



# **GEOLOGI FOR SAMFUNNET**

SIDEN 1858



**NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE**  
· NGU ·

<b>Rapport nr.: 2015.016</b>	<b>ISSN: 0800-3416 (trykt)</b> <b>ISSN: 2387-3515 (online)</b>	<b>Gradering: Åpen</b>
<b>Tittel:</b> Tunnel under Romsdalsfjorden ved Molde. Tolkning av svakhetssoner fra magnetisk data målt fra helikopter.		
<b>Forfatter:</b> Odeiv Olesen og Frode Ofstad	<b>Oppdragsgiver:</b> Statens vegvesen, Region Midt / NGU	
<b>Fylke:</b> Møre og Romsdal	<b>Kommune:</b> Molde, Vestnes, Midsund, Skodje, Ørskog	
<b>Kartblad (M=1:250.000)</b> ÅLESUND	<b>Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)</b> 1220 II Vestnes, 1320 III Åndalsnes	
<b>Forekomstens navn og koordinater:</b> UTM sone 32 Molde 406000 - 6957000	<b>Sidetail: 13</b> <b>Kartbilag:</b>	<b>Pris: kr 70,-</b>
<b>Feltarbeid utført:</b> Desember 2014, Januar 2015	<b>Rapportdato:</b> 10.februar 2015	<b>Prosjektnr.:</b> 353201
<b>Ansvarlig:</b> <i>Jan S. Rønning</i>		
<b>Sammendrag:</b> <p>Tolking av magnetiske data indikerer flere forkastnings-/svakhetssoner som må krysses med den planlagte tunnelen ved E 39 under Romsdalsfjorden. Magnetiske dislokasjoner representerer sannsynligvis store regionale svakhetssoner knyttet til Møre-Trøndelagforkastningssonen (MTFS). En av disse sonene som sannsynligvis består av 3-4 parallelle svakhetssoner ligger mellom Otrøya og Tautra og noen andre ligger vest for Fiksdalen. Førstnevnte er det drevet tunnel gjennom tidligere, og erfaringer her kan være en indikasjon på hvilke problemer som kan oppstå under drivingen av den nye tunnelen. Tidligere undersøkelser langs MTFS viser at sonene kan være over to hundre meter brede og at hastigheten stedvis er lavere enn 2500 m/s, noe som karakteriseres som meget dårlig fjell.</p> <p>Strøkretingen på de tolkede svakhetssonene varierer mellom Ø-V og VSV og ØSØ. En geologisk undersøkelse av disse strukturene der de er blottet på land anbefales på samme måte som Ganerød og Lutro (2011) gjorde for det tilsvarende Nordøyane prosjektet for noen år siden. Svakhetssonene kan også karakteriseres på land eller på Tautra med 2D resistivitetsmålinger og refraksjonsseismikk. Ved å følge strukturene ut i fjorden fra det magnetiske kartet er det da mulig å forutsi hvor de kan påtreffes i den planlagte tunnelen og hvordan de vil opptre.</p>		
<b>Emneord:</b>	Magnetometri	Helikoptermåling
Tunnel	Svakhetssoner i fjell	
		Fagrapport

## **INNHOOLD**

1. INNLEDNING .....	4
2. MÅLEMETODE OG UTFØRELSE .....	4
3. RESULTATER .....	5
3.1 Magnetiske tolkningsmetode .....	5
3.2 Magnetiske tolkninger.....	6
4. DISKUSJON .....	10
5. KONKLUSJONER.....	11
6. REFERANSER .....	12



## 1. INNLEDNING

Statens vegvesen, Region Midt planlegger krysning av Romsdalsfjorden med tunnel. Prosjektet er en del av E39 og den aktuelle parsellen er kalt Vik – Julbøen. Denne består av Bru over Julsundet fra Julbøen på fastlandet til Otrøya og videre med tunnel under fjorden fra Otrøya til Vik i Tomrefjorden (se Vegvesenets nettsider). <http://www.vegvesen.no/Europaveg/e39romsdalsfjorden>

Som en del av forundersøkelser for tunnelprosjektet har NGU samlet inn magnetiske data ved hjelp av helikopter. Datainnsamlingen startet 10. desember 2014 og ble avsluttet 22. januar 2015 etter et opphold i målingene på 1 måned på grunn av dårlig vær. Datainnsamlingen og prosesseringen av data er dokumentert i egen rapport (Ofstad 2015). Denne rapporten beskriver tolkingsprosedyrer og resultater.

