

# Digital kartlegging og 3D modellering av en geologisk forekomst

**Nina Ulfstein**

Geologi

Innlevert: Juni 2012

Hovedveileder: Erik Stabell Ludvigsen, IGB

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for geologi og bergteknikk



## Sammendrag

I denne oppgaven presenteres teknologiske løsninger og arbeidsmetoder for utredningen av en skiferforekomst utenfor Sandane i Sogn og Fjordane. Forekomsten har store geologiske variasjoner, hvilket fører til problemer ved drift. Arbeidet med utredelsene er inndelt i tre artikler, som tar for seg de ulike aspektene av prosessen.

Ut fra et behov for mer effektive og oppdaterte metoder for datainnsamling foreslås det i artikkel I en løsning for digital kartlegging ved bruk av ArcGIS Server og iPad. Denne innebærer lagring av data direkte til en geodatabase gjennom et interaktivt webkart, og ble brukt til kartlegging av skiferforekomsten. Erfaringene etter praktisk bruk i felt var positive, og løsningen førte til en effektivisering av arbeidsmetodikken.

For å få mer kunnskap om de ulike bergartene og strukturene i skiferforekomsten er disse i beskrevet og analysert i artikkel II. Dette ble utført ved bruk av tradisjonelle geologiske undersøkelsesmetoder. Bergartene i forekomsten er analysert og klassifisert som kvartsskifer, meta-arkose og meta-diabas. Beskrivelser av strukturer i forekomsten og redegjørelse for tidligere arbeid i området er også inkludert. Dette er for å forstå utviklingen til området, og dermed forekomsten. Det ble utviklet en 3D modell av forekomsten som grunnlag for effektivisering av driften. Dette beskrives i artikkel III. Modellen er basert på overflatedataene innsamlet i felt, og bruker laserdata som rammeverk. Den ferdige 3D modellen av forekomsten viser hvor bergartene kvartsskifer, meta-arkose og meta-diabas kan lokaliseres på terrengoverflaten, og hvordan disse fortsetter inn i forekomsten.

Ved å benytte seg av løsningen for digital kartlegging førte dette til mindre etterarbeid. Grunnen til dette var at observasjoner og målinger fra felt var lagret direkte i en geodatabase, som kunne brukes i et overordnet geografisk informasjonssystem. Dette førte til effektiv videre bruk til 3D modellering og visualiseringer. Ved å både utrede geologien på tradisjonelt, og modellere forekomsten i 3D, skapte dette en gjennomgående forståelse av forekomstens utstrekning, og hvordan den kan utnyttes.

## Abstract

The master thesis presents technological solutions and techniques for investigating a geological quarry near Sandane, Sogn og Fjordane (Norway).

The quarry consists of quartz schist with thorough variations in geological compositions, which leads to difficulties in the exploration of the resource. The investigations are divided into three articles.

A need for more effective and modern ways for geological mapping resulted in a new digital mapping technique. This technique uses ArcGIS Server and iPad. Use of this solution enables storing of data directly to a geological database (geodatabase) from the field, through an interactive online map. Experiences from the fieldwork were positive, and the technique was considered very effective.

To gain more knowledge about the geological features in the quarry these were investigated and described by traditional geological methods. The different rock bodies in the quarry were classified as quartz schist, meta-arkose and meta-diabase (dolerite). Their mineralogical content was analyzed using an optical microscope. Other investigations include description of geological structures within the quarry, as well as a review of earlier work and findings within the area.

As a foundation for further planning of the exploration of the quarry, a 3D model was constructed. The model is created from surface data collected in the field, and uses LIDAR scans for framework. The model illustrates where the different rock types may be located at the surface and within the mountain side.

By using the techniques for digital mapping, complementary work was reduced greatly with the data already structured in a geodatabase. The geodatabase was integrated in a geographical information system, which led to an effective workflow and modeling process. Investigation of the quarry using traditional geological methods, as well as 3D modeling, led to a better understanding of the resource and how to exploit it.

## Forord

Jeg ønsker å rette en stor takk til alle som har hjulpet meg med arbeidet i denne masteroppgaven. Først og fremst en stor takk til Erik Ludvigsen, som gjorde det mulig for meg å arbeide med et emne som virkelig engasjerer meg, og ikke minst for masse fenomenal hjelp underveis. Takk også til Steinar Ellefmo, Allan Krill og Giulio Viola ved NTNU for svært god hjelp i løpet av det siste året, og særlig de siste ukene.

En stor takk må også rettes til Siril Hafstad, for fantastisk hjelp til bearbeiding av laserdata og generell veiledning. I GIS-sammenheng har også Roy Svartliaunet og Toni Mikkola vært svært gode ressurser, det sendes en takk i den retningen og.

Takk til min fantastiske familie og svigerfamilie, samt herlige venner for moralsk støtte og gode ord underveis.

Den aller største takken rettes til Christoffer, som har holdt ut med meg i løpet av denne perioden. Jeg hadde aldri klart dette uten deg!

Nå gleder jeg meg til å ta fatt på neste epoke av livet, og alt den har å by på.

Nina Ulfstein  
Oslo, 2012.

# Innholdsfortegnelse

## Del 1 – Oppgaven s 1

---

Kapittel 1: Introduksjon	s 1
1.1 Innledning/Bakgrunn	s 1
1.2 Formål og problemstilling	s 3
1.3 Oppgavens utforming: utvidet artikkelformat	s 4
1.4 Regional geologi	s 5
1.5 Definisjoner	s 9
Kapittel 2: Diskusjon og konklusjon	s 10
2.1 Diskusjon	s 10
2.2 Oppsummering og avslutning	s 11
2.3 Konklusjon	s 13
2.4 Videre arbeid	s 13
Referanser	s 15

Artikkel I – iPad og ArcGIS Server som verktøy for digital kartlegging av en geologisk forekomst.

1.0	Introduksjon	s 2
1.1	Bakgrunn	s 2
1.2	Formål og problemstilling	s 4
2.0	Teknologier	s 5
2.1	ArcGIS	s 5
2.1.1	ArcGIS Desktop	s 6
2.1.2	ArcGIS Server	s 7
2.1.3	ArcSDE	s 10
2.1.4	ArcGIS Online	s 11
2.1.5	ArcGIS applikasjon for smarttelefoner og nettbrett	s 12
2.3	iPad	s 12
3.0	Metoder	s 13
3.1	Oppsett og konfigurasjon av løsning	s 13
3.1.1	Installasjon og konfigurasjon av SQL Server	s 15
3.1.2	Installasjon og konfigurasjon av ArcGIS Server	s 16
3.1.3	Installasjon og konfigurasjon av ArcSDE	s 17
3.1.4	Klargjøring av data og publisering av tjenester	s 18
3.1.5	Opprettelse av webkart i ArcGIS Online	s 19
3.2	Praktisk bruk i felt	s 20
4.0	Resultater	s 23
4.1	Beskrivelse av løsning for digital kartlegging	s 23
4.2	Innsamlet data fra feltarbeid	s 24
5.0	Diskusjon	s 27
5.1	Oppsett av løsning for digital kartlegging	s 27
5.2	Praktisk bruk i felt	s 28
5.3	Vurdering av løsningens funksjonalitet	s 29
6.0	Konklusjon	s 31
7.0	Referanser	s 31

## Artikkel II- Beskrivelser og analyser av bergarter og strukturer i forekomst tilknyttet Nordfjord Skifer, Sogn og Fjordane.

1.0	Introduksjon	s 2
1.1	Bakgrunn	s 2
1.2	Formål og problemstilling	s 2
2.0	Tidligere arbeid i området	s 3
3.0	Metoder	s 9
3.1	Feltarbeid	s 9
3.2	Mikroskopering	s 9
3.3	XRF	s 10
3.4	XRD	s 11
4.0	Bergartsbeskrivelser	s 12
4.1	Kvartsskifer	s 12
4.1.1	Opptreden i felt	s 12
4.1.2	Mikroskopiske beskrivelser	s14
4.2	Meta-arkose	s 19
4.2.1	Opptreden i felt	s 19
4.2.2	Mikroskopiske beskrivelser	s 23
4.3	Meta-diabas	s 29
4.3.1	Opptreden i felt	s 29
4.3.2	Mikroskopiske beskrivelser	s 32
4.3.3	XRF analyser av meta-diabas	s 38
4.3.4	XRD analyser av meta-diabas	s 39
5.0	Strukturelle beskrivelser	s 40
5.1	Folder	s 41
5.2	Boudiner	s 46
5.3	Sprekkesystem	s 47
6.0	Diskusjon	s 49
6.1	Bergarts diskusjon	s 49
6.1.1	Kvartsskifer	s 49
6.1.2	Meta-arkose	s 50
6.1.3	Meta-diabas	s 51
6.2	Strukturell diskusjon	s 54
6.2.1	Folder	s 54
6.2.2	Kinematiske indikatorer	s 55
6.2.3	Sprekkesystem	s 56
6.3	Oppsummering	s 57
7.0	Konklusjon	s 58
8.0	Referanser	s 59



## Artikkel III – 3D modellering av geologisk forekomst

1.0	Introduksjon	s 2
1.1	Bakgrunn	s 2
1.2	Formål og problemstilling	s 3
2.0	Metoder	s 5
2.1	Programvare brukt til modellering	s 5
2.2	Innsamling av data i felt	s 7
2.3	Oppsummering av datagrunnlag for modellering	s 8
2.4	Modellering og visualisering i Microstation	s 9
2.5	Behandling av laserdata i ArcGIS Desktop	s 10
2.6	3D analyser i ArcGIS Desktop	s 13
2.6.1	Opprettelse av TIN og DTM fra N50 kartdata	s 13
2.6.2	Digitalisering av ortofoto og geologiske kart	s 14
2.6.3	Interpolering av høydeverdi fra TIN	s 15
2.7	3D modellering i Move	s 16
2.7.1	Importerings og sortering av data	s 16
2.7.2	Geometriske visualiseringer	s 17
2.7.3	Modellering av forekomst	s 18
3.0	Resultater	s 20
3.1	Målinger med totalstasjon og Microstation	s 30
3.2	3D visualisering og analyse i ArcGIS	s 22
3.3	3D modell av forekomst i Move	s 26
4.0	Diskusjon	s 32
4.1	Totalstasjon og Microstation	s 32
4.2	Modellering og analyse i ArcGIS	s 33
4.3	3D modell	s 34
4.4	Generell diskusjon	s 37
5.0	Konklusjon	s 39
6.0	Referanser	s 40

# Figurliste

## Del 1 – Oppgaven

Figur 1.1: Kart over sør-vest Norge, som viser Nordfjord Skifers plassering.....	s 2
Figur 1.2: Geologisk kart over S-V Norge som illustrerer tektonostratigrafien og plasseringen til Nordfjord Skifer (rød prikk). Modifisert etter Fossen (2010).....	s 7

## Del 2 – Artikkene

### Artikkel I

Figur 2.1: ArcGIS systemet, modifisert fra Esri (2010 a; 2010 b).....	s 6
Figur 2.2: ArcGIS Server arkitektur, modifisert fra Esri (2012 b).....	s 8
Figur 2.4: iPad med ArcGIS applikasjon for kartbehandling (Esri, 2011 b).....	s 13
Figur 3.1: Flytskjema for oppsett og bruk av løsning for digital kartlegging.....	s 15
Figur 3.2: Kartinnhold fra webkart i ArcGIS Online.....	s 20
Figur 3.4: Innsamling av data i ArcGIS applikasjon for iOS. a) Valg av featureklasse og kartlag for innsamling. b) Innføring av observasjoner direkte i attributt Tabellen til valgt featureklasse.....	s 21
Figur 3.5: Bruk av iPad med kartleggingsløsning og annet utstyr i felt.....	s 22
Figur 4.1: Komponenter og deres samspill i løsning for digital kartlegging.....	s 23
Figur 4.2: Webkart i ArcGIS Online. ....	s 25
Figur 4.3: Webkart i ArcGIS Explorer.....	s 26
Figur 4.4: Skjermdump av tjenestene fra ArcCatalog.....	s 26

### Artikkel II

Figur 2.1: Strukturgeologisk kart over området øst for Hornelen bassenget, utsnitt fra geologisk kart over Nordfjordområdet fra Young et al. (2011). Nordfjord Skifer lokalisert ved rød prikk.....	s 3
Figur 4.1: Kwartsskifer fra Nordfjord Skifer, nederst i det vestre bruddet. Bildet tatt i retning SØ.....	s 13
Figur 4.2: Kwartsskifer håndstykke, prøvenummer 34201/S01.....	s 14
Figur 4.3: Kvarts med glimmer, sett i krysspolarisert lys.....	s 15
Figur 4.4: Kvarts med undulerende utslukning, viser deformasjonsprosesser <i>subgrain rotation</i> og sen <i>bulging</i> . Bilde er tatt i krysspolarisert lys.....	s 16

Figur 4.5: Muskovitt erstattes av biotitt. Ellers rekrySTALLISERT kvarts med et større k-feltspatkorn. Bilde tatt i krysspolarisert lys.....	s 18
Figur 4.6: Massiv meta-arkose øverst i det østre bruddet. Bildet i retning SØ.....	s 19
Figur 4.7: Meta-arkose med folder og strekningslineasjon ( $L_n$ ), samt svak, subvertikal akseplanfoliasjon ( $S_2$ ). Bilde tatt i retning SØ.....	s 20
Figur 4.8: Håndstykker av meta-arkose prøver fra skiferbruddet. a) Prøvenummer 34202. b) Prøvenummer 34203. b) Prøvenummer 34204.....	s 22
Figur 4.9: RekrySTALLISERT kvarts ved <i>bulging</i> . Prøvenummer S03. Bildet er tatt i krysspolarisert lys.....	s 24
Figur 4.10: Grovkornet muskovitt og kvarts i bånd. Finkornet glimmer og kalsitt langs muskovitt. Prøvenummer S04. Bildet er tatt i krysspolarisert lys.....	s 25
Figur 4.11: Kloritt erstatter muskovitt og biotitt. Prøvenummer S02. Bilde tatt i planpolarisert lys.....	s 25
Figur 4.12: Grovkornet kalsitt med deformasjonstvillinger. Prøvenummer S02. Bildet er tatt i krysspolarisert lys.....	s 26
Figur 4.13: RekrySTALLISERT kvarts ved BLG, stort mikroklinkorn og glimmer. Bildet er tatt i krysspolarisert lys.....	s 27
Figur 4.14: Domener med hematitt, kvarts og kloritt øverst i bildet. Prøvenummer S03. Bilde tatt i krysspolarisert lys.....	s 28
Figur 4.15: Meta-diabasganger i veiskjæring et stykke ovenfor skiferbruddene. Ikke like forvitret som i bruddene. Ser opptil 3 ganger av ulik størrelse i bildet, som er tatt i retning NØ.....	s 29
Figur 4.16: Forvitrede meta-diabas ganger i meta-arkose. Gangene skiller seg godt ut her ved sin brune farge.....	s 30
Figur 4.17: Håndstykker med meta-diabas. a) Prøvenummer 34201. b) Prøvenummer 34207. c) Prøvenummer 34208. d) Prøvenummer 34206.....	s 31
Figur 4.18: RekrySTALLISERING av kvarts ved <i>subgrain rotation</i> . Prøvenummer S08. Bildet er tatt i krysspolarisert lys.....	s 33
Figur 4.19: Kvartsbånd i meta-diabas. Prøvenummer S06. Bildet er tatt i krysspolarisert lys.....	s 34
Figur 4.20: Biotitt med zirkonbrennmerker. Biotitt erstattes av kloritt langs korn grensene. Prøvenummer S10. Bildet er tatt i planpolarisert lys.....	s 35
Figur 4.21: Epidotkorn som viser sonering. Prøvenummer S08. Bildet er tatt i krysspolarisert lys.....	s 36
Figur 4.22: Hydrotermal kalsitt med glimmer og kvarts. Prøvenummer S06. Bildet er tatt i krysspolarisert lys.....	s 37

Figur 4.23: XRF analyseresultater av hovedelementer i prøve 34208, presentert i kakediagram med tilhørende verdier i tabellform.....	s 38
Figur 4.24: Mineralinnhold vist i røntgenspekter fra XRD-analyse av prøvenummer 34208.....	s 39
Figur 5.1: a) Hovedretninger av foldakseplan målt i felt. b) Estimert foldakse.....	s 40
Figur 5.2: Modifisert etter figur 2 fra Young et al. (2011). Data fra Young et al. (2011), Krabbendam & Wain (1997), Bryhni (2000 a; 2000 b). a) Viser lineasjonsdata fra tidligere arbeid, sammenstilt med observert strekningslineasjon $L_n$ i skiferbruddet som fremgår av grønn prikk. b) Viser foldakser fra Young et al (2011).....	s 41
Figur 5.3: Liggende folder i meta-arkose. Bilde i retning NØ.....	s 42
Figur 5.4: a) S-fold i meta-arkose. b) S-fold i meta-arkose. Bilder tatt i retning NØ.....	s 42
Figur 5.5: <i>Sheath</i> folder i meta-arkose. Bildet er tatt i retning NØ. a) To interferensmønstre i lagning. b) Like til høyre foldes lagningen til meta-arkose .....	s 44
Figur 5.6: Passiv, uharmonisk folding i meta-arkose. Bilde tatt i retning ØSØ. a) Forstyrret lagning med småskala, åpne folder. b) Lenger mot sør, viser en noe større, mer isoklinal fold ved samme blotning.....	s 45
Figur 5.7: Symmetrisk boudin struktur i meta-arkose mellom to meta-diabasganger. Bilde tatt i retning N(NØ).....	s 46
Figur 5.10: Sprekkeplan i meta-arkose.....	s 47
Figur 5.11: Rosediagram viser sprekkesystemes to hovedretninger.....	s 48

### Artikkel III

Figur 2.1: Praktisk bruk av totalstasjon i felt.....	s 7
Figur 2.2: Innmålte punkt på bildet, øverst i det østre bruddet.....	s 9
Figur 2.3: Kart med oversikt over tilgjengelig laserdata i Gloppen kommune, modifisert fra Statens Kartverk sine nettsider (StatensKartverk, 2012 b).....	s 10
Figur 2.5: Kwartsskiferoverflate generert fra feltmålinger før den ble kuttet mot DTM overflaten.....	s 19
Figur 3.1: Sprekkesystem med fall og fallretning i Microstation. a) Viser sirklene generert nederst i det vestre bruddet. b) Viser sirkler med målinger øverst i det østre bruddet.....	s 21
Figur 3.2: Målinger av sprekkesystem plottet i programvaren Dips. a) Storsirkler generert fra polene til målingene. b) Rosediagram.....	s 21
Figur 3.3: Plan nederst i det vestre bruddet, sett i Microstation.....	s 22

Figur 3.4: Terrengmodell fra TIN viser bruddenes plassering i terrenget. Bildet sees i retning NØ, som illustrert av lite kompass i venstre hjørne.....	s 23
Figur 3.5: <i>Hillshade</i> rastere. a) Overflatepunkter. b) Bakkepunkter.....	s 24
Figur 3.7: Raster av forskjellige berggrunnskart, NGU (Norges Geologiske Undersøkelser, 2012) og Young et al. (2011).....	s 26
Figur 3.8: Målinger visualisert som sirkler på DTM overflaten.....	s 26
Figur 3.9: Overflaten etter modellering, hvor bergartsgrenser kommer tydelig frem i terrenget.....	s 27
Figur 3.10: Hele modellen, sett mot NV.....	s 28
Figur 3.11: Forekomst sett mot NV. a) Transparent terrengoverflate. b) Uten terrengoverflate.....	s 28
Figur 3.12) Kvantsskiferhorisont i bunnen av skiferbruddet visualisert ved å ekstrapolere overflaten ut i rommet. a) med terrengoverflate. b) uten terrengoverflate, med innsyn til resten av modellen.....	s 29
Figur 3.13: Volumestimat for kvartsskifer. a) Forekomst sett mot SØ. b) Forekomst mot NV.....	s 30
Figur 3.14: Sprekkesystem i forekomsten representert som blå sirkler.....	s 31
Figur 3.15: Sprekkeplan visualisert som plan.....	s 31
Figur 3.16: Foldakseplan ved terrengoverflaten.....	s 32

# Tabelliste

## Del 2 – Artiklene

### Artikkel I

Tabell 3.1: Oversikt over programvare for oppsett.....s 14

### Artikkel II

Tabell 4.1: Mineralinnhold i meta-arkoseprøver, angitt i %.....s 28

Tabell 4.2: Mineralinnhold i meta-diabas prøver, angitt i %.....s 37

Tabell 4.3: Semikvantitativt mineralinnhold i prøvenummer 34208, fra XRD-analyser.....s 39

# Del 1 – Oppgaven

---

## Kapittel 1: Introduksjon

### 1.1 Innledning

En bakgrunn for arbeidet med masteroppgaven var ønsket om å undersøke hvordan geografiske informasjonssystemer (GIS) og moderne modelleringsverktøy kan brukes til å bedre forståelsen av en geologisk forekomst, samt prosessen med å utrede denne. Det er interessant å se på hvilke muligheter som finnes i slike verktøy for geologiske bruksområder, siden dette stadig blir mer brukt innenfor fagområdet. I denne oppgaven er GIS og teknologiske løsninger i fokus, og det vises en fremgangsmåte for hvordan en geologisk forekomst kan utredes ved bruk av slike teknologier.

Det finnes lite informasjon om den aktuelle forekomsten fra tidligere arbeid. Det var derfor nødvendig å starte prosessen for utredninger med geologisk kartlegging, etterfulgt av beskrivelser og analyser av geologien, og til slutt en visualisering og modellering av forekomsten. Teknikkene som presenteres her baserer seg ikke på tunge datasett fra kostbare analysemetoder, men heller på egne observasjoner og gjennomgående bruk av teknologiske løsninger.

Forekomsten som er utredet i denne oppgaven består av kvartsskifer, og befinner seg nord for Breimsvatnet i Sogn og Fjordane. Skiferen brytes ut i to brudd, henholdsvis det vestre og østre bruddet, av firmaet Nordfjord Skifer. Det eksisterer store geologiske variasjoner i området, noe som fører til tidvis problematisk drift av forekomsten. Det var derfor ønskelig å få mer informasjon og kunnskap om de ulike bergartene, og de geologiske strukturene i skiferbruddene. Det er tidligere ikke utført noen detaljert geologisk kartlegging i området fra tidligere arbeid, og det var derfor ønskelig å også få en oversikt over bergartenes utstrekninger i forekomsten. Grunnen til dette er at man ønsket å finne ut hvor den ønskede skiferen kan brytes ut. Med denne kunnskapen kan forekomsten driftes på en mer effektiv måte enn den gjør i dag.



**Figur 1.1:** Kart over sør-vest Norge, som viser Nordfjord Skifers plassering.

Lokaliteten for forekomsten og studieområdet vises i figur 1.1. Det forstørrede rektangelet viser posisjonene for det vestre og østre bruddet. Bruddene er adskilt av et område på tilnærmet 150 m med skog og øvrig vegetasjon.



## 1.2 Formål og problemstilling

Masteroppgavens formål er å bruke moderne teknologiske hjelpemidler og metoder for å utrede en geologisk forekomst. Dette omfatter digital geologisk kartlegging, analyser av bergarter og strukturer i forekomsten, samt modellering og visualisering av geologien i 3D.

Oppgaven er tredelt, og følgende er presentert:

- 1) Et forslag til en metode for digital geologisk kartlegging av en forekomst:
  - a) Oppsett og utvikling av løsningen
  - b) En test av løsningen i felt
  - c) Vurdering av løsningens funksjonalitet
  
- 2) Redegjørelse for geologien i forekomsten og dens dannelse:
  - a) Beskrivelse av ulike bergarter i skiferbruddet og deres mineralogiske innhold
  - b) Beskrivelse av strukturer observert i forekomsten
  - c) Om mulig koble observasjoner og beskrivelser til hendelser beskrevet i litteratur fra tidligere arbeid, for å kunne si noe opprinnelsen og deformasjonshendelser.
  
- 3) Opprettelse av en 3D modell fra overflatedata som illustrerer hovedtrekk i forekomsten, og de ulike bergartenes plassering og utstrekning:
  - a) Bruk av totalstasjon for innsamling av data som ellers er utilgjengelige
  - b) Bruk av laserdata til opprettelse av terrengmodeller og til bruk i geologisk kartlegging
  - c) Vurdering av samspillet mellom ulike GIS og modelleringsprogramvarer
  - d) 3D modell av forekomsten

Disse målsetningene arbeider mot et felles mål, hvilket er vise hvordan teknologiske løsninger kan bidra til å bedre forståelsen og effektivisere driften av en geologisk forekomst.

### 1.3 Oppgavens utforming: bruk av utvidet artikkelformat

Masteroppgaven er, av årsaker beskrevet under, noe utradisjonelt utformet. Oppgaven benytter seg av et utvidet artikkelformat for hovedinnholdet. Grunnen til dette er at målsetningene beskrevet ovenfor strekker seg over ulike fagområder. Derfor ble et tradisjonelt oppsett med kapittelinndeling vurdert som potensielt uoversiktlig og forvirrende. Dette er særlig med tanke på detaljerte beskrivelser av metodikk, som er ulik og varierende for alle problemstillingene.

Ved å heller konsentrere hovedinnholdet i egne, selvstendige dokumenter, presenteres disse på en mer oversiktlig måte. Artikkene er frittstående og kan leses hver for seg, eller i sammenheng med hverandre hvor de arbeider mot et felles mål. På denne måten kan innholdet i oppgaven få tilstrekkelig dybde innenfor alle områdene.

Masteroppgaven er derfor delt i to hoveddeler; oppgaven og artiklene.

Del 1 – Oppgaven, fungerer som rammeverket for masteroppgaven, og har et tradisjonelt oppsett. Denne delen inneholder to kapitler, som henholdsvis innleder og avslutter arbeidet i masteroppgaven.

Del 2 – Artiklene, utgjør oppgavens hovedinnhold. Denne delen inneholder tre artikler som beskriver hvordan ulike problemstillinger er løst og resulterende konklusjoner basert på løsningene. Det er verdt å merke seg at artiklene i oppgaven er lengre, og inneholder mer inngående informasjon, enn vitenskapelige artikler. Formatet kan sees på som et utvidet artikkelformat. Dette var nødvendig for å få med all informasjon og alle resultater fra arbeidene, som er hovedinnholdet i masteroppgaven. Innbyrdes i artiklene er det valgt et tradisjonelt oppsett, med egne innledninger og konklusjoner, som senere sammenstilles i del 1 for å avslutte arbeidet og se helheten i arbeidet.

Artiklene, og arbeidet utført i forbindelse med artiklene er utført i kronologisk. Artiklene bygger med andre ord videre på hverandre. Felles for deres innhold er målet om å utrede forekomstens geologi, med forskjellige innfallsvinkler, som sammen danner en solid forståelse av forekomsten og hvordan den best kan utnyttes.

Artikkel I og III bygger i stor grad på teknologi, mens en mer tradisjonell analyse av geologien fremkommer av artikkel II. Hensikten med dette er å kunne gå tilstrekkelig i dybden og redegjøre for forekomstens geologiske innhold.

Da innholdet i de ulike artiklene er forskjellig, appellerer de til ulike målgrupper. Artikkel I er hovedsakelig myntet på lesere med interesse og erfaring med bruk av GIS, og detaljerte forklaringer om metodikk i denne vil ikke være like interessant for lesere med en ren geofaglig bakgrunn. På tilsvarende måte er artikkel II skrevet ut fra antagelser om at leseren har et visst geologisk kunnskapsnivå. Artiklene er allikevel forsøkt vinklet slik at innholdet kan forstås av personer med ulike bakgrunner, og at man eventuelt kan hoppe over partier med svært detaljerte beskrivelser. Geologer og geoteknikere med bakgrunn innen GIS og modellering vil sannsynligvis ha mest nytte av artiklene samlet, mens personer med andre bakgrunner kan sette pris på innholdet i utvalgte artikler.

## 1.4 Regional geologi

Berggrunnen i området hvor skiferbruddene befinner seg er en del av skyvedekkene som en gang utgjorde den kaledonske fjellkjeden.

Den kaledonske fjellkjeden var resultatet av kollisjonen mellom kontinentene Baltica og Laurentia for omtrentlig 500 millioner år siden. Denne imponerende fjellkjeden strakk seg fra Irland og Skottland til Skandinavia, samt nordover mot Svalbard. Da kontinentene kolliderte ble den Laurentiske platen skjøvet over den Baltiske, noe som førte til at berggrunnen på begge platene ble sterkt deformert og omvandlet. Fjellkjeden kollapset for ca 400 millioner år siden, og i dag kan man se et belte med metamorfe bergarter som stammer fra denne imponerende fjellkjeden i Norge. Dette beltet strekker seg fra sør-vest i landet via midt-Norge, Nordland og Finnmark til Svalbard (Ramberg et al., 2006).

Under dannelsen av den kaledonske fjellkjeden ble den vestre randen av det fennoskandiske skjoldet trukket ned i dypet, og bergartene her ble omvandlet og deformert. Som resultat av dette finnes det i dag et stort område mellom Sogn og Nord-Trøndelag bestående av gneiser og granitter som utgjør den Vestre Gneisregionen (*Western Gneis Complex*). Selv om disse bergartene er stedegne og nært stedegne, også kalt autoktone og parautoktone, kan de ofte være vanskelig å skille fra overliggende kaledonske skyvedekker. I Norge er kaledonske skyvedekker skjøvet fra øst mot vest,

over autoktone og parautoktone enheter. Metamorfosegraden i kaledonske bergarter øker fra øst mot vest.

Under dannelsen av den kaledonske fjellkjeden ble alloktone enheter skjøvet inn over grunnfjellet. Disse enhetene deles inn i undre, midtre, øvre og øverste allokton, ut fra hvor langtransporterte de er (Ramberg et al., 2006).

Undre allokton er hovedsakelig løsrevne deler av grunnfjell fra Baltika, samt sedimenter avsatt her. De sedimentære bergartene stammer fra sen prekambrium og tidlig proterozoikum, og har blitt foldet og avsatt over den basale såleforkastningen som kan følges foran fjellkjeden.

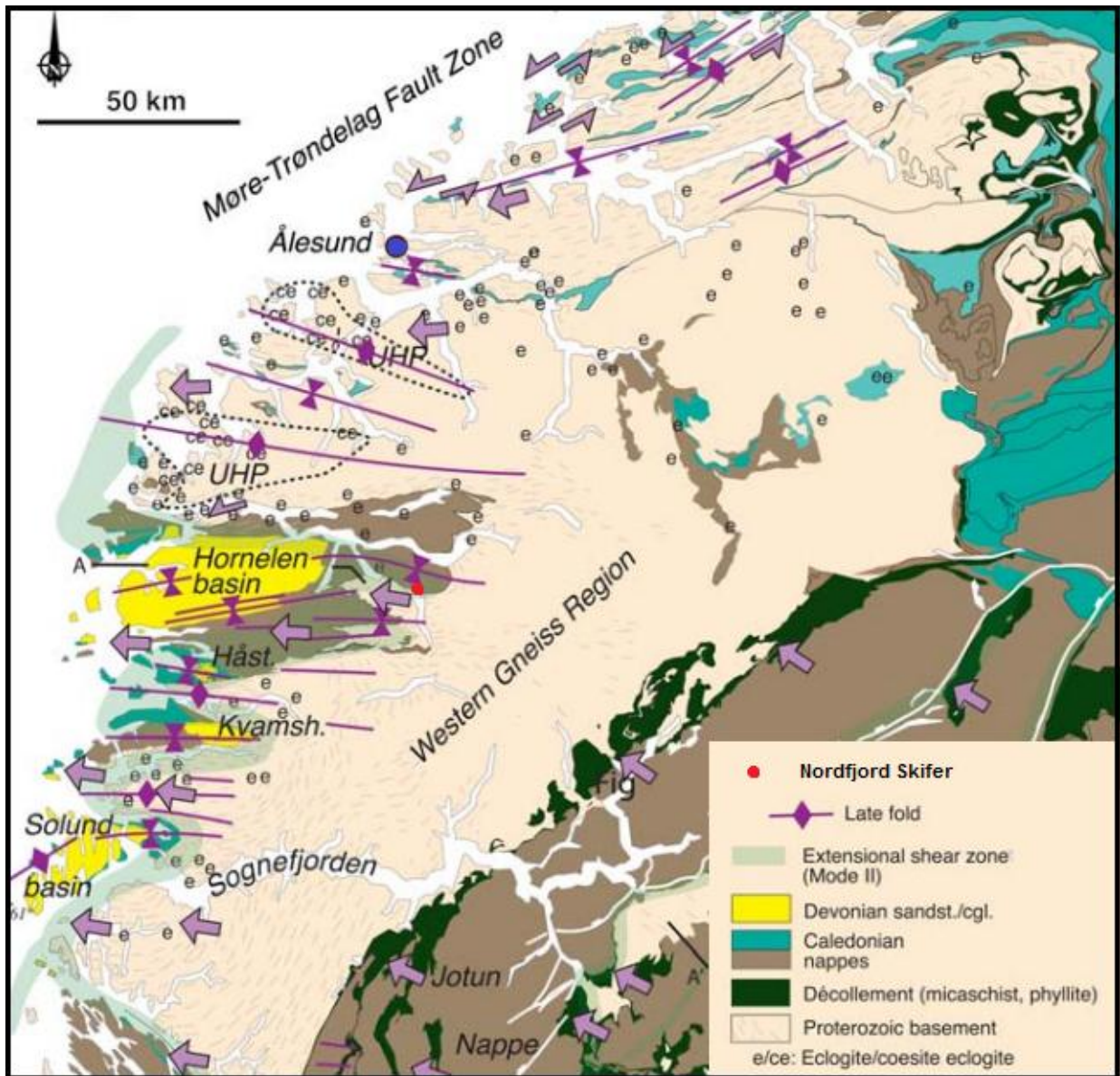
Midtre allokton består av kontinentalskorpebergarter fra Baltikas rand. Dette er hovedsakelig prekambriske og sen prekambriske bergarter, som har blitt deformert og mylonittisert (Ramberg et al., 2006).

Øvre allokton består av rester av havbunnskorpe, øybuer og bassenger fra Iapetushavet som lå mellom Laurentia og Baltika. Bergarter her viser en stadig økende metamorfosegrad i forhold til de underliggende skyvedekkkene.

Øverste allokton består av bergarter som stammer fra kontinentet Laurentia. Disse viser svært høy grad av metamorfose, og bergartene her har også blitt utsatt for deformasjon i forkant av fjellkjededannelsen (Ramberg et al., 2006).

I løpet av fjellkjededannelsen har fire større kollisjonshendelser funnet sted. Det er den finnmarkiske fasen (sen kambrium), trondheimske fasen (tidlig arenig), takonske fasen (mellom-til-sen kambrium) og den skandiske fasen (mellom-silur-til-tidlig-devon). Både den finnmarkiske og trondheimske fasen innebar subduksjon mellom Baltika, eventuelle mikrokontinenter og øybuer i det forhistoriske Iapetushavet. Den takonske fasen var relativt lik de forhenværende fasene, bortsett fra at denne foregikk langs marginene på den Laurentiske platen. Den skandiske fasen førte til svært hurtig subduksjon av Baltika under Laurentia, til dyp opp til 120 km. Heving av Baltika skjedde tilsvarende hurtig i den senskandiske fasen, som var en periode dominert av ekstensjon hvorav fjellkjeden kollapset og sedimentære devonske bassenger ble dannet (Roberts et al., 2007). Det har i ettertid blitt undersøkt om den finnmarkiske fasen virkelig har funnet sted. Kirkland et al. (2008) konkluderte med at det heller var ordinære tektoniske hendelser som fant sted i mellom-til-sen kambrium, som involverte innskyvning av Kalakkdekkekomplekset i

Finnmark.



Figur 1.2 : Geologisk kart over S-V Norge som illustrerer tektonostratigrafien og plasseringen til Nordfjord Skifer (rød prikk). Modifisert etter Fossen (2010).

Figur 1.2 viser tektonostratigrafien til områdene i sør-vest Norge, med skyvedekkene og den vestre gneisregionen. Langs kysten kan også store områder markert som ekstensjonsskjærsoner tydes i figuren.

Ekstensjon under kollaps av fjellkjeden i den skandiske fasen førte til dannelsen av skjærsoner, som delte opp og kuttet skyvedekkene og grunnfjellet. Slike strekningssoner kan finnes langs hele vestkysten av Norge, og helt opp til Troms. Mange av disse forble aktive lenge etter kollapsen var over. Den største av disse skjærsonene er Nordfjord-

Sogn skjærsonen (NSDZ), som først ble beskrevet av Norton (1987). Denne sonen består hovedsakelig av mylonitter som ble dannet under intense skjærbevegelser, og storskala strekning i forbindelse med skjærsonen førte til at høymetamorfe bergarter i dypet kom i kontakt med uomvandlede eller lavmetamorfe overflatebergarter (Norton, 1987; Ramberg et al., 2006). Devonske avsetninger i henget til skjærsonen befinner seg kun kilometer unna høytrykksbergarter, eksempelvis eklogitter, i ligget.

Størrelsesordenen til NSDZ er anslått å være på 50-100 km, og regnes følgelig som en av verdens største ekstensjonsskjærsoner. Slik den fremstår i dag har den store variasjoner, fra å være høyvinklet og Ø-V strykende, til lavvinklet og N-S strykende. Dette er mest sannsynlig en konsekvens av senere hendelser, som har ført til N-S forkortning og gjennomgående Ø-V folding (Ramberg et al., 2006).

I figur 1.2 ser man plasseringen til Nordfjord Skifer i et tektonostratigrafisk kart utarbeidet av Fossen (2010). Forekomsten befinner seg på et kaledonsk skyvedekke, i umiddelbar nærhet til den Vestre Gneisregionen. Fossen (2010) går ikke nærmere inn på hvilken dekkserie berggrunnen i området tilhører, da denne kun gir et generelt innsyn til sør-vest Norges regionale geologi. Det er imidlertid andre som har studert dette området nærmere, og disse arbeidene utredes i del 2 – artikkel II.

## 1.5 Definisjoner

DTM: “En digital høydemodell som beskriver terrengoverflaten” (Statens Kartverk, 2011)

DOM: “ En digital høydemodell som beskriver en nærmere spesifisert flate - for eksempel vegetasjon, takflater, og lignende.” (Statens Kartverk, 2011)

Geodatabase: Sammenstilling av ulike typer romlige data og datasett (Esri, 2012 b)

Featureklasse: Samlinger av geografisk data med sammenfallende geometriske egenskaper og attributter (Esri, 2012 b)

Feature datasett: Datasett som inneholder featureklasser av samme koordinatsystem, og som oftest brukes for å organisere featureklasser i en geodatabase (Esri, 2012 b)

Redigerbare lag: Kartlag som kan modifiseres. Kan være tjeneste som åpner for redigering av data (Esri, 2012 b).

Romlige data: Georefererte data, data med posisjoner.

Server Object Manager (SOM): SOM administrerer tjenestene på ArcGIS Server. Dette innebærer å akseptere og videresende spørringer for GIS tjenester, administrere aktive tjenester og koble til en eller flere SOC (Esri, 2012 b)

Server Object Container (SOC): SOC er prosesser på maskiner som fungerer som verter for tjenestene som administreres av SOM (Esri, 2012 b)

Tjeneste (ArcGIS Server): Representasjon av GIS-ressurs tilgjengeliggjort via ArcGIS Server (Esri, 2012 b)

TIN: “Triangulated Irregular Network”. Representasjon av en overflate som et sett av sammenhengende, ikke-overlappende triangler. Trianglene konstrueres fra massepunkter (Esri, 2012 b)

## Kapittel 2: Diskusjon og konklusjon

### 2.1 Diskusjon

Arbeid mot målsetningene i denne masteroppgaven har vært tredelt, og hovedinnholdet med konklusjoner er presentert gjennom tre artikler. Et felles mål og gjennomgående tema for oppgaven har vært å bruke teknologiske metoder og teknikker for å bedre forståelsen av forekomstens geologiske innhold, utvikling og utstrekning. Formålet med dette kapittelet er å samle de løse trådene, og diskutere hvordan arbeidet med oppgaven har fungert gjennom å dele den opp i artikler.

Ved å bruke utvidet artikkelformat fikk hvert tema en grundig utredelse, og innholdet presenteres på en mer oversiktlig måte innenfor de respektive områdene.

Arbeidet med artikkel I og II passet godt inn i det utvidede artikkelformatet.

De tradisjonelle geologiske undersøkelsene i artikkel II var ikke like godt tilpasset dette formatet. Artikkelen endte med å bli relativt lang, men all informasjon inkludert er vurdert som nyttig for videre analyser og ble derfor beholdt. Ved å angripe problemstillingen med teknologiske hjelpemidler førte dette til en begrensning i utredningene ved mer tradisjonelle geologiske analyser. Grunnet oppgavens utforming og fokus på teknologi, ble feltarbeidet konsentrert til selve forekomsten. Etter å ha studert og beskrevet strukturer i forekomsten kom det tydelig frem at det ikke var tilstrekkelig med observasjoner for å kunne trekke noen endelige konklusjoner. Dette sett i forhold til den regionale geologien og utviklingen av området. Utformingen til skiferbruddene har også vært avgjørende for dette. Begrensningen kommer som en konsekvens av oppgavens målsetning. Redegjørelse av tidligere arbeid i området og inkludering av dette i artikkelen ble følgelig vurdert som nyttig for den overordnede forståelsen, eller dersom noen skulle ønske å undersøke dette videre. Da svært lite geologiske utredelser var foretatt av skiferbruddet i forkant av denne masteroppgaven, satt dette også en begrensning for arbeidet. Ved at man måtte begynne helt fra start ved inndeling og klassifisering av bergarter, ga dette begrensninger i forhold til hvor mye det var mulig å utrede. Hadde tidligere arbeid forelagt for forekomsten, kunne arbeidet i med artikkel II tatt utgangspunkt i dette, og trolig kommet frem til konklusjoner. Ved



analyser av geologien i forekomsten kom man også frem til at denne var svært komplisert, og ikke fullstendig sammenfallende med beskrivelser av området i tidligere arbeid. Med begrenset datagrunnlag var det derfor ikke mulig å bestemme forekomstens utvikling med sikkerhet. Ved å presentere resultater i artikkel II kan dette forhåpentligvis hjelpe andre som skal utrede forekomsten ved senere anledninger. I et større prosjekt, eller en regionalgeologisk masteroppgave, kunne et mye større område vært kartlagt og flere observasjoner kunne blitt innsamlet. I denne omgang var det anvendelser som sto i fokus.

Som nevnt innledningsvis er artiklene skrevet for ulike målgrupper. Dette var nødvendig for å kunne gå tilstrekkelig i dybden innenfor de ulike temaene. Eksempelvis er den detaljerte metodikken beskrevet for oppsettet av ArcGIS Server i artikkel I trolig kun interessant for et utvalg lesere, men har likevel blitt inkludert for å kunne videreføre erfaringer.

I artikkel I og III har metodikk bevisst blitt tilegnet detaljerte utredninger, da noe av arbeidet her ikke er beskrevet på denne måten i tidligere arbeid. Teknikker og løsninger har derfor blitt gjengitt slik at andre kan ta arbeidet videre om ønskelig.

## **2.2 Oppsummering og avslutning**

Ved å dele opp arbeidet i masteroppgaven i tre artikler, ga dette innbyrdes resultater og konklusjoner som videre kan sees i sammenheng med hverandre.

Etter arbeid med digital geologisk kartlegging ble forekomsten kartlagt på en effektiv og engasjerende måte. Ved å bruke en løsning som allerede var integrert i et stort GIS førte dette til effektiv bearbeiding av dataene i etterkant av feltarbeidet. Disse var allerede lagret og strukturert i en geodatabase, og kunne enten studeres i webkartet eller i ArcGIS Desktop. For geologiske analyser lå informasjon lett tilgjengelig i tabellform. Fotografier og skisser var tilgjengelige med posisjoner på et kart, hvilket var nyttig under arbeidet med geologiske utredelser i artikkel II. Da tradisjonelle metoder inngikk i artikkel II ble ikke selve geodatabasen bearbeidet videre her, men ført direkte videre til artikkel III for modellering.

Det var nødvendig med utredning av forekomsten med tradisjonelle metoder i artikkel II, siden det forelå lite informasjon om denne fra tidligere arbeid. Ved å begynne helt fra starten med inndelingen av bergarter og klassifiseringer, satte dette krav til å bruke en tradisjonell arbeidsmetodikk for å få mest mulig resultater. Etter utredelser i artikkel II har man kommet et stykke på vei for å forstå forekomsten, men mer arbeid gjenstår.

Ved å både utrede geologien på tradisjonelt vis, og modellere forekomsten i 3D, skapte dette en gjennomgående forståelse av forekomstens utstrekning, og hvordan denne kan utnyttes i en praktisk sammenheng.

Sprekkesystemene for forekomsten beskrives i både artikkel II og III, og disse sammenfaller med hverandre. Disse sprekkesystemene muliggjør en effektiv utbrytning av kvartsskifer og meta-arkose, som illustreres i figur 3.2 og 3.5 i artikkel III, samt figur 5.10 og 5.11 i artikkel II.

Isoklinale, liggende folder, samt stående, åpne-til-lukkede folder beskrevet i artikkel II ble i artikkel III visualisert i forekomsten i figur 3.16. Her kommer de ulike geometriene i foldene godt frem, og dersom det forelå flere målinger kunne en visualisering av foldakseplanene i 3D brukes til å gi en effektiv visualisering av ulike foldefaser.

I videre arbeid med kartlegging av forekomsten og områder rundt denne, kunne bruk av laserdata, som diskutert i artikkel III, vært svært nyttig for å vite hvor blotninger kan finnes i terrenget. Dette er illustrert i figur 3.5 i artikkel III. En 3D overflate av fjellsiden med drapert ortofoto og tidligere arbeid slik det fremkommer av figur 3.6 og 3.7 i artikkel III kan også være nyttig for videre arbeid med forekomsten.

Det fremkommer av 3D modellen at det mest drivverdige området med kvartsskifer befinner seg nederst i forekomsten, langs Breimsvatnet. Det er også observert et område med kvartsskifer over meta-arkose dominerte områder, som inkluderer hoveddelen av forekomsten. Dette kommer frem av figur 3.11 i artikkel III. I figur 5.11b) vises forstyrret lagning av meta-arkose, hvilket trolig vil være ugunstig å få brutt ut i passende blokker, til tross for hjelp av gjennomgående sprekkesystem. Ved å ha slik kunnskap om forekomstens utstrekning og innhold kan denne utnyttes og arbeides videre med på en effektiv måte.

## 2.3 Konklusjon

Ved å bruke ulike teknologiske hjelpemidler til å utrede en forekomst, har man kommet et langt stykke på vei i å forstå denne.

I oppstartsfasen forelå det svært lite informasjon om innholdet i forekomsten. Etter effektiv, digital kartlegging og geologiske analyser av denne, ble de ulike bergartene i skiferbruddet klassifisert. Ved å ha alle målinger og observasjoner fra feltarbeid i et GIS åpnet dette for mindre omfattende og mer effektiv bearbeiding av feltdata. Ved bruk av overflatedata innsamlet i felt, samt laserdata, ble det opprettet terrengmodeller og en 3D geologisk modell av forekomsten. Denne 3D modellen illustrerer hvor ulike bergarter befinner seg, og bidrar til å gi mer informasjon om hvordan forekomsten kan utnyttes på mest mulig effektiv måte.

Det kan etter endt arbeid konkluderes med at illustrerte teknologiske løsninger og teknikker har bidratt til å skape en forbedret forståelse av forekomstens innhold, utstrekning og utvikling. Dette kan bidra til å effektivisere driften av forekomsten.

## 2.4 Videre arbeid

Etter endt arbeid med utredning av forekomsten, er det fortsatt mye som gjenstår før hele forekomsten forstås fullt ut. Videre arbeid med løsningen for digital geologisk kartlegging er også noe som kan tas videre.

Artikkel I: Videre arbeid med løsningen for digital kartlegging ved bruk av iPad og ArcGIS Server vil være å ta dette i bruk i større prosjekter, for å teste og vurdere funksjonaliteten under slike forhold. Dette innebærer å teste løsningen med ArcGIS Server og databaseinnstillinger konfigurert med tanke på høydeverdier og bildevedlegg. Dette for å unngå de komplikasjonene som oppsto i dette arbeidet. Videre arbeid tilknyttet denne løsningen er også avhengig av utviklingen innenfor dette fagområdet, og mulighetene dette åpner for. For å unngå oppsett av ArcGIS Server kan Amazon Web Services brukes som vert for geodatabaser og tjenester, men dette var ikke tilgjengelig ved tidligere tidspunkt. Slik teknologi beskrives videre av Esri (2012 a).

Artikkel II: Systematisk prøvetaking (med retninger og posisjoner) av meta-arkose og meta-diabas og analyser (mikroskopering, XRD, XRF, aldersdateringer m.m) av disse, kan bidra til å gi mer nøyaktig informasjon om deformasjonshendelser og omvandlingsgrad. Kartlegging av større områder rundt skiferbruddet vil også kunne bidra til å si mer om hva forekomsten har vært utsatt for, og regionale implikasjoner.

Artikkel III: Dersom et større område hadde blitt kartlagt, som nevnt ovenfor, kunne målinger bidratt til å utvide modellen utenfor forekomsten, og dermed bruke den til å forstå den regionale geologien i området.

## Referanser – del 1

Fossen, H., 2010. Extensional tectonics in the North Atlantic Caledonides: a regional view. Geological Society, London, Special Publications 2010; v.335; p. 767-793.

Esri, 2012 a: ArcGIS Server on Amazon EC2 | ArcGIS Resource Center. URL: <http://resources.arcgis.com/content/arcgisserver/10.0/arcgis-server-amazon>  
Sist besøkt: 30.05.2012

Esri, 2012 b. Environmental Systems Research Institute, 2012. ArcGIS Desktop 10 Help. URL: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/>  
Sist besøkt: 30.05.2012

Kirkland, C.L., Daly, J.S., Chew, D.M., Page, L.M., 2008. The Finnmarkian Orogeny revisited: An isotopic investigation in eastern Finnmark, Arctic Norway. Tectonophysics. Vol 460. 158-177.

Norton, M.G., 1987. The Nordfjord-Sogn Detachment, W. Norway. Norsk Geologisk Tidsskrift, Vol. 67, pp.93-106.

Ramberg, I.B., Bryhni, I., Nøttvedt, A., 2006. Landet blir til: Norges Geologi. Norsk Geologisk Forening, 2006. 608 s.

