



Geo-3900

Mastergradsoppgave i Geologi

SAMMENHENGEN MELLOM LANDSKAP OG TEKTONIKK PÅ
FLAKSTADØYA OG MOSKENESØYA I LOFOTEN.



Mads R. Fremming Trulssen

November 2008

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Institutt for Geologi

Universitetet i Tromsø

Geo-3900

Mastergradsoppgave i geologi

SAMMENHENGEN MELLOM LANDSKAP OG TEKTONIKK PÅ
FLAKSTADØYA OG MOSKENESØYA I LOFOTEN



Mads R. Fremming Trulssen

November, 2008

Førord

Mange har bidratt til at jeg kom i mål.

Først og fremst vil jeg takke veilederne mine Geoff Corner (hovedveileder) og Steffen Bergh (biveileder), for god veiledning, konstruktive tilbakemeldinger, mange gode og lærerike diskusjoner og flotte feltdager i Lofoten.

Stipendiat John-Are Hansen fortjener mange takk for å tålmodig besvare tusenvis av spørsmål, hjelp til fremstilling av kart, samt å lese igjennom deler av oppgaven.

Karsten Eig må også sendes en stor takk for hjelpen, guiding i Lofoten og trivelig Harstad-tur til StatoilHydro.

Takk til Heike for korrekturlesing og wordhjelp, Jan P. og Tove for å besvare spørsmål om CorelDraw og ArcGIS.

Alle medstudenter har gjort det til en hyggelig tid. Ekstra takk for positivitet og hjelp på kontor 12.

Tilslutt en takk til familie og venner for all støtte, og fjellene i Lofoten.

Mads Trulssen

Tromsø, november 2008

Sammendrag

Lofoten utgjør en opphevet horst i forhold til omkringliggende bassenger og består hovedsakelig av prekambrisk grunnfjell. Tidligere modeller viser at landområdene og sokkelområdene utenfor Lofoten ser ut til å ha hatt en lik ekstensjonshistorie med flere faser av forkastningsbevegelser, innsynkning og oppheving gjennom mesozoikum og kenozoikum. Steile strukturer i berggrunnen danner svakhetssoner der særlig glacial erosjon med botnerosjon har medvirket til dannelsen av det typisk alpine landskapet. Studier av flybilder og bruddplan indikerer både regionale og lokale variasjoner, men har påvist fire dominerende populasjoner av bruddsett; NNØ-SSV, NØ-SV til ØNØ-VSV, VNV-ØSØ og NNV-SSØ. På bakgrunn av ulike kart fremstilt i ArcGIS er det gjort en analyse av orienterte formelementer. Ulike grupper av landformelementer har liknende orientering og kan hovedsakelig korreleres med strukturelementene og deres populasjoner. Forskjeller i landskapet mellom tre provinser ser også til en viss grad ut til å være knyttet til forskjeller i berggrunnens struktur. En modell over roterte forkastningsblokker er fremstilt basert på helning til trendlinjer og kartlagte segmenter av en paleisk overflate. Det antas at de tolkede paleiske overflatene og trendlinjene gjenspeiler eller har vært styrt av en tidligere overflate (av mulig mesozoisk alder), som opprinnelig var tilnærmet horisontal, eller hadde et svakt bølgende landskap. Noen overflater tolkes til å være rotert mot ØSØ, SSØ og SSV, altså vinkelrett på de nevnte populasjonene og gruppene, i episoder fra perm til paleogen.

Innholdsfortegnelse

1 Innledning.....	9
1.1 Bakgrunn og målsetning for studiet	9
1.2 Områdebeskrivelse	9
1.2.1 Topografi og geografi.....	9
1.2.2 Klima.....	12
1.3 Regional geologi	12
1.3.1 Berggrunn.....	13
1.3.2 Postkaledonsk tektonikk.....	14
1.3.3 Berggrunns morfologi	20
1.3.4 Kwartærgeologi.....	23
1.3.4.1 Kwartærhistorie.....	23
1.3.4.2 Deglasiasjon	24
1.3.4.3 Kwartære avsetninger.....	27
1.3.4.4 Forvittringsformer	27
2. Metoder	29
2.1 Datainnsamling og feltarbeid	29
2.2 Kart.....	29
2.3 Flyfoto	30
2.4 Programvare og kartanalyse	30
3 Strukturelle elementer	33
3.1 Innledning.....	33
3.1.1 Beskrivelser av satellittdata.....	33
3.1.2 Analysemetode av strukturelle elementer	33
3.2 Beskrivelser og deltolkning av flybilder og feltlokalteter.....	35
3.2.1 Provins A.....	35
3.2.2 Provins B	46
3.2.3 Provins C	54
3.2.4 Samlet strukturanalyse og diskusjon	58
4. Geomorfologiske elementer	61
4.1 Innledning.....	61
4.2 Orienterte formelementer	61
4.2.1 Innledning.....	61
4.2.2 Kartgrunnlag og analysemetode.....	62
4.2.3 Analyseresultater og beskrivelse	71
4.2.3.1 Provins A.....	71
4.2.3.2 Provins B	73
4.2.3.3 Provins C	74
4.2.3.4 Hele studieområdet og hele Lofoten	74
4.2.4 Diskusjon.....	75
4.3 Høyere liggende hellende flater og rygger	77
4.3.1 Innledning.....	77
4.3.2 Provins A.....	79
4.3.3 Provins B	84
4.3.4 Provins C	89
4.3.5 Diskusjon.....	98
5 Sammenhengen mellom geomorfologi og struktur	99
5.1 Innledning.....	99
5.2 Sammenhengen mellom orienterte formelementer og strukturelle elementer	99

5.2.1 Provins A.....	100
5.2.2 Provins B.....	100
5.2.3 Provins C.....	100
5.2.4 Sammenlikning av provinsene	100
5.2.5 Hele studieområdet.....	101
5.2.6 Diskusjon.....	102
5.3 Sammenhengen mellom strukturelle elementer og høyereliggende hellende flater og rygger	103
5.3.1 NNØ-SSV orienterte rygger og høydedrag	104
5.3.2 ØNØ-VSV orienterte rygger eller høydedrag	106
5.3.3 VNV-ØSØ orienterte asymmetriske fjell	106
5.4 Diskusjon.....	109
5.4.1 Roterte blokker	109
5.4.2 Landskapsutvikling	110
6 Konklusjon	111
Referanseliste	112

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og målsetning for studiet

Landskapets utvikling bestemmes av mange faktorer. Berggrunnens litologi og strukturer har stor betydning, og har i stor grad kontrollert glacial erosjon. I denne masteroppgaven er den primære målsetningen å studere sammenhengen mellom strukturen i berggrunnen og landskapet, og vurdere hvor stor betydning strukturen i berggrunnen har hatt for landskapsutviklingen. Dette gjøres ved å korrelere strukturelementer og geomorfologiske elementer.

Arbeidet inngår som en del av et prosjekt ledet av Steffen Bergh i samarbeid med StatoilHydro, Harstad. Prosjektet har som mål å utrede den tektoniske oppbygningen og utviklingen av Lofoten-Vesterålen-provinsen både på land og på sokkelen. Samarbeidsprosjektet "Struktur og landskap i Lofoten-Vesterålen" er et delprosjekt av dette, ledet av Steffen Bergh og Geoff Corner, der forholdet mellom berggrunnsstruktur og landskap skal bli forsøkt knyttet sammen. Målet er å øke forståelsen av hvordan berggrunn, tektonikk og overflateprosesser har bidratt til landskapsutviklingen i løpet av mesozoikum og kenozoikum fram til idag.

I tabell 1.1 er det gitt en liste over definisjoner. For noen brukte begreper i denne oppgaven fant jeg det nødvendig å lage egne definisjoner.

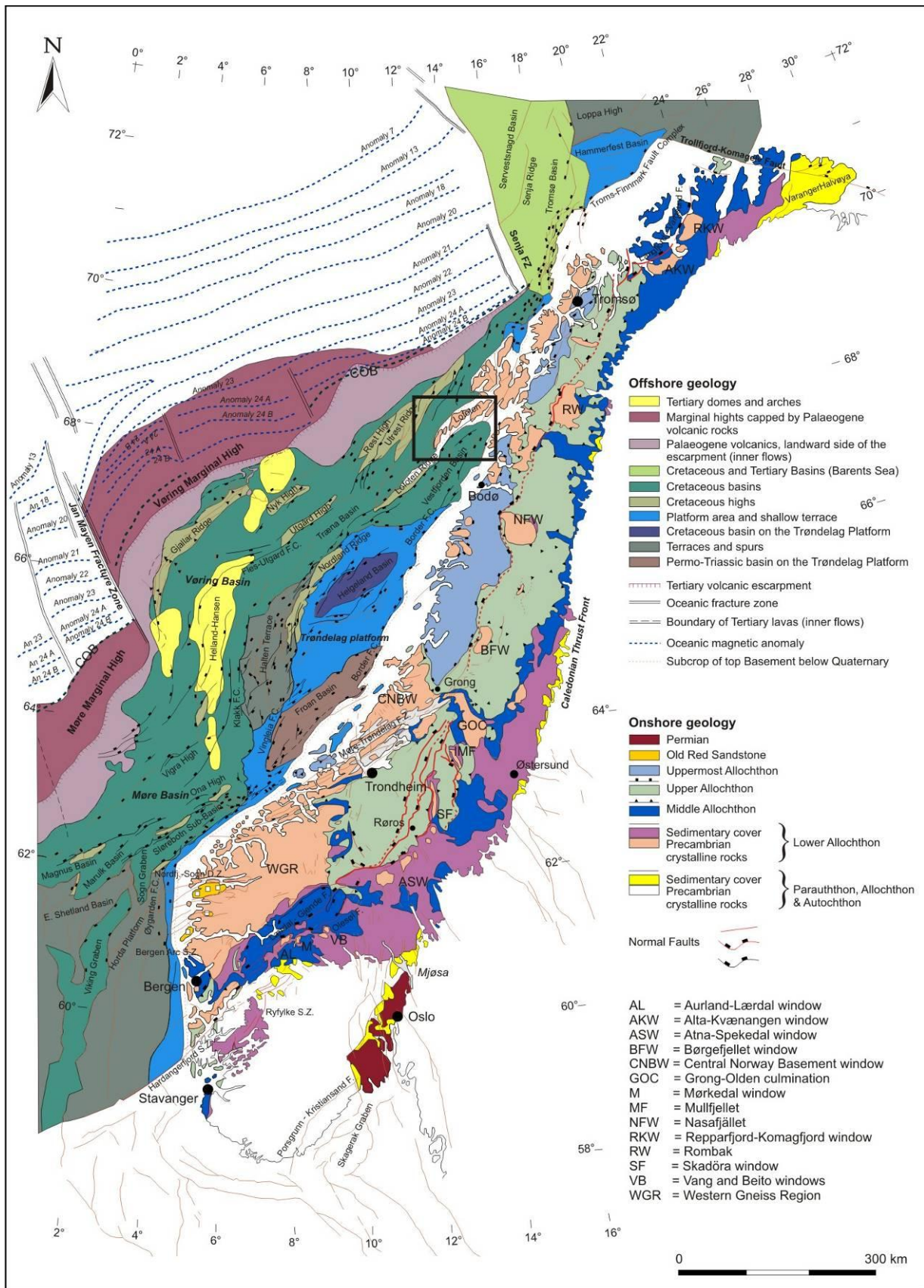
1.2 Områdebeskrivelse

1.2.1 Topografi og geografi

Lofoten er en øygruppe som strekker seg fra 67. til 68. breddegrad i NØ-SV retning, omtrent parallelt med kysten av Nordland (Figur 1.1). Den åpne Vestfjorden skiller Lofoten fra fastlandet. Sett østfra reiser Lofoten seg som en vegg ute i havgapet, kalt "Lofotveggen". De viktigste øyene er fra nord: Austvågøya, Gimsøya, Vestvågøya, Flakstadøya, Moskenesøya, Værøya og Røst. Studieområdet for denne oppgaven er Moskenesøya og Flakstadøya (innrammet på figur 1.2).

Brudd- (plan) To typer bruddplan forekommer;	en planar eller semiplanar diskontinuitet i en bergart forårsaket av ytre eller indre spenninger. (I) Tensjonsbrudd er dannet ved bevegelse vinkelrett på bruddflatene. Tensjonsbrudd kalles ofte sprekk, eller spalte når det er en viss åpning mellom bruddveggene. Tensjonsbrudd vil normalt øke permeabiliteten langs bruddsoner. Engelsk: joint. I følge tradisjonell terminologi i bergmekanikk: mode I bruddmekanisme. (II) Skjærbrudd benyttes om brudd hvor det har vært en bevegelseskomponent parallelt med bruddflatene, altså forkastninger. Skjærbrudd kan både redusere og øke permeabiliteten parallelt med bruddsoner. Engelsk: fault. I følge tradisjonell terminologi i bergmekanikk: mode II og III bruddmekanisme. (Braathen og Gabrielsen 2000)
Brudd-sett	gruppe av bruddplan med samme orientering (Braathen og Gabrielsen 2000)
Bruddlinje	lineære, rettlinjede fordypninger i terrenget forårsaket av høy bruddfrekvens og dermed en svakhetssone i berggrunnen. Det kan være sprekker, knusningssoner og forkastninger
Foliasjon	enhver mesoskopisk gjennomgående parallell orientering av planare <i>fabric elements</i> i en bergart, normalt matamorf (Davis og Reynolds 1996)
Lineament	en lineær eller sublineær struktur på jordas overflate som representerer en svakhetssone i berggrunnen (O'Leary et al. 1976)
Sprekk	en planar eller semiplanar diskontinuitet i en bergart, som kan sidestilles med tensjonsbrudd. (Braathen og Gabrielsen 2000)
Egg	smalt, kvasst fjellparti, gjerne utformet mellom to dal- eller botnbreer. (Geoleksi, http://alun.uio.no/geomus/leksi/)
Kløft	dyp kløft eller revne i berget (også kalt gjøl eller gil) med nær loddrette sider, gjerne utviklet langs en regional sprekeretning eller bruddlinje. (Geoleksi, http://alun.uio.no/geomus/leksi/)
Landformelement	(forkortet LFE og tolket i retningsanalysen), utgjør i denne oppgaven lineære strandlinjer, vannkanter, spisse rygger/egger/tinder, terrengkanter og daler
Poll	liten, rundaktig fjord med trangt innløp (ordnett.no)
Rygg	langt smalt område som hever seg over omgivelsene, gjerne med bratte sider (Geoleksi)
Strandlinje	skjæringslinje mellom strand og vann (ordnett.no)
Terrengkant	markant endring i helningsvinkel, <i>break of slope, slope break</i>
Trendlinjene	linje som er lagt over fjelltopper i profillinjene for å representere trendflater
Trendflater	hellende flater rekonstruert ved å kombinere flere trendlinjer. De kan representere rester av eller være tilnærmet parallelle med tidligere erosjonsflater
Vannkant	linje hvor vann og land møtes (ordnett.no)

Tabell 1.1. Liste over definisjoner.



Figur 1.1 Geologisk og tektonisk kart over Norge og kontinentalsokkelen (modifisert etter Mosar et. al 2002b). Lofoten er rammet inn.

Moskenesøya har et areal på 185.9 km² og er lokalisert 67°55'N, 13°0'Ø mens Flakstadøyas areal er 109.8 km² og har beliggenhet 68°5'N, 13°20'Ø (wikipedia.org). Moskenesøya har et typisk alpint landskap med mange botner. Høyeste fjell på Moskenesøya er Hermannsdalstind (1034 m o.h.). Et forgreinet fjordsystem innenfor Reine deler nesten opp øya.

Flakstadøya har noe roligere landskapsformer enn Moskenesøya. Men også denne øya har sine botner og fjellkammer. Et klart landskapstrekk er de tre høydedragene med nord- sørlig retning mellom Sundstraumen, Skjelfjorden, Flakstadpollen og Nappstraumen. Stjerntindan i midten av øya er høyeste fjell med 934 m o.h.

Lenger mot nordøst har Vestvågøya et ganske forskjellig landskap fra Moskenesøya og Flakstadøya. Landskapet er mer åpent, der strandflaten med mange vann og poller har større utbredelse. Men også her er fjellområdene preget av botner, botndaler og andre alpine former, særlig i øst. Himmeltindan sørvest på øya er høyeste fjell med 931 m o.h.

1.2.2 Klima

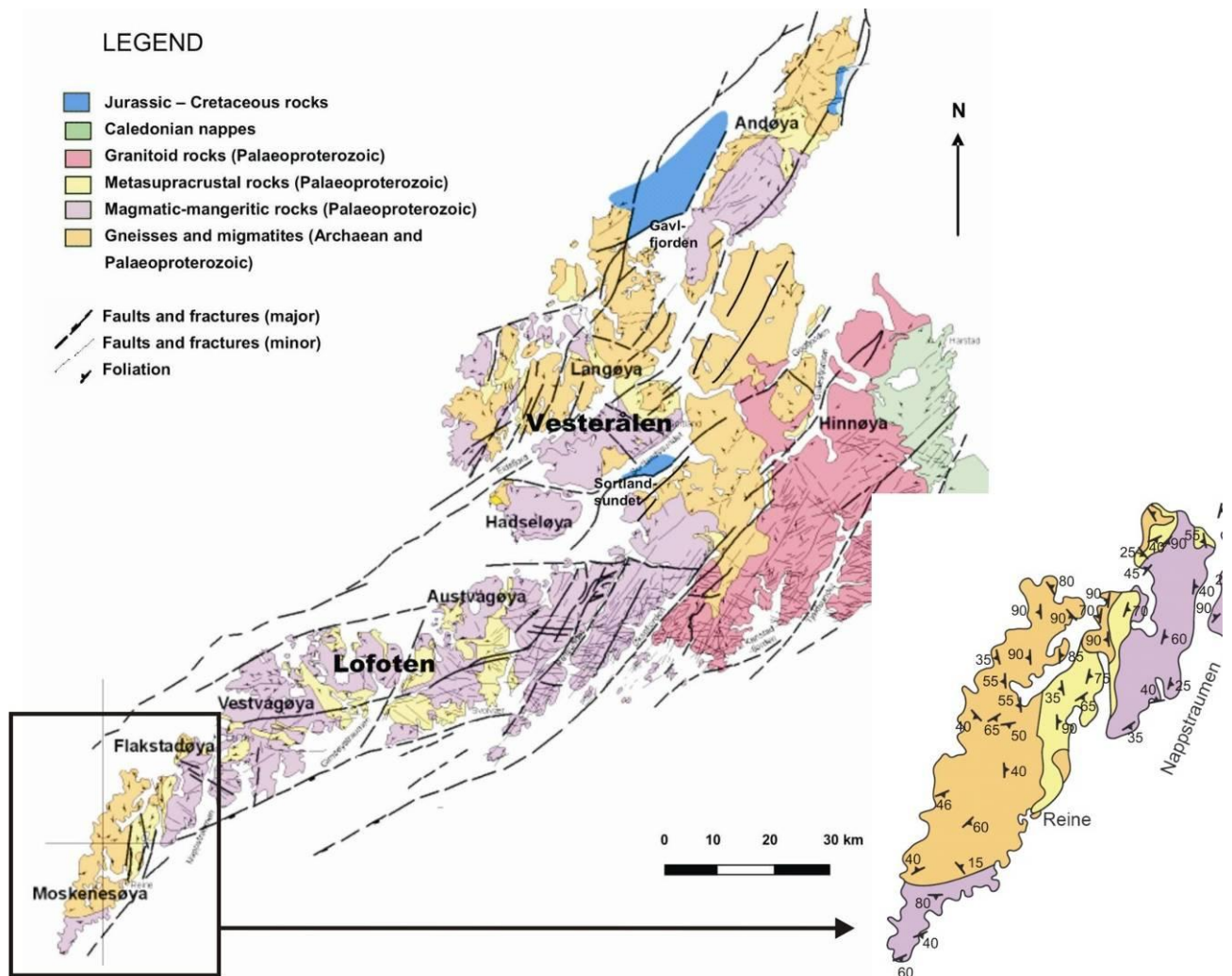
Lofoten har et mildt kystklima i likhet med resten av norskekysten, som følge av Den Norske Atlanterhavsstrømmen, en forlengelse av Golfstrømmen. Relativt varme vannmasser transporteres nordover. Lofotens beliggenhet gjør virkningen spesielt tydelig, og har derfor den største temperaturanomali i verden relativt til breddegrad. Det forrevne landskapet i Lofoten fører til varierende mengde nedbør og lokale variasjoner. I dag er ingen av botnene innenfor studieområdet okkupert av botnbreer.

1.3 Regional geologi

Dette kapittelet omhandler den regionale geologien der berggrunnen fremstilles først, deretter postkaledonisk tektonikk på land og på sokkelen før kapittelet avsluttes med berggrunns morfologi og kvartærgeologi.

1.3.1 Berggrunn

Berggrunnen i Lofoten består hovedsakelig av prekambrisk grunnfjell (*basement*), dannet i arkeisk til tidligproterozoisk tid (Figur 1.2). Disse prekambriske bergartene kan følges videre nordover som Vest-Troms grunnfjellskompleks (gneisregion), en betegnelse for bergartene fra Senja til Vanna (Corfu, F. et al. 2003; Corfu, F. 2004). Det antas at bergartene er paraautoktone og dermed tilhører det Baltiske skjold og er en forlengelse av grunnfjellsområdene i N-Sverige og N-Finland (Olesen et al. 1997). Lenger mot øst ligger en tykk sekvens med kaledonske skyvedekker over grunnfjellet (Olesen et al. 1997). Kysten i Nord-Norge viser liten påvirkning av den kaledonske fjellkjededannelsen/ orogensen, i motsetning til områdene i den vestre gneisregionen i Sør-Norge (Griffin et al. 1978; Corfu, F. 2004; Steltenpohl et al. 2004)



Figur 1.2 Geologisk og strukturelt kart over Lofoten som viser foliasjon og hovedretninger av forkastninger. Studieområdet er innrammet og vist til høyre med orientering og fall til foliasjonen (modifisert etter Tveten 1978).

Innenfor studieområdet er den eldste og mest utbredte bergarten tidligproterozoisk høymetamorf migmatittisk gneis (Griffin et al. 1978). Utsnittet på figur 1.2 viser berggrunnen og foliasjonen til berggrunnen i studieområdet.

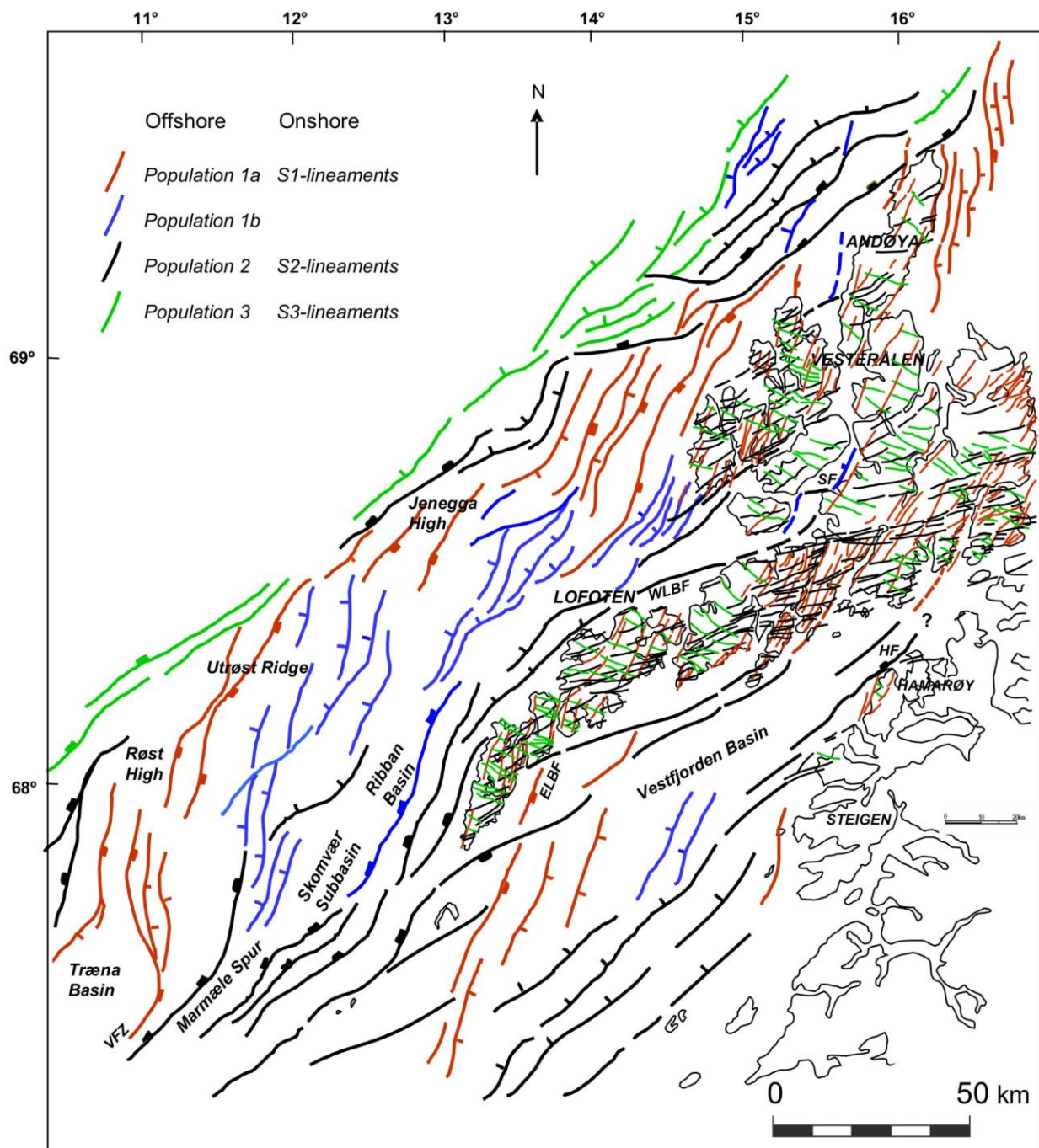
Magmatisk mangerittiske og charnokitiske bergarter finnes som store plutoner, for eksempel Sund-Ølkona og sørvest Lofoten mangerittkompleks. Anortosittiske bergarter er kartlagt sørøst på Flakstadøya (Markl et al. 1998; Corfu, F. 2004). Noen belter med overflatebergarter (metasuprakrustaler/ paragneiser) opptrer også. Bergartene er antatt å stamme fra lavere skorpe (Griffin et al. 1978; Malm & Ormaasen 1978; Corfu, F. 2004). En liten flik av kaledonske skyvedekker er bevart på Leknes (Leknesgruppen) på Vestvågøya.

Foliasjonen er variabel (Tveten 1978) både når det gjelder utvikling, orientering og fall. Det er likevel en dominerende strøkretning NNØ-SSV til NØ-SV med steilt til subvertikalt fall (Figur 1.2).

I denne oppgaven er strøk og fall til foliasjon interessant blant annet for å vurdere om disse prekambriske strukturer har hatt innflytelse på utvikling og orienteringen av post-kaledonske forkastninger og sprekker, og om paleiske overflater og strandflaten kan ha blitt utviklet langs, for eksempel subhorisontalt til slakt hellende fall til foliasjonen.

1.3.2 Postkaledonsk tektonikk

Øyene i Lofoten utgjør en horst i forhold til omkringliggende bassenger og er eneste eksponerte grunnfjell på kontinentalsokkelen utenfor vestkysten av Norge. Lofotryggen er avgrenset av hovedgrenseforkastninger, henholdsvis den vestre og østre Lofotgrenseforkastningen. Den komplekse sokkelen i områdene rundt Lofoten er ellers dominert av bassenger (grabener og halvgrabener) og rygger (horst), som er avgrenset av marginparallelle omtrent NØ-SV strykende listriske normalforkastninger (Figur 1.1 og 1.3). Andre dominerende rygger er Utrøst-, Røst- og Jenegga ryggen. Viktige basseng inkluderer Røst-, Ribbe-, Træna- og Vestfjorden- bassenget, og er fylt med opptil 7 km med sedimentære bergarter av hovedsakelig kritt alder (Løseth and Tveten 1996; Olesen et al. 1997; Tsikalas, F. et al. 2001; Tsikalas et al. 2005; Bergh et al. 2007).



Figur 1.3. Regionalt kart som knytter sammen forkastninger på land i Lofoten og Vesterålen med forkastninger på den omkringliggende marginen (Bergh et al. 2007).

De nevnte strukturene på sokkelen og hovedtrekkene i landskapet i Lofoten er primært et resultat av rifting og passive platemargin ekstensjon i mesozoikum og kenozoikum. Lofoten er en del av en kompleks horst som ble dannet i dette tidsrommet (spesielt kritt) gjennom bevegelser langs hovedgrenseforkastningene, og senere hevet i kenozoisk tid.

Omtrent vinkelrett på orienteringen til disse platemarginstrukturene (vinkelrett på spredingsryggen) deler NV-SØ orienterte transformsoner (havbunnstransformer med

sidelengse bevegelser) den norske kontinentalmarginen opp i fire segmenter; Møre, Vøringen, Lofoten-Vesterålen og Vest Barentshavet marginen (Figur 1.1). Lofoten-Vesterålen marginen er avgrenset i nord av Senja fracture zone og i sør av Bivrost fracture zone (Tsikalas, F. et al. 2001; Tsikalas et al. 2005). Det er foreslått at det finnes flere liknende transfersoner innenfor Lofoten- Vesterålen marginen (Tsikalas et al. 2005), men i flere studier er ikke disse observert (Bergh et al. 2007). Bredden til kontinentalsokkelen er smal utenfor Lofoten- Vesterålen, men endres markant sørover mot den brede Vøringen-marginen. I tillegg til denne topografiske høyden er Lofoten også et område med høye gravitets- og magnetiske målinger.

Etter den kaledonske fjellkjedefoldingen i silur og tidlig devon startet rifting av den norske kontinentalmarginen. Riftingen startet i perm og varte til kritt, med hovedfase i sen-jura (Doré et al. 1999). Denne begynnende mesozoiske ekstensjonen har blitt relatert til kjernekompleks dannelse og store detachement forkastninger gjennom devon og karbon (Løseth and Tveten 1996). Den mesozoiske ekstensjonen med strekking av skorpen har også ført til de komplekse strukturene av horst, grabener og forkastninger man finner på sokkelen utenfor Lofoten og Vesterålen.

I tidlig tertiær, for omtrent 53 Ma siden, var riftingen kommet så langt at det ble dannet havbunnskorpe i Nord- Atlanteren, og Norskehavet utvidet seg i flere faser langs ulikt orienterte spredningsakser (Doré et al. 1999). De sene stadier av riftingen har også ført til tynning av skorpen til dagens tykkelse på 20 km (Nordgulen et. al. 2006), som igjen har medført en grunn høytetthetsmantel og oppheving av dypskorpe-bergartene som finnes eksponert på øyene idag. Det er også årsaken til de høye gravitetsverdiene i området.

Lineamentanalyser av den norske marginen viser en dominans av NØ-SV, N-S og NV-SØ retninger (Doré et al. 1999). Lineamenter på land i Lofoten antas å belyse den postkaledonske tektonikken og utgjør samme forkastninger som på sokkelen. Tidligere lineamentanalyser viser hovedretningene N-S til NNØ-SSV, NØ-SV til Ø-V og NV-SØ (Gabrielsen et al. 2002).

Ulike modeller for ekstensjonshistorien langs den passive marginen har blitt foreslått. Landområdene og sokkelområdene utenfor Lofoten ser ut til å ha hatt en lik ekstensjonshistorie med flere faser av forkastningsbevegelser, innsynkning og oppheving, og omdannelse av skorpe gjennom mesozoikum og kenozoikum (Bergh et al. 2007; Eig et al.