## 2. MÅLEMETODE OG UTFØRELSE

Magnetiske målinger går ut på å kartlegge variasjoner i jordens magnetfelt som i hovedsak skyldes variasjoner i bergartenes innhold av mineralet magnetitt. Disse variasjonene kan også gi informasjon om forkastninger og svakhetssoner i bakken.

Opprinnelig ble det vurdert å benytte fly ved datainnsamlingen. Høye fjell som gir begrensninger i på hver side av Romsdalsfjorden i kombinasjon med at målelinjene bør gå mest mulig vinkelrett på aktuelle strukturene, gjorde at dyrere helikoptermålinger ble valgt. Data ble samlet med NGUs standard måleutstyr og prosedyrer (Rønning 2013). Måleutstyret består av et Sintrex Cesium magnetometer som er montert i en sonde som blir slept 30 meter under helikopteret. Data er samlet inn langs N-S gående linjer med 200 m profilavstand. Regelrett linjemønster i figur 1 viser god kvalitet på flyvingen, dette til tross for tidvis mye vind. Gjennomsnittlig flyhastighet under målingene var 88 km/time og målesondens høyde over sjø/bakke var i gjennomsnitt 52 meter. Magnetiske data registreres 5 ganger i sekundet, noe som gir en gjennomsnittlig målepunktavstand på i underkant av 5 meter. Datainnsamlingen ble foretatt av personell og helikopter (AS-350-B2) fra firmaet Heliscan as som har base på Frosta.

For å korrigere for eventuelle daglige forstyrrelser i magnetfeltet, ble det satt ut en målestasjon (GEM GSM-19) 2 km vest for basen på Haukabøen (UTM sone 32W 397858 øst – 6956980 nord). Variasjoner i magnetfeltet ble registrert hver 3. sekund, og disse var vel innenfor NGUs strenge kvalitetskrav for daglige variasjoner (Rønning 2013).

Navigasjon er utført ved hjelp av GPS/GLONASS satellittdata som gir en nøyaktighet i posisjoneringen bedre enn +/- 5 meter. Helikopterets høyde over sjø/bakke ble målt med radar høydemåler (Bendix/King KRA 405B) som har en nøyaktighet på 3%.

Data er prosessert på NGU av Frode Ofstad ved hjelp av programpakken Geosoft Oasis Montaj. For flere detaljer omkring datafangst og prosessering henvises til den tekniske rapporten fra undersøkelsen (Ofstad 2015).



Figur 1: Linjer som ble målt under den aktuelle undersøkelsen over Romsdalsfjorden ved Molde.

### 3. RESULTATER

#### 3.1 Magnetiske tolkningsmetode

Det regionale magnetfeltet (IGRF2014) er trukket fra det observerte feltet og differansen er vist i figur 2. Vi har videre laget to avledete datasett; den første vertikalderverte,  $\partial f / \partial z$  (figur 3) og den tilderiverte (figur 4) for å framheve de overflatenære strukturene.

I den tilderiverte inngår forholdet mellom den vertikalderverte til absoluttverdien av den horisontalderverte. Den tilderiverte eller tiltvinkelen  $\theta$  defineres som :

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\partial f / \partial z}{\partial f / \partial h} \quad \text{der den horisontalderverte er:} \quad \frac{\partial f}{\partial h} = \left[ \left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

(Verduzco et al. 2004)

Tolkningsmetoden for de aeromagnetiske data er beskrevet av Henkel (1991) og Olesen & Sandstad (1993). Vi har tolket mulige svakhetssoner i form av magnetiske dislokasjoner. De er karakterisert ved:

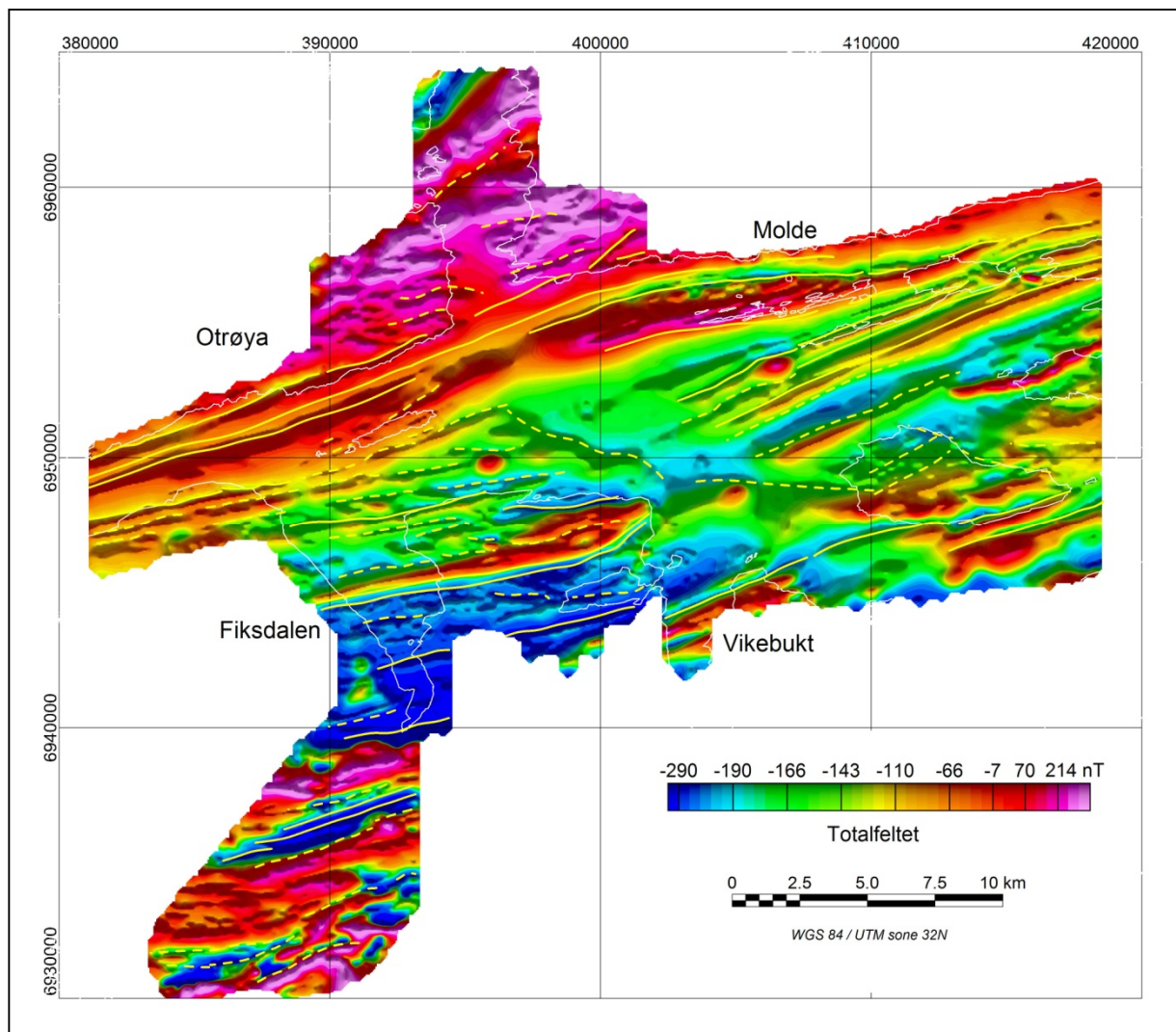
- 1) Lineære avbrudd i anomalimønster,
- 2) Forskyvning av referansestrukturer
- 3) Lineære gradienter
- 4) Lineære diskordante magnetiske minima.

De tre første karakteristika representerer i de fleste tilfeller forkastningssoner, mens det fjerde oftest representerer knusningssoner og/eller forvitringssoner hvor magnetitt er oksydert til mineraler med lavere magnetisering (Henkel & Guzmán 1977, Olesen et al. 2007). Dislokasjonene er klassifisert i to grupper: tydelige og mindre tydelige. De er vist med henholdsvis heltrukne og stiplede linjer i figur 2-5.