Roberts, D., 2003. The Scandinavian Caledonides: event chronology, palaeographic settings and likely modern analogues. Tectonophysics. Vol. 365, Issues 1-4. 2003. 283-299 pp

Statens Kartverk 2011. "Produktspesifikasjon Nasjonal modell for høydedata fra laserskanning (FKB-Laser)." Versjon 1.1: 22.

(Ytterligere referanser fremgår i artiklene i del 2).

## Del 2 - Artiklene

---

## Artikkel I

# ArcGIS Server og iPad som verktøy for digital kartlegging av en geologisk forekomst.

Nina Ulfstein

Institutt for geologi og bergteknikk, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Sem Sælandsvei 1, 7491 Trondheim.

### Sammendrag

Ut fra behov for mer effektive og moderne datainnsamlingsmetoder foreslås her en løsning for digital geologisk kartlegging ved bruk av ArcGIS Server og iPad. Løsningen baserer seg på publisering av GIS-ressurser i en geodatabase som tjenester på ArcGIS Server. Tjenestene legges deretter til som redigerbare lag i et interaktivt webkart. Webkartet kan åpnes gjennom applikasjonen ArcGIS på iPad, og data kan samles inn og lagres direkte i geodatabasen. Løsningen for kartlegging ble testet i felt, hvor den ga positive erfaringer og førte til en effektivisering av arbeidsmetodikken relatert til feltarbeid.

Denne artikkelen er den første av totalt tre artikler, som sammen utgjør hovedinnholdet i en masteroppgave i berggrunns- og ressursgeologi. Artikkel II omhandler geologiske analyser av bergarter og strukturer i en forekomst. Artikkel III beskriver fremgangsmåte for visualisering og 3D-modellering av forekomsten.

## 1.0 Introduksjon

### 1.1 Bakgrunn

Geografiske informasjonssystemer (GIS) kan defineres som systemer for innsamling, lagring, modifisering, analysering og presentasjon av geografisk data og informasjon. Et GIS består av mange ulike komponenter, blant annet maskinvare, programvare, data, klienter, brukere og institusjoner (DeMers, 2009). Dagens GIS-programvarer er sofistikerte og stadig i utvikling. Innsamling av data til slike systemer er en sentral del av prosessen, uavhengig av fagområde. Geologisk kartlegging er en viktig del av arbeidet med å analysere, presentere og forstå innholdet og utstrekningen til geologiske forekomster. Bruk av GIS til innsamling av geologiske data, eller digital geologisk kartlegging, effektiviserer arbeidsflyten og minimerer bearbeidingsprosessen betraktelig i forhold til tradisjonelle kartleggingsmetoder, som involverer bruk av papirkart og notatblokk. Metoder og løsninger for digital geologisk kartlegging er et område stadig i utvikling, og per dags dato finnes det mange alternativer. Noen av disse går ut på bruk av håndholdt GPS eller såkalte hardføre datamaskiner for datainnsamling (Wilson et al., 2005; Henderson & Viola, 2011). Andre stiller høyere krav til nøyaktighet og tar i bruk høypresisjons GPS eller laserscanninger for opprettelse av såkalte virtuelle forekomster (Xu et al., 2000; Bellian et al., 2005; Wilson et al., 2005; Pearce et al., 2006; McCaffrey et al., 2008). I undervisningssektoren har det også lenge vært behov for forbedrede teknikker for datainnsamling (McCaffrey et al., 2003). Problemer tilknyttet dagens metoder evalueres stadig mot nyere alternativer, sett i lys av kostnader tilknyttet maskinvare og lisenser for programvare, samt praktisk bruk og etterarbeid (Athey et al., 2008; Whitmeyer & Nicoletti, 2010).



I arbeidet med en masteroppgave i berggrunns-og ressursgeologi var det ønskelig med en mer effektiv metode for datainnsamling enn tidligere brukte metoder, som innebar bruk av håndholdt GPS og notatblokk. Den tidligere brukte kartleggingsmetoden opplevdes som tungvint å bruke i praksis, og førte til mye arbeid under bearbeidelsesprosessen i ettertid av feltarbeidet. Det var derfor ønskelig å ta i bruk nyere teknikker som kunne åpne for muligheten til å ha tilgang til mer informasjon i felt, effektivisering av datainnsamlingsprosessen og minimering av etterarbeidet. I forbindelse med dette ble løsninger for digital kartlegging som kunne være aktuelle undersøkt og vurdert.

Ved Norges Geologiske Undersøkelser (NGU) har nylig kartleggingsprosessen blitt oppdatert ved innføring av et digitalt system for innsamling av data (Henderson & Viola, 2011). Dette systemet bruker en hardfør datamaskin av typen Panasonic Toughbook som maskinvare, hvilket er et kostbart verkøy med en prislapp på tilnærmet 40-50 000 kroner per stykk. Programvaren brukt er en kombinasjon av Esri programvaren ArcGIS og Sigma, som er utviklet og tatt i bruk ved British Geological Society (BGS), som også står for vedlikehold og oppdatering. Henderson & Viola (2011) beskriver systemet som todelt, med en kartbasert del og en databasedel. Den kartbaserte delen er en modifikasjon av ArcGIS versjon 9.3, mens databasedelen består av Sigma og MS Access som arbeider mot ArcGIS. Når data samles inn i felt lagres den direkte i MS Access databasen, og kan senere sammenstilles med databaser fra andre geologer.

Positive sider med denne metoden er at den hardføre maskinen tåler mye, at den responderer raskt, effektiviserer kartleggingsprosessen og minimerer bearbeidningen. Henderson & Viola (2011) beskriver gode erfaringer med bruk av denne, men også ulemper i form av dårlig batteritid, samt at maskinen oppleves som tung å bære over lenger tid.

En annen aktuell metode for datainnsamling er programvaren FieldMove, som er utviklet av produsenten Midland Valley, og er en del av en programvareserien Move (Midland Valley, 2011). Programvare innenfor Move, inkludert FieldMove, er spesialisert for strukturgeologiske analyser og modellering. FieldMove er sådan skreddersydd for digital innsamling av strukturelle data, som etter endt feltarbeid kan overføres direkte til andre Move-programmer for videre analyser og modelleringer. FieldMove er designet for bruk på hardføre maskiner, tilsvarende NGU sin løsning.

Disse alternativene ble forkastet grunnet store kostnader knyttet til maskinvare, som ikke lot seg forene med prosjektets mål og utforming. NGU sin løsning er avhengig av eldre versjoner av programvare, og det var ønskelig med nytenkende teknologiske løsninger. FieldMove er konsentrert mot strukturgeologiske bruksområder, og det var ønskelig med en løsning som kunne være en del av et GIS.

Det ble derfor arbeidet med å finne et alternativ til disse metodene, som kunne være realistisk for bruk til digital kartlegging. Denne løsningen skulle være moderne, oppdatert og tilgjengelig, samt være en del av et større GIS. Det var ønskelig at den skulle kunne kombinere ulike teknologi og åpne for mulighet til å dele geografisk informasjon med andre på en effektiv måte. Løsningen måtte dessuten være et rimeligere alternativ til nevnte metoder, og det var interessant med teknikker som enda ikke var aktivt i bruk innenfor fagområdet.

## **1.2 Formål og problemstilling**

Ut fra kriterier og ønsker nevnt i kapittel 1.1, foreslås her en alternativ løsning for digital geologisk kartlegging ved bruk av ArcGIS Server og iPad.

ArcGIS programvaren er et naturlig valg basert på personlig kompetanse, tilgjengelighet ved universitetet, samt at dette er GIS-programvare med mange ulike bruksområder. ArcGIS Server bygger på teknologiske prinsipper som gjør det mulig å dele data på en effektiv måte, samt at dette er oppdaterte og moderne løsninger for geografisk informasjonsbehandling. ArcGIS Server åpner for bruk av nettapplikasjoner og webkart, og de muligheter som ligger i disse. I denne oppgaven er iPad valgt som plattform, men applikasjonene som benyttes er også tilgjengelig på andre plattformer som inkluderer de fleste nettbrett og smarttelefoner på markedet. Kostnad knyttet til innkjøp av maskinvare er på ca 6000 kroner, hvilket er overkommelig særlig i forhold til andre metoder.

Målsetningen for arbeidet i denne artikkelen er følgende:

- 1) Oppsett og utvikling av løsning fra utvalgte teknologier. Dette innebærer:
  - a) Oppsett av ArcGIS Server maskin- og programvare
  - b) Koble en flerbruker geodatabase med tilhørende relasjonsdatabase til systemet for sikker og effektiv lagring av data
  - c) Opprette et interaktivt webkart som inneholder redigerbare lag fra ArcGIS Server, som lagrer direkte til geodatabasen
  - d) Hente inn webkartet i iPad for praktisk bruk i felt
- 2) Teste løsningens funksjonalitet i felt
- 3) Vurdere den praktiske bruken og funksjonaliteten

Det overordnede målet med arbeidet er å bruke løsningen til å kartlegge en geologisk forekomst.

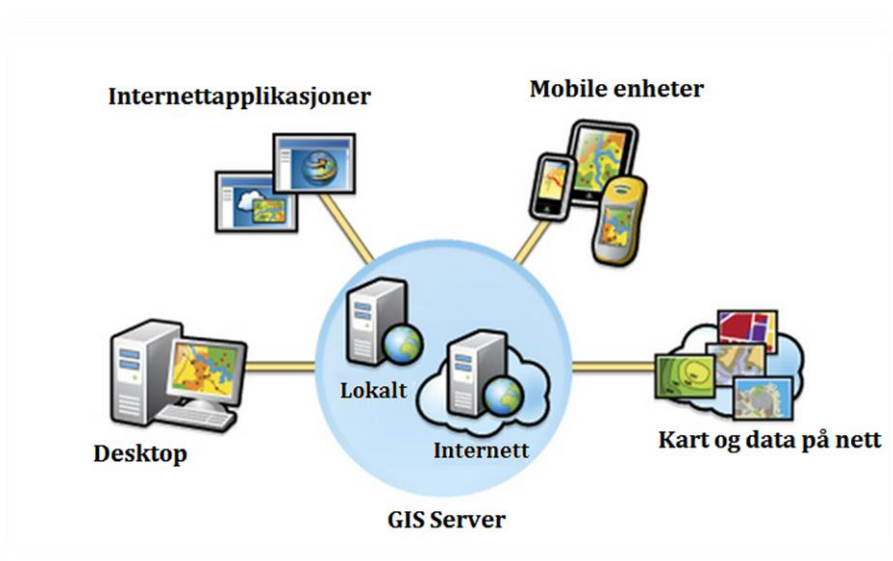
Videre i artikkelen vil de aktuelle teknologiene forklares nærmere, deretter vil metodikken for oppsett og konfigurering av teknologien bli beskrevet detaljert. Resultatet av arbeidet presenteres, diskuteres og det vil til slutt komme konklusjoner for målsetningen og forslag til veien videre.

## **2.0 Teknologier**

I dette kapittelet presenteres teknologiene brukt i prosjektet. Dette er hovedsakelig Esri ArcGIS programvarekomponenter, samt maskinvare i form av Apple iPad 2.

### **2.1 ArcGIS**

ArcGIS er en familie med GIS-programvare utviklet av det amerikanske selskapet Esri (Environmental Systems Research Institute). Dette er et komplett GIS-system, og med det menes at det inneholder muligheter for innsamling av data, redigering og bearbeiding, analysering, visualisering og presentasjon av geografiske data. ArcGIS legger til rette for å gjøre kart og geografisk informasjon tilgjengelig på lokale datamaskiner, mobile enheter eller over Internett (Esri, 2012 a).



**Figur 2.1: ArcGIS systemet, modifisert fra Esri (2010 a; 2010 b).**

Slik det fremkommer av figur 2.1 består ArcGIS systemet av mange ulike komponenter og programvarer. På en PC arbeider man hovedsaklig med ArcGIS Desktop, mens ArcGIS Server og ArcSDE benyttes for å dele geografisk informasjon ved hjelp av internettapplikasjoner som ArcGIS Online. Disse komponentene vil videre bli nærmere beskrevet.

### 2.1.1 ArcGIS Desktop

ArcGIS Desktop brukes til sammenstilling, modifisering og administrering av geografiske data. Herunder ligger muligheter for kartlegging, analyser, administrering av geodatabaser og deling av informasjon. ArcGIS Desktop har tre lisensnivåer, hvor pris øker i takt med funksjonaliteten; ArcInfo (høyest), ArcEditor (middels) og ArcView (lavest). I tillegg til disse finnes også ArcReader, som er gratis programvare som kan brukes til å få innsyn til kart produsert i ArcGIS Desktop. Muligheter for analyser og bearbeiding i ArcGIS Desktop er svært mange, både i kjerneproduktene og ved bruk av tilleggsmoduler for eksempelvis 3D analyser. Inngående informasjon om komponenter innad i denne programvaren kan finnes i programvaredokumentasjon fra Esri (Esri, 2012 a) samt i litteratur, eksempelvis Kennedy (2009). Viktigste komponenter i ArcGIS Desktop for dette prosjektet er kartbehandlingsprogrammet ArcMap og data-administreringsprogrammet ArcCatalog.

ArcCatalog brukes hovedsaklig til organisering av geografiske data, eksempelvis rasterdatasett og geodatabaser, samt metadata. Geodatabaser befinner seg i kjernen til de fleste GIS-

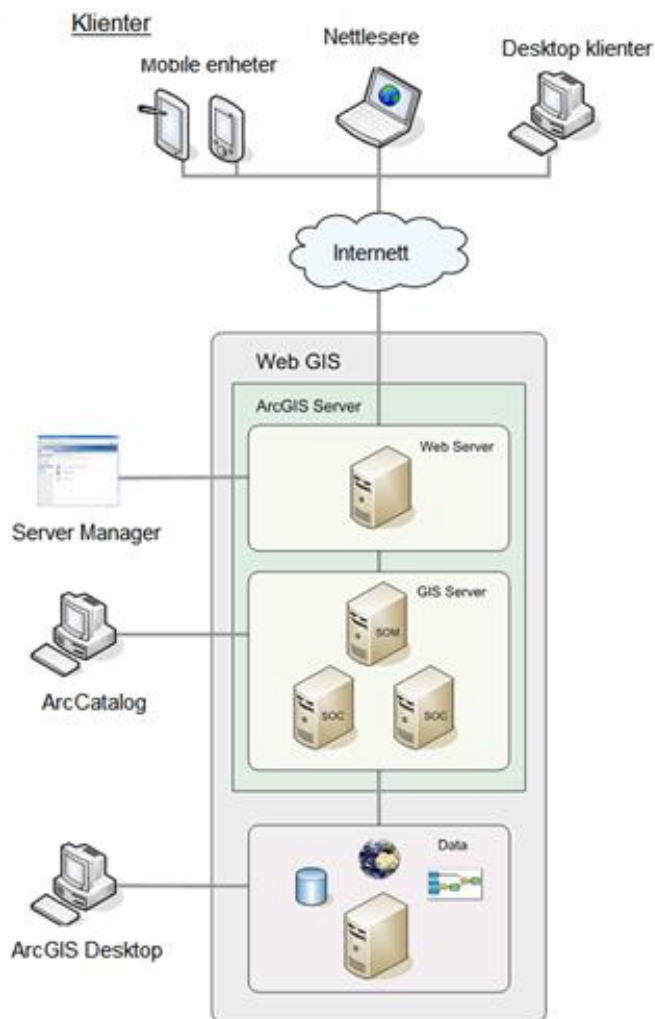
prosjekter, og bidrar til å opprettholde struktur i de romlige dataene. Forenklet sett kan en geodatabase sees på som en samling av ulike typer romlige datasett. Ulike typer geodatabaser finnes innenfor kategoriene enbrukerdatabaser og flerbrukerdatabaser, og mange kobles til ulike relasjonsdatabasesystemer (RDBMS) for administrasjon og håndtering av lagring. Flerbrukerdatabaser bruker ArcSDE teknologi sammen med forskjellige RDBMS systemer for administrering av dataene (Esri, 2012 c).

Felles for de ulike typer geodatabaser er at de kan bestå av mange forskjellige dataformater innenfor vektor-og rasterdata. Ved lagring av vektordata i geodatabaser brukes begreper som *feature datasett* og *featureklasser*. Featureklasser er samlinger av geografisk data med sammenfallende geometriske egenskaper og attributter. Dette kan eksempelvis være punkter, linjer eller polygoner. Feature datasett er datasett som inneholder featureklasser av samme koordinatsystem, og som oftest brukes for å organisere featureklasser i en geodatabase. Geodatabaser er komplekse, og forklares nærmere i programvaredokumentasjon til Esri (Esri, 2012 a), samt i produktbeskrivelser (Esri, 2012 c). I ArcCatalog kan man opprette, importere og organisere geodatabaser, samt andre romlige data.

I ArcMap kan slike geografiske data analyseres, redigeres og presenteres. Kartdokumenter i ArcMap lagres som MXD-filer. I ArcMap organiseres filer og kart som lag, og man kan blant annet endre symbolisering, redigere attributter, opprette redigeringsmaler for filer og featureklasser, samt lage presentasjoner og rapporter av informasjonen i kartet. Man kan også klargjøre kartlag og datasett for publisering på ArcGIS Server. Dette gjøres ved å benytte innebygde verktøy som analyserer om dataene inneholder feil eller mangler, og dersom ingen alvorlige feil er tilstede kan dataene lagres som MSD-filer for videre publisering. Filer av denne typen er optimalisert for bruk på ArcGIS Server, og er bedre egnet for dynamisk og skalerbar bruk enn MXD-filer. Fra ArcCatalog og ArcMap kan man publisere romlige data som karttjenester direkte til ArcGIS Server (Esri, 2012 a).

### **2.1.2 ArcGIS Server**

ArcGIS Server er et skalerbart, nettbasert system for tilgjengeliggjøring og deling av geografisk informasjon uavhengig av plattform. Ved bruk av ArcGIS Server kan man administrere data lokalt og sentralt, tillate flere brukere og gi klienter oppdaterte versjoner av romlige data som distribueres.



**Figur 2.2: ArcGIS Server arkitektur, modifisert fra Esri (2012 b).**

Den generelle oppbyggingen til ArcGIS Server med komponenter illustreres i figur 2.2. Fra denne sees at kjernen i serverprogramvarene er de underliggende romlige dataene, GIS Serveren, samt Web Serveren. Ved å dele data gjennom disse kan man nå ut til mange plattformer, eksempelvis nettlesere, mobile enheter og lokale maskiner.

Tankegangen bak arbeidsflyten for ArcGIS Server er å opprette, publisere og bruke tjenester (*services*). En tjeneste er en representasjon av en GIS-ressurs som gjennom ArcGIS Server blir tilgjengelig for anvendelse av klienter over lokale og globale nettverk. Klientene skal kunne bruke tjenestene til å oppnå de samme resultatene som om de hadde den opprinnelige GIS-ressursen på sin lokale maskin. Ved å dele tjenester med spesifikke formål og design som bygger på solide GIS-ressurser (i motsetning til å dele kun GIS-ressursen), blir geografisk informasjon tilgjengelig på en unik måte, og bruksområdene for slike tjenester er mange. I

bunnen av ArcGIS Server arkitekturen illustrert i figur 2.2 ligger de dataene og GIS-ressursene som kan publiseres som tjenester på GIS-serveren. Dette kan være kartdokumenter, geodatabaser, verktøy og mye mer. Ulike tjenester opprettes fra forskjellige GIS-ressurser, avhengig av innholdet i dataene og hvordan man ønsker å fremstille og bruke disse (Esri, 2012 b). Ulike tjenester kan publiseres fra forskjellige GIS-ressurser. Man kan også åpne for ytterligere typer bruk av ressursene ved å inkludere tilleggsmuligheter. Eksempelvis kan man ved å velge å publisere en karttjeneste (*Map Service*) med muligheter for *Feature Access* åpne for muligheten til å endre på de underliggende GIS-ressursene direkte fra klienter. Dette blir da å regne som en egen tjeneste, kalt *Feature Service*, som i kort forklart er en karttjeneste med muligheter for å legge til, samt å endre de underliggende romlige dataene (Esri, 2012 b).

For å administrere tjenester på serveren kan både ArcCatalog og ArcGIS Server Manager benyttes. Server Manager er en Internettapplikasjon som kan brukes til å publisere og administrere tjenester, administrere oppsettet på selve GIS serveren, samt opprette webkart. Server Manager er utviklet slik at man ikke behøver å kunne webutvikling for å administrere tjenester eller opprette egne webkart, da den har et grafisk brukergrensesnitt (Esri, 2012 b). ArcCatalog kan brukes til det samme, men her kan man koble til flere servere på en gang i samme applikasjon. I ArcCatalog kan man koble seg til som administrator av en server eller kun som bruker. Det å administrere en ArcGIS Server er komplisert og krever forkunnskaper innenfor IT. Mer om administrasjon av ArcGIS Server fremkommer i Esri dokumentasjon for ArcGIS Server 10 (Esri, 2012 b) eller kurskataloger for bruk og konfigurering av ArcGIS Server for .Net (Esri, 2010 a; Esri, 2010 b).

Figur 2.2 viser komponentinndelingen av ArcGIS Server i GIS Server og Web Server.

GIS serveren fungerer som vert for GIS ressursers som eksempelvis kart og geoprosesseringsverktøy. Den tilgjengeliggjør disse ressursene som tjenester som kan brukes gjennom klientapplikasjoner. Selve GIS serveren består av prosessene *Server Object Manager* (SOM) og *Server Object Containers* (SOC). SOM administrerer tjenestene på serverne. Dette innebærer å akseptere og videresende spørringer for GIS tjenester, administrere aktive tjenester og koble til en eller flere SOC. SOC er prosesser på maskiner som fungerer som verter for tjenestene som administreres av SOM. Det finnes forskjellige konfigureringer for disse prosessene. SOM og SOC kan kjøres på samme maskin (enmaskinsinstallasjon) eller på forskjellige maskiner (flermaskinsinstallasjon), samt man kan ha flere forskjellige SOC

maskiner koblet til en SOM (Esri, 2010 b).

Web serveren fungerer som vert for nettapplikasjonene og tjenestene som bruker ressurser på GIS serveren. Klienter er alle enheter som kan ta i bruk tjenestene på serveren via Internett eller lokale nettverk, eksempelvis nettlesere.

ArcGIS Server kommer i flere forskjellige nivåer avhengig av hva slags dimensjonering serveren behøver. Disse går fra *Basic*, *Standard* og *Advanced*, hvor funksjonalitet og antall brukere øker mot *Advanced*. Flerbruker geodatabaser med ArcSDE teknologi er mulig å bruke for alle nivåer. ArcGIS Server kan også installeres for forskjellige kapasiteter, hvor *ArcGIS Server Workgroup* begrenses til enmaskinsinstallasjoner med Microsoft SQL Server Express som RDBMS for geodatabasene. *ArcGIS Server Enterprise* kan anvendes på flere maskiner og samarbeide med flere RDBMS; SQL Server, IBM DB2, Informix, PostgreSQL eller Oracle. Enterpriseinstallasjoner støtter ubegrensede tilkoblinger til databasen, ubegrenset lagringskapasitet og kan også støtte installasjon av SOC over flere maskiner (Esri, 2012 b).

### 2.1.3 ArcSDE

Hovedfunksjonalitet i ArcSDE er opprettelse av koblinger mellom flerbrukergeodatabaser og relasjonsdatabasesystemer (RDBMS) (Esri, 2012 d). Ved å bruke ArcSDE geodatabasetilkoblinger kan man ved hjelp av ArcGIS Desktop og Server få tilgang til GIS ressurser og data i forskjellige RDBMS. ArcSDE støtter SQL tilgang til geodatabaser og gir høy ytelse til flerbrukermiljøer. Flerbrukergeodatabaser støtter bredere funksjonalitet enn enbrukergeodatabaser, ved at de åpner for bruk av versjonshåndtering for å sikre databasens integritet når flere forskjellige brukere har tilgang til og endrer på databasen på samme tid. Dessuten åpner flerbrukerdatabaser for muligheter til arkivering og databasereplikasjon (Esri, 2012 a; Esri, 2012 b).

Geodatabaser lagres i valgte RDBMS, som fungerer som beholdere for de romlige dataene. ArcSDE krever i seg selv minimalt med konfigurasjon, og kjøres som tjenester i Windows systemet når de er installert og koblet mot RDBMS. Man kan enten bruke operativsystem- eller databaseautentisering for å få tilgang til databasen. Operativsystemet, eller Windows autentiseringen, benytter Windows-brukerens innloggingsinformasjon for å få tilgang, enten



lokalt eller over et lokalt nettverk. Her er det ikke nødvendig med eget brukernavn eller passord for å komme inn på databasen, så fremt brukeren har blitt gitt tilgang i RDBMS. Ved bruk av slik autentisering brukes dbo-skjema for databasen. Man kan også bruke databaseautentisering for å få tilgang til databasen, ved hjelp av en egen databasebruker. Her brukes sde-skjema for for databasen. Bruk av sde-skjema og databaseautentisering er hensiktsmessig for ArcGIS Servere som er dimensjonert for et større antall brukere, samt installasjoner over flere maskiner med felles RDBMS (Esri, 2012 b; Esri 2012 d; Esri 2010).

For å kunne arbeide med dataene må brukere koble seg til geodatabasen fra klienter. Disse tilkoblingene kan enten være direkte mellom klienter og databasen eller mellom klienter, en ArcSDE tjeneste og databasen. For direktekoblinger krever noen databaser at en RDBMS-klient må være installert og konfigurert på klientmaskinen. For ArcSDE tjeneste må denne settes opp og vedlikeholdes. ArcSDE tjenesten kan kjøres på samme maskin som RDBMS eller separat på en annen server. Etterhvert som data legges til i geodatabasen og endres, vil geodatabasen behøve vedlikehold. Dette er særlig viktig for større organisasjoner (Esri, 2012 b).

#### **2.1.4 ArcGIS Online**

ArcGIS Online er en Internettapplikasjon som muliggjør effektiv opprettelse og bruk av webkart. Som tidligere nevnt kan Internettapplikasjoner og webkart også opprettes direkte i ArcGIS Server Manager, hvilket krever en del arbeid særlig for å få webkartene presentable utseendemessig. ArcGIS Online er en fellesportal utviklet av Esri. Ved bruk av ArcGIS Online kan geografisk informasjon legges til ferdig utviklede rammeverk og maler for webkart, hvilket minimerer brukerens arbeid med generering av webkart, samt gjør det mulig å opprette visuelt bedre applikasjoner uten erfaring fra tidligere arbeid med dette. Ved å opprette en global brukerkonto for Esri systemene, får man tilgang til brukergrensesnittene utviklet av Esri for generering av webkart. Deretter kan egne romlig data og tjenester legges til webkartene, slik at disse får ønsket innhold. Ved bruk av ArcGIS Online kan man dele kart med brukergrupper, samt på sosiale medier som Facebook og Twitter (Esri, 2012 e). Webkart i ArcGIS Online minner om kartdokumenter i ArcMap, ved at data legges til som lag. Det er også mulig å foreta visuelle operasjoner på lagene i ArcGIS Online.

Ved å legge til tjenester som kartlag i webkartet, peker dette på geodatabasen gjennom

koblingen i ArcGIS Server. Informasjon i kartet er dermed lagret i geodatabasen på en lokal maskin, men kan visualiseres i webkartet. I ArcGIS online kan man ha bakgrunnskart, ordinære kartlag og redigerbare kartlag. Tjenester som publiseres med *Feature Access* vil bli tolket som redigerbare lag i webkartet, og data i disse lagene kan modifiseres. Webkart kan ferdigstilles for videre bruk på klientermaskiner, mobile enheter eller nettlesere i ArcGIS Online. Her designes og struktureres innhold i kartet, slik at man kan opprette webkart med spesifikke bruksområder, eksempelvis for innsamling av data.

### **2.1.5 ArcGIS applikasjon for smarttelefoner og nettbrett**

Dersom klienter ønsker å ta med seg geografisk informasjon ut i felt, finnes det mange ulike løsninger for dette. Den nyeste teknologien for mobil bruk av geografisk informasjon er relatert til den økende bruken av smarttelefoner og nettbrett. Programvare tilgjengeliggjøres gjennom bruk av *applikasjoner*, som er spesielt designet og tilpasset bruk på smarttelefoner og nettbrett. Esri har utviklet en applikasjon kalt ArcGIS, som gir tilgang til geografiske data i ArcGIS systemet, og dermed åpner for bruk av slike data på smarttelefoner og nettbrett. Gjennom applikasjonen kan man få tilgang til egne webkart lagret på ArcGIS Server og ArcGIS Online (Esri, 2012 f).

## **2.2 iPad**

iPad er en produktserie av nettbrett utviklet av selskapet Apple Inc og kjører et operativsystem utviklet for mobile enheter kalt iOS (Apple, 2012 a; Halvorsen & Clarke, 2011; Maher, 2010; Rosenzweig, 2011; Carlson, 2011).

Hvis man ønsker å bruke mobilt bredbånd og dermed ikke være avhengig av kun trådløse nettverk for å bruke Internett, er det nødvendig med iPad Wi-fi + 3G. Kun iPad med 3G har innebygget GPS chip (Apple 2012 b). Det er ikke vitenskapelig dokumentert fra Apple hvor nøyaktig den innebygde GPSen er, men da den bruker samme prinsipper som håndholdt GPS antas det en mer eller mindre tilsvarende nøyaktighet. Innebygget digitalt kompass er også å finne i iPad med 3G. Nyere versjoner av iPad (versjon 2 og 3) har innebygget kamera (Apple, 2012 b).

Tilgjengelig gjennom iOS er applikasjoner, som kan kjøpes og lastes ned gjennom Apple App Store (Apple, 2012 c). I tillegg til Apples iOS kommer smarttelefoner med andre typer operativsystemer og maskinvareprodusenter, hvilket beskrives av eksempelvis Himmelsbach (2012).



Figur 2.4: iPad med ArcGIS applikasjon for kartbehandling (Esri, 2011 b)

## 3.0 Metoder

### 3.1 Oppsett og konfigurasjon av løsning

Løsningen for digital kartlegging beskrevet i dette prosjektet ble satt opp og konfigurert basert på mulighetene i teknologiene beskrevet tidligere. Da denne teknologien var såpass ny, var ingen komplett dokumentasjon for fremgangsmåten for oppsett av løsningen tilgjengelig. Et kriterie for løsningen for digital kartlegging var at denne skulle være enkel å implementere. Ideelt sett skulle en ArcGIS Server med SQL Server database, samt ArcSDE allerede vært

opsatt og konfigurert til videre bruk. Ingen slik løsning var tilgjengelig, og det var derfor nødvendig å ta med dette i prosjektet. Dette beskrives i detalj i kapittel 3.1.1, 3.1.2 og 3.1.3

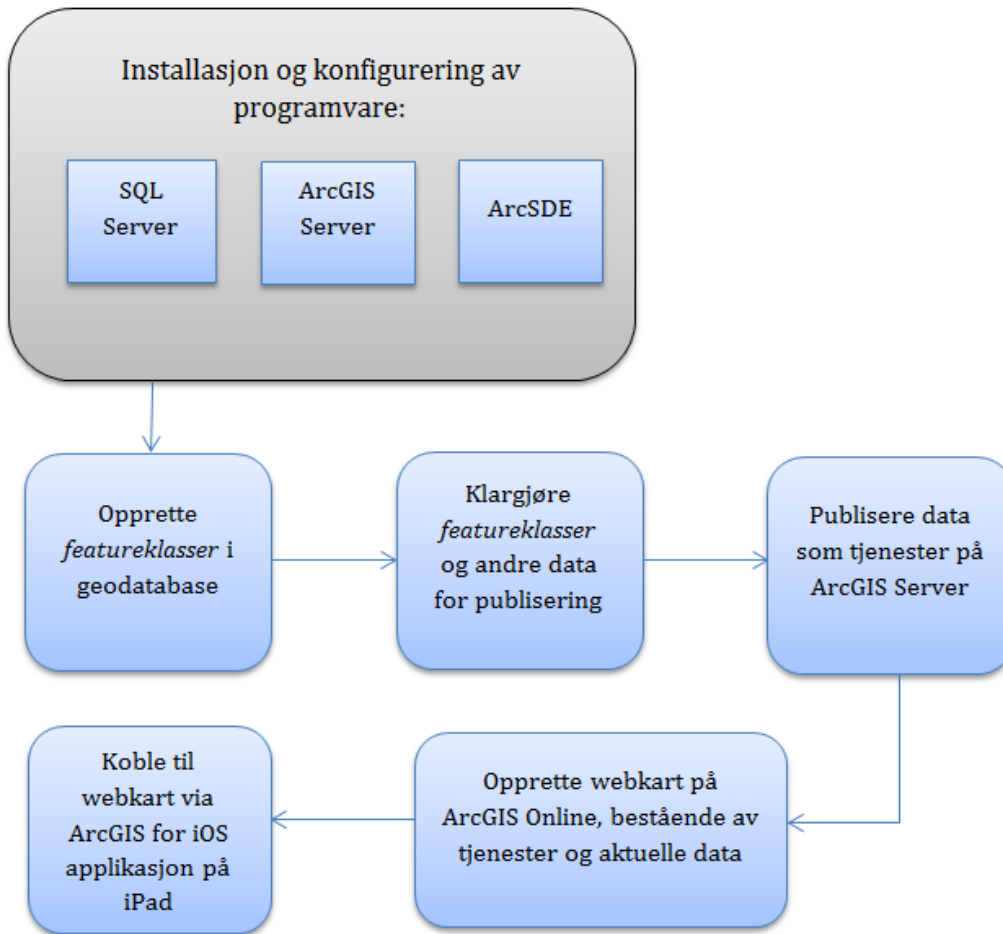
Som maskinvare for ArcGIS og SQL Serverkomponenter ble en Lenovo ThinkCentre server utlånt av Institutt for geologi og bergteknikk (IGB) ved NTNU. På serveren ble det installert operativsystemet Microsoft Windows Server 2008 R2 Enterprise.

Programvarene benyttet i oppsettet av serverkomponentene kommer frem av tabell 3.1.

Produsent	Programvare	Versjon	Lisensnivå
Microsoft	SQL Server	2008 R2	Enterprise
ESRI	ArcGIS Desktop	10	ArcInfo
ESRI	ArcGIS Server (for .Net edition)	10	Advanced Enterprise
ESRI	ArcSDE (for ArcGIS Server)	10	Advanced Enterprise

**Tabell 3.1: Oversikt over programvare for oppsett.**

Et flytskjema som beskriver oppsettet av teknologiene vises i figur 3.1, og vil bli utredet videre i dette kapittelet.



Figur 3.1: Flytskjema for oppsett og bruk av løsning for digital kartlegging.

### 3.1.1 Installasjon og konfigurering av SQL Server

Helt i bunnen av løsningen ligger relasjonsdatabasen i SQL Server 2008 R2. Dette RDBMS ble valgt fremfor andre slike systemer med grunnlag i personlig kompetanse og tilgjengelighet. Under installasjonen ble det opprettet en ny SQL Server instanse. I denne instansen ble det deretter laget en database i Microsoft SQL Server Management Studio, som er innsynsvinduet til SQL Server. Navn på databasen brukt i prosjektet er "geodb". Databasen ble satt til å kjøre i *Mixed Mode*, hvilket åpner for bruk av både sde og dbo skjema. Det ble imidlertid kun benyttet dbo skjema, hvilket innebærer at en lokal bruker (Windowsbruker) er eier av databasen. Oppsett av databaser og tabeller med mer er nærmere beskrevet av Chapple (2008) og Rankins et al. (2010).

### 3.1.2 Installasjon og konfigurasjon av ArcGIS Server

ArcGIS Server for .Net rammeverket tilgjengeliggjør databasen og dataene for bruk over Internett. I forkant av installasjonen bør man ha dimensjonert det aktuelle prosjektet, slik at man har en klar forestilling av bruksområder, samt antall brukere av serveren. ArcGIS Server kan installeres på en eller flere maskiner, avhengig av formål. Nødvendige systemkrav må oppfylles og Windowskomponenter må være installert i forkant av installasjonen (Esri, 2011 a; Esri, 2010 a). Serveren i dette prosjektet skulle kun brukes av en person, og ble dermed dimensjonert og konfigurert for dette. Under installasjonen av ArcGIS Server er det i praksis to hovedkomponenter som installeres; GIS Server (selve serveren) og Web Services (nettjenester). Det er under postinstallasjonsprosessen av disse komponentene at ArcGIS Server blir konfigurert. Installasjonsveileder for ArcGIS Server 10 på Esri sine nettsider gir utdypende informasjon om installasjonsprosessen (Esri, 2010 a).

Under installasjonen og konfigurasjonprosessen av ArcGIS Server ble port og instansenavn bestemt, og standardverdier for disse ble brukt.

SOC og SOM ble også installert, og brukerkontoene ble konfigurert. Konto som brukes av nettapplikasjoner ble også konfigurert. Postinstallasjonene opprettet to Windows brukergrupper lokalt på maskinen, en for server administrator (*agsadmin*) og en for serverbrukere (*agsusers*).

Da ArcGIS Server var satt opp, var det nødvendig å administrere brukere. Alle brukere som skal koble seg opp mot serveren må være medlemmer av brukergruppen *agsusers*, mens alle som vil administrere tjenester må være lagt til i brukergruppen *agsadmin*.

*ArcGISSOC* brukeren må ha tilgang til alle dataene som skal publiseres som tjenester. Det var derfor nødvendig å gi denne kontoen både lese- og skriverettigheter til filkatalogene som ble satt under installasjonen. Det var også nødvendig å legge til *ArcGISSOC*-kontoen i databasen på SQL Serveren, med lese og skriverettigheter til katalogen som inneholdt SQL instansen (Rankins et al., 2010). Brukeren *ArcGISSOC* ble også lagt til som bruker i databasen, og fikk skrive- og leserettigheter der (Esri, 2010 a; Esri, 2010 b; Esri, 2010 c).

Etter installasjonen av ArcGIS Server kan man koble seg til denne ved hjelp av enten ArcGIS Server Manager eller ArcCatalog.

ArcGIS Server Manager ble installert i samme katalog som resten av ArcGIS Server

installasjonen, og programmet kan åpnes i en vanlig nettleser, eksempelvis Internet Explorer. Ved tilkobling fra ArcCatalog ble *Add ArcGIS Server* i *Folder Connections* valgt for tilkobling til serveren.

For å kunne koble til serveren fra internett det åpnes for aktuelle porter for de ulike tjenestene i routeren. I dette prosjektet ble port 5151 og port 80 åpnet. I tillegg kan det være en fordel at serveren har en statisk adresse, eksempelvis en IP adresse. At adressen er statisk betyr at den ikke endres av tjenesteleverandøren, og forhindrer dermed at man mister tilkoblingen til serveren. I dette prosjektet det benyttet en domenenavnforsørger fra internett som ga fast nettadresse for ArcGIS Server. Slik var det mulig å koble seg opp mot serveren ved å bruke en fast URL, istedet for en IP-adresse

### **3.1.3 Installasjon og konfigurasjon av ArcSDE**

ArcSDE for ArcGIS Server ble brukt for å få tilgang til, og administrere de romlige dataene som skal lagres i SQL relasjonsdatabasen. ArcSDE konfigureres under postinstallasjonen av programmet. Det ble først opprettet en geodatabase i databasen "geodb" på SQL Serveren (Esri, 2010 b). Det ble valgt dbo-skjema for databasene, som åpner for autorisering med lokal bruker. Siden dette prosjektet er dimensjonert for kun én person, var dette et forenkende valg. For prosjekter med flere deltakere kan sde-skjema være mer aktuelt. Ved å bruke sde-skjema kan man opprette såkalte databasebrukere, som har egne kontoer for innlogging i databasen. Deretter ble det opprettet en ArcSDE tjeneste som fikk navn "geo\_sde". Tjenesten ble tilegnet en spesifikk port for tilkoblinger mot databasen. Her ble standardport 5151 valgt. For nærmere beskrivelser av installasjon og konfigurering av ArcSDE henvises det til Esris installasjonsguide for ArcSDE, som beskriver dette detaljert for flere forskjellige scenarioer. (Esri, 2011 b; Esri, 2010 b).

Etter endt installasjon og konfigurasjon av ArcSDE ble denne kjørt som tjeneste (*service*) i Windows.

Med SQL Server, ArcGIS Server og ArcSDE installert og konfigurert, var kjernen til løsningen på plass. De forhenværende punktene er de som krever mest IT-kompetanse. Det som er utført frem til dette punkt er arbeid man kun må gjennomføre én gang for sette opp et ArcGIS-serversystem.

Videre arbeid bygger på at et slikt serversystem allerede eksisterer, og bruker funksjonalitet systemets funksjonalitet til å opprette webkart og tjenester.

### 3.1.4 Klargjøring av data og publisering av tjenester

Preparering av data som skal inngå i kartleggingsapplikasjonen er viktig for videre bruk av disse, og ble utført i ArcGIS Desktop. I forkant av dette ble struktur og innhold for geodatabasen planlagt.

Det var også nødvendig å opprette en tilkobling mot databasen i ArcCatalog. Geodatabasen inneholdt featureklasser for ulike objekter som skulle samles inn, eksempelvis klasser for bergarter, folder, lineasjoner m.m. De fleste featureklassene skulle holde informasjon om punktdata, men det fantes også klasser for linjer og polygoner. Attributttabellene til featureklassene ble designet for å sikre best mulig struktur i dataene. Koordinatsystem for dataene ble angitt til WGS\_1984 Sone 32N. Attributttabellene inneholdt felter for de ulike dataene man forventet å samle inn for de forskjellige objektene. Featureklassene fikk unike globale IDer, som brukes for å opprettholde relasjoner til andre tabeller (Esri, 2012 a). Deretter ble det opprettet vedlegg for hver featureklasse ved å høyreklikke, og deretter velge *Create Attachments*. Det ble da opprettet en tabell for vedlegg, samt en relasjonstabell som ved bruk av globale IDer kobler disse til featureklassen.

De aktuelle featureklassene ble deretter åpnet i ArcMap. For å angi symbolisering for dataene ble funksjonen *Edit Templates* i verktøyet i *Editor* brukt. Her ble farger, symboler, samt annen aktuell informasjon lagt til. Dette er informasjon som vil brukes senere under kartlegging, og som er viktig å fastsette i denne prosessen.

Før data kan publisere som tjenester på ArcGIS Server, må de analyseres med *Analyze Map* funksjonen i verktøyet *Map Service Publishing*. Dette gjøres for å finne eventuelle feil som vanskeliggjør publisering av dataene. Når ingen feil blir rapportert, er dataene klare for å publiseres som tjenester. Dette ble gjort ved hjelp av *Publish to ArcGIS Server* funksjonen i samme verktøy. Tjenester kan også publiseres direkte i ArcGIS Server Manager, men i dette tilfellet ble kun ArcCatalog brukt.

For å kunne ta inn dataene som kartlag i senere prosesser må de publiseres som *Map Services*,



altså karttjenester. Under publisering av featureklasser som skal brukes til innsamling av data, er det svært viktig å huke av for å *Enable Feature Access* i denne prosessen. Uten denne muligheten vil man ikke kunne redigere disse dataene senere. Tjenesten som så ble publisert var av typen *Feature Service* (kombinasjon av *Map Service* med *Feature Access*) (Esri, 2012 a; Esri, 2012 b).

### 3.1.5 Opprettelse av webkart i ArcGIS Online

Webkart som skulle brukes til digital feltkartlegging ble opprettet i ArcGIS Online. Her er det mulig å lage spesialtilpassede, interaktive webkart i et brukergrensesnitt. På nettsiden <http://www.arcgis.com>, portalen til ArcGIS Online, kan man opprette et nytt kart. Dette forutsetter at man logger inn med en personlig brukerkonto. Det første man gjør i det nye kartet er å legge et bakgrunnskart (*basemap layer*) til kartet. Dette er lag som ikke kan redigeres. Bakgrunnskartet benyttet i dette prosjektet var *GeoCacheLandskap* fra Geodata Online (Geodata Online, 2012). *GeocacheBilder*, som består av ortofoto og satellittbilder fra Geodata Online (Geodata Online, 2011), samt geologisk kart fra NGU (Norges Geologiske Undersøkelser, 2011) ble deretter lagt inn som ordinære kartlag.

For å hente inn kartlag fra en GIS Server velger man *Legg til lag fra web* i menyen. Deretter må man bekrefte at man vil legge til lag fra en ArcGIS Server, og skriver inn URL-adressen til tjenesten (Esri, 2012 e). Etter at det første bakgrunnskartet var hentet inn fra Geodata Online sin server, ble resten av tjenestene fra prosjektets nyopprettede ArcGIS Server hentet inn. På grunnlag av sine iboende muligheter til å kunne foreta redigering lagt til som redigerbare lag (*operational layers*). Kartinnholdet med fullstendige adresser for egne data kan sees i figur 3.2.

**Kartinnhold**

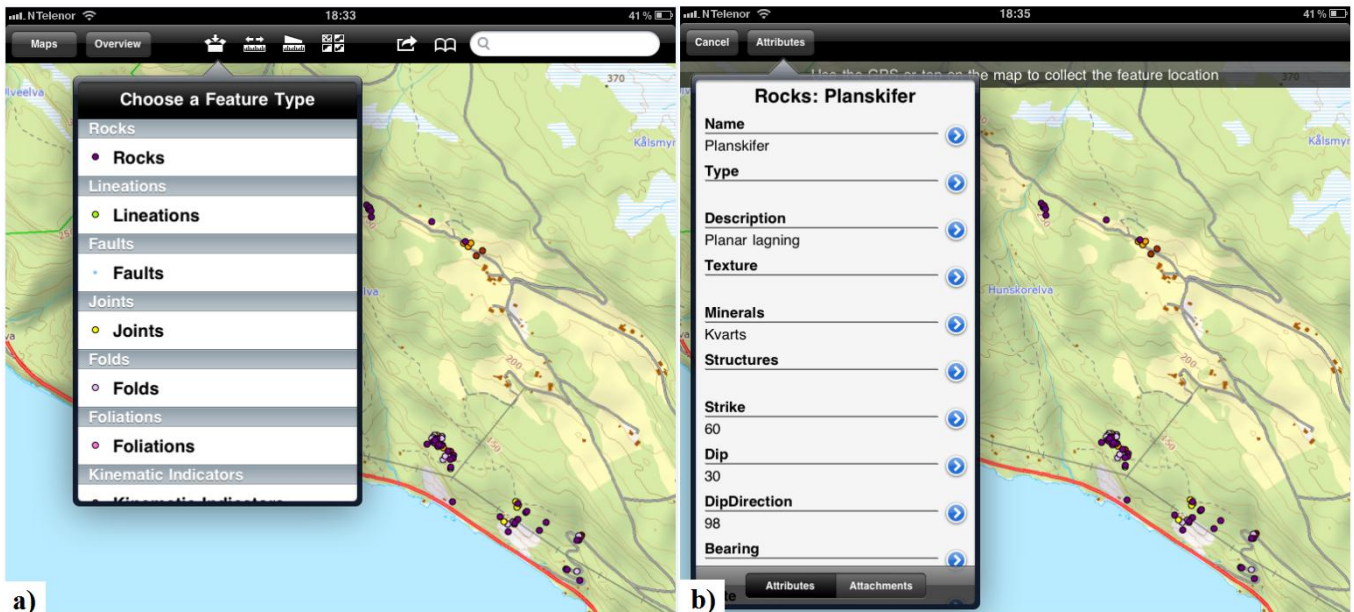
Rocks:	<a href="http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Rocks/FeatureServer/0">http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Rocks/FeatureServer/0</a>
Lineations:	<a href="http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Lineations/FeatureServer/0">http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Lineations/FeatureServer/0</a>
Faults:	<a href="http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Faults/FeatureServer/0">http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Faults/FeatureServer/0</a>
Joints:	<a href="http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Joints/FeatureServer/0">http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Joints/FeatureServer/0</a>
Folds:	<a href="http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Folds/FeatureServer/0">http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Folds/FeatureServer/0</a>
Foliations:	<a href="http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Foliations/FeatureServer/0">http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Foliations/FeatureServer/0</a>
Kinematic Indicators:	<a href="http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Kinematics/FeatureServer/0">http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Kinematics/FeatureServer/0</a>
Observation point:	<a href="http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Observationp/FeatureServer/0">http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Observationp/FeatureServer/0</a>
Observation line:	<a href="http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Observationl/FeatureServer/0">http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Observationl/FeatureServer/0</a>
Observation polygon:	<a href="http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Observationpol/FeatureServer/0">http://ninagis.zapto.org/ArcGIS/rest/services/master/Observationpol/FeatureServer/0</a>
Geology	
GeocacheBilder:	<del><a href="http://cloud-geodatabasenline.no/arcgis/rest/services/GeocacheBilder/MapServer">http://cloud-geodatabasenline.no/arcgis/rest/services/GeocacheBilder/MapServer</a></del>
GeocacheLandskap:	<del><a href="http://cloud-geodatabasenline.no/arcgis/rest/services/GeocacheLandskap/MapServer">http://cloud-geodatabasenline.no/arcgis/rest/services/GeocacheLandskap/MapServer</a></del>

**Figur 3.2:** Kartinnhold fra webkart i ArcGIS Online.

### 3.2 Praktisk bruk i felt

Etter at webkartet var opprettet med redigerbare kartlag som var koblet til geodatabasen gjennom ArcGIS Server, var løsningen klar for bruk i feltarbeid. Testen foregikk over en periode på 6 dager i oktober 2011. Området som skulle kartlegges var en skiferforekomst ved Breimsvatnet i Sogn og Fjordane. For å få tilgang til webkartet og dataene i felt ble en iPad 2 (3G) med applikasjonen ArcGIS for iOS benyttet. Gjennom denne gratisapplikasjonen får man tilgang til egne webkart opprettet på ArcGIS Online.

Med webkartet åpnet kan data legges til fra felt ved å velge *Collect Features* i menyen øverst i applikasjonen.



**Figur 3.4:** Innsamling av data i ArcGIS applikasjon for iOS. a) Valg av featureklasse og kartlag for innsamling. b) Innføring av observasjoner direkte i attributtabelen til valgt featureklasse.

Figur 3.4 illustrerer hvordan webkartet ser ut i applikasjonen på iPad. Et topografisk landskapskart med tidligere innsamlede punkter er synlig i bakgrunnen. Figur 3.4 a) illustrerer valg av kartlag for innsamling av data. Figur 3.4 b) viser hvordan observasjoner legges direkte inn i attributtabelen til featureklassen. Her kan man velge å skrive inn attributter, eller legge til bilder som vedlegg. Bilder kan tas direkte med kameraet montert i iPad 2, og legges til i geodatabasen. Ved innsamling av data kan posisjon enten bestemmes ved manuelt å trykke på ønsket posisjon i kartet, eller ved bruk av GPS (kun mulig for iPad med 3G). I dette prosjektet ble kun GPS posisjoner benyttet ved innsamling av data.