2008). Wilson et al. 2005 foreslår på den andre siden at alle brudd/lineamenter på land i Lofoten utviklet seg gjennom en fase med ensidig NV-SØ orientert ekstensjon. Som en følge av ekstensjonen oppsto flere sett med ekstensjonsforkastninger og oblique-normale forkastninger og sprekker. Forkastningsgeometrien er stegvis til sikksakk med varierende orientering og fallretning (Løseth and Tveten 1996; Tsikalas, F. et al. 2001; Tsikalas et al. 2005; Bergh et al. 2006; Bergh et al. 2007; Eig et al. 2008).

Bergh et al. (2007) og Eig et al. (2008) har dokumentert et lineamentsmønster som er karakterisert av tre forskjellige forkastningspopulasjoner (Figur 1.3 og 1.4):

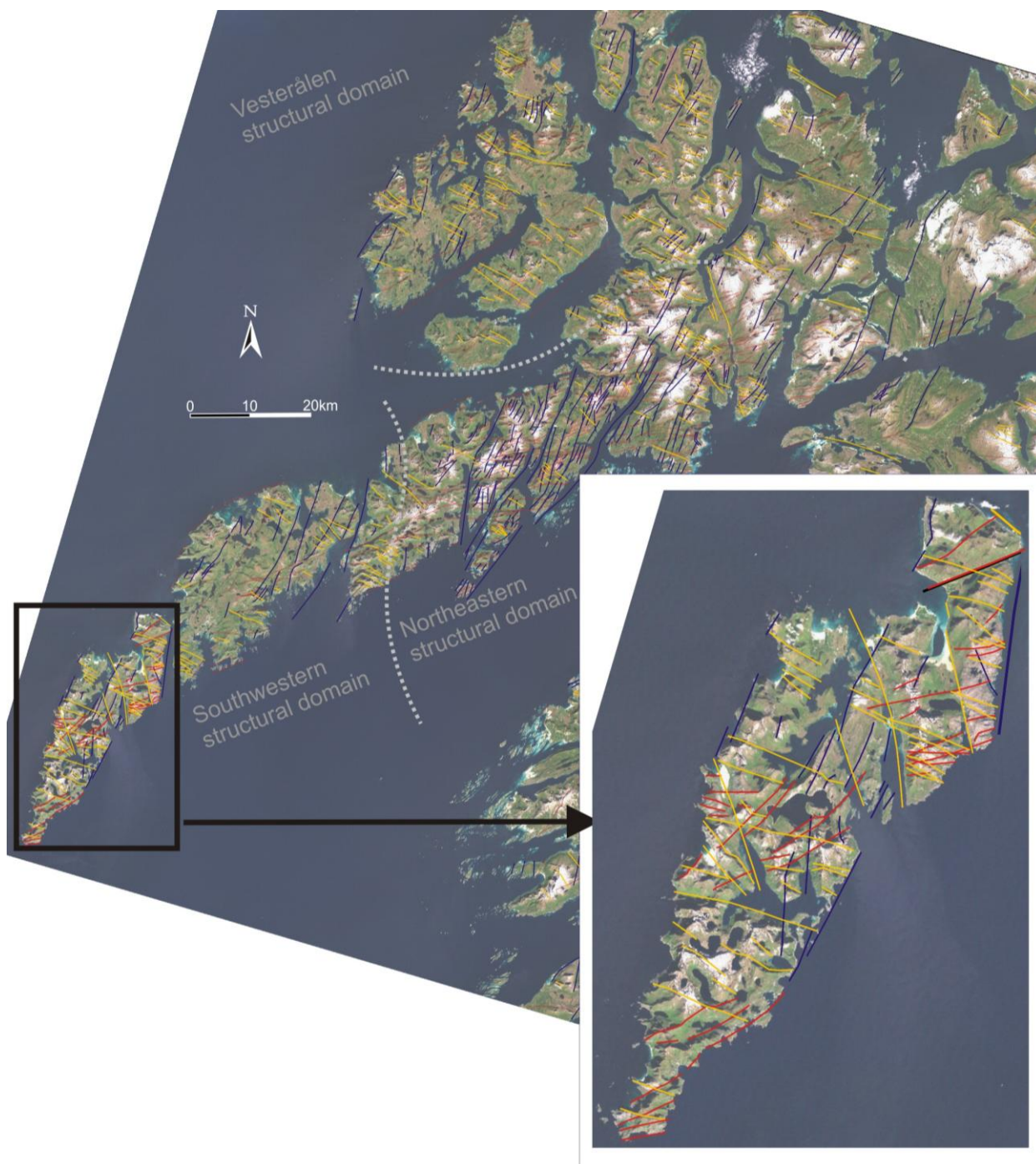
- 1) Populasjon 1 representerer NNØ-SSV strykende listriske detachmentforkastninger med fall mot ØSØ (1a) og VNV fallende antitetiske planare normalforkastninger (1b) på sokkelen, og kombinerte ekstensjonsbrudd og dekstralt reaktiverte skjærbrudd (S1) på land.
- 2) Populasjon 2 definerer NØ-SV strykende normalforkastninger (fall mot NV og SØ) som avgrensner hovedbassenger og Lofotryggen på sokkelen, og regionale normalforkastninger og høyrelengs/dekstrale transtensjonsforkastninger med strøk ØNØ-VSV på land (S2).
- 3) Populasjon 3 representerer NV hellende normalforkastninger som markerer sokkelkanten offshore, og konjugerte VNV-ØSØ strykende ekstensjonsbrudd (steilt fall mot NNØ) og Riedelskjær bruddsett på land (S3).

Den gjensidige påvirkningen av forkastninger og brudd i populasjon 1a, 1b og 2 danner det regionale sikksakk mønsteret i Lofotryggen.

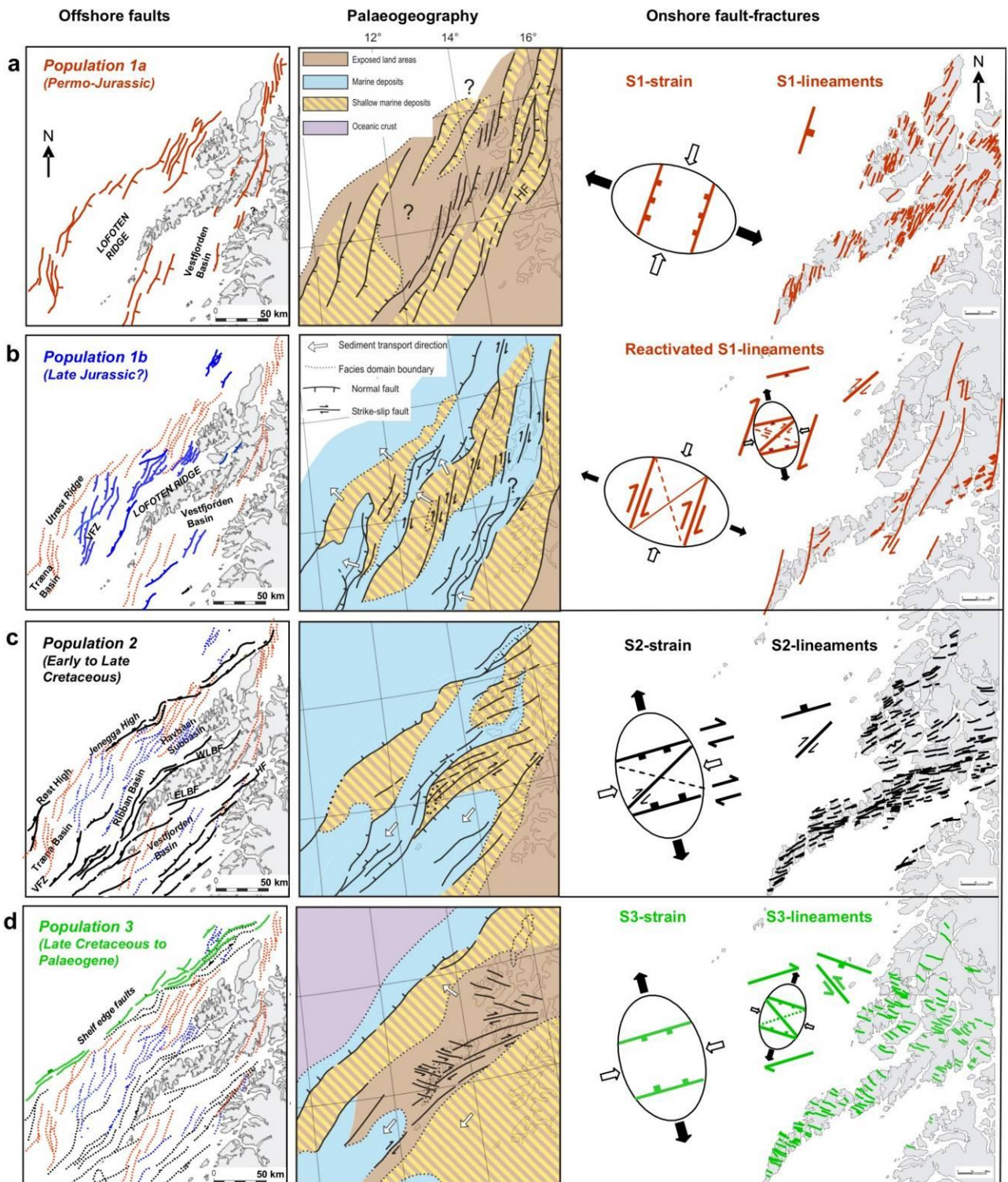
Bergh et al. (2007) og Eig et al. (2008) foreslår følgende tektonisk modell som gjelder både på land i Lofoten og for utenforliggende sokkel (Figur 1.5):

- (1) Tidlig rifting fra perm til jura gjennom tidligkritt med VNV-ØSØ ekstensjon etterfulgt av NNV-SSØ orientert oblique- ekstensjon og høyrelengs skjær har ført til dannelsen av populasjon 1a, 1b og S1 forkastninger.
- (2) Fra tidlig til sen kritt hoved syn-rifting med NNV-SSØ skrå ekstensjon og lateral reaktivering som fører til dannelsen av populasjon 2 og S2 forkastninger.
- (3) Senkritt gjennom paleogen post-rifting med fortsettende skrå ekstensjon i et regionalt NNV-SSØ ekstensjonsfelt som danner populasjon 3 og S3.

Denne utviklingen av forkastninger og brudd underbygger en rotasjon av det regionale stressfeltet, med klokken, fra perm til paleogen (Bergh et. al 2006, 2007).



Figur 1.4. Satellittbilde over Lofoten og Vesterålen med tolkede lineamenter (modifisert etter Eig et. al 2008). Hovedretninger til lineamenter er NNØ-SSV (svart), NØ-SV til Ø-V (rød) og VNV-ØSØ til NNV-SSØ (gul). To strukturelle domener er fremtredende i Lofoten, *det sørvestlige* og *nordøstlige strukturelle domene*. *Vesterålen strukturelle domene* utgjør det tredje strukturelle domene.



Figur 1.5. Kronologisk og kinematisk modell over forkastningsutviklingen på sokkelen (til venstre) og på land (til høyre) (Bergh et al. 2007) kombinert med bassengrestaurering, avsetning av sedimenter og paleogeografi for Lofoten og Vesterålen (Brekke et al. 2001; Hendriks et al. 2003; Statoil, upublisert). Legg merke til rotasjon av det regionale stressfeltet som forklarer de ulike forkastningspopulasjonene på land.

Den tektoniske utviklingen og de nevnte ekstensjonsstrukturene både på sokkelen og på land i Lofoten, antas å ha hatt stor betydning for landskapsutviklingen i sen- kenozoikum, i hvertfall lokalt (Bergh et. al 2006, 2008).

For det første er de harde og meget motstandsdyktige bergartene i Lofoten med på å gi landskapet den forrevne alpine opptreden. Steile bruddplan og forkastninger er også med på å kontrollere utviklingen av det typiske alpine landskapet i Lofoten. Blant annet ser man lineære fjellrygger med steile skråninger (forkastninger) som er antatt å være tektonisk kontrollert. Det er også observert slakere hellende flater som kan gjenspeile mesozoisk (krittassisk) blokkrotasjon slik man finner på sokkelen. Slike tektonisk kontrollerte blokker har en dominerende effekt på landskapet (Bergh et. al 2008).

1.3.3 Berggrunns morfologi

Reusch (1901) var en av de første som prøvde å beskrive og forklare Norges landformer, og det var han som introduserte begrepene paleisk overflate og strandflate. Senere studier er blant annet gjort av Ahlmann (1919), Undås (1938), Møller og Sollid (1972), Møller og Sollid, (1973), Peulvast (1985), Peulvast (1986) og Peulvast (1988).

Det er *fire* ulike storskala geomorfologiske landformer som er karakteristisk for Lofoten (Figur 1.6):

- 1) alpine tinder, egger og steile skråninger
- 2) godt utviklede botner, botndaler og botnfjorder
- 3) strandflaten
- 4) paleisk overflate (høyereliggende hellende flater)

1) Det typiske alpine landskapet står for de mest slående landformene i Lofoten. Topper og tinder opp mot 1100 m o.h., skarpe kammer og egger skiller botner, botndaler/sekkedaler, Udaler og fjorder fra hverandre. Spesielt lengst vest i Lofoten, på Moskenesøya har landskapet et forrevet, vertikalt preg, der steile fjellvegger stuper rett ned i havet eller innsjøer. Dette gir et imponerende alpint landskap og vitner om lokalglasiasjon.

2) Botner og botndaler er veldig godt utviklet, og mange er erodert betydelig under dagens havnivå, spesielt i sørvest (blant annet Djupfjorden). Noen av fjordene, for eksempel ved

Reine, kan være delvis utviklet som botnfjorder. I flere av botnene finnes meget dype vann i forhold til overflateareal (opp til 172 m dyp, Strøm 1948). Eksempler er Reinevatnet, Stuvdalsvatnet og Trolldalsvatnet. Moskenesøya er spesielt rik på botner der botnsjøer utgjør 28 av 206 km² (Byland 1938). Erosjonen fra botnbreer har sterkt medvirket til det typiske alpine landskapet.

Botner i Skandinavia er oftest mellom 500 og 1500 m i diameter, med en dybde mellom en halv og en kvart av diameteren. Botner langs kysten er ofte mindre enn botner i innlandet. Formen varierer fra grunne fordypninger til de mer typiske halvsirkulære skålformede botnene med bratte sidevegger og steil bakvegg. Ofte finnes en markert fjell- eller moreneterskel i forkant. I innlandet opptrer de fleste botner over 1000 m o.h. mens nærmere kysten kan de ligge nærmere havnivå (under havnivå som på Moskenesøya er sjeldent). Botner i Skandinavia er ofte orientert mot NØ, Ø og SØ og reflekterer klimatiske forhold (Rudberg 1994; Corner 2005b).

I begynnelsen kan dannelsen av botner være en brattskrent eller mindre bakkehelling i terrenget, som kan ha vært strukturelt kontrollert, der snø har akkumulert og senere går over til is (Rudberg 1994). Når botnbreen er stor nok begynner den å erodere både bakover og nedover. De steile skråningene som dannes er særlig utsatt for frostforvitring og ras og fører til en videre horisontal utvidelse (Nesje 1995; Trømborg 2006).

Utformingen av botnene er også nøye avhengig av berggrunnen (Møller og Sollid 1973). De motstandsdyktige bergartene i Lofoten har også betydning for den ”vertikale” erosjonen (Strøm 1948) og er med på å gi landskapet det alpine preget.

Møller og Sollid (1973) har gjort statistikk på retningen av botner i Vesterålen og funnet at orienteringen på botnene faller sammen med de kaledonske strukturene. Utbredelsen av botner innenfor studieområdet er inkludert på det geomorfologiske kartet over Lofoten-Vesterålen av Møller og Sollid (1973), (Figur 1.6).

3) Strandflaten er et område som karakteriseres av lavtliggende horisontalt til svakt hellende land, øyer, holmer og grunne havområder som kutter seg relativt horisontalt inn i landblokken

(Strøm 1948, Corner 2005a). Innenfor dette kystlandskapet, inn mot fastlandet er det ofte en bratt fjellskråning. Strandflaten strekker seg langs norskekysten fra nordlige Jæren til sørlige Finnmark. Bredden på strandflaten varierer fra 60 km utenfor Nord-Møre og Sør-Trøndelag til å nesten være helt borte andre steder som ved Stadt. Strandflaten kan finnes i sonen fra maksimalt 100 meter over, og 40 meter under havnivå (Corner 2005a). I undersøkelsesområdet er strandflaten noen steder godt utviklet, med størst utbredelse under havnivået i vest (Figur 1.6), (Møller og Sollid 1973).

Flere forfattere har beskrevet strandflaten og dannelsen har vært diskutert. Marin abrasjon (Reusch 1894, Strøm 1948), frostforvitring og sjøis-prosesser (Nansen 1904, 1922), fluviale prosesser (Ahlmann 1919), glasial erosjon (O. Holtedahl 1929) har vært foreslått, mens Gjessing (1967) hevder utgangsformen for strandflaten var den paleiske overflaten. Klemsdal (1982) og H. Holtedahl (1959, 1998) mente det var en kombinasjon av flere av de nevnte prosessene som var ansvarlige for utformingen av strandflaten. Flere agenser har influert på dannelsen, og de kan ha hatt ulik betydning fra sted til sted. Frostforvitring og sjøisprosesser i kvartær er trolig hovedfaktorene, som Nansen allerede antydte i 1904.

4) I sterk kontrast til disse yngre alpine og andre kvartære landskapsformer, finnes rester av jevnere overflater med avrundede former, som i mindre grad har blitt påvirket av glasial erosjon. Denne flaten kan betegnes som paleisk overflate, som betyr gammel overflate. Normalt har slike modne landskap slakt hellende skråninger, med heier og bassenger. Rekonstruerte konturkart av den paleiske overflaten viser at den har et betydelig relieff der flere nivåer kan observeres i mange områder (Corner 2005b og referanser der). Også innenfor studieområdet er det beskrevet overflater ulik høyde. Peulvast (1988) skiller ut minst tre topografiske nivåer. Paleisk overflate kan rekonstrueres ved å trekke linjer gjennom toppene som ligger i en høyde på 700-1200 m o.h. Ahlmann (1919) registrerte den paleiske overflaten for Lofoten i en høyde på 3-500 m o.h. Platå i denne høyden danner dermed et trinn mellom fjelltopper og strandflaten (Peulvast 1988). Paleisk overflate kan dermed bestå av en (den øverste) eller flere flater, avhengig av hvordan man ønsker å bruke begrepet. I denne oppgaven er det valgt å bruke begrepet paleisk overflate som betegnelsen på høyereliggende slakt hellende flater og flater rygger som er lite glasialt erodert og dermed har bevart sine prekvartære former.

Dannelsen til den paleiske overflaten er omdiskutert. Gjessing (1967) mener at flaten er dannet ved kjemisk forvitring eller dypforvitring i et varmere arid klima, med flatedannende prosesser, i tertiær. Antakelig var det et tropisk varmt vekslende klima, med store nedbørmengder som ble avløst av tørrere perioder, noe som førte til en dyptgående kjemisk forvitring, med flatedannende prosesser. Mot slutten av tertiær ble klimaet stadig kjøligere og rennende vann og frostforvitring tok over som dominerende agenser der elvemønstre med vide V-daler etter hvert utviklet seg. Etter kraftig breerosjon og *hill slope retreat* i kvartær, er det i dag bare små rester igjen av den paleiske overflaten (Figur 1.6) (Gjessing 1967; Møller og Sollid 1973; Klemsdal 1993; Stuevold og Eldholm 1996; Lindmar-Bergstøm et al. 2000). Det er åpenbart at det er en sammensatt flate. Varierende fra sted til sted ble den utformet og slitt ned til et flatere lavland hovedsaklig gjennom dypforvitring i mesozoikum og forvitring og erosjon i tertiær, før glasial erosjon formet landskapet gjennom kvartær (Corner 2005b).

I løpet av tertiær hevet området seg. Ulike årsaker til denne tertiære landhevingen av Fennoskandia har blitt foreslått. Åpning av Norske-Grønlandshavet i paleocen er foreslått som årsak av bl.a. Torske (1972), Peulvast (1985, 1986) Riis og Fjeldskaar (1992). Rift skulder oppheving og varierende stress er foreslått av Dorè (1992). Isostatisk kompensasjon etter erosjon av landmassene har også hatt en effekt på opphevingen (Riis 1996). Tektonikk og andre jordskorpebevegelser (også som følge av senere glasial og fluvial erosjon, og isostatisk oppheving) over millioner av år har forårsaket opphevingen og ført til at den paleiske overflaten har fått sin nåværende høyde over havet.

Det kan antas at det har vært en ujevn glasial erosjon (*differential erosion*), med konsentrasjon langs fordypninger, fjorder, botner osv. Noen høyereliggende områder har derimot unngått isstrømmer eller botnbreer og er i mindre grad erodert. Derfor er den paleiske overflaten noen steder bevart.

1.3.4 Kvartærgeologi

1.3.4.1 Kvartærhistorie

Mot slutten av tertiær var det en gradvis klimaforverring som ledet til glasiasjoner og perioden kvartær som startet for 1,8 millioner år siden. Gjennom de siste 5,32 Ma, og epokene pliocen, pleistocen og holocen har klimaet fluktuert og tilsynelatende fulgt Milankovic sykler

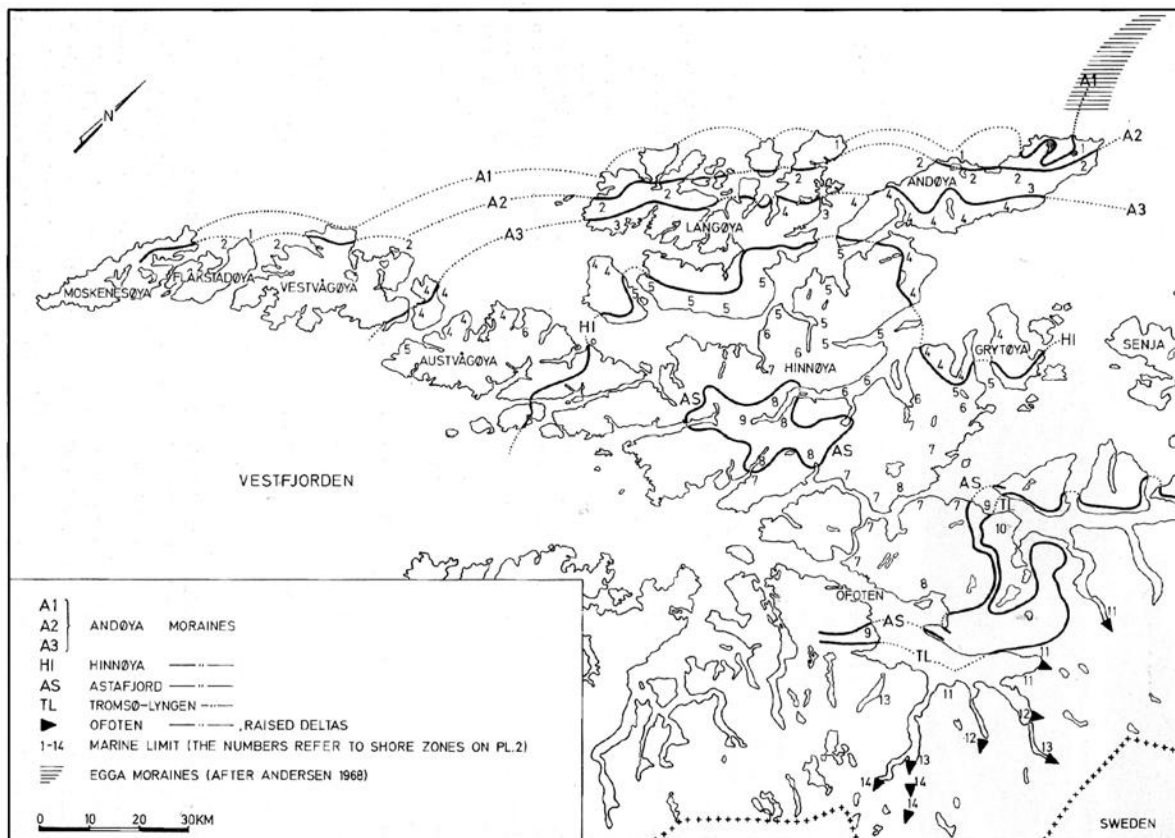
på 100 ka, 41ka og 23 ka. Det har gitt veksling mellom mer enn 20 glasialer (istider) og interglasialer (mellomistider). Innenfor hver istidsperiode vekslet det mellom interstadialer og stadialer. Havnivået sank og steg ettersom isbreene ble bygget opp og smeltet (Mangerud et al. 1996, Vorren og Mangerud 2006). Isbreenes erosjon er ansvarlig for en stor del av utviklingen av landskapet i Lofoten.

1.3.4.2 Deglasiasjon

Under siste istids maksimum (LGM), i sen weichsel, rundt 20-18 ka ¹⁴C BP var innlandsisens utbredelse helt ute ved Eggakanten. Der kalvet breen og det ble avsatt submarine morenerygger (Olsen 2002). Mange undersøkelser er gjort på Andøya og flere antyder at det var isfrie områder her 19-18,5 år ka BP (f.eks. Møller og Sollid 1972; Vorren et al. 1988). Kontinentalsokkelen ble deglasiert mellom 16 og 13 ka BP, avbrutt av flere opphold eller framrykk (Vorren et al. 1983).

Det er gjort få studier av deglasiasjon i Lofoten. Trolig fordi det nesten ikke finnes glasiale eller glasifluviale avsetninger som kan relateres til en regional isbre. Vesterålen og Lofoten var trolig det første området som ble deglasiert i Norge (Undås 1938; Grønlie 1940, 1951; Vorren 1978; Vorren et al. 1988; Fjalstad 1997). Lofotens beliggenhet ute i havgapet er forenelig med en slik teori.

Møller og Sollid (1972) har påvist tre israndstadier (Figur 1.7) fra Moskenesøya over Andøya og Langøya. Under siste istids maksimum dekket innlandsisen Lofoten, og grensen er representert ved endemorener/ isfrontakkumulasjoner (A1 18,000- 20,000 år siden) som lå like utenfor øyene. Noen av de ytterste oddene og nesene i Lofoten kan ha vært isfrie. A2 morener (15,000- 16,000 år siden) på Moskenes og Vestvågøya representerer neste steg i tilbaketrekkingen. Samtidige morener finnes på Napp og Ramberg på Flakstadøya, og trolig er de små morener på Reine og i Å på Moskenesøya fra samme tid. Marin grense på vestsiden av Flakstadøya er 26-28 m o.h. under samme periode (Møller og Sollid 1972). Disse to stegene i deglasiasjonshistorien er de eneste som er dokumentert i sørlige deler av Lofoten, og underbygger den tidlige deglasiasjonen av Lofoten.

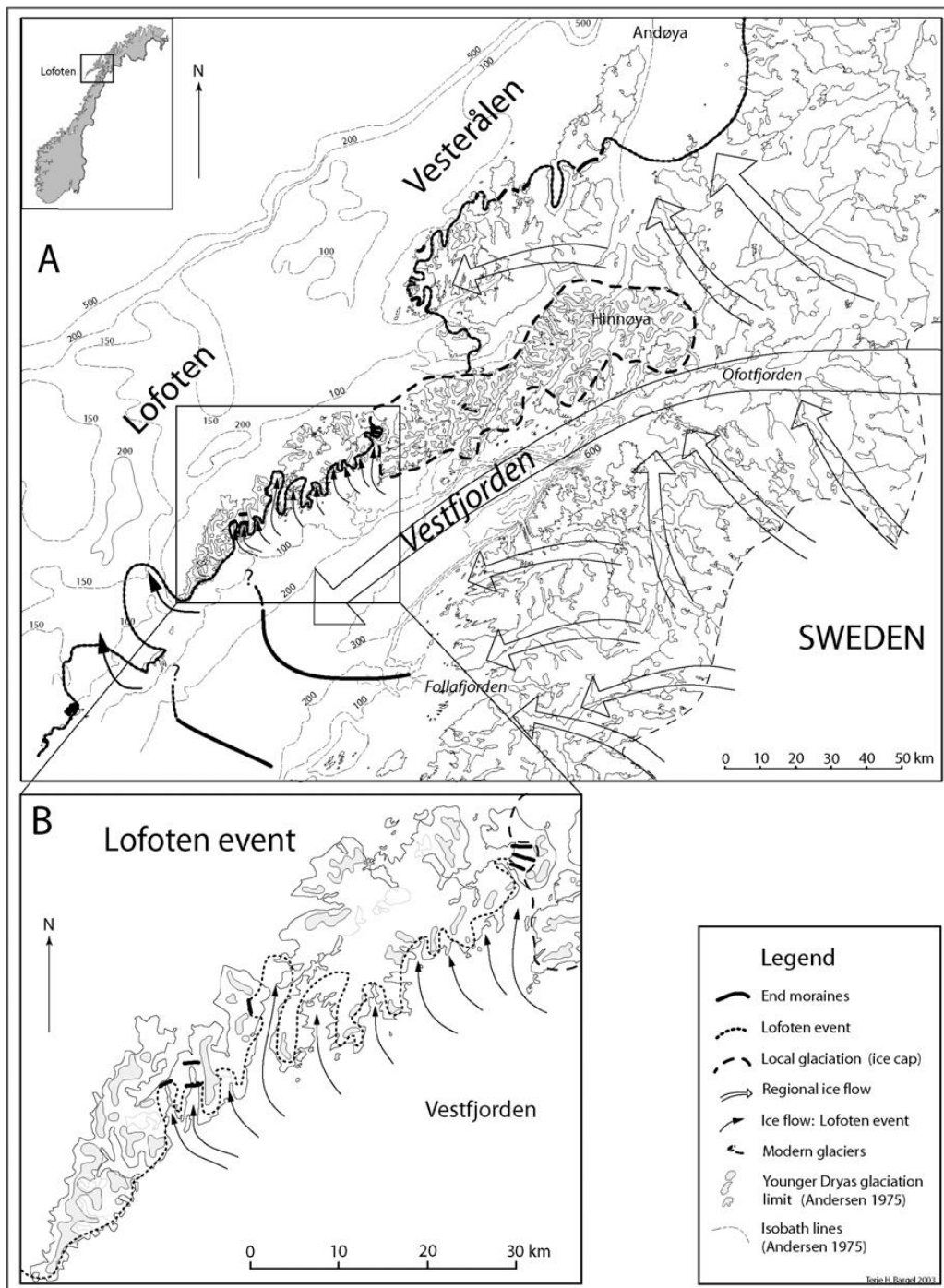


Figur 1.7. En deglasijsjonskronologi med israndstadier basert på den regionale strandforskyvningen (Møller og Sollid 1972).

Den kalde perioden yngre dryas medførte brefremrykk av lokale breer når innlandsisen lå langt mot øst. Mange av de tydeligste avsetningene finnes som moreneterskler i munningen av mange botner og botndaler som stammer fra denne perioden (Møller og Sollid 1972).

Bargel (2003) har kartlagt og delvis nytolket morener i Lofoten og foreslår en ny deglasijsjonsmodell (Figur 1.8). Denne modellen innebærer bl.a et brefremrykk og intens lokalglasijsjon, kalt "Lofoten event" med en antatt alder på omkring 13,5 ka BP. I denne perioden er det antatt at lokale breer vokste sammen med innlandsisen. Modellen underbygger at de sørvestligste delene av Lofoten i lange perioder har hatt lokalglasijsjon.

Istykkelsen under siste istids maksimum, og spørsmålet om nunataker (der de høyeste fjelltoppene stakk opp av isdekket) har blitt diskutert (jfr. Bergstrøm 1959; Undås 1967; Mangerud 1973). Møller og Sollid (1972) beregnet gjennomsnittlig istykkelse over Lofoten til 6-700 m o.h. som vil gi en øvre grense for isoverflaten på 1700-1800 m o.h. Strandlinjediagram (shore zone diagram) fra Møller og Sollid (1972) indikerer at de høyeste



Figur 1.8. Kart over Nordland med rekonstruksjon av *Lofoten event*, med isstrømmer. Lokalglasiasjon på Austvågøya er forenelig med lokale breer. De korrelerende morenene er også vist. (Fra Bargel 2003).

fjellområdene ikke var fullstendig dekket av is. Spørsmålet om nunataker er ikke løst, men det er rimelig å anta at mange av fjelltoppene langs kysten stakk opp over innlandsisen.

