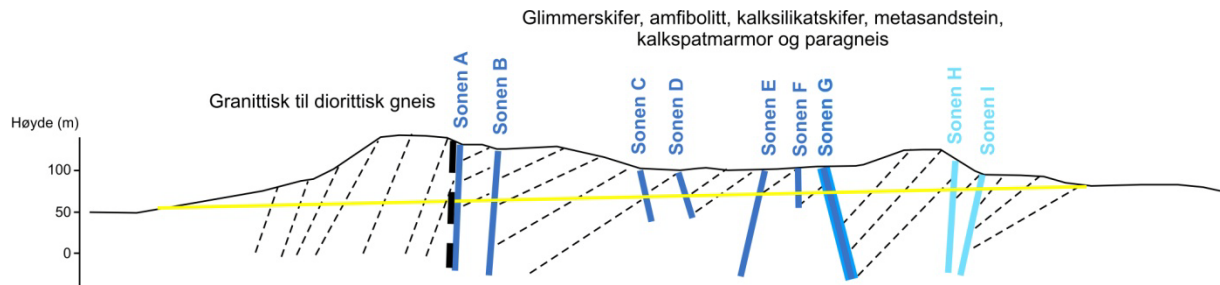
Foliasjonen i området er den mest fremtredende strukturen, og den har generelt NØ-SV strøk og ca 40° fall mot NV (Figur 8). Andre strukturer som er observert i felt er (1) steile NV-SØ forkastninger og/eller sprekkesoner som er utviklet langs foliasjonen hvor foliasjonen er steilere enn 40°, eller forkastningssonene kutter foliasjonen der foliasjonen har moderat til slakt fall. (2) steile forkastninger og/eller sprekkesoner med en klar Ø-V trend som kutter foliasjonen (Figur 52). Disse to typene av strukturer er observert i blotninger og kan relateres til store strukturer og svakhetssoner som er kartlagt i resistivitetsprofilene (Figur 53 og Figur 3).

Kartet i Figur 53 viser geofysiske responser som er tolket som; (1) steile NØ-SV store forkastninger / sprekkesoner som er parallelle med foliasjonen i strøkretning men steilere enn foliasjonen som er forventet langs tunneltraseen (sone A-G i Figur 53) og (2) steile og store Ø-V forkastninger som skjærer foliasjonen i strøkretning (sone H og I i Figur 53). Sone G (Figur 53) er tidligere identifisert som en stor svakhetsone med lav seismisk hastighet i seismikkprofilet (Geomap 2007, GeoPhysix 2008). Sonene A-D (Figur 53) samsvarer med tydelige regionale lineamenter som er påvist med fjernanalyse av ortofoto (avsnitt 5.1, Figur 6). Sone A sammenfaller med bergartsgrensen mellom de to litologiske enhetene (stiplet svart linje i Figur 53).