I figur 3.4 vises innføringer av måledata, henholdsvis strøk, fall og fallretning. Denne informasjonen ble målt inn ved hjelp av applikasjonen *Strike and Dip*, som bruker det innebygde kompasset i iPaden. Applikasjonen er laget av selskapet Hunt Mountain Software (Hunt Mountain Software, 2011). For å teste nøyaktigheten av målingene med iPad applikasjonen *Strike and Dip* var det nødvendig å gjøre målinger av fall og fallretning ved bruk av tradisjonelt geologisk kompass. Dette var av typen Freiberg. Disse ble funnet til å være samsvarende.



**Figur 3.5: Bruk av iPad med kartleggingsløsning og annet utstyr i felt.**

I felt ble målenøyaktigheten til iPad testet mot annet måleutstyr, som illustrert i figur 3.5. Måleinstrument brukt var Leica GPS1200, som angir posisjoner med svært god nøyaktighet (cm-skala). Punkter ble målt inn med Leica GPS, deretter med iPad. Senere ble avstand målt i ArcMap.

Da det var meldt dårlig vær i forkant av feltarbeidet, ble det innkjøpt et vanntett etui for iPad. Denne hadde reimer slik at iPad kunne henges rundt halsen, noe som vises i figur 3.5.

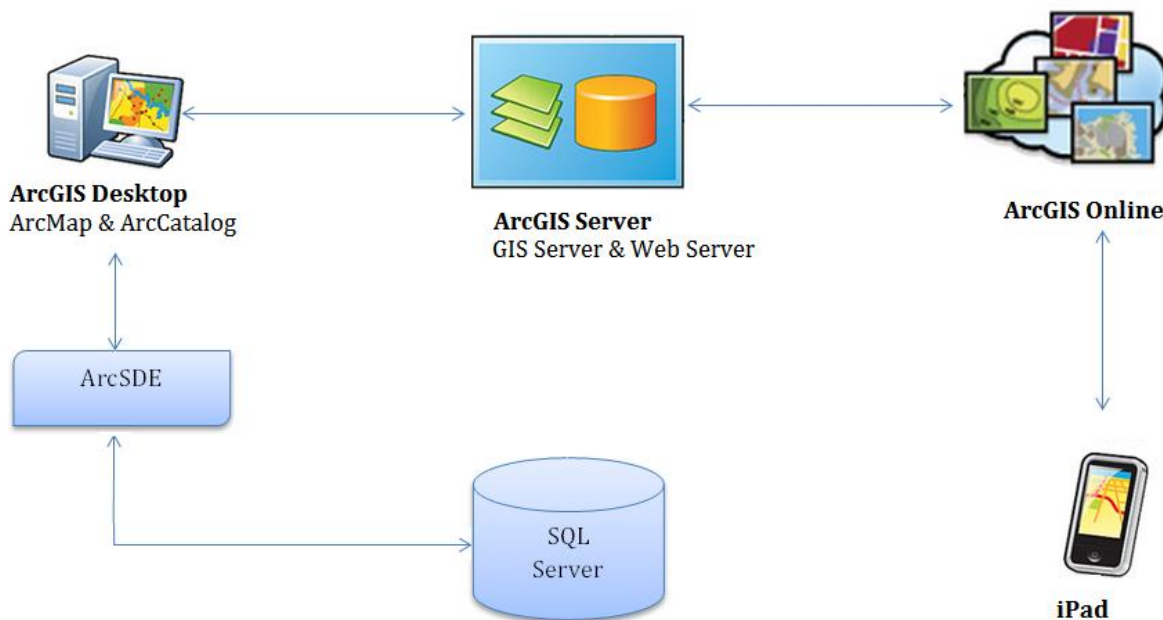
I forkant av feltarbeidet, samt ute i felt ble det oppdaget to feil som er knyttet til oppsett og konfigurering av ArcGIS Server og databasen. Disse var tilknyttet innsamling av z-verdi (høydeposisjon) og bildevedlegg til innsamlede punkter. Det ble funnet midlertidige løsninger på problemene, hvorav en løsning inkluderte bearbeiding i ettertid. Dette forklares mer detaljert i kapittel 5. Til tross for disse hakene ble løsningen brukt aktivt til datainnsamling hele feltperioden.

## 4.0 Resultat

### 4.1 Beskrivelse av løsning for digital kartlegging

Etter oppsett og konfigurering av ArcGIS Server, ArcSDE og SQL Server, samt oppkobling mot ArcGIS Online, publisering av tjenester og til slutt generering av webkart kunne iPad brukes til å samle inn og redigere data i felt.

Arbeidsflyten, samt komponentene som utgjør løsningen, illustreres i figur 4.1.



**Figur 4.1: Komponenter og deres samspill i løsning for digital kartlegging.**

Dataene residerer i en SQL Server database, som ligger helt i bunnen av løsningen. ArcSDE åpner for bruk av geodatabaser, som lagrer romlige data i databasesystemet. Geodatabasene kan videre brukes i ArcGIS Desktop. I sistnevnte kan nye *featureklasser* som skal inneholde data fra felt opprettes i ArcCatalog, og lagres i geodatabasen. I ArcMap kan data sammenstilles, prepareres visuelt og publiseres som tjenester på ArcGIS Server. Etter at dataene er tilgjengeliggjort som tjenester kan interaktive webkart i ArcGIS Online peke på tjenestene, og opprette redigerbare kartlag av disse. Annen informasjon som ikke behøver å redigeres, kan publiseres som ordinære karttjenester, og tas inn som bakgrunnskart eller ordinære kartlag i

webkartet.

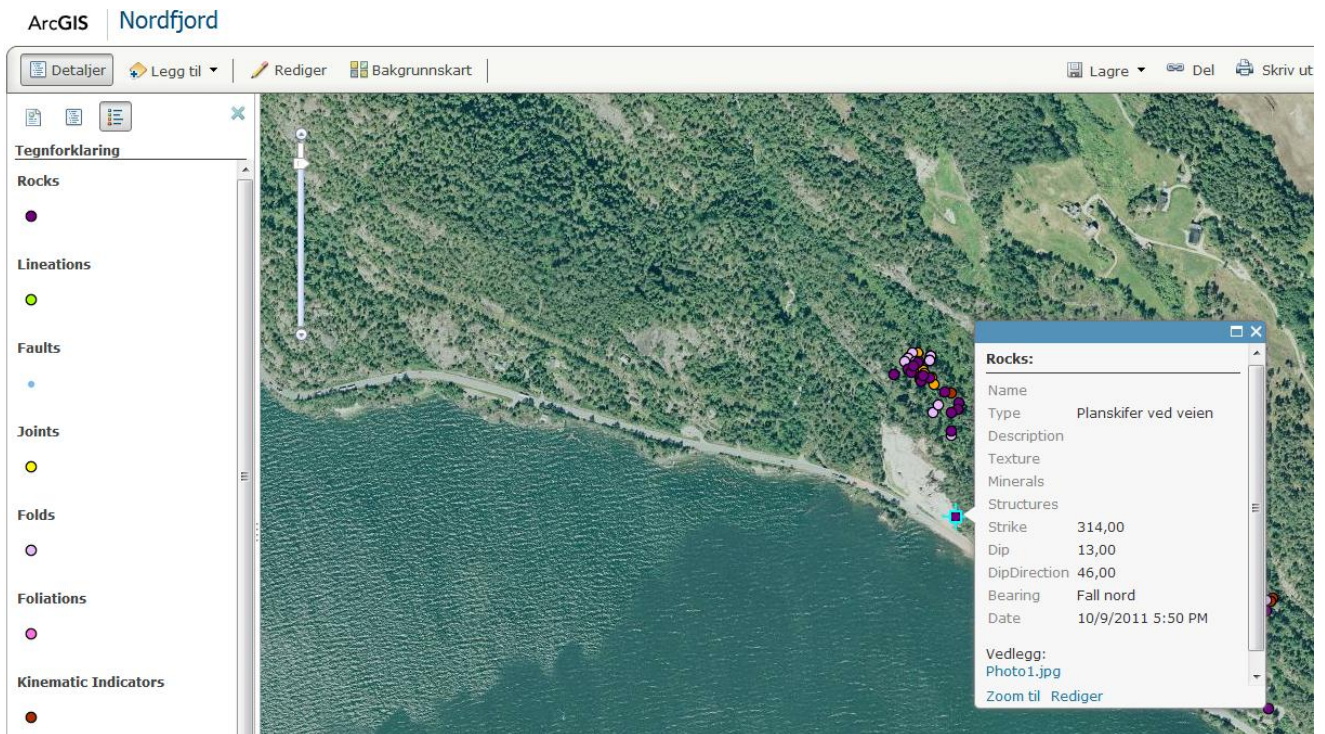
Med all data lagt til webkartet har man tilgang til å lese og endre på disse, samt opprette nye data. Ved å til slutt åpne webkartet i ArcGIS applikasjonen for iOS, via maskinvare som iPad, får man tilgang til disse dataene i felt. Dermed kan data nyttegjøres, redigeres og samles inn direkte til geodatabasen.

Resultatet ble et interaktivt webkart med redigerbare kartlag, som peker direkte på en geodatabase. Ved å hente inn webkartet via ArcGIS applikasjonen i nettbrettet, kunne punkter samles inn i felt, og lagres direkte i en geodatabase på en server som befant seg over 400 km unna.

Ved å bruke ArcGIS Server og ArcGIS Online som vertskap for kartverk, er man avhengig av å være tilkoblet Internett for å få tilgang til dataene. Dette kan enten være via trådløst nett, eller i kombinasjon med 3G. Bruk av 3G gir mest nøyaktig posisjon.

## **4.2 Innsamlede data fra feltarbeid**

Etter endt feltarbeid hvor digital kartlegging med ArcGIS Server og iPad var gjennomført, var resultatet en geodatabase med rundt 100 punkter, fordelt i de ulike featureklassene. Disse inneholdt informasjon om folder, bergartstyper, observasjoner, sprekkesystem, måledata, bilder m.m. Innholdet i geodatabasen var delt som tjenester på ArcGIS Server, og tatt inn som redigerbare lag i webkart som kunne åpnes på iPad og ArcGIS Online. Bilder var lagt til som nedlastbare vedlegg, som vises i figur 4.2.



**Figur 4.2: Webkart i ArcGIS Online.**

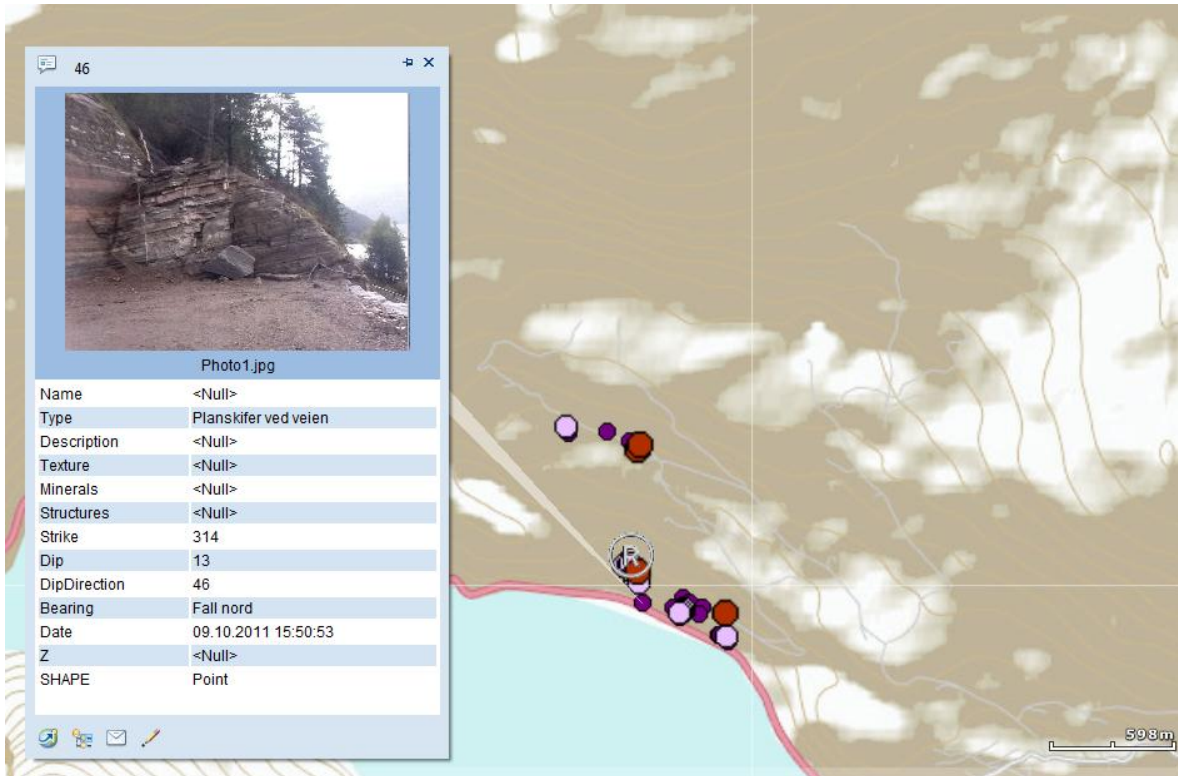
Webkartet i figur 4.2 kan ikke vise bilder grafisk, grunnet oppbyggingen til ArcGIS Online. Dette er uheldig, men det er slik det er fra produsent.

For å vise bilder knyttet til punkter i geodatabasen, kan programmet ArcGIS Explorer brukes, som illustrert i figur 4.3. Her vises samme punkt som i figur 4.2, men grunnet programmets oppbygging klarer denne å tolke vedleggene og vise disse (Esri, 2012 f).

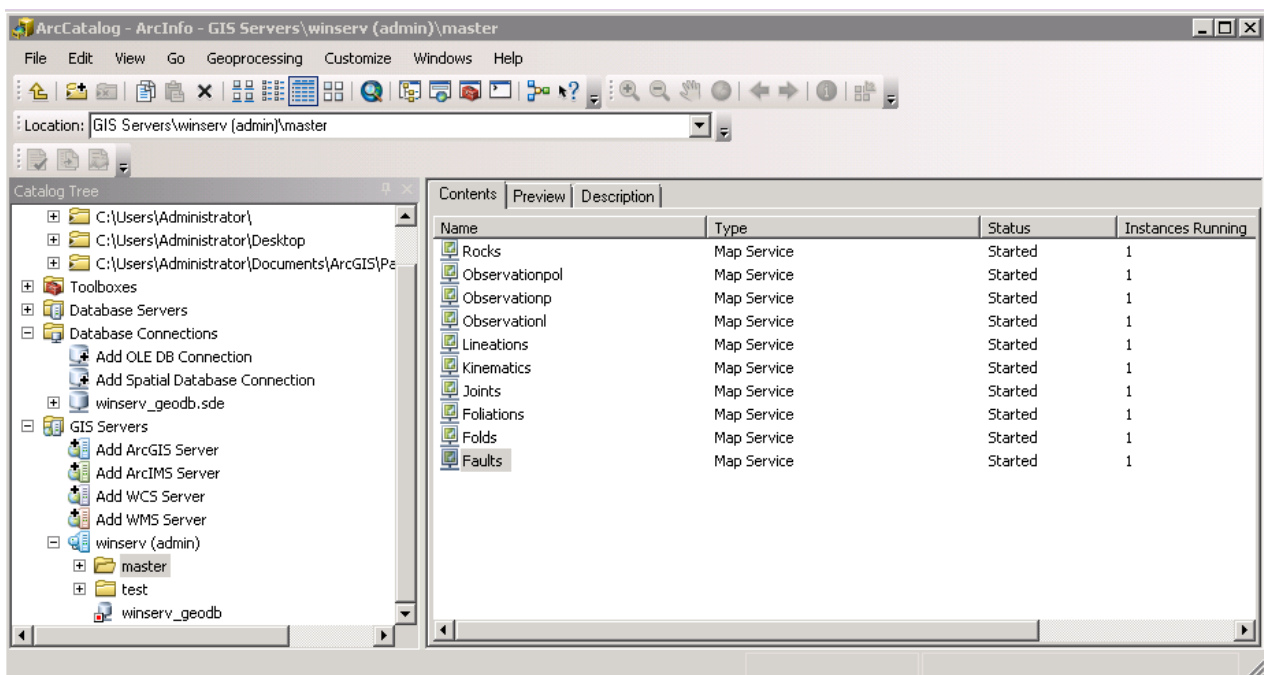
Fra figur 4.2 og 4.3 ser man at bildet automatisk får navnet Photo1.jpg. Dette gjaldt for alle bilder innsamlet, og skyltes mest sannsynligvis feil i oppsett av databasestruktur. Dette diskuteres i neste kapittel.

Figur 4.4 illustrerer tjenestene som kjører på ArcGIS Server, og som kan administreres gjennom ArcCatalog. Disse ligger ute som karttjenester (*Map Service*), men med muligheter for *Feature Access* blir dette redigerbare kartlag. I figur 4.4 ser man også geodatabasen under *Database Connections* i *Catalog tree*-fanen. Det er inne i denne databasen all dataen innsamlet i felt ligger, på serveren.

I felt ble også målenøyaktigheten til iPadens innebygde GPS testet mot Leica GPS1200. Disse målingene viste avvik fra 1,08 m – 3,28 m. Det kan dermed antas en nøyaktighet på ca +/- 3,5 m for posisjonene innmålt med iPad.



Figur 4.3: Webkart i ArcGIS Explorer.



Figur 4.4: Skjermdump av tjenestene fra ArcCatalog.



## 5.0 Diskusjon

### 5.1 Oppsett av løsning for digital kartlegging

Oppsett av løsningen frem til opprettelse av webkart i 3.1.4 kan virke komplisert slik det beskrives i denne artikkelen. Komplette oppsett av ArcGIS Server med tilhørende SQL Server og ArcSDE kobling var i utgangspunktet en forutsetning for løsningen. Da ingen slike systemer var tilgjengelige for bruk ved Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Universitet (NTNU) ved prosjektets oppstart, ble dermed dette en del av det helhetlige arbeidet med utviklingen av løsningen. Det var en lærerik prosess som førte til en dypere forståelse for serversystemet. Slik bruk av løsningen med ArcGIS Server og iPad var tiltenkt, var dette fra og med 3.1.4, med publisering av ønskede GIS-ressurser som tjenester, inkludering av disse som redigerbare lag og direkte bruk av webkartet fra iPad. På denne måten er løsningen svært tilgjengelig, og krever ikke alt arbeidet som beskrevet i 3.1.1 til 3.1.3. Det er også kun for arbeidet med oppsett av ArcGIS Server at høyere lisensnivåer er nødvendig. For slikt oppsett behøves kun én ArcGIS Server lisens, og kun én høyere nivå ArcGIS Desktop lisens. Dette er slikt en IT avdeling ved en institusjon sannsynligvis ville hatt ansvar for. Eksempelvis har NTNU satt opp en egen ArcGIS Server i etterkant av dette prosjektet, som i teorien kunne vært brukt her. Hvis NTNU sin server kunne vært brukt i dette prosjektet kunne kanskje feil tilknyttet høydeverdier og bildevedlegg vært unngått.

Hvis man tar utgangspunkt i at en ArcGIS Server er satt opp, med fungerende databaser, kreves det kun en ArcView (laveste nivå) lisens for ArcGIS Desktop til å opprette redigeringsmaler, sammenstille data for publisering og publisering av tjenester på ArcGIS Server. Bruk av ArcGIS Online og ArcGIS applikasjon for iOS er gratis. Maskinvare i form av nettbrett eller smarttelefon antas å være relativt tilgjengelig i dagens samfunn. Om dette ikke er tilfellet er kostnadene knyttet til innkjøp av slike maskinvarer mindre enn de knyttet til innkjøp av en hardfør datamaskin.

For prosjekter med flere deltagere, kan et felles webkart benyttes. Slik kan man også se hva andre observerer i felt, hvilket kan bidra til økt forståelse av egne observasjoner.

Ved at løsningen kun krever høyere lisensnivåer av programvare for én person (prosjektleder og ansvarlig), åpner dette for at flere kan bruke løsningen til en mindre kostnad.

## 5.2 Praktisk bruk i felt

I felt opplevdes iPad som lett å håndtere og effektiv å bruke. Responstid for ArcGIS applikasjonen var rask, og tilkoblingen til internett var stabil. Det vanntette etuiet til iPad gjorde at nettbrettet hang praktisk rundt halsen. Dermed kunne bruk av løsningen enkelt kombineres med andre målemetoder, slik det kommer frem i figur 3.5. I løpet av feltperioden regnet det hver dag, men det var uproblematisk å bruke iPad med beholderen. Det eneste negative var at det tidvis dannet seg dugg mellom kameralinsen og plastetuiet, slik at bildene ble noe uklare etter lengre perioder ute i regnet. iPad er ikke designet for å være en hardfør maskin slik som Panasonic Toughbook og det var derfor tvil om den var egnet til lange dager i felt. I løpet av dette feltarbeidet overlevde nettbrettet å bli mistet mot berggrunnen opptil flere ganger, og tok ingen skader av dette. Erfaring etter bruk er at den var tilstrekkelig hardfør og egnet til utendørs bruk såfremt man har en vanntett beholder. Beholderen fungerte trolig også dempende under fall, så bruk av dette anbefales.

Målenøyaktigheten som ble testet viste avvik på omtrentlig  $\pm 3,5$  m. Dette er vurdert som innenfor rimelighetens grenser. Er det behov for mer nøyaktige posisjoner enn dette må uansett spesialutstyr slik som Leica GPS1200 benyttes, hvilket ikke er like lett håndterlig i felt. Brukervennligheten går derfor på bekostning av målenøyaktigheten, men totalt vurderes denne som tilstrekkelig nøyaktig.

Enkelte feil knyttet til løsningen ble oppdaget under testing i forkant av feltarbeidet, samt i løpet av feltarbeidet. Disse feilene var i forbindelse med innsamling av z-verdi og bildevedlegg. Problemer med bildevedlegg ble oppdaget tidlig, og mange ulike metoder ble forsøkt for å løse dette problemet. Feil oppstod når bilder skulle legges til punkter som vedlegg, under lagring til geodatabasen. Denne feilen er trolig en konsekvens av enten feil i relasjonsdatabasen, eller at serverinstillinger ikke sletter minnet etter at hvert punkt er lagt til. Dette kom frem ved at tidligere bilder ble forsøkt lagt til sammen med nyere bilder, og da løsningen kun tillater ett vedlegg per punkt ga dette feilmelding ved registrering. En midlertidig løsning som ble brukt i felt var å lukke og åpne applikasjonen ArcGIS mellom hvert punkt, slik at minnet ble slettet og kun et bilde ble lagt til neste punkt. Denne midlertidige løsningen fungerte veldig bra, slik at bilder kunne bli lagt til som vedlegg. Da responstiden på iPad lav, tok det ikke mer enn et par sekunder å gå inn og ut av applikasjonen, så dette ble vurdert som uproblematisk.

En endelig løsning på problemet ligger trolig i konfigurasjonen til ArcGIS Server, ArcSDE og SQL Server.

Problemer i felt med innsamling med høydeverdier ble også oppdaget i forkant av feltarbeidet, samt under feltarbeidet. Dette har trolig også med innstillinger av ArcGIS Server å gjøre, da denne må konfigureres noe ekstra for å få med høydekoordinat.

For begge disse feilene ble det bevisst ikke arbeidet mot å gjennomføre konfigurasjoner mot endelige løsninger. Dette er områder som må undersøkes nærmere for å finne løsninger for, og krever trolig mer kompetanse innenfor databasesystemer og ArcGIS Server. Det var av tidsmessige årsaker ikke prioritert å sette seg inn i slike arbeidsområder, samt at slike oppgaver strekker seg langt utenfor masteroppgavens omfang og fagområde. Det presiseres likevel at det med riktige konfigurasjoner for programvarene vil være fullt mulig å samle inn både høydeverdier og bildevedlegg.

Høydeverdier ble i etterkant interpolert fra terrengmodell i artikkel III.

Det at løsningen kun lagrer data via Internett, og ingenting lagres lokalt førte ikke til noen problemer under feltarbeidet. iPad hadde kontakt med mobilnettet hele tiden, selv i skogsområder med tettere vegetasjon og høye fjellsider rundt. Dette kan imidlertid være et problem for områder med mangelfull 3G-dekning, og burde undersøkes i forkant av feltarbeid. I områder med god dekning finnes det også en ekstra fordel i at den automatiske lagringen av data vil fungere som en sikkerhetskopiering av data, og at denne vil ligge trygt lagret i geodatabasen dersom iPad blir ødelagt.

Batteritiden opplevdes som tilfredsstillende, og iPad gikk ikke tom for batteri selv etter dager med opptil 10 timer i felt.

### **5.3 Vurdering av løsningens funksjonalitet**

Ulemper knyttet til bruk av løsningen er hovedsaklig at ingenting kan lagres lokalt på maskinvaren. Dette fører til en total avhengighet av 3G-mobildekning, hvilket ikke alltid er tilfellet. iPad som maskinvare kan heller ikke sies å være like hardfør som eksempelvis Panasonic Toughbook, og selv om den fungerte tilfredsstillende under testing er den ikke like

hardfør som ovennevnte maskinvare.

Fordeler med løsningen er knyttet til tilgjengelighet. Publisering av tjenester og opprettelse av interaktive webkart krever ikke høye lisensnivåer, og heller ikke mye erfaring i bruk av programvaren. Annen informasjon man ønsker å inkludere i kartet kan legges til som ordinære kartlag, og slik kan man ha med svært mye nyttig informasjon ut i felt i en og samme løsning. Det at systemet bruker ArcGIS-programvaren anses å være en fordel, da dette er utbredt programvare, både blant studenter og i arbeidslivet. Løsningen er oppdatert og tar i bruk det nyeste av GIS-teknologi på markedet. Den er også tilgjengelig med tanke på maskinvare, og kan brukes på både smarttelefoner og nettbrett. For videre bearbeiding av data fra løsningen, ligger disse allerede strukturert i geodatabasen, og kan tas direkte i bruk i ArcMap for analysering og modellering. Dersom andre GIS-systemer enn ArcGIS skal brukes videre, vil det trolig oppstå noe mer arbeid i forbindelse med bearbeiding enn beskrevet her. I og med at ArcGIS er et av de største GIS-systemene, samt det som brukes på NTNU, var dette et naturlig utgangspunkt for arbeidet her. Det finnes andre systemer for geografisk informasjonsbehandling, og mer arbeid med andre GIS-systemer kunne vært aktuelt. En lignende løsning med like stor tilgjengelighet og muligheter for å tilgjengeliggjøre kart og data fra personlig PC til server programvare og webkart vil trolig kun være gjennomførbart for større og kommersielle GIS-systemer.

Selv om løsningen har mange fordeler, er det viktig å også se på ulempene. Grunnet løsningens avhengighet av 3G-dekning vil den ikke kunne erstatte andre metoder for digital geologisk kartlegging ved lengre feltarbeid i områder med lite mobildekning. Løsningen kan derimot sies å være godt egnet for mindre prosjekter, over kortere tid og med hyppige turer i felt hvor feltområdet har god dekning. Dette kan være for bedrifter og i undervisningsformål. Bedrifter kunne hatt nytte av løsningen ved befaringer og kortere feltarbeid. Løsningen er trolig godt egnet til undervisningsformål, ved at den illustrerer et GIS på en effektiv måte, og kan engasjere og motivere siden den bruker aktuell teknologi.

## 6.0 Konklusjon

Etter arbeid med oppsett og konfigurering av løsning for digital geologisk kartlegging med ArcGIS Server og iPad, ble denne testet i felt med positivt utfall. Løsningen førte til en effektivisering av kartleggingsprosessen. Løsning for digital kartlegging med ArcGIS Server og iPad er en metode som er enkel å implementere, effektiv og motiverende å bruke og gir gode resultater som krever lite bearbeiding for videre arbeid. Kartleggingsløsningen anbefales som bruk ved kortere og hyppigere feltekskursjoner, med en eller flere deltagere. Løsningen antas å være spesielt godt egnet til undervisningsformål.

Til geologisk kartlegging av en forekomst ble løsningen vurdert som svært effektiv og positiv.

## 7.0 Referanser

Apple 2012 a. Apple offisiell nettside. 2012. URL: <http://www.apple.com>  
Sist lokalisert 23.03.2012

Apple 2012 b. Apple iPad fra App Store. 2012. URL: <http://www.apple.com/no/ipad/from-the-app-store/>  
Sist lokalisert 23.03.2012

Apple, 2012 c. App Store – ArcGIS. 2012. URL:  
<http://itunes.apple.com/us/app/arcgis/id379687930?mt=8>  
Sist lokalisert 23.03.2012

Athey, J.E., Freeman, L.K., Woods, K.A., 2008. The transition from traditional to digital mapping: maintaining data quality while increasing geologic mapping efficiency in Alaska. Alaska GeoSurvey News, Vol. 11, No. 2.

Bellian, J.A., Kerans, C., Jennette, D.C., 2005. Digital outcrop models: applications of terrestrial scanning lidar technology in stratigraphic modeling. Journal of Sedimentary Research 75, 166-176.

Carlson, J., 2011. The iPad 2 Pocket Guide. Pearson Education – 264 sider.

Chapple, M., 2008. Microsoft SQL Server 2008 For Dummies. John Wiley & Sons, 2008. 408 sider.

DeMers, M. N., 2009. Fundamentals of Geographical Information Systems. 4th Edition. John Wiley & Sons, Inc. 2009. 443 sider.

Esri, 2012 a. Environmental Systems Research Institute, 2012. ArcGIS Desktop 10 Help. URL: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/>  
Sist lokalisert 15.02.2012

Esri, 2012 b. Environmental Systems Research Institute, 2012. ArcGIS Server .Net 10 Help. URL: [http://help.arcgis.com/en/arcgisserver/10.0/help/arcgis\\_server\\_dotnet\\_help/](http://help.arcgis.com/en/arcgisserver/10.0/help/arcgis_server_dotnet_help/)  
Sist lokalisert 15.02.2012

Esri, 2012 c: Environmental Systems Research Institute, 2012. Geodatabase | Spatial Data & Information Management | GIS Data Storage. URL: <http://www.esri.com/software/arcgis/geodatabase>  
Sist lokalisert 15.02.2012

Esri, 2012 d. Environmental Systems Research Institute, 2012. ArcSDE Technology. URL: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcsde/index.html>  
Sist lokalisert 15.02.2012

Esri, 2012 e. Environmental Systems Research Institute, 2012. ArcGIS.com Help. URL: <http://help.arcgis.com/en/arcgisonline/help/index.html#//010q000000200000>  
Sist lokalisert 15.02.2012

Esri, 2012 f. Environmental Environmental Systems Research Institute , 2012. ArcGIS for Mobile brochure. URL: <http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/arcgis-for-mobile.pdf>  
Sist lokalisert 15.02.2012

Esri, 2012 g. Environmental Systems Research Institute, 2012. ArcGIS Explorer | GIS Viewer | Free GIS Software & Maps. URL: <http://www.esri.com/software/arcgis/explorer/index.html>  
Sist lokalisert 15.02.2012

Esri, 2011 a. Environmental Systems Research Institute, 2011. ArcGIS 10 for Server Functionality Matrix. URL: <http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/arcgis-server-functionality-matrix.pdf>  
Sist lokalisert 15.02.2012

Esri, 2011 b. Environmental Environmental Systems Research Institute, 2011. Esri ArcWatch July 2011 - ArcGIS for iOS Improves Users' Experience. URL:

<http://www.esri.com/news/arcwatch/0711/arcgis-for-ios.html>

Sist lokalisert 12.03.2012

Esri, 2011 c. Environmental Systems Research Institute, 2011. ArcSDE for Microsoft SQL Server Install Guide. URL:

[http://help.arcgis.com/en/geodatabase/10.0/install\\_guides/arc\\_sde\\_for\\_microsoft\\_sql\\_server\\_installation\\_and\\_upgrade\\_guide/](http://help.arcgis.com/en/geodatabase/10.0/install_guides/arc_sde_for_microsoft_sql_server_installation_and_upgrade_guide/)

Esri, 2010 a: Environmental Systems Research Institute (ESRI). Introduction to ArcGIS® Server. Course version 3.2. Version release date August 2010.

Esri, 2010 b. Environmental Systems Research Institute, 2010. ArcGIS® Server Enterprise Configuration and Tuning for SQL Server®. Course version 3.1. Version release date August 2010.

Esri 2010 c : Environmental Systems Research Institute, 2010. Installing ArcGIS Server for the Microsoft .Net Framework. URL:

[http://help.arcgis.com/en/arcgisserver/10.0/install\\_guide/arcgis\\_server\\_net\\_install\\_guide/](http://help.arcgis.com/en/arcgisserver/10.0/install_guide/arcgis_server_net_install_guide/)

Sist lokalisert 15.02.2012

Halvorsen, O.H., & Clarke, D. 2011. OS X and iOS Kernel Programming. Springer Science+Business Media New York - 487 sider.

Henderson, I.H.C., Viola, G., 2011. Implementering av digital bergrunnskartlegging ved Norges Geologiske Undersøkelse – NGU. Faglig notat, Mineralproduksjon 1 (2011) 83-101

Himmelsbach, T., 2012. A Survey on Today's Smartphone Usage. Diploma thesis. Grin Verlag (2012). 134s.

Hunt Mountain Software, 2011. Hunt Mountain Software – Strike and Dip. URL:

<http://www.huntmountainsoftware.com/html/strikeanddip.html>

Sist lokalisert 15.02.2012

Jones, R.R., McCaffrey, K.J.W., Clegg, P., Wilson, R.W., Holliman, N.S., Holdsworth, R.E., Imber, J., Waggott, S., 2009. Integration of regional to outcrop digital data: 3D visualisation of multi-scale geological models. Computers & Geosciences 35 (2009) 4–18

Kennedy, M., 2009. Introducing Geographical Information Systems with ArcGIS: A Workbook Approach to Learning GIS. 2nd Edition. John Wiley & Sons, Inc. 2009. 624 sider.

Maher, A., 2010. Advanced iOS 4 Programming: Developing Mobile Applications for Apple iPhone, iPad and iPod Touch. John Wiley & Sons, 2010- 720 sider.

McCaffrey, K.J.W., Holdsworth, R.E., Clegg, P., Jones, R.R., Wilson, R., 2003. Using digital mapping and 3D visualization to enhance and modernize undergraduate fieldwork experience. Planet, Special Edition 5, 34-36.

McCaffrey, K.J.W., Jones, R.R., Holdsworth, R.E., Wilson, R.W., Clegg, P., Imber, J., Holliman, N., Trinks, I., 2005. Unlocking the spatial dimension: digital technologies and the future of geoscience fieldwork. Journal of the Geological Society, London 162, 927–938.

McCaffrey, K.J.W., Feely, M., Hennessy, R., and Thompson, J., 2008, Visualization of Folding in Marble Outcrops, Connemara, western Ireland: An application of virtual outcrop technology: Geosphere, v. 4, p. 588–599

Midland Valley, 2011. FieldMove Product Brochure, 2011. URL:

<http://www.mve.com/assets/brochures/fieldmove.pdf>

Sist lokalisert 11.04.2012

Norges geologiske undersøkelser, 2011. Digitale berggrunnsdata, Gloppen Kommune.

Wgs1984 Sone 32 N. Nedlastet fra: <http://www.ngu.no/no/hm/Kart-og-data/nedlasting/>

Sist lokalisert 11.04.2012

Pearce, M.A., Jones, R.R., Smith, S.A.F., McCaffrey, K.J.W., Clegg, P., 2006. Numerical Analysis of fold curvature using data acquired by high-precision GPS. Journal of Structural Geology 28, 1640-1646.

Rankins, R., Bertucci, P., Gallelli, C., Silverstein, A.T., 2010. Microsoft® SQL Server 2008 R2 Unleashed. Sams, 2010. 2451 s.

Rosenzweig, G., 2011. My iPad 2. Que, 2011 - 380 s.

Whitmeyer, S.J. & Nicoletti, J., 2010. The digital revolution in geologic mapping. GSA Today, v. 20, no. 4/5

Wilson, R. W., McCaffrey, K.J.W., Jones, R.R., Imber, J., Clegg, P., Holdsworth, R.E., 2005. Lofoten has its faults! Detailed fault analysis and 3D digital mapping in the Norway's Lofoten Islands. Geoscientist 15 (2), 4-9.

Xu, X., Aitken, C.L.V., Bhattacharya, J.B., Davies, R. K., Corbeanu, R.M., Nielsen, K.C., McMechan, G.A., Abdelsalam, M.G., 2000. Creating virtual 3D outcrop. The Leading Edge 19, 197-202.



## Artikkel II

# Beskrivelser og analyser av bergarter og strukturer i forekomst tilknyttet Nordfjord Skifer, Sogn og Fjordane.

Nina Ulfstein

Institutt for geologi og bergteknikk, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Sem  
Sælandsvei 1, 7491 Trondheim.

## Sammendrag

En skiferforekomst tilknyttet Nordfjord Skifer i Sogn og Fjordane viser store geologiske variasjoner og kompliserte strukturer. Disse variasjonene fører til problemer i forhold til drift av forekomsten, og det er et behov for å forstå mer om innholdet og dannelsen til denne. Forekomsten har blitt kartlagt for å gi en inndeling i ulike bergarter samt beskrive strukturene tilstede. En sammenfatning av tidligere arbeid i området er også gitt. Alt dette for å kunne bedre forståelsen av innholdet og dannelsen til forekomsten, slik at denne kan utnyttes på en mer effektiv måte.

Denne artikkelen er den andre av totalt tre artikler, som sammen utgjør hovedinnholdet i en masteroppgave i berggrunns- og ressursgeologi Artikkel I beskriver prosessen bak utviklingen av en løsning for digital kartlegging av skiferforekomsten. Artikkel III beskriver fremgangsmåte for visualisering og 3D-modellering av forekomsten.

## **1.0 Introduksjon**

### **1.1 Bakgrunn**

En skiferforekomst nord for Breimsvatnet, like sør-øst for Sandane i Sogn og Fjordane, har behov for utredelser i forhold til det geologiske innholdet. Store variasjoner innad i forekomsten gjør det problematisk å utvinne den ønskede kvartsskiferen, som har tydelige spalteplan og gjennomgående skifrihet. Skiferforekomsten utvinnes i to brudd, henholdsvis det østre og vestre bruddet, som skilles av ca 150 m med skog og øvrig vegetasjon. Etter befaring i skiferbruddene ble det observert et område med en mektig omvandlet sedimentær bergart med svært forstyrret lagning, som ikke har utviklet den gjennomgående skifriheten som kvartsskiferen. I områder hvor slike mektige bergarter dominerer er det også observert flere omvandlede intrusjoner av ukjent opprinnelse og innhold. Disse er svært forvitret, og gjør det vanskelig å nyttiggjøre seg av resten av forekomsten.

### **1.2 Problemstilling og formål**

Formål med arbeidet i denne artikkelen er å skaffe til rette mer informasjon og kunnskap om skiferforekomsten.

Dette gjelder hovedsakelig ulike bergarter innad i denne, samt geologiske strukturer.

Det er ønskelig å kunne få en generell oversikt over hvordan forekomsten har blitt påvirket og blitt slik den fremstår i dag, ved å koble observasjoner fra felt og analyser av strukturer og bergarter med hendelser beskrevet i tidligere arbeid i området.

For å redegjøre for geologien i skiferbruddet innebærer arbeid:

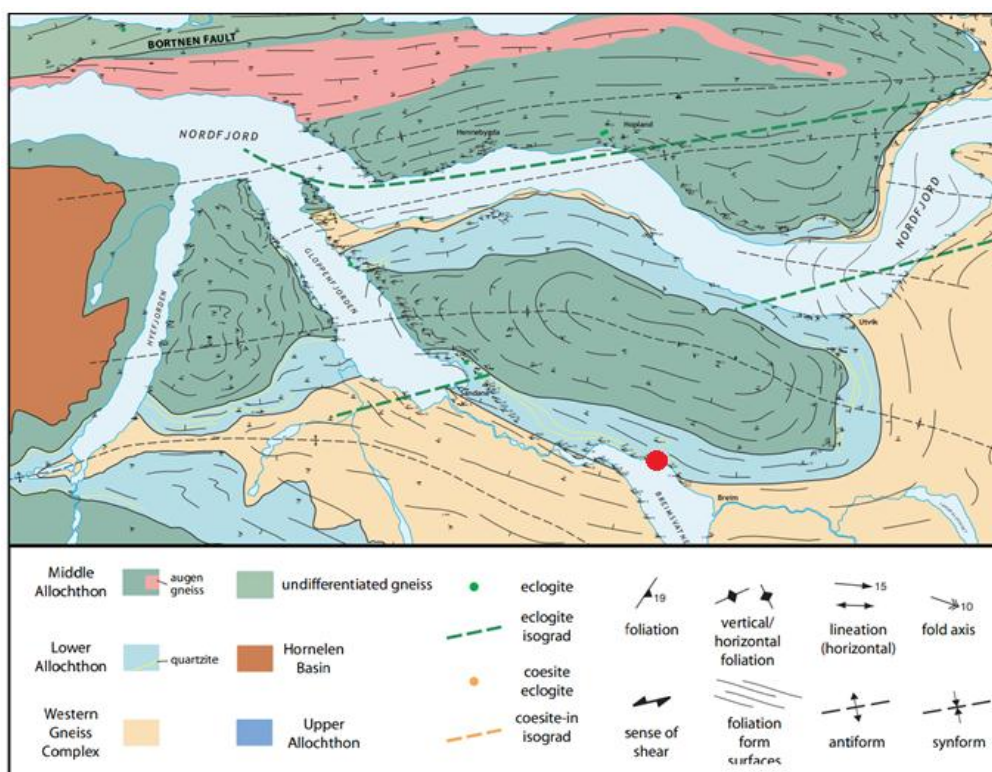
- 1) Utrede områdets geologi fra tidligere arbeid beskrevet i litteratur.
- 2) Beskrive ulike bergarter i skiferbruddet og deres mineralogiske innhold.
- 3) Beskrive hovedstrukturer observert i forekomsten.
- 4) Om mulig, koble observasjoner og beskrivelser til hendelser beskrevet i litteratur fra tidligere arbeid, for å kunne finne ut mer om dannelsen til bergartene og strukturene.

Videre i artikkelen vil det geologiske rammeverket og tidligere arbeid i området redegjøres. Deretter vil metodene brukt redegjøres. Beskrivelser og analyser av bergarter i felt og tynnslip, samt observasjoner og analyser av strukturer i området vil presenteres før diskusjon og konklusjon.

## 2.0 Tidligere arbeid i området

Området forekomsten befinner seg i tilhører undre allokton i de kaledonske skyvedekkene i S-V Norge. Ingen bestemt enhet eller gruppe som dekker området er definert fra tidligere arbeid. Lite detaljert kartlegging har vært foretatt i selve forekomsten eller i umiddelbar nærhet til denne. Nærmeste beskrivelser av området gis av Young et al. (2007; 2011) som illustrert figur 2.1.

I kartverk fra NGU fremkommer området i Breim (1218-IV) 1:50000 (Bryhni, 2000 a).



**Figur 2.1: Strukturgeologisk kart over området øst for Hornelen bassenget, utsnitt fra geologisk kart over Nordfjordområdet fra Young et al. (2011). Nordfjord Skifer lokalisert ved rød prikk.**

Vanlig bergarter i undre allokton beskrevet av Young et al. (2011) er mellom-til-grovkornede, sterkt deformerte glimmerrike kvartsfeltspatiske og kalsittiske skifre (tidvis protomylonittiske). Skifrene har mineralinnhold bestående av granat, muksovitt, biotitt, epidot/zoesitt, kvarts, plagioklas, K-feltspat og kalsitt. Lokale, diskontinuerlige, 10-50 m tykke lag med kvartsitter kan forekomme i skiferbergarter. Young et al. (2011) har også observert marmor, granatamfibolitter og sjeldne hornblendebærende eklogitter. Undre allkoton ligger tektonostratigrafisk over de autoktone bergarter tilhørende den Vestre Gneisregionen (*Western Gneiss Complex*) og under midtre allokton. Skyvedekket er ca 1 km tykt ved Hornelen bassenget, og tynnes ut nordover for Nordfjord hvor den Vestre Gneisregionen er i direkte kontakt med midtre allokton (Young et al., 2007).

De skifrige bergartene som er karakteristiske for undre allokton mangler generell komposisjonell lagning, og er dominert av finkornet, mylonittisk foliasjon og lineasjon som er definert av elongate mineraler som kvarts, feltspat, biotitt, epidot og muskovitt. Vestfallende skjærsoner kutter foliasjonen ved lave vinkler. Asymmetriske boudiner, porfyroklaste og skjærbånd indikerer topp-mot-vest kinematikk (Young et al., 2011). Kvartsittene viser en sterk skjærfoliasjon. Kontakten mellom undre og midtre allokton er en sen-sprø-duktil forkastning med lokal pseudotraktalyttisk breksje. Amfibolittfacies skjærteksturer på begge sider av kontakten indikerer begrenset forflytning (Young et al., 2011). Ekstensjon under kollapsen av den kaledonske fjellkjeden førte til dannelsen av skjærsoner som delte opp og kuttet skyvedekkene og grunnfjellet (Ramberg et al., 2006; Krabbendam & Dewey, 1998). Slike strekningssoner kan finnes langs hele vestkysten av Norge, helt opp til Troms. Mange av disse forble aktive lenge etter kollapsen var over. Den største av disse skjærsonene er Nordfjord-Sognskjærsonen (NSDZ), som først ble beskrevet av Norton (1987) (Andersen et al., 1991; Krabbendam & Dewey, 1998; Labrousse et al., 2004).

Nordfjord-Sogn skjærssonen kan sees på som et system av vest-fallende ekstensjonsskjærsoner langs vestkysten av Norge. I flere områder som er påvirket av dette systemet er det funnet høytrykksbergarter og ultrahøytrykksbergarter, hvilket indikerer heving av bergarter fra dyp opp til 120 km (Andersen et al., 1991; Krabbendam & Dewey, 1998; Labrousse et al., 2004). Skjærsonen grenser til devonske bassenger, og er foldet på tilsvarende måte som disse. Young et al. (2011) har tolket NSDZ som en amfibolitt-til-grønnskiferfacies skjærsoner, som har utviklet seg i midtre

allokton under Hornelen bassenget, samt at duktil deformasjon og skjæring hovedsaklig er konsentrert i den Vestre Gneisregionen. Young et al. (2011) og Krabbendam & Dewey (1998) viser også til at skjærsonen skiller eklogittbærende ligg fra tynt heng med amfibolitt-grønnskiferfacies alloktone enheter. Skjærsonens opprinnelse beskrives videre av Johnston et al. (2007 a), ved at ikke-koaksielt skjær langs skjærsonen ble initiert ved amfibolittfacies som en topp-mot-vest skjærson sentrert i undre og midtre allokton. Grunnen til denne lokaliseringen ble tolket ved at kvartsofeltspatiske sedimentære bergarter fungerte som svake lag mellom kaldere bergarter i øvre allokton og massive autoktone, baltiske skjold. Duktil deformasjon i skjærsonen overprintet tidligere hendelser. Under progressiv ekstensjon ble amfibolittfacies mylonitter innenfor skjærsonen erstattet av grønnskiferfacies mylonitter. Ekstensjonsstrukturer viser topp-mot-vest skjærretning (grønnskifer-til-amfibolittfacies) tilknyttet NSDZ (Andersen & Jamtveit, 1990; Dewey et al., 1993; Wilks & Cuthberth, 1994).

Assosierte skjærsoner til Nordfjord-Sognskjærsonen, relatert til sen-orogen ekstensjon, stedfestes blant annet i Krabbendam & Dewey (1998), og undersøkes ytterligere av Young et al. (2007) og Young et al. (2011). Sandane skjærsonen (SSZ) blir introdusert som en tidlig høy-strain sone som kan ha flyttet alloktone enheter over den vestre gneisregionen, og senere ha blitt overprintet av metamorfe og sen-ekstensjonsstrukturer relatert til NSDZ (Young et al., 2007; Young et al., 2011). Sandane skjærsonen ble tolket av Young et al. (2007) til å være konsentrert i undre allokton, hvor den strekker seg 300 m ned i den Vestre Gneisregionen, samt minst 500 m opp i de overliggende bergartene tilhørende midtre allokton. Kinematiske indikatorer i SSZ inkluderer S/C og C' type skjærbånd,  $\sigma$  porfyroklaster, asymmetriske boudinier samt småskala normalforkastninger, og disse indikerer alle topp-mot-vest bevegelse. Metamorfosegraden til SSZ er i amfibolitt-til-grønnskiferfacies (Young et al., 2007). Young et al., (2011), Chauvet & Séranne (1994) og Krabbendam & Dewey (1998) tolker ekstensjonen som progressive ved:

- Symmetrisk strekning ved amfibolittfacies i dypere deler av skorpen resulterte i 50 % uttynning av seksjonen.
- Skjæring langs svake soner som SSZ var overprintet av lavere temperatur ekstensjonsskjæring når ligget ble hevet gjennom midtre-til-øvre skorpedyp ved transtensjon.

- Amfibolittfacies deformasjon under SSZ ble overprintet av grønskiferfacies fra NSDZ og ekstensjonsstrukturer, samt devonsk senfolding.

En storskala synform går gjennom midtre allokton, tektonostratigrafisk ovenfor skiferbruddet (Young et al., 2011). Denne er en del av en serie med storskala folder, og antiformer er nord og sør for denne. N-S kontraksjon som produserte slike Ø-V folder i devonske bassenger og områder rundt antas å ha oppstått samtidig som ekstensjonsbevegelsene. Den sene foldefasen er hovedsakelig devonsk, men fortsatte trolig inn i tidlig karbon (Chauvet & Séranne, 1994; Krabbendam & Dewey, 1998).