En isstrøm ut Vestfjorden under siste istid, dannet en av de største dreneringsveiene for den Fennoskandiske innlandsisen og hindret store ismasser fra å nå landområdene i Lofoten og sokkelen utenfor (Laberg et al. 2005, 2007; Ottesen 2005). Lofoten- Vesterålen hadde derfor

en egen passiv lokal iskappe under siste istids maksimum (Ottesen 2005; Laberg et al. 2005). Dette førte til at innlandsisen sin eroderende effekt i lange perioder var liten i Lofoten, og det har vært lange perioder med lokalglasiasjon.

Landskapet, berggrunns morfologien og avsetningene i de sørligste delene av Lofoten, samt havbunns morfologi i Vestfjorden (Laberg 2005, 2007) viser tydelige tegn på at området har hatt lange perioder med lokalglasiasjon. Likevel må innlandsisen flere ganger ha dekket området og transportert erosjonsproduktene ut på sokkelen. Ellers skulle det vært mye mer løsmasser på land, og morenene foran botnene skulle vært mye større og ført til at erosjonen stoppet av seg selv (Vorren og Mangerud 2006).

1.3.4.3 Kvartære avsetninger

Både på Moskenesøya og Flakstadøya er det generelt relativt lite løsmasser, noe som tyder på at innlandsisen må ha plukket med seg det meste av materiale i den siste perioden. På strandflaten ligger løsmasser spredt og er bølgevasket. På flere strender på yttersida er det avsatt til dels store mengder kalkrik sand (Møller og Sollid 1972).

Talusjegler/skredvifter finnes nedenfor steile skråninger (næringer) og i mindre grad i slakere skråninger. Disse er dannet ved steinsprang og andre skråningsprosesser og viser at forvitringen (frostforvitring, eksfoliasjon) er aktiv også i dagens klima.

1.3.4.4 Forvitringsformer

Eksfoliasjon (avskalling) i området er dannet ved trykkavlastning i berggrunnen av to ulike årsaker; bortsmelting av breer etter hver glasiale periode og fjerning av bergartsmasser på grunn av erosjon og forvitring (Trømborg 2006). Flak parallelt med overflaten løsner og sklir ned fra fjellet. Dette har vanligvis ingen sammenheng med strukturen i berggrunnen. Mange av de bratte skråningene, spesielt fjellveggene i botnene i Lofoten, viser dette fenomenet.

2. Metoder

2.1 Datainnsamling og feltarbeid

Feltarbeid ble gjennomført sommeren 2007, der landskapet ble observert og fotografert, og det ble foretatt strukturmålinger. Orientering av strukturell data er innsamlet med Silvia kompass med libelle og klinometer. Det ikke er korrigert for magnetisk misvisning i fremstillingen av bruddplan. Ved Sund på Flakstadøya er misvisningen i dag $\sim 5^\circ$ østlig i forhold til nordpilen på kartene som er brukt i oppgaven. Det vil si at alle bruddmålinger skulle vært justert 5° mot klokken. Ved målinger av bruddplan og foliasjon er høyrehåndsregelen benyttet. Strøk og fall er oppgitt med 360/90.

To metoder beskrevet av Davis og Reynolds (1996) ble benyttet ved innsamling av orienteringsdata for sprø bruddplan: 1) *Selection method*: Bruddplan som representere hovedtrendene innenfor et område blir målt. Metoden innebærer en subjektiv utvelgelse av bruddplan og bruddretninger med fare for at noen retninger blir favorisert. Ved lokalitetene Å, Tind og Gloppen ble bruddplan med hovedsakelig tre retninger målt. 2) *Inventory method*: Alle bruddplan innenfor et område blir målt. Denne metoden ble benyttet for alle lokalitetene innenfor provinsene Moskenes N og Flakstad.

Strukturelle orienteringsdata blir presentert som stereografisk projeksjon i stereonett og som roseplott. Det er benyttet Schmidt stereonett der projeksjonen er arealtro, dvs. at alle rutene har samme areal. Data er fremstilt som plottede plan, polplott av planene og konturerte polplott i undre halvkule. I roseplottene representerer hver sektor 10° mens hver ring utgjør ulik % av totalt antall. Retningen av landformelementer (LFE) i den geomorfologiske analysen er også fremstilt i rosedigram. Programvaren som er brukt er *StereoNet for Windows, version 3.01*, utviklet av Per Ivar Steinsund, Universitetet i Tromsø.

2.2 Kart

Følgende topografiske kart er benyttet:

Fra Statens Kartverk Norge i 1:50 000 serie:

Kartblad 1830 I Lofotodden

Kartblad 1031 III Moskenesøy

Kartblad 1031 II Leknes

Fra Turkart i 1:100 000 serie:

Lofoten

2.3 Flyfoto

Flyfoto for hele studieområdet ble studert stereoskopisk med hjelp av stereobriller og med stereolupe (Old Delft ODSSIII). Flybildene ble digitalisert og tolkningene ble gjort i *CorelDraw X3*. Flybildene er tatt av Fjellanger-Widerøe (1984) og tilhører serien 8388. Den originale målestokken er 1:30000. Det ble plukket ut to områder med klare lineamenter/bruddlinjer. Bildenummeret til flyfotoene som er brukt i oppgaven er G-5 Moskenes, D-8 Sund og C-5 Skjelfjorden. Utsnitt av disse er forstørret eller forminsket til ulike målestokker.

Digitale flyfoto med farger hentet fra "Norge i bilder" ble også benyttet og studert i *ArcGIS*. Flybildeutsnittet over nordøstlige Flakstad ble tolket i *ArcMap*, der retningen til bruddlinjene kan beregnes.

2.4 Programvare og kartanalyse

I oppgaven er følgende dataprogrammer brukt for redigering av kart, bilder og figurer; CorelDRAW X3, Adobe Photoshop 5.5, Adobe Illustrator 8.0 og ArcGIS, versjon 9.2.

ArcGIS er brukt i analysen av geomorfologiske elementer og er et geografisk informasjonssystem (GIS), utviklet av ESRI, som består av flere ulike applikasjoner med mange funksjoner (Ormsby et al. 2004, Geodata, esri.no). I oppgaven er en rekke av disse funksjonene benyttet for å behandle og produsere ulike typer kart. ArcGIS består av to hoveddeler, ArcMap og ArcCatalog. I ArcMap ble det laget kart og gjort analyser. ArcCatalog ble brukt til å behandle geografisk data og produsere databaser, og nye shapefiler eller lag ble opprettet for videre bruk i ArcMap.

ArcGlobe er en 3D visualiseringsapplikasjon fra ArcGIS 3D Analyst 9 (esri.com) der det er mulig å fly og bevege seg rundt på jordoverflaten. Programmet likner på Google Earth og Norge i 3D, men det er mulig å legge inn lag fra ArcCatalog. Flybilder er drapert over høydemodellen for undersøkelsesområdet. ArcGlobe ble brukt for å studere-, og å få et visuelt bilde av landskapet. Her kunne de geomorfologiske elementene som kom fram i de ulike

DEM- kartene studeres nærmere. (Flybildene ble hentet fra Norge i bilder av John Are Hansen).

Høydemodellen som er brukt i ArcGIS er hentet fra Statens Kartverk, og har 25 x 25 meter grid (oppløsning) (hentet og griddet av John Are Hansen i Oasis Montaj til 25 m ved minimum curvature gridding routine). Denne er brukt til å produsere retning/helningsderivativer. Funksjonene slope, aspect, hillshade og contour under menyen *surface analysis* i *spatial analyst*, ga de ulike kartene som er brukt i oppgaven;

- skyggerelieffkart (hillshade)
- aspektkart (helningsretning)
- helningskart (slope)
- høydekart (elevation).

I ArcGIS *3D analyst* er det laget profiler i ulike retninger.

3 Strukturelle elementer

3.1 Innledning

Dette kapittelet tar for seg strukturelle elementer, hvor det også gjøres en kort beskrivelse og sammenlikning av landformelementer. Først gis en kort beskrivelse av tidligere arbeid som omhandler lineamenter og satellittdata i Lofoten. Deretter forklares analysemetoden før det følger en beskrivelse og deltolkning for tre provinser. Kapittelet avsluttes med en samlet strukturanalyse og diskusjon.

3.1.1 Beskrivelser av satellittdata

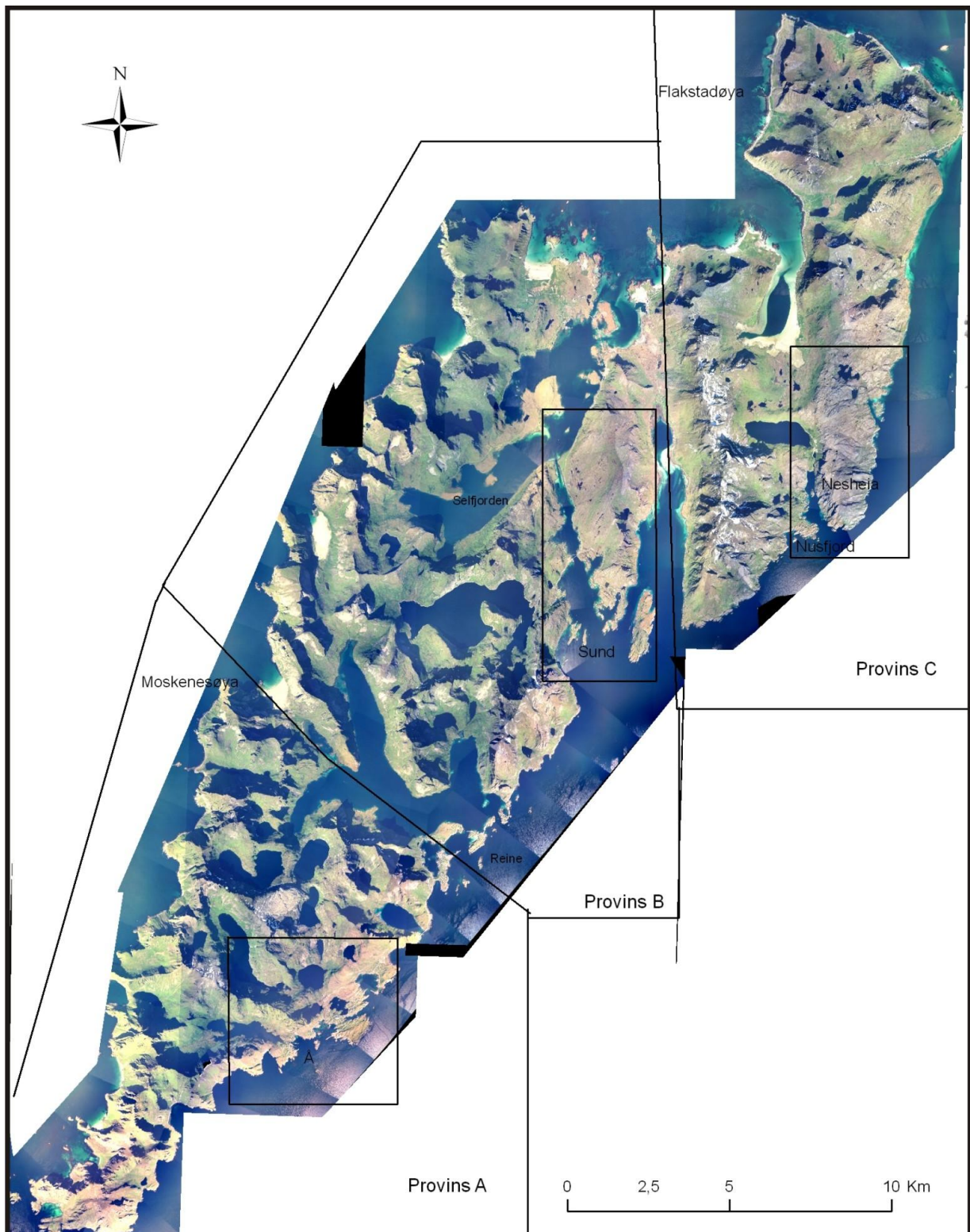
Regionale lineamentstolkninger av Gabrielsen et al. (2002), Bergh et al. 2007 og Eig et al. (2008) viser at det er NNØ-SSV og NØ-SV til Ø-V retninger som er dominerende for Lofoten. Korte lineamenter i retning VNV-ØSØ til NV-SØ er godt utbredt i deler av Lofoten, spesielt i vest (Figur 1.3 og 1.4). Tolkninger av Eig et al. (2008) (Figur 1.4b) viser tre dominerende lineamentretninger for studieområdet; NNØ-SSV, ØNØ-VSV og VNV-ØSØ. Noen langstrakte lineamenter med NNV-SSØ retning observeres også.

Feltundersøkelser av tolkede lineamenter fra satellittdata (DEM) viser at det som regel er snakk om forkastninger eller viktige sprekkesoner i berggrunnen (Gabrielsen et al. 2002; Nordgulen et al. 2003), noe som også gjelder egne data og resultater.

3.1.2 Analysemetode av strukturelle elementer

For den strukturelle analysen er studieområdet delt inn i tre provinser, og er de samme som for landskapsanalysen; provins A, provins B og provins C (Figur 3.1). Denne inndelingen av provinser og grensesettingen ble først og fremst gjort på bakgrunn av forskjeller i landskapet. Senere ble det også konstatert strukturelle forskjeller.

Det er studert flybilder for hele studieområdet og for hver av provinsene er det plukket ut ett flybilde der bruddlinjer trer tydelig fram. Flybilder fra tre områder er studert; 1) Å til Sørpågen (Figur 3.2), 2) Sund til Selfjorden (Figur 3.13) og 3) Nesheia og norover (Figur 3.22). De tydeligste og mest fremtredende bruddlinjer i flybilder er identifisert, plottet og senere analysert og sammenlignet med målte retninger til bruddplan.



Figur 3.1. Flybilde over Moskenesøya og Flakstadøya i Lofoten. De tre provinsene A, B og C, samt flybildeutsnitt er rammet inn.

Med *bruddlinje* menes i denne oppgaven lineære, rettlinjede fordypninger i terrenget forårsaket av høy bruddfrekvens og dermed en svakhetszone i berggrunnen. Det kan være sprekker, knusningssoner eller forkastninger.

For å gjøre sammenlikningen mellom landskap og struktur fant jeg det viktig å skille skarp mellom de to analysene. Det er derfor valgt å bruke ordet bruddlinje i stede for lineament for de nevnte lineære fordypningene. Tolkningen av bruddlinjene på flybildene og det å finne riktig retning (ikke tilsynelatende retning) av bruddlinjer var utfordrende der det skulle tolkes i områder hvor relieffet var høyt (over fjelltopper, rygger, daler og forsenkninger). Avbøyningen gir nytting informasjon om fallet til bruddplan, og på flybildene er det lagt inn et strøk og fallsymbol med grønn farge for disse bruddlinjene.

Bruddlinjene er gitt ulike farger på bakgrunn av retningsorienteringen, for å fremheve ulike retninger. Denne inndelingen av farger gjelder også for målte bruddplan gjort ved feltlokalitetene, og er basert på inndelinger fra Bergh et al. (2007) og Eig et al. (2008).

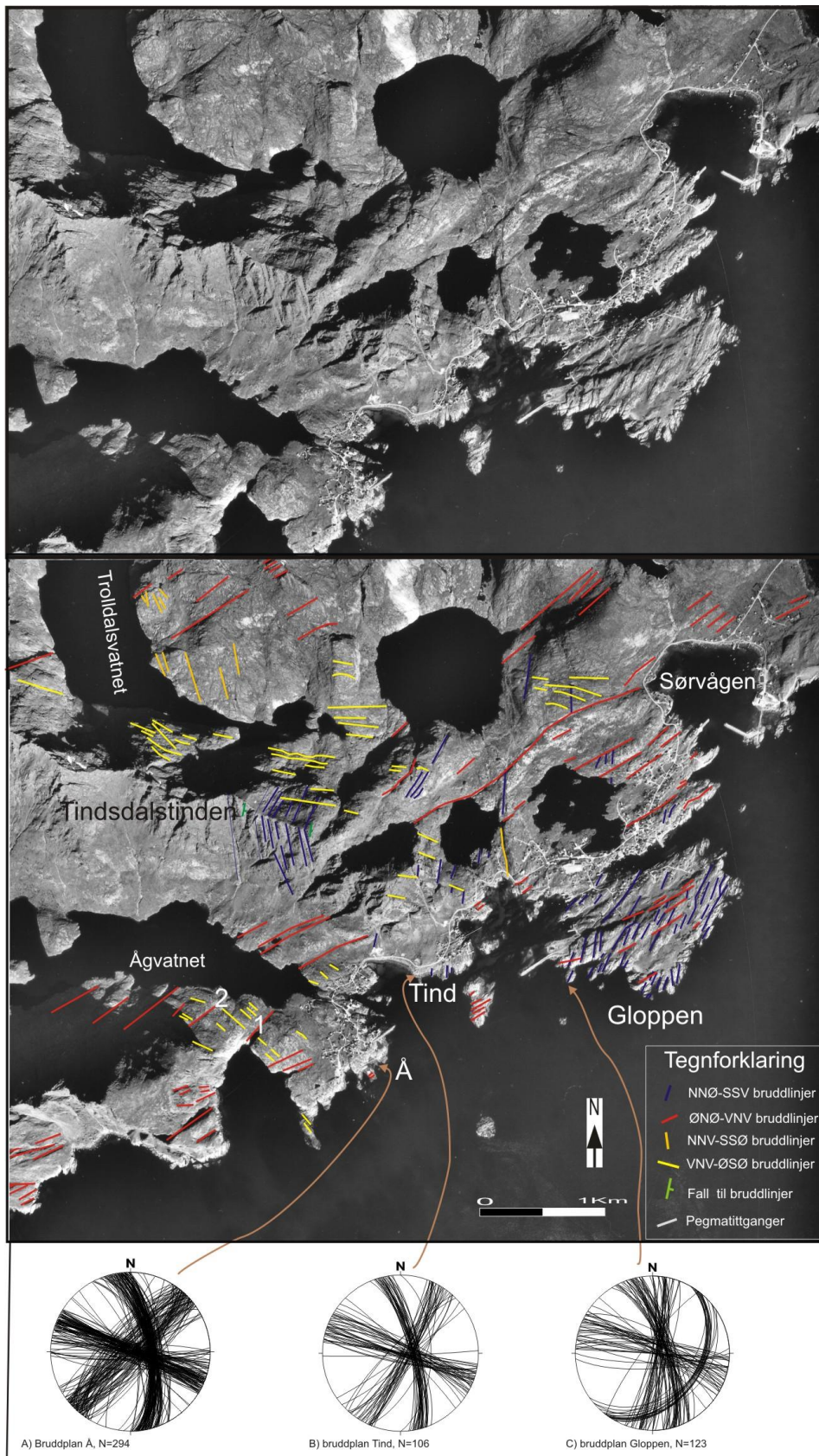
På alle kart, flybilder og bilder gjelder følgende inndeling av retningen til bruddlinjer og bruddplan: **Blå** farge representerer orienteringen 0-40° og 180-220° for bruddplan og asimut sektor N00°Ø til N40°Ø for bruddlinjer som også benevnes med **NNØ-SSV**- strøkkretning. **Rød** farge representerer 40°-90° og 220-270° for bruddlinjer, og N40°Ø til N90°Ø eller NØ-SV til **ØNØ-VSV**- retning. Til slutt representerer **gul** farge 90°-180° og 270-360° for bruddplan, og N270°V til N360°V for bruddlinjer, eller **VNV-ØSØ** til **NNV-SSØ**- retning.

Målingene fra separate lokaliteter er fremstilt på flybildene som stereoplott eller rosedigram (de er ikke speilet som i landskapsanalysen, så her viser de strøkkretning). For provins C er flybildet tolket i ArcGIS/ArcMap der retningen til bruddlinjene kan beregnes, og det speilede rosedigrammet på dette flybildet viser retningen til bruddlinjene. Det er ikke tatt hensyn til forskjeller i lengde på de forskjellige bruddlinjene ved plotting i rosedigrammet. Stereoplott av de målte bruddplanene er vist i en 3D terreng modell over Flakstad (Figur 3.24).

3.2 Beskrivelser og deltolkning av flybilder og feltlokaliteter

3.2.1 Provins A

Den strukturelle beskrivelsen for provinsen A er gjort ved tolkning av bruddlinjer på flyfotoet over områdene rundt Å til Sørvågen (Figur 3.2), og målinger av bruddplan, som ble utført ved meget gode blotninger (uforstyrret av vegetasjon) langs strandflaten ved Å, Tind og Gloppen.



Figur 3.2. Flybilder over områdene rundt Å til Sørvågen med tolkede bruddlinjer. **Blå** farge for bruddlinjer representerer asimut sektor $N00^{\circ}\text{Ø}$ til $N40^{\circ}\text{Ø}$ eller **NNØ-SSV**- retning. **Rød** farge representerer $N40^{\circ}\text{Ø}$ til $N90^{\circ}\text{Ø}$ eller $N\text{Ø-SV}$ eller **ØNØ-VSV**- retning. Til slutt representerer **gule** linjer $N270^{\circ}\text{V}$ til $N360^{\circ}\text{V}$, eller **VNV-ØSØ** til **NNV-SSØ**- retning. Stereoplottene viser målte bruddplan ved lokalitetene A) Å, B) Tind og C) Gloppen, der N= antall bruddmålinger. Punkt 1 og 2 utgjør to underlokaliteter vest for Å.

Berggrunnen består hovedsakelig av prekambrisk mangerittisk gneis (Tveten, 1978). Felsiske/granittiske intrusivganger og pegmatitter kan følges flere km i ØNØ-VSV retning (Figur 3.2). De er subvertikale, lineære, utholdende og trer tydelig fram. Noen steder etterlater de seg kløfter eller juv. Det antas at pegmatittgangene lokalt kan ha påvirket utviklingen av bruddplan med ØNØ-VSV strøk (Eig et al. 2008). Foliasjonen i berggrunnen er subhorisontal og stedvis godt utviklet både i Å (Figur 3.3 e) og ved Tind (Figur 3.4 e), men ser ikke ut til å påvirke utviklingen av de steile bruddsettene. Ved lokalitet Gloppen (Figur 3.5 a) derimot, har foliasjonen et brattere fall, der utviklingen av bruddene i retning NØ-SV ser ut til å følge foliasjonen.

Flyfoto

De mest dominerende retningene for bruddlinjer som er tolket på flybildet over området rundt Å- Sørvågen er ØNØ-VSV og VNV-ØSØ (Figur 3.2). Andre tydelige bruddlinjer opptrer også langs retningene NNV-SSØ og NNØ-SSV. **ØNØ-VSV** bruddlinjene trer tydelig fram fra Å og nordover og kan følges som mer eller mindre kontinuerlige topografiske uttrykk eller lineamenter i terrenget helt til Sørvågen (Figur 3.2). Bruddlinjer kan følges videre som ulike landformelementer, for eksempel vannkanter (linje hvor vann og land møtes), kystlinjer, kløfter, fjellskråninger og mindre skråninger ofte synliggjort med svarte skygger på flyfotoet der det er vanskelig å se om det befinner seg bruddlinjer.

NNØ-SSV bruddlinjeretning er utbredt på Gloppen-halvøya. De finnes også sentralt på flybildet (Figur 3.2) og i fjellsidene av Tindstinden nordvest for Å. Bruddplanene som til sammen utgjør bruddlinjene i fjellsidene har et fall på omtrent 70° mot øst, og på grunn av topografiske trekk (her en rygg) trer de frem med et tilsynelatende strøk mot NNV-SSØ på flyfotoet (Figur 3.2). Merk at tolket strøk/fallretning er angitt med eget symbol for noen av disse bruddlinjene. NNØ-SSV bruddlinjer er ofte vanskeligere å følge i terrenget. Noen steder har de tydelig bøyde traséer, og opptrer mellom de mer utholdende ØNØ-VSV-strykende bruddlinjene. Førstnevnte bruddlinjer stopper eller blir kuttet/ trunkert og har en tendens til å bøyes av mot høyre eller ha en kurvet trase inn mot sistnevnte, noe som kan vitne om at disse er relativt sett eldst. Slike relasjoner er spesielt tydelig på Gloppen.

En mulighet er at den slakt hellende foliasjonen kan ha påvirket utviklingen av svakt hellende bruddplan og ført til noen av de tilsynelatende avbøyningene til bruddlinjer i retning NNØ-

SSV til NØ-SØ inn mot kløfter med retning ØNØ-VSV, noe som gir det kurvede kartmønster der det er kraftigere relieff.

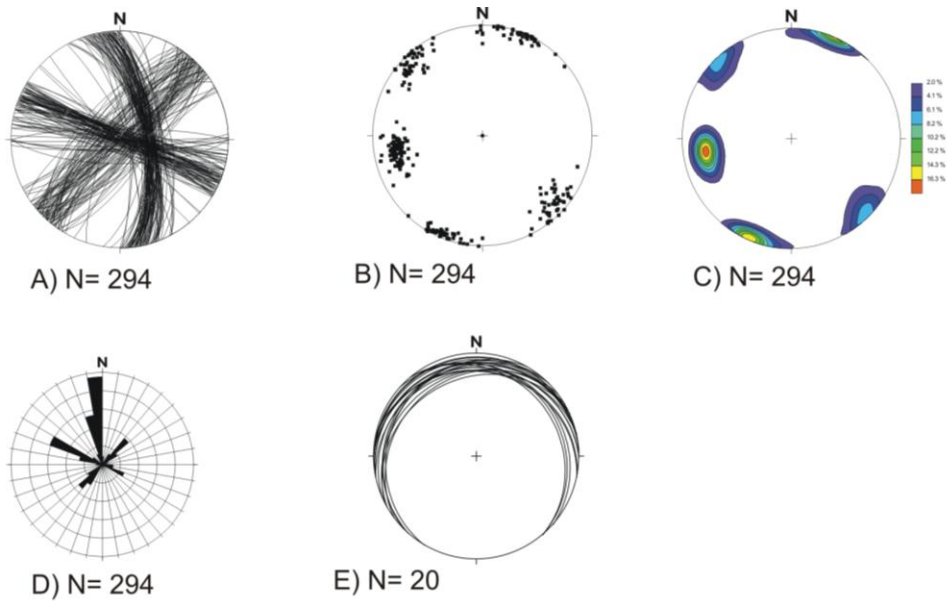
VNV-ØSØ strykende bruddlinjer er rettlinjede og parallelle men er ikke spesielt utholdende. De observeres og trer tydelig frem fra Å og vestover (Figur 3.2). Ågvatnet har meget rettlinjede vannkanter, over kortere avstander, som følger de samme retningene. Tindstinden lenger nord har en rygg som stryker i samme retning. Nord og øst for Tindstinden er berggrunnen tydelig oppsprukket med klare bruddlinjer i VNV-ØSØ retning. Sørlike deler av sbruddlinjer, mens nordover ser vannkantene ut til å være mer styrt av NNV-SSØ bruddlinjer som fremtrer øst for vannet. Ellers er det observert få NNV-SSØ bruddlinjer.

Generelt ser vi på flybildet (Figur 3.2) at også topografien og landformelementer er dominert av ØNØ-VSV og VNV-ØSØ retninger, der mange kystlinjer, vannkanter, viker, daler, kløfter, juv, søkk, skråninger, fjellsider og rygger har denne orienteringen. Mange bruddlinjer kan følges videre som flere av de ovennevnte landformelementene, med samme orientering.

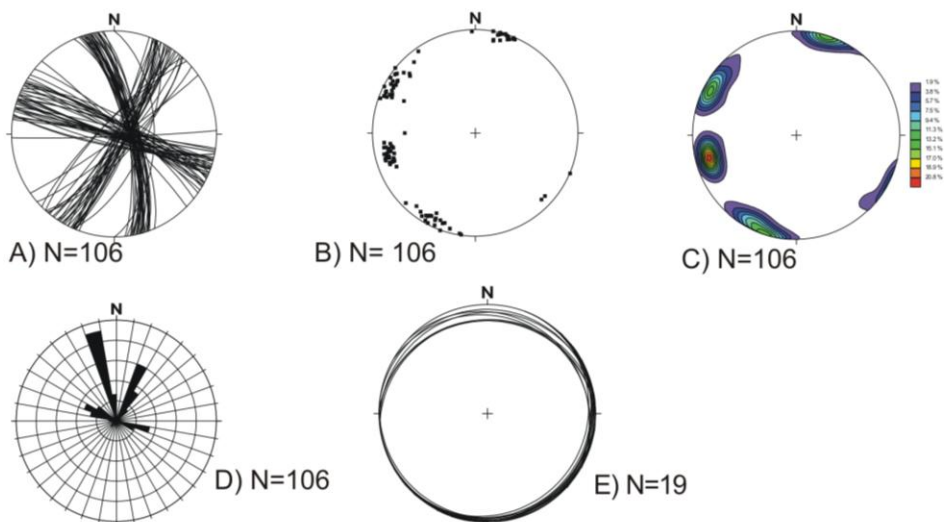
Bruddplan

Langs strandflaten fra Å til Gloppen er det mye bart fjell/berggrunn med meget gode blotninger av flere ulike sett med bruddplan. Strukturmålinger av bruddplan er foretatt ved tre lokaliteter innenfor det aktuelle flybildeutsnittet (Figur 3.2); A) på strandflaten ved Å, B) Gloppen og C) Tind (piler på Figur 3.2 viser lokalisering). Dataene (Figur 3.2 til 3.5) viser at det i hovedsak er tre dominerende retninger av identifiserbare bruddplan; NØ-SV, VNV-ØSØ og NNV-SSØ. VNV-ØSØ retningen er den mest utbredte. Bruddplanene har varierende geometri, orientering og utbredelse langs strandflaten. Noen steder finnes brudd tett i tett (meget høy frekvens), andre steder er det nesten ingen brudd eller sprekker.

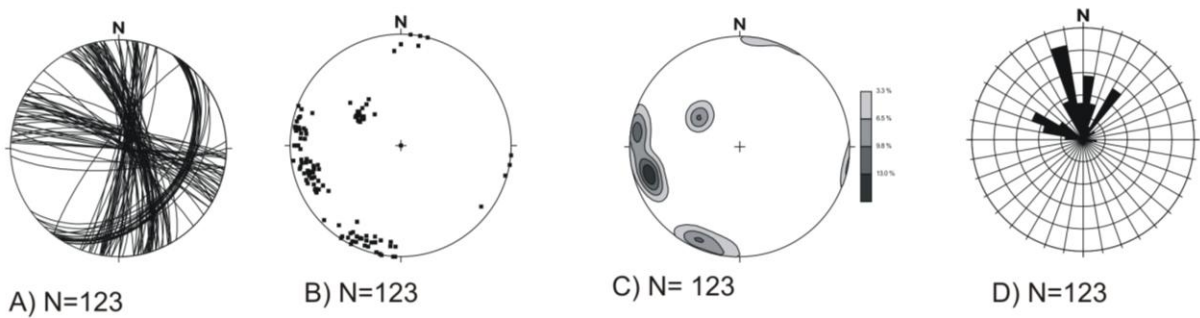
A) Lokalitet Å; Berggrunnen ved Å er sterkt oppsprukket over et større område. Bruddplan ble målt innenfor en sirkel med diameter omtrent 10 meter med den såkalte ”*inventory method*” (se kap. 2.1). Bruddplan med strøk NØ-SV er stort sett steilt hellende eller med fall over 60° i begge retninger (Figur 3.3 og 3.6). Gjennomsnittlig strøk er 43° og 223°. Lokalt opptrer bruddplanene tett i soner ofte mellom de mer fremtredende VNV-ØSØ bruddene, som gjerne blir kuttet eller trunkert av disse. Noen steder trer disse NØ-SV bruddplanene frem som korte riss i berggrunnen mens de andre steder er mer utholdende. De kan opptre planare og rettlinjede, men også mer kurvede der de danner et anastomoserende mønster.