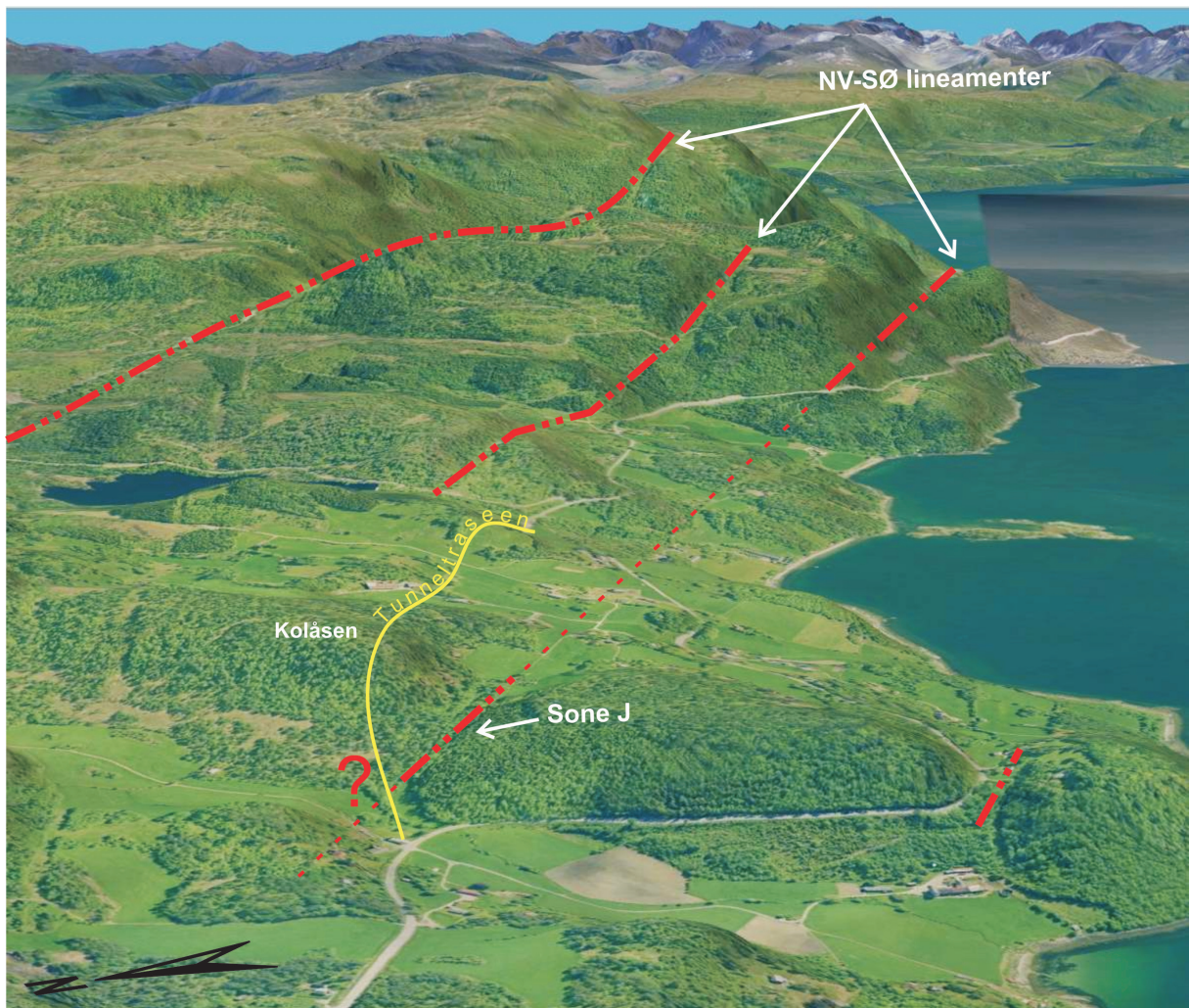
Figur 53. Kart som oppsummerer de geologiske og geofysiske undersøkelsene i området og tolkede strukturer basert på dette. Se tilhørende tekst for forklaring.

I Figur 54 er et geologisk tverrprofil langs tunneltrassen fremstilt, hvor fallet på sonene som er kartlagt på overflater og ved hjelp av geofysikk er tegnet inn. I tverrprofilet (Figur 54) er også variasjonen i foliasjonen indikert, som viser at foliasjonen har steilere fall i den granittiske til diorittiske gneisen i nordvest, mens foliasjonen har slakere fall i enheten med glimmerskifer, amfibolitt, kalksilikatskifer, metasandstein, kalkspatmarmor og paragneis i sørøst.



Figur 54. Forslag til geologisk profil langs tunneltraseen basert på undersøkelsene presentert i rapporten. Alle sonene er påvist i resistivetsprofil 1 (Figur 4) og noen soner er også påvist med seismikk. Bergartsgrensen mellom enhet (1) og (2) sammenfaller med sone A. Sonene er navngitt og tilsvarer sonene markert i Figur 53. Tunneltrase er angitt med gul linje, svakhetssoner (bruddsoner) med heltrukne blå streker, foliasjon i stiplede blå linjer og bergartsgrense med stiplet svart strek.