Chauvet & Séranne (1994) karakteriserer ekstensjonsstrukturer ved deres mylonittiske foliasjon, som lå parallell med NSDZ, samt ved Ø-V til NV-SØ retrogressiv strekningslineasjon. S-Ø vergerende skjæring knyttet til kaledonsk tektonikk ble preservert i isolerte blokker inne i skjæersonen, samt utenfor i ligget og hengt til denne. Vestvergerende skjæring gjenbrakte tidligere kaledonsk foliasjon som hovedplan. Chauvet & Séranne (1994) beskriver to typer storskala folder som påvirker kaledonske bergarter i sør-vest Norge. Type 1 utgjør store antiformer og synformer i retning NØ-SV til NS. Antiformene oppstår i autoktone eller parautoktone prekambriske grunnfjellet, og synformene består av alloktone enheter. Type 2 folder har trender i retning Ø-V til NØ-SV, og er velutviklet i kystnære områder av den Vestre Gneisregionen i områder påvirket av ekstensjonsdeformasjon. Type 1 og 2 folder er stående og åpne, og karakteriseres av vertikale akseplan og horisontale foldakser med konstant Ø-V til NØ-SV retning. Foldene utgjør storskala folder som synklinaler i tidligere kaledonsk foliasjon. Parasittiske mikrofolder i hengslene assosieres med utvikling av vertikal sekundær akseplanskifrihet (Chauvet & Séranne, 1994). Storskala, stående Ø-V folder skiller fra dragfolder generert av topp-mot-vest skjæring. Med økende strain blir dragfoldene vesttrendene, og viser asymmetriske skjærede hengsler. Akseplanene er parallell til hovedskjærplaneet til skjæersonen, som er nært horisontalt i aksene til store Ø-V synklinaler. Lineasjonen  $L_1$  blir introdusert som elongate kvarts- og feltspatkorn i ligget, og i hengt som orienterte muskovittkorn. Tolkninger av mikrostrukturelle bevis fra hengt (Chauvet & Séranne, 1989; Fossen, 1992) indikerer topp-mot-SØ retning for de kaledonske skyvedekkenene. Strekningslineasjonen  $L_2$  relateres til ekstensjon dannet under lavere amfibolitt-til-mellom-grønskiferfacies (Chauvet & Séranne, 1989; Norton, 1967).  $L_2$  viser konstant i Ø-V orientering, og er parallell med storskala foldakser, som er

orientert mot Ø-V til NØ-SV og assosiert med topp-mot-vest transport (Chauvet & Séranne, 1994).

Krabbendam & Dewey (1998) studerte videre den strukturelle utviklingen i området, i forbindelse med sen-orogen ekstensjon. De viser til at NSDZ er foldet langs Ø-V trendende, stående folder med alloktone enheter preservert i synformer.

Strukturer og hendelser er utredet som følger:

- $S_a$  = Amfibolittfacies strukturer (bioitt, amfibolitt, muskovitt)
- $S_b$  = Lavere grads strukturer, som overprinter  $S_a$ . Begge relatert til sen-orogen ekstensjon.
- $L_a$  = Lineær tekstur observert i øyegneis, k-feltspat og plagioklas m.m. Dannet ved kompresjon (koaksiell deformasjon).
- $F_a$  = Tette-til-isoklinale folder på cm-til-m skala, mineraler i amfibolittfacies i akseplan.
- $F_b$  = Senfolding, Ø-V trendende. Foldakser er subparallelle til  $L_a$ , folder er stående og tilbakelente.
- $D_a$  = Koaksiell deformasjon ved amfibolittfacies.
- $D_b$  = Ikke-koaksiell deformasjon ved amfibolitt-til-grønnskiferfacies.

$D_b$  produserte Ø-V folder i  $F_b$ , og påvirket bergarter i Vestre Gneisregionen, undre og midtre allokton, samt devonske bassenger. Akseplanstrukturer er dårlig utviklet.

Forkortning i retning N-S under  $D_b$  er resultat av  $F_b$  folding i Ø-V retning. Bryhni & Lutro (1989), samt Krabbendam & Dewey (1998) viser at Hornelen løsrivelsen kutter Grøndalen synform og andre folder i devonske bassenger. N-S forkortningen var synkron med vertikal tynning av skorpen og Ø-V ekstensjon under en sen-orogen foldefase. Orienteringer viser regional svingning i stupretninger innenfor den Vestre Gneisregionen. I sør stuper lineasjoner mot VNV-ØSØ, og i sentrale deler av området stuper de mot Ø-V.

Labrousse et al. (2004) tolket at Nordfjord området var påvirket av minst to deformasjonsfaser. En fase med Ø-V strekning og topp-mot-vest skjæring som produserte migmatittiske gneiser innenfor en sone med sterk skjærbelastning, som ligger over prekambrisk grunnfjell. Den første deformasjonsfasen samsvarer med

temperatur og trykk i koesitt stabilitetsfeltet, til høyere temperatur og lavere trykk. Påfølgende deformasjon var retrogresjon i amfibolittfacies, samt grønskiferfacies.

Johnston et al. (2007 a) foreslo en modell på tre stadier for hevingen av eklogittbærende bergarter. Først en hurtig heving av høytrykks og ultrahøytrykksbergarter gjennom mantelen til lavere skorpedyp. Det neste stadiet inkluderte heving fra lavere til midtre skorpedyp langs en duktil skjærson (NSDZ). Det siste stadiet gikk ut på heving langs diskrete sprø-duktil forkastninger. Skjærsonens opprinnelse beskrives videre ved at ikke-koaksielt skjær langs skjærsonen ble initiert ved amfibolittfacies metamorfose, som en topp-mot-vest skjærson sentrert i undre og midtre allokton. Man tolket grunnen til denne lokaliseringen som at kvartsofeltspatiske sedimentære bergarter fungerte som svake lag mellom kaldere bergarter i øvre allokton og massive autoktone, baltiske skjold. Duktil deformasjon i skjærsonen overprintet tidligere hendelser. Under progressiv ekstensjon ble amfibolittfacies mylonitter innenfor skjærsonen erstattet av grønskiferfacies mylonitter (Johnston et al. 2007a).

Johnston et al. (2007b) utførte undersøkelser med fokus på NSDZ i områdene mellom Eikefjord og Hyen, som ligger sør for Hornelen bassenget. Det ble i undersøkelsene redegjort for de ulike litologiske enhetene i området, og som ble kalt Hornelen segmentet. Svartekari gruppen, som befinner seg i undre allokton, inneholder grovkornede glimmerskifre, marmor, kvartsitter og mer sjeldne kvartskonglomerater. Paragneissene er overlatt med muskovittrike ortogneiser med kvartsrike dioritt-granittiske intrusjoner, som stedvis inneholder asymmetriske boudinere og kinematiske indikatorer som viser topp-mot-vest skjæring. Slike indikatorer er gjennomgående for Svartekari gruppen. Eikefjord- og Lykkjebø gruppene som tilhører midtre allokton ligger over Svartekari gruppen (Johnston et al., 2007b)



## **3.0 Metode**

### **3.1 Feltarbeid**

Observasjoner i felt ble utført sommeren 2010 og 2011. Totalt ble det tilbragt 10 dager i felt. I løpet av det 4 dager lange feltarbeidet i juli 2010 ble det benyttet en GPS av merket Garmin GPSMAP 62S for posisjonering, og kompass av typen Freiburger Stratum for målinger av fall og fallretning. Bilder ble tatt med et Sony DSC-N1 digitalkamera. Notater ble ført i notatblokk.

Den andre feltsesongen var i oktober 2011, og hadde en varighet på 6 dager. I denne perioden ble en ny metode for kartlegging ved hjelp av ArcGIS Server og iPad testet. Detaljer ved feltarbeid er videre beskrevet i artikkel I.

Det ble også kartlagt for videre 3D modellering med totalstasjon Leica TPS1200, samt en mer nøyaktig GPS ved navn Leica GPS1200. Dette er nærmere beskrevet i artikkel III.

### **3.2 Mikroskopering**

I løpet av feltarbeidet i 2010 ble det samlet inn 11 bergartsprøver fra skiferbruddet. Disse prøvene ble funnet i utsprengte masser, og man har dermed ikke koordinater eller orienteringer til prøvene. Det ble samlet inn 1 prøve av kvartsskifer, 3 prøver av meta-arkose og 7 prøver meta-diabas. Prøvene ble samlet inn av Allan Krill og Nina Ulfstein. Etter innsamling ble det vurdert hvilke områder av håndstykkene det var mest hensiktsmessig å opprette tynnslip. Tynnslipene ble produsert ved Sliplaboratoriet ved Institutt for geologi og bergteknikk (IGB) ved NTNU.

For identifisering av mineraler og mikrostrukturer ble det benyttet optiske mikroskop av merke Leica, fra mikroskoperingslab ved Institutt for Geologi og Bergteknikk (IGB) ved NTNU.

### 3.3 XRF

XRF står for røntgenfluorescense-spektrometri, og ble benyttet til å gi en kvantitativ analyse av hovedelementer i en valgt prøve.

Prøven som ble brukt til analyse var 34208, meta-diabas. Denne prøven ble valgt ut da den etter studier i mikroskopi ble antatt til å være den prøven som var mest representativ for den opprinnelige diabasen. Prøve 34208 inneholder mer opprinnelig feltspat enn noen av de andre meta-diabasprøvene.

XRF-analyser ble utført ved Kjemisk-/ mineralogisk laboratorie ved IGB, NTNU.

Preparering av bergartsmateriale for XRF analyse innebærer at materialet blir nedknust til det har en kornstørrelse på mindre enn 40 µm.

For hovedelementsanalyser blir prøven deretter tørket ved 105°C. Deretter blir den glødet ved 850°C i minimum 4 timer. 0,5g av prøvematerialet veies ut og fortynnes med 5g fluks. Denne fluksen er en kombinasjon av litium tetraborat ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) og litium metaborat ( $\text{LiBO}_2$ ), med blandingsforhold 66:44. Deretter blir 2µl litiumjodid tilsatt, slik at prøven skal bli mer elastisk og ikke sprekker opp ved avkjøling. Etter prøven har blitt smeltet støpes den om til en glasspille, og er klar til å analyseres.

Instrumentet som ble brukt til XRF-analyse av glasspille og pulverpille er S8 Tiger 4 kW X-Ray Spectrometer. Prinsipp for XRF-analyser er at preparert prøve blir utsatt for røntgenstråling av høy energi, hvilket fører til at de ulike grunnstoffene stråler ut karakteristisk fluorescens-stråling. De karakteristiske bølgelengdene separeres ved vinkelavhengig refleksjon via et passende krystall, før de blir registrert av en detektor. (Norges geologiske undersøkelser, 2008)

Hovedelementstolkning blir foretatt i et program utviklet ved IGB.

For analyseresultatene til hovedelementene må det tas hensyn til glødetap (LOI) for å beregne konsentrasjonene i opprinnelig prøvemateriale (tørr basis). Ved 850°C er LOI = 0,71 %. Denne verdien ble brukt til å regne ut glødetapets påvirkningsfaktor ved hjelp av følgende formel:

$$\text{LOI faktor} = \frac{(1 - \text{LOI}) * \text{konsentrasjon}}{\text{sum av konsentrasjoner}}$$

Faktor ble regnet ut for hver elementkonsentrasjon, og deretter lagt til denne for å finne den opprinnelige konsentrasjonen før prøven ble glødet, som er den rette verdien å bruke videre.

### 3.4 XRD

XRD-analyser ble utført ved Kjemisk-/ mineralogisk laboratorie ved IGB, NTNU.

Prøven som ble analysert er samme som i XRF-analysene, prøvenummer 34208/S08.

Denne ble preparert på lik måte som ved hovedelementanalyse med XRF.

Røntgendiffraksjon (XRD) er en analysemetode som brukes til å identifisere mineraler.

En monokromatisk røntgenstråle sendes inn mot en krystallflate, og reflekteres fra denne avhengig av krystallens gitterstruktur. Innfallstrålen sendes mot prøven med varierende innfallsvinkel, og refleksjonene registreres ved korresponderende utfallsvinkel. Disse vinklene sammenlignes med gitteravstander relatert til plansett og registreres som et diffraktogram. Hvert mineral har forskjellig gitterstruktur, og informasjon om disse er lagret i en database. Diffraktogrammene sammenlignes med mønstrene i databasen, og slik bestemmes hvilket mineral det er (Norges geologiske undersøkelser, 2005).

Prøven ble analysert på en Bruker D8 ADVANCE. DIFFRAC<sup>plus</sup> SEARCH programvare i kombinasjon med PDF-2 database forslo mineralfasene identifisert i prøven.

Av praktiske årsaker hadde ikke studenten ikke anledning til å være tilstede under prøvepreparering eller analysering av XRF eller XRD analyser. Metode og resultater ble gjennomgått med laboratorieansvarlig i etterkant.

## 4.0 Bergartsbeskrivelser

Ut fra egne observasjoner under feltarbeid ble bergartene i området klassifisert som henholdsvis kvartsskifer, meta-arkose og meta-diabas. Dette er en grov klassifisering for å forenkle notasjon, samt for å inndele noenlunde i forskjellige klasser. Navnene ble også valgt da de fremhever at dette er omvandlede bergarter. Kvartsskifer er ønsket bergart for drift, med spaltbare plater og gode oppsprekningsmønstre. Meta-arkose er omvandlet sandstein, som ikke har utviklet den skifrige lagningen til kvartsskiferen og har en mer komposisjonell lagning. Oppsprekningen i meta-arkose bergartene er gjennomgående den samme som for kvartsskiferen. Meta-diabas er en intrusjonsbergart som hovedsakelig ligger parallelt med lagningen til de andre bergartene, særlig meta-arkosen. Svært lite meta-diabas er observert i kvartsskiferen. Gangbergarten er svært omvandlet og forvitret, og er lite velkommen i forekomsten.

Bergartene ble studert i felt, og det ble samlet inn prøver for videre analyser i tyunnslip. I tillegg til mikroskoperingsanalyser ble det utført XRF og XRD analyser på en utvalgt meta-diabas prøve (prøvenummer: 34208). Dette for å kunne si mer om dens mineralinnhold og kjemiske sammensetning. Prøve nummer 34208 ble valgt for slike analyser da denne så ut til å være minst påvirket av deformasjon, og kanskje kunne være den prøven som lignet mest på den opprinnelige gangbergarten.

### 4.1 Kvartsskifer

#### 4.1.1 Opptreden i felt

Kvartsskifer er den ønskede ressursen for drift av skiferbruddet. Bergarten har en velutviklet skifrig lagning ( $S_{ks1}$ ), som gjør det mulig å skille denne fra andre bergarter i området.



**Figur 4.1: Kvartsskifer fra Nordfjord Skifer, nederst i det vestre bruddet. Bildet tatt i retning SØ.**

Skifriheten kommer synlig frem ved en veksling mellom glimmer- og kvarts/feltspatrike domener. Skiferen har generelt svakt-til-moderat( $10-30^\circ$ ) nordlig fall, og stryker i retning NV-SØ.

Hovedmineraler er kvarts, feltspat, glimmermineraler (muskovitt), det er også disse som er mest synlige. Det er i tillegg kalsitt og kloritt i bergarten. I felt skiller kvartsskiferen fra andre bergarter ved sin distinkte lagning og oppsprekking langs disse glimmersjiktene. Disse kan sees i figur 4.2. Spalteflatene er tilnærmet flatliggende, hvilket er svært gunstig for drift.



**Figur 4.2: Kvantsskifer håndstykke, prøvenummer 34201/S01.**

Kvantsskifer opptrer i felt i nærheten av meta-arkose og intrusiver av meta-diabas. Kvantsskiferen har et godt og definert sprekkesystem, som gjør det mulig å nyttiggjøre seg av skiferblokker på en effektiv måte for de som driver bruddet. Sprekkesystem beskrives nærmere i delkapittel 5.

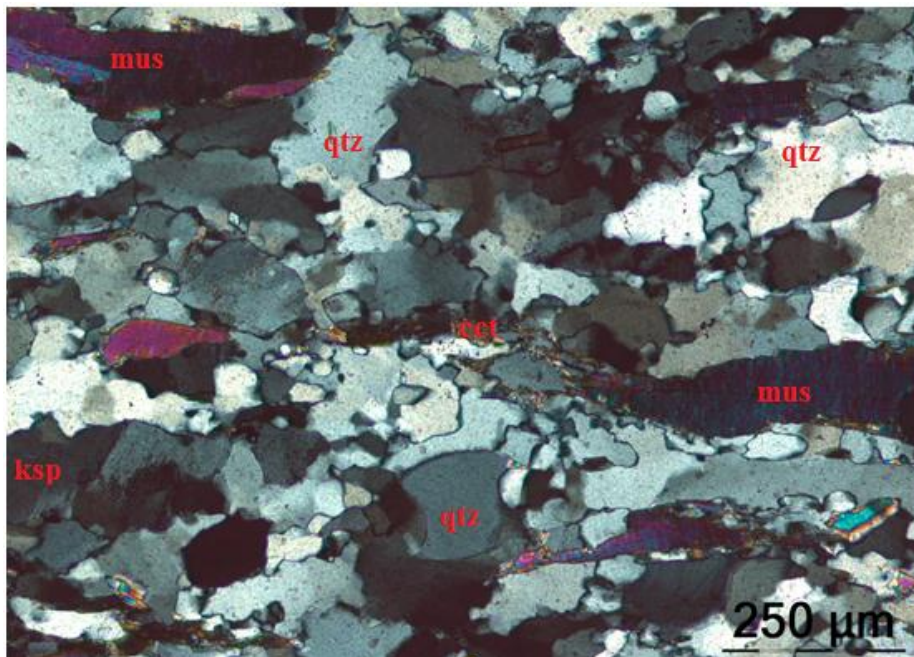
#### 4.1.2 Mikroskopiske beskrivelser (prøvenummer: 34201/S01)

Kvartsskifer består av mineraler er kvarts, muskovitt, mikroklin, biotitt og kloritt, samt en svært liten mengde epidot. Deformasjonsprosesser i kvarts antyder deformasjon ved forskjellige temperaturer. Gjenværende feltspat antas å være primærmineraler fra protolitt. Det er tidvis observert spor av hematitt og zirkon i kvartsskifer, men dette er svært lite.

Kvarts 65 %

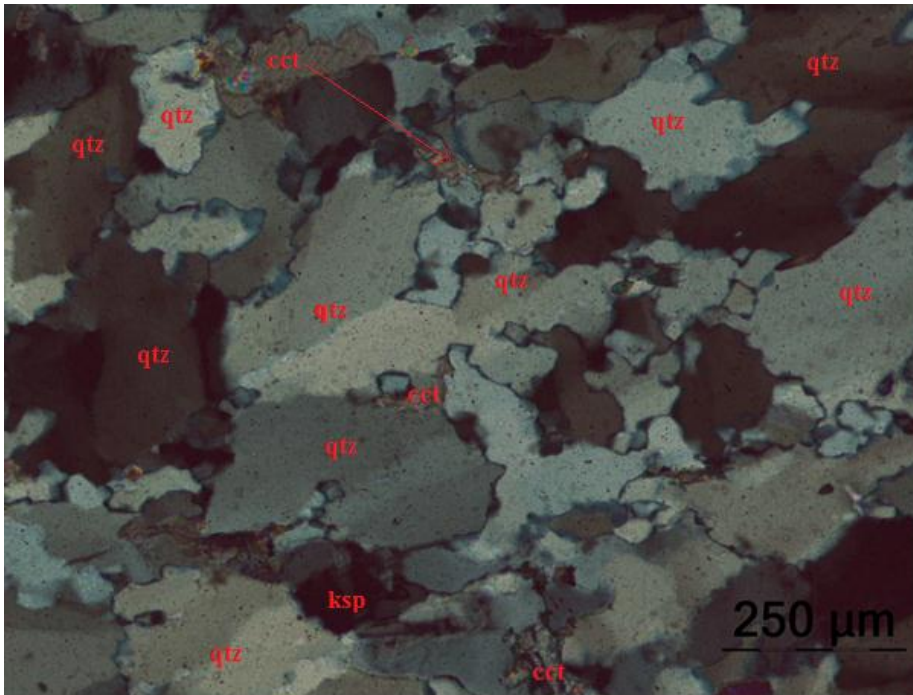
Kvarts er hovedmineral i denne bergarten. Kornene har svært varierende størrelse, fra 100  $\mu\text{m}$  til 0,5 mm i diameter, og er oftest mest finkornet i nærheten av muskovittsoner. Grovere i domener med kvarts og feltspat. Kornene har anhedral krystallform, og amøboidal kornform. Korngrensene er lobate-til-caries formet, og irregulære. I noen av de større kornene kan det observeres inklusjoner av glimmer (muskovitt).

Kvartskornene opptrer tidvis i bånd, som har samme orientering som glimmerkornene. Denne foretrukke orienteringen av korn representerer lagningen ( $S_0$ ), som har utviklet skifrihet ( $S_{ks1}$ ).



Figur 4.3: Kvarts med glimmer, sett i krysspolarisert lys.

Det meste av kvartsinnholdet i prøven ser ut til å være rekrystallisert. Kvartskornene har undulerende utslukning, men ingen tvillingdannelse.



**Figur 4.4:** Kvarts med undulerende utslukning, viser deformasjonsprosesser *subgrain rotation* og *sen bulging*. Bilde er tatt i krysspolarisert lys.

#### Muskovitt 15 %

Muskovitt er det glimmermineralet som er tyngst representert. Krystallformen til muskovitt er euhedral-til-subhedral, og kornene er bladformede med relativt rette korn grenser. Kornstørrelsen er svært variende her også med hovedvekt av grovere, stengelige korn, men det finnes også svært finkorende eksempler på muskovitt i matriksen. Tydelig definert kløv langs lengdeaksen til mineralene. Muskovittkornene har en tydelig foretrukket orientering langs denne lengdeaksen, hvilket definerer en kontinuerlig foliasjon blant glimmer samt andre større mineralkorn (kvarts) i prøven. Det er noen få inklusjoner av kvarts og biotitt i noen av de større kornene. Muskovitt er tidvis omdannet til kloritt, og det er det vanlig å finne kloritt langs korn grensene på større korn, samt som inklusjoner.



Feltspat \_\_\_\_\_ 10 %

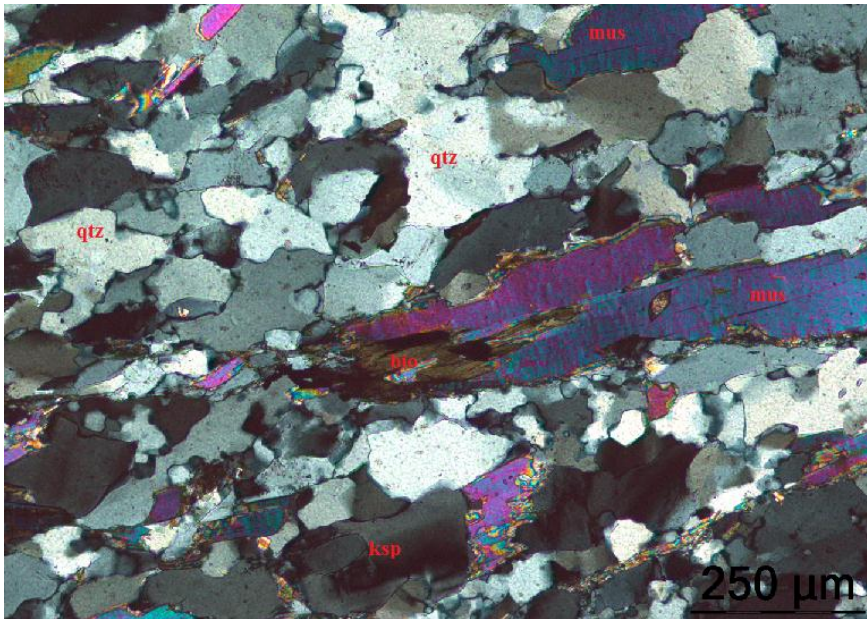
Feltspat tilstede i prøven er hovedsakelig i form av K-feltspat (mikroclin). Mikroklinkornene er anhedrale og amøboidale, og har lobate korngrenser. Kornene opptrer hovedsakelig i nærheten av kvartskorn. Tidvis er distinkte tartarmønstrede tvillinger godt synlig, hovedsaklig på finkornede mikroklinkorn. For korn av grovere størrelse er tvillingmønstre vanskelig å få øye på, og kornene minner veldig om kvarts. Det er vanskelig å skille disse i tynnslip. Dette gjelder også for eventuelle plagioklaskorn tilstede i prøven, men disse er det observert svært lite av. Kornstørrelsen til mikroclin er varierende, fra 50 µm – 150 µm diameter i nærheten av kvartskorn, til ca 250 µm, som illustreres i figur 4.5.

Kloritt \_\_\_\_\_ 5 %

Klorittkornene er svært finkornede, og opptrer i nærheten av muskovitt og biotitt. Kloritt har i likhet med muskovitt euhedral krystallform med bladformet kornform, samt rette-til-lobate korngrenser. Kloritt erstatter muskovitt og biotitt i prøven. *Det er ikke veldig mye kloritt i tynnslipet, de kommer bedre frem når man studerer bergarten i felt. Her ser man tydelig at det dannes mye kloritt fra muskovittkornene på skifrihetslagene.*

Biotitt \_\_\_\_\_ 3 %

Biotitt erstatter muskovitt langs korngrenser, men er ikke veldig utviklet i denne prøven. Kornene er finkornede og elongate, og erstattes av kloritt langs grensene.



**Figur 4.5: Muskovitt erstattes av biotitt. Ellers rekrySTALLISERT kvarts med et større k-feltspatkorn. Bilde tatt i krysspolarisert lys.**

Kalsitt \_\_\_\_\_ 3 %

Finkornede kalsittkorn opptrer i nærheten av mikroclin og kvarts, samt muskovitt. Det er ikke observert deformasjonstvillinger i kornene, som hovedsaklig er anhedrale og har suturerte korn grenser.

Epidot \_\_\_\_\_ 0-1 %

Noen få epidotkorn funnet tilfeldig spredt i matriks. Disse er finkornede og opptrer i nærheten av kvartsmineraler, samt som inklusjoner nær grensene til muskovitt.

Kornene observert er subhedrale, med lobate korn grenser.

## 4.2 Meta-arkose

### 4.2.1 Opptreden i felt

Meta-arkose antas å ha samme opprinnelse og protolitt som kvartsskiferen, men denne er mer massiv og har ikke den gjennomgående skifriheten som gjør kvartsskiferen så drivverdig i forekomsten. Meta-arkosen har en båndet lagning ( $S_{ma1}$ ) og stryker i retning NV – SØ, med svakt-til-moderat fall ( $10-53^\circ$ ). Tilsvarende sprekkesystem som i kvartsskiferen er også gjeldende for meta-arkosen, slik at effektiv oppbrytning og drift av meta-arkos er mulig.

Bergarten består i all hovedsak av kvarts, muskovitt, biotitt, kalsitt og feltspat (mest k-feltspat, men også noe plagioklas). Det er også observert hematitt, samt små mengder titanitt og epidot. Protolitten antas å ha inneholdt mer feltspat enn den omvandlede varianten i felt, derfor ble navnet meta-arkose valgt tidlig i prosessen. Dette navnet ble beholdt av praktiske årsaker.

Glimmersjiktene i meta-arkosen, som i kvartsskiferen gir god spaltbarhet, er uregelmessige og diffuse. Bergarten fremstår som massiv og mer tyktspaltende.



**Figur 4.6: Massiv meta-arkose øverst i det østre bruddet. Bildet i retning SØ.**

Det er utseendemessige variasjoner i meta-arkosen gjennom bruddområdene. Noen steder har denne mørkere farge, slik som i figur 4.6. Her er det høyere innhold av feltspat. Andre steder er bergarten lysere, og har høyere innhold av kalsitt og muskovitt. Strekningslineasjon ( $L_n$ ) har blitt observert på en meta-arkoseflate i skiferbruddet. Denne stuper mot NØ (076), og er illustrert i figur 4.7. Da det ikke er observert ytterligere strekningslineasjoner i forekomsten er det vanskelig å plassere denne til hendelsesforløp. På denne flaten er det også observert folding med svak, subvertikal akseplanfoliasjon ( $S_2$ ). Det er ellers ikke observert sekundærkløv i bergarten.



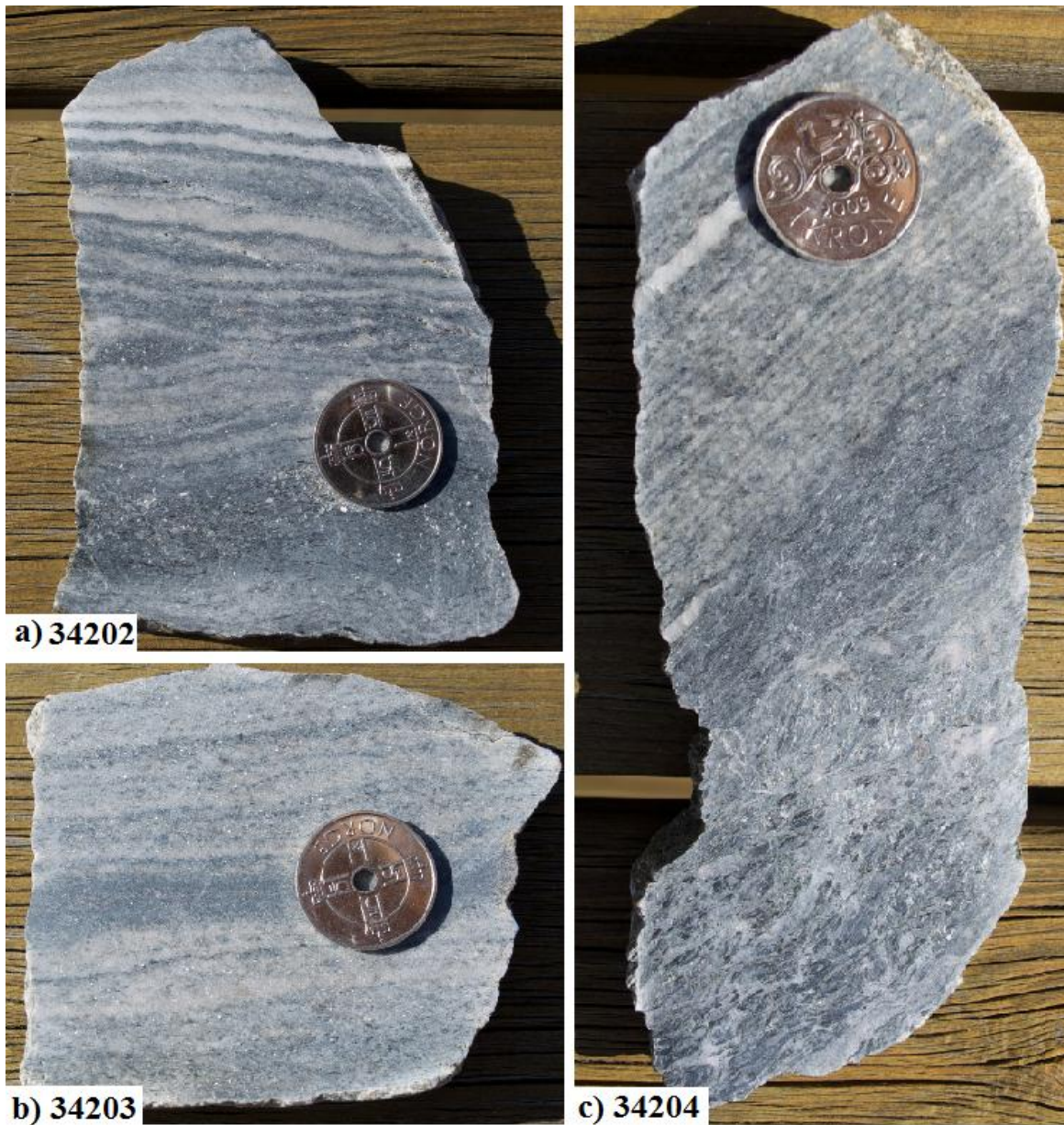
**Figur 4.7: Meta-arkose med folder og strekningslineasjon ( $L_n$ ), samt svak, subvertikal akseplanfoliasjon ( $S_2$ ). Bilde tatt i retning SØ.**

Det er ikke observert noen porfyroklaster i meta-arkosen, ei heller skjærbånd eller indikasjoner på at bergarten er mylonittisk. I områder med mye skjæring er et høyere innhold av karbonater observert i bergartene. Karbonatene antas å ha kommet inn hydrotermalt med skjæringsepisode, som har skjedd sent i utviklingen.

Meta-diabasganger er svært vanlig i områder med meta-arkose. I nærheten av disse gangene er det mye folding i meta-arkosen, og svært forstyrret lagning. I områder med omvandlede meta-diabas ganger virker meta-arkose mindre kompaktert. Det er ofte folding i meta-arkose i nærheten av og i mellom slike ganger, som tilsynelatende ligger parallelt med lagningen til meta-arkose.

Ekstensjonsstrukturer som boudiner, kvartsårer, samt kvartsfylte sprekker er også vanlig. Disse er ytterligere beskrevet i delkapittel 5.

Fra figur 4.8 sees forskjellige prøver av meta-arkose. Variasjoner i sammensetning og tekstur kommer godt frem fra disse bildene. Figur 4.8a) viser komposisjonell/båndet lagning øverst, mens det nederst blir mørkere og et høyere innhold av glimmermineraler (biotitt), samt en annen tekstur. Meta-arkosen i figur 4.8 b) har en lagning som ligner mer på kvartsskiferens. Forskjell her er blant annet mindre innhold av kvarts og høyere innhold av bevart hematitt fra protolitt. Figur 4.8c) viser grensen mellom meta-arkose øverst og meta-diabas nederst. Helt nederst i prøven kan karbonater fra skjæring tydelig sees, og øverst kommer en kvartsgang inn parallelt med lagningen.



Figur 4.8: Håndstykker av meta-arkose prøver fra skiferbruddet. a) Prøvenummer 34202. b) Prøvenummer 34203. b) Prøvenummer 34204.

### 4.2.2 Mikroskopiske beskrivelser

(prøvenummer: 34202/S02, 34203/S03, 34204/S04)

Det er mineralogiske variasjoner i de forskjellige prøvene tatt av meta-arkose, slik som illustrert i tabell 4.1. Videre vil analyser av meta-arkoseprøver presenteres felles.

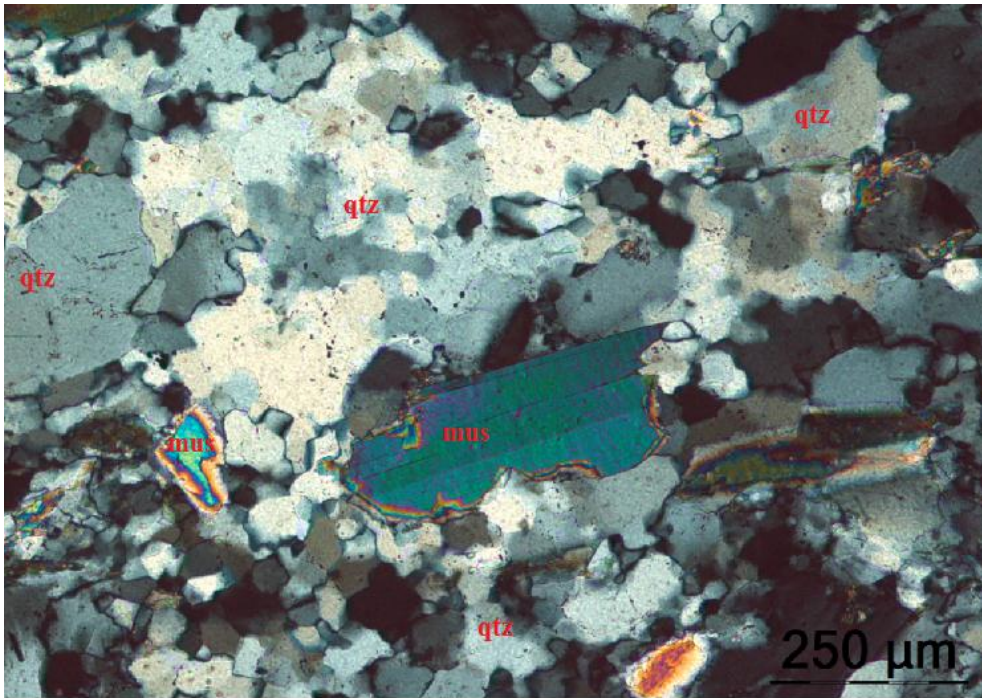
Meta-arkose inneholder kvarts, muskovitt, biotitt, feltspat, kalsitt, kloritt, epidot og hematitt.

I forhold til kvartsskiferen er det mindre innhold av kvarts, og mer kalsitt og biotitt, samt hematitt. Hovedmengde feltspat er virker å være erstattet av andre mineraler. Høyere innhold av karbonater i forhold til kvartsskifer. Prøvene inneholder tidvis mengder av svært finkornet glimmer, som tilsynelatende har kommet inn senere langs planene definert av elongate muskovittkorn. Vanskelig å si med sikkerhet hva dette kan være uten mer utdypende analyser. Finkornede karbonater er også observert langs muskovittplan, kan tyde på væskegjennomstrømming.

Kvarts \_\_\_\_\_ 50 %

Hovedvekt av mellomkornet kvarts, men finnes også noen større korn tilfeldig spredt i prøven. De større kornene har ofte inneslutninger av biotitt og muskovitt. Subhedrale korn med amøiboidal kornform og lobate korn grenser, opptrer som klustere i bergarten, i noen tilfeller i egne kvartsdomener mellom muskovittdomener (se figur 4.10).

Korn er orientert parallelt med lengdeaksen i glimmermineraler, denne orienteringen definerer bergartens lagning. Mineralene er dynamisk rekrystallisert ved *bulging*, samt tidvis *subgrain rotation*.

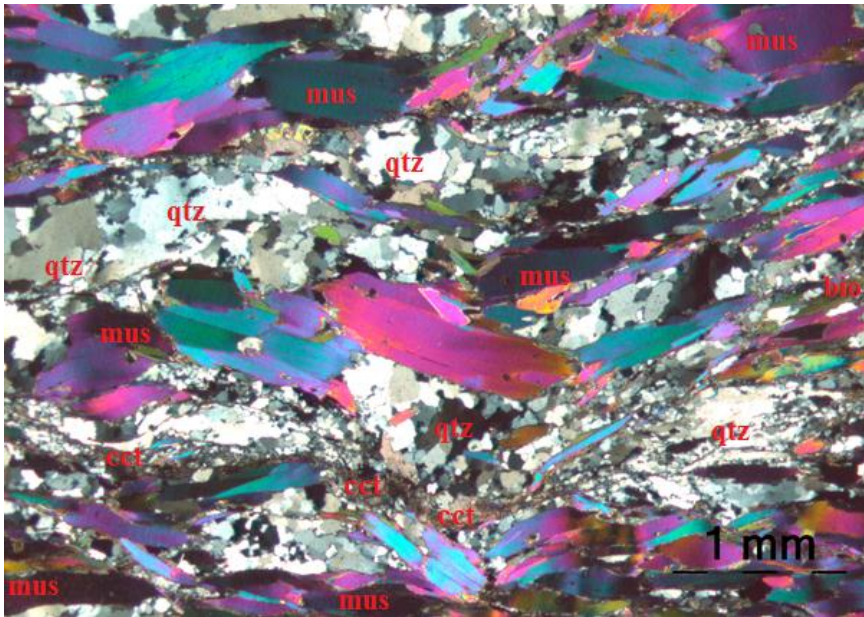


**Figur 4.9: Rekrystallisert kvarts ved *bulging*. Prøvenummer S03. Bildet er tatt i krysspolarisert lys.**

Muskovitt 15-25 %

Muskovitt i prøven har anhedrale og bladformede korn, med relativt rette kornrensere. Tydelig kløv langs lengdeaksen, som også definerer og skaper en båndstruktur innad i bergarten. Kornstørrelsen er varierende på tvers av prøvene så vel som innad i disse. Hovedvekt av mineraler opptrer i bånd. Noen større korn er spredt i matriks, disse har inklusjoner av andre glimmermineraler, biotitt, hematitt og titanitt. Muskovitt opptrer i nærheten av kvarts, biotitt, kloritt og karbonater. Kornene erstattes av kloritt og biotitt langs kornrensene. Figur 4.10 illustrerer grovkornet muskovitt i samspill med rekrystallisert kvarts og finkornede karbonater. Karbonatene kommer inn langs med grensene til muskovitten, som definerer strukturen.

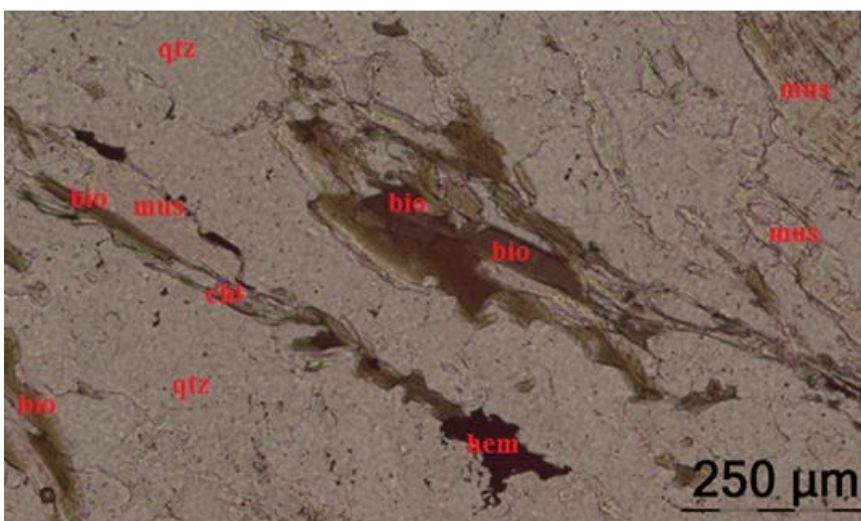




**Figur 4.10: Grovkornet muskovitt og kvarts i bånd. Finkornet glimmer og kalsitt langs muskovitt. Prøvenummer S04. Bildet er tatt i krysspolarisert lys.**

Biotitt      3-10 %

Biotitt opptrer som blandformede, subhedrale korn. Disse er hovedsaklig finkornede og opptrer i nærheten av kloritt, hematitt, muskovitt og kvarts. Biotitt erstatter muskovitt langs korn grensene, og erstattes selv av kloritt langs egne korn grenser som illustrert i figur 4.11. Det er observert zirkonbrennmerker i noen grovere korn.

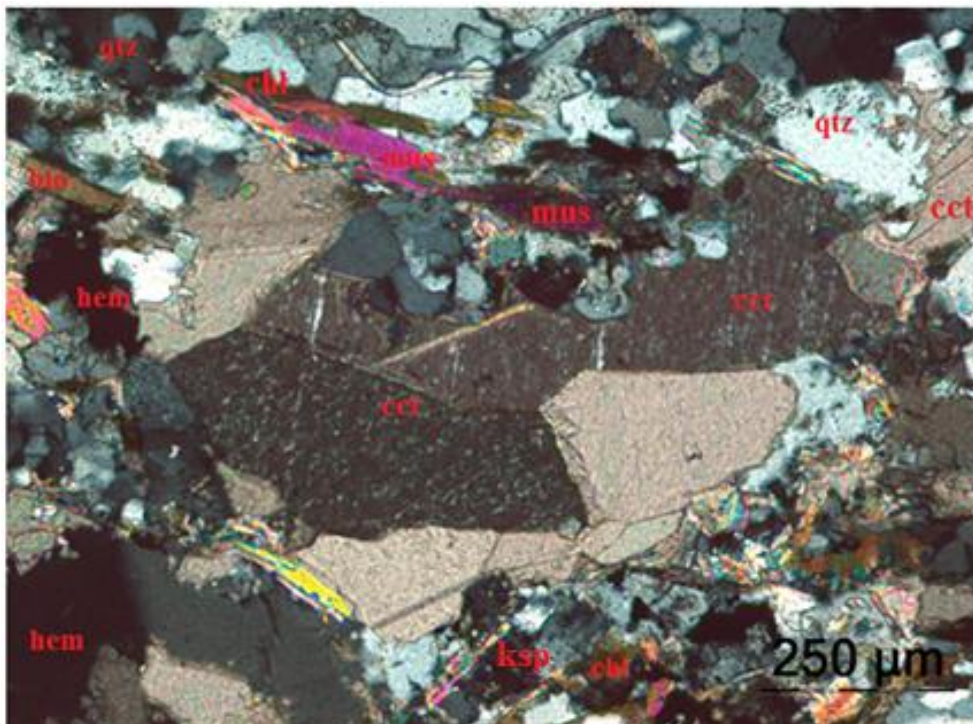


**Figur 4.11: Kloritt erstatter muskovitt og biotitt. Prøvenummer S02. Bilde tatt i planpolarisert lys.**

Kalsitt 2-10 %

Kalsitt opptrer som separate, euhedrale-til-subhedrale korn med amøiboidal kornform og lobate korgrenser. I slik form er kalsitt grovkornet, og har deformasjonstvillinger. Kornene opptrer oftest i nærheten av kvarts og muskovitt, slik som illustrert i figur 4.12.

Karbonater fra hydrotermale ganger relatert til skjæring og ekstensjon kutter andre mineraler, og har kommet inn senere. Gangene kommer inn langs lengdeaksen til muskovittkorn, som definerer lagningen. Svært finkornet muskovitt og kvarts er orientert mot disse gangene. Karbonattilførsel kan sees i figur 4.10.

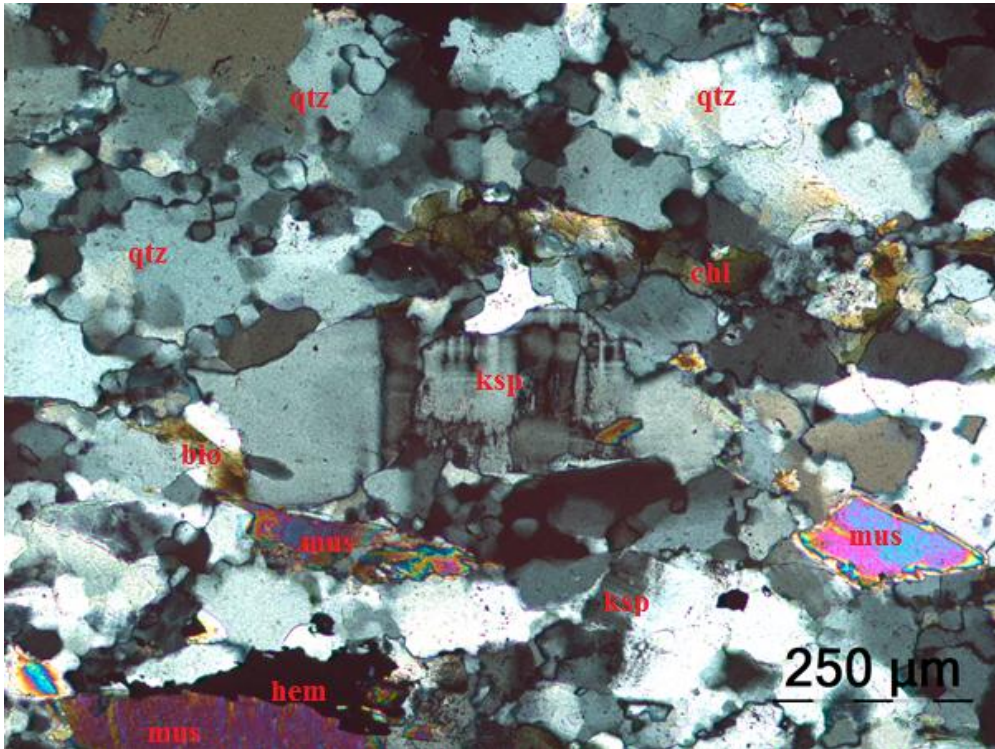


**Figur 4.12: Grovkornet kalsitt med deformasjonstvillinger. Prøvenummer S02. Bildet er tatt i krysspolarisert lys.**

Feltspat 2- 15 %

Det er hovedsakelig mikroklin (k-feltspat) tilstede i prøven, og svært lite plagioklas. Plagioklas ser ut til å være omvandlet til kvarts og kalsitt. Mikroklin i prøven er hovedsaklig finkornede, anhedrale korn i nærheten av kvarts. Tartarmønstrede tvillinger er observert i enkeltkorn, mens andre har mer uregelmessige tvillingmønstre

etter deformasjon. Dersom større mengder plagioklas er til stede i prøven, er disse svært vanskelige å skille fra kvarts. Mellomkornet mikroklin med kvarts rundt kan sees figur 4.13.



**Figur 4.13: Rekrystallisert kvarts ved BLG, stort mikroklinkorn og glimmer. Bildet er tatt i krysspolarisert lys.**

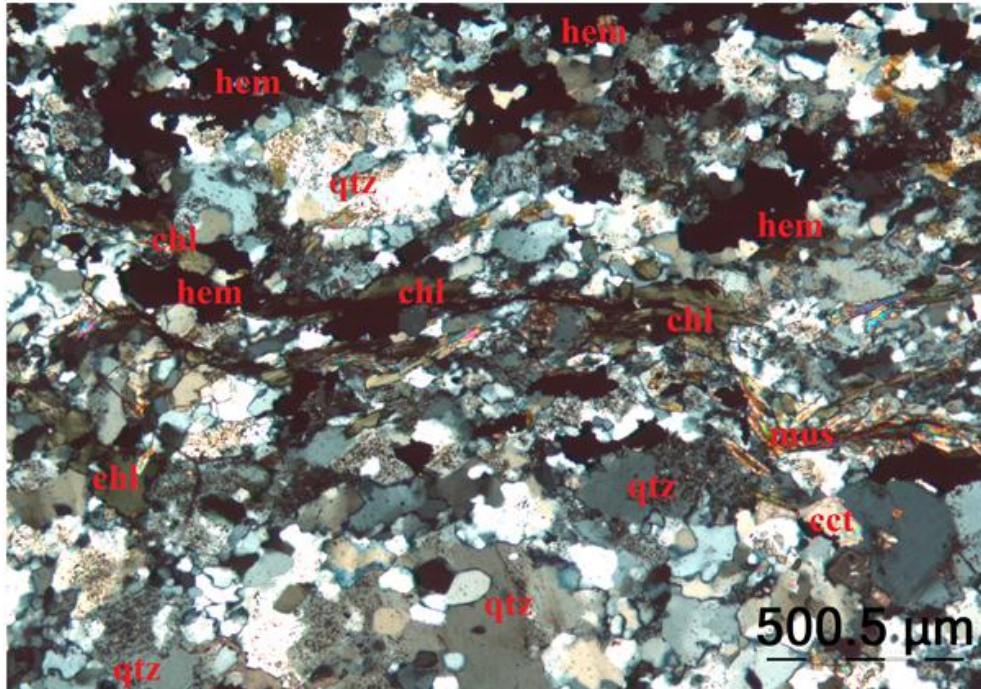
#### Kloritt 1-10 %

Kloritt er å finne langs korn grensene til muskovitt og biotitt, som finkornede, amøboidale-til-bladformede korn. Har hovedsaklig lobate korn grenser og anhedral-til-subhedral krystallform. Kloritt erstatter muskovitt i noen av prøvene, hvor arkosen ligner mest på kvartsskiferne. Kloritt erstatter også biotitt langs korn grensene. Det er også observert mye kloritt i nærheten av hematitt der det er tilstede.