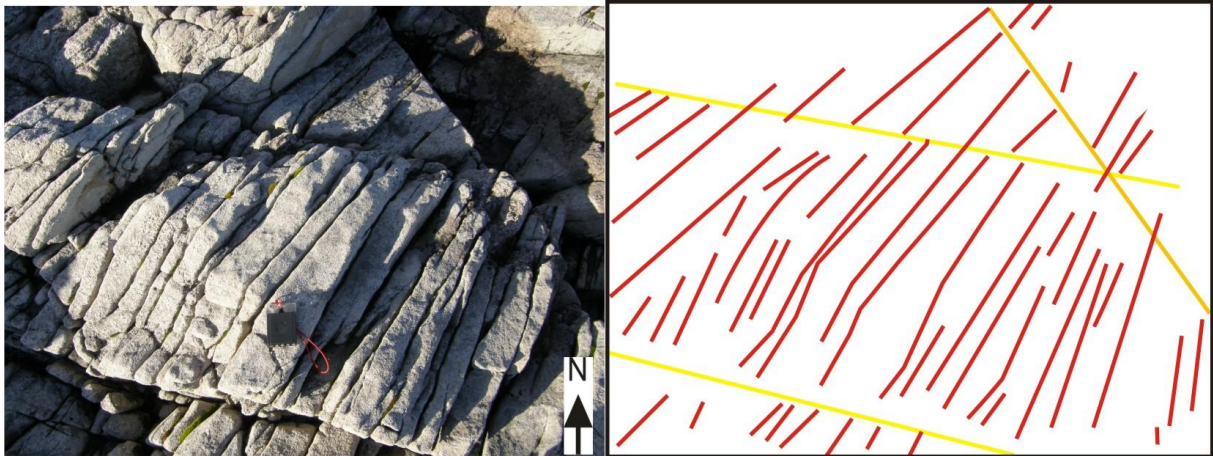
Figur 3.3. Lokalitet Å. A)-D) viser bruddplan fremstilt som; A) plottede plan i stereonett, B) polplott av planene i A), C) konturert polplott og D) roseplott. E) viser foliasjon. N= antall målinger.



Figur 3.4. Lokalitet Tind. A)-D) viser bruddplan fremstilt som; A) plottede plan i stereonett, B) polplott av planene i A), C) konturert polplott og D) roseplott. E) viser foliasjon.

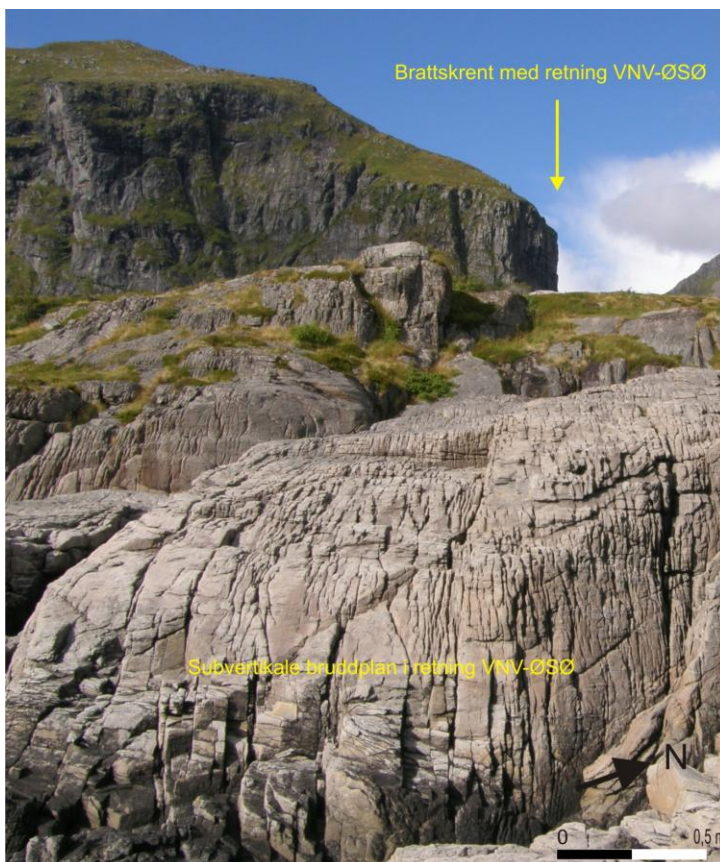


Figur 3.5. Lokalitet Gloppen. Bruddplan fremstilt som; A) plottede plan i stereonett, B) polplott av planene i A), C) konturert polplott og D) roseplott.



Figur 3.6. Dominerende og tette bruddplan med strøk NØ-SV, kuttet eller trunkert av de mer lateralt utholdende og mulig konjugerte NNV-SSØ og VNV-ØSØ bruddene, ved lokalitet Å. Bildet er tatt mot nord.

Bruddplan med strøk omtrentlig **VNV-ØSØ** (gjennomsnittlig strøk 110° og 290°) er subvertikale med fall mer enn 80° i begge retninger (Figur 3.3, 3.6 og 3.7). Dette bruddsettet er særdeles dominerende på Å. De fleste bruddplanene har lengde opptil et par meter og avløses av nye bruddplan i strøkretningen. Noen steder definerer de kortere riss i berggrunnen. Andre steder er de noe mer utholdende med et bølgende, undulerende mønster, og hvor de kurvede bruddplanene oftest kutter de planare (Figur 3.7) med skrå vinkel.



Figur 3.7. Subvertikale bruddplan ved lokalitet Å med strøk VNV-ØSØ sees tydelig både i forgrunnen, videre bakover og i fjellsidene i bakgrunnen. Merk den nesten vertikale skråningen i bakgrunnen som også har VNV-ØSØ strøk. Bildet er tatt mot VNV.

NNV-SSØ strykende bruddplan har gjennomsnittlig strøk 350° og fall mellom 60° og 82° mot øst (Figur 3.3, 3.6 og 3.8). Bruddplanene er mer lokaliserte og utholdende i strøkretningen enn de andre bruddsettene, og har en lineær, planar og parallell opptreden. Det er færre brudd enn i de andre bruddsettene, men de er tydelige og definerer ofte store sprekker og juv (Figur 3.8). Flere steder er det planare skrenter med samme orientering. Ved første øyekast ser de ut til å danne kontinuerlige utholdende sprekker, men ved nærmere observasjoner er de tydelig steppende i begge retninger. Bruddplanene opptrer oftest venstre-steppende, i soner med 5-6 bruddplan der hver sone har omtrent 3 meters avstand mellom hverandre. Dette bruddsettet kutter eller trunkerer ofte alle andre strukturer og antas derfor å være relativt sett yngst. Noen steder bøyes de av inn mot bruddplan med strøkretning **VNV-ØSØ** (Figur 3.7). Dette kan tyde på at bruddplan med strøkretning **NNV-SSØ** er genetisk relatert, eller dannet samtidig med **VNV-ØSØ** bruddsettet og eventuelt er konjugerte (se diskusjon).



Figur 3.8 Foto som viser tydelige og utholdende **NNV-SSØ** bruddplan der store rettlinjede sprekker og juv med 70° fall trer fram ved lokalitet Å. Merk bruddene/forkastningene i Tindstinden i bakgrunnen. Bildet er tatt mot **NNV**.

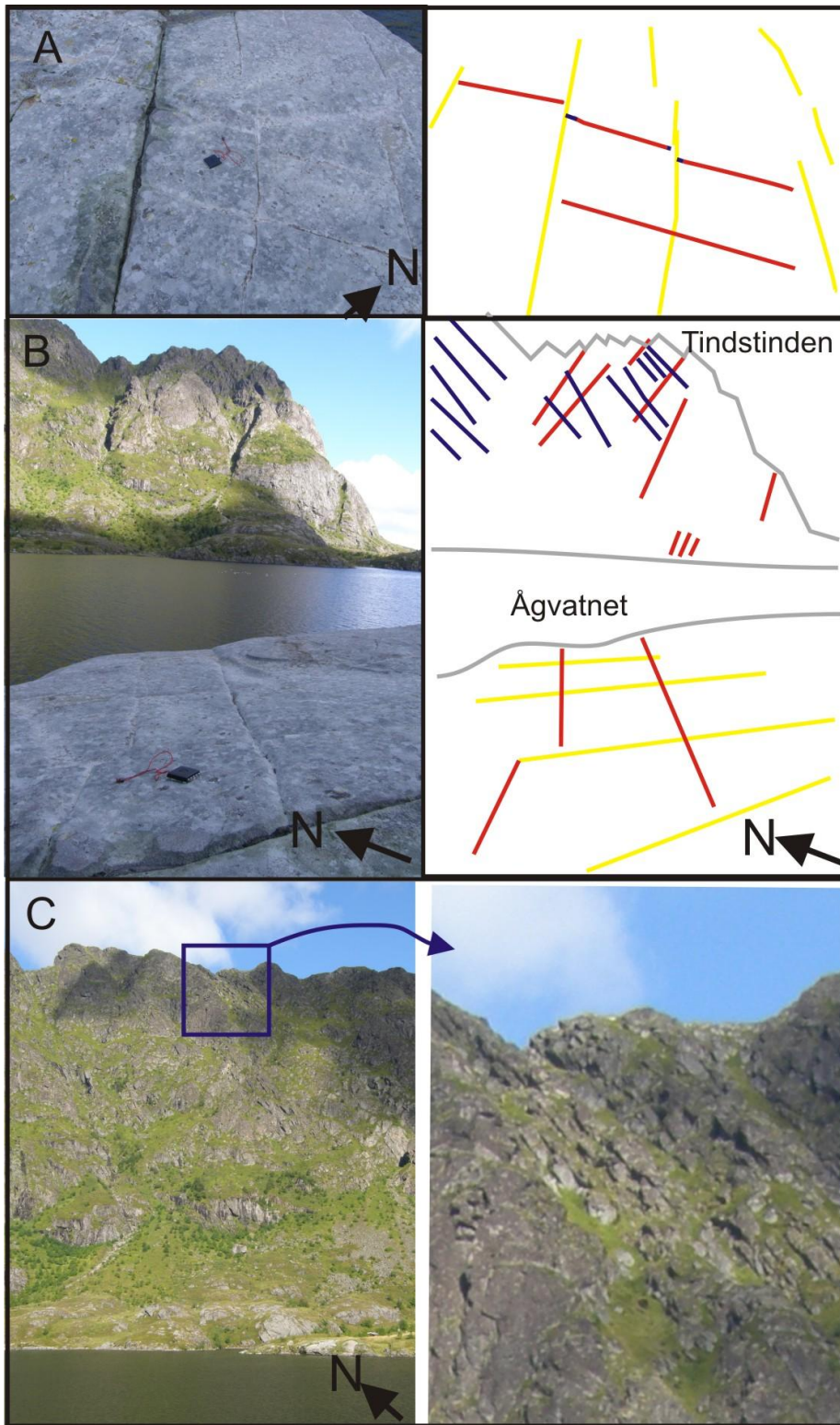
Lokalitet punkt 1 vest for Å, (merket 1 på Figur 3.2) viser hvordan bruddfrekvensen til bruddplan med retning **NØ-SV** øker inn mot bruddlinjen (lineamentet) med samme retning (Figur 3.9). Dette observeres også i fjellsiden til Tindstinden (Figur 3.10c). Omtrent vinkelrett på søkket finnes subvertikale **NV-SØ** bruddplan. Skjæringen mellom **NV-SØ** bruddplan og den subhorisontale foliasjonen danner benkningen.



Figur 3.9. Bilde som viser hvordan bruddfrekvensen til bruddplan med retning NØ-SV øker inn mot søkket med samme orientering (bruddlinjen er merket av som punkt 1 i Figur 3.2). Omtrent vinkelrett på dette lineamentet sees subvertikale NV-SØ bruddplan. Merk benkningen som trer tydelig fram der vegetasjonen opptrer rettlinjert (til høyre på det øverste bildet). Bilde er tatt mot SØ.

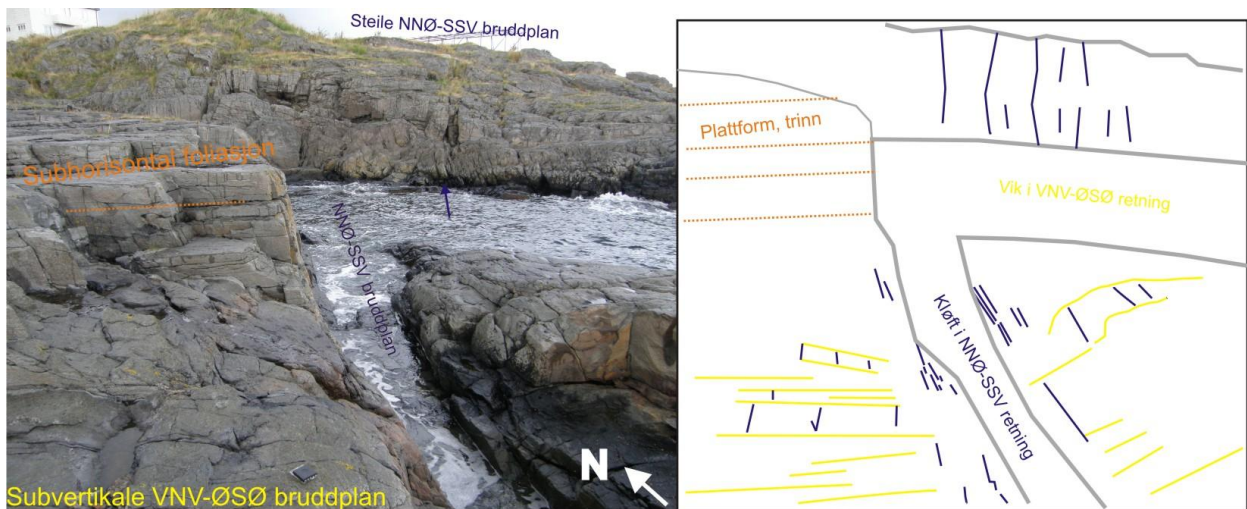
Skjæringen mellom bruddplan, i dette tilfellet NV-SØ bruddplan og oppsprekking langs subhorisontal foliasjon, danner mange steder benkning. Benkningen trer tydelig fram der vegetasjonen opptrer rettlinjert (for eksempel figur 3.9).

Ved lokalitet punkt 2 på figur 3.2 opptrer de samme retningene (Figur 3.10a,b). Bruddplan med NØ-SV retning blir forskjøvet av bruddplan med retning NV-SØ, noe som tyder på at det er en høyrehånds/dekstral strøkslippforkastning. NV-SØ bruddplan er også steppende, som oftest venstresteppende. Også i fjellsiden til Tindstinden øker bruddfrekvensen til bruddplan med retning NNØ-SSV og øker inn mot bruddlinjen (lineamentet) med samme retning (Figur 3.10c).



Figur 3.10. Bruddplan med strøk NØ-SV og NV-SØ ved lokalitet punkt 2 (på Figur 3.2). A) viser hvordan NØ-SV sprekker (røde linjer) blir dekstralt forskjøvet av NV-SØ sprekker (merket gult). B) viser de samme bruddplanene. Merk den lineære vannkanten med NV-SØ retning og ØNØ-VSV og NNØ-SSV bruddlinjer (blå linje) i fjellside i bakgrunnen. C) viser tett oppsprekking av NNØ-SSV bruddplan der bruddfrekvensen øker inn mot søkkene på sørsiden av Tindsdalstinden.

B) Lokalitet Tind; Opptredenen av bruddplan ved lokalitet Tind har store likhetstrekk med bruddplanene i Å, noe stereoplottene (Figur 3.3 og 3.4) viser klart. De mest utbredte retninger med bruddplan er som ved Å, VNV-ØSØ og NNV-SSØ. Bruddplan med orientering **NØ-SV** har på Tind en mer nordlig retning, med strøk 027°, der de fleste bruddplanene har steilt fall mot ØSØ. Det er relativt få bruddplan, de er korte og er vinkelrett tilstøtende de mer utholdende bruddene med retning VNV-ØSØ (Figur 3.11).



Figur 3.11. Foto som viser hvordan bruddplan med strøk NNØ-SSV (blå linjer i skissen til høyre) opptrer mellom de mer utholdende og subvertikale VNV-ØSØ bruddplanene (gule linjer), ved lokalitet Tind. Merk steile NNØ-SSV bruddplan i bakgrunnen. Kløften er tydelig styrt av førstnevnte bruddplan, mens vika i bakgrunnen ser ut til å være styrt av de sistnevnte. Bildet er tatt mot NØ, merk kompass som peker mot nord.

I likhet med lokalitet Å har **VNV-ØSØ** bruddplan på lokalitet Tind gjennomsnittlig strøk 110° og 290° og et subvertikalt fall. De enkelte bruddplanene er undulerende/kurvede, kan opptre som korte riss og er sjelden lengre enn et par meter (Figur 3.12). De kan se ut til å være sammenhengende, men ved nærmere inspeksjon opptrer de steppende, anastomoserende eller flettet. I retningen **NNV-SSØ** finnes bruddplan med gjennomsnittlig strøk og fall 345/70. Bruddplanene er parallelle, rettlinjede og planare. Noen steder observeres avbøyninger mellom de to sistnevnte bruddsettene (Figur 3.12). Som på Å er dette med på å bygge opp tolkningen om at de to settene er relatert til hverandre og er konjugerte. Figur 3.12 viser at opptredenen til disse bruddsettene har store likhetstrekk med lokalitet Å.

Oppsprekningen/ bruddplanene ser ut til å ha sterk lokal innvirkning på topografien, der retningen av kløfter og viker har samme retning (Figur 3.10 og 3.11).



Figur 3.12. Dominerende subvertikale undulerende VNV-ØSØ bruddplan og rettlinjede NNV-SSØ bruddplan ved lokalitet Tind. Piler peker mot avbøyninger mellom de to retningene, som kan antyde at dannelsen av de to settene er relatert til hverandre. Merk kløften i bakgrunnen med retning NNV-SSØ. Bildet et tatt mot VNV, merk kompass som peker mot nord.

Den subhorisontale foliasjonen på Tind (Figur 3.4e) har ført til en tydelig oppsprekking langs denne (Figur 3.10 og 3.11). Dette har her ført til dannelsen av en slags plattform, eller trappetrinnsmonster der dannelsen av trinnene kan være styrt av de steile bruddplanene med retning VNV-ØSØ og NNV-SSØ. Foliasjonen så ikke ut til å ha hatt av noen påvirkning på utviklingen av de nevnte steile bruddsettene på Tind.

C) Lokalitet Gloppen; På lokalitet Gloppen finnes det bruddplan med mer NNØ-SSV strøkkretning, med fall mot øst (gjennomsnittlig strøk og fall er 007/80). Bruddsettet med strøkkretning NØ-SV har slakt fall, ca. 40° mot SØ, og kan se ut til å være styrt av foliasjonen. Orientering av bruddplanene VNV-ØSØ og NNV-SSØ viser store likhetstrekk med lokalitet Å og Tind (Figur 3.3-3.5).

Deltolkning provins A

Strukturmålingene ved de tre lokalitetene innenfor området Å til Sørvågen viser store likhetstrekk der spesielt VNV-ØSØ og NNV-SSØ strykende bruddplan er dominerende og har slående likheter når det gjelder opptreden, strøk og fall (Figur 3.2-3.5). VNV-ØSØ bruddplan er subvertikale mens NNV-SSØ bruddplan har fall rundt 70° mot ØNØ. Disse to bruddsettene opptrer ofte i samme område, det er flere steder observert en avbøying mellom dem og det er ikke observert forskyvning internt mellom dem. På bakgrunn av disse observasjonene tolkes bruddsettene til å være dannet samtidig og være konjugerte (Reynolds

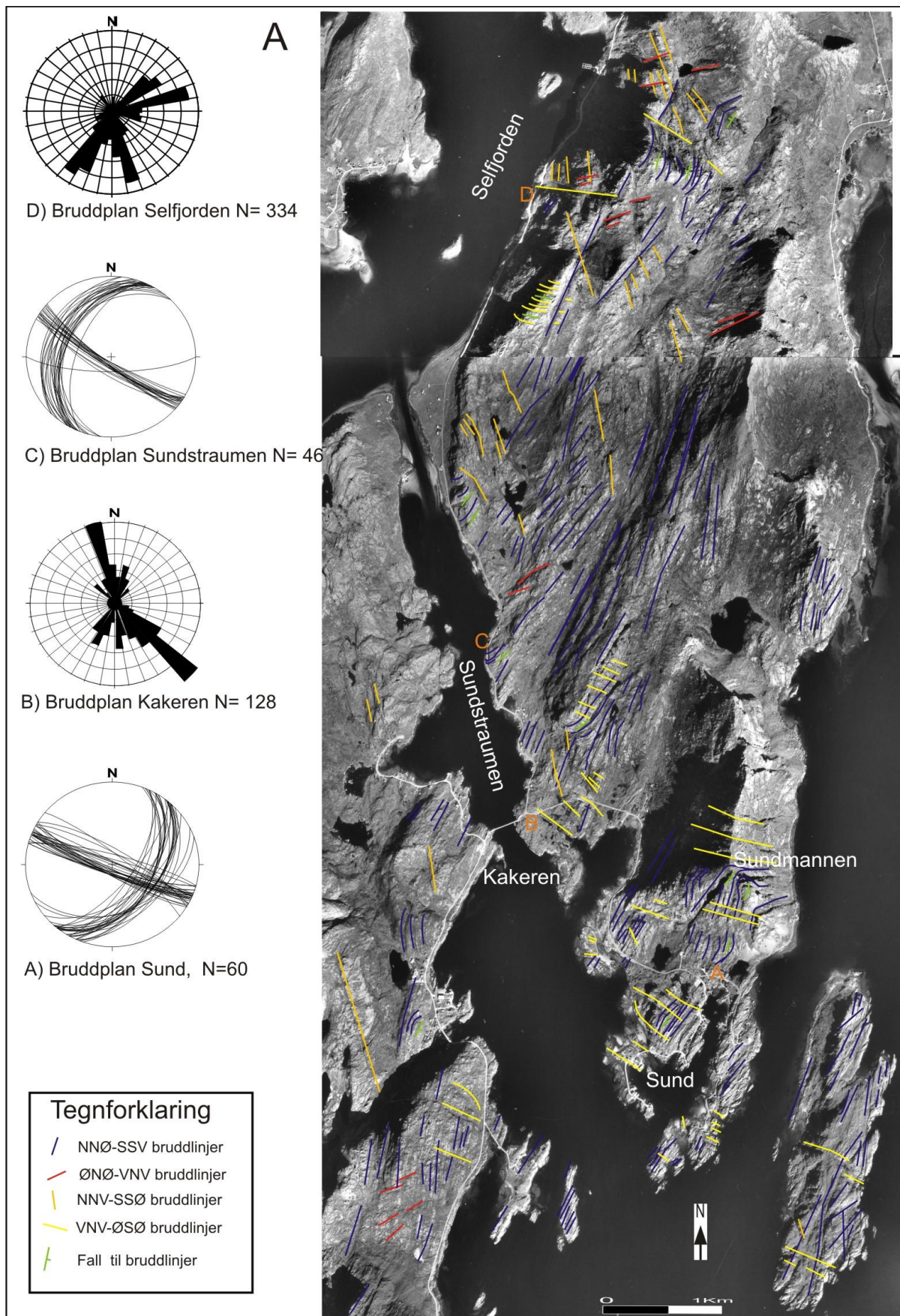
et al. 1996). Derfor er alle brudd med retning fra VNV-ØSØ til NNV-SSØ gitt samme farge (dvs. vist med gule linjer) på figurene. Fordi de stort sett kutter eller trunkerer bruddsett med andre retninger tolkes disse bruddsettene til å være de yngste. På bakgrunn av bruddplanenes opptreden; deres innbyrdes forskyvning, venstre steppende, anastomoserende eller flettede, en echelon og kurvede opptreden kan de tolkes å være dannet i et sidelengs forkastningsregime, hovedsakelig dekstral (høyrelengs), (Woodcock og Schubert 1994; Reynolds et al. 1996). På grunn av få skjærindikatorer er tolkningen noe usikker. Parallele bruddplan med retning NV-SØ er av Eig et. al. (2008) tolket til å halvere aksene til de konjugerte forkastningene og antas å være tensjonsbrudd, men også med et mulig lateralt skjær/ skjærbrudd.

Målte bruddplan med orientering NNØ-SSV og ØNØ-VSV er mindre utbredt ved alle lokalitetene, har mer varierende og lite uniform opptreden. De ulike settene med disse retningene observeres oftest ikke sammen, og derfor er deres innbyrdes genese og aldersrelasjon vanskelig å konkludere. De samme strukturelementer er derimot mer utbredt på flybildet enn ved lokalitetene. Og observasjonene av disse settene av bruddlinjer tyder på at førstnevnte er eldst. Flybildet viser også dominerende VNV-ØSØ til NV-SØ retning på bruddlinjer. Orienteringene av landformelementer er tydelig styrt av disse to retningene, der spesielt lineære subvertikale fjellskråninger, viker, kystlinjer og vannkanter med VNV-ØSØ retning forekommer ofte. NØ-SV til ØNØ-VSV bruddplan og bruddlinjer styrer flere steder utviklingen av kløfter, der bruddfrekvensen øker inn mot senteret av kløften (Figur 3.10 og 3.12).

Samlet vitner observasjonene om at bruddplan med NNØ-SSV retning er eldst, deretter ØNØ-VSV dannet, mens det konjugerte settet VNV-ØSØ og NNV-SSØ er yngst.

3.2.2 Provins B

For provins B (Figur 3.1) er den strukturelle beskrivelsen gjort på flyfotoet som dekker områdene Sund, Sundstraumen og Selfjorden (Figur 3.13), og målinger av bruddplan ble utført ved fire lokaliteter innenfor flyfotoet og en veiskjæring på Hamnøy ved Reine. Berggrunnen består av ulike typer grå til brun gneis, tolket som tidligproterozoiske paragneiser (overflatebergarter) (Tveten 1978; Corfu 2004).



Figur 3.13. A) Flybilde over området rundt Sund til Selfjorden, med tolkede bruddlinjer. Stereoplottene og rosedigrammene viser målte bruddplan ved fire lokaliteter; A) Sund, B) Kakeren, C) Sundstraumen og D) Selfjorden.



Figur 3.13. B) Flybilde over området rundt Sund til Selfjorden.

Kysten øst for Sund består av godt folierte paragneiser. Mer homogene mangeritter og charnokittiske bergarter strekker seg fra Sund og over Sundmannen, tilhørende Sund-Ølkona Mangeritt (SØM) (Malm og Ormaasen 1978). Disse kjennetegnes ved bare fjellområder og viser at vegetasjonen er styrt av berggrunnen. Det fører til at bruddplan og bruddlinjer fremtrer tydelig på flybildet. Foliasjonen har varierende utvikling, men stryker hovedsakelig mot N til NNØ med fall mot øst.

Flyfoto

I området som dette flybildet dekker (Figur 3.13) ser vi at det er bruddlinjer med retningen VNV-ØSØ, NNV-SSØ og NNØ-SSV til NØ-SV som dominerer. Det er også noen få bruddlinjer med retning ØNØ-VSV.

De hyppigste bruddlinjene har **NNØ-SSV** strøkretning, der gjennomsnittet er rundt N20°Ø. De er stort sett meget lineære, og ofte utholdende der de flere steder kan følges kontinuerlig opptil 1 km. Det kan derimot observeres at mange bruddlinjer bøyer av over fjelltopper og andre forhøyninger i terrenget, samt daler eller forsenkninger for eksempel fra Sund og over Sundmannen (Figur 3.13). Igjen er dette en topografisk effekt der avbøyningen eller V`en som trer fram antyder at bruddplanene som er årsaken til dannelsen av bruddlinjene ikke er vertikale, og har et relativt slakt fall. Strøk-fallsymbol på flybildet viser tolket strøk og fallretning til bruddplanene. Sør for brua ved Kakeren har bruddplan med strøkretning NNØ-SSV fall mot SØ, mens N for brua faller bruddplanene mot NV. Dette er tilsvarende det stereoplottene viser (se beskrivelse av bruddplan nedenfor).

VNV-ØSØ bruddlinjer trer godt fram rundt Sund. Strøkretningen er i området rundt N290°V. Disse er rettlinjede selv over spisse rygger (Figur 3.13 fra Sundmannen og nordover), noe som tyder på at bruddplan i denne retningen er tilnærmet vertikale. Lengre nord er **NNV-SSØ** strykende bruddlinjer mer vanlig. I nordligste del av flybildet observeres også noen bruddlinjer med **ØNØ-VSV** retning, som ellers er lite utbredt.

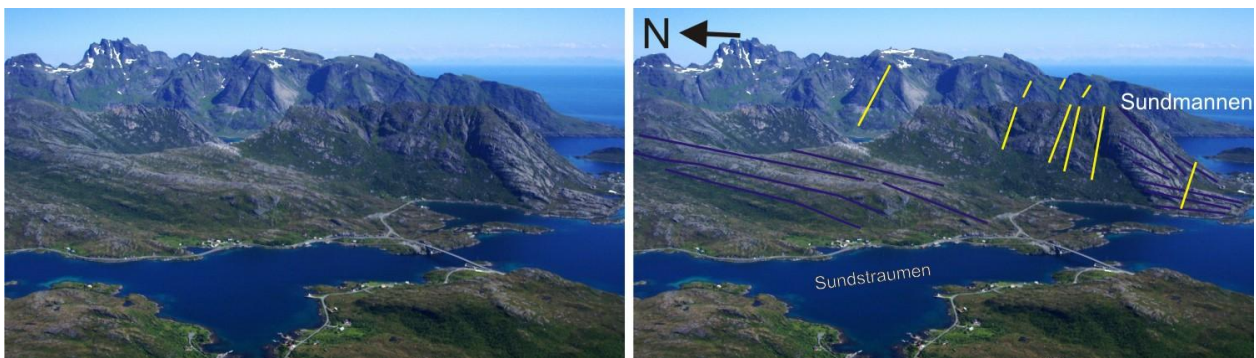
Flyfoto antyder at NNØ-SSV bruddlinjer kuttet, eller trunkert av VNV-ØSØ og NNV-SSØ bruddlinjer, men det motsatte er også tilfellet flere steder. Mange steder krysser bruddlinjene hverandre uten noen forskyvning. På bakgrunn av dette er det vanskelig å konkludere med noen aldersrelasjoner.

Topografien og retningen på landformelementer innenfor flyfotoet synes å være tydelig styrt av strukturen i berggrunnen (Figur 3.13). Spesielt strandlinjen der den har NNØ-SSV retning er mange steder særdeles lineære med strøkretning omkring N25°Ø, for eksempel rett vest for Sund og langs østsiden av Selfjorden. Det er samme retning som de fleste av de tolkede bruddlinjene. Sundstraumen med retning NNV-SSØ kan være styrt av bruddplan med samme retning selv om strandlinjene her ikke er lineære.