### **3.2 Magnetiske tolkninger.**

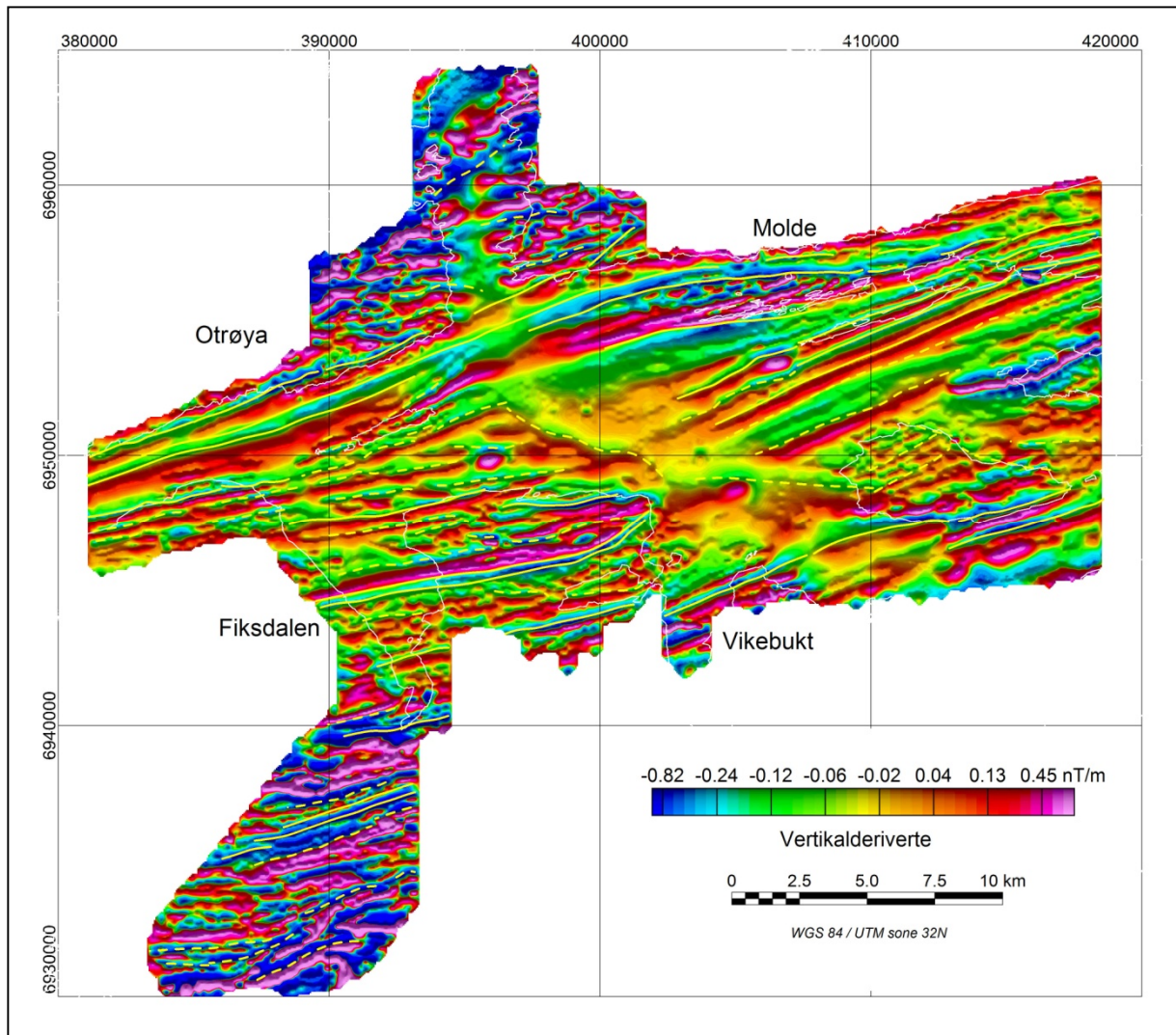
De fleste dislokasjonsonene har en Ø-V til VSV-ØNØ gående trend og skjærer bergartene i fjorden utenfor Molde med en lav vinkel. De er av den grunn utfordrende å tolke fra de magnetiske kartene i figur 2-4 og dislokasjonene kan derfor ha en usikkerhet i plasseringen på ca. 200 m. De tydelige dislokasjonene antas i de fleste tilfeller å representere svakhetssoner som sannsynligvis utgjør en del av Møre-Trøndelagforkastningssonen (Séranne o.a. 1992, Braathen o.a. 2002). De mindre tydelige dislokasjonene kan ha andre årsaker som f.eks. bergartsgrenser uten tektoniske bevegelser. De tolkede svakhetssonene i Romsdalsfjorden danner til sammen en regional linse som opptrer i både lokal og regional skala flere steder langs Møre-Trøndelagforkastningssonen (se Dehls o.a. 2012, Nasuti et al. 2012 og referanser i denne). Dette mønsteret er vanlig langs store sidelengsforkastninger og er for eksempel beskrevet av Sylvester (1988). Den regionale skjærlinsen gjennomsettes diagonalt av en regional VNV-ØSØ- gående dislokasjon ca. 5 km nord for Vikebukta og sentralt i Romsdalsfjorden. Denne sonen faller delvis sammen med en djupål i fjorden, men antas ikke å krysse den planlagte tunnelen under Romsdalsfjorden.