#### Hematitt 1-15 %

Hematitt er bevart fra protolitt i noen av prøvene, hovedsaklig de som er minst omvandlet. Opptrer i nærheten av kvarts, muskovitt og biotitt, hovedsakelig mellom

korn og langs korngrenser. I flere prøver blir hematitt erstattet av titanitt(sphene). I de prøvene med mest hematitt ligger disse i bånd sammen med mye kloritt og kvarts, som illustrert i figur 4.13.



**Figur 4.14: Domener med hematitt, kvarts og kloritt øverst i bildet. Prøvenummer S03. Bilde tatt i krysspolarisert lys.**

Epidot \_\_\_\_\_ 0-3 %

Svært lite epidot er observert generelt i meta-arkosen. Noen få, finkornede subhedrale korn i nærheten av muskovitt, biotitt og kvarts er funnet i en av prøvene.

Tabell 4.1 gir en oversikt over mineralinnholdet i prøvene med meta-arkose.

Prøvenummer	Qtz	Ksp	Mus	Bio	Chl	Epd	Cct	Zir	Hem	Sph
34202 / S02	50	5-10	15	5-10	3-5	-	10	-	5-10	1
34203 / S03	50	10-15	15	3	5-10	-	2	tr	15	1
34204 / S04	50	2	25	10	1	3	5-10	-	1	-

**Tabell 4.1: Mineralinnhold i meta-arkoseprøver, angitt i %.**

## 4.3 Meta-diabas

### 4.3.1 Opptreden i felt

Gjennomgående i meta-arkose dominerte områder finnes en gangbergart som her kalles meta-diabas. Denne er svært omvandlet og forvitret, og minner om en kalksilikatbergart. Disse gangene varierer i mektighet, fra 10 cm til 3 m. Det er vanskelig å bestemme orienteringer, strukturer, tekstur og mineralogisk innhold. Dette ser ut til å variere med deformasjonsgraden. Det er vanskelig å se noen klar foliasjon i meta-diabasen, da denne er svært forstyrret og forvitret. De fleste diabasgangene ligger parallelt med lagningen i meta-arkosen, og det er mange folder i bergartene under og over disse gangene.



**Figur 4.15: Meta-diabasganger i veiskjæring et stykke ovenfor skiferbruddene. Ikke like forvitret som i bruddene. Ser opptil 3 ganger av ulik størrelse i bildet, som er tatt i retning NØ.**

Meta-diabasen er en gjennomgående kalkholdig bergart, og inneholder andre mineraler som kvarts, biotitt, kalsitt, epidot og muskovitt. Meta-diabas fremstår som gneisaktig og mektig i terrenget.

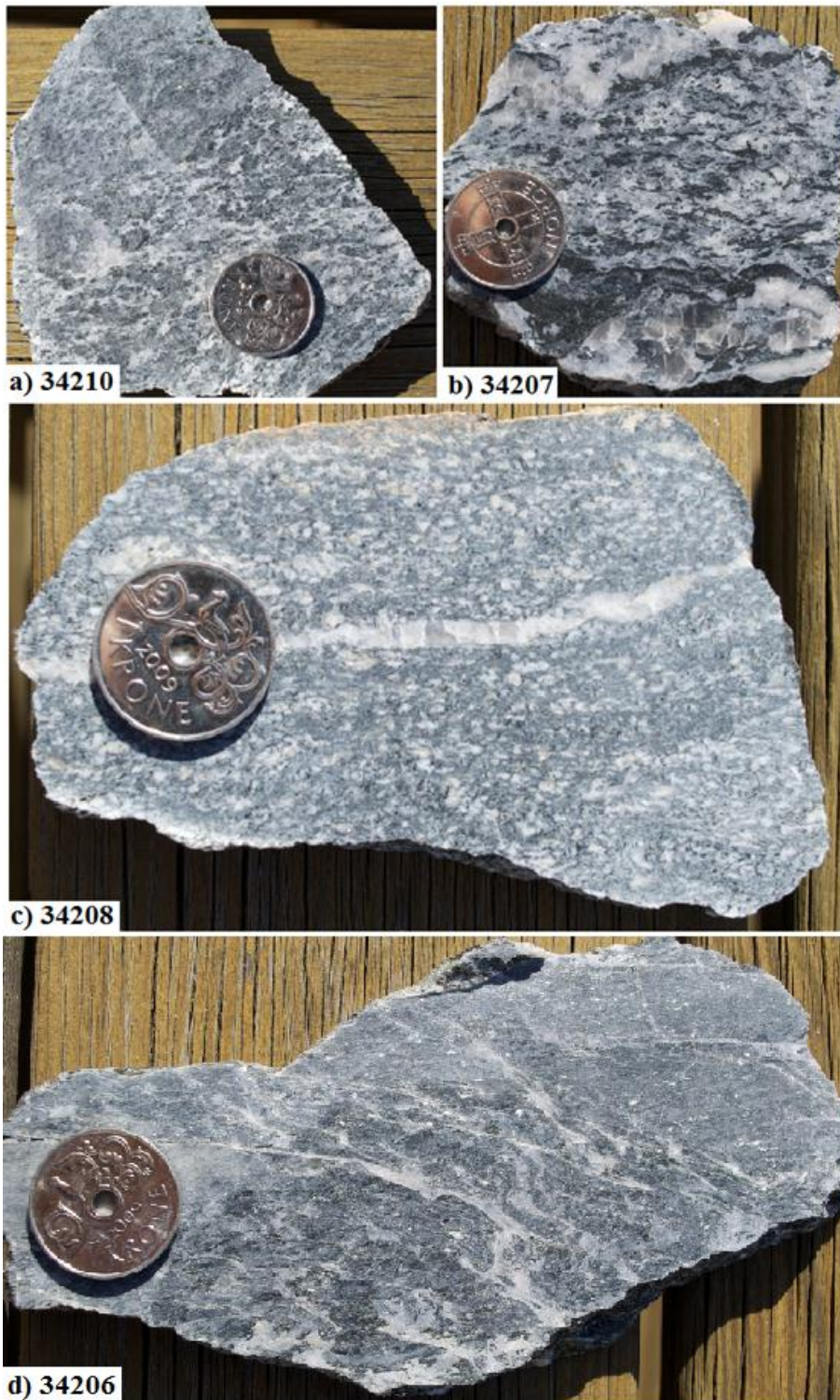
Det er ikke observert folder i selve gangbergarten, men mange rundt. Kwartsårer har kommet inn langs gangene, og noen steder erstattet meta-diabasen. Disse kutter også bergartene rundt, hvilket tilsier at de må ha kommet inn senere. Det er ekstensjonsstrukturer i form av boudiner flere steder mellom meta-diabasganger og meta-arkoselag i mellom.

Meta-diabasgangene virker fullstendig omvandlede i felt. Dette kan være konsekvens av kompetanseforskjell mellom opprinnelige meta-diabas intrusjoner og omkringliggende meta-arkose, og diskuteres videre i kaptittel 6.



**Figur 4.16: Forvitrede meta-diabas ganger i meta-arkose. Gangene skiller seg godt ut her ved sin brune farge.**

Fra figur 4.17 kan de store forskjellene i de ulike prøvene sees. Figur 4.17a) illustrerer meta-diabas med høyt innhold av karbonater fra skjæring, og svært lite opprinnelig materiale. Figur 4.17b) har områder med tydelig, svært grove kvartskorn. Figur 4.17 c) viser prøven som har blitt analysert ytterligere i XRD og XRF. Denne inneholder mye opprinnelig k-feltspat, og har et høyere innhold av epidot. Prøven antas å ikke ha blitt så omvandlet som de andre prøvene. Figur 4.17 d) viser innførsel av karbonater i bergarten.



**Figur 4.17: Håndstykker med meta-diabas. a) Prøvenummer 34201. b) Prøvenummer 34207. c) Prøvenummer 34208. d) Prøvenummer 34206.**

### 4.3.2 Mikroskopiske beskrivelser

(prøvenummer: 34205/S05 og 34206/S06, 34207/S07, 34208/S08, 34209/S09, 34210/S10 & 34211/S11)

Meta-diabas inneholder mineralene kvarts, feltspat, muskovitt, biotitt, kloritt, epidot, kalsitt. Det er også observert spor av hematitt og titanitt. Prøvene viser K-anrikning fra meta-arkose. I de fleste slipene er også karbonater anriket fra hydrotermal gang, som kom inn sent og kutter de andre mineralene. Ca-rike mineraler som er observert i prøven er hovedsaklig kalsitt, og karbonat-anrikningen tolkes her som kalsittinnhold. CO<sub>2</sub> fra hydrotermal gang i hele prøven, kom inn senere og er assosiert med ekstensjon og *bulging* rekrySTALLISERING. CO<sub>2</sub> i forbindes i analysene med kalsittinnhold, da det er det nærmeste assosiert med gangene. Mulig det er et annet mineral, men det er ikke kjent hvilket. Finkornet kvarts og muskovitt orienteres mot denne. Mineralene, særlig finkornede, viser tidvis variasjoner i orienteringene.

Kvarts 25-40 %

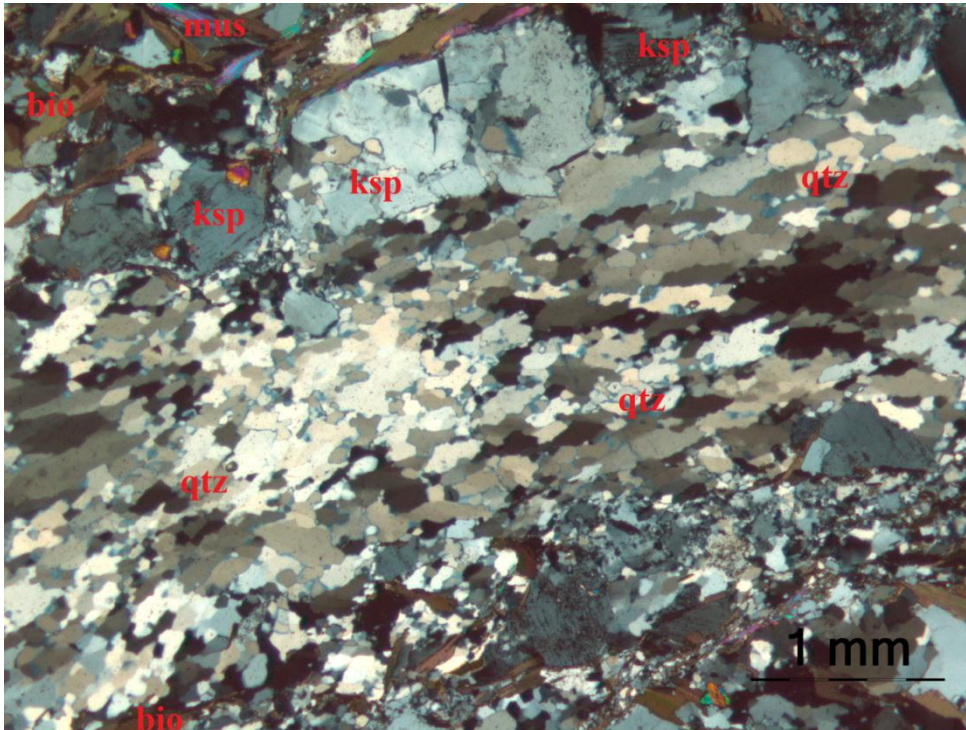
Kvarts i prøvene har varierende størrelser. Noen korn viser korn på over 1mm diameter, mens andre er rekrySTALLISERT til subkorn med diameter på 100 µm. Kvartsbånd er observert i noen av prøvene, som illustrert i figur 4.19. Svært finkornet kvarts er lokalisert rundt ganger med kalsitt og nær finkornet muskovitt. I prøver med lite kvarts er kornene større, med glimmer i korn grensene og undulerende utslukning. I prøver med høyere kvartsinnhold er rekrySTALLISERING svært utbredt. Kvartskorn viser tidvis tegn på sprø-duktil skjæring. Kvartskornene har lobate (tidvis irregulære) korn grenser, og gjennomsnittlig subhedral kornform. Mikroskjærsoner er observert i kvartskorn i forbindelse med *subgrain rotation* og *bulging* rekrySTALLISERING.

Feltspat 1-10 %

Feltspatinnhold i prøvene er hovedsaklig representert som mikroklin (K-feltspat), men det finnes også noe gjenværende plagioklas (se tabell 4.2 ). Dette varierer fra prøve til prøve. I prøver med høyere innhold av mikroklin viser disse kornstørrelse på 1mm i diameter (illustrert i figur 4.18). I prøver med mindre feltspat er kornene svært



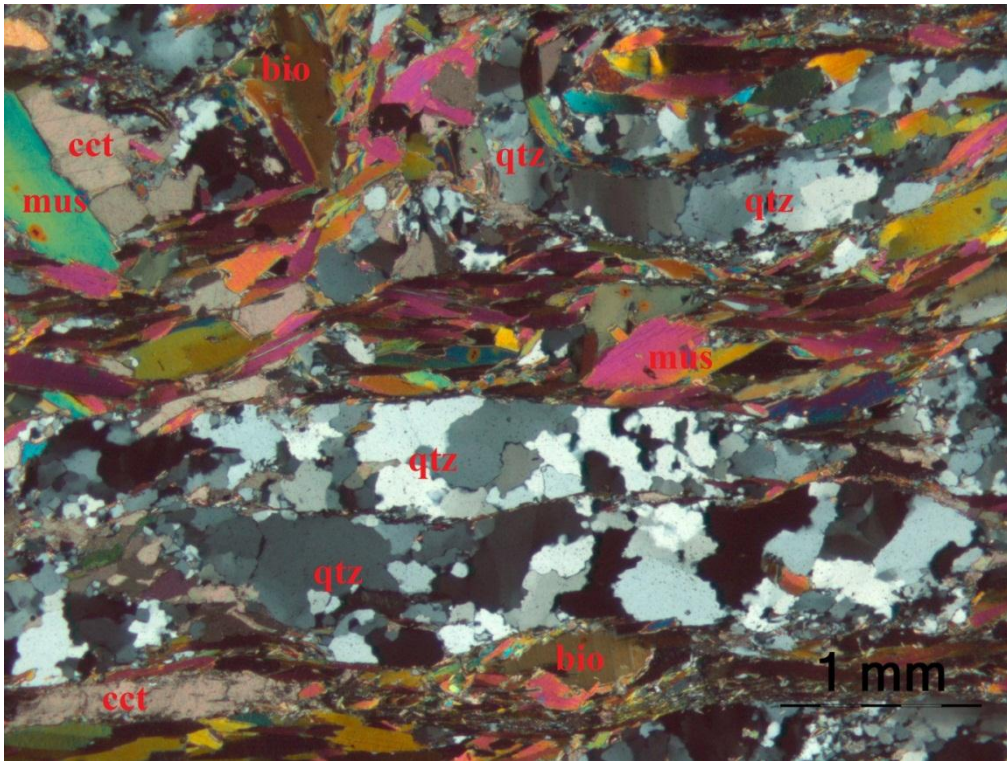
finkornet, og vanskelig å skille fra kvartskorn. Det meste er omvandlet til andre mineraler, blant annet kalsitt, kvarts og muskovitt. Kornene har subhedral-til-euhedral form.



**Figur 4.18: Rekrystallisering av kvarts ved *subgrain rotation*. Prøvenummer S08. Bildet er tatt i krysspolarisert lys.**

Muskovitt                    10-30 %

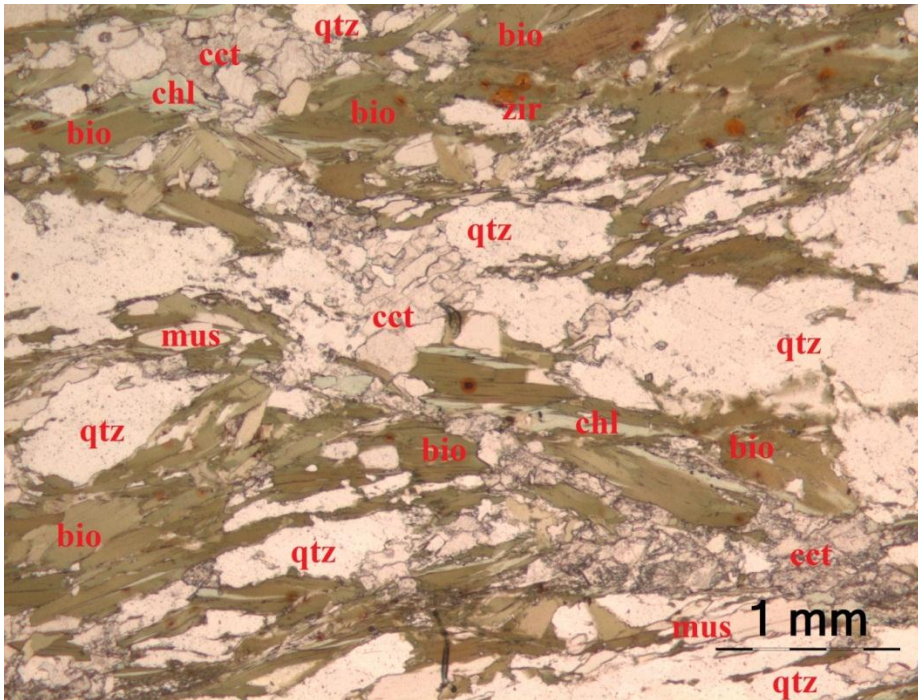
Muskovitt opptrer i prøven som elongate, bladformede korn. I noen prøver er kornene stedvis intakte, mens andre steder er de svært deformerte. Det er observert store soner hvor muskovitt opptrer sekundært, blant annet som inklusjoner i større kvartskorn. I prøver med mindre muskovitt er de ofte mer finkornede. Finkornet muskovitt opptrer også i nærheten av ganger med kalsitt og kvarts.



Figur 4.19: Kvartsbånd i meta-diabas. Prøvenummer S06. Bildet er tatt i krysspolarisert lys.

Biotitt      10-50 %

De fleste prøvene viser høyt innhold av biotitt, men det ble også observert mindre innhold i en av prøvene. I prøven med minst biotitt opptrer mineralet i nærheten av muskovitt og kalsitt, som selvstendig korn samt ved at biotitt erstatter muskovitt langs korn grenser. I prøver med høyere biotittinnhold har disse en grovere kornstørrelse, og elongat, bladformet utseende. I noen prøver er det observert grønne og brune biotittkorn. Brennmerker med finkornet zirkon illustreres i figur 4.20. Her sees det også at kloritt erstatter biotitt.



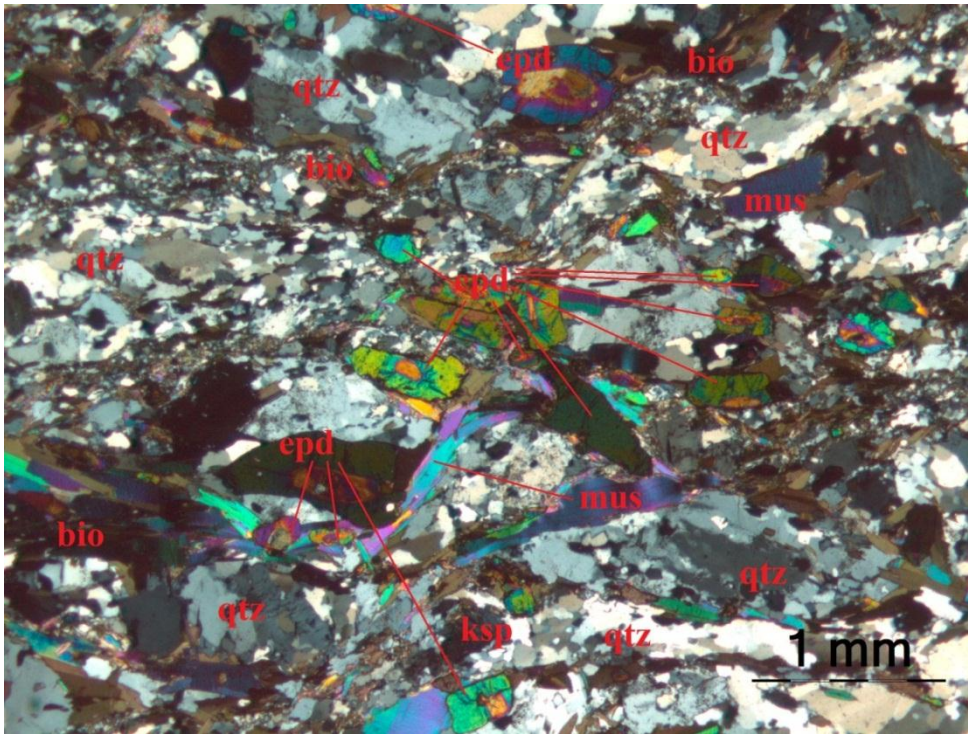
**Figur 4.20: Biotitt med zirkonbrennmerker. Biotitt erstattes av kloritt langs korgrensene. Prøvenummer S10. Bildet er tatt i planpolarisert lys.**

Epidot 0-20 %

Epidot i prøvene viser varierende kornstørrelse, fra mindre enn 100µm opptil 1 mm. Kornene har euhedral form, og de opptrer i nærheten av kvarts, biotitt og muskovitt, samt kalsitt. Epidotkorn er tidvis sonerte, og viser her en brunlig farge i senteret med grønne kanter. Prøver med høyere innhold av epidot viser mer sonering enn slip med mindre epidot. Epidot opptrer som euhedrale korn med lobate korgrensener.

Kloritt 0-5 %

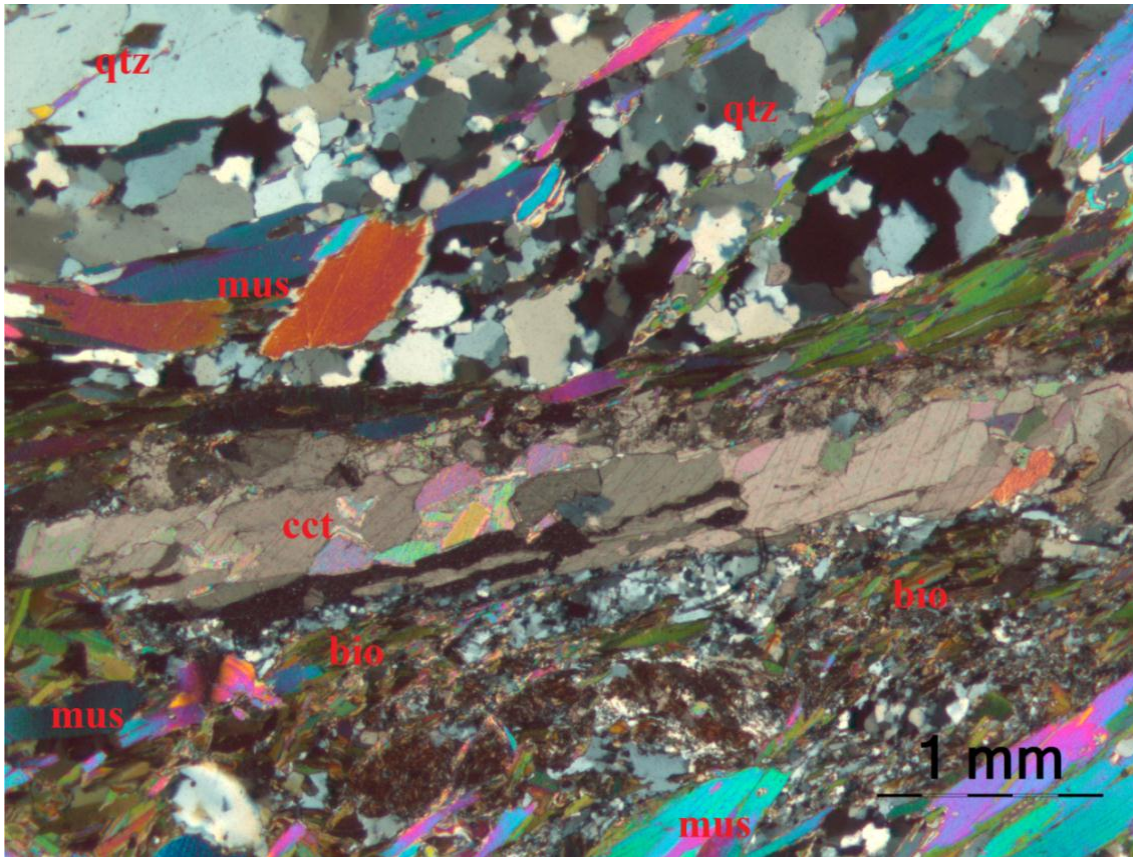
Det er lite kloritt i prøvene, det som er observert er i forbindelse med at kloritt erstatter biotitt. Dette illustreres i figur 4.20. Klorittkornene er svært finkornede, med subhedral-til-euhedral kornform.



**Figur 4.21: Epidotkorn som viser sonering. Prøvenummer S08. Bildet er tatt i krysspolarisert lys.**

Kalsitt (karbonater) \_\_\_\_\_ 3-30 %

Det er stort sett høyt innhold av kalsitt i prøvene. Kalsitt (karbonat) har kommet inn i systemet ved senere tidspunkt som hydrotermale ganger, og disse gangene kutter andre mineraler. Andre mineraler som kvarts og glimmermineraler opptrer finkornet i nærheten av disse gangene. Dynamisk rekrystallisering ved *bulging* oppstår i nærheten av karbonater i prøven. Karbonatgjennomstrømning virker å være skjærrelatert. Karbonatene i gangene er svært finkornet, og har ingen tvillingdannelser. Kornene har suturerte korn grenser og svært anhedral kornform. Gangene kommer inn langs plan parallele med lengdeakser til grove muskovittkorn. Grovkornede kalsitter viser tynne deformasjonstvillinger med subhedral kornform. Disse opptrer i store ansamlinger med grovkornet biotitt, med kvarts rundt disse.



Figur 4.22: Hydrotermal kalsitt med glimmer og kvarts. Prøvenummer S06. Bildet er tatt i krysspolarisert lys.

Tabell 4.2 gir oversikt over mineralinnholdet i de forskjellige prøvene.

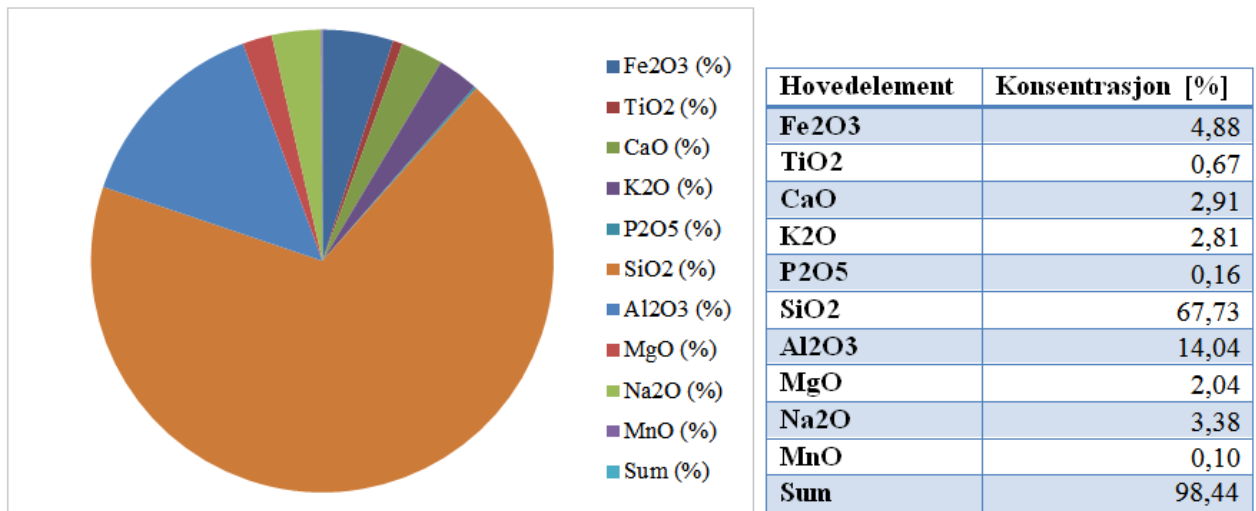
Prøvenummer	Qtz	Ksp	Plg	Mus	Bio	Chl	Epd	Cct	Hem	Sph
34205 / S05	20	5-10	1-2	20	30	3-5	5-10	10	tr	1-2
34206 / S06	25	1-2	0-2	15	30	-	0-5	20	-	tr
34207 / S07	20	3	0-2	15	35	3	5	15	-	tr
34208 / S08	30- 35	5-10	5	10	20- 25	-	15	1	-	-
34209 / S09	30	3	2	20-25	10- 15	2-3	-	15- 20	tr	-
34210 / S10	20- 25	5-10	0-2	25	20	2	-	20- 25	-	-
34211 / S11	25	3	0-2	20	30	3	5-10	5-10	-	-

Tabell 4.2: Mineralinnhold i meta-diabas prøver, angitt i %.

### 4.3.3 XRF-analyse av meta-diabas

XRF-analyser ble utført på prøvenummer 34208.

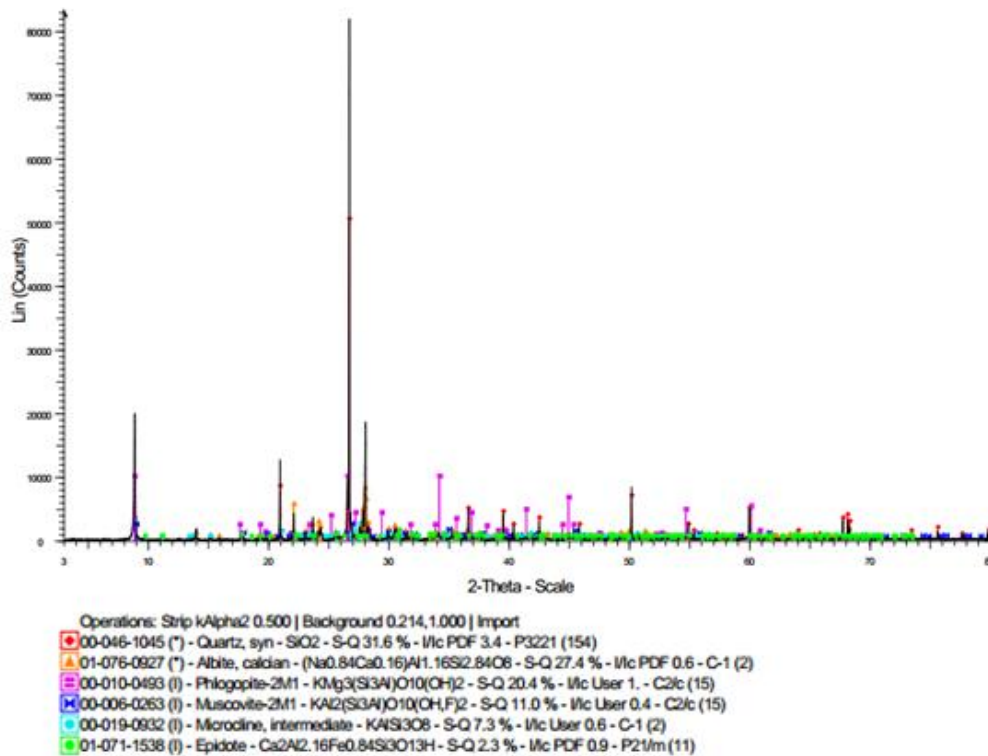
Semi-kvantitative resultater fra kjemiske analyser av hovedelementer ved hjelp av XRF presenteres nedenfor i figur 4.24.



Figur 4.23: XRF analyseresultater av hovedelementer i prøve 34208, presentert i kakediagram med tilhørende verdier i tabellform.

#### 4.3.4 XRD analyse av meta-diabas

XRD-analyser ble utført på prøvenummer 34208/S08 (figur 4.17 c), av samme materiale som XRD analysene.



Figur 4.24: Mineralinnhold vist i røntgenspekter fra XRD-analyse av prøvenummer 34208.

Mineral	Innhold [%]
Kvarts	32
Plagioklas (albitt)	27
Biotitt	20
Muskovitt	11
K-feltpat	7
Epidot	2

Tabell 4.3: Semikvantitativt mineralinnhold i prøvenummer 34208, fra XRD-analyser.

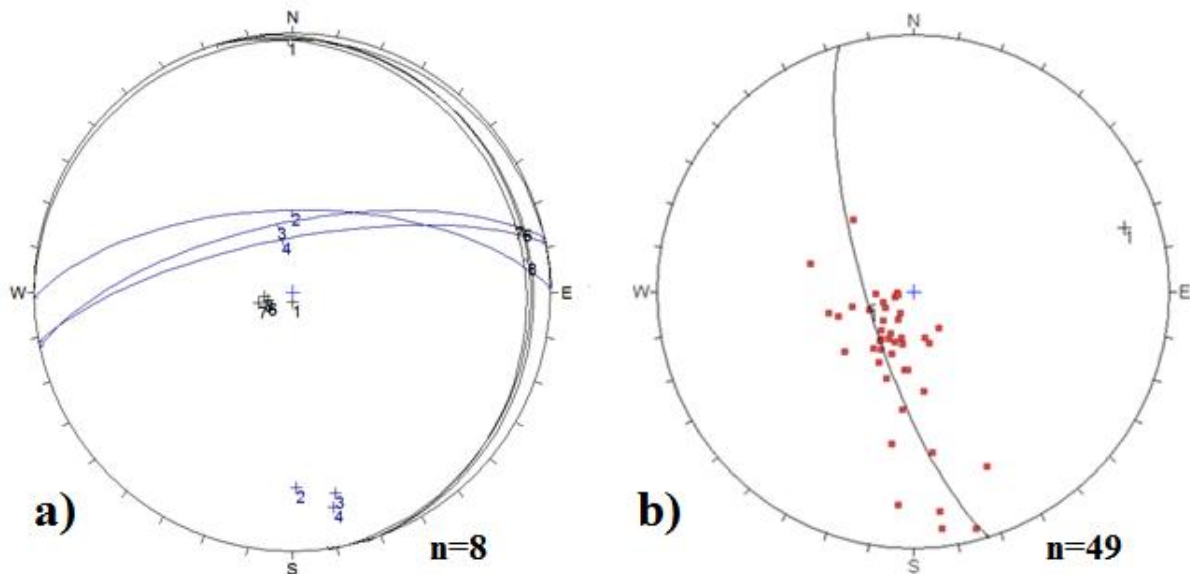
## 5.0 Strukturelle beskrivelser

### 5.1 Folder

Det er observert mye og varierende folder i forekomsten. Hovedsakelig er disse lokalisert i meta-arkose, hyppigst i områder med mange meta-diabasganger.

Ulike folder inkluderer dragfolder, s-folder, *sheath* folder, samt isoklinale, liggende folder og stående, åpne folder.

I felt ble det gjort forsøk på måling av foldakser og foldakseplan, men da mange vegger i skiferbruddet var høye og utilgjengelige var det tidvis vanskelig å få målinger av folder.

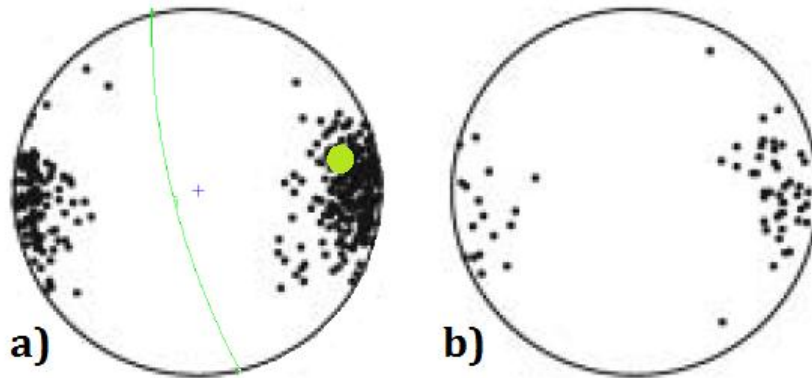


**Figur 5.1: a) Hovedretninger av foldakseplan målt i felt. b) Estimert foldakse.**

Foldakseplan fra figur 5.1a) viser hovedsakelig to orienteringer. Dette er akseplan som stryker i Ø-V (NØ-SV) retning og med høyt fall mot N, samt de som stryker NV-SØ med lavt fall mot Ø. Foldakseplanene som stryker Ø-V (NØ-SV) tilhører åpne-til-lukkede, stående folder i figur 5.6. Foldakser med strøketretning NV-SØ tilhører horisontale, isoklinale folder, som illustrert i figur 5.3. Akseplan som stryker i Ø-V retning (blåfarget) har foldakse illustrert i 5.1b) samt er parallell med strekningslineasjonen  $L_n$  som vises i figur 4. Foldene er stående, og similære, vises i figur 5.6.



Figur 5.1 B) illustrerer foldakse for studieområdet. Foldaksen ble funnet ved konstruksjon av  $\pi$ -akse fra målinger av lagninger til kvartsskifer og meta-arkose, og plottet fra polene til disse (Lisle & Leyshon, 2004).



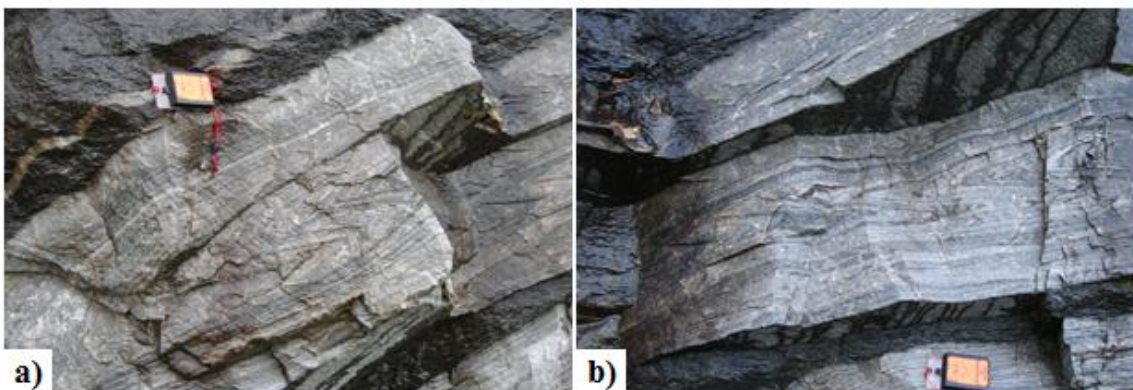
**Figur 5.2: Modifisert etter figur 2 fra Young et al. (2011). Data fra Young et al. (2011), Krabbendam & Wain (1997), Bryhni (2000 a; 2000 b). a) Viser lineasjonsdata fra tidligere arbeid, sammenstilt med observert strekningslineasjon  $L_n$  i skiferbruddet som fremgår av grønn prikk. b) Viser foldakser fra Young et al (2011).**

Foldaksen stuper i retning NØ, hvilket er parallelt med strekningslineasjon ( $L_n$ ) i meta-arkose, som stuper mot NØ (076) og er illustrert i figur 4.7 og igjen i figur 5.2 sammenstilt med andre data fra tidligere arbeid (Young et al. 2011). Foldaksen sammenfaller i retning Ø-V (ØNØ-VSV).



**Figur 5.3: Liggende folder i meta-arkose. Bilde i retning NØ.**

Figur 5.3 viser isoklinale, liggende folder med horisontale foldakseplan. Kvartsgang kan skimtes over disse, som erstatter tidligere meta-diabasgang. Slike folder oppstår vanlig mellom diabasganger, og slik som i figur 5.3 oppstår ofte folder som peker mot hverandre.

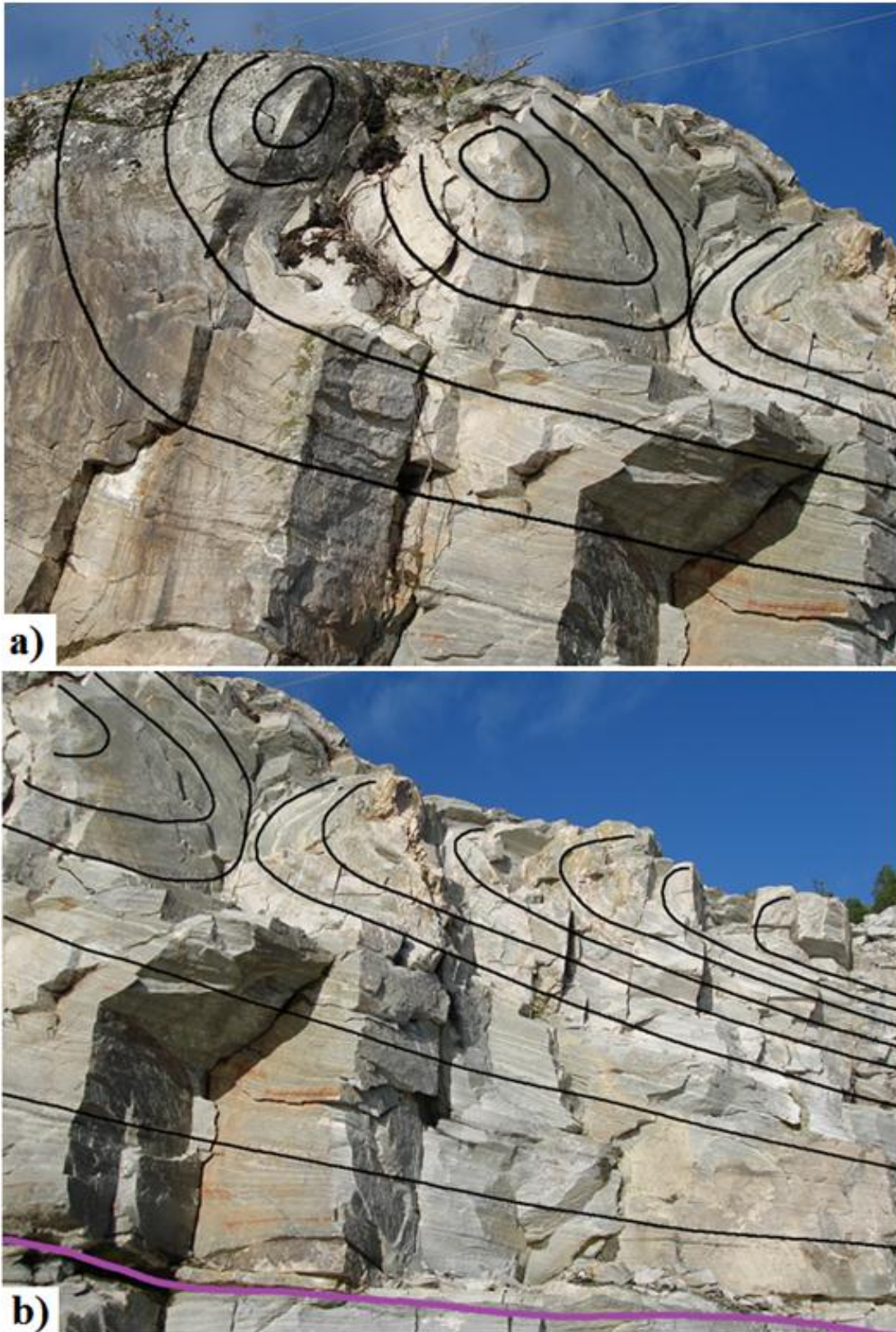


**Figur 5.4: a) S-fold i meta-arkose. b) S-fold i meta-arkose. Bilder tatt i retning NØ.**

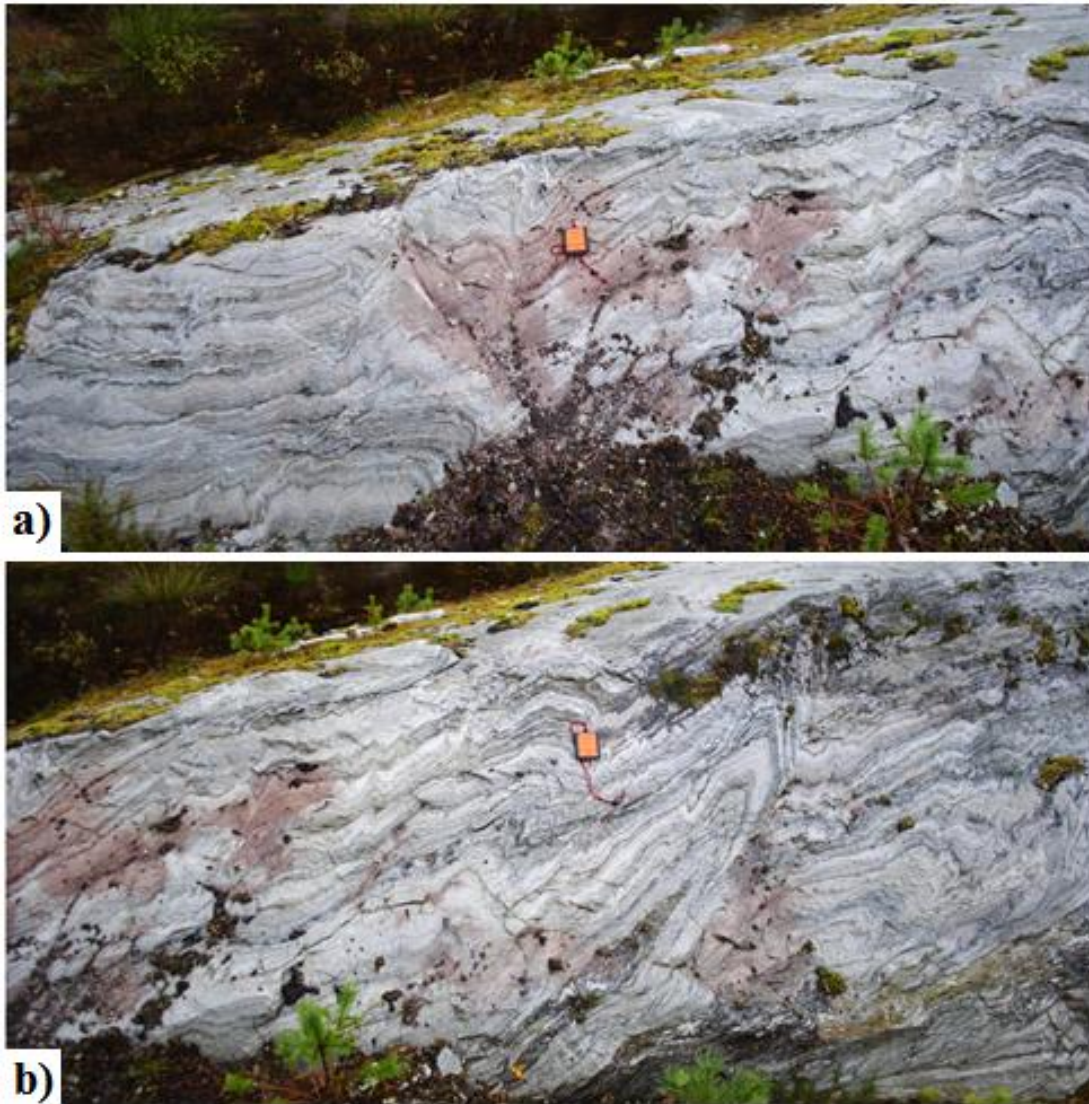
S-folder er observert i lagningen til meta-arkose, som illustreres i figur 5.4 a) og b). De fleste S-foldene har relativt horisontale akseplan (figur 5.4b), mens andre viser noe mer steiltstående akseplan, med fall mot SV (figur 5.4a). S-foldene viser topp-mot-vest bevegelse. Passiv flyt under kompetent meta-diabasgang like over.

Dragfolder er observert i lagning tilhørende meta-arkose. Disse ser ut til å dras mot underliggende meta-diabasganger. Det er vanskelig å bestemme om disse dras langs skjærplan eller skjærsoner, da de er observert på vegg uten andre skjærindikatorer. Dragfoldene oppstår i områder mellom meta-diabasganger, og indikerer bevegelser og duktil flyt for dannelse av slike strukturer. Kwartsårer kommer også inn langs de omvandlede meta-diabasgangene. Tidvis kan dragfoldene indikere topp-mot-vest bevegelser. Skjønn må utvises ved bruk av slike strukturer som kinematiske indikatorer, og de bør ikke brukes med mindre man har oversikt over den eksakte utviklingen til strukturen. Dragfoldene indikerer passiv foldemekaniske dannet under duktile forhold, ofte relatert til skjærbevegelser men dette er som nevnt vanskelig å bestemme for dragfoldene (Graseman et al. 2003; Exner et al. 2004).

Interferensmønstre i folder er observert i skiferbruddet. Slike folder kan være resultat av ulike deformasjonsfaser, eller fra ikke-stabil flyt hvor spenningsakser varierer eller endres i løpet av deformasjonen. Interferensfolder av typen illustrert i figur 5.5 a) og b) kan kalles *sheath* folder (Fossen & Gabrielsen, 2005). *Sheath* folder indikerer heterogen, ikke-koaksial deformasjon. Interferensmønstrene kommer frem fra figur 5.5a), hvor to slike sees i umiddelbar nærhet av hverandre. Figur 5.5b) illustrerer folder i lagningen til meta-arkose opp mot punktet hvor *sheath* foldene kan sees. Her sees også en mindre meta-diabasgang nederst i bildet.



**Figur 5.5:** *Sheath* folder i meta-arkose. Bildet er tatt i retning NØ. a) To interferensmønstre i lagning. b) Like til høyre foldes lagningen til meta-arkose.



**Figur 5.6: Passiv, uharmonisk folding i meta-arkose. Bilde tatt i retning ØSØ. a) Forstyrret lagning med småskala, åpne folder. b) Lenger mot sør, viser en noe større, mer isoklinal fold ved samme blotning.**

Passiv folding i meta-arkose illustreres av figur 5. Her er ingen meta-diabas observert i umiddelbar nærhet. Lagningen har ingen mekanisk betydning, og det er ingen kompetansesforskjeller internt i meta-arkose, hvilket fører til passiv flyt. Foldene er uharmoniske. Kan tolkes som asymmetriske, vergerende folder, men det er vanskelig å bestemme retning for disse. Det skimtes en svak, subvertikal akseplanfoliasjon ( $S_2$ ), som tolig ble samtidig med foldene.

Strekingslineasjon på flaten ovenfor er den tidligere nevnte  $L_n$ , som stuper mot NØ. Foldene fra figur 5.6 sees i stereografisk projeksjon i figur 5.1a). Foldaksen til foldene stuper også i retning NØ, og sammenfaller med foldakse fra figur 5.1 b).