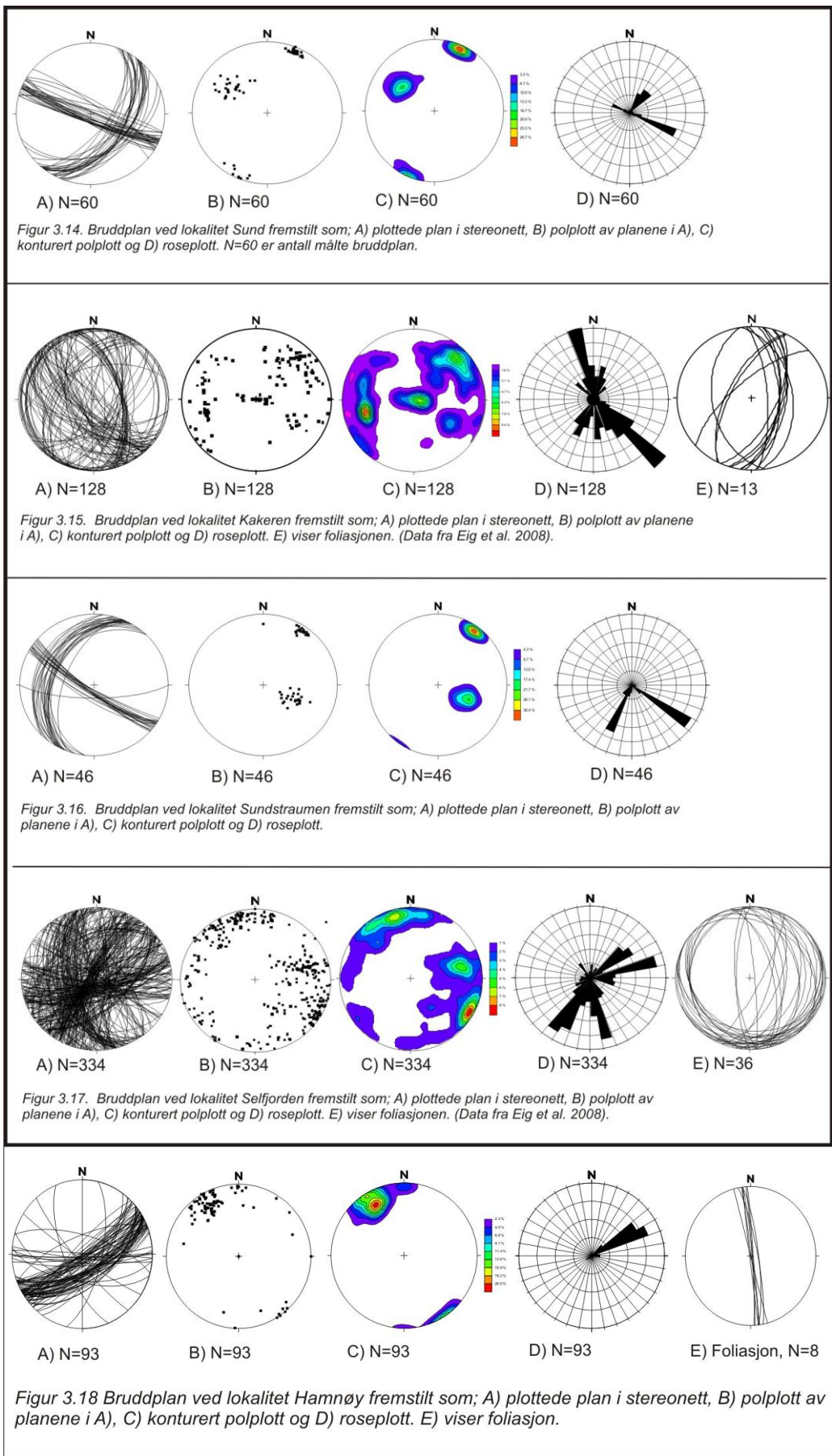
Bruddplan

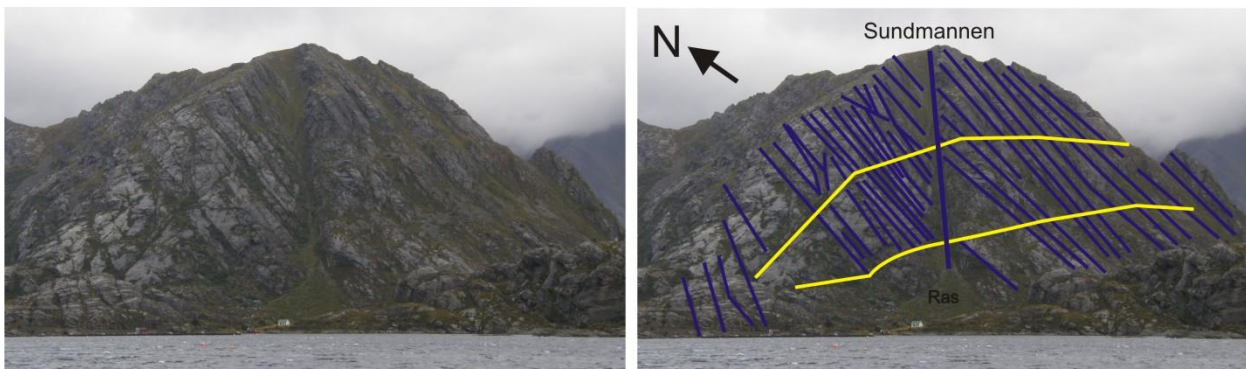
Det er foretatt strukturmålinger ved fire lokaliteter (Figur 3.14-3.17) innenfor flybildeutsnittet (Figur 3.13); A) Lokalitet Sund, B) Kakeren, C) Sundstraumen og D) Selfjorden. I tillegg er det målt bruddplan i veiskjæring ved Hamnøy (Figur 3.18). Målingene ble utført ved blotninger langs strandflaten relativt uforstyrret av vegetasjon. For lokalitet 2) og 4) er bruddplandata fra Eig et al. (2008) inkludert og benyttet sammen med egne data i analysen.

A) Lokalitet Sund. Ved lokalitet Sund (stereoplottet Figur 3.14) hvor berggrunnen består av foliert mangeritt, er det dominans av bruddplan i to retninger; NNØ-SSV til NØ-SV og VNV-ØSØ. Bruddplan i retning NNØ-SSV til NØ-SV har strøk fra 025-045° og relativt svakt fall fra 40-70° mot ØSØ. Dette er slakere enn de fleste andre målte bruddsett i studieområdet. Bruddplanene er planare og utholdende og opptrer med en tetthet/bruddfrekvens på 1 bruddplan/ meter. Liknende bruddplan og bruddlinjer (Figur 3.19 og 3.20) er tydelig synlig på avstand der hele den sørvestlige fjellsiden av Sundmannen er dominert av disse bruddplanene/ bruddlinjene. Nærmere undersøkelser viser at disse bruddplanene er utviklet parallelt med lokaliserte foliasjonsplan i **hele** dette området. VNV-ØSØ strykende bruddplan har et konsekvent strøk rundt 115° eller 295° og er subvertikale. De er mindre utbredt enn det førstnevnte bruddsettet.



Figur 3.19. Bruddlinjer og bruddplan med NNV-SSØ retning (blå linjer) kan følges fra Sund over Sundmannen og nordover. Steile VNV-ØSØ brudd/forkastninger (gule linjer) er også fremtredende.

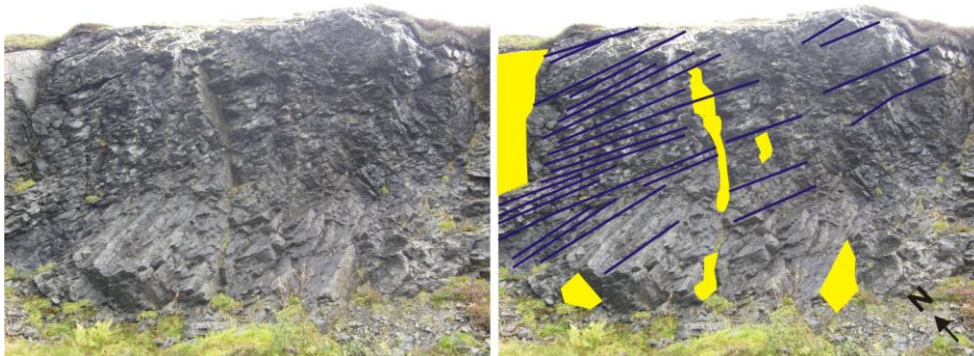




Figur 3.20. Foto viser mange tydelig bruddlinjer/bruddplan med **NNØ-SSV** strøkretning og relativt slakt fall mot ØSØ, samhoørende med den svakt hellende foliasjonen på sørvestsiden av fjellet Sundmannen. Noen få bruddlinjer med **VNV-ØSØ** strøkretning kan også observeres.

B) Lokalitet Kakeren. Stereoplott fra bruddplan ved lokalitet Kakeren (Figur 3.15) viser dominerende bruddplan i retningene; **NNV-SSØ** (gjennomsnittlig strøk 345), **NV-SØ** (gjennomsnittlig strøk 315, med god spredning, spesielt mot nord). Det er også målt noen bruddplan i retning **NNØ-SSV** (gjennomsnittlig strøk 015 og 205). Bruddsettet i retningen **NNV-SSØ**, med fall rundt 70° mot ØNØ, er ganske nøyaktig samsvarende/overensstemmende med målingene av liknende bruddsett fra alle lokalitetene i provins A.

C) Lokalitet Sundstraumen. Målingene ved lokalitet Sundstraumen (Figur 3.16 og 3.21) viser også bruddplan med **VNV-ØSØ** og **NNØ-SSV** strøkretning, i likhet med målingene fra Sund. Men her har **NNØ-SSV** bruddplan motsatt og enda slakere fall, her 20-45 grader mot NV. Gjennomsnittlig strøk og fall er 206/37. Bruddplanene er planare, rettlinjede og har meget høy tetthet (Figur 3.21). Også her så disse bruddplanene ut til å ha samme orientering som foliasjonen. **VNV-ØSØ** bruddplan har et steilt fall mot SSØ. Gjennomsnittlig strøk og fall er 124/81. De er planare og utholdende. Bruddfrekvensen (antall brudd/meter) hos dette bruddsettet er lavere med 0,5 brudd/meter. De kutter de andre bruddplanene.



Figur 3.21 Bildet viser høy bruddfrekvens til slake **NNØ-SSV** bruddplan (blå linjer) og **VNV-ØSØ** bruddplan (gul farge) som har lavere frekvens, er steile og kutter førstnevnte bruddsett, ved lokalitet Sundstraumen. Bildet er tatt mot NØ.

D) Lokalitet Skjelfjorden. Det store antall data fra denne lokaliteten (data fra Eig et al. 2008) (Figur 3.17) viser dominerende bruddplan i retningene; NNØ-SSV til NØ-SV (gjennomsnittlig strøk 208 og 050), ØNØ-VSV (gjennomsnittlig strøk 075) og NNV-SSØ (gjennomsnittlig strøk 163). Bruddplan med strøk VNV-ØSØ (gjennomsnittlig strøk 100) finnes også, men er ikke dominerende ved denne lokaliteten. Generelt er det et mye større spenn og variasjon i målingene ved denne lokaliteten. Bruddplan opptrer i alle retninger. Bruddsett med klare maksima (Figur 3.17c) fremtrer ikke like tydelig (flere maksima) som ved de andre lokalitetene, der man har få, og kanskje mer selektive utvalg. Det er flere bruddsett som overlapper. Foliasjonen er i hovedsak subvertikal med dominerende fall mot SØ (Figur 3.17e) (Eig et. al 2008).

Underlokalitet Hamnøy. For om mulig å knytte sammen provins A og B, ble det foretatt strukturmålinger i en veiskjæring ved Hamnøy rett nord for Reine, som ligger syd i provinsen (Figur 3.1). Her er den klart dominerende retningen til bruddplan ØNØ-VSV (Figur 3.18), med steilt fall hovedsakelig mot SØ (gjennomsnittlig strøk og fall er 060/82). Det er også noen få bruddplan med Ø-V til NV-SØ retning. Foliasjonen er vertikal med strøk nesten rett mot nord (Figur 3.18e).

Deltolkning provins B

Tolkede bruddlinjer og bruddplan for provins B viser stort sett samme hovedretninger som i provins A, dvs. NNØ-SSV til NØ-SV, VNV-ØSØ og NNV-SSØ, mens retningen ØNØ-VSV også er representert. Det høye antall bruddmålinger ved lokalitet Kakeren og Selfjorden viser likevel at bruddplan opptrer i flere retninger.

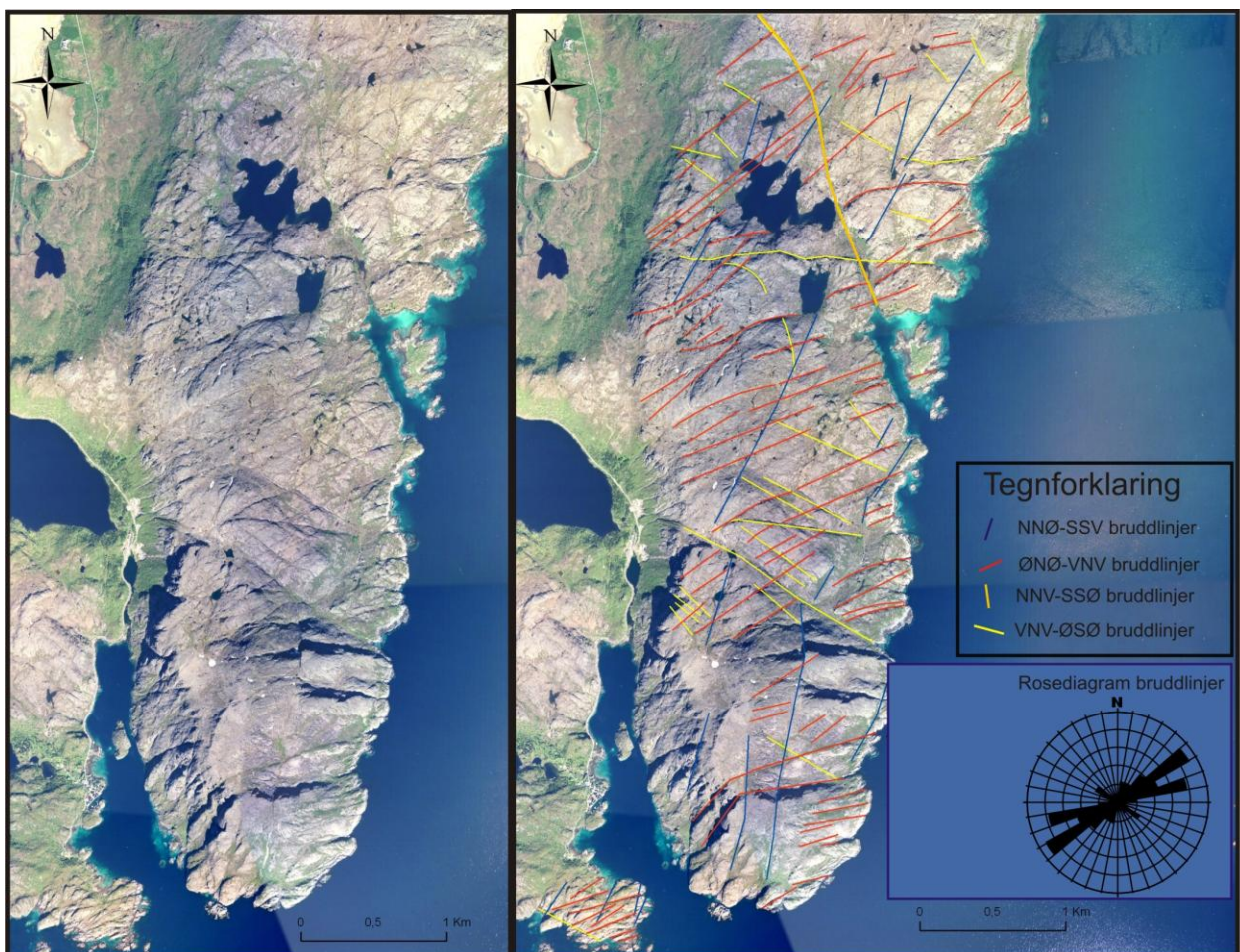
Når det gjelder kinematikk og aldersrelasjoner støttes resultatene herifra opp under resultatene fra provins A. Bl.a. fordi VNV-ØSØ bruddplan kutter NNØ-SSV bruddplan må dette settet være yngst. Data (Figur 3.15 og 3.17) og konklusjoner fra Eig et al. (2008) viser hvor komplekst mønsteret av bruddplan og orienteringer egentlig er i området, med flere foretrukne og mindre retninger.

Den kanskje viktigste deltolkningen for provins B er at topografien i området ser ut til å være sterkt styrt av berggrunnens strukturer inkludert den duktile foliasjonen. For eksempel ser den slakt hellende foliasjonen med strøk hovedsakelig NNØ-SSV ut til å ha hatt en påvirkning på dannelsen av de liknende orienterte og slakt hellende bruddplanene. Bruddlinjer og bruddplan

med strøk NNØ-SSV rundt Sund har relativt steilt fall og de spisse ryggene nordover ser ut til å være styrt av disse. Videre nordvestover finnes også rygger eller åser i NNØ-SSV retning men her er terrenget mye slakere. Dette kan sees i sammenheng med de tydelig utviklede slakt hellende bruddplanene.

3.2.3 Provins C

For provins C er den strukturelle beskrivelsen gjort på flyfotoet (Figur 3.22) over området fra Nesheia og nordover, og målinger av bruddplan ble utført ved gode blotninger langs stranden nordvest for Vareid.



Figur 3.22. Flybilder over området fra Nesheia og nordover med tolkede bruddlinjer. Rosediagrammet viser retningen til bruddlinjene.

Berggrunnen i området består av spesielle magmatiske bergarter tilhørende Flakstadøya anortositt- kompleks (Tveten 1978; Markl et al. 1998; Corfu 2004). Anortositene er homogene og grovkornige med variabel grad av utviklet foliasjon/ varierende utviklingsgrad av foliasjon. Orienteringen har flere steder retningen NNØ-SSV, noe også berggrunnskartet viser (Figur 1.2). Det er lite vegetasjon i området (Figur 3.22) samt avrundede former, noe

som er typisk for anortositt- kompleks (Marker et al. 2004). Derfor fremtrer bruddlinjer tydelig på flybildet (Figur 3.22).

Flyfoto

Området fra Nesheia og nordover (Figur 3.22 og 3.23) domineres av bruddlinjer med retningen **ØNØ-VSV**. Mindre hyppige bruddretninger er **NNØ-SSV** og **VNV-ØSØ** til **NV-SØ**. Det speilede frekvensdiagrammet på Figur 3.22 viser klar dominans av bruddlinjer med asimut sektor **N50°Ø** til **N60°Ø** og **N70°Ø** til **N80°Ø**. Noen av bruddplanene som utgjør disse lineamentene bøyer av over topper og tolkes til å falle 60-70 grader mot **SSØ** (på bakgrunn av feltfoto og observasjoner i ArcGlobe, se kapittel 4.3.4. De fleste bruddlinjene har lineære, parallelle og utholdene traseer. Spesielt sentralt på flybildet kan de følges tvers over hele ryggen, over en strekning på opptil to km, før de dekkes av løsmasser og vegetasjon lenger vest. Enkelte bruddlinjer med retning **Ø-V** til **VNV-ØSØ** trer tydeligere frem i topografien og kan følges lenger vestover som rettlinjede vannkanter og fjellsider, for eksempel ved Storvatnet (Figur 3.22). Det er betydelig færre bruddlinjer med denne orienteringen enn **ØNØ-VSV** og de er oftest mindre utholdende. Noen bruddlinjer bøyer sterkt av mot **NNV-SSØ** som følge av høyt relieff/ topografien og svakt fall til bruddplanene (litt nord for midten av fotoet). Eventuelt kan det være en avbøying mellom **VNV-ØSØ** og **NNV-SSØ** som vitner om at de er relatert til hverandre. Et tydelig lineament med retning **NNV-SSØ** trer klart frem i terrenget ved Straumsøya (Figur 3.22), ellers er det få bruddlinjer med denne orienteringen.

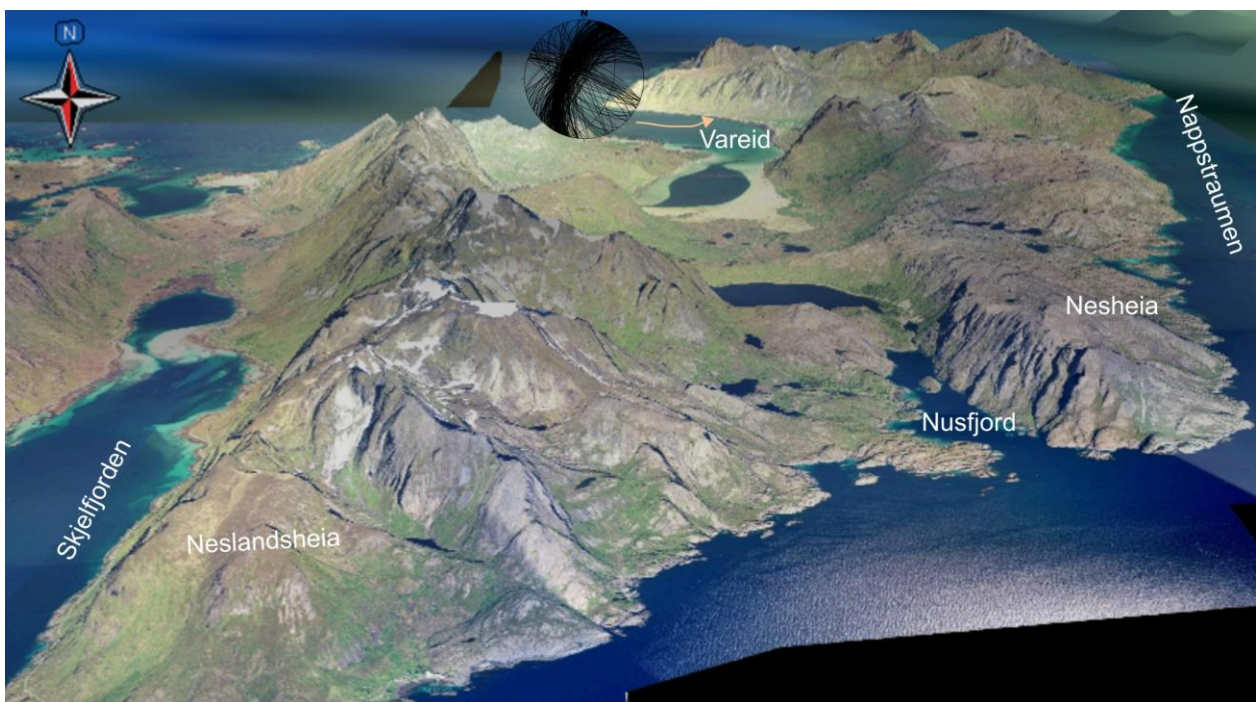


Figur 3.23. Bildet viser tydelige strukturer i det småkuperte landskapet nord for Neslandsheia.

Noen få bruddlinjer er observert med retning **NNØ-SSV**. De er ikke spesielt tydelige i topografien, men kan strekke seg flere km (Figur 3.22). Analyser i ArcGlobe 3D-modeller antyder oppkomsten av regionale **VNV**- hellende forkastninger eller hovedforkastninger bl.a. mellom Nusfjord og Vareid og lenger vest (Figur 3.24). Dette diskuteres videre i kapittel 5.3.3. Berggrunnskartet (Figur 1.2) viser at foliasjonen ved noen målinger innenfor området er

steil har den samme retningen som de nevnte bruddplanene. De fleste bruddlinjer krysser hverandre uten noen innbyrdes forskyvning. Dette tyder på at det har vært liten bevegelse langs bruddplanene. Likevel er det mange bruddlinjer som stopper eller kanskje blir forkjøvet inn mot bruddlinjene med retning VNV-ØSØ til NNV-SSØ, noe som antyder at disse er yngst. Et eksempel er inn mot VNV-ØSØ bruddlinjen mot Storvatnet (Figur 3.22).

Topografien og landformelementer i området har mange steder samme retning som bruddlinjene. Dette gjelder både lineære vannkanter, kystlinjer, vikler, skråninger, kløfter og rygger.

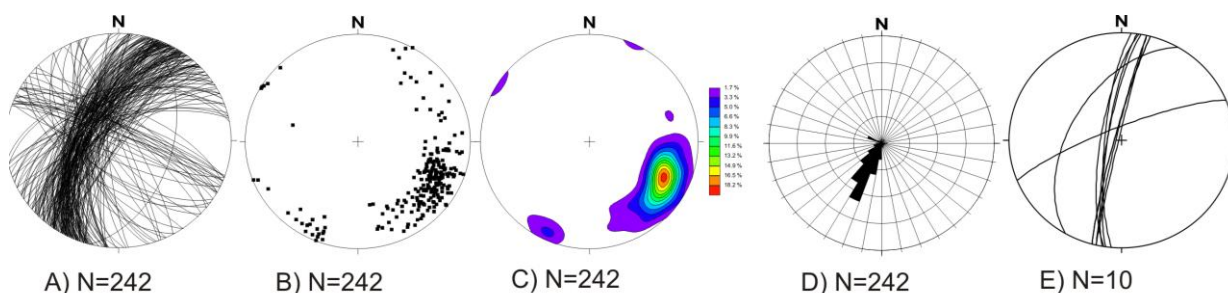


Figur 3.24. Topografisk modell fra ArcGlobe over provins Flakstad. Stereoplottet viser målte bruddplan mellom Vareid og Vikten med dominerende retning NNØ-SSV og fall mot VNV. Et mindre dominerende sett med steile VNV-ØSØ brudd opptrer også.

Bruddplan

Målinger av bruddplans orientering er utført ved gode blotninger for hver 20. meter langs en 200 meter transekt på stranden mellom Vareid og Hestneset (Figur 3.24 og 3.25).

Berggrunnen består av homogen mangeritt tilhørende syd-vest Lofoten mangeritt kompleks (Markl et al. 1998). Foliasjonen er varierende utviklet. Flere steder har foliasjonen omtrent samme orientering som bruddplanene med retning NNØ-SSV, men det er foretatt få målinger og utviklingen er mange steder svak. De ser likevel ut til å kunne ha en innvirkning på utviklingen av bruddplanene.



Figur 3.25. Bruddplan ved lokalitet Vareid fremstilt som; A) plottede plan i stereonett, B) polplott av planene i A), C) konturerte polplott og D) roseplott. E) viser foliasjon. N= antall målinger.

Den klart dominerende retningen av bruddplan langs hele strandflaten er fra NNØ-SSV til NØ-SV. Det er også noen bruddplan med ØNØ-VSV og VNV-ØSØ strøkkretning.

Bruddplanene med strøk NNØ-SSV til NØ-SV har et steilt fall mot NV, og det er flest målte bruddplan med strøk 225. De har lav utholdenhet og har en uregelmessig opptreden. De kan ha en kurvet, sigmoidal eller linseformet geometri (Figur 3.26). VNV-ØSØ strykende bruddplan er også her subvertikale med fall i begge retninger. Det er få bruddplan med denne retningen, de er mer rettlinjede og planare.



Figur 3.26. Blotninger av steile NNØ-SSV bruddplan med fall mot VNV på stranden nordvest for Vareid. Merk kompass midt i bildene.

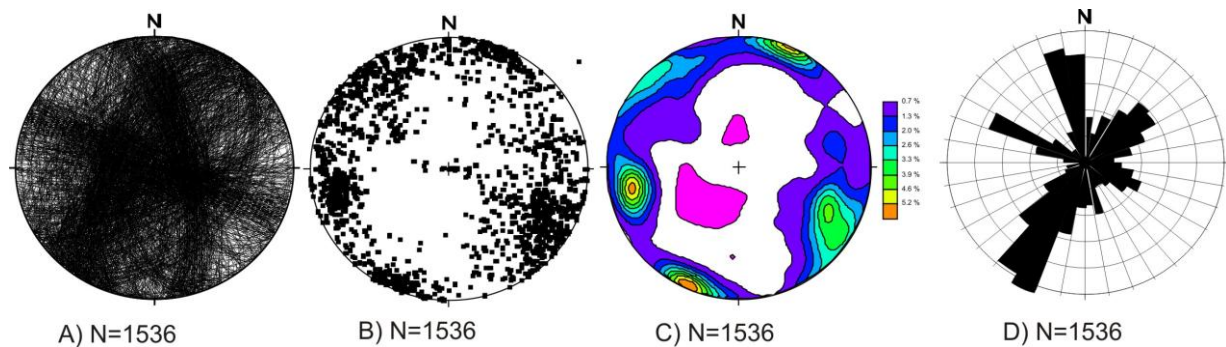
Deltolkning for provins C

Flybildet viser dominerende bruddlinjer med ØNØ-VSV strøk. Det er få bruddlinjer med VNV-ØSØ til NNV-SSØ retning, men de er utholdende og trer tydelig frem i terrenget. Disse bruddlinjene kutter mange steder alle andre sett og antas derfor å være yngst.

NNØ-SSV bruddplan er sterkt dominerende på stranden fra Vareid og nordvestover. Dette underbygger terrengmodellen (Figur 3.24), nemlig at bruddplan i mesoskala er lokalisert til store forkastninger og lite utviklet ellers.

Den lave frekvensen av NNØ-SSV bruddlinjer kan bety at slike bruddsett i hovedsak er lokalisert til selve hovedforkastninger bl.a langs Nappstraumen, mellom Nusfjord og Vareid og langs Skjelfjorden (og lenger vest) men ikke i områdene mellom (pers. com. Bergh). 3D terrengmodellen (Figur 3.24) antyder lokaliserte hovedforkastninger i retningen NNØ-SSV. Ved Sund derimot sees de NNØ-SSV orienterte bruddlinjene tydelig på flybildet (Figur 3.13)

3.2.4 Samlet strukturanalyse og diskusjon



Figur 3.27. Alle målte bruddplan for hele studieområdet fremstilt som: A) plottede plan i stereonett, B) polplott, C) konturert polplott og D) rosedigram.

Studier av flybilder og mesoskala bruddplan fra utvalgte lokaliteter innenfor tre provinser lengst vest i Lofoten har påvist flere dominerende bruddretninger; NNØ-SSV, NØ-SV til ØNØ-VSV, VNV-ØSØ og NNV-SSØ. Den samlede strukturanalysen som inneholder orienteringen (strøk og fall) til alle målte bruddplan (Figur 3.27) indikerer både regionale og lokale variasjoner. Det er varierende fra område til område hvilke bruddsett som er dominerende. Deres opptreden viser også stor variasjon. Selv om både kinematikk og aldersrelasjon mellom bruddplan ikke er spesifikt utredet i dette studiet, kan noen konklusjoner likevel trekkes på bakgrunn av egne observasjoner og ved å sammenlikne med andres data, (Bergh et al. 2007 og Eig et al. 2008) blant annet at tre genetisk relaterte grupper/ populasjoner av bruddsett eksisterer. Disse er;

1) **NNØ-SSV** settet er det hyppigst forekommende, men samtidig det mest varierende der spesielt målinger av bruddplan viser stor variasjon av orienteringer og fallretninger. Vanligst er et fall mot VNV. Bruddlinjene er ofte lineære og langstrakte. Mange steder ser de ut til å være styrt av foliasjonen. NNØ-SSV bruddsett antas å være relativt sett eldst og blir benevnt **S1**, (basert på terminologi etter Bergh et al. 2007, se neste side).

2) **NØ-SV** til **ØNØ-VSV** settet er dominerende på flybildene over Å til Sørvågen og fra Nesheia og nordover, mens bruddmålingene ikke er like entydige og viser stor variasjon både i orientering og fallretning. Mange målinger i retning NØ-SV på Å fører til at denne retningen har høy frekvens på rosedigrammet. På de andre lokalitetene er ikke denne retningen utbredt. Bruddplanene bøyer av eller trunkerer førstnevnte sett og tolkes til å være dannet senere. De benevnes **S2**.

3) **VNV-ØSØ** og **NNV-SSØ** settene er utbredt på alle flybildene og minst ett av settene opptrer ved alle lokalitetene i studieområdet. Alle målinger av bruddplan i retningen VNV-ØSØ er subvertikale og har et konsekvent strøk, mens NNV-SSØ bruddplan ofte faller 70° mot ØNØ (Figur 3.28d). Bruddsettene er konjugerte og kutter, avbøyer eller forskyver i mange tilfeller alle andre strukturer. De tolkes til å være dannet samtidig i et regionalt og distribuert sidelengs forkastningsregime, men med en mulig skrå komponent. Bruddsettene er benevnt henholdsvis **S3a** og **S3b** (Eig et. al 2008).

Mine resultater og tolkninger av strukturelle retningsselementer (sprø bruddplan) i vestlige Lofoten samsvarer godt med oppfatningene til Bergh et al. (2007) og Eig et al. (2008), som i stor grad er basert på kinematikk og aldersrelasjoner. Noen av deres konklusjoner er viktige for den geomorfologiske analysen og retningsanalysen gjort der, og vil derfor bli omtalt her.