De magnetiske tolkningene indikerer derimot flere andre mulige regionale strukturer som kan skape problemer ved tunneldriving under Romsdalsfjorden. En spesielt markert struktur går langs nordsiden av fjorden og må krysses av tunnelen under fjorden mellom Otrøya og Tautra. Den består av to eller tre parallelle soner på nordsiden av en større grønnsteinsenhet. Tunnelen fra Molde til Bolsøya krysser denne strukturen. Andre regionale svakhetssoner som antas å ha betydning for den planlagte tunnelen opptrer øst for Fiksdalen (figur 2-4). Tolkningene er oppsummert i figur 5.



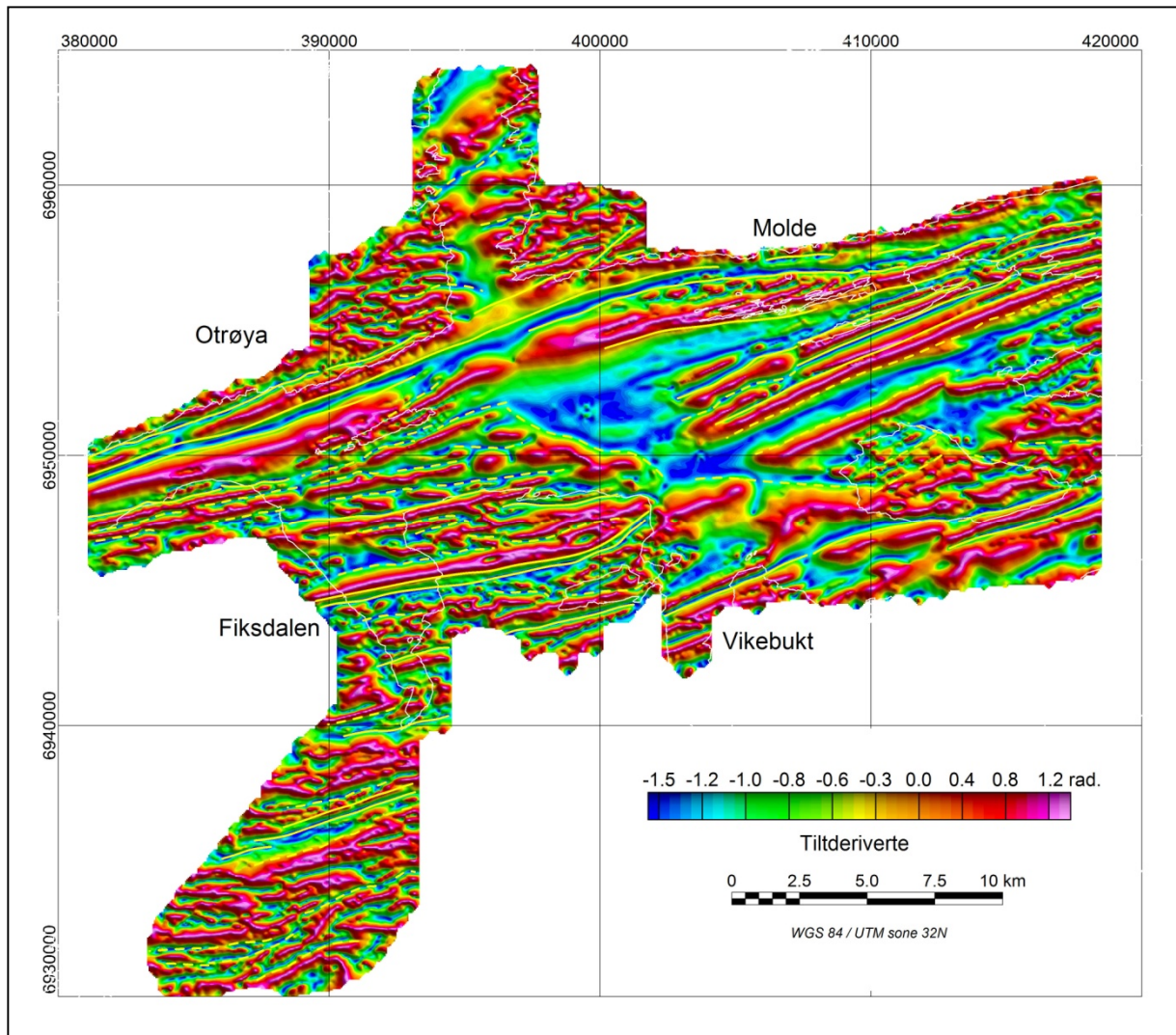
**Figur 2: Flymagnetisk kart over sentrale deler av Romsdalsfjorden. Magnetfeltet er referert til IGRF 2014. Gule heltrukne og stiplede linjer viser henholdsvis tydelige og mindre tydelige dislokasjoner som i mange tilfeller vil representere forkastnings-/svakhetssoner.**