## 5.2 Boudiner

*Boudin* strukturer er observert stratigrafisk høyere enn skiferbruddet. Disse ble dannet ved kombinasjon av ekstensjon og kompresjon, med viskositetskontraster mellom de ulike bergartene. Ekstensjon i strøkretningen, og kompresjonskomponenter vinkelrett på ekstensjonsretningen førte til dannelse av disse avsnørte boudinene. (Davis & Reynolds, 1996).



**Figur 5.7: Symmetrisk boudin struktur i meta-arkose mellom to meta-diabasganger. Bilde tatt i retning N(NØ).**

Meta-diabasgangen var i utgangspunktet tørr, og fikk væske fra og tørket ut meta-arkosen rundt slik at denne ikke kunne strekkes ut. Meta-arkosen ble dermed for stiv til å strekkes, sprakk opp og ble senere fylt inn med kvarts. Dette må ha oppstått under ekstensjonsforhold, i Ø-V retning. Strekning i denne retningen indikerer således kompresjon i N-S retning. (Fossen & Gabrielsen, 2005; Passchier & Trouw, 2005).

### 5.3 Sprekkesystem

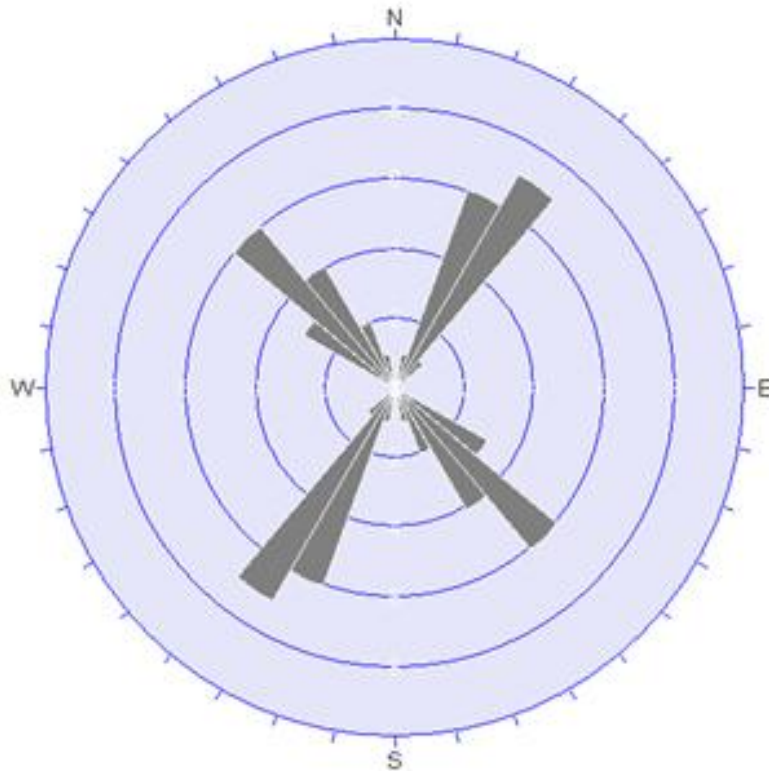
Gjennomgående sprekkesystem for hele forekomsten gjør det mulig å bryte ut både kvartsskifer og meta-arkose på en effektiv måte. I felt ble to hovedsprekkeplaner kartlagt, disse var gjennomgående for hele bruddet og vises i figur 5.10.

Det er kun observert ekstensionsbrudd i området, uten noen bevegelse langs sprekkeplanene. Det er observert sprekker som har blitt fylt med kvarts i ettertid, og som kutter passiv folding. Dette hovedsakelig for sprekker i retning NØ-SV.

Dette indikerer at sprekkedannelsen oppstod etter skjæringshendelse. Tensjonsbrudd utvikles vinkelrett på minste spenningsakse, og parallelt med kompresjonsaksen. Typisk for deformasjon under lavt eller fraværende omslutningstrykk (Fossen & Gabrielsen, 2005).



Figur 5.10: Sprekkeplan i meta-arkose.



**Figur 5.11: Rosediagram viser sprekkesystemenes to hovedretninger.**

Fra figur 5.10 og 5.11 kan sprekkesystemene i skiferbruddet illustreres. Her sees det hovedsakelig to hovedretninger for sprekkesystemene; i retning NØ-SV og NV-SØ. Disse ser ut til å stå vinkelrett på hverandre, hvilket bekreftes av observasjoner i felt som fremkommer av figur 5.10. Disse tensjonsbruddene muliggjør effektiv utnyttelse av bergartene i skiferbruddet.

Kunnskap om sprekkesystemet i forekomsten er svært nyttig, da bruk av dette fører til en mer effektiv utbrytning av bergartene.

Det er usikkert om sprekkeretningene er utviklet samtidig, hvilket ville indikert varierende retninger hovedspenningsakser (Fossen & Gabrielsen, 2005).



## 6.0 Diskusjon

### 6.1 Diskusjon av bergarter

Tynnslip og prøver til disposisjon har blitt undersøkt så grundig som mulig. Begrensninger knyttet til disse er at de er innsamlet fra utsprengte masser og dermed ikke kan korreleres med posisjoner i skiferbruddet. Informasjon om lokaliteter til de ulike prøvene kunne vært svært hendig, særlig for å se på omvandlingsforholdene. Kinematiske analyser i tynnslip var heller ikke mulig, da retninger ikke var mulige å bestemme fra utsprengte prøver. Observasjoner i bergartene i felt kan også vise variasjoner og forskjeller mot observasjoner i tynnslip, da disse ikke kan antas å være helt representative for bergartsmassene i forekomsten. Analyser av tynnslip kan gi en indikasjon på deformasjonen bergartene har vært utsatt for.

#### 6.1.1 Kwartsskifer

Kwartsskifer har etter kompaksjon utviklet gjennomgående skifrihet ( $S_{ks1}$ ), og spalteplan definert av muskovittkorn. Analyser av bergarten i tynnslip indikerer deformasjon ved flere temperaturer. Muskovitt erstattes først av biotitt, deretter av kloritt. Biotitt indikerer høyere temperaturer i biotittsone, hvilket indikerer lavere-amfibolitt-til-øvre grønnskiferfacies (Yardley, 1989; Best, 2002). Kloritt erstatter deretter biotitt langs korngrensene, hvilket indikerer retrograd metamorfose til klorittsone eller grønnskiferfacies (Ehlers & Blatt, 1980). Rekrystalliseringsmekanismer i kvarts indikerer også flere deformasjonsfaser, med ulike temperaturer og strain. Rekrystallisering ved *subgrain rotation* er relativt utbredt i prøven, og indikerer temperaturer på 400-500 °C (Passchier & Trouw, 2005). *Bulging* sees også relativt ofte, som overprintende på *subgrain rotation* hvilket indikerer senkning i temperatur til (300-400 °C) og økning av strain (Passchier & Trouw, 2005). Dette er nødvendigvis ikke så spesifikt, men viser at ulike temperaturer har ført til ulike omvandlinger av bergarten.

Dette kan tyde på at det har vært en høyere temperatur ved tidlig deformasjon, som erstattes av retrograd metamorfose ved lavere temperaturer. Kwartsskiferen viser generelt svært lite tegn på skjærpåvirkning. Dette kan være da kun et bergartsslip ble analysert av kvartsskifer.

### 6.1.2 Meta-arkose

Meta-arkose har en dårlig utviklet skifrihet, da lagningen forstyrres av meta-diabasganger. Protolitt antas å være lik for kvartsskifer og meta-arkose, men grunnet meta-diabasgangene har utviklingen videre vært forskjellig. Meta-diabas gangene kan ha kommet inn før meta-arkose var ferdig kompaktet, som vertikale ganger. Ved at intrusjonsbergarten hadde høyere viskositetskontrast enn sedimentære bergarter, skjermet gangene meta-diabas fra å bli deformert under kaledonske innskyvninger. Dette kan forklare at meta-arkose viser svært lite foliasjonsdannelse, annet enn en komposisjonell lagning ( $S_{ma1}$ ). Her minner meta-arkosen svært mye om psammitter i Sætra dekket i Oppdal skifer som beskrevet av Krill (1980). I Sætra psammitten ble det observert hyppige kryssjakter, men dette har ikke blitt observert i meta-arkosen. Kan være grunnet skjærpåvirkning i etterkant.

Meta-arkose prøver med lavere innhold av mikroklin og hematitt har til gjengjeld høyere innhold av muskovitt, biotitt og kalsitt samt epidot. Kvartsinnholdet er stabilt (50 %) i alle tynnslip, hvilket indikerer at protolitt kan ha vært en ikke-marin sandstein. Prøver med høyest innhold av hematitt og mikroklin antas å være nærmere protolitt enn de med høyere innhold av biotitt og epidot som tilsier høyere omvandlingsgrad. Hematitt erstattes av epidot, plagioklas og kvarts av muskovitt, biotitt og kalsitt. Andre prøver viser uregelmessige orienteringer av mineraler som kan være resultat av grunnet ulike strainretninger under deformasjon. Av finkornede mineraler i prøven var det også mye finkornet glimmer eller tilsvarende. Vanskelig å bestemme nøyaktig hva disse mineralene var. Det kan være sericitt, som er svært finkornet glimmer og ofte assosieres med hydrotermale ganger (Eberl et al. 1987). Her må mer testing til før det kan bestemmes.

I prøvenummer 34204/S04 som fremgår av figur 4.8c), ligger meta-arkose tett inntil meta-diabasgang. I denne prøven er det lavere innhold av K-feltspat som kan tyde på at meta-arkose blir K-anrikt fra meta-arkose. Dette kan ha ført til ytterligere dannelse av biotitt i meta-diabas.

Meta-arkose viser som kvartsskifer to ulike deformasjonsepisoder, med en som har vært ved høyere temperaturer i amfibolittfacies (dannelse av biotitt), til en senere fase i grønnskiferfacies (biotitt erstattes av kloritt). At kloritt erstatter biotitt tyder på at siste omvandlingsfase var retrograd. Uregelmessige orienteringer kan være konsekvens av varierende strainretninger under deformasjon. Karbonattilførsel ved senere stadier er knyttet til ekstensjon, skjæring og *bulging* rekrytallisering i kvarts, hvilket indikerer at temperaturer var lavere og strain høyere i den siste deformasjonsfasen.

Meta-arkose slik den fremstår i skiferbruddet og i tynnslip ser ikke ut til å ha utviklet en mylonittisk foliasjon, slik som beskrives av blant annet Young et al. (2011;2007), Johnston et al. (2007 a; 2007b). Dette kan tyde på at deformasjonen under skjæring ikke var varm eller hurtig nok, slik at mineralene i prøven fikk mulighet til å omkrystalliseres uten å knuses. Det kan også tyde på at bergarten ikke har vært utsatt for betydelig skjæring, da den i felt fremstår upåvirket av dette. Svært få skjærindikatorer er dessuten funnet i meta-arkose, annet enn *sheath* folder, som også kan indikere overprintende forhold.

I områder med omvandlede meta-diabas ganger virker meta-arkose enda mindre kompaktert. Lignende forhold beskrives i Oppdal skifer, av Krill (1980). Her har kompetente dolerittintrusjoner skjermet psammitt fra penetrativ foliasjon.

### 6.1.3 Meta-diabas

Denne bergarten fremstår som en kalksilikatbergart, og magmatiske teksturer er helt borte. Hovedomvandling av bergarten i den første deformasjonsfase i amfibolittfacies, hvor biotitt utviklet seg.

Hovedvekten av mineralene i prøven er sekundære eller totalt rekrytalliserte.

Kalsitt kutter andre mineraler, kommer inn i tynnslip som ganger. Karbonater kom inn i systemet ved senere tidspunkt fra andre steder, trolig i form av CO<sub>2</sub> hydrotermalt.

Kommer inn langs skifrihetsplanene definert av elongate muskovittkorn.

Senere deformasjon ved lavere temperatur, men høyere strain. Dette i forbindelse med ekstensjon og skjæring, og her kom karbonater inn. I områder med mye karbonater sees også små skjærsoner i kvarts med *subgrain rotation* og *bulging*, hvilket indikerer at sen-skjæring og ekstensjon er i sammenheng med rekrytalliseringer ved lavere

temperaturer. Gjennomgående lite eller ingen rekrystallisering ved *grain boundary migration* hvilket indikerer at temperaturer ikke har vært så høye (Passchier & Trouw, 2005).

Prøver med høyere innhold av K-feltpat og plagioklas har til gjengjeld mindre epidot og kalsitt, hvilket tyder på mindre omvandlingsgrad.

Kvarts viser undulerende utslukning og båndstruktur, hvilket indikerer deformasjon ved dislocation creep og grønskiferfacies.

Svært få amfiboler observert, disse er omvandlet til større biotittkorn, kalsitt og kvarts. K-feltpat gått til kvarts og kalsitt. Områder med hovedvekt av kalsitt og områder med svært mye biotitt fra amfibolittfacies .

Tilfeldige orienteringer av kloritt og stengelige mineraler tyder på varierende strain, særlig under senere, lavtemperatur deformasjon. Kalsitt har tidvis deformasjonstvillinger, mode I som tilsier lav temperatur.

Meta-arkose viser K-anrikning fra meta-arkosen rundt.

Sonering i epidotkorn som er observert i flere tynnslip, samt illustrert i figur 4.21, har en grønn randsone og tidvis brunere kjerne. Dette kan indikere endring i omvandling underveis, ved at temperaturer går fra å høyere til lavere nivåer. Grønn randsone kan inneholde mer Si, Fr og Mn, mens brunere kjerne indikerer høyere innhold av Al, Ti og Mg. Kan brukes som en indikasjon på at metamorfosegraden har endret seg fra høyere til lavere temperaturer innenfor amfibolittfacies (Winter, 2001).

Forhold mellom meta-diabas og meta-arkose i skiferbruddet kan sammenlignes med forhold mellom psammitter og doleritter i Sætra dekket, beskrevet av Krill (1980). Det kan se ut som det har vært en tilsvarende kompetanseforskjell mellom meta-arkose og meta-diabas, som fører til skjæring langs kontakten. Det kan se ut også her som meta-diabas i tidlige deformasjonshendelser var mer kompetente enn meta-arkosen, som ble både foldet og beskyttet for kompaksjon. Dette kan forklare manglende foliasjoner i meta-arkose. Intrusivene beskrevet av Krill (1980) ble ved videre deformasjon tynt laminerte biotitt-epidotlag som ikke var mer kompetente enn psammitt og dermed ble deformert tilsvarende denne. Dette virker som en mulig forklaring for forholdet mellom meta-diabas og meta-arkose for Nordfjord skifer.

XRD analyser som presenteres i figur 4.23 og tabell 4.3 viser noe annerledes verdier enn observert i tynnslipene, særlig høyere plagioklasinnhold. Fra tynnslip så det ut til at det meste av plagioklas var omvandlet omvandlet, hvilket er vanlig ved høytrykksdeformasjon (Yardley, 1989). Yardley (1989) viser til at plagioklas ved lavere temperaturer erstattes av albitt, men albitt er ikke observert i prøvene. Albitt er heller ingen sikker indikasjon fra XRD. Dersom det er mer plagioklas tilstede i prøven, så har disse ingen tvillingdannelse, og er svært vanskelige å skille fra kvarts. Plagioklas har gått til kalsitt og kvarts. Ingen høytrykksmineraler er observert, så har ikke grunnlag til å anta høyere temperatur og trykk en amfibolittfacies for deformasjonene. Kjemisk analyse fra XRF fra figur 4.24 viser høyt innhold av silikater, hvilket reflekterer at bergarten fremstår som en kalksilikatbergart i felt. Denne prøven inneholdt lite karbonater, og kunne sådan tenkes å dermed innha mer plagioklas. XRD og XRF analysene viser noe ulike sammensetninger fra hva som er observert i tynnslip. Dette er ikke uvanlig for slike analysemetoder, og de må tolkes med skjønn. Flere slike analyser av andre prøver kunne bidratt til å danne mer forståelse. Resultatene fra analysene av prøve 34208 gir ikke så mye mer informasjon alene, da de ikke samsvarer med det som er observert i tynnslip.

Dolerittgangene beskrevet av Krill (1980) i forbindelse med Oppdal Skifer er av prekambrisk alder, og relatert til rifting av Iapetushavet. Det er ikke så lett å si hvor meta-diabasgangene i Nordfjor Skifer kom fra. Undre allokton i studieområdet har likheter med undre allokton beskrevet av Johnston et al. (2007b), for området sør for Hornelen bassenget. Svartekari gruppen her inneholder paragneiser med kvartsrike dioritt-granittiske intrusjoner, som er datert til før-kaledonsk alder (Johnston et al. 2007c). Meta-diabasen viser mange likheter med dolerittganger i Oppdal Skifer, med tanke på fremtoning i felt, samt skjerming av meta-arkose under deformasjon hvilket indikerer at de kom inn tidlig. Mer testing er nødvendig for å si noe sikkert, men trolig kan meta-diabas gangene være relatert til før-kaledonsk rifting i likhet med intrusiver beskrevet av Krill (1980) og Johnston et al. (2007 c).

## 6.2 Strukturell diskusjon

Det er ikke mulig å bestemme hele den kinematiske utviklingen til forekomsten kun fra strukturer i skiferbruddene. Selv om områder i nærheten av bruddet også ble undersøkt, trengs betraktelig mer data for å kunne bestemme spesifikke deformasjonshendelser temperaturer, trykk og strain. Da oppgaven begrenset seg til hovedsakelig observasjoner i selve forekomsten, og da det ikke var mange eller gode nok observasjoner tilgjengelig i skiferforekomsten kan det ikke trekkes noen endelige konklusjoner fra strukturelle analyser. Men de kan bidra til å opparbeide hypoteser som kan testes i videre arbeid, ved å korreles med beskrivelser fra tidligere arbeid i området beskrevet i kapittel 2.

### 6.2.2 Folder

Foldefaser var vanskelig å skille i felt, og overprintende forhold var ikke lett å bestemme for ulike strukturer.

Folder med strekningslineasjon parallell med foldakse som stuper mot NØ kan korreleres med folder beskrevet av Chauvet & Séranne (1994). Disse er senere generasjonsfolder og tilhører storskala Ø-V folding i etterkant av ekstensjonsskjæring.  $L_2$  relateres til ekstensjon dannet under lavere amfibolitt-til-mellom-grønnskiferfacies (Chauvet & Séranne, 1989; Norton, 1967).  $L_2$  viser konstant i Ø-V orientering, og er parallell med storskala foldakser, som er orientert mot Ø-V til NØ-SV. Parasittiske mikrofolder i hengslene assosieres med utvikling av vertikal sekundær akseplanskiffrighet.

Dette støttes av at foldakse for område funnet fra lagninger stuper mot NØ, og er parallell med strekningslineasjonen  $L_n$  som stuper mot NØ (076). Foldaksene til folder fra figur 4.7 og 5.6 viser stående og åpne-til-lukkede folder har parallell strekningslineasjon og foldakse. Svakt utviklet akseplanfoliasjon skimtes også her. Samsvarer  $F_b$  strukturer beskrevet av Krabbendam & Dewey (1998).

Figur 5.2 illustrerer at oppdaget strekningslineasjon i forekomsten samsvarer med lineasjoner fra tidligere arbeid (Young et al., 2011).

Isoklinale, liggende folder kan være preservert fra kaledonske innskyvninger, hvor meta-arkoseganger førte til folding av lagning mot disse under innskyvning. Isoklinale, kaledonske kompresjonsfolder beskrives også av Johnston et al. (2007 b), samt av Krabbendam & Dewey (1998) som F<sub>a</sub>.

Da ingen mylonittisk foliasjon er observert er det mulig at områder i meta-arkose har blitt skjermet fra slik dannelse og kan ha beholdt foldene fra kaledonsk innskyvning gjennom flere foldefaser.

Det er vanskelig å bestemme om foldene er dannet under samme deformasjonsfase eller om noen strukturer er bevart fra tidligere hendelser. Selv om foldene viser ulike geometrier, kan de teoretisk sett komme fra samme deformasjonsfase. I transpresjonssoner ved flere stadier i litosfæren, kan strain vektorer deles opp. På denne måten kan domener med ulike strainvektorer oppstå samtidig, samt endre retning (Tikoff & Teyssier, 1994). Fra tynnslip sees ulike orientering av finkornede mineraler i samme prøve, hvilket også kan indikere ulike strainretninger under deformasjon. Dette kan imidlertid ikke bevises fra observasjoner, og må undersøkes ytterligere.

### **6.2.2 Kinematiske indikatorer**

Krabbendam & Dewey (1998) beskriver at ekstensjonsstrukturer har ført til N-S forkortning, hvilket kan støttes av boudin observasjoner som viser Ø-V strekning (og dermed kompresjon vinkelrett på dette) sammenfallende med ekstensjonsstrukturer. Topp-mot-vest kinematikk kan støttes av s-folder, samt dragfolder men disse observasjonene er ikke mange nok til å kunne si noe spesifikt om bevegelsesretningen i området. Skjæring i forbindelse med karbonatgjennomstrøminger i meta-diabas er den beste indikasjonen på at området kan ha vært påvirket av ekstensjonsskjærsone. Men skjæring er lite observert i andre bergarter enn meta-diabas. Det er en mulighet at da meta-diabas var kompetent under første deformasjonsfase, ble den i etterkant av dette svakere enn meta-arkose, og da hydrotermale karbonater kom inn i systemet gikk disse kun gjennom meta-diabas gangene. Interferensmønstre som kommer frem fra sheathfolder indikerer flere foldefaser i området, samt påvirkning av skjæring.

Her må omfattende undersøkelser til for å avkrefte eller bekrefte om området så påvirket av Nordfjord-Sogn skjærsonen som eksempelvis Young et al. (2011) hevder. Gjennomgående bevis er ikke funnet i felt.

### 6.2.3 Sprekkesystem

Sprekkesystemer i retning VNV-ØSØ er beskrevet av Gabrielsen et al. (2002) som kontinuerlig. Lineamentssystemet er delvis parallelt med devonske lavvinkelskjærsoner (Braathen et al. 2000;2002) og assosierte forkastninger. Disse lineamentene oppstår også i autoktone enheter i det fennoskandiske skjoldet, hvilket indikerer prekambrisk alder for noen av lineamentene. Sprekkesystemet er også beskrevet som subparallele til ekstensjonsskjærsoner, samt at et utvalg av disse kan ha prekambrisk opprinnelse. Dersom sprekkensystem i retning VNV-ØSØ hadde prekambrisk opprinnelse, ville det vært forventet å observere bevegelser langs sprekkplanene etter deformasjonshendelser, såfremt skjæring var gjennomgående for området. Så langt har ingen slike bevegelser blitt observert i felt, hvilket kan indikere at de ble dannet under sprø regimer etter ekstensjonshendelser, eller at skjæring i området ikke var gjennomgående.

I denne perioden etter utviklingen av ekstensjonsskjærsoner ble en rekke andre forkastningssett dannet, eksempelvis Møre-Trøndelag forkastningssett (MTFZ) som går i retning NV-SØ. Forkastninger i VNV-ØSØ indikerer kompresjon subparallelt med N-S retning, som er observert flere steder i etterkant av ekstensjon. (Young et al. 2007; Krabbendam & Dewey, 1998; Johnston, 2007 a; Johnston 2007 b). Kan ha blitt dannet i ettertid ved reaktivering av eldre sprekkensett.

Sprekkesystem i retning NØ-SV er ikke beskrevet av Gabrielsen et al. (2002). Disse sprekkene er observert som kvartsfylte, og kutter skjærfolder. Dette indikerer at de ble dannet etter eventuell ekstensjon og skjærhendelser.



### 6.3 Oppsummering

Fra observasjoner av prøver i tynnslip kan det sees spor av to deformasjonshendelser.

D1: Kaledonsk kompresjon og innskyvning, ved amfibolittfacies. Her ble bergartene svært omvandlet, særlig meta-diabas som skjermet meta-arkose fra deformasjon. Høy temperatur og lavere strain, med koaksial deformasjon. Deformasjonsfasen dannet skifriheten  $Sk_{s1}$  og komposisjonell/båndet lagning  $S_{ma1}$ .

D2: Deformasjonsfasen overprinter tidvis D1. I forbindelse med ekstensjonsskjærsone (NSDZ) ved retrograd lavere-amfibolitt-til-grønnskiferfacies. Denne fasen hadde lavere temperatur og høyere strain enn D1, og var ikke-koaksiell. I etterkant av fasen ble området strukket i Ø-V retning, og det ble siden produsert storskala Ø-V folder. Foldakse for denne foldefasen stuper i retning NØ, og er parallell med strekningslineasjon.

Disse to deformasjonshendelsene samsvarer med de for Lykkjebø og Eikefjord gruppene som beskrevet av Johnston et al. (2007a; 2007b).

Foldakse funnet for området stuper mot NØ og kan trolig korreleres med senfolding, som produserte synform i alloktone enheter i området (Young et al., 2011; Krabbendam & Dewey, 1998; Chauvet & Séranne, 1994). Strekningslineasjon  $L_n$  stuper også mot NØ, men få observasjoner av denne gjør verifisering vanskelig.

Korrelasjon av foldefaser for området kan ikke gjennomføres her grunnet for få observasjoner, men det er mulig at isoklinale, liggende folder er rester fra D1 og stående, samt åpne-til-lukkede folder med svak akseplanfoliasjon ( $S_2$ ) kan korreleres til D2. Det må gjøres flere observasjoner og omfattende kartlegging i området for å si mer om skjærpåvirkning i forekomsten.

Mylonittisering som beskrives i litteratur (Young et al. 2011) har ikke blitt utviklet i bergartene. Muligens førte hydrotermale karbonater til en temperaturstigning i bergarten, som gjorde at mineralene fikk mulighet til å omkrystallisere seg uten å bli knust. Også her må ytterligere undersøkelser utføres.

## 7.0 Konklusjon

Ved geologiske analyser av bergartene og strukturene i forekomsten, kom det frem at det ikke forela tilstrekkelig observasjoner fra felt til å kunne konkludere med sikkerhet i forhold til utviklingen av forekomsten og dens strukturer. Dette er grunnet begrensninger i feltarbeid, ved kun å kartlegge forekomsten var det ikke tilstrekkelig informasjon å få fra denne til å kunne si noe sikkert om dannelsen. Foreliggende resultater gir likevel mer informasjon om forekomsten enn hva tidligere har vært tilgjengelig, og gjør det mulig for andre å ta arbeidet videre i senere prosjekter.

Fra arbeid med å redegjøre for geologien i forekomsten har følgende blitt utredet:

- 1 Områdets geologi og teorier om strukturell utvikling av området er beskrevet av flere ulike geologer, hvis hovedtrekk har blitt tolket og gjengitt i kapittel 2.
- 2 Ulike bergarter i skiferbruddet inkluderer kvartskifer, meta-arkose og meta-diabas. Kwartsskifer har utviklet gjennomgående skifrihet, og har et høyt innhold av kvarts, samt muskovitt, plagioklas, kloritt, biotitt og noe epidot og kalsitt. Meta-arkose er massiv og har ikke utviklet gjennomgående skifrihet, men har en mer båndet/komposisjonell lagning. Meta-arkose består av mye kvarts, samt muskovitt, biotitt, kalsitt, kloritt, plagioklas, hematitt, samt noe epidot og zirkon. Kwartsskifer og meta-arkose antas å ha samme protolitt, men grunnet gangbergart i meta-arkose har ikke denne utviklet den gjennomgående skifriheten grunnet skjerming fra deformasjon av intrusjonene. Gangbergarten er klassifisert som en meta-diabas av ukjent opprinnelse, som er svært omvandlet. Mineraler inngående i meta-diabas er kvarts, plagioklas, muskovitt, biotitt, kloritt, epidot, kalsitt samt noe hematitt.
- 3 Strukturer i forekomsten innebærer stående, åpne-til-lukkede og liggende isoklinale folder, intereferensfolder (*sheath* folder), samt boudiner og s-folder.
- 4 Da det i forekomsten ikke var mulig å gjøre nok observasjoner til å korrelere disse med hendelse i litteratur, kan ingen sikre konklusjoner fastsettes i forhold til forekomstens utvikling. Mulige hypoteser beskrives, som bør undersøkes videre før man kan si noe sikkert om utviklingen.

## 8.0 Referanser

Andersen, T.B., & Jamtveit, B. 1990. Uplift of deep crust during orogenic extensional collapse: a model based on field studies in the Sogn-Sunnfjord region of Western Norway. *Tectonics*, 9, 1097-1111.

Andersen, T.B., Dewey, J.F., Swensson, E., 1991. Subduction and exhumation of a continental crust: major mechanisms during continent-continent collision and orogenic extensional collapse, a model based on the south Norwegian Caledonides. *Terra Nova*, 3. 303-310.

Best, M.G., 2002. *Igneous and metamorphic petrology*. Wiley-Blackwell, 2002. 752 s.

Braathen, A., Nordgulen, Ø., Osmundsen, P.T., Andersen, T.B., Solli, A., Roberts, D. 2000. Devonian, orogen-parallel, opposed extension of the Central Norway Caledonides. *Geology* 28, 615-618.

Braathen, A., Osmundsen, P.T., Nordgulen, Ø., Roberts, D., Meyer, G. B. 2002. Orogen-parallel extension of the Caledonides in northern Central Norway: an overview. . *Norsk Geologisk Tidsskrift* 82, Nummer 4. 225-241.

Bryhni, I. & Lutro, O. 1989. Naustdal. Berggrunnsgeologisk kart 1218 III, skala 1:50000. *Norges geologiske undersøkelser*.

Bryhni, I. (2000a), Berggrunnskart Hornindal 1318 IV, *Norges Geologiske Undersøkelser*.

Bryhni, I. (2000b), Berggrunnskart Nordfjordeid 1218 I, *Norges Geologiske Undersøkelser*.

Chauvet, A. & Séranne, M., 1989. Microtectonic evidence of Devonian extensional westward shearing in SW Norway. *The Caledonide Geology of Scandinavia*. Graham & Trotman, London, 245-254.

Chauvet, A. & Séranne, M., 1994. Extension-parallel folding in the Scandinavian

Caledonides: implications for late-orogenic processes. *Tectonophysics*, 238, 31-54

Davis, G.H. & Reynolds, S.J., 1996. *Structural geology of rocks and regions*. Second Edition. Wiley. 800s.

Dewey, J.F., Ryan, P.D., Andersen, T.B., 1993. Orogenic uplift and collapse, crustal thickness, fabrics and metamorphic phase change: the role of eclogites. *Magmatic Processes and Plate Tectonics*, Geological Society, Special publications, 76, 325 -343.

Eberl, D.D., Srodon, J., Lee, M., Nadeau, P.H., Northrop, H.R., 1987. Sericite from the Silverton caldera, Colorado: Correlation among structure, composition, origin and particle thickness. *American Mineralogist*, Vol. 71, 914-934.

Ehlers, E. G. & Blatt, H. (1980). *Petrology* (Igneous, sedimentary and metamorphic). W.H.Freeman and Co. 732 s.

Exner, U., Mancktelow, N.S., Graseman, B., 2004. Progressive development of s-type flanking folds in simple shear. *Journal of structural geology*, 26, 2191-2201.

Fossen, H., 1992. The role of extensional tectonics in the Caledonides of South Norway. *Journal of Structural Geology*. Vol 14. 1033-1046.

Gabrielsen, R.H., Braathen, A., Dehls, J., Roberts, D., 2002. Tectonic lineaments of Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, Vol. 82 153-174s.

Graseman, B., Stüwe, K., Vannay, J., 2003. Sense and non-sense of shear in flanking structures. *Journal of Structural Geology* 25. 19-34.

Johnston, S. M., Hacker, B.R., Andersen, T.B., 2007 a. Exhuming Norwegian ultrahigh-pressure rocks: Overprinting extensional structures and the role of the Nordfjord-Sogn Detachment Zone. *Tectonics*, Vol. 26. 1-12.

Johnston, SM., Hacker, B.R., Ducea, M.N., 2007 b. Exhumation of ultrahigh-pressure rocks beneath the Hornelen segment of the Nordfjord-Sogn Detachment Zone, western

Norway. GSA Bulletin, 199, 1232-1248.

Johnston, S.M., Hacker, B.R., Gehrels, G., 2007c. Exhumation of Norwegian Ultrahigh-Pressure Rocks. Appendix I: U-Pb Zircon Geochronology of the Hornelen region, Norway. Phd Dissertation. University of California, Santa Barbara.

Krabbendam, M., Wain, A., 1997. Late-Caledonian structures, differential retrogression and structural position of (ultra) high pressure rocks in the Nordfjord – Stadlandet area, Western Gneiss Region, Norges Geologiske Undersøkelser Tidsskrift 432, 127 – 139.

Krabbendam, M. & Dewey, J.F., 1998. Exhumation of UHP rocks by transtension in the Western Gneiss Region, Scandinavian Caledonides. Continental transpressional and transtensional tectonics. Geological Society of London, Special Publications no. 135. Pp. 159-81.

Krill, Allan G., 1980. Tectonics of N.E. Dovrefjell, Central Norway. Phd Dissertation, Yale University, December 1980.

Labrousse, L., L. Jolivet, T. B. Andersen, P. Agard, H. Maluski, and U. Scharer, 2004. Pressure-temperature-time-deformation history of the exhumation of ultra-high pressure rocks in the Western Gneiss Region, Norway, Spec. Pap. Geol. Soc. Am., 380, 155 – 185.

Lisle, R.J., Leyshon, P.R., 2004. Stereographic projection techniques for geologists and civil engineers. Second edition. Cambridge University Press, 2004. 112s.

Fossen, H. & Gabrielsen, R.H., 2005. Strukturgeologi. Fagbokforlaget. 375s.

Norges geologiske undersøkelser (NGU), 2008. NGU-LAB. XRF-analyser. URL: [http://www.ngu.no/upload/V%C3%A5re%20tjenester/NGU LAB XRF anal.pdf](http://www.ngu.no/upload/V%C3%A5re%20tjenester/NGU%20LAB%20XRF%20anal.pdf)

Sist besøkt 01.06.2012

Norges geologiske undersøkelser (NGU), 2005. NGU-LAB. XRD-analyser. URL:  
<http://www.ngu.no/upload/Norges%20geologi/NGU-lab/NGU LAB XRD analyser.pdf>

Sist besøkt 01.06.2012

Norton, M.G., 1987. The Nordfjord-Sogn Detachment, W. Norway. Norsk Geologisk Tidsskrift, Vol. 67, pp.93-106.

Passchier, C.W. & Trouw, R.A.J., 2005. Microtectonics. Second edition. Springer. 366 s.

Ramberg, I.B., Bryhni, I., Nøttvedt, A., 2006. Landet blir til: Norges Geologi. Norsk Geologisk Forening, 2006. 608 s.

Tikoff, B. & Teyssier, C., 1994. Strain modeling of displacement-field partitioning in transpressional orogens. Journal of Structural Geology. Vol.16,(11), 1575-1588.

Wilks, W.J. & Cuthbert, S.J. 1994. The evolution of the Hornelen detachment system, western Norway: implications for the style of late orogenic extension in the southern Scandinavian Caledonides. Tectonophysics, 238, 1-30.

Winter, J. D., 2001. An Introduction to igneous and metamorphic petrology. Prentice Hall, 2001. 699 s.

Yardley, B.W.D., 1989. An Introduction to Metamorphic Petrology. Longman Group UK Limited 1989. 248 s.

Young, D.J., Hacker, B.R., Andersen, T.B., Corfu, F., 2007. Prograde Amphibolite facies to ultrahigh-pressure transition along Nordfjord, western Norway: Implications for exhumation tectonics. Tectonics, Vol. 26,

Young, D.J., Hacker, B.R., Andersen, T.B., Gans, P.B., 2011. Structure and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  thermochronology of an ultrahigh-pressure transition in western Norway. Journal of the Geological Society, London, Vol. 168, 2011, pp. 887–898.

## Artikkel III

# 3D-modellering av av geologisk forekomst

Nina Ulfstein

Institutt for geologi og bergteknikk, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Sem  
Sælandsvei 1, 7491 Trondheim.

### **Sammendrag**

Det var behov for utredninger av en skiferforekomst med kompliserte strukturer og store geologiske variasjoner. Som grunnlag for planlegging av driften ble det utviklet en 3D-modell av forekomsten. Modellen er basert på overflatedata innsamlet i felt, og bruker laserdata som rammeverk rundt modellen. I forekomsten skilles det i driftsammenheng mellom bergartene kvartsskifer, arkose og diabas. Ved å bruke ulike teknikker for modellering og visualisering av bergartene, grenser mellom disse, og strukturer i forekomsten kan geologien i denne forståes og dermed utnyttes på en mer effektiv måte.

Denne artikkelen er den siste av totalt tre artikler, som sammen utgjør hovedinnholdet i en masteroppgave i berggrunns- og ressursgeologi. Artikkel I beskriver prosessen bak utviklingen av en løsning for digital kartlegging av skiferforekomsten. Artikkel II omhandler geologiske analyser av bergarter og strukturer i samme forekomst.

## 1.0 Introduksjon

### 1.1 Bakgrunn

Geologiske forekomster og strukturer er komplekse fenomener som i naturen strekker seg over flere dimensjoner. Aktører i geologiske fagområder benytter seg av mange ulike metoder for visualisering og fremstilling av geologisk informasjon. Tidligere har tradisjonelle metoder som bruk av papirkart, geologiske profiler, samt blokkdiagrammer blitt benyttet for å fremstille egenskaper i flere dimensjoner. Da disse metodene kun muliggjør innsyn i 2D og 2.5D, er metoder for fremstilling av geologi i 3D stadig under utvikling. Modelleringsprogramvarer for slik fremstilling ble vanligere og mer avanserte på tidlig 1990-tallet, og med denne utviklingen økte også interessen og nysgjerrigheten for geometrisk modellering (Jones et al., 2009). Innen årtusenskiftet var 3D-visualiseringer vanlige teknikker som ble hyppig brukt innenfor hydrokarbonsektoren (Bethel et al., 1996). Til tross for utviklingen mot oljebransjen, benyttet svært mange feltgeologer seg fortsatt av tradisjonelle metoder og teknikker for fremstilling av geologi. Det har vært, og er i dag, et stort behov for mer velutviklede metoder for modellering, for å kunne bedre forståelsen av geologiske forekomster og strukturer. Områder hvor man har stor nytte av modelleringsteknikker er blant annet gruvedrift, natursteinsbrudd, forskning, undervisning og mange fler. De siste årene har den teknologiske utviklingen åpnet for avansert modellering og visualisering også på land, noe stadig flere bedrifter tar i bruk. I dag finnes det svært mange nytenkende og revolusjonerende metoder for geologisk modellering. Felles for mange slike teknikker er at de bygger på omfattende geofysiske analysemetoder, som seismikk, radarmålinger, og særlig borehullsdata i kombinasjon med geologiske kartverk (Kaufmann & Martin, 2008; Lemon & Jones, 2003). Slike teknikker for innsamling av data gir mye informasjon, men kan være svært kostbare. I mange tilfeller, eksempelvis for mindre bedrifter, vil ikke slike omfattende analyser alltid lønne seg. Det kan i tilfeller være nok å samle inn informasjon i felt direkte, og bruke såkalte overflatedata til videre modellering. Overflatedata innebærer data som gir informasjon om fenomener på overflaten, slik som målinger av geologiske plans strøk, fall og fallretning, samt laserdata. Også her finnes det mange forskjellige teknikker.



Omfattende laserskanninger fra bakkestasjoner muliggjør opprettelse av fotorealistiske 3D modeller av blotninger og forekomster. Slik teknologi åpner blant annet for opprettelse av såkalte virtuell geologi (*virtual outcrop*), og slike teknikker forskes på av mange (Pringle et al., 2001; Trinks et al., 2005; Sima et al., 2010). Det undersøkes også stadig matematiske og statistiske tilnærmelser for modellering fra overflatedata, og i noen tilfeller blir det utviklet nye, originale metoder for dette (Calcagno et al., 2008; Dhont et al., 2005). Praktisk anvendelse av eksisterende programvare for modellering og visualisering, ved integrering av dataformat og informasjon fra flere kilder er eksempler på andre metoder. En detaljert oversikt over slike programvarer og teknikker er blant annet gitt av Jones et al. (2009).

I tilfeller hvor man vet lite om en forekomst sin geologi, kan man heller ikke vite hvor mye det er lønner seg å investere i analysemetoder. Derfor kan det være behov for metoder som bruker veletablerte prinsipper samt oppdaterte teknologier og programvarer som finnes på markedet. Informasjon fra observasjoner og innsamling av overflatedata i felt kan brukes direkte til å opprette en 3D modell fra geometriske målinger og andre datatyper. Eksempler på slike datatyper er laserskanninger fra fly og digitale kartdata. Metodikk for konstruksjon av geologiske strukturer og objekter direkte fra spredte overflatedata foreslås blant annet av Fernández et al. (2005) og Fernández et al. (2009).

I denne artikkelen presenteres en praktisk tilnærming for opprettelse av 3D modeller av en geologisk forekomst direkte fra overflatedata, ved hjelp av allerede etablerte prinsipper og modelleringsverktøy. Arbeidet er rettet direkte mot praktiske anvendelser. Hensikten med dette er å få mer informasjon om hvor ønsket geologisk ressurs kan lokaliseres og eventuelt utnyttes i en forekomst. Dette kan være nyttig for små bedrifter eller i undervisningsformål.

## **1.2 Formål og problemstillinger**

For å få mer kunnskap om geologien og geometrien i en forekomst bestående av kvartsskifer like utenfor Sandane i Sogn er det behov for utredninger. Det er etablert to skiferbrudd i forekomsten, som er atskilt av et område på 150 m bestående av skog og

øvrige vegetasjon. Bruddene refereres til som henholdsvis det vestre og østre bruddet. I tillegg til kvartsskiferen inneholder forekomsten andre typer bergarter, som i driftssammenheng omtales som arkose og diabas. Disse bergartene gjør det vanskelig å finne og utnytte kvartsskiferen, hvilket skaper problemer for de som arbeider i bruddet. Arkose er en massiv bergart uten gjennomgående skifrihet, men som kan utvinnes til andre formål hovedsakelig grunnet et fordelsmessig sprekkesystem som er gjennomgående for forekomsten. Sprekkesystemet fører til effektiv drift av både kvartsskifer og arkose i forekomsten. Diabas er uønsket for drift. Det er behov for å vite mer om hvor den ønskede kvartsskiferen kan finnes i bruddområdene. Fra tidligere arbeid i skiferbruddene har forekomsten blitt kartlagt digitalt (artikkel I). Informasjonen fra dette feltarbeidet har blitt brukt til å opprette en geodatabase med geometriske målinger, klassifisere de ulike bergartene, samt analysere geologiske strukturer i området (artikkel II).

Fra arbeidet med kartlegging i felt og datainnsamling ble behovet for informasjon kartlagt. Ut fra behovene oppdaget i felt, ble følgende problemstillinger satt opp og undersøkt i arbeidet med denne artikkelen:

- i) På hvilken måte kan en totalstasjon brukes under feltarbeid for å skaffe til rette informasjon man ellers ikke kan nå?
- ii) Hvordan kan tilgjengelig overflatedata (typisk kartdata samt laserdata fra flyscanning), være til nytte under geologisk kartlegging og modellering? Hvordan kan dette brukes til å gi mer informasjon om feltområdets terreng og blotninger, for dermed å kunne brukes under planlegging av feltarbeid?
- iii) Hvordan fungerer samspillet mellom forskjellige valgte programvarer for visualisering og modellering? På hvilken måte kommuniserer dataformatene i disse med hverandre, og hvordan utfyller programmene hverandre med tanke på bruksområder og særegne roller under modelleringsprosessen?

Ved arbeidet med å løse øvrige problemstillinger, skal følgende hovedproblemstilling besvares:

- iv) Vise hvordan man kan lage en enkel 3D modell som illustrerer hovedtrekk i bergartenes og de geologiske strukturerenes geometri i en forekomst ut fra begrensede overflatedata innsamlet i felt, og tilgjengelige laserdata. Dette for å få mer kunnskap om hvor ønsket ressurs (kvarsskifer) befinner seg i bruddområdet. Det er ønskelig med en generell geologisk modell som belyser de viktigste trekkene i forekomsten, og modellens hovedformål skal være å visualisere kvartsskiferen i bruddområdene.

Videre i artikkelen blir metoder for bearbeiding, visualisering og modellering gjennomgått. Deretter presenteres og diskuteres resultatene det trekkes til slutt en konklusjon for arbeidet.

## **2.0 Metode**

### **2.1 Programvare brukt til modellering**

Tre ulike programvarer er benyttet i arbeidet med modelleringen. Disse ble valgt basert på tilgjengelighet og personlig kompetanse. Programmene har forskjellige bruksområder og nisjer.

Microstation er et design- og teknisk tegneprogram (*CAD*-programvare), utviklet av Bentley (Bentley, 2012). Microstation ble hovedsaklig brukt til behandling av data fra totalstasjonen. ArcGIS Desktop fra Esri (Esri, 2012) er et program for geografiske informasjonssystemer (GIS), med moduler som ArcMap og ArcCatalog. Disse ble brukt til å bearbeide og sammenstille felldata og laserdata, digitalisere ortofoto og geologiske kart, opprette terrengmodeller og overflatemodeller, samt til å interpolere høydeverdier der dette ikke forelå fra før. Programvaren Move, med modulen 3DMove, fra Midland Valley ble brukt til å opprette en 3D modell fra overflatedata (Midland Valley, 2012). Move-programvaren er designet av strukturgeologer for å kunne løse mange ulike

modelleringsoppgaver innen struktur- og ressursgeologi. Move bygger på algoritmer som opprettholder strukturgeologiske prinsipper. Da de ulike programmene har forskjellige bruksområder, er det også interessant å se på kompatibiliteten mellom disse, særlig med tanke på filformater og arbeidsoppgaver.

Microstation arbeider med et format hyppig brukt i andre CAD-programmer, kalt DGN-filer. ArcGIS bruker hovedsakelig det man i geodatabasesammenheng kaller featureklasser for behandling av vektordata. Dette kalles Shapefiler i ArcGIS.

Move har utviklet et eget filsystem, kalt MVE, som lagrer dokumenter med andre datatyper innbyrdes. Alle programvarene arbeider med rasterdata (TIFF-filer er et felles format), og filtypene DXF (*Data Exchange File*) og VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) som mulige felles formater.

Det blir videre i dette delkapitlet gitt detaljerte beskrivelser av hvordan disse programvarene ble brukt for å løse de gitte problemstillingene. Beskrivelsene foreligger i kronologisk rekkefølge.

## 2.2 Innsamling av data i felt

Det ble totalt tilbragt 10 dager i felt, fordelt på sesongene 2010 og 2011. I 2010 ble data innsamlet ved hjelp av Garmin GPS og notatblokk. Målinger av strøk, fall og fallretning ble foretatt med Freiberg kompass, og her ble høyrehåndsregelen fulgt.

Under feltsesongen i 2011 ble en ny metode for digital kartlegging testet ut i felt. Ved bruk av denne metoden lagret man observasjoner direkte i en geodatabase, via ArcGIS Server. Detaljer rundt dette er nærmere beskrevet i artikkel I.



**Figur 2.1: Praktisk bruk av totalstasjon i felt.**

Siden denne metoden ikke byr på mer nøyaktighet i posisjonering enn tidligere brukte metoder, ble det også benyttet en totalstasjon av merket Leica TPS1200, samt en GPS av merket Leica GPS1200. Disse kan samle inn posisjoner med en nøyaktighet på noen få centimeter. Totalstasjonen ble benyttet til å samle inn posisjoner på vertikale og horisontale flater som var utilgjengelige. Ved å bruke en rød sprayboks til å markere punkter på veggen, kunne disse måles inn med totalstasjonen. I tilfeller der det ikke var mulig å markere i terrenget ble andre visuelle markører benyttet.

Området ble fotografert, slik at de kjente punktene er mulig å identifisere på bilder. Ved å måle inntil til 3 punkter på en flate, kan denne flatens geometri beregnes. Geometrisk informasjon om punkter som ikke er mulig å nå fysisk i terrenget kan skaffes på den måten. Leica GPS1200 er et avansert posisjoneringsverktøy, som gir svært nøyaktige koordinater. Denne GPSen ble benyttet for å kartlegge vegger og flater i selve bruddet, så man senere kunne orientere seg i området.

### 2.3 Oppsummering av datagrunnlag for modellering

Et utvalg av dataene innsamlet i felt ble videre brukt til visualisering og modellering av forekomsten. Data fra feltarbeidet i 2010 og 2011 ble sammenstilt ved at veipunktene i GPSen fra 2010 ble eksportert til shapefiler i programvaren ExpertGPS. Dataene fra 2011 var allerede sortert i en geodatabase. Feltdataene ble sammenstilt i en personlig geodatabase til senere bruk. Målinger av strøk, fall og fallretning, foretatt med tradisjonelt kompass og applikasjonen *Strike and Dip* på iPad ble ført inn i geodatabasen. Diabasgangene i forekomsten ble tegnet inn basert på observasjoner ved hjelp av *Editor* i ArcMap.

Digitale kartdata fra Statens Kartverk som er benyttet er N50 kartdata (Statens Kartverk, 2012 a), samt FKB-data (Statens Kartverk, 2011 a). Disse var tilgjengelige gjennom samarbeidet *Norge Digitalt* (Norge Digitalt, 2012). Kartet over Gloppen kommune (1445) var viktigst, men også data fra nabokommunen Stryn (1449) var interessante.

Det er i tillegg benyttet laserdata fra flyscanninger gjennomført av Statens Kartverk (Statens Kartverk, 2011 b). Ortofoto fra Norge Digitalt (Norge Digitalt, 2012) stammer fra nettsiden GisLink (GisLink, 2012), som er et karttilbud driftet av Møre og Romsdal fylke, fylkesmannen i Sør-Trøndelag og Fylkeskommunen i Sør-Trøndelag. Fotografier av skiferbruddet og fjellsiden nord for bruddet ble eksportert som TIFF-filer.

Geologiske kart for området er hentet fra Norges Geologiske Undersøkelser (NGU). Digitale N250 berggrunnskart (berggrunnsflate polygon og bergartsgrenser linjer) er lastet ned fra NGU sin nedlastningsportal (Norges Geologiske Undersøkelser, 2012). Berggrunnskartene er klippet mot kommunene Gloppen og Stryn. For alle digitale kartdata er koordinatsystem WGS1984, Sone 32N benyttet.

## 2.4 Modellering og visualisering i Microstation

I forbindelse med bearbeiding av data fra målinger med totalstasjonen er Microstation er brukt. I felt markerte man en rekke punkter på en flate ved hjelp av rød sprayboks samt andre visuelle markører som skiller seg ut.