Sone J med NV-SØ strøk (Figur 55) er ikke identifisert i resistivetsprofilet, trolig fordi sonen går parallelt med profilet. Dette er en svakhet med metoden, og for å kunne påvise svakhetssoner må profilet måles med vinkel til sonen, optimalt vinkelrett på soner av interesse. Sone J er påvist med seismikk utført av Geomap (2007) og GeoPhysix (2008) som en sone med lav seismisk hastighet. Sone J sammenfaller også med et lineament kartlagt med fjernanalyse fra ortofoto (avsnitt 5.1, Figur 6), hvor sonen utgjør et tydelig topografisk uttrykk som en smal og bratt dal (Figur 55). I felt er NV-SØ trenden kun observert som sprekkesett og ikke som betydelige forkastninger eller sprekkesoner. Men i regional skala er NV-SØ trenden en av to hovedtrender av lineament. Sone J kan være veldig steil, og kan skjære gjennom ved nordvestlige tunnelpåhugg (Figur 55)



Figur 55. Oversiktsbilde av sone J, en av de regionale lineamentene i området (kilde: Norge i 3D). Sone J kan være veldig steil og kan skjære gjennom ved nordvestlige tunnelpåhugg.

7. KONKLUSJONER

I samarbeid med Statens vegvesen har NGU utført geofysisk og geologisk kartlegging i forbindelse med Eikremtunnelen, Rv 70 Øydegard-Bronneset. Det er totalt samlet inn ca 2.8 km resistivitetsdata fordelt på to profiler, som så er prosessert og tolket. Det er tatt hensyn til eksisterende geologiske data fra kartlegging i tolkningen av de geofysiske dataene, og resultatene fra geofysisk og geologisk kartlegging er sammenstilt i denne rapporten. Den geofysiske kartleggingen med 2D resistivitet har påvist flere soner i berggrunnen enn det som tidligere er kartlagt på overflaten, og flere av sonene viser godt samsvar mellom påvisning på overflaten og i berggrunnen.

Langs tunneltraseen forekommer det to hovedenheter av bergarter. I nordvest består berggrunnen av granittisk til diorittisk gneis, som er en enhet av god kvalitet med relativt lite sprekker og mindre utpreget foliasjon. Enheten i sørøst er svært sammensatt og består vekselvis av glimmerskifer, amfibolitt, kalksilikatskifer, metasandstein, kalkspatmarmor og paragneis (gneis dannet fra sedimenter), som er av dårligere kvalitet, er stedvis svært oppsprukket og er tydelig preget av foliasjonen. Bergartskontakten mellom de to geologiske enhetene er utsatt for forkastninger, forvitring og vannførende soner. Foliasjonen har generell NØ-SV strøkretning og ca 40° fall mot NV. Andre strukturer som er observert i felt er (1) steile NØ-SV forkastninger og/eller sprekkesoner som er utviklet langs foliasjonen hvor foliasjonen er steilere enn 40°, eller forkastningssonene kutter foliasjonen der foliasjonen har moderat til slakt fall. (2) steile forkastninger og/eller sprekkesoner med en klar Ø-V trend som kutter foliasjonen. Disse to typene av strukturer er observert i blotninger og kan relateres til store strukturer og svakhetssoner som er kartlagt i resistivitetsprofilene. I regional skala er det kartlagt to hovedtrender av lineament med fjernanalyse fra ortofoto, NV-SØ trend og NØ-SV trend som sammenfaller med foliasjonen.