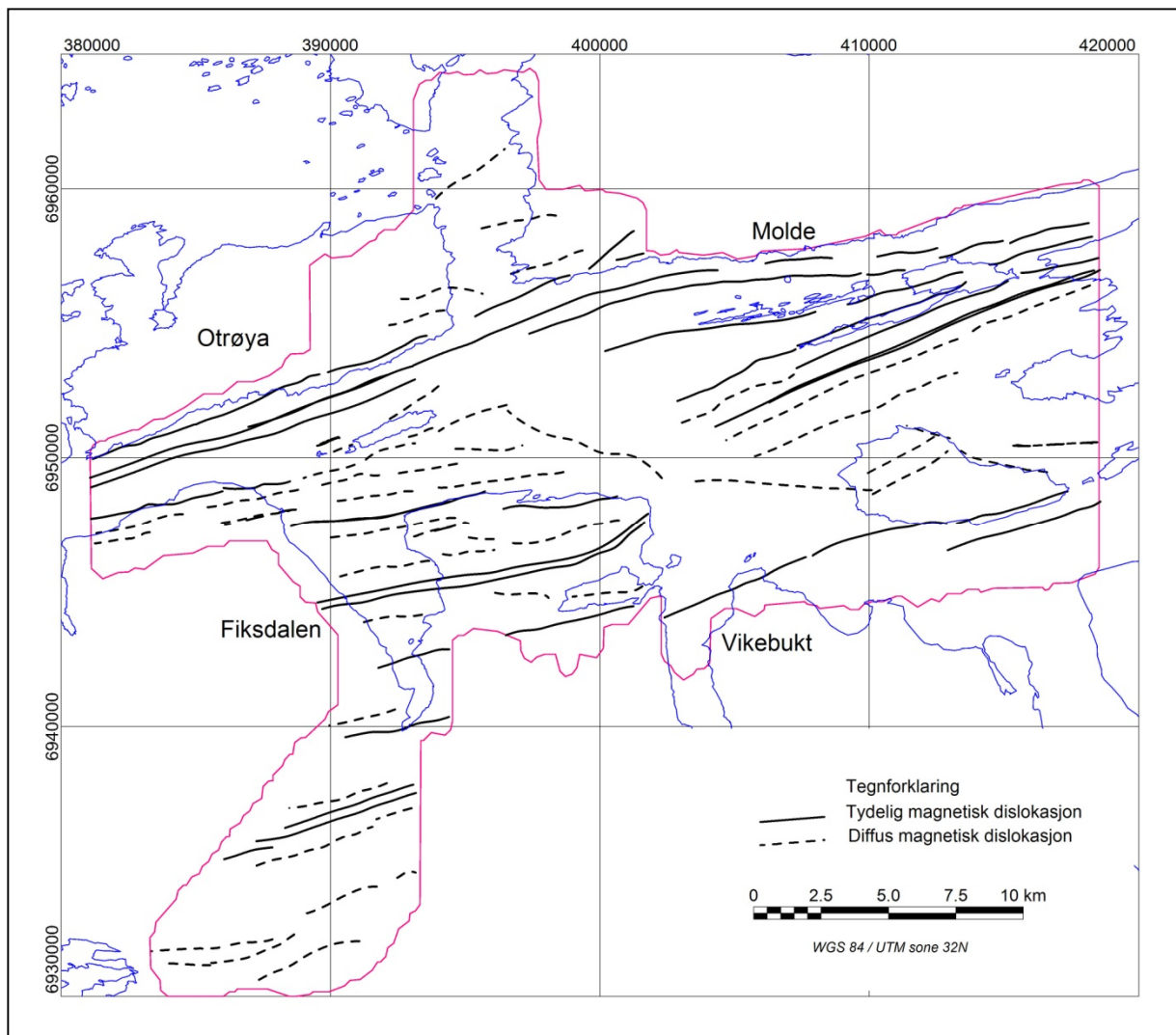


**Figur 3: Første vertikalderverte av magnetfeltet over sentrale deler av Romsdalsfjorden. Gule heltrukne og stiplede linjer viser henholdsvis tydelige og mindre tydelige dislokasjoner som i mange tilfeller vil representere forkastningssoner/svakhetssoner.**