**Figur 2.2: Innmålte punkt på bildet, øverst i det østre bruddet.**

Veggen er fotografert slik at alle disse punktene er synlige i bildet, som illustrert i figur 2.2. Bilder og punkter er tatt inn i en felles fil i Microstation, og bildet er deretter tilpasset i forhold til disse. Flater som representerte sprekkeplan var ofte vanskelige å komme til. Disse er målt inn med totalstasjonen, og representert ved tre punkter. Det er tegnet inn sirkler som representerer dette planet basert på de tre punktene.

Geometri (strøk, fall og fallretning) er bestemt på følgende måte i Microstation:

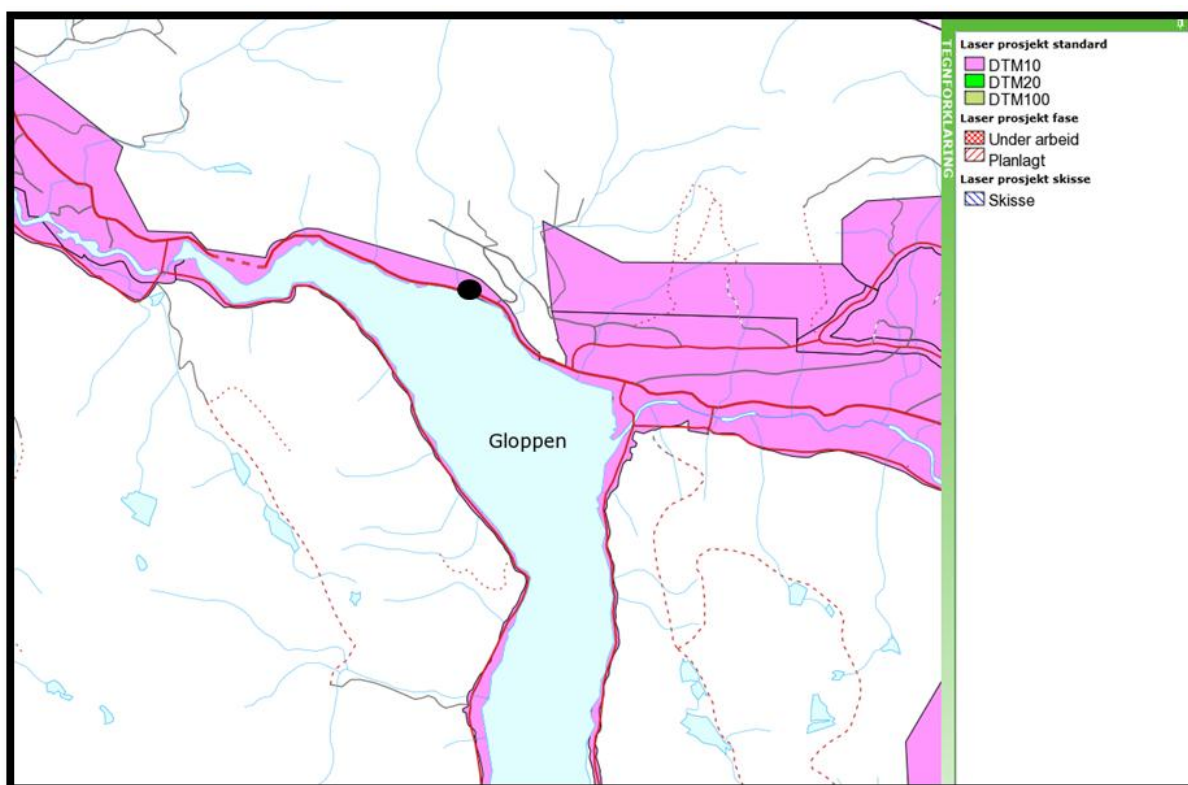
- 1) Ved å generere en sirkel basert på de tre punktene kunne man lokalisere senteret i sirkelen. Koordinatene (XYZ) for senteret er deretter notert i senteret med *snappesfunksjonen*.
- 2) *Depth Display (dp)* ble satt til et snitt over og under senteret for å få frem skjæringen. *Active Depth (az)* er angitt, og linjer er trukket mellom skjæringspunkter for å finne planets strøk.
- 3) Fallretningen til planet konstrueres vinkelrett på strøket, gjennom sirkelens sentrum. Dette gir en vektor som representerer fallretningen til planet.

- 4) Horisontalprojeksjonen av vektoren til fallretning er målt med verktøyet Measure Distance. Deretter er planets fallvinkel utregnet ved hjelp av trigonometri.

Denne prosedyren er utført for å finne flater for sprekkeplan nederst i det vestre bruddet og øverst i det østre bruddet.

## 2.5 Behandling av laserdata i ArcGIS

Laserdataen som er tilgjengelig for Gloppen kommune fremgår av figur 2.3. Bruddenes plassering er vist i figuren ved et sort punkt. For geologisk kartlegging kunne dekningsområdet ha vært utvidet mot nord ved bruddene, for å visualisere en større del av fjellsiden.



**Figur 2.3: Kart med oversikt over tilgjengelig laserdata i Gloppen kommune, modifisert fra Statens Kartverk sine nettsider (StatensKartverk, 2012 b).**

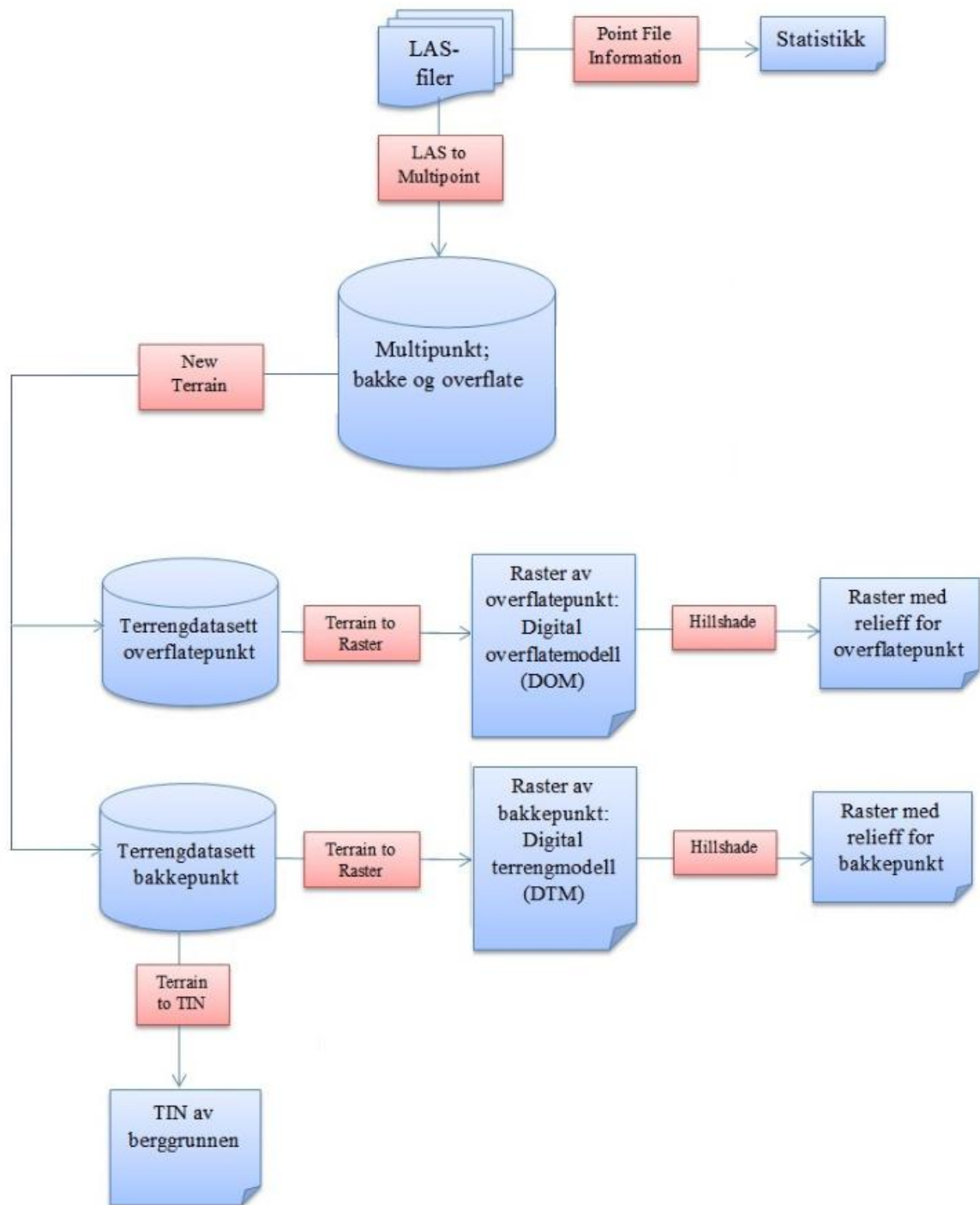
Figur 2.3 viser situasjonen i 2010 etter DTM-standard (DTM10). Spesifikasjonene for denne standarden fremgår i produktspesifikasjonen til Statens Kartverk for FKB-laserdata (Statens Kartverk, 2011 b).



Laserdata er delt inn i forskjellige klasser, basert på hva de forskjellige punktene representerer. Det viktigste for dette formålet er bakkepunkter, som tilhører klasse 2. Klasse 1 består av alle restpunkter, og representerer i teorien alt som ikke er støy, vann eller broer. Dette er som regel overflatens vegetasjon (Statens Kartverk 2011 b). Topografiske kart bygger på laserdata som er strippet for vegetasjon (bakkepunkter). Det er også slike bakkepunkter som brukes til å generere terrengmodeller. Dette er nyttig med tanke på geologiske bruksområder, eksempelvis ved visualisering av berggrunnen. Geologisk kartlegging er avhengig av blotninger for å få innsyn til berggrunnen, slik at punkter som representerer vegetasjon kan bidra til å danne en oversikt over hvor slike blotninger kan oppsøkes i terrenget. Om man har kjennskap til hvor blotningene finnes i forkant av feltarbeidet, kan dette effektivisere innsamlingen av data.

Datasettet inneholdt totalt 12 filer i formatet LAS, som er et originalformat, og inneholder all rådata. LAS-filene er bearbeidet og analysert i programvaren ArcGIS Desktop, hovedsaklig ved bruk av tilleggsmodulen 3D Analyst. I denne programvaren er det fordelsmessig å arbeide med geodatabaser, slik at alle laserdataene er samlet på ett sted. Det ble opprettet en egen geodatabase for laserdataene. LAS-filene er deretter bearbeidet som illustrert i figur 2.4.

Det er hensiktsmessig å danne seg en oversikt over laserdataene man har til rådighet tidlig i bearbeidingsprosessen. Verktøyet *Point File Information* gir en oversikt over utstrekningen til hver enkelt LAS-fil ved at det genererer featureklasser som inneholder statistisk informasjon om punktfilene. Punktfordelingen fra dette verktøyet er et estimat, som antar at alle punktene er jevnt fordelt (ESRI 2012 a). Ved å bruke *Point File Information* verktøyet er det også mulig å sortere på forskjellige klassekoder. Verktøyet synliggjør hvilke LAS-filer som er nødvendige å ha med videre. I dette tilfellet dekket 3 LAS-filer deler av studieområdet. Disse filene ble konvertert til multipunkter ved hjelp av verktøyet *LAS to Multipoint*. Dette er et format som er mer anvendelig for videre analyser. Det ble opprettet featureklasser som skiller punkter i klasse 1 og 2 for hver LAS-fil. I *Point File Information* beregnet man de nødvendige verdiene for gjennomsnittlig punktavstand basert på statistisk informasjon.



**Figur 2.4: Fremgangsmåte for bearbeiding av laserdata i ArcGIS Desktop.**

Multipunkt featureklassene for bakkepunkter og overflatepunkter (vegetasjon) ble videre konvertert til terrengdatasett, som er TIN-baserte overflater. Dette gjøres i ArcCatalog, ved å opprette nye terrengdatasett fra multipunktfilene. Terrengdatasettene

gir en effektiv representasjon av overflaten for videre analyser, da de ikke lagrer den faktiske overflaten men heller refererer til de originale featureklasse (Esri, 2012).

Terrengdatasettet med overflatepunkter (vegetasjon) ble konvertert til et raster i verktøyet *Terrain to Raster*, for å opprette en digital overflatemodell (DOM). Det samme ble også gjort for terrengdatasettet som representerer bakkepunkter, slik at en digital terrengmodell (DTM) ble generert (Statens Kartverk, 2012 b). For å visualisere terrenget ytterligere fra disse rasterene, ble verktøyet *Hillshade* i tilleggsmodulen *Spatial Analyst* benyttet til å generere nye rastere som viser skyggede relieffer (Esri, 2012). Videre bearbeiding av terrengdatasettet for bakkepunkter som representerer berggrunnen innebar å konvertere terrenget til en TIN modell ved hjelp av verktøyet *Terrain to TIN*.

## 2.6 3D analyser i ArcGIS Desktop

3D analyser ved hjelp av tilleggsmodulen 3D Analyst ble utført i ArcMap og ArcScene, som er kartbehandlingsprogrammer for henholdsvis 2D og 3D visning av data i ArcGIS Desktop.

### 2.6.1 Opprettelse av TIN og DTM modell fra N50 kartdata

Laserdataene som forelå dekket kun området like nord for Breimsvatnet, hvilket ga en svært detaljert TIN overflate for området i skiferbruddet. Det ga derimot lite informasjon om terrenget i nærheten, særlig fjellsiden lenger nord-øst er vurdert som interessant for 3D visualisering. N50 kartdata ble benyttet til å opprette TIN og DTM overflater for området utenfor utstrekningen av laserdataene. Verktøyet *Create TIN* i 3D Analyst ble brukt for å generere en TIN overflate. For å opprette TIN eller terreng datasett i ArcGIS kreves det inndata med høydeinformasjon, som skal fungere som primærkilde for høydemodellering. 3D Analyst genererer deretter triangler fra høydedataene, som kan være enten punkter, linjer, polygoner eller kombinasjoner av disse. TIN overflaten blir mer nøyaktig desto mer høydedata man som inkluderes. I tillegg til høydedata er det aktuelt å inkludere andre objekter som bidrar til å forme landskapet, eksempelvis veier, elver og innsjøer. Slike naturlige, eller menneskeskapte objekter er ofte komplekse, og kan være vanskelige å fremstille i en slik modell. De må

derfor kategoriseres ut fra hvilke vektorer de skal tillegnes og hvilke roller de skal inneha under opprettelse av TIN (ESRI, 2012 a). Inndataene ble derfor kategorisert i forskjellige overflatetyper. Hensikten med dette er at 3D Analyst kan tolke disse, så den resulterende TIN overflaten blir et så nøyaktig estimat av det virkelige terrenget som mulig. Basert på tilgjengelige data for TIN generering, ble følgende valgt som inndata med tilhørende roller:

- Høydekurver med 20m intervaller. Disse ble satt til overflatetypen *Masspoints*, som tilsvarende rollen som primærkilde for høydeinformasjon.
- Vannlinjer. Elver og små vannkropper bidrar til å forme landskapet. Disse ble tildelt rollen *Hardline*, hvilket representerer en naturlig og markant endring i overflaten. Ingen høydeinformasjon fra filen ble benyttet, siden den representeres på TIN-overflaten.
- Veiliner. Denne viser menneskeskapte endringer i overflaten, og er representert som *Hardline*. Ingen høydeinformasjon fra veglinjer ble brukt.

Under opprettelsen av TIN overflaten ble også et avgrensingspolygon inkludert. Dette ble opprettet etter at det aktuelle området for terrengmodellering var vurdert, og et nytt polygon ble konstruert for å avgrense dette. Høydekurver i N50 kartdata hadde relativt store intervaller, men ble vurdert tilstrekkelig nøyaktig siden det var ønskelig med en generell fremstilling av hele fjellside. For en mer nøyaktig overflate kunne FKB kartdata benyttes, men av praktiske årsaker var kun slike data for tilgjengelig for Gloppen. Halvparten av fjellsiden tilhører Stryn kommune, og N50 kartdata var tilgjengelig for denne kommunen.

### **2.6.2 Digitalisering av ortofoto og geologiske kart**

Ved å drapere et ortofoto over TIN og DTM kan terrenget visualiseres på en virkelighetsnær måte. Dersom man ikke har allerede geometrisk refererte ortofoto tilgjengelig, kan ortofoto georefereres. Dette kan også anvendes for rastere med andre bruksområder, eksempelvis geologiske kart. Her ble ortofoto og geologisk kart fra en nyere artikkel av Young et al. (2011) digitalisert for visualisering av terreng og geologiske tolkninger. Ortofoto for området i nærheten av bruddene, nord for Breimsvatnet, ble eksportert som TIFF-filer fra karttjenesten GisLink sine nettsider (GisLink, 2012). Rastere ble deretter åpnet i ArcGIS Desktop. Ved å sammenstille

rasterene med andre romlige data kan disse georefereres. På samme måte som i avsnitt 3.2 ble det notert noen visuelle markører i terrenget. XY-koordinater for slike punkter er hentet ut fra kartet i GisLink og lagt til i et Excel regneark. Regnearket er lagt til som punkter i kartdokumentet i ArcMap ved hjelp av importøren *Add XY Data*. Veilinjer og vannflater fra N50-kartdata er brukt til georeferering som et tillegg til punktene.

I verktøyet *Georeferencing* i ArcGIS ble punkter og linjer linket til rasterene, og koblingene ble lagret i en tabell. Det er i gjennomsnitt brukt 4-5 punkter for hvert raster, som var jevnt fordelt og ikke lineære. Nye, georefererte ortofoto, samt geologisk kart fra Young et al. (2011) ble eksportert som raster av typen TIFF. Rasterene ble åpnet i ArcScene for 3D visualisering, sammen med overflatemodellene. Rasterene ble deretter drapert over disse overflatene. Geologisk kart fra Young et al. (2011) er studert i sammenheng med geologiske kart fra NGU (Norges Geologiske Undersøkelser, 2012).

N250 berggrunnsflater fra NGU, for Gloppen og Stryn kommune var i utgangspunktet to separate *featureklasser*. Disse ble slått sammen til ett polygon ved hjelp av geoprosesseringsverktøyet *Merge*. Polygonet ble symbolisert for å vise forskjellige bergarter med ulike farger. Polygonet ble deretter konvertert til et raster av filtypen TIFF, i verktøyet *Polygon to Raster* (Esri, 2012).

### 2.6.3 Interpolering av høydeverdier fra TIN

Det oppstod feilmeldinger knyttet til innsamlingen av høydeverdier ved bruk av løsningen for digital geologisk kartlegging i feltsonen 2011 (artikkel I). Denne feilen skyldtes en konfigurasjonsfeil og resulterte i at den kun samlet inn XY-koordinater. Høydeverdier er kritisk informasjon for videre 3D visualisering og modellering, og kan interpoleres fra digitale overflater. TIN overflaten generert fra laserdataene representerer det beste estimatet av terrenget, og kan brukes som en kilde til høydeverdier. Ved å interpolere verdier fra denne overflaten kan 2D featureklasser konverteres til 3D objekter. Verdier interpolert fra denne overflaten kan ikke anses som absolutte, men som estimater som er nødvendig for videre visualisering. Featureklassene fra feltsonen i 2011, samt de inntegnede diabasgangene, ble åpnet i kartdokument sammen med TIN generert fra laserdata og N50 kartdataene som representerer hele fjellsiden. Verktøyet *Add Surface Information* ble brukt for å

interpolere verdier fra overflaten. *Naturlig nabo* ble valgt som interpolasjonsmetode. Dette er en ikke-lineær interpolasjonsteknikk, og går ut på område-basert vekting av TIN noder i alle retninger rundt hvert cellesenter. Metoden gir jevne resulterende overflater (DeMers, 2009). De punktene som falt utenfor utstrekningen til TIN fra laserdataene fikk sine høydeverdier interpolert fra N50 TIN modellen (disse er ikke like nøyaktige). Diabasgangene er linjeobjekter, og høydeverdiene estimert for disse er et gjennomsnitt ut fra TIN overflaten fra laserdataene. For å kunne projisere featureklassene i Z-plan måtte de konverteres til 3D objekter ved hjelp av verktøyet *Feature to 3D by Attribute*. Attributtene som ble brukt var da de estimerte Z-verdiene.

## 2.7 3D modellering i Move

3D modellering av forekomsten basert på overflatedata ble utført i programvaren Move, nærmere bestemt i modulen 3DMove fra distributør Midland Valley, versjon 2012.1. I forkant av modelleringen ble dataene sortert og sammenstilt i ArcGIS. Her ble alle målinger av strøk, fall og fallretning sortert og kopiert til Microsoft Excel, for deretter å lagres som kommaseparerte (CSV) filer. Målingene gjaldt for kvartsskiferplan, arkoseplan, sprekkesystemer og foldakseplan. Veildningen i bruk av Move-programvaren ble benyttet under utviklingen av 3D modellen (Midland Valley, 2011). Move muliggjør mange andre typer modellering av geologi, blant annet i forbindelse med digitalisering av geologiske kart og profiler (Midland Valley, 2011). En slik modellering ble vurdert som uaktuelt i denne oppgaven grunnet for lite detaljerte kart over skiferbruddet.

### 2.7.1 Importering og sortering av data

Først ble dataene sammenstilt i Move, som er den generelle applikasjonen hvor ulike typer data samles for videre analyse og modellering i 3DMove. I selve 3DMove programmet er det innført begrensninger for importering av flere filtyper, blant annet vektor og rasterdata. Slike filtyper må derfor først åpnes i Move, og sorteres og lagres som MVE-filer. MVE er programvarens egen filtype. Deretter kan MVE-filene åpnes i 3DMove, og overflatedata fra CSV-filer kan importeres. DTM fra laserdata ble brukt som rammeverk for modellen, siden dette dekker skiferbruddet i detalj. I tillegg ble også N50

kartdataene benyttet, da disse dekker hele fjellet. Berggrunnsraster som viser ulike bergarter med grenser var videre med i modelleringsprosessen. Rastere med ortofoto fra Norge Digitalt ble også tatt med, hvorav ett var mer detaljert for drapering over laser-overflaten, og ett dekket hele fjellsiden. For å kunne åpne DTM i Move programvaren måtte disse konverteres til rastere i TIFF-formatet i ArcGIS. Deretter ble rasterene importert til Move som grid-overflater, slik at dataverdier som representerte høydeverdier ble ivaretatt. De estimerte diabasgangene ble importert, og disse la seg på overflaten. Featureklassene med kvartsskifer- og arkoseobservasjoner ble også importert. Det ble opprettet ulike horisonter for å sortere de forskjellige bergartene fra hverandre, og for lettere å kunne endre symbolisering på disse. Etter at all data var importert og sortert ble de lagret som en MVE-fil.

### 2.7.2 Geometriske visualiseringer

Den geometriske modelleringen foregikk i modulen 3D Move, grunnet dens innebygde 3D funksjonalitet. For å generere en modell av de forskjellige bergartene var det nødvendig å importere overflatedata i modellen. Feltnålingene ble importert fra CSV-filer som inneholdt informasjon om XYZ-koordinater, fall, fallretning, navn, farge og horisont. Ved å oppgi horisont for lagring av dataene ble disse automatisk sortert i horisonter for kvartsskifer, arkose, sprekkesystem og foldakseplan direkte ved importering.

For å visualisere målingene ble det opprettet sirkler ut fra geometrien til punktene. Dette ble gjort ved å hente inn aktuelle filer i *Attribute Manager*, så oppgi at de skulle bruke de strukturelle orienteringene i filene, og deretter vise observasjonene som sirkler med en fast størrelse. Sirklene ble opprettet som *mesh patches* i programvaren. De ble deretter gitt farger som gjenspeilet bergartstypen. Etter at alle målingene var visualisert, ble det utført et utvalg av hvilke målinger som var aktuelle å ta med videre i modelleringsprosessen.

Kvaliteten til enhver 3D modell er avhengig av nøyaktigheten til originaldataene. Når modeller konstrueres fra feltdata som stammer fra målinger og geologisk kartlegging, vil unøyaktigheter komme fra innsamling og digitalisering av dataene.

Noen målinger viste seg å inneholde feil, slik at de eksempelvis viser en høyere fallvinkel

enn de andre målingene, noe som mest sannsynlig skyldes feil under måling i felt. Siden det ikke var så mange representative flater å måle på i felt, ble det derimot registrert flere målinger på de flatene det var mulig å måle, dermed var det mulig å sikre seg troverdige data. Noen av arkoseplanene viste tidvis store lokale variasjoner, da bergarten har forstyrret lagning. Kwartsskifer- og arkoseplanene som best definerte de generelle trendene ble valgt ut som hovedplan for videre modellering. Plan ble bestemt ut fra visualiseringer som sammenfalt med feltobservasjoner.

Ved hjelp av funksjonen *Create > Line Freehand* ble kontaktene mellom kvartsskifer og arkose nederst og øverst i bruddene tegnet inn direkte på overflaten. Dette for å illustrere hvor områder med ønsket kvartsskifer befinner seg.

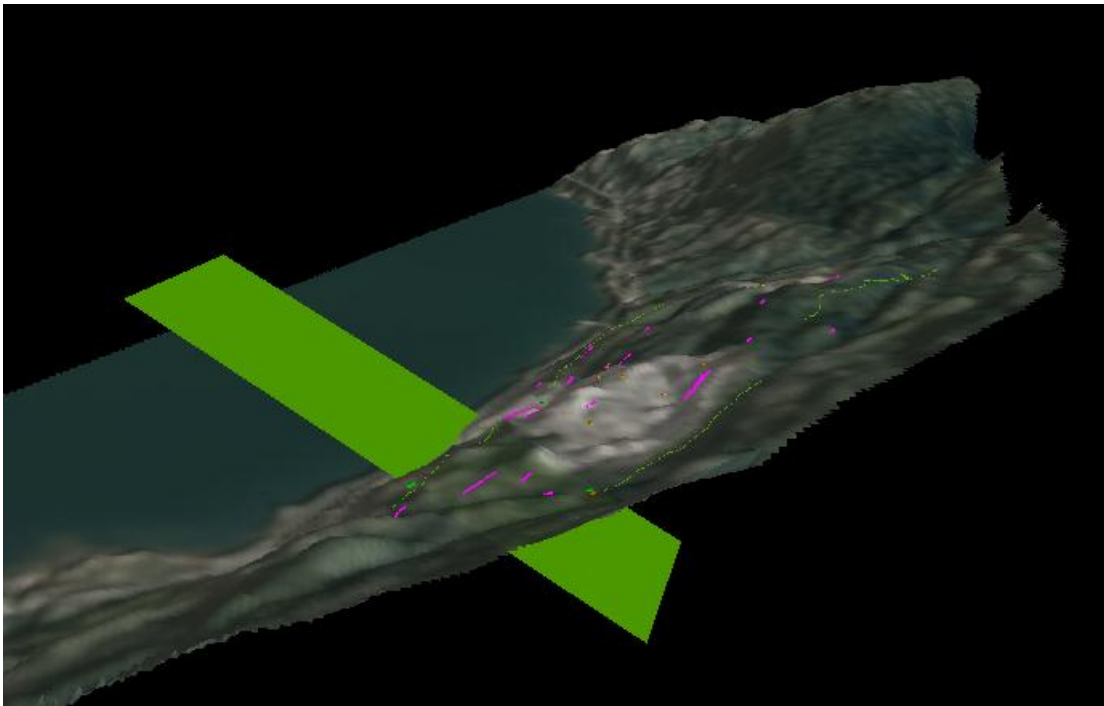
### 2.7.3 Modellering av forekomst

For å opprette en modell av bergartsplanene ble det generert overflater fra målingene av fall og fallretning, som ovenfor ble vist som sirkler. Verktøyet *Create > Surface from > Plane* ble åpnet, og sirklene ble hentet inn som plan. Overflater kan konstrueres på forskjellige måter, her ble de konstruert fra ett valgt punkt, punktets fall, og fallretning (som ligger i sirklene). Ved hjelp av en forhåndsvisning av planene kan man bestemme ønsket bredde og dybde på disse. Her må det utvises skjønn ved dimensjonering av planene. Dataene som er innsamlet viser varierende geometri og er kun gjeldende for begrensede deler av den totale geologiske overflaten. Den romlige utbredelsen av falldomenene og hovedhorisonten må vurderes nøye, slik at modellen ikke ekstrapolerer data utover det som er fornuftig. Den viktigste begrensningen til planene er der de eventuelt møter andre (Midland Valley, 2011). Forskjellige verdier for bredde og dybde av planene ble valgt ut fra avstanden til andre plan, samt hvor dypt inn planene måtte gå for å kunne visualiseres optimalt. De fleste planene ble opprettet med en bredde på 200-300m, og en dybde på rundt 300-400m. Det er komplisert å estimere overflatenes dybde, og de verdiene som er benyttet ble valgt av visuelle årsaker og kan ikke verifiseres. Overflater for plan ble opprettet både innover og utover i rommet, og de ble kuttet på midten av terrengoverflaten, som illustreres i figur 2.5.

Overflater ble generert opptil flere ganger fra samme data, eksempelvis for kvartsskiferlaget nederst i bruddene. Her foreligger målinger av plan for hele strekningen, men ikke over eller under hverandre. Siden målingene som foreligger er



representative for lagene, ble de transponert i høyden.



**Figur 2.5: Kwartsskiferoverflate generert fra feltmålinger før den ble kuttet mot DTM overflaten.**

Overflatene ble oppdelt slik at de kun gikk inn i terrenget, slik de i fremtoner seg i virkeligheten. Dette ble utført i verktøyet *Model Builder > Intersect Surface*. Her ble overflaten til bergartsplanet og terrengoverflaten hentet inn, og verktøyet opprettet en linje på bergartsplanet der det møter terrenget. Ved hjelp av verktøyet *Model Builder > Cutting Surface* ble linjen på bergartsplanet brukt til å dele overflaten i to deler. Den delen av overflaten som gikk ut i rommet ble slettet, slik at overflaten kun er synlig inn i forekomsten der det også befinner seg i virkeligheten. Da dette var gjennomført for alle de genererte bergartsoverflatene, ble bergartenes utstrekning studert. Der overflater krysset hverandre, ble det benyttet tilsvarende fremgangsmåte som ovenfor for å kutte bort uønskede deler.

Det ble deretter opprettet kontinuerlige overflater ut fra flere plan ved bruk av verktøyet *Create > Surface from > Points*. Alle planene som utgjorde en overflate ble hentet inn, og en felles overflate ble konstruert fra disse. For en jevnere overflate ble disse redigert med å bruke verktøyet *Resample > Half Sample*. Dette ble først utført for det nederste laget med kvartsskifer. Her ble det opprettet to slike overflater, for å illustrere hele dette laget nede ved vannet. Den ene overflaten ble forflyttet vertikalt til

den øvre grensen, mens den andre flaten lå ved den nedre grensen. I felt var det her kvartsskiferen kunne bli best observert og målt, så disse målingene regnes å være presise. Overflater for arkose ble også opprettet, men disse ble ikke sammenslått da estimering på tvers av det østre og vestre bruddet var komplisert grunnet for lite data og informasjon. Enkeltstående overflater ble opprettet og utstrekningen deres ble bestemt ut fra observasjoner i felt. På denne måten var det mulig å få en illustrasjon av utstrekningne til noen av arkoseplanene.

Dersom man har sikre observasjoner og kontakter kan bergartsvolum mellom øvre og nedre grenser estimeres med verktøyet *Create > Volume*.

De sikreste observasjonene for forekomsten er av kvartsskifer nederst i bruddene. Her ble det forsøkt estimert volum for massene, som vises i figur 3.13. Volumet som fremkommer av modellen er ikke helt korrekte. Man kan observere i modellen at det ikke tas hensyn til området mellom terrengoverflaten og et hulrom. Hulrommet oppstår som konsekvens av at de to flatene ikke ligger på samme høyde i forhold til terrenget. Man vet dessuten ikke hvor dypt disse lagene går inn i fjellet før de tynnes ut eller eventuelt forsvinner. Dette må tas hensyn til ved bruk av volumverktøyet, men det kan brukes for å gi en indikasjon på massenes mengder og verdier.

## 3.0 Resultater

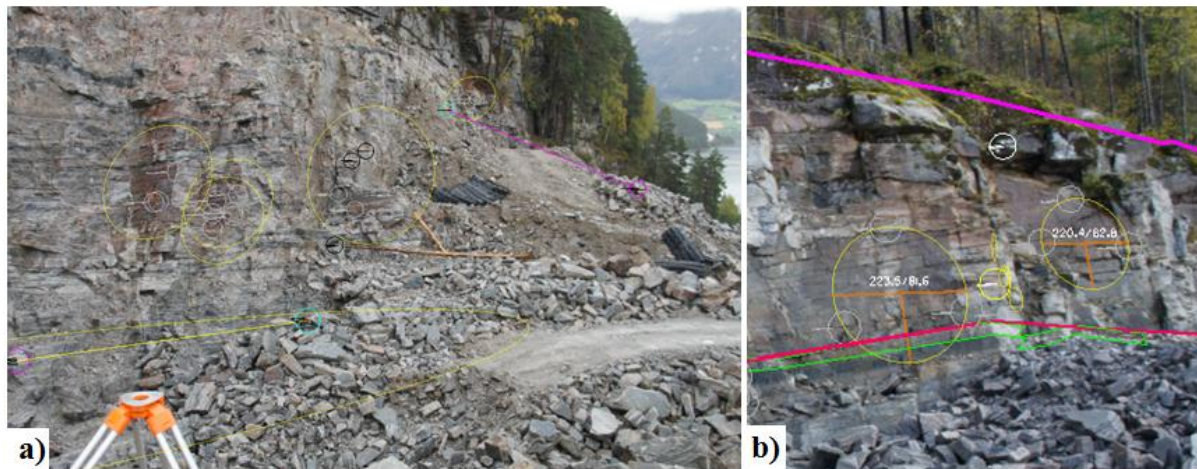
### 3.1 Målinger med totalstasjon og Microstation

Fra innmålinger av plan med totalstasjon og analysering i Microstation, ble det funnet orienteringer for sprekkeplan som ikke var mulig å måle med vanlig kompass. Det ble målt inn tre punkter på ett plan, og sirkler ble konstruert fra disse. Planenes strøk, fall og fallretning ble tegnet i Microstation, som illustreres i figur 3.1. Målingene ble deretter plottet i programvaren Rocscience Dips, som er programvare for stereografisk projeksjon. Målingene funnet ved hjelp av Microstation kan sammenlignes med andre strukturelle data fra området.

Disse åtte målingene indikerer at det er to hovedsprekkeretninger, som står vinkelrett på hverandre. Dette kommer tydelig frem både i 3.2a) og 3.2b). Hovedretningene til

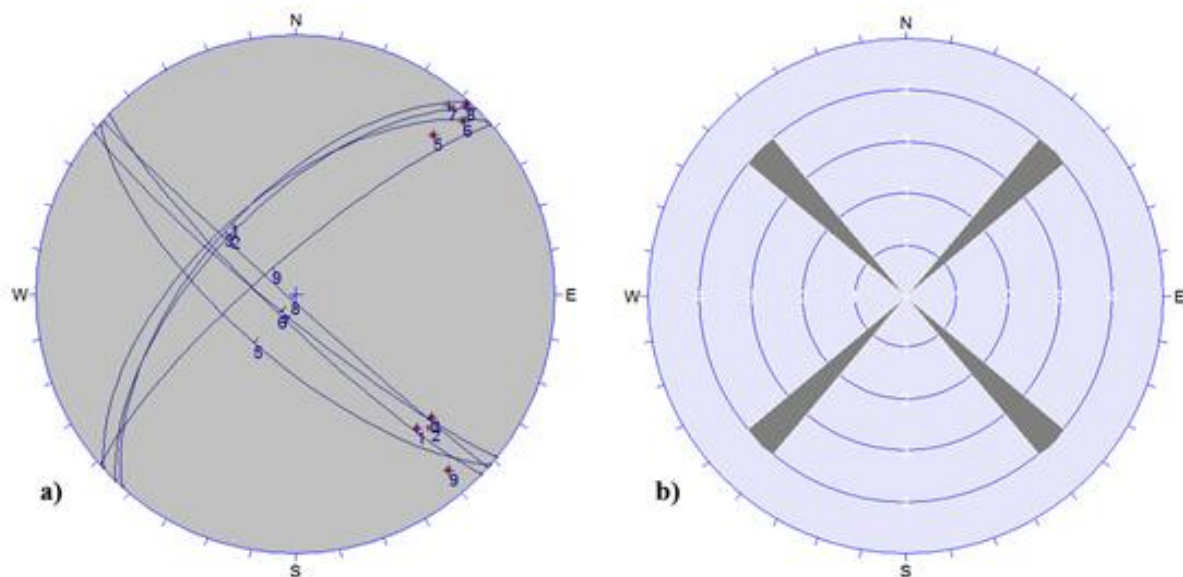
sprekkene i området er i retningene SV-NØ og NV-SØ.

Sprekkeplan i retning NV-SØ faller mot SV, og sprekkkeplan i retning NØ-SV faller mot NV.

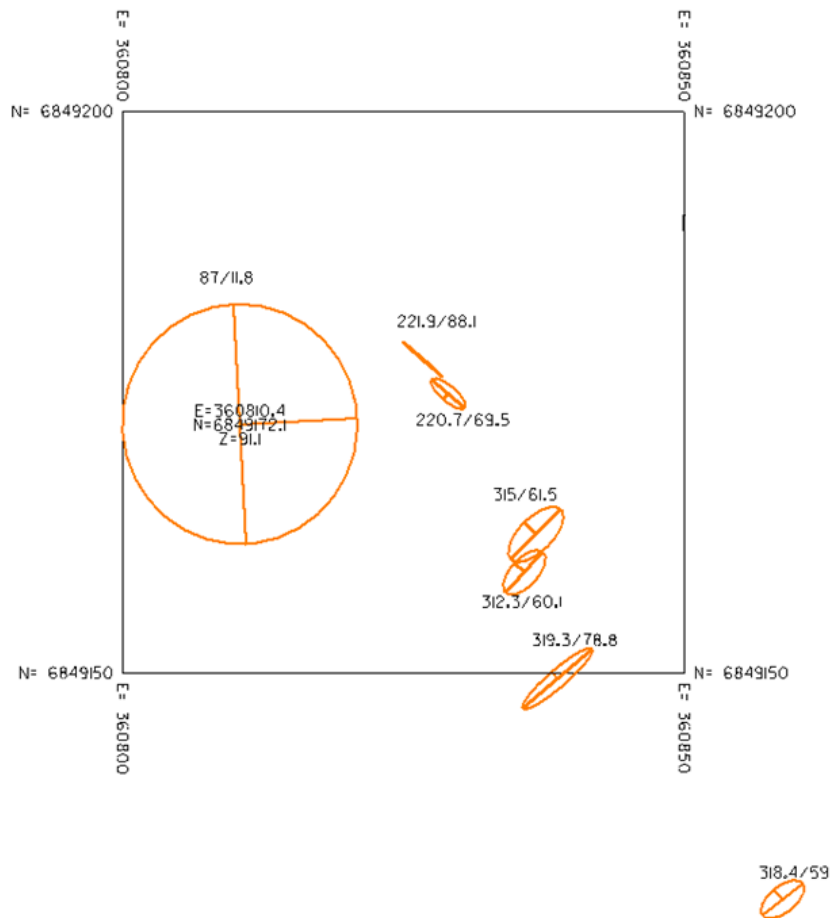


**Figur 3.1: Sprekkesystem med fall og fallretning i Microstation. a) Viser sirklene generert nederst i det vestre bruddet. b) Viser sirkler med målinger øverst i det østre bruddet.**

Ved hjelp av samme metode ble også et plan for kvartsskifer bestemt nederst i det vestre bruddet. Dette planet var betydelig større, og også mer praktisk å måle enn de små flatene til sprekkene. Fra dette planet ble koordinater, samt orienteringer funnet, som illustrert i figur 3.3.



**Figur 3.2: Målinger av sprekkesystem plottet i programvaren Dips. a) Storsirkler generert fra polene til målingene. b) Rosediagram.**



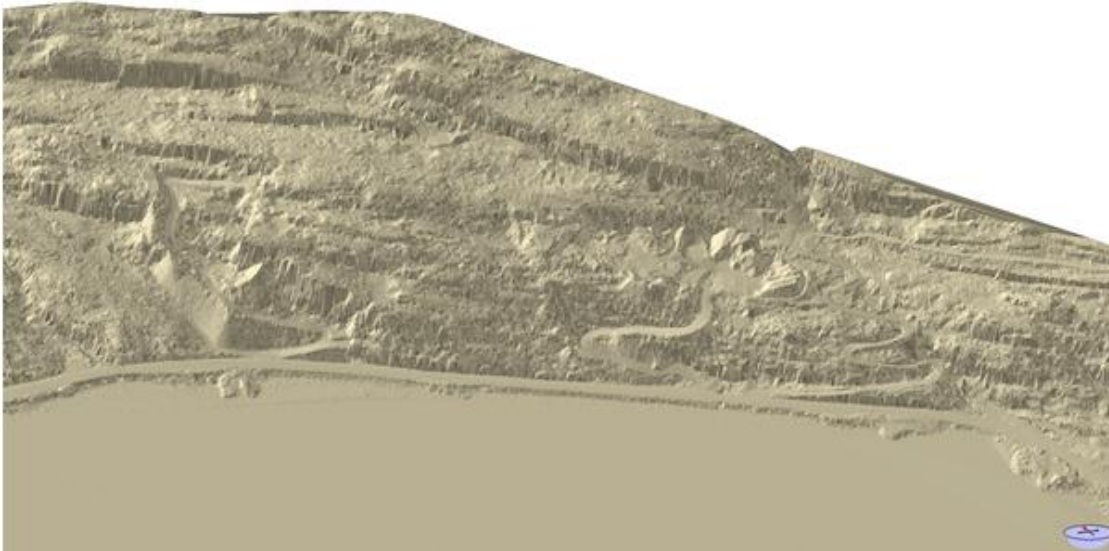
**Figur 3.3: Plan nederst i det vestre bruddet, sett i Microstation.**

Fra figur 3.3 kan kvartsskiferplanet sees som den største sirkelen. Her vises koordinater, samt planets geometri som påskrift. De små sirklene er de mindre flatene som ble brukt til sprekkemålinger.

### 3.2 3D visualiseringer og analyser i ArcGIS

Ved hjelp av verktøyet *3D Analyst* i ArcGIS ble det opprettet ulike overflatemodeller. Disse kan undersøkes i 3D ved hjelp av applikasjonen ArcScene som medfølger programvareinstallasjonen.

Terrengoverflater generert fra laserdata med bakkepunkter gir et godt estimat av berggrunnen, noe som illustreres i figur 3.4.

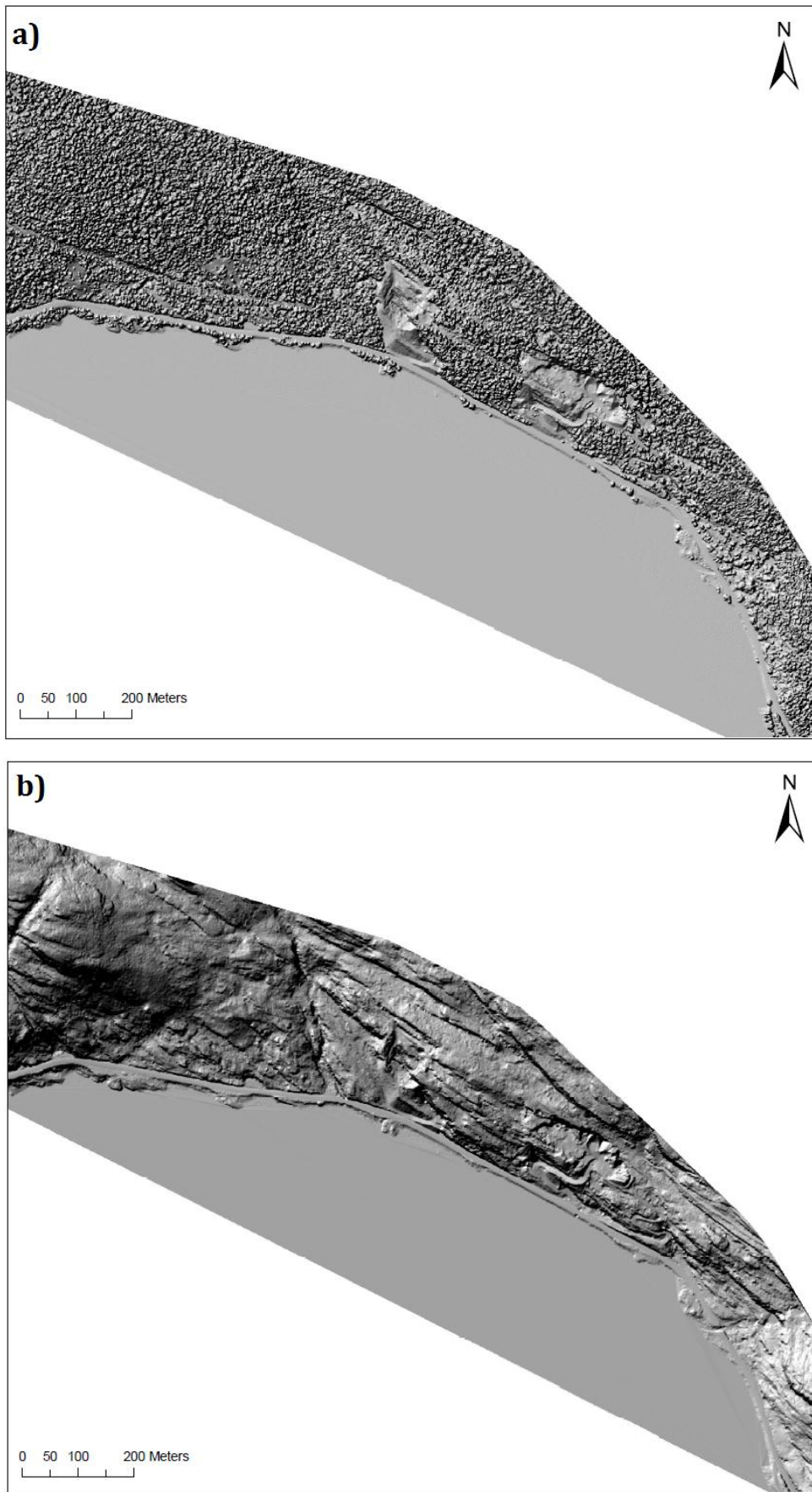


**Figur 3.4: Terrengmodell fra TIN viser bruddenes plassering i terrenget. Bildet sees i retning NØ, som illustrert av lite kompass i venstre hjørne.**

Fra figur 3.4 fremkommer et estimat av terrengoverflaten generert fra TIN.

Her vises veien som går langs Breimsvatnet nedenfor skiferbruddene. Det østre og vestre bruddet kan også sees i denne modellen, selv om det er noe uklart. To svingete veier fører inn til områder hvor skifer brytes ut. Det vestre bruddet er ikke lenger i drift, kun det østre skiferbruddet. Masser har blitt tatt ut nede langs veien i begge bruddene, og det er her den beste kvartsskiferen er funnet. Lengre opp i forekomsten dominerer arkose, som ikke har velutviklet skifrihet. Arkosen kan allikevel brytes ut effektivt grunnet sprekkesystem gjennomgående for bruddet, og kan brukes til andre formål.

Ved geologisk kartlegging kan kart som illustrerer posisjoner til blotninger i terrenget være til stor hjelp. Et slikt kart fremkommer av figur 3.5a), som er et Hillshade raster og visualiserer overflatepunktene på en tydelig måte. Trær vises som tette punkter, og posisjonen til det østre og vestre skiferbruddet kommer tydelig frem i terrenget. Siden det ikke er noe vegetasjon i bruddene kan berggrunnen her tydelig studeres. Fra figuren vises det ingen andre betydelige blotninger i området, hverken mellom skiferbruddene eller rundt disse. Områdene nord for forekomsten er ikke dekket av laserscanninger, og kan derfor ikke sees her. Dersom blotninger hadde fremkommet av figuren kunne man effektivt oppsøkt disse i felt, ved hjelp av en slik visualisering av overflatepunktene.

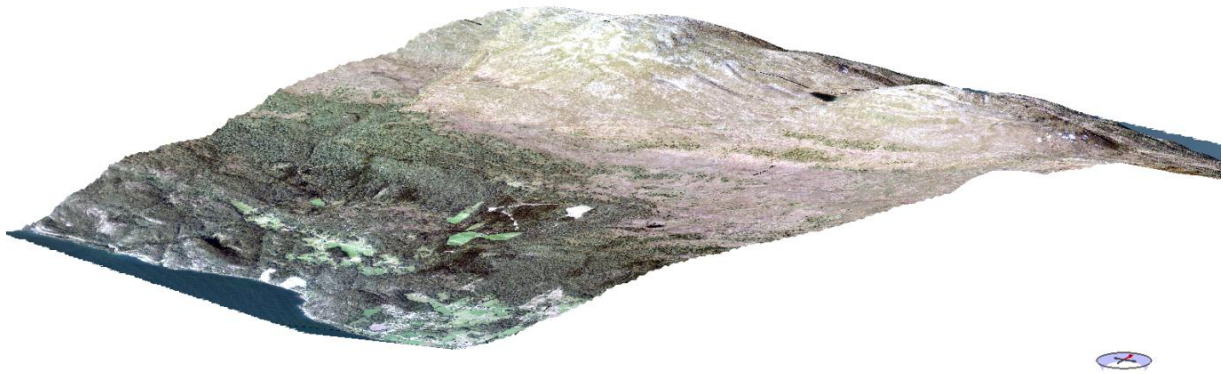


**Figur 3.5: Hillshade rastere. a) Overflatepunkter. b) Bakkepunkter.**

Figur 3.5b) viser tilvarende raster for bakkepunkter. Denne figuren illustrerer berggrunnen i området svært tydelig, og fjellsider, elver og andre landsskapsformende objekter kommer også godt frem av figuren.