S1 lineamenter har NNØ-SSV strøk og oftest fall mot VNV, er de mest irregulære, og tolkes til å være knyttet til regionale normalforkastninger. De er senere blitt reaktivert og utviklet som dekstrale sidelengsforkastninger og Riedelskjær bruddplan.

S2 lineamenter har ØNØ-VSV retning, er mer lineære og forskyver S1-settene. Sammen med en avbøying av S1 inn mot S2 støtter det den relativt yngre alderen. Dette settet er mest utbredt i de sentrale delene av Lofoten og langs marginen av selve Lofotryggen (Figur 1.3 og 1.4). De fleste blotninger av S2 lineamenter er normalforkastninger og ekstensjonsbrudd,

mens en dekstral strøkslippkomponent også er tydelig. S1 og S2 danner et sikksakk lineamentmønster, og hovedforkastningen avgrensner selve Lofotryggen.

S3 lineamenter med NNV-SSØ til NV-SØ strøk er rektilineære og trunkerer alle andre lineamenter og de antas å ha opprinnelse som skjærbrudd med hovedsakelig dekstral forskyvning. Disse strukturene er mest vanlig i den vestre delen av Lofoten (Eig et. al 2008).

De nevnte lineamentssettene på land i Lofoten er i arbeidet til Bergh et al. (2007) og Eig et al. (2008) korrelert med store regionale forkastninger på sokkelen utenfor (Figur 1.3 og 1.4). Noen av disse forkastningene fremtrer som lineære kystklipper og kan korreleres direkte mellom landområdene og sokkelen utenfor, for eksempel S2-forkastninger ved Eggum og Henningsvær. Disse er parallelle med retningen til Lofotryggen og Vestfjorden i dette området. Lengre sør har Lofotryggen mer NNØ-SSV retning (Figur 1.3 og 1.4).

4. Geomorfologiske elementer

4.1 Innledning

Dette kapitlet inneholder en analyse av geomorfologiske elementer, og er delt i to deler. I den første delen vil retningen til *orienterte formelementer*, som utgjøres av lineære landformelementer og aspekt (helningsretning) bli beskrevet og til slutt diskutert og knyttet sammen. I den andre delen vil *høyereleggende hellende flater* og rygger bli beskrevet.

Studieområdet inneholder åpenbare forskjeller når det gjelder orienterte formelementer, og er delt inn i de samme tre provinsene som for strukturanalysen. I beskrivelsen for de to nevnte delene vil studieområdet bli gått igjennom provins for provins.

4.2 Orienterte formelementer

4.2.1 Innledning

I dette underkapitlet gis det først en beskrivelse av storskala formelementer. Deretter presenteres fremstilte kart/ kartgrunnlag, analysemetode og tilslutt blir analyseresultatene gått igjennom provins for provins og for hele studieområdet.

I analysen er det tatt utgangspunkt i at lineære formelementer som for eksempel rygger, dalretninger, søkkretninger, endringer i helningsvinkel ("slope breaks"), lineære kystlinjer og vannkanter (linjer hvor vann og land møtes) og bratte skråninger med ensartet helningsretning over et større område, kan være morfologiske elementer styrt av tektonikk og forkastningsaktivitet (Prost 1994; Burbank 2001; Jordan et al. 2001, 2003, 2005). De nevnte lineære formelementene, med unntak av aspekt, blir heretter omtalt som lineære landformelementer, forkortet LFE, og danner grunnlaget for en retningsanalyse som fremstilles som rosedigram. Analysen av aspekt blir fremstilt som aspekthistogram.

Mange landformelementer i stor skala, dvs. fjorder, sund og kysten til selve Lofotryggen, er orientert N-S til NØ-SV for Moskenesøy og Flakstadøy, mens ved Vestvågøy har den en mer Ø-V retning (Figur 1.4 og 4.1).

Når det gjelder retningene på selve Lofotryggen har den NNØ-SSV retning ved Moskenesøy mens den bøyes av rundt Flakstadøy til en mer Ø-V retning ved Vestvågøy. For Moskenesøy har fjorder og daler varierende retning, men VNV-ØSØ retning er utbredt og kan følges tvers over Lofotryggen. Et forgreinet fjordsystem innenfor Reine med retningene VNV-ØSØ, NV-SØ, NNV-SSØ og NNØ-SSV deler nesten opp øya. Flakstadøya er dominert av fjorder og sund med mer nord- sørlig retning; Sundstraumen, Skjelfjorden, Flakstadpollen og Nappstraumen som ligger mellom tre høydedrag. Mange av fjordene har meget lineære kystlinjer, for eksempel østsiden av Selfjorden.

4.2.2 Kartgrunnlag og analysemetode

Følgende kart er utarbeidet digitalt i ArcGIS og brukt i analysen av de geomorfologiske landformelementene;

- 1) skyggerelieff (hillshade)
- 2) aspekt (helningsretning)
- 3) helningskart (slope) viser helningsvinkel
- 4) høydekart (elevation) viser høyden i m o.h.

Skyggerelieffkart

Skyggerelieffkartene er kart som viser terrengformer. Kartene belyser topografien med en kunstig sol, slik at det blir skygger i le av høydedrag og i forsenkninger. Lyset kan bli satt til å komme fra ulike retninger, og ulik høyde over horisonten, og dermed få fram ulike detaljer. Belysningen ble satt til å komme fra NV ved tolkning av landformelementer (LFE) i NØ-SV retning og fra NØ for tolkning av elementer med NV-SØ retning. Lineære rygger/ egger kommer klart fram på skyggerelieffkartene (Figur 4.1 og 4.2).

Aspektkart

Aspektkartet (Figur 4.3) viser helningsretning av overflaten/ skråninger. Det er valgt 12 ulike sektorer for inndelingen av aspektretningene. Et tydelig skille mellom ulike farger på aspektkartet kommer ofte fram som rette linjer og lokaliserer dalretninger, rygger og skråninger med ensartet aspekt (helningsretning) over et større område. Disse skråningene er ikke plottet i retningsanalysen av LFE, men er fremstilt som aspektistogram (se nedenfor).

Helningskart

Helningskartet (Figur 4.4) viser helningsvinkel til overflaten. For å fremstille klassene på kartet er funksjonen *natural breaks* brukt. Klassene er basert på naturlige grupper/ inndelinger i datasettet. ArcMap identifiserer knekkpunkt/ bruddpunkt ved å velge skille mellom klassene som best mulig grupperer like verdier. Grensene mellom klassene er satt der det er relativt store hopp i dataverdiene. Klassene har ulike intervall, og er: 0-9°, 10-21°, 22-33°, 34-47° og 48-80°.

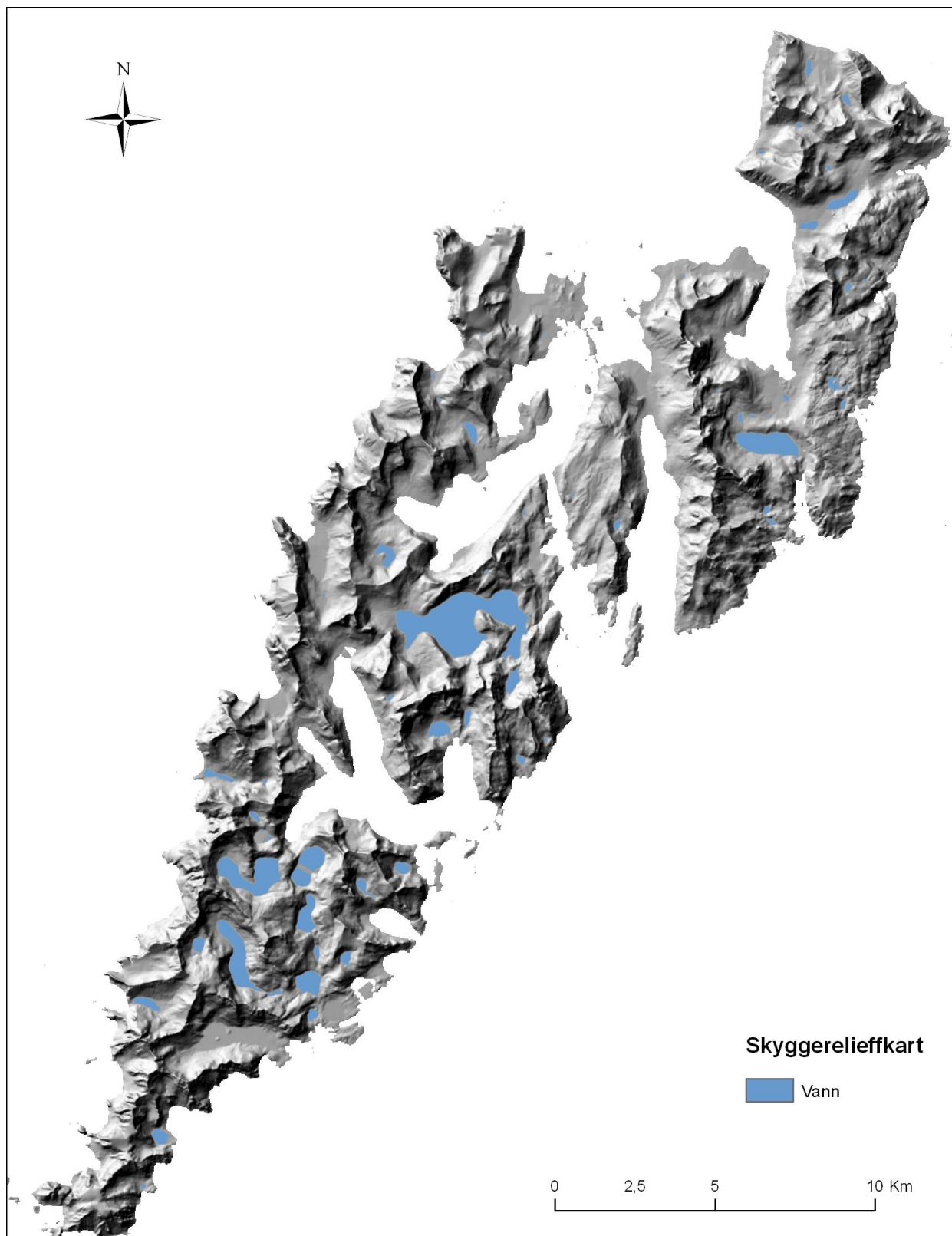
Topografiske trekk kommer klart fram på kartet. Bratte skråninger i oransje og rød farge (34-80°) utgjør et relativt stort areal. Endring i helningsvinkel, såkalte *slope breaks* eller *break of slope*, heretter kalt *terrengkant*, trer flere steder klart fram som lineære fargeendringer, som representerer landformelementer. Helningskartet viser også klart flate partier på høyere nivåer, som kan være rester av paleisk overflate (se figur 4.8, kapittel 4.3)

Høydekart

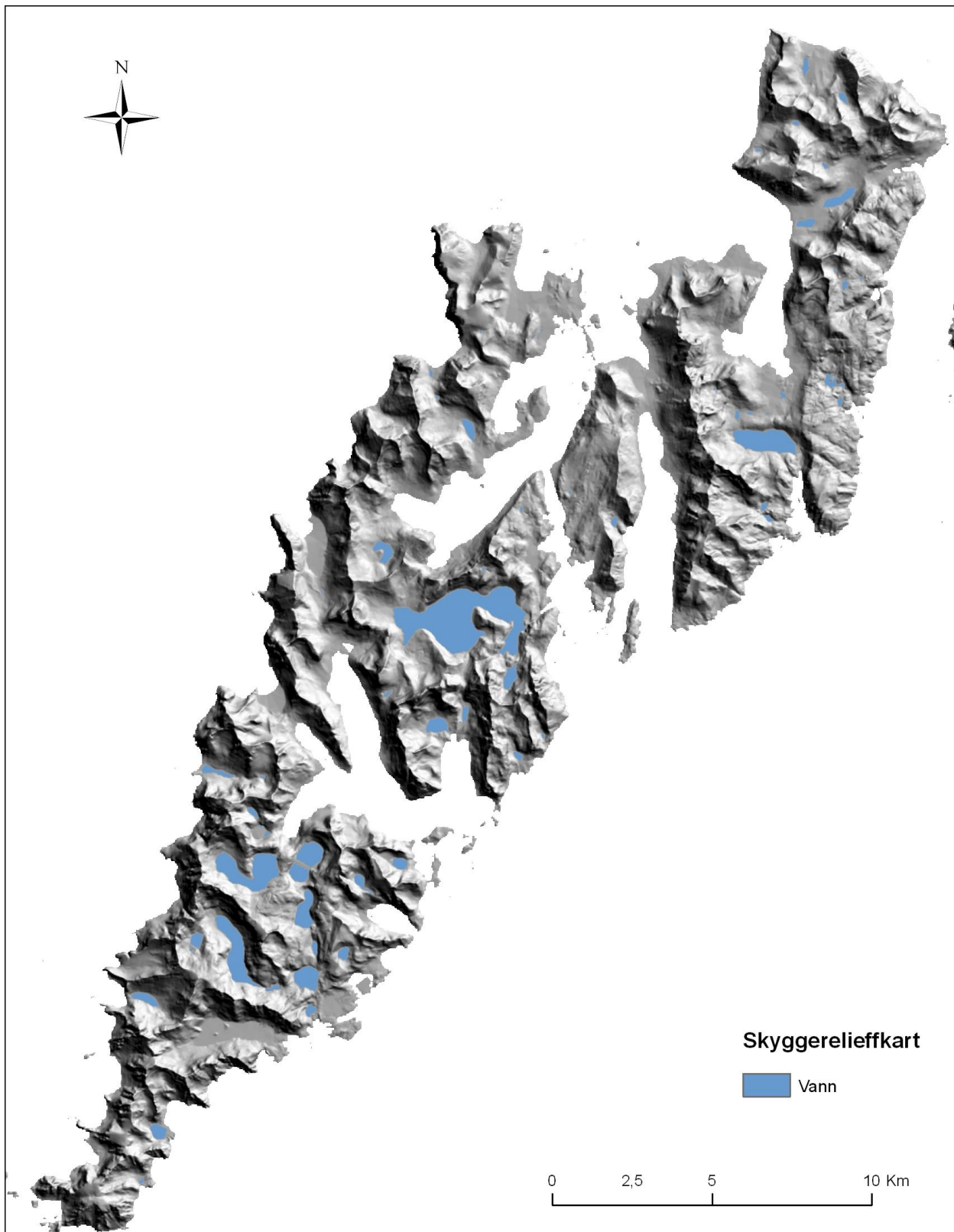
Høydekartet (Figur 4.5) viser høyden over havet i meter. Ved fremstilling av klassene på kartet er funksjonen *natural breaks* brukt. De fleste av de 10 klassene, fra 0 til 1141 m o.h., strekker seg over et høydeinterval på mellom 80 og 100 meter. Unntakene er intervallene 0-38 m , 663-787 og 788-1141.

Klasse 1 i lyseblå farge, fra 0-30 m o.h. viser deler av strandflaten, med størst utbredelse over havnivå i øst. For Moskenesøya viser kartet at de høyeste områdene ligger i vest (hvit farge på kartet), mens høyden avtar mot ØSØ, SØ og SSØ (se avsnitt profiler).

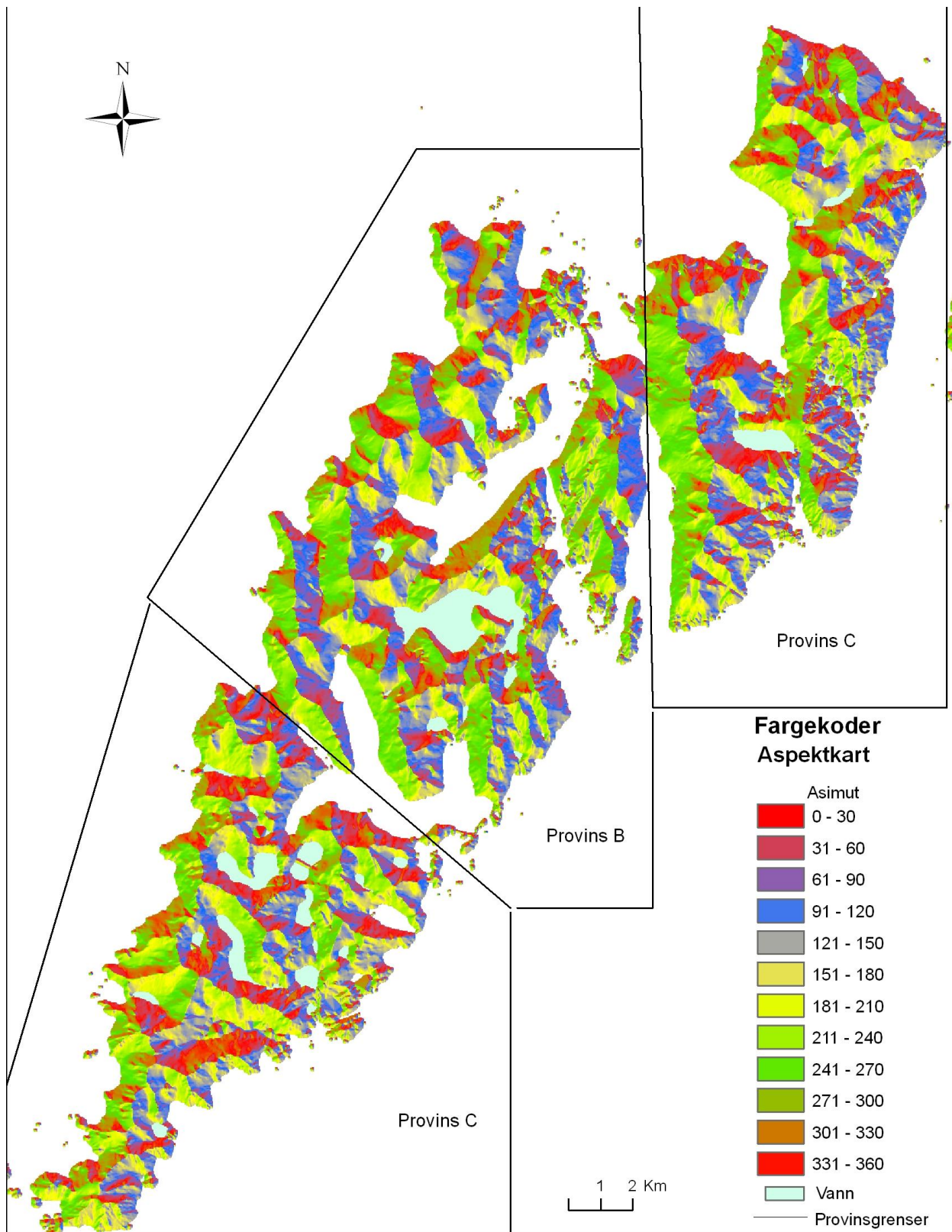
For Flakstadøya faller topografien (elevasjonen) både mot øst og sør. Høydedragene har høyest elevasjon/ høyde over havet i vest (og nord) der fjellskråningene også har høy helningsvinkel (Figur 4.4), før de faller slakere mot både Ø og SSØ (se kapittel 4.3).



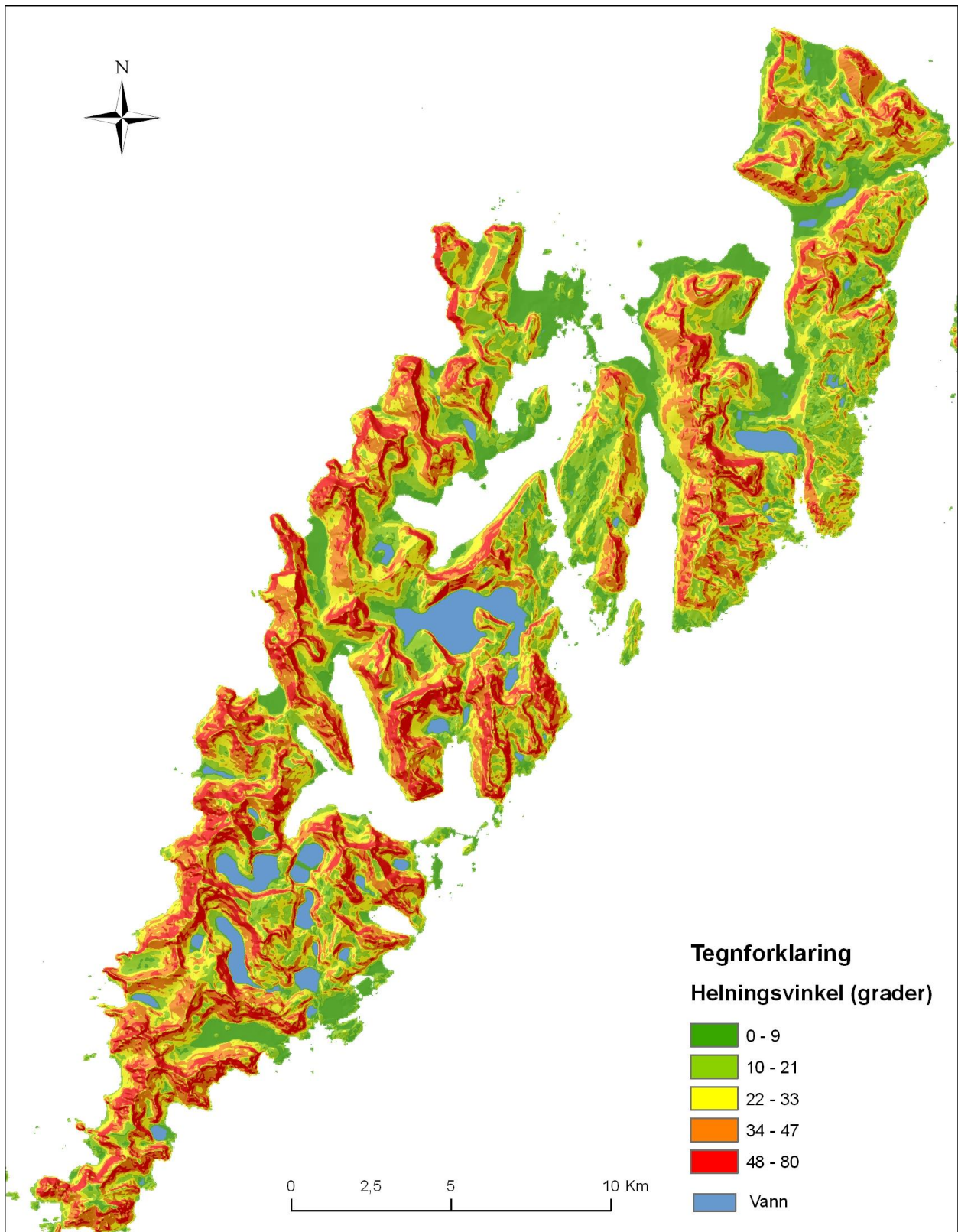
Figur 4.1. Skyggerelieffkart belyst fra NV der landformelementer med retning NNØ-SSV til ØNØ-VSV (LFE1 og LFE2) trer godt frem. Se teksten for nærmere forklaring.



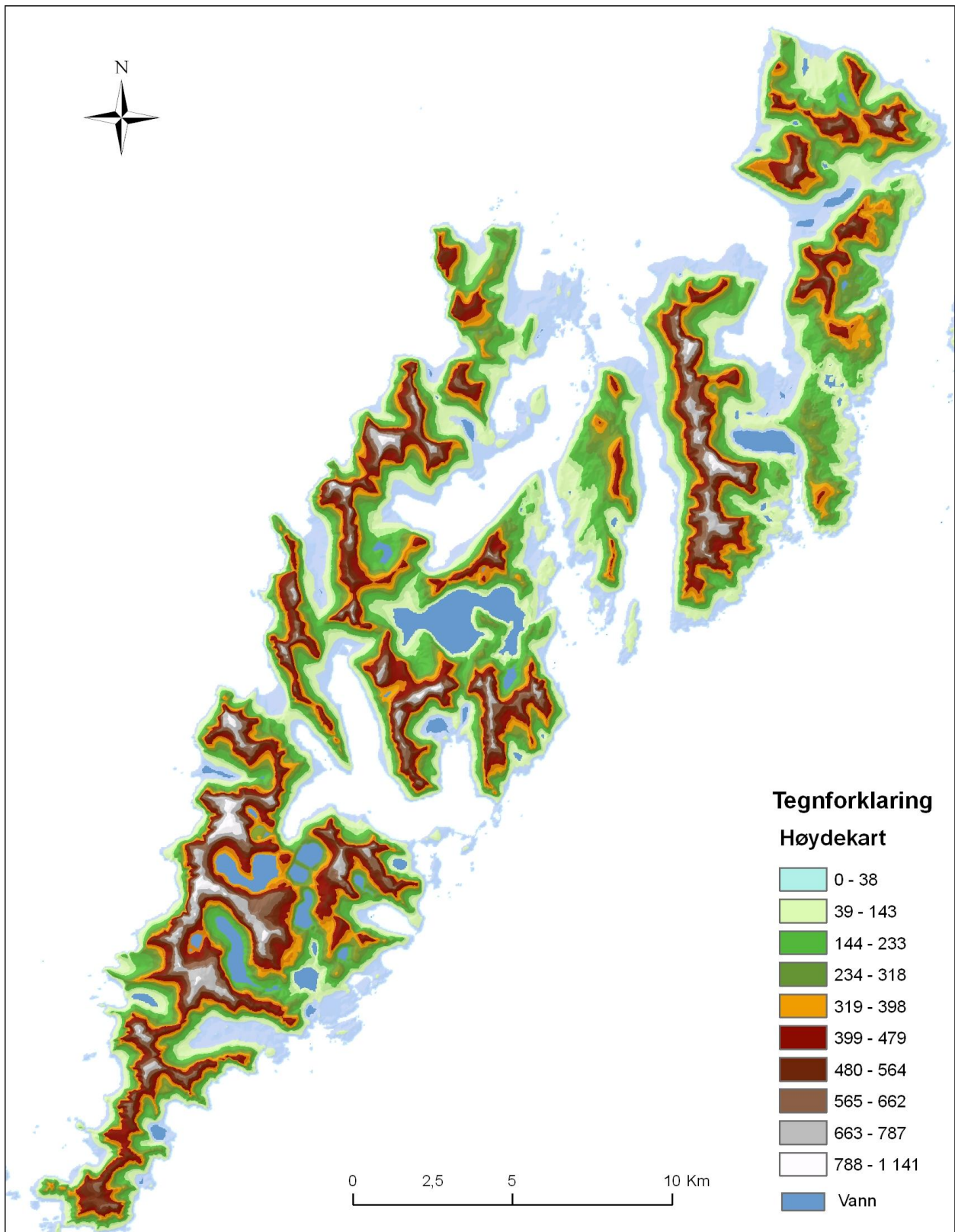
Figur 4.2. Skyggerelieffkart belyst fra NØ der landformelementer med VNV-ØSØ til NNV-SSØ (LFE3a og LFE3b) retning godt frem.



Figur 4.3. Aspektkart, som viser helningsretning av overflaten og lokaliserer tydelig ulike landformelementer. Celle-verdiene for en aspekt raster er gitt som kompassretninger fra 0-360, der nord= 0, øst = 90, sør = 180, vest= 270. Rød farge representerer helningsretning mot nord, blå mot øst, gul mot sør og grønn mot vest.



Figur 4.4. Helningskart som viser helningsvinkel til overflaten, der topografiske trekk kommer klart fram. Bratte skråninger er utbredt og endringer i helningsvinkel (terrengkanter) trer flere steder fram som lineære fargeendringer. Helningskartet viser også flatere partier på høyere nivåer, som kan være rester av paleisk overflate.



Figur 4.5. Høydekart som viser høyden over havet i meter. Klasse 1, i lyseblå farge, fra 0-38 m o.h. viser deler av strandflaten der den ligger over havnivå. Lineære landformelementer som rygger og skråninger kommer klart frem i kartet.

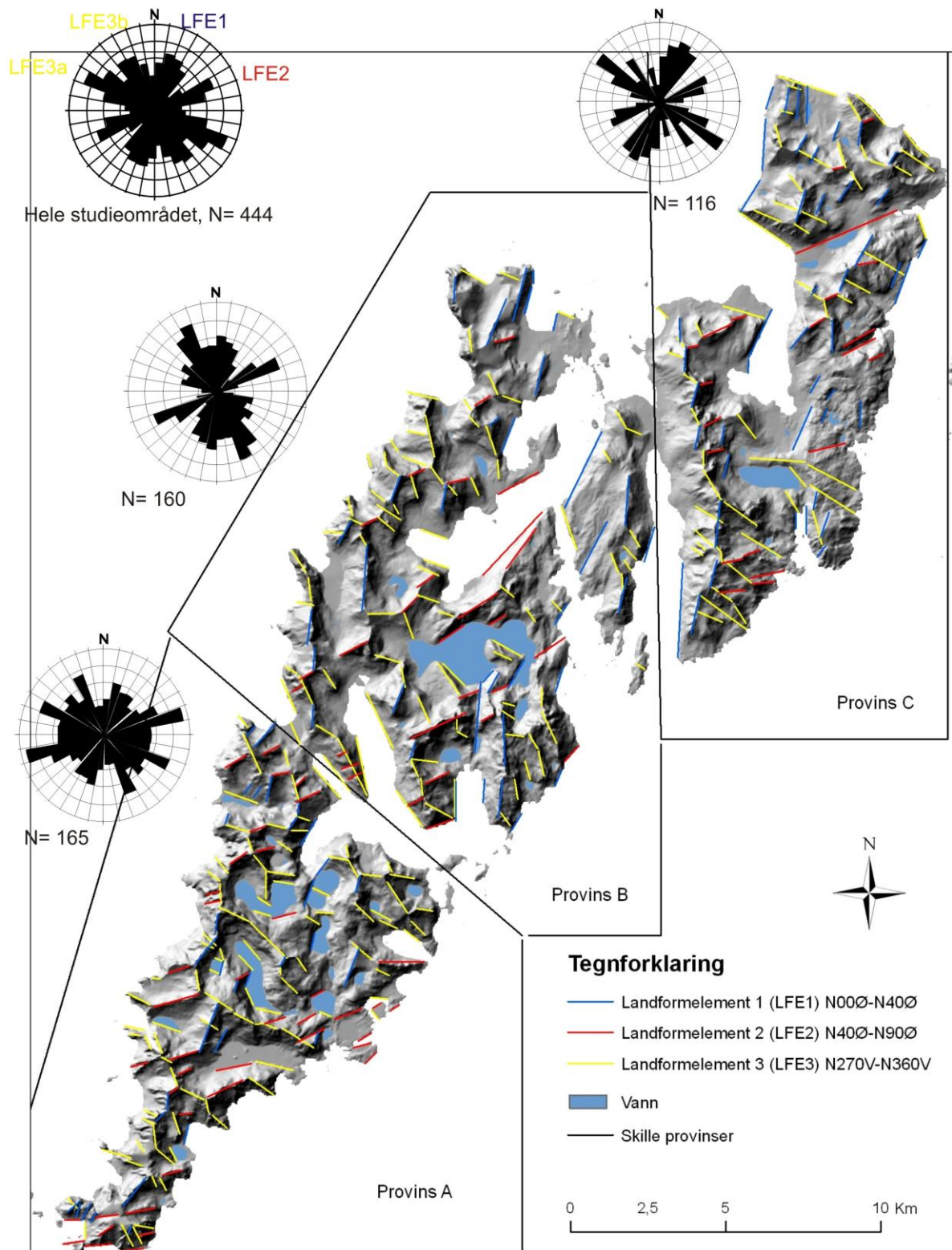
Retningsanalyse av lineære landformelementer (LFE)

En retningsanalyse, det vil si identifisering og plotting av lineære landformelementer (LFE) er utført digitalt i ArcGIS ved å bruke de nevnte karttypene, og fremstilt som speilede rosedigram på et skyggerelieffkart (Figur 4.6). I denne retningsanalysen er lineære rygger, samt særs rettlinjede kystlinjer og vannkanter (linjer hvor vann og land møtes) dominerende og utgjør størsteparten av de plottede linjene/ tolkningene (se kapittel 4.2.3). Dalretninger, søkkretninger og terrengkanter er også plottet men er ofte ikke like langstrakte og rettlinjete og utgjør mindre del av de plottede elementene.