**Figur 4: Den tiltderiverte av magnetfeltet over sentrale deler av Romsdalsfjorden. Gule heltrukne og stiplede linjer viser henholdsvis tydelige og mindre tydelige dislokasjoner som i mange tilfeller vil representere forkastningssoner/svakhetssoner.**



**Figur 5: Tolkingskart over Romsdalsfjorden ved Molde. Svarte heltrukne og stiplede linjer viser henholdsvis tydelige og mindre tydelige dislokasjoner som i mange tilfeller vil representere forkastningssoner/svakhetssoner. De danner en regional linse i Romsdalsfjorden som er vanlig langs store sidelengsforkastninger slik som i Møre-Trøndelagforkastningssone. En mulig VNV-ØSØ-gående svakhetszone gjennomsetter ca. 5 km nord for Vikebukt denne regionale skjærlinsa. Regionale svakhetssoner som antas å ha betydning for bygging av en tunnel under Romsdalsfjorden opptrer like sør for Otrøya og øst for Fiksdalen.**

#### 4. DISKUSJON

En sammenstilling av resultatene fra de magnetiske tolkningene vist i figur 5. De tydelige dislokasjonene representerer etter all sannsynlighet store regionale svakhetssoner knyttet til Møre-Trøndelagforkastningssonen (MTFS). Geofysiske målinger på Eidsøra (Nasuti et al. 2010) og i Langfjorden (Geomap 2009) øst for Molde viser at det kan være svært store svakhetssoner som resultat av disse forkastningene. Ved Eidsøra er det påvist en svakhetszone med bredde 100 meter og seismisk hastighet på 2500 m/s. Ca. 200 meter øst for denne finnes en ny sone med bredde 80 meter og seismisk hastighet 3700 m/s. Begge disse er bekreftet med resistivetsmålinger, og den første av disse viser resistivetsverdier lavere enn 500

ohmm noe som kan indikere en leirsone (Rønning et al. 2009 og 2014). Ved Langfjorden er det påvist lavhastighetssoner med total bredde i størrelsen 180 meter ved tre profiler og bredde på 300 meter i ett tilfelle. Hastigheten i denne sonen varierer fra 2400 m/s til 2900 m/s (Geomap 2009). I følge Barton (2007) tilsvarer dette veldig dårlig fjell.

Tunnelen fra Molde under sjøen til Bolsøya krysser en av de tydeligste dislokasjonene. Erfaringer fra denne kryssingen kan gi et godt bilde på hvilke problemer en kan forvente ved fjordkryssingen lengre ute i fjorden.

De magnetiske målingene er utført med en linjeavstand som tilsvarer en kartlegging i skala 1: 50.000. På grunn av dette må en påregne en viss usikkerhet i posisjoneringen av de kartlagte sonene.

Ved denne undersøkelsen er det ikke gjort noe forsøk på å lage berggrunnsgeologisk kart over det aktuelle området. Dette krever oppfølgende geologisk kartlegging i felt, noe som anbefales. NGU vil også anbefale at det utføres strukturgeologisk kartlegging og refraksjonsseismikk/resistivitetsmålinger over de kartlagte dislokasjonene på land.

## **5. KONKLUSJONER**

Tolking av magnetiske data indikerer flere forkastnings-/svakhetssoner som må krysses med den planlagte tunnelen ved E 39 under Romsdalsfjorden. En av disse sonene som sannsynligvis består av 3-4 parallelle svakhetssoner ligger mellom Otrøya og Tautra og noen andre ligger vest for Fiksdalen. Førstnevnte er det drevet tunnel gjennom tidligere og erfaringer her kan være en indikasjon på hvilke problemer som kan oppstå under drivingen av den nye tunnelen. Disse sonene tolkes til å være en del av Møre-Trøndelagforkastningssonen (MTFS). Tidligere undersøkelser langs MTFS viser at sonene kan være over to hundre meter brede og at hastigheten stedvis er lavere enn 2500 m/s, noe som karakteriseres som meget dårlig fjell.