Det er godt samsvar mellom soner som er kartlagt med geofysikk i grunnen og kartlegging av forkastninger og sprekkesoner i felt. Ved å kombinere disse to formene for kartlegging kan vi med større sikkerhet angi strøk og fallretning av påviste soner, samt angi sonens karakter i form av utstrekning og omfang med tanke på vannføring og ustabilitet.

8. REFERANSER

ABEM 1999: ABEM Terrameter SAS 4000/SAS 1000. Instruction Manual. ABEM Printed Matter 93101. ABEM, Sverige.

Askvik, H. & Rokoengen, K., 1985. Berggrunnsgeologisk kart KRISTIANSUND, M. 1:250 000. Norges geologiske undersøkelse

Braathen, A. & Gabrielsen R.H., 2000. Bruddsoner i fjell – oppbygging og definisjoner. Gråsteinen nr. 7. Norges geologiske undersøkelse

Bryhni, I., Austrheim, H., Bjørnstad, B., Kullerud, L. & Reksten, K., 1990. Berggrunnskart TINGVOLL 1320 I, 1:50 000, foreløpig utgave. Norges geologiske undersøkelse

Dahlin, T. 1993: On the Automation of 2D Resistivity Surveying for Engineering and Environmental Applications. Dr. Thesis, Department of Engineering Geology, Lund Institute of Technology, Lund University. ISBN 91-628-1032-4.

Fossen, H. & Gabrielsen, R.H., 2005. Strukturgeologi. Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS, s. 375. ISBN: 82-450-0258-5

Geomap 2007: Rv 70 Øydegard – Brunneset. Tunell forbi Eikrem. Refraksjonsseismiske grunnundersøkelser. Dater 16.10.07.

GeoPhysix 2008: Rv 70 Øydegard – Brunneset. Refraksjonsseismikk. Prosjekt nr. 08162a.

Loke, M.H. 2007: RES2INV ver. 3.56. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. www.geoelectrical.com.

Reiser, F., Dalsegg, E., Dahlin, T., Ganerød, G. & Rønning, J.S. "Resistivity Modelling of Fracture Zones and Horizontal Layers in Bedrock". NGU Report 2009.070, pp. 1-120, 2009 <http://www.ngu.no/no/hm/Publikasjoner/Rapporter/2009/>

Rønning, J.S.: Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Sluttrapport delprosjekt A, Forundersøkelser. Statens vegvesen, Publikasjon nr. 102.

Rønning, J.S., Dalsegg, E., Elvebakk, H. & Storrø, G. 2003: Characterization of fracture zones in bedrock using 2D resistivity. 9th EEGS European Meeting, Prague, August 31 – September 4 2003. Extended Abstract: Proceedings P005.

Rønning, J.S., Dalsegg, E., Elvebakk, H., Ganerød, G.V. & Heincke, B.H. 2009: Characterization of fracture zones in bedrock using 2D resistivity. Proceedings from 5th Seminar on Strait Crossings, Trondheim, June 21 – 24 2009, p. 439 - 444 (SINTEF/NTNU)

TEKSTBILAG

Tabell 4. GPS-posisjoner for profil 1 (WGS-84-32V).

UTM-øst	UTM-nord	Profil	Koordinat
450045	6986780	Profil 1	0
450186	6986649		200
450325	6986540		400
450470	6986420		600
450589	6986268		800
450676	6986093		1000
450807	6985957		1200
450968	6985856		1400
450011	6986782	Profil 2	0
450116	6986618		200
450218	6986450		400
450378	6986339		600
450532	6986218		800
450630	6986056		1000
450807	6985957		1200
450968	6985856		1400



 Undersøkt område

NGU
 OVERSIKTSKART
EIKREMTUNNELEN
 TINGVOLL, MØRE OG ROMSDAL

MÅLESTOKK 1 : 50 000	MÅLT E.D.	April 2009
	TEGN E.D.	Jan. 2010
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR
 2010.006-001

KARTBLAD NR
 1321 II



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

Tlf. (+47 915) 02030
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN 1504-5005