Analysen er utført i målestokk 1:70.000. Det er derfor tolket lineære landformelementer over relativt korte avstander, sammenliknet med tidligere lineamentanalyser. I og med at plottingen av LFE er gjort i forskjellige kart som alle kan vise ulike detaljer, kommer ikke alle landformelementer frem i skyggerelieffkartet der retningstolkningen er fremstilt (Figur 4.6).

De plottede linjene til landformelementene er gitt ulike farger (Figur 4.6) ut ifra orienteringen til dominerende grupper. Inndeling er den samme som er brukt i den strukturelle delen av oppgaven, (for lettere å kunne sammenlikne orienteringer). Inndelingen er basert på Bergh et al. (2007) og Eig et al. (2008), men er naturlig også ut i fra resultatene i dette arbeidet. **Blå linjer** representerer asimut sektor N00°Ø til N40°Ø (NNØ-SSV- retning) og utgjør landformelement 1 (LFE1), **rød linjer** representerer asimut sektor N40°Ø til N90°Ø (ØNØ-VSV- retning) og utgjør landformelement 2 (LFE2), **gule linjer** representerer N270°V til N360°V. VNV-ØSØ- retning utgjør landformelement 3a (LFE3a), mens NNV-SSØ- retning benevnes landformelement 3b (LFE3b).

Landformelementene er framstilt speilet/ bidireksjonalt i et asimut-frekvens rosedigram laget i programmet stereonett (Figur 4.6). Diagrammene viser hvilke retninger av landformelementer som er dominerende for de ulike provinsene og for hele studieområdet.



Figur 4.6. Skyggerelieffkart der retningsanalysen av lineære landformelementer (LFE) er lagt over kartet. De bidireksjonale frekvens- asimut rosedigrammene viser dominerende orientering av landformelementene for de tre provinsene, og samlet for hele studieområdet. Hver sektor representerer 10° mens hver ring utgjør 6 % av totalt antall. Kartet er belyst fra NV.

Aspekthistogram

Det er framstilt aspekthistogram (Figur 4.7) fra aspektkartet (Figur 4.3) for de tre provinsene A, B og C, for hele studieområdet samlet og for hele Lofoten. Aspekthistogrammet viser antall piksler merket count (y-aksen) som har aspektverdier fra 0-360° (x-aksen). Fargene representerer samme fargekoder som på aspektkartet. Rød farge representerer helningsretning mot nord, blå mot vest, gul mot sør og grønn mot vest.

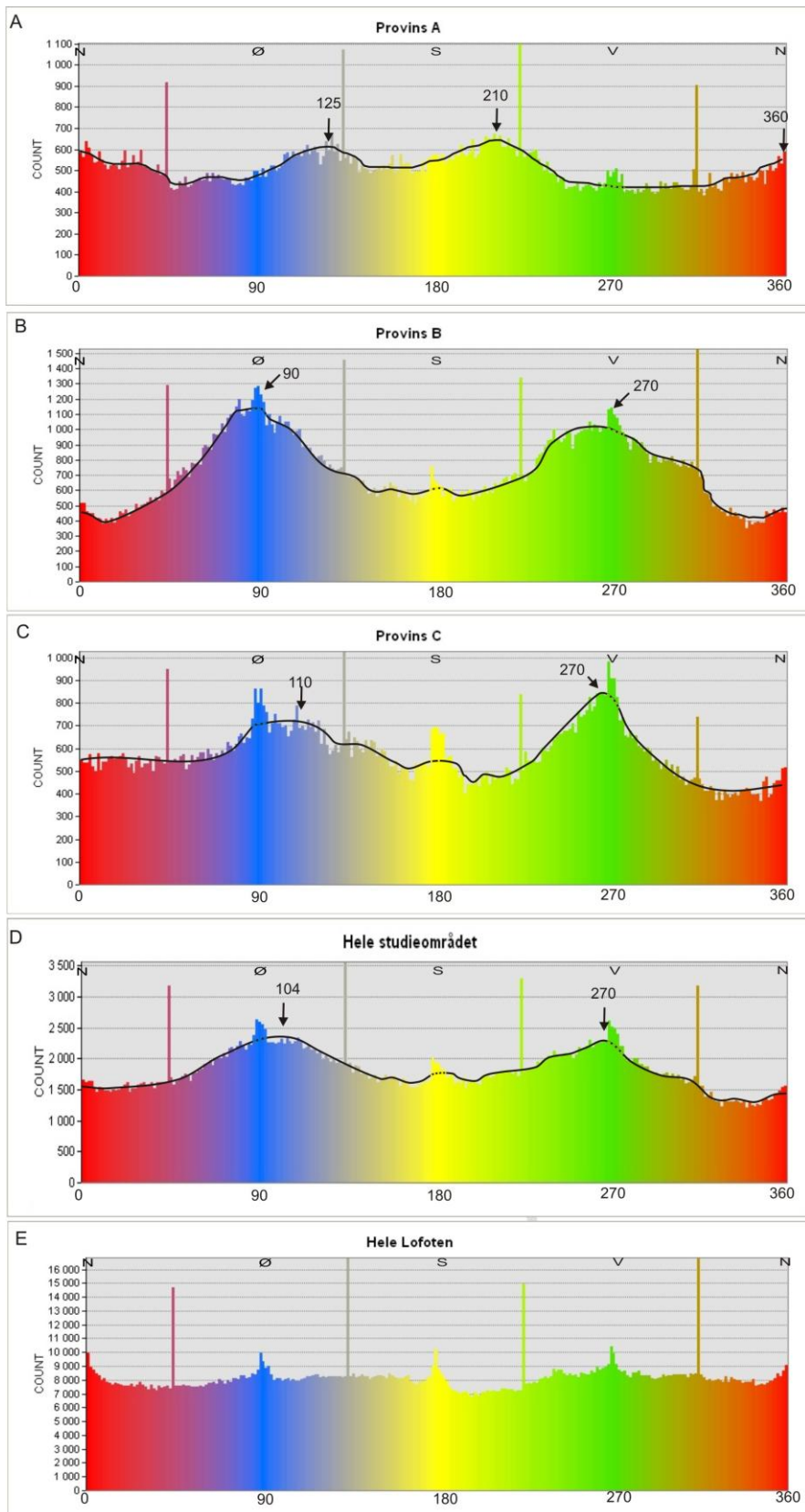
Aspekthistogrammene gir klare indikasjoner på hovedretninger, men for hver 90° asimut er det systematiske feil, der topper med disse retningene skiller seg ut. I følge Jordan 2001, 2003, 2005 kan aspekthistogrammene gi systematisk feil ved hver 45° asimut, som en følge av numerisk derivasjon over et rektangulært grid. Alle aspekthistogrammene viser en topp ved hver 90° asimut for den ene verdien direkte mot NØ, SØ, SV og NV. Det velges derfor å se bort i fra disse toppene. For retningene mot N, Ø, S, og V viser flere av diagrammene topper også her. Men i disse retningene har toppene større spredning. Disse toppene er også usikre, og i aspekthistogrammene er det tegnet inn en kurve som er stiplet over disse toppene, det vil si at det er tatt et løpende gjennomsnitt der toppene som er mindre enn 5° asimut er stiplet. Det er også skrevet inn aspektverdien for maksimumsverdiene når det sees bort fra de usikre toppene.

4.2.3 Analyseresultater og beskrivelse

I det følgende gis en omtale av orienterte formelementer, basert på de fremstilte karttypene og data. Retningsanalysen av landformelementer (LFE) med asimut-frekvens rosedigram blir presentert først, og deretter sammenliknet med aspekthistogram for hver av de undersøkte provinsene, samt hele studieområdet.

4.2.3.1 Provins A

Av rosedigrammet for provins A (Figur 4.6), kommer det frem at den dominerende orienteringen av lineære landformelementer er ØNØ-VSV (gjennomsnittlig N70°Ø) og VNV-ØSØ (gjennomsnittlig N295°V). Det er både høy frekvens og god spredning i disse retningene. Flere av ryggene i retning VNV-ØSØ er svært utholdende og kan følges nesten kontinuerlig tvers over de sørlige delene av Lofotryggen. Det er også en relativt høy økning i frekvens i retning NNV-SSØ (N335°V) og NNØ-SSV (N25°Ø). Rosedigrammet viser



Figur 4.7. Aspekthistogram fra aspektkartet for de tre provinsene A, B og C, for hele studieområdet samlet og for hele Lofoten. Histogrammet viser antall piksler merket count (y-aksen) som har aspektverdier fra 0-360° (x-aksen). Fargene representerer samme fargekoder som på aspektkartet. En utjevnet kurve er lagt inn på aspekthistogrammene og er stiplet over toppene som er på mindre enn 5° asimut.

imidlertid at alle retninger opptrer. Dette er først og fremst en følge av at det finnes en del landformelementer med retninger Ø-V på Moskenesodden helt sør på Moskenesøya i tillegg til direkte NØ-SV (N45°Ø) retninger, som det er få av i de andre provinsene.

Aspektkartet (Figur 4.3) og aspekthistogrammet (Figur 4.7a) er også forskjellig fra de andre provinsene, og viser at det er helning mot SSØ med toppverdi aspekt 125° og mot SV med toppverdi 210°, samt en noe svakere men jevn stigning mot N og toppverdi 360°. Alle toppverdiene har god spredning. Dette kan sees i sammenheng med landformelementene og frekvens rosedigrammet med de dominerende retningene ØNØ-VSV og VNV-ØSØ. De dominerende aspektverdiene utgjøres i stor grad av sidene til rygger i de nevnte retningene. Generelt er helningsretningene for denne provinsen jevnere fordelt enn de andre, i likhet med retningen av LFE.

4.2.3.2 Provins B

Rosedigrammet over LFE for provins B (Figur 4.6) viser at retninger fra NNV-SSØ (N320°V) til NNØ-SSV (N30°Ø) dominerer. Landformelementene i disse retningene er også lengre/ mer langstrakte enn for andre retninger. Det er også høy frekvens for landformelementer med orientering ØNØ-VSV (gjennomsnittlig N60°Ø) og VNV-ØSØ (gjennomsnittlig N290°V), men disse har liten spredning.

Aspektkartet (Figur 4.3) og aspekthistogrammet (Figur 4.7b) for provins B har dominerende helningsretninger mot øst (toppverdi 90°) og vest (toppverdi 270°). Disse retningene har mye sterk dominans over de andre retningene, for eksempel med *count* 1200 mot Ø for Moskenes N, mens provins Provins C har *count* 800 (men provinsen er større). Det er spesielt stor dominans mot Ø. Toppene mot Ø og V viser god spredning slik at det også er en del relativt høye aspektverdier mot 70-90°, 90-110°, 230-275° og 275-315°.

Det er færrest piksler med helning mot NNØ og NNV mens det er en liten topp mot N (349-004°). Det er også få verdier fra SSØ til SSV.

De dominerende helningsretningene mot øst og vest og den nøyaktige 180° separasjonen i aspekthistogrammet mellom Ø og V hellende skråninger, utgjøres i stor grad av de motsatte sidene til rygger med dominerende retninger fra NNV-SSØ til NNØ-SSV; rygger og daler i disse retningene vil ha dominerende fallretning omtrent mot Ø og V. Landformelementer med orientering ØNØ-VSV kan sees i sammenheng med de relativt høye verdier mot NV i

aspekthistogrammet, mens LFE i retning VNV-ØSØ til NNV-SSØ har høyere aspektverdier mot SV enn NØ.

4.2.3.3 Provins C

Rosediagrammet for provins C (Figur 4.6) har likheter med provins B, og viser at det er en klar dominans av landformelementer med orientering NNØ-SSV (N00°Ø-N40°Ø). Det er derimot få LFE med NNV-SSØ retning. Landformelementer i retningen VNV-ØSØ (gjennomsnitt N300°V) har høy frekvens. ØNØ-VSV elementer (gjennomsnitt N70°Ø) kommer også klart frem, men det er ikke like stor spredning i denne retningen. Det er få landformelementer i retning NØ-SV og Ø-V.

Aspekthistogrammet (Figur 4.7c) for provins C likner også på det for provins B. Provinsen C er dominert av skråninger som heller mot Ø til SØ og mot V. Dette sees klart både på aspektkartet (Figur 4.3) og aspekthistogrammet (Figur 4.7). På aspektkartet er spesielt større områder med helningsretning mot vest fremtredende og uniforme. Aspekthistogrammet viser at helning mot øst til sørøst og mot vest er godt spredt med en relativt jevn stigning av verdier opp mot toppunktene som er på aspektasimut 110 og 270° (når det sees bort fra de usikre toppene). Disse toppene og separasjonen på omtrent 180° kan korreleres med motsatte skråninger til rygger som strekker seg i N-S til NNØ-SSV retning. Det er også relativt jevnt høye aspektverdier mot 0-80° (N til ØNØ).

De høye aspektverdiene i aspekthistogrammet kan korreleres med landformelementer med den utbredte LFE orienteringen NNØ-SSV (N00°Ø-N40°Ø). Retningen VNV-ØSØ (gjennomsnitt N300°V) trer også godt fram og kan sees i sammenheng med de jevne og relativt høye aspektverdiene mot 00-45° dvs. NØ hellende skråninger og økningen av aspektverdiene fra 230°, dvs. SV hellende skråninger.

4.2.3.4 Hele studieområdet og hele Lofoten

Aspekthistogrammene for hele studieområdet (Figur 4.7d) viser dominerende helningsretning mot Ø til ØSØ og V med relativt god spredning. Toppunktene har aspekt 104 og 270°. Det er også mindre topper mot N og S med liten spredning. Diagrammet er noe asymmetrisk der det er en brattere stigning fra aspekt 45-90° enn fra 90-135°. Det er derfor relativt høye verdier mot SØ. Dette samsvarer og kan sees i sammenheng med at det er orienterte

landformelementer (LFE) med retning fra NNV-SSØ til NNØ-SSV som er karakteristisk for studieområdet, der elementer med retning NNØ-SSV (N00°Ø-N40°Ø) er dominerende (Figur 4.6).

Det er også sammenstilt aspekthistogram for større deler av Lofoten inkludert hele Vestvågøy og Austvågøy (Figur 4.7e). Ved å se bort fra toppene med liten spredning direkte mot N, Ø, S og V, som betraktes som artefakter er det fallretning mot Ø til S med toppverdi rundt asimut 135° og mot V (270°) med god spredning som dominerer, det vil si landformer med orientering NNØ-SSV. Dataene samsvarer godt med retningsanalysen i de undersøkte områdene.

I tidlige faser av oppgaven ble det laget en provins for de sørvestlige delene av Vestvågøya der de sammenstilte dataene viser helt andre retninger.

4.2.4 Diskusjon

De fleste landformelementer i stor skala dvs. fjorder, sund og kysten til selve Lofotryggen er orientert N-S til NØ-SV i områdene ved Moskenesøy og Flakstadøy.

Studie av de ulike kartene og resultatene fra retningsanalysen ved rosedigrammene over landformelementer (Figur 4.6) for tre provinser på Flakstadøy og Moskenesøy viser at alle retninger opptrer. Det er likevel fire dominerende retninger. Disse er;

- 1) NNØ-SSV (N00°Ø- N40°Ø) som benevnes landformelementer 1 (LFE1)
- 2) ØNØ-VSV (N60°Ø- N80°Ø) som benevnes landformelementer 2 (LFE2)
- 3) VNV-ØSØ (N280°V- N310°V) som benevnes landformelementer 3a (LFE3a)
- 4) NNV-SSØ (N320°V- N360°V) som benevnes landformelementer 3b (LFE3b)

Det er få landformelementer med orientering NØ-SV (N40°Ø- N60°Ø) og Ø-V. Dominansen av de ovennevnte landformelementer kan korreleres med ensrettede lengre skråninger i dalsider, rygger eller kystklipper som kommer fram i aspektkartet og som toppverdier i aspekthistogrammet.

Det kan stilles spørsmål om årsaken til at de utbredte landformelementene med retningene ØNØ-VSV (LFE2) og VNV-ØSØ (LFE3a) (som ville gitt helningsretning mot henholdsvis

NNV/ SSØ og NNØ/ SSV) ikke kommer tydeligere frem på aspekthistogrammene. En årsak kan være at rygger i disse retningene ikke er like utholdende. LFE2 og LFE3a har høy frekvens, men det er ikke like mange større og lengre skråninger som heller uniformt med slik retning. Skråningene utgjør også mindre areal/ færre piksler på kartet, fordi de ofte er meget bratte (Figur 4.4), spesielt med helningsretning mot NNØ (jfr. figur 4.20). Provins B og C har hovedrygger med retning NNV-SSØ til NNØ-SSV, mens transverse rygger og daler eller søkk, spesielt i VNV-ØSØ retning er kortere.

Toppene rett mot N (360°), S (180°), Ø (90°) og V (270°) som kommer fram i nesten alle aspekthistogrammene skulle teoretisk gitt landformelementer i henholdsvis direkte retning Ø-V og N-S. Spesielt Ø-V retninger er ikke fremtredende, verken i rosedigrammet eller i landskapet generelt. Det kan derfor se ut som om toppene mot N, S, Ø og V er en artefakt av data-analysene. Derfor er disse toppene, som er på mindre enn 5° , stiplet på den utjevnete kurven som er lagt inn på aspekthistogrammene. På en annen side er det en mulighet for at de markante toppene som stiger og avtar brått er styrt av strukturen i berggrunnen og dermed kan være reelle. Det er likevel tvilsomt fordi N-S og Ø-V retninger er lite utbredt både blant strukturer og i landskapet.

De slakere, roligere lange trendene i aspekthistogrammet, spesielt mot SØ i diagrammet for hele studieområdet, kan vitne om en rotasjon/ oppheving av hele Lofotryggen eller mindre forkastningsblokker (se kapittel 4.3).

4.3 Høyereleggende hellende flater og rygger

4.3.1 Innledning

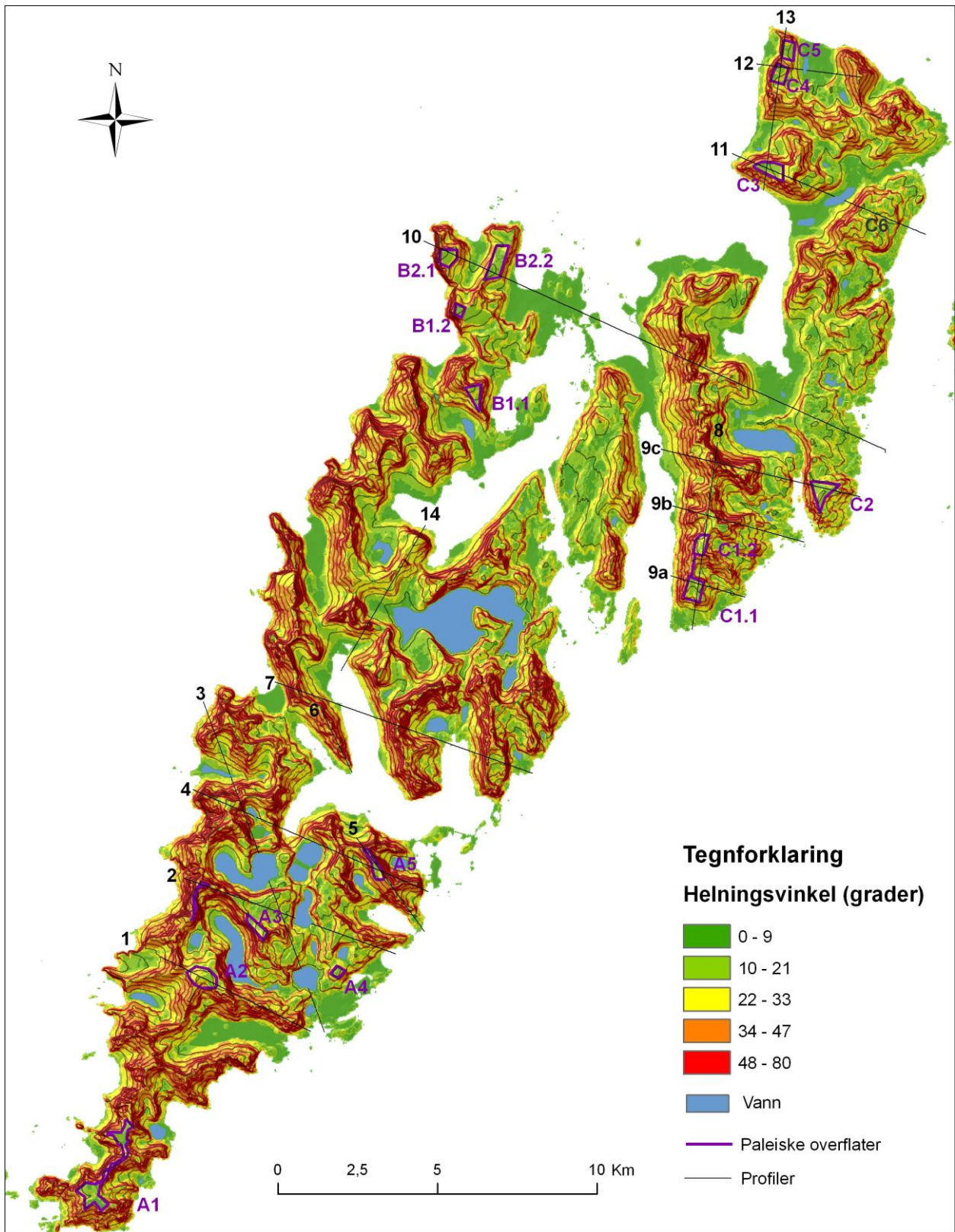
I dette kapitlet er det gjort et forsøk på å gi en oversikt over høyereleggende slakt hellende flater, paleiske overflater, samt helningen til trendlinjer, med grunnlag i studier av høydekart, helningskart, den topografiske simulatoren ArcGlobe og profiler. *Trendlinjer* er en linje som er lagt over fjelltopper i profillinjene for å representere trendflater. *Trendflater* er hellende flater rekonstruert ved å kombinere flere trendlinjer. De kan representere rester av eller være tilnærmet parallelle med tidligere erosjonsflater.

Paleiske overflater er tolket og avgrenset som høytliggende flater, oftest over 300 m o.h., relativt slake og med mindre enn 25° helning (Figur 4.8). De kartlagte restene av den paleiske overflaten er nummerert etter hvilken av provinsene A, B og C de befinner seg innenfor. Overflatene er ofte avgrenset av bratte skråninger og dermed en endring i helningsvinkel, kalt terrengkanter. På mange av de slakere overflatene er det observert tydelige bruddlinjer på ArcGlobe modellen.

Det er laget profiler i tre retninger, omtrent vinkelrett på de tre dominerende retningene av landformelementer (LFE1, LFE2 og LFE3, figur 4.6) dvs. i retning VNV-ØSØ, NNV-SSØ og NNØ-SSV. Profillinjene vises på oversiktskartet (Figur 4.8) og på 3D modeller fra ArcGlobe. Profilene er nummerert fra 1- 14 fra sør mot nord.

På profilene er utbredelsen av de paleiske overflatene merket av med gjennomsliktig lilla farge, mens grå farge er gitt ilt noen flater som er mer eroderte flater. Trendlinjer er stiplet i svart og trukket over topper, rygger, egger og tinder. Trendlinjene kan definere helningen på en tidligere overflate. Heltrukne linjer representerer normalforkastninger, der blå linjer er retning NNØ-SSV (S1), og rød linjer er retning ØNØ-VSV (S2-forkastninger). Lilla farge representerer paleiske overflater. Forkastningene vil bli diskutert videre i kapittel 5.3.

De paleiske overflatene, trendlinjene og profillinjene er også vist på topografiske modeller fra ArcGlobe. Ut mot kantene av utsnittene fra ArcGlobe kan retning til landformelementer være feil.



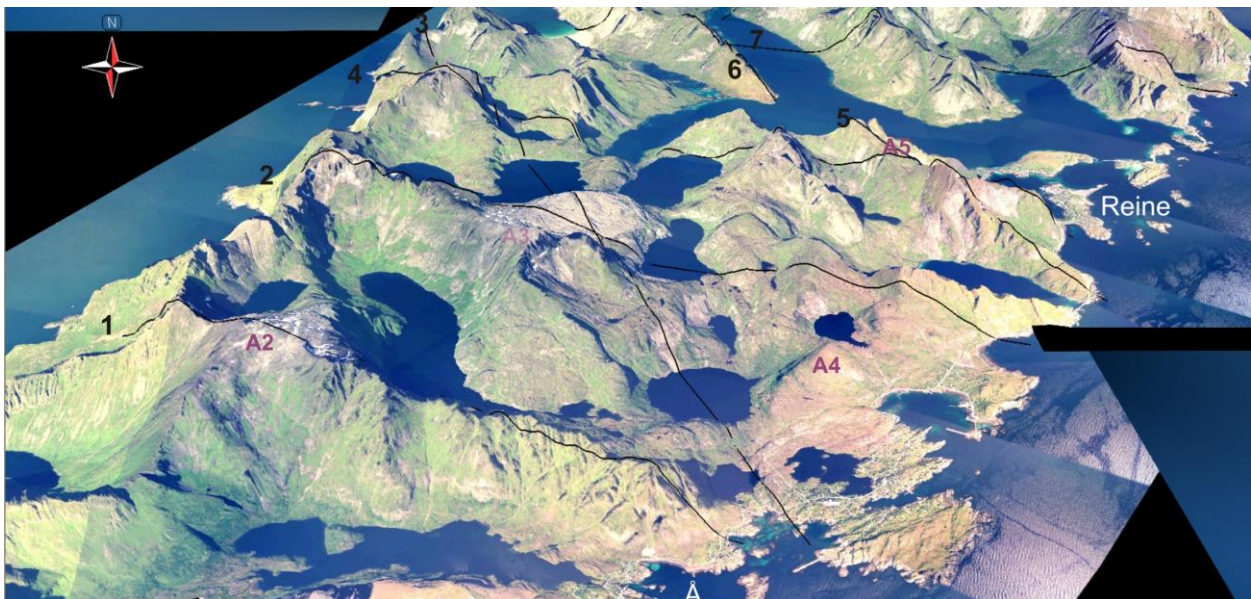
Figur 4.8 Helningskart over Moskenesøya og Flakstadøya, med innlagte profilinjer og kartlagte paleiske overflate. Profilene er nummerert 1-14, og rester av den paleiske iverflaten A, B og C.

For hver provins gis det først en generell beskrivelse av de observerte paleiske overflatene, der histogramfunksjonen i *Spatial Analyst* er brukt til å fremstille statistikk over dominerende helningsvinkel, aspekt/ helningsretning, og høyde over havet. Deretter gis det for hver provins en sammenstilling og forsøk på en deltolkning, før kapittelet avsluttes med en diskusjon og oppsummering av hele kapittelet.

De paleiske overflatene har totalt sett liten utbredelse innenfor studieområdet (Figur 4.8). På mange rygger finnes små flater som kan være rester av den paleiske overflaten. Disse er for små til at de er kartlagt.

4.3.2 Provins A

De paleiske overflatene og profillinjene innenfor provins A er avmerket på den topografiske modellen på figur 4.9 og etterfølgende figurer.



Figur 4.9. Topografisk modell over de sørlige og sentrale delene av Moskenesøya fra Å og nordover, som viser topografien for provins A og noe av provins B, med steile kystklipper i vest, mens det er lavere relieff og høyde over havet mot ØSØ. Paleiske overflater (lilla skrift) og profillinjer 1- 7 er merket av. Landformelementer med VNV-ØSØ (LFE3a) og ØNØ-VSV (LFE2) retning er utbredt. Merk strandflaten som er godt utviklet i øst.

Paleisk overflate

Paleisk overflate A1 (Figur 4.10) ligger på Lofotodden helt sør på Moskenesøya. Det er et flatere område som kan betegnes som et restfjell. Den befinner seg i en høyde på 450-650 m o.h. med en helningsvinkel som varierer fra 5-20°. Den sørligste delen av flaten er dominert av en Ø-V strykende forsenkning som fører til at den dominerende helningsretningen

(aspektet) er mot SSV og N. Flaten fortsetter videre nordover langs en rygg med flat topp og en undulerende overflate i samme høyde.



Figur 4.10. Paleisk overflate A1. Merk ØNØ-VSV retninger til landformelementer, spesielt ned til venstre.

Paleisk overflate A2 (Figur 4.9) ligger i en høyde på 700-780 m o.h. med helningsvinkel fra 10-25°. Området ligger på en avrundet topp med fall i ulike retninger, men med dominerende helningsretning mot NV. Flaten er avgrenset i sørvest av en VNV-ØSØ strykene terrengkant. Mot NV er endringen i helningsvinkel mindre, der flaten er glasialt erodert.

Paleisk overflate A3 Saufjellet, ligger 650-800 m o.h. med helningsvinkel mellom 10-25°. Det dominerende fallet for flaten er mot NV. NV og NØ for denne flaten er glasialt eroderte flater med fall mot SØ som er avgrenset av steile skråninger og lineære terrengkanter med retning NNØ-SSV og ØNØ-VSV. Ved nærmere studier observeres bruddlinjer med samme retninger på overflaten. På ryggen mot VNV og på den NNØ-SSV strykende ryggen i vest finnes rester av paleisk overflate.

Paleisk overflate A4 ligger like nord for Sørvågen i en høyde på rundt 300 m o.h. Helningsvinkelen er 5-25°, og det dominerende fallet er mot SØ. Flaten har lineære terrengkanter i retning NØ-SV og VNV-ØSØ. Mot NV er det en bratt skråning, mens mot SØ er fjellet mer avrundet.

Paleisk overflate A5, (Figur 4.13) er en rygg med flat topp ved Reinebringen i en høyde fra 520-700 m o.h. Profil 4 og 5 (Figur 5.4) går over denne flaten.

Profillinjer

Profil 1 (Figur 4.11) går over paleisk overflate A2 og er lagt over ryggen Tindsdalstinden og Tindstinden NV for Å. Trendlinjene viser tydelig hvordan overflatene og ryggen faller mot ØSØ. I vest har ryggene en høyde på 800 m o.h. mens de i øst ligger 4-500 m o.h.