Strøkretningen varierer mellom Ø-V og VSV og ØSØ. En geologisk undersøkelse av disse strukturene der de er blottet på land anbefales på samme måte som Ganerød og Lutro (2011) gjorde for Nordøyaneprosjektet for noen år siden. Svakhetssonene kan også karakteriseres på land eller på Tautra med 2D resistivitetsmålinger og refraksjonsseismikk. Ved å følge strukturene ut i fjorden fra det magnetiske kartet er det da mulig å forutsi hvor de kan påtreffes i den planlagte tunnelen og hvordan de vil opptre.



## 6. REFERANSER

- Barton, N. 2007: Rock quality, seismic velocity, attenuation and anisotropy. Taylor & Francis Group. London, 2007 (Figure 5.36).
- Braathen, A., Osmundsen, P.T., Nordgulen, Ø., Roberts, D, & Meyer, G.: Orogen-parallel, extension of the Caledonides in northern Central Norway: an overview. *Norwegian Journal of Geology* 82, 225-241.
- Dehls, J.F., Olesen, O. & Rønning, J.S. 2012: Magnetisk og batymetrisk kartlegging ved vegprosjektet Fv. 659 Nordøyvegen, Møre og Romsdal. NGU Rapport 2012.012, 22 sider.
- Ganerød, G.V. og Lutro, O. 2011: Berggrunnsgeologisk og strukturgeologisk kartlegging i forbindelse med prosjektet Fv. 659 Nordøyvegen, Møre og Romsdal. NGU Rapport 2011.049, 11 sider.
- Geomap 2009: Langfjorden. Grunnundersøkelser for utredning av undersjøisk fjordkrysning I området Søsnes – Åfarnes og Veøy – Sekken. Akustisk profilering, refraksjons-seismikk og Seismisk tomografi. Geomap Rapport 282014.01
- Henkel, H. 1991: Magnetic crustal structures in Northern Fennoscandia. In: Wasilewski, P. & Hood, P. (red.) *Magnetic anomalies – land and sea. Tectonophysics* 192, 57-79.
- Henkel, H. & Guzmán, M. 1977: Magnetic features of fracture zones. *Geoexploration* 15, 173-181.
- Nasuti, A., Chawshin, K., Dalsegg, E., Tønnesen, J.F., Ebbing, J. and Gellein, J. 2010: Electrical resistivity and refraction seismics over a segment of the Møre-Trøndelag Fault Complex. NGU Report 2009.037 (37pp).
- Nasuti, A., Pascal, C. & Ebbing, J. 2012: Onshore–offshore potential field analysis of the Møre–Trøndelag Fault Complex and adjacent structures of Mid Norway. *Tectonophysics* 518, 17-28
- Ofstad, F. 2015: Helicopterborne magnetic and radiometric geophysical survey in the Molde area, Møre og Romsdal County. NGU Report 2015.015.
- Olesen, O. & Sandstad, J.S. 1993: Interpretation of the Proterozoic Kautokeino Greenstone Belt, Finnmark, Norway from combined geophysical and geological data. *Nor. geol. unders. Bull.* 425, 41-62.
- Olesen, O., Dehls, J.F., Ebbing, J., Henriksen, H., Kihle, O. & Lundin, E. 2007: Aeromagnetic mapping of deep-weathered fracture zones in the Oslo Region – a new tool for improved planning of tunnels. *Norwegian Journal of Geology* 87, 253-267.
- Rønning, J.S. 2013: NGUs helikoptermålinger. Plan for sikring og kontroll av datakvalitet. Versjon 44. NGU Intern rapport 2013.001.
- 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).
- Rønning, J.S., Ganerød, G.V., Dalsegg, E. & Reiser, F. 2013: Resistivity mapping as a tool for identification and characterization of weakness zones in bedrock - definition and testing of an interpretational model. *Bull. Eng. Geol. Environment* Volume 73, Issue 4 (2014), Page 1225-1244
- Séranne, M. 1992: Late Palaeozoic kinematics of the Møre-Trøndelag Fault Zone and adjacent areas, central Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 72, 141-158.

Sylvester, A.G. 1988: Strike-slip faults. *Geol. Soc. Am. Bull.* 100, 1666-1702.

Verduzco B., Fairhead J.D., Green C.M. & MacKenzie C. 2004: New insights into magnetic derivatives for structural mapping, *The Leading Edge*, 116-119.



NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE  
- NGU -

Norges geologiske undersøkelse  
Postboks 6315, Sluppen  
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse  
Leiv Eirikssons vei 39  
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00  
E-post [ngu@ngu.no](mailto:ngu@ngu.no)  
Nettside [www.ngu.no](http://www.ngu.no)