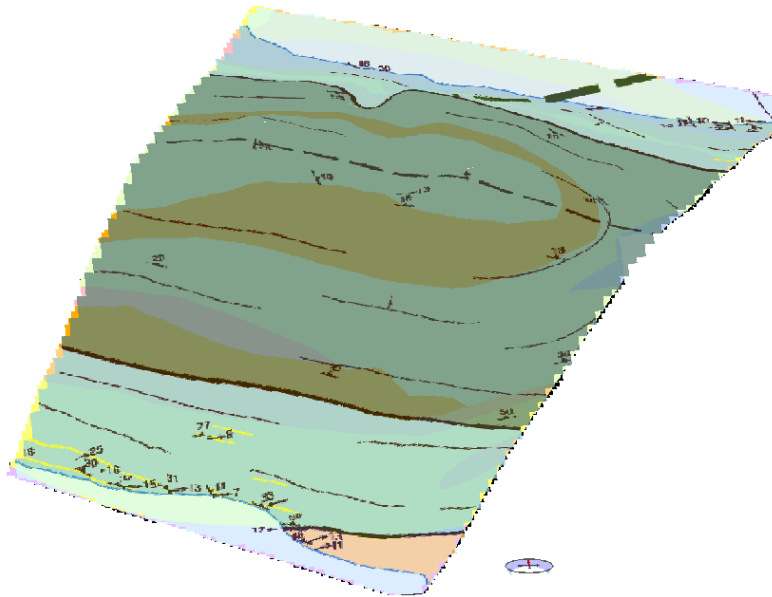
Hvis man har slike kart i forkant av og under feltarbeid, kan kartleggingen planlegges og gjennomføres mer effektivt.

Fra N50 kartdata ble det opprettet en DTM som ble eksportert til raster i TIFF-format. Digitaliserte ortofoto ble deretter drapert over terrengmodellen, og illustrerer fjellsiden på en god måte i figur 3.6. Tilsvarende ble også gjort for å studere forskjellige geologiske kart i 3D.



**Figur 3.6: DTM raster fra N50 kartdata med digitaliserte ortofoto drapert over fjellsiden. Sees i retning NV, illustrert av kompass i høyre hjørne.**

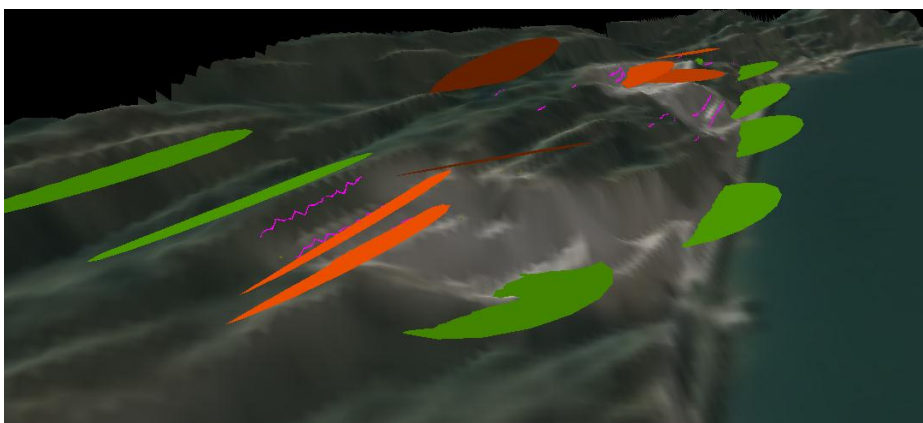
Figur 3.7 viser hvordan to forskjellige berggrunnskart kan vises samtidig i 3D. Her er begge drapert over overflaten til DTM fra N50 kartdata. Det underste kartet er fra NGU (Norges Geologiske Undersøkelser, 2012), og det øverste fra Young et al. (2011). Kartet fra NGU er tidligere digitalisert fra papirkart (Norges Geologiske Undersøkelser, 2008). Den digitale versjonen inneholder ikke data om strukturer og deres orientering. Det gjør kartet fra Young et al. (2011). Det siste er satt til å være transparent slik at begge kartene kommer til syne. Her ser man at klassifiseringen av bergarter hos Young et al. (2011) er relativt generell, og kun klassifiserer ut fra enheter og ikke bergarter. Young et al. (2011) tolker hele toppen av fjellsiden som midtre allokton, samt hele bruddsiden som undre allokton. I felt ble det observert at grensen til midtre allokton går lenger mot S enn hva Young et al. (2011) fremstiller det som.



**Figur 3.7:** Raster av forskjellige berggrunnskart, NGU (Norges Geologiske Undersøkelser, 2012) og Young et al. (2011).

### 3.3 3D modell av forekomst i Move

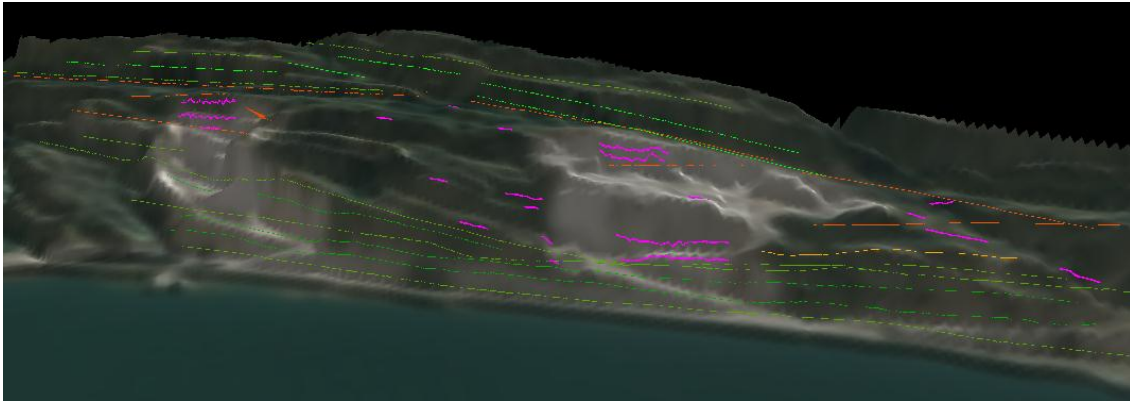
Visualiseringer av geologien, samt den ferdige 3D modellen av skiferbruddet kan sees i figurene i dette delkapitlet. Her fremstår kvartsskifer som grønne flater, arkose som oransje, diabasganger som lilla linjer, sprekkeplan som lyseblå, samt foldakseplan som gule. Disse sees tidvis i sammenheng med DTM fra lasermålinger, med drapert ortofoto over. I noen av figurene er rammeverket fjernet for å bedre kunne se planene som går inn i fjellet.



**Figur 3.8:** Målinger visualisert som sirkler på DTM overflaten.



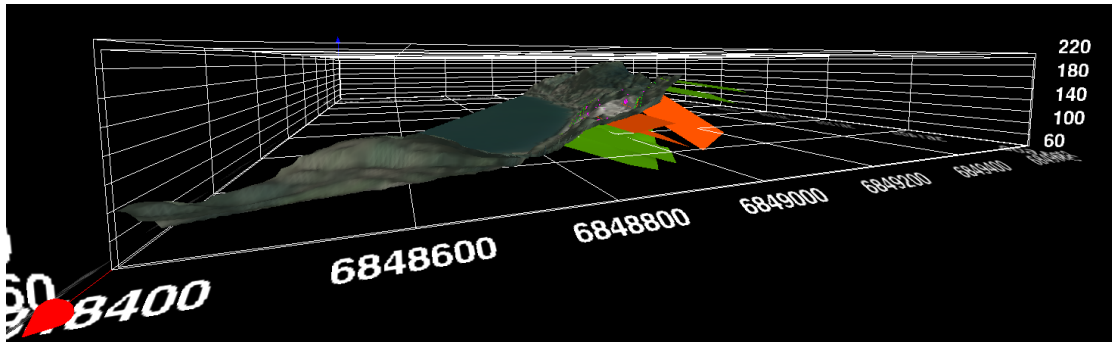
Figur 3.8 viser hovedtrendene i forekomsten. Grønne sirkler nede ved vannet illustrerer hovedhorisonten til kvartsskifer. Helt nederst mot Breimsvatnet er det ingen diabasganger, og det vises av figuren at disse kommer inn i områdene over hvor arkosen dominerer. Kwartsskiferen kommer igjen lenger opp i fjellsiden, hvor det igjen er observert få diabasganger.



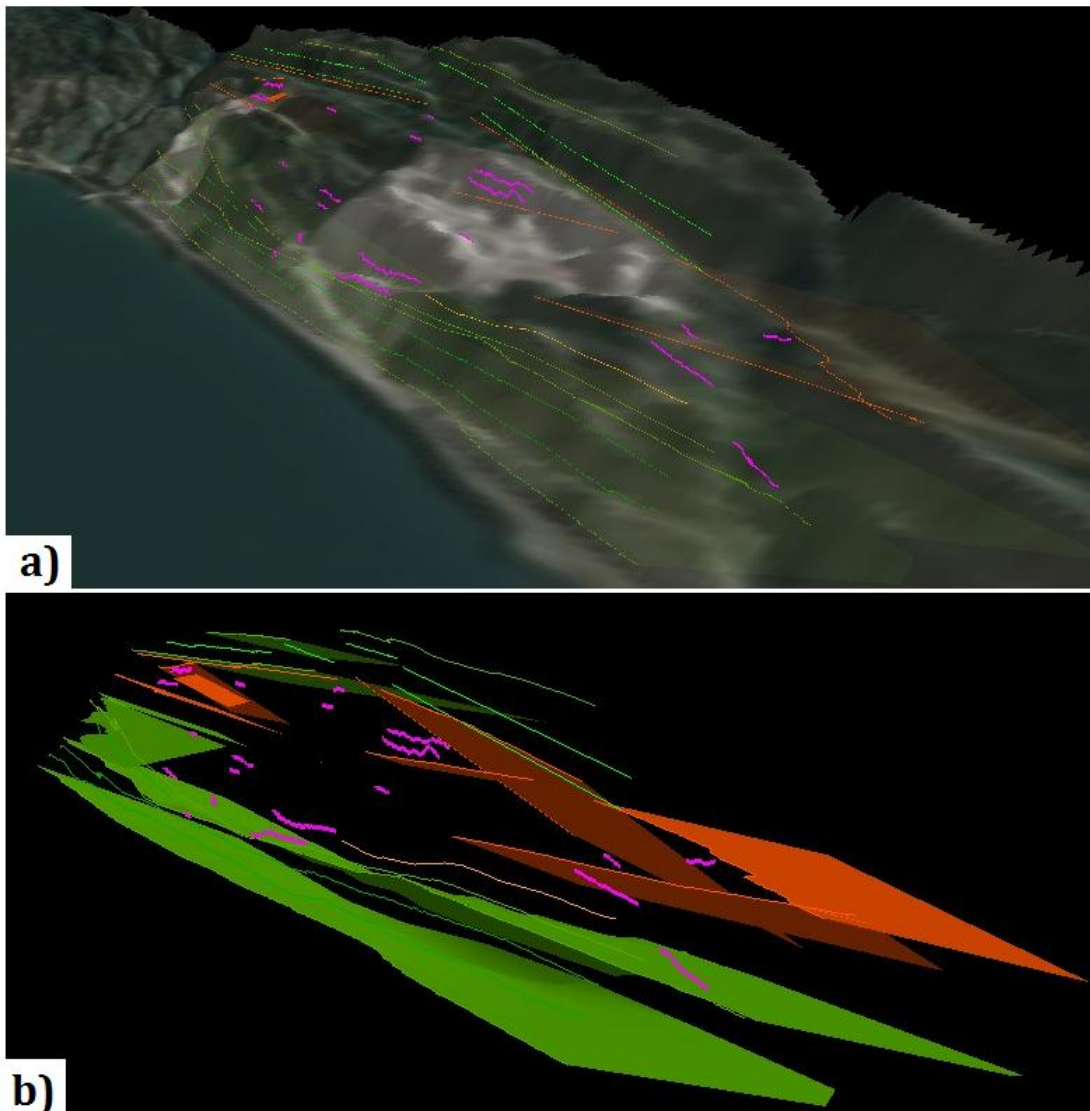
**Figur 3.9: Overflaten etter modellering, hvor bergartsgrenser kommer tydelig frem i terrenget.**

I figur 3.9 ovenfor vises plasseringene til henholdsvis det østre og vestre bruddet i terrenget. Det skogbekledde området mellom bruddene manglet gode blotninger og representative flater for målinger. Diabasganger ble observert, og disse er markert i figuren med lilla linjer. Det er ellers hovedvekt av arkose i området mellom nedre og øvre lag av kvartsskifer. Linjene på terrengoverflaten gjenspeiler overflatene til bergartsplanene som går inn i forekomsten. De grønne linjene på toppen og i bunnen av forekomsten i figur 3.9 illustrerer lagningen til kvartsskiferen. Oransje linjer i mellom kvartsskiferhorisontene representerer arkosen. Denne har såpass forstyrret og varierende lagning at det er vanskelig å fremstille hovedtrender i denne. De som kan skimtes er horisontale, og faller inn mot midten av forekomsten. Som det kommer frem av figuren ligger kvartsskiferlagene relativt horisontalt nederst ved veien som går langs Breimsvatnet. Veien opp til skiferbruddet kan skimtes fra terrengmodellen, samt de vertikale flatene hvor det er, og har vært drift tidligere. Fra både arkoselaget og kvartsskiferlaget kan det skimtes en moderat helning mot bruddets senter.

Figur 3.10 viser overflatene som går inn i forekomsten. Arkoselag mellom kvartsskifer har lokalt brattere fall. Her har UTM-boks for modellen blitt inkludert.



Figur 3.10: Hele modellen, sett mot NV.



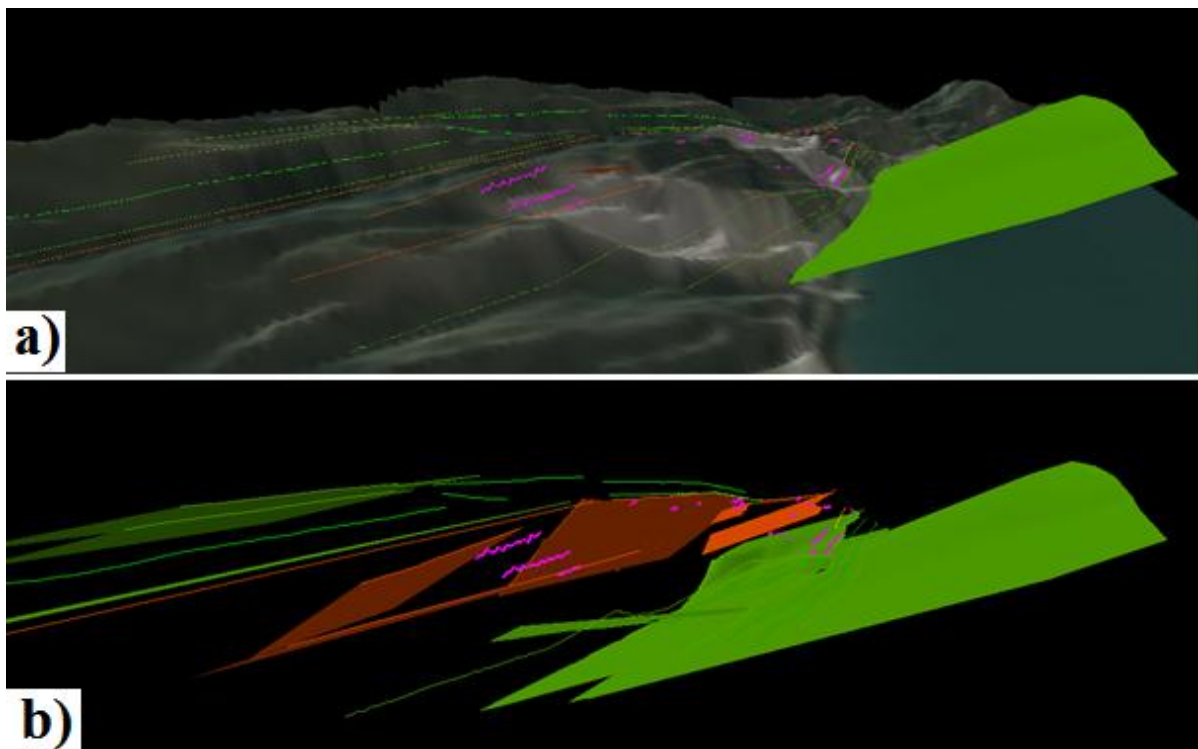
Figur 3.11: Forekomst sett mot NV. a) Transparent terrengoverflate. b) Uten terrengoverflate.

Modellen kan illustreres med eller uten transparent terrengoverflate, som illustrert i henholdsvis figur 3.11a) og 3.11b). Uten terrengoverflaten ser man tydeligere hvordan

de geologiske planene går inn i forekomsten. Her vises det også tydelig hvor det mangler data fra feltarbeidet, ved at den midtre delen av modellen mangler overflater.

I figur 3.11b) ser man hovedtrendene i kvartsskiferplanene nederst langs veien som kontinuerlige lag mellom skiferbruddene. Arkoseplan ovenfor dette har varierende strøk og fall, og er tydelig påvirket av diabasgangene i området. Tidvis har arkoseplanene brattere fall, og det er vanskelig å si med sikkerhet hvor representative disse planene er.

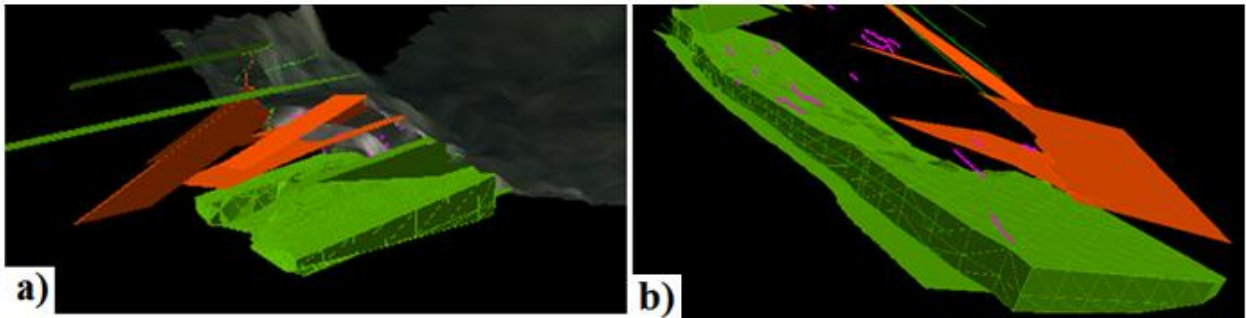
Det kan være komplisert å se trendene i forekomstens horisonter med terrengoverflaten i modellen, da denne hindrer innsyn inn i forekomsten. Samtidig er terrengmodellen et viktig aspekt som gjør det mulig å forholde seg til modellen som noe mer reellt. Ved å ekstrapolere lag utover terrengoverflaten muliggjør dette for bedre tolkning av geologien. For mange ekstrapoleringer av gangen vil virke mot sin hensikt, og vil gjøre det vanskeligere å se enkeltplan.



**Figur 3.12) Kwartsskiferhorisont i bunnen av skiferbruddet visualisert ved å ekstrapolere overflaten ut i rommet. a) med terrengoverflate. b) uten terrengoverflate, med innsyn til resten av modellen.**

Figur 3.12 illustrerer hvordan den viktigste kvartsskiferhorisonten kan sees ved å ekstrapoleres ut fra forekomsten.

Ytterligere visualisering av den viktigste kvartsskiferressursen innebærer estimering av volum mellom to slike horisonter. Dette kan bidra til en tydeligere visualisering av horisonter. Figur 3.13 viser kvartsskiferlaget fra to forskjellige retninger. Av figuren kan man se at volumet ikke ble estimert for hele kvartsskiferkroppen. Det mangler noe helt i bunnen, da det øverste laget ikke går like langt ut som det underste.



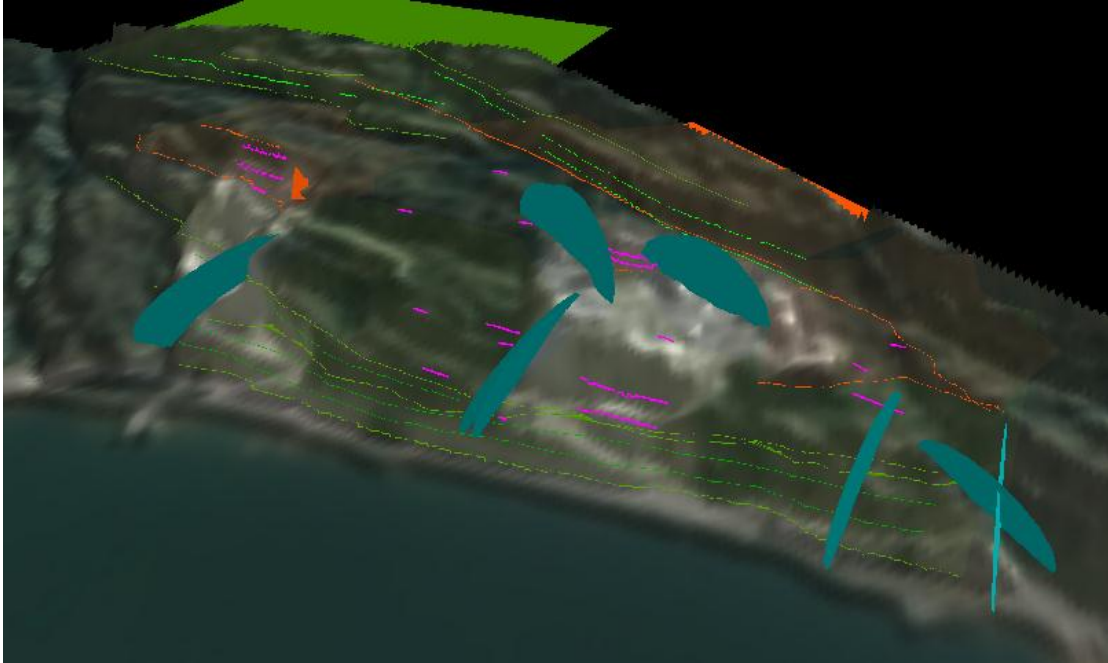
**Figur 3.13: Volumestimat for kvartsskifer. a) Forekomst sett mot SØ. b) Forekomst mot NV.**

Merk at volumestimat i denne sammenheng kun er av visuelle hensyn. Verdiene er vanskelige å estimere grunnet usikkerheter knyttet til lagets utstrekning inn i forekomsten.

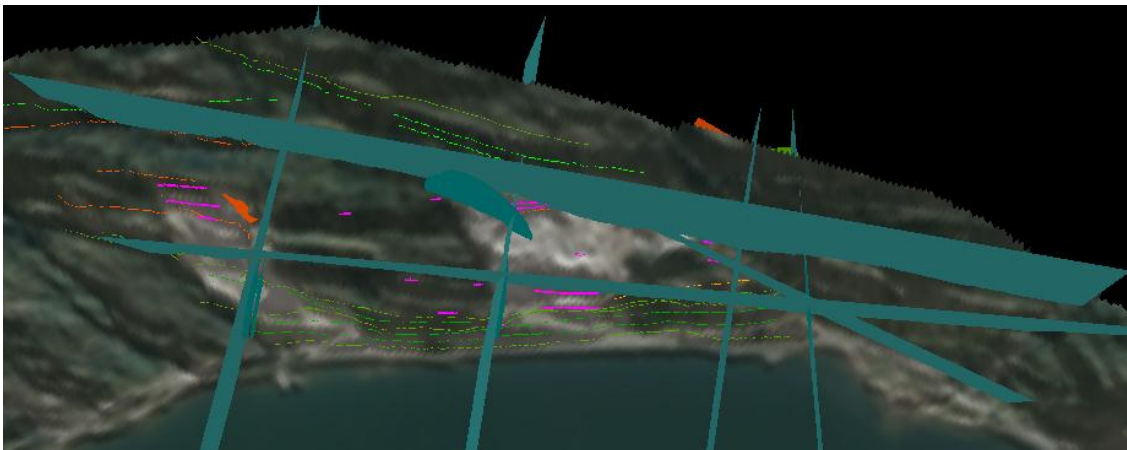
Ved å vise sprekkeplan som sirkler kan disse sees i sammenheng med resten av forekomsten, hvilket er illustrert i figur 3.14. Disse målingene består av data innsamlet i felt, samt sprekkesystemene utregnet i Microstation. Siden sirklene ikke visualiserer planene for hele forekomsten, kan det opprettes plan fra sirklene på tilsvarende måte som for bergartene for å vise disse i hele forekomsten.

I figur 3.14 og 3.15 ser man at det er to hovedretninger for sprekkeplanene i bruddområdet, samt andre som står steilt på disse. Hovedretningene fremstår som vinkelrette på hverandre. Figur 3.15 illustrerer de gjennomgående sprekkeplanene i forekomsten som effektiviserer drift av kvartsskifer og arkose. Planene som fremkommer av figuren er dog ikke fullstendig representative, siden det må tas hensyn til avstander mellom sprekker m.m for fullstendig sprekkeanalyser. Figuren gir allikevel en indikasjon på hvordan sprekkeplanene i forekomsten er, og kan brukes til planlegging av drift. Sprekkeplanet i retning NV-SØ faller mot SV, hvilket også fremkommer av planene i

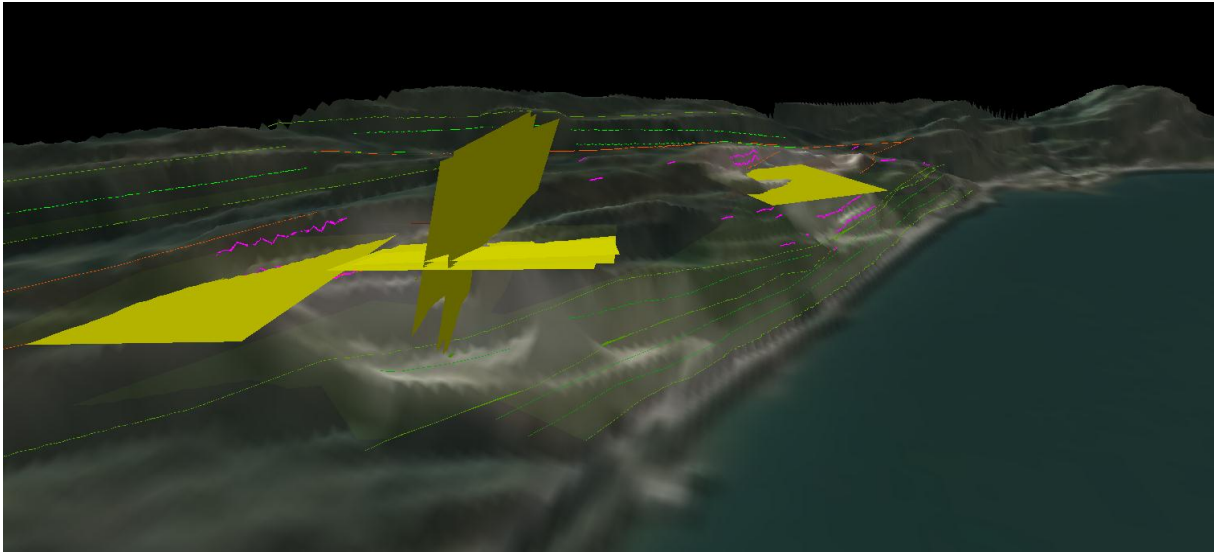
figuren. Ved bruk av naturlige sprekkeplan i drift vil en fallretning mot SV være gunstig, ved at helninger oppstår uten overheng.



**Figur 3.14: Sprekkesystem i forekomsten representert som blå sirkler.**



**Figur 3.15: Sprekkeplan visualisert som plan.**



**Figur 3.16: Foldakseplan ved terrengoverflaten.**

Foldakseplan i forekomsten representeres som gule plan i terrenget. I figur 3.16 ser man to hovedtrender i foldeakseplanene, som gjenspeiler liggende og stående folder. De liggende foldene er subparallele med diabasgangene, og befinner seg på samme høyder gjennom bruddene. Slike visualiseringer kan være interessante i samspill med analyser av folder. Foldaksene til de stående foldene går i retningen NØ- SV.

## 4.0 Diskusjon

### 4.1 Totalstasjon og Microstation

Bruk av en totalstasjon gir de mest nøyaktige posisjonene fremfor andre målemetoder. Dette gjelder også for et plans orientering og geometri, så fremt punktene som utgjør planet har nok avstand fra hverandre slik at planet tegnet av disse blir tilstrekkelig stort. Noen av planene som ble opprettet i Microstation fra målinger med totalstasjonen hadde varierende størrelse, og kunne dermed ikke antas å være fullstendig representative uten å sammenlignes med andre sprekkemålinger. Alle sprekkeplanene kan sees sammen i figur 3.14. Dette er både de som ble målt direkte på tilgjengelige flater i felt, og de som ble bestemt i Microstation. Geometrien i planene fremstår av figur 3.2, og man ser tydelig at det er to hovedretninger for sprekkesystemene, som tilsynelatende relativt vinkelrett på hverandre. Dette fremkommer også av figur 3.14 og 3.15.

## 4.2 Modellering og analyser i ArcGIS

Ulike typer data ble brukt til modellering i ArcGIS, blant annet laserdata og digitale kartverk som N50 kartdata, geologiske kart fra NGU og ortofotoer. Av disse dataene ble det generert overflate- og terrengmodeller, som bidrar til å gi informasjon om området som kan være nyttig i planlegging av og under feltarbeid. Modellene ble videre brukt til visualiseringer og modellering i Move.

Figur 3.4 viser TIN fra laserdata, som er det mest nøyaktige estimatet av terrengoverflaten i skiferbruddet. Denne ble følgelig vurdert som beste overflaten for interpolering av høydeverdier i featureklasser som manglet dette.

I figur 3.5 vises skyggede relief rastere generert fra laserdata. Figur 3.5a) viser berggrunnen generert av overflatepunkter. Av figuren ser man ingen andre betydelig blotninger i området, hverken mellom skiferbruddene eller rundt disse. Områder nord for forekomsten er ikke dekket av laserscanninger, og kan derfor ikke sees her. Dette er uheldig, siden informasjon om blotninger i nærheten er nyttige å ha i felt. Dersom blotninger hadde fremkommet av figuren kunne disse blitt oppsøkt effektivt i felt, ved hjelp av en visualisering av overflatepunktene. Hvis man har slike kart i forkant av og under feltarbeid, kan kartleggingen planlegges og gjennomføres mer effektivt.

I figur 3.5b) kan man skimte tydelige strukturer i berggrunnen, blant annet sees det øvre laget med kvartsskifer som en vertikal fjellvegg i terrenget. Andre naturlige og menneskeskapte objekter som elveleier og veger kommer også tydelig frem. Strukturer som fremkommer av berggrunnen i figur 3.5 kan eksempelvis sammenstilles med målinger fra sprekkesystemer, siden man ser at disse samsvarer.

Man kan også få informasjon om terrenget og blotninger fra terrengmodeller med ortofoto drapert oppå, som illustrert i figur 3.6. Denne illustrasjonen viser hele fjellsiden, hvor det var ønskelig med laserdata. Det var ikke mulig å opprette overflatemodeller som illustrerer vegetasjon, da digitale kartdata kun gir høydedata for terreng. Ved å drapere oppdaterte ortofoto over modellen, kan allikevel et visst innsyn

illustreres. Drapering av forskjellige geologiske kart på samme terrengmodell, muliggjør en enkel sammenligning mellom kartene som vist i figur 3.7. Av figuren ser man at ulike tolkninger fra forskjellige kilder gir to fremstillinger av berggrunnen. Kart fra Young et al. (2011) gir informasjon om strukturer og orienteringer i området, som kan brukes til modellering og til å gi tilleggsinformasjon til kart fra NGU (Norges Geologiske Undersøkelser, 2012). Det er verdt å merke seg at kartene er svært generelle, ingen går på detaljnivå for ønsket område i denne sammenheng. Man må dessuten vise skjønn ved direkte tolkning av digitaliserte geologiske kart (Midland Valley, 2011). Dette ble ikke brukt videre i modelleringsprosessen, men visualisering av berggrunnskart i 3D kan bidra til overordnet forståelse av geologien.

Det er en viss unøyaktighet i forbindelse med interpolering av høydeverdier (Z) til featureklasser som mangler denne informasjonen. Høydeverdiene interpolert fra TIN generert fra laserdata vil ikke representere den nøyaktige overflaten, men estimatet av denne. Da TIN og tilhørende DTM var det mest virkelighetsnære rammeverket alle dataene ble modellert mot, ble dette vurdert som tilstrekkelig nøyaktig. Det var også denne modellen som representerte det beste estimatet av den naturlige overflaten, men det vil være unøyaktigheter i posisjon her. Dette førte imidlertid ikke til noen problemer eller usikkerheter ved videre modellering, eller i forhold til andre data.

### 4.3 3D modell

Kvaliteten til enhver 3D modell avhenger av nøyaktigheten i originaldataene. Når modeller baseres på felldata vil unøyaktigheter i dataene komme fra innsamlingen, samt digitalisering og georeferering av andre typer data. Felldata (som typisk strøk og fall målinger, kartlegging av geologiske kontakter) kan bli georeferert til 3D på mange forskjellige måter. Det vanligste er å digitalisere data i 2D og deretter drapere dette over 3D digital topografi, samt å bruke utstyr med GPS for å samle inn 3D koordinater i felt automatisk. Begge disse teknikkene kan skape unøyaktigheter.

Ved digitalisering i 2D (med ignorering av Z) kan små feil i XY posisjoneringen resultere i større feil i høydeposisjonering når dataene overføres til 3D. Kontakter ble derfor digitalisert i 3D ved inntegning av linjer manuelt, og ved hjelp av verktøy i 3D Move.



Analyseteknikker i 3D Move er svært sensitive for små feil i XYZ posisjonering (særlig for geologiske kontakter), derfor er det viktig at dataene er så nøyaktige som mulig (Midland Valley, 2011). I dette tilfellet har dataene blitt sjekket visuelt i ArcGIS programvare, og det ble konstatert at de sammenfaller bra med dataene fra totalstasjonen og andre målinger.

Modellen ble konstruert i programvare som er designet og oppbygget av algoritmer som opprettholder strukturgeologiske prinsipper, hvilket skal gi en viss kvalitetssikring av resultatene. Da modelleringen bygger på menneskelige tolkninger, i tillegg til data, kan det naturligvis ikke uten videre antas at modellen er korrekt. Det er mange kilder til feil og usikkerheter. Posisjoner er ikke 100 % korrekte, da noen meters feil vil være tilstede for alle målinger og punkter. Feiltolkninger i felt kan også bidra til ukorrekte observasjoner, som til tross relativt nøyaktig posisjon vil bidra til å skape et resultat som ikke stemmer overens med virkeligheten.

I arbeidet med denne modellen, både i felt og under bearbeiding av data, har personlige tolkninger vært en del av prosessen. Det kan dermed ikke utelukkes at menneskelige feil har oppstått. Under modelleringsprosessen er det også andre potensielle feilkilder, eksempelvis under opprettelse av plan. Ved å velge planets bredde og dybde kan dette gi feil inntrykk i forhold sammenlignet med realiteten. Samtidig er man nødt til å oppgi verdier, og det er ikke lett å vite nøyaktig hvordan planenes dimensjoner er i virkeligheten. Fernandez et al. (2009) foreslår prinsipper som går ut på å estimere gjennomsnittsverdier fra dataene man har tilgjengelig. Hensikten er å opprette såkalte fall-domener, som representerer de mest pålitelige planene. De mest representative domenene blir ekstrapolert for å få mest mulig ut av dataene, og kunne se trender i modellen. Dette ble også gjort her. Planenes dimensjonering ble vurdert basert på hvor representative de ble regnet å være, og ble ekstrapolert for å illustrere den gjennomsnittlige geometrien. Dette ble særlig utført for arkoselagene. Siden det er svært forstyrret lagning i denne bergarten, ga mange av målingene et svært uryddig inntrykk av dens opptreden i felt. Basert på disse målingene var det vanskelig å estimere hvor store plan som burde opprettes fra disse, da ikke alle målte flater er representative for ekstrapolering. Siden det var ønskelig med en modell som viste generelle trekk for forekomsten, gjorde man et utvalg av hvilke målinger av arkose som ble med i den ferdige modellen. Om alle målingene skulle vært med i modellen, ville ingen hovedtrekk

komme til syne, og det ville vært vanskelig å få informasjon av den ferdige modellen. Basert på hvordan modellen fremstår med utvalgte målinger, er den representabel for hvordan den fremsto i felt. Noen av planene er ekstrapolert større enn andre, siden størrelsen på alle plan ble vurdert ut fra deres antatte størrelse i felt og viktighet for fremvisning av hovedtrender. Som det fremgår av modellen, eksempelvis fra illustrasjon i figur 3.11, mangler det informasjon om arkosen i området mellom det vestre og østre bruddet. Dette skyldes mangel på blotninger i området, og dermed mangel på observasjoner av berggrunnen. Få representative flater for målinger ble funnet mellom bruddene. Av feltobservasjoner som ble tatt inn som punkter i modelleringen, kunne bergartstype bestemmes for områdene, selv om det ikke forelå nok målinger. Fra figur 3.11 og 3.13 sees det også at noen av arkoselagene heller nedover mot midten av forekomsten. Hadde disse lagene vist seg å være rettere, kunne det blitt interpolert overflater mellom disse. Dette ble forsøkt, men viste seg å gi feil inntrykk. Selv om det ikke foreligger så mange målinger i områdene mellom bruddene, vet man allikevel hvilke bergarter som befinner seg der, og det ble vurdert som tilstrekkelig for generell modellering.

Diabasganger fremstår kun på overflaten, siden det mangler informasjon om utstrekningen av disse innover i forekomsten. Man kan anta at de også fortsetter inn med de andre bergartene, men har ingen forutsetninger for å si noe om deres posisjon i 3D utover observasjoner med interpolerte høydeverdier.

Kvartsskiferen i modellen fremstår som svært representativ for hvordan den er i bruddområdene. Som illustrert i figur 3.8 har to lag blitt opprettet basert på felldataene ved å transponere i høydeplanet (Midland Valley, 2011). Dette opprettholder prinsippet om gjennomsnittlige målinger som representerer lagning i henhold til Fernandez et al. (2009), samt muliggjør opprettelsen av lag som illustrerer kvartsskiferen i sin helhet for det området. Ved å gjøre dette åpner man dessuten for å vise bedre hvor lagene går, og også for muligheten til å estimere volum for laget.

Som tidligere nevnt er det antatt feil i verdier for volumestimer. Dette er på grunn av at verktøyet ikke klarer å beregne volum helt ut til området angitt av terrengoverflaten, men kun mellom de to lagene. Dette kan sees i figur 3.13, ved at det underste laget stikker noe ut under volumestimatet. Det er vanskelig å estimere volum, siden man ikke

vet sikkert hvor langt laget strekker seg. Funksjonen gir imidlertid en god visualisering av ressursen.

Fra 3D modellen kan man tydelig se skiferbergartens utstrekning. Det kommer også tydelig frem hvilke områder som er dominert av arkose, og hovedtrendene her. Noen arkoselag faller brattere enn kvartsskiferlagene. Det er usikkert hvor stor utstrekning disse lagene har inn i forekomsten. Det øvre laget med kvartsskifer ser ut til å falle ganske likt med det nedre laget. Arbeidet i forekomsten er konsentrert om den nedre delen hvor det foregår drift i dag. Det er her man finner den beste horisonten med kvartsskifer, hvilket også fremgår av modellen.

Hovedsprekkeplanene i figur 3.15 fremstår som vinkelrette, i likhet med i stereogrammet fra figur 3.2. Det er noen sprekkeplan som viser avvik i forhold til disse, illustrert av sirkler og plan i figur 3.14 og 3.15. Disse kan være lokale, eller ha annen opprinnelse enn de vinkelrette planene. Sprekkeplanene viser hvordan bergartene kan brytes opp på en effektiv måte, samt at sprekkeplanene er gjennomgående i forekomsten og således kan utnyttes til å effektivisere driften.

I figur 3.16 vises foldeakseplanene i forhold til resten av modellen. I figuren vises det tydelig to hovedtrender i foldeakseplanene. De fleste målingene viser tilnærmet horisontale akseplan, subparallele med diabasganger og arkoselag. Disse representerer liggende, isoklinale folder i terrenget. En annen foldegeometri illustreres av stående foldakseplan i relativ retning Ø-V. Dersom ytterligere målinger av foldeakseplan hadde vært tilgjengelig i bruddet kunne en slik visualisering av planene gitt en effektiv representasjon av ulike trender.

#### **4.4 Generell diskusjon**

Programvarene som er brukt i modelleringsprosessene hadde alle sine innbyrdes arbeidsområder. Microstation ble brukt til å bearbeide målinger fra totalstasjonen. ArcGIS ble brukt til 3D analyser av overflater og til å bearbeide data. Move ble brukt til geologisk modellering. Ingen av programmene kunne utført oppgavene til de andre på

en tilfredsstillende måte i denne sammenhengen. Arbeidsflyten mellom disse opplevdes som god. DXF-filer ble brukt som filformater fra Microstation til ArcGIS. I ArcGIS arbeider man stort sett med geodatabaser bestående av featureklasser, noe som opplevdes som en god måte å håndtere data på. Det var dessverre ikke like lett å ta slike featureklasser inn som overflatemålinger direkte i 3DMove, men de måtte konverteres til kommaseparerte (CSV) filer. Det skapte imidlertid ikke store vanskeligheter, men en mer effektiv flyt hadde vært ønskelig. DXF-filer kunne eksporteres fra Microstation til ArcGIS og videre til Move, samt tilbake igjen. 3D modellen generert i Move kunne eksporteres som DXF-fil og åpnes i ArcScene. Forsøk med VRML-importering viste seg å ikke fungere optimalt. Forsøk på å eksportere scener i ArcScene som inneholdt DTM modell ble ikke visualisert på en tilfredsstillende måte i 3DMove. Det ble ikke funnet en god nok måte å bruke VRML-formatet mellom programmene.

I tillegg til målingene som er visualisert i 3D modellen, fantes et utvalg som strakk seg utover laserdataenes utstrekning. Siden man ikke hadde en god nok terrengmodell for disse dataene, som i tillegg samsvarte med laseroverflaten, ble de ikke tatt med i modelleringen. Målingene var dessuten så spredte at det ville vært vanskelig å dra noen konklusjoner basert på disse i forhold til de forskjellige bergartenes plassering i bruddet. Med dette som grunnlag, samt at det var ønskelig med en modell for bruddområdet, ble ikke ytterligere data inkludert i modelleringsprosessen.

For å få mer informasjon om geologien i områdene rundt bruddene og fjellsiden, kunne man opprettet en geologisk modell fra geologiske kartverk som drøftet tidligere. Forutsetningen for en slik modellering er at man har kartverk og profiler som er detaljerte nok for området til å kunne skape en geologisk modell fra 2D kart (Midland Valley, 2011). Det forelå ikke i dette tilfellet, da kart fra NGU (Norges Geologiske Undersøkelser 2012; Norges Geologiske Undersøkelser 2008) og Young et al. (2011) var for generelle og lite detaljerte. Det var heller ikke nok geologiske profiler tilgjengelig til å kunne estimere geologien mellom dem. Den typen modellering ble derfor ikke gjennomført.

En naturlig begrensning for modelleringen illustrert i denne artikkelen er naturligvis målingene og dataene modellen ble opprettet fra. Hadde man i tillegg til overflatedata hatt borehullslogger eller andre slike analyseresulater, kunne man fått mer informasjon

om steder det var vanskelig å samle inn data i dette tilfellet. Slike analysemetoder kompliserer prosessen på andre måter (kostnads- og ressursmessig), samt at det ikke var tilgjengelig. Slik ble også ideen om å lage modell fra overflate data til. Denne ble gjennomført her, og er et bra alternativ til andre metoder. Den resulterende 3D modellen ga tilstrekkelig og ønsket informasjon om ressursen for dette prosjektet.

## 5.0 Konklusjon

Sett i lys av arbeidet som er gjennomført i denne artikkelen, med bearbeiding, analysering og modellering av romlige data utført i flere programvarer blitt trukket følgende konklusjoner.

- i) En totalstasjon, som kan måle mot naturlig reflekterende flater, gjør det mulig å bestemme fall og fallretningen til plan som ikke er tilgjengelige for andre målemetoder. Nøyaktigheten avhenger av planets størrelse.
- ii) Laserdata kan brukes som rammeverk rundt en geologisk 3D modell, og være en kilde til høydeinformasjon der dette eventuelt mangler.  
Som rammeverk bidro laserdataene, med draperte og digitaliserte rastere, til å gjøre forekomsten mer forståelig visuelt.  
Ved å opprette skyggede reliefer for fremvisning av punkter fra bakken og overflaten, var det mulig å få informasjon om hvor blotninger i terrenget kan oppsøkes. Ved å ha slik informasjon i forkant av feltarbeid vil man kunne planlegge kartleggingsprosessen på en mer effektiv måte. Slik informasjon kan man også få fra et ortofoto drapert over DTM fra andre digitale kartdata.
- iii) Programvarene utfylte hverandre på en tilfredsstillende måte. Siden de alle hadde spesifikke bruksområder som hovedsakelig ikke gikk i hverandre, var det enkelt å bestemme nøyaktig hvilke analyser som skulle utføres i hvert program. De har intet felles filformat, men gjennom bruk av DXF, TIFF-rastere og CSV-filer ble data overført mellom programmene.

- iv) Fra overflatedata som målinger av geologiske plan og laserdata ble det opprettet en 3D modell over forekomsten, som tydelig viser kvartsskifer, samt hovedtrekk i bergarter rundt denne. Modellen illustrerer hvor ønsket ressurs kan finnes i forekomsten, og ved å ta utgangspunkt i denne 3D modellen kan de som drifter bruddene vite mer om hvor den drivverdige skiferen er å finne, og dermed unngå arbeid med uønskede bergarter. På denne måten kan både tid og penger spares.

## 6.0 Referanser

Bentley, 2012. "MicroStation V8i." URL: <http://www.bentley.com/en-US/Products/MicroStation/> Sist besøkt: 14.03.2012

Bethel, W., Jacobsen, J., Austin, A., Lederer, M., Little, T., 1996.

Implementing virtual reality interfaces for the geosciences. Proceedings, Virtual Reality in Geosciences. Norwegian Society of Chartered Engineers, Halden, Norway, pp. 72–84

Calcagno, P., Chilès, J.P., Courrioux, G., Guillen, A., 2008. Geological modelling from field data and geological knowledge part 1. Modelling method coupling 3D potential-field interpolation and geological rules. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 171 (2008): 147-157.

DeMers, M. N. (2009). *Fundamentals of geographic information systems*. Wiley. 443 s

Dhont, D., Luxey, P., Chorowicz, J. 2005. 3-D modeling of geological maps from surface data. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 89, NO. 11. 1465-1474.

Esri, 2012. Environmental Systems Research Institute, 2012. *ArcGIS Desktop 10 Help*.

URL: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/>

Sist besøkt: 30.05.2012

Fernández, O. (2005). Obtaining and evaluating strike and dip measurements from 3D georeferenced data. *Journal of Structural Geology* vol 27:855–858

Fernandez, O., Jones, S., Armstrong, N., Johnson, G., Ravaglia, A., Muñoz, J.A., 2009. Automated tools within workflows for 3D structural constructions from surface and subsurface data. *Geoinformatica* (2009) 13: 291- 304.

GisLink (2012). "GisLink.no." URL: <http://www.gislink.no/gislink/>  
Sist besøkt 05.03.2012

Kaufmann, O., Martin, T., 2008. 3D geological modelling from boreholes, cross-sections and geological maps, application over former natural gas storages in coal mines. *Comput. Geosci.* 34, 278–290

Lemon, A.M., Jones, N.L., 2003. Building solid models from boreholes and user- defined cross-sections. *Computers & Geosciences* 29 (5), 547–555.

MidlandValley (2011). "Building Models from Surface Data." 3DMove 2011 Tutorial Chapter 9: 80.

Midland Valley, 2012. Software | Midland Valley. URL:<http://www.mve.com/software>.  
Sist besøkt 03.05.2012.

NorgeDigitalt (2012). "Norge Digitalt - Nasjonal geografisk infrastruktur."  
URL: <http://www.statkart.no/? to=914>;  
Sist besøkt 05.03.2012

Norges Geologiske Undersøkelser, 2008. Berggrunnskart M 1: 50.000. Hornindal 1318 IV.

Norges Geologiske Undersøkelser, 2012. "Kart og data - Berggrunn."  
URL: <http://www.ngu.no/no/hm/Kart-og-data/Berggrunn/>  
Sist besøkt 07.01.2012.

Pringle, J.K., Clark, J.D., Westerman, A.R., Stanbrook, D.A., Gardiner, A.R., Morgan, B.E.F., 2001. Virtual outcrops: 3-D reservoir analogues. In: Ailleres, L., Rawling, T. (Eds.), Animations in Geology. Journal of the Virtual Explorer 4, 51–55

R.R. Jones, K.J.W. McCaffrey, P. Clegg, R.W. Wilson, N.S. Holliman, R.E. Holdsworth, J. Imber, S. Waggott, 2009. Integration of regional to outcrop digital data: 3D isualisation of multi-scale geological models. In: Computers & Geosciences 35 (2009) 4–18

Sima, A., Buckley, S.J., Schneider, D., Howell, J.A., 2010. An improved workflow for image- and laser-based virtual geological outcrop modelling. IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 3B.

Statens Kartverk , 2011 a. "Felles KartdataBase (FKB)." URL: [http://www.statkart.no/nor/Land/Kart\\_og\\_produkter/Kartdata/Felles\\_kartdatabase\\_FKB/Sist\\_besøkt\\_05.03.2012](http://www.statkart.no/nor/Land/Kart_og_produkter/Kartdata/Felles_kartdatabase_FKB/Sist_besøkt_05.03.2012).

Statens Kartverk 2011 b. "Produktspesifikasjon Nasjonal modell for høydedata fra laserskanning (FKB-Laser)." Versjon 1.1: 22.

Statens Kartverk 2012 a. "N50 Kartdata." URL: <http://www.statkart.no/?module=Articles;action=ArticleFolder.publicOpenFolder;ID=5674> Sist besøkt 05.03.2012.

Statens Kartverk, 2012 b. "FKB Metadatakatalog." URL: <http://www.statkart.no/geovekst/fkbprod.jsp> Sist besøkt 02.03.2012.

Trinks, I., Clegg, P., McCaffrey, K., Jones, R., Hobbs, R., Holdsworth, B., Holliman, N., Imber, J., Waggott, S., Wilson, R., 2005. Mapping and analyzing virtual outcrops. Vis Geosci (2006) 10:13-19.

Young, D.J., Hacker, B.R., Andersen, T.B., Gans, P.B., 2011. Structure and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar thermochronology of an ultrahigh-pressure transition in western Norway. Journal of the Geological Society, London, Vol. 168, 2011, pp. 887–898.