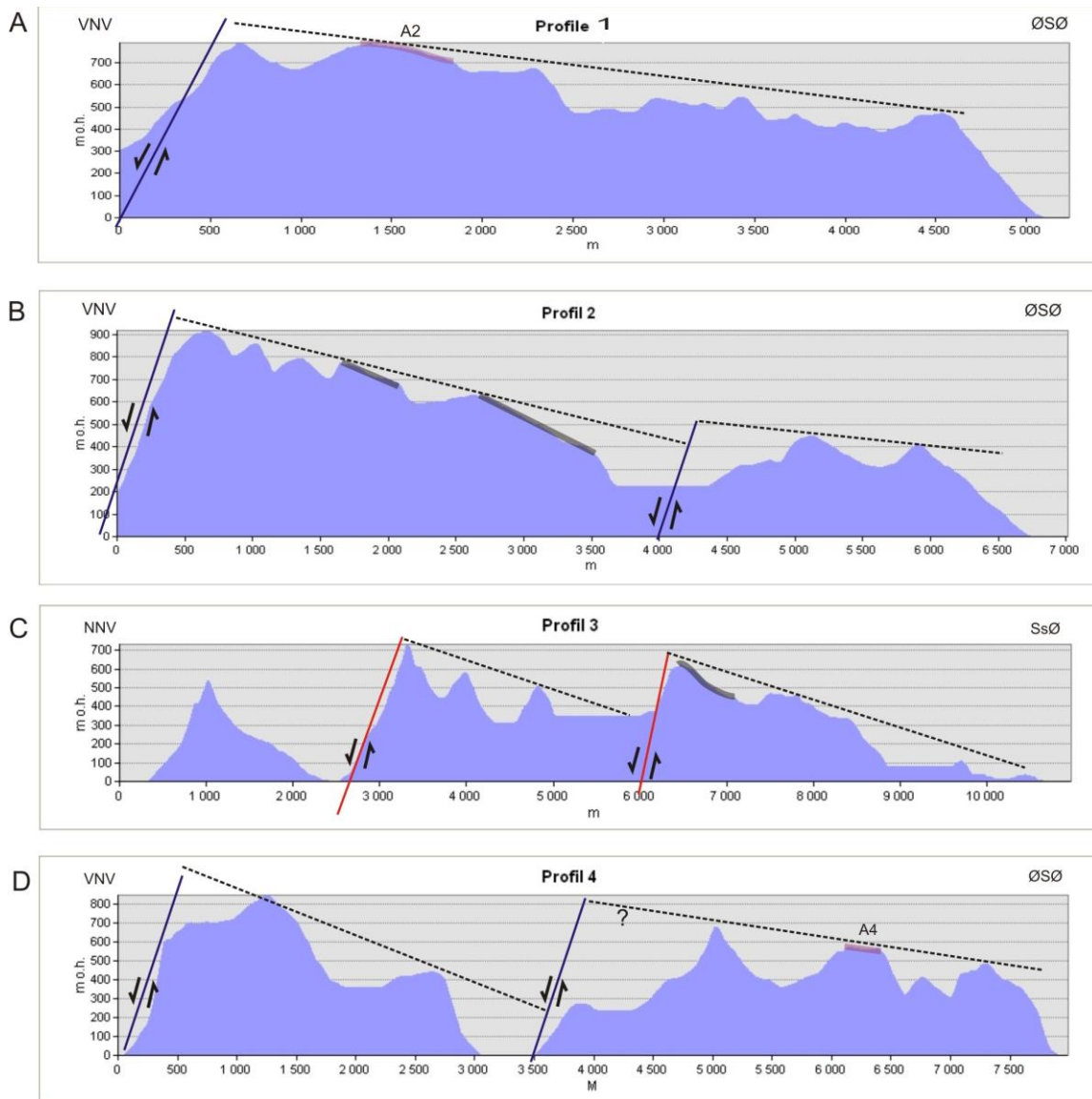
Profil 2 (Figur 4.11b) i retning VNV-ØSØ viser at to trendlinjer faller mot ØSØ. Rester av slakere overflater med fall mot SØ observeres langs profillinjene, og på ryggene rundt Djupfjorden i østlige deler av profilet (Figur 5.6). Disse flatene betegnes ikke som paleiske overflater fordi de er glasialt erodert.

Profil 3 (Figur 4.11c) i retning NNV-SSØ viser trendlinjer som faller mot SSØ og krysser flere LFE2 med retning ØNØ-VSV. Den topografiske modellen (Figur 4.9) viser stor utbredelse av ØNØ-VSV orienterte landformelementer (LFE2) nord for Å, og flybildet over Å (Figur 3.2) viser stor utbredelse av ØNØ-VSV strykende bruddlinjer.

Profil 4 (Figur 4.11d) i VNV-ØSØ retning viser også to trendlinjer med fall mot ØSØ.

Profil 5 (Figur 4.13) og den topografiske modellen viser at ryggen og den slakere flaten faller mot SSØ. Søkk i retning ØNØ-VSV (LFE 2) krysser ryggen og observeres på ArcGlobe modellen.

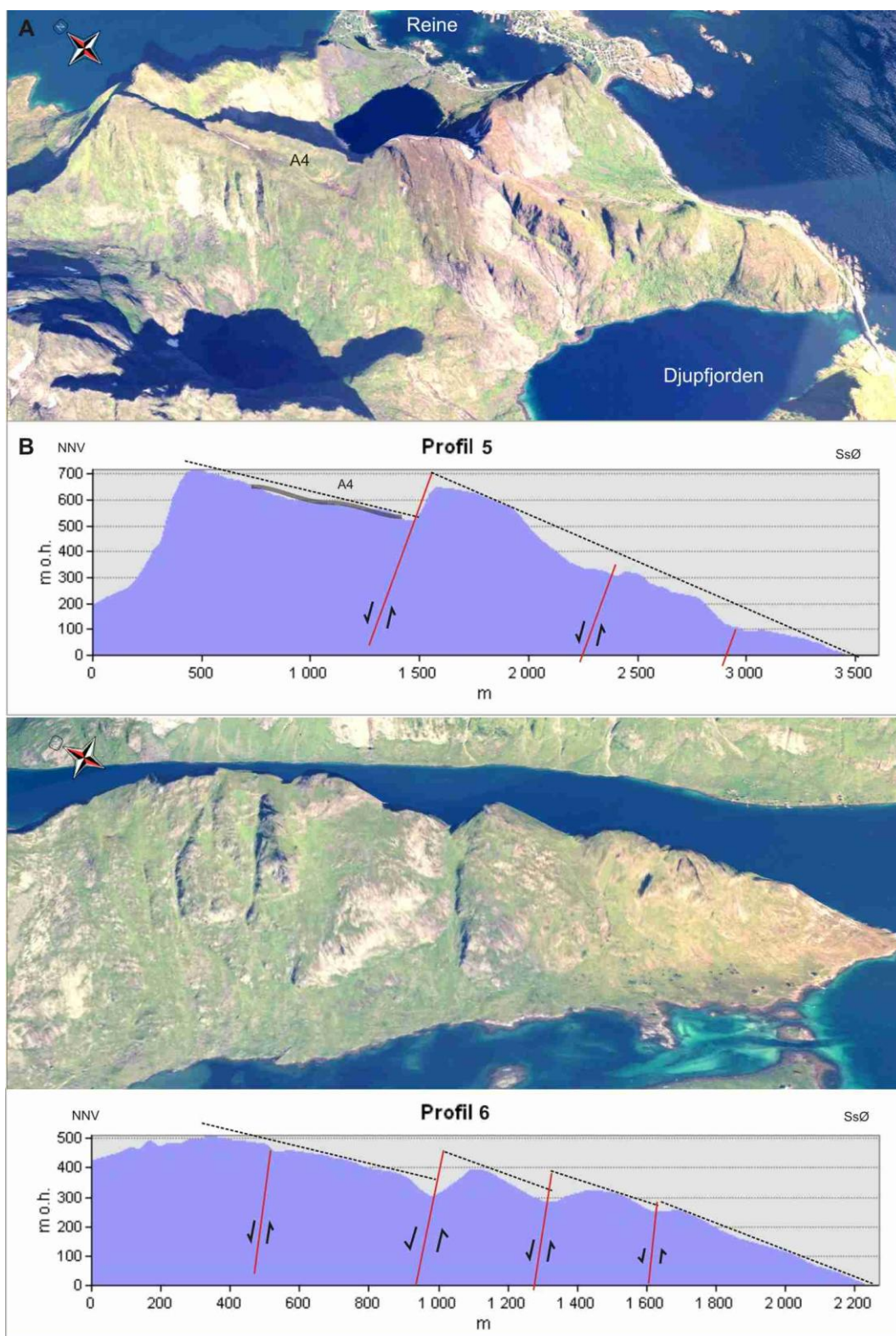
Profil 6 (Figur 4.13) går over fjellet Kammen, en rygg i forlengelsen og like nord for profil 5 i samme retning og har mange likhetstrekk. ArcGlobe modellen viser tydelige subvertikale søkk og profilet viser trendlinjer som faller mot SSØ. Disse er tolket som LFE 2 med retning ØNØ-VSV i landskaps/ retningsanalysen (Figur 3.2). Dette profilet ligger innenfor provins B men tas med her fordi det tolkes i sammenheng med ryggen i forlengelsen mot SSØ.



Figur 4.11. Profiler innenfor provins A. Stiplede linjer er trendlinjer. Heltrukne linjer representerer antatt normalforkastninger, der blå linjer er retning NNØ-SSV (S1), og rød linjer er retning ØNØ-VSV (S2-forkastninger). Lilla farge representerer paleiske overflater mens grå farge er mer eroderte flater. Profil 1,2 og 4, laget i retning VNV mot ØSØ viser hvordan toppene, ryggene og relieffet generelt faller mot ØSØ. Profil 3 er laget i retning NNV-SSØ.



Figur 4.12. Bilde fra Reinebringen, med utsikt mot SSV, som viser små rester av den paleiske overflaten på ryggene som faller mot SØ og er sterkt erodert av botner og botndaler, her Djupfjorden i retning VNV-ØSØ. Forkastninger med strøk omtrent NØ-SV med fall mot NV stykker opp overflaten.



Figur 4.13. To profiler etter hverandre i retning NNV mot SSØ over to rygger ved Reine med tilhørende topografisk modeller. Merk landformelementer i ØNØ-VSV retning (LFE2) på tvers av ryggen. Stiplede linjer er trendlinjer. Heltrukne linjer med rød farge representerer antatte normalforkastninger i retning ØNØ-VSV (S2-forkastninger). A) profil 6 er laget langs fjellet Kammen. B) profil 5 er lagt over paleisk overflate A4 og ryggen ved Reinebringen. Merk ØNØ-VSV bruddlinjer ved munningen av Djupfjorden.

Oppsummering og deltolkning for provins A

1. ordens overflater, de paleiske overflatene, viser varierende fallretning, men de har lavere høyde over havet mot SØ. Noen steder er det bevart rester av paleisk overflate på ryggene.

Profil 1,2 og 4 i VNV-ØSØ retning viser at trend linjer, faller mot ØSØ. Vinkelrett på disse profilinjene observeres flere LFE1 med retning NNØ-SSV. På profil 2 og 4 er det tolket to trendlinjer som faller mot ØSØ. Profil 3, 5 og 6 i retning NNV-SSØ viser at trend linjer (rygger) også faller mot SSØ. Vinkelrett på disse profilene observeres LFE2 med ØNØ-VSV retning (merket rødt). I og med at trendlinjene viser fall både mot ØSØ og SSØ vil en tenkt trendoverflate som ligger langs de høyeste toppene antyde at en slik overflate har strøk NØ-SV og fall mot SØ. Den topografiske modellen (Figur 4.9), og høydekartet over provins A (Figur 4.5) viser også denne trenden der de høyeste toppene finnes i vest og topografien/høyden over havet gradvis avtar mot SØ. På bakgrunn av observasjonene og profilene, som viser to trendlinjer som faller mot ØSØ og SSØ, kan det antydes to høydedrag i NNØ-SSV retning med trendoverflater som faller mot ØSØ til SØ innenfor provinsen. Dette diskuteres videre i kapittel 5.3.

4.3.3 Provins B

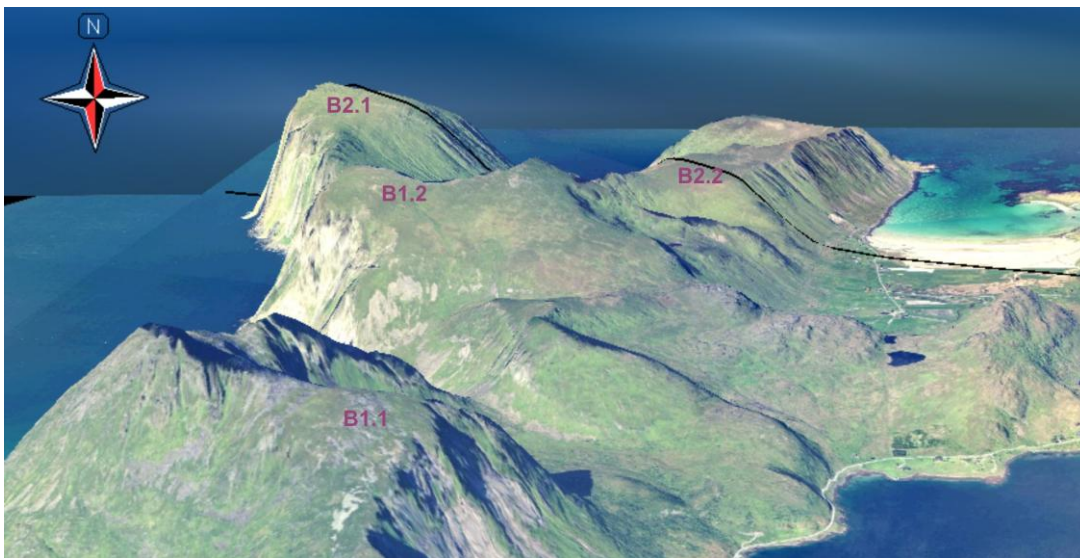
Figur 4.14 viser en ArcGlobe modell over provins B, der profilinjene er lagt inn.



Figur 4.14. Topografisk modell over provins B, med innlagte profilinjer.

Paleisk overflate

Paleisk overflate B1.1 (Figur 4.15) ligger vest for Selfjorden i en høyde av 4-500 m o.h. med helningsretning mot SØ. **Paleisk overflate B1.2** (Figur 4.15) ligger 450 til 550 m o.h. og har også dominerende fallretning mot SØ. Flaten er avgrenset av lineære terrengkanter med retning VNV-ØSØ og NNØ-SSV.



Figur 4.15. Topografisk modell viser hvordan paleisk overflate B1.1, B1.2 B2.1 og B2.2, og rygger faller slakt mot SØ.

Paleisk overflate B2.1, Fuglhuk (Figur 4.15-4.17) ligger 4-500 m o.h. og har en helningsvinkel fra 10-20°. Histogram av aspekt for overflaten viser høye aspektverdier mot 80-140, altså er den dominerende fallretningen for flaten mot SØ. Flaten er avgrenset i vest og øst av landformelementer med retning NNØ-SSV (LFE 1), altså omtrent vinkelrett på fallretningen til den paleiske overflaten. I vest er det en steil kystklippe mens det i øst er en bratt skråning og lineær terrengkant inn mot Stokkvikdalen. Mot nord er overflaten avgrenset av en VNV-ØSØ orientert rygg; jfr. kart over retningstolkningen av LFE (Figur 4.6). På overflaten observeres bruddlinjer/ bruddplan med NNØ-SSV og VNV- ØSØ retning (Figur 5.7). Sistnevnte observeres også i dalsidene.

Paleisk overflate B2.2, Røren (Figur 4.16), ligger like øst for paleiske overflate B2.1, har en høyde på 250-350 m o.h. og en helningsvinkel fra 5-20°. Flaten har fallretning fra NØ til SØ, og er mer glasialt erodert mot nord. Den er avgrenset av steile skråninger og lineære terrengkanter med retning NNØ-SSV.



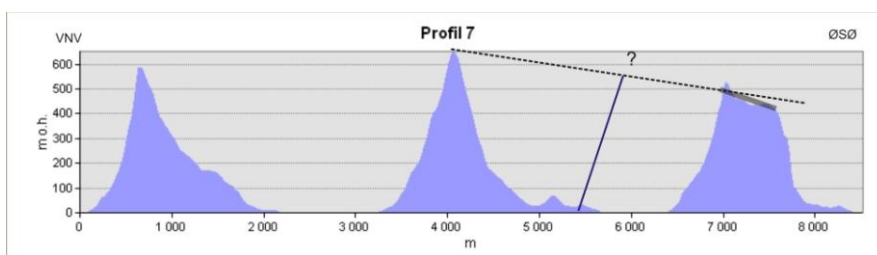
Figur 4.16. Topografisk modell over paleisk overflate B2.1 og B2.2. Profillinjen i svart utgjør vestligste deler av profil 10 (Figur 5.11). Merk bruddlinjer med NNØ-SSV og VNV- ØSØ retning og lineære terrengkanter og skråninger samme retning.



Figur 4.17. Panoramabildet viser paleiske overflatene B1.1 og B2.1 med fall mot SØ, samt flere liknende flater og hellende rygger og trendflater videre sørover, i et landskap som ellers er dominert av tinder, rygger og egger. Bildet tatt mot SV ovenfor stranda Sandbukta på Ramberg.

Profilinjer

Profil 7 (Figur 4.18) viser en trendlinje som faller mot ØSØ, der det opptrer spisse rygger og egger mellom botnfjordene i Reine. Flaten til øst på profilet, nord for Festhæltinden ved Reine (Figur 4.14 og 4.19), er glasialt erodert og utgjør en grunn botn. Den ligger 250-450 m o.h. med dominerende fall mot SØ. Flaten er avgrenset av steile skråninger og lineære terrengkanter med retning omtrent N-S.



Figur 4.18. Profil 7, laget i retning VNV-ØSØ.



Figur 4.19. Panoramabilde fra Reine som viser slake overflater og en trendlinje med fall mot ØSØ (flere kan skimtes i bakgrunnen til høyre). Merk Narvtind i bakgrunnen som kan sees gjennom botnfjorder og botndaler med retning NNØ-SSV (LFE 1). Bildet er tatt mot NNØ.

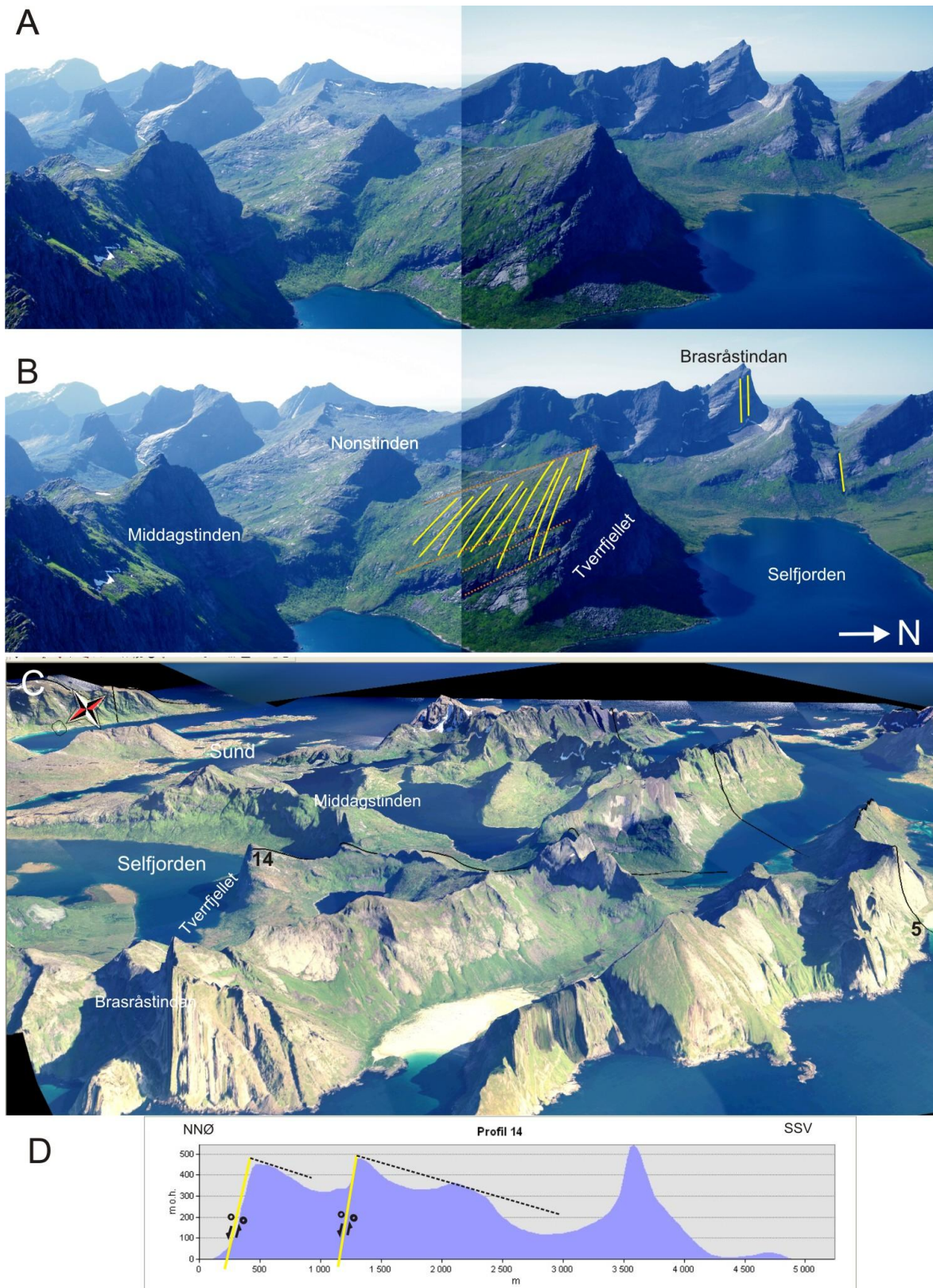
Profil 10 (Figur 4.21b) krysser paleisk overflate B2.1 og B2.2, og er merket av som det vestligste høydedraget. Profilet er laget i retning VNV-ØSØ omtrent vinkelrett på landformelement 1 (LFE1) med retning NNØ-SSV. Trendlinjen mellom flatene viser at de er lavere mot ØSØ. Profillinjen er lagt inn på de topografiske modellene figur 4.16 og figur 4.21a.

Profil 14, (Figur 5.20d) er laget i retning NNØ-SSV og krysser Tverrfjellet og Nonstinden. Den viser planare og steile NNØ- vendte skråningene, slakere overflatene og trendlinjer som faller mot SSV.

Asymmetriske VNV-ØSØ orienterte fjell

I de sentrale områdene av provins B opptrer flere asymmetriske VNV-ØSØ orienterte fjell med steile og planare NNØ- vendte skråninger (Figur 4.20). Fjellene har slakere overflater som heller mot SSV. De tolkes ikke som paleiske overflater fordi de ikke har noe større flatere område, men er mer avrundet, og de fleste er preget av glasial erosjon.

Eksempler på slike fjell er Brasråstinden, Tverrfjellet, Nonstinden, Middagstinden, samt flere fjell på sørsiden av Solbjørnvatnet. Alle har en planar nordvendt brattskrent og er høyrestepende.



Figur 4.20. Asymmetriske VNV-ØSØ orienterte fjell innenfor provins B med steile NNØ-ventde skråninger og slakere overflater som heller mot sør (bl.a. Tverrfjellet, Brasråstindan, Nonstinden og Middagstinden). A) bildet er tatt mot vest. B) tolkning av A) der gule linjer representerer subvertikale VNV-ØSØ strykende bruddplan og oransje stiplede linjer representerer brudd langs den tolkede foliasjonen. C) Topografisk modell, med utsikt mot ØSØ. Merk subvertikale VNV-ØSØ orienterte bruddplan/ bruddlinjer på kystklippene i vest og storskala høyresteppende VNV-ØSØ orienterte skråninger. D) Profil 14 i retning NNØ-SSV over Tverrfjellet.

Subvertikale VNV-ØSØ bruddplan observeres blant annet på Tverrfjellet (Figur 4.20b) og på kystklippene fra Brasråstinden og sørover (Figur 4.20c). På Tverrfjellet (Figur 4.20b) observeres det også slakt hellende bruddplan som antas å være styrt av foliasjonen (merket oransje på figur 4.20b). I likhet med overflaten ser disse ut til å helle mot sør.

Oppsummering og deltolkning for provins B

Innenfor provins B er det få rester av den paleiske overflaten. De som er identifisert har et fall mot SØ og er avgrenset av LFE med retning NNØ-SSV. I likhet med provins A ser overflaten og topografien ut til å falle mot ØSØ til SØ.

Trendlinjen på profil 10 (Figur 4.21) og den topografiske modellen (Figur 4.16) viser at de paleiske overflatene kan være rester av den samme kontinuerlige flaten, med fall mot SØ. Senere er overflaten erodert og forvitret fra alle kanter av botnbreer, dalbreer, elver, bølger, massebevegelser/ras og frostforvitring.

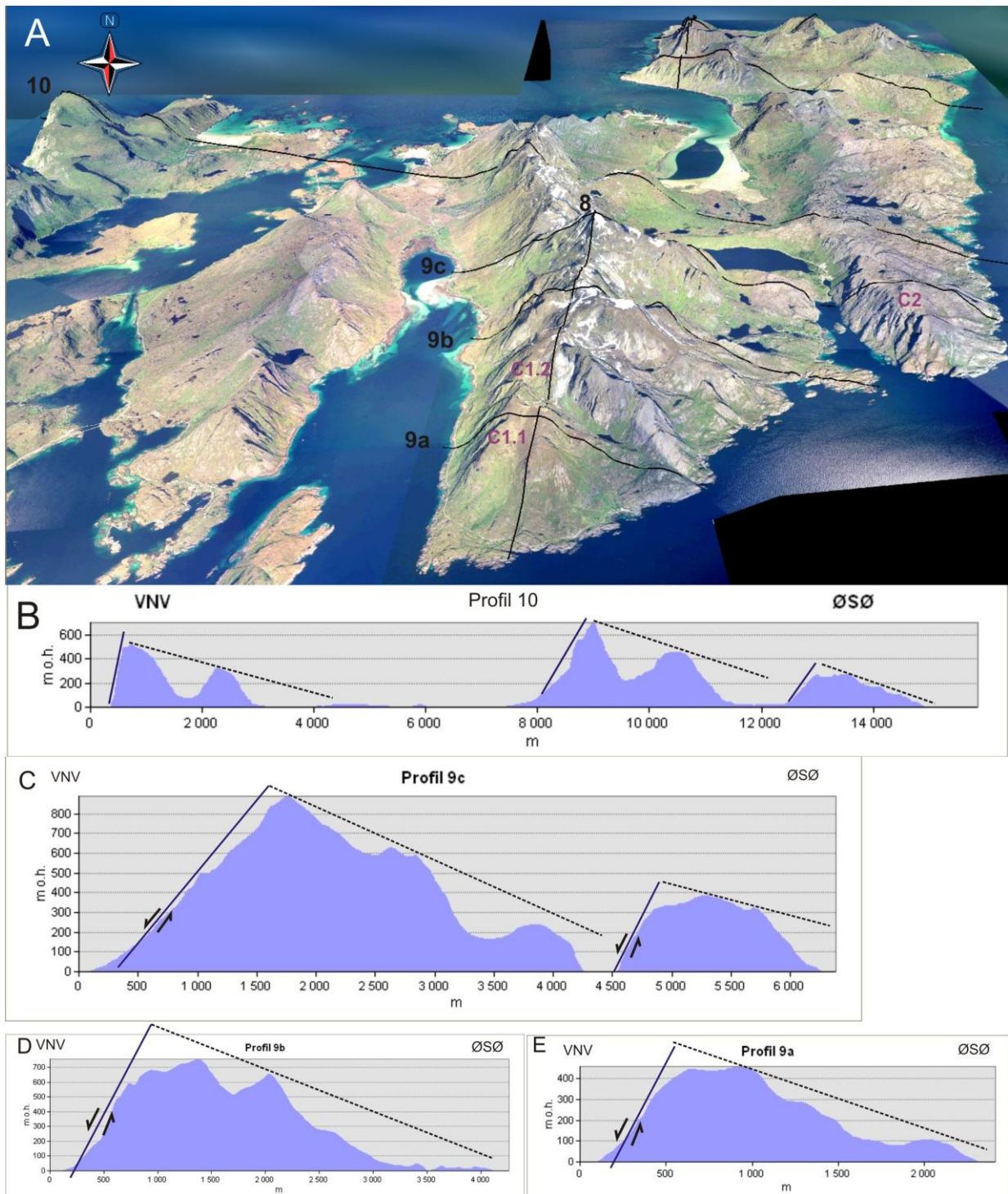
De topografiske modellene (Figur 4.14 og 4.15) og høydekartet (Figur 4.5) viser at rygger og mindre overflater vest for Selfjorden på vestsiden av Moskenesøya (provins B) også har lavere høyde over havet eller heller mot ØSØ til SSØ. Det ser derfor ut til at provinsen er delt i to med en grense langs Selfjorden, og videre mot SSV. To høydedrag eller rygger i retning NNØ-SSV kan antydes, der begge områdene har paleiske overflater og trendlinjer/flater (1. og 2. ordens overflater) som faller mot ØSØ til SØ. Ofte er det også en trend at høydedragene, ryggene eller fjellene har en brattskrent i vest og faller slakere mot ØSØ (Profil 4, 7 og 10, Figur 4.11 og 4.21).

4.3.4 Provins C

Paleisk overflate

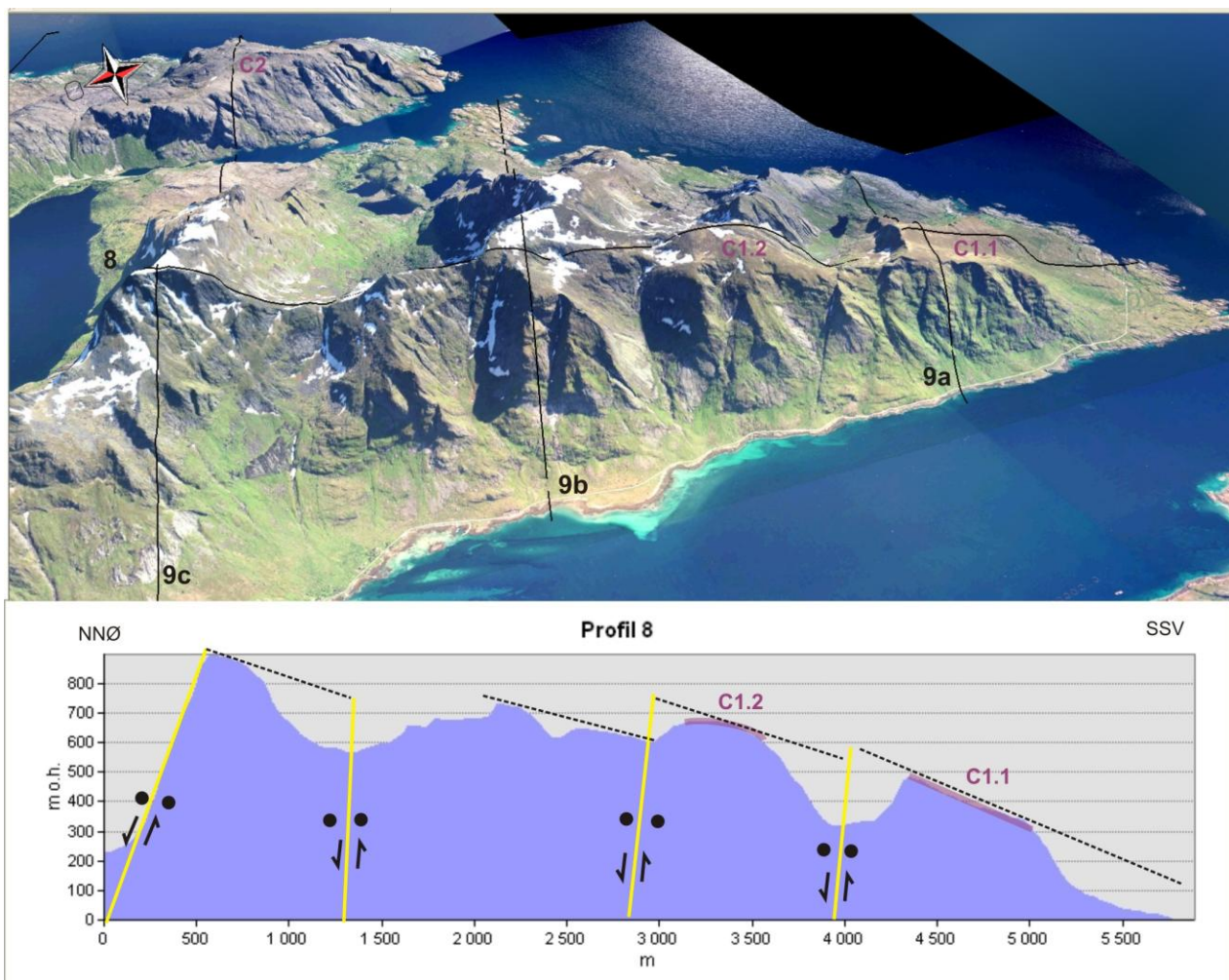
Paleisk overflate C1.1, Neslandsheia (Figur 4.21-4.23) har en høyde på 300-450 m o.h. og helningsvinkel fra 15-20°. Den topografiske modellen (Figur 4.23) viser et nærmere utsnitt av området sett ovenifra. Det dominerende fallet for flaten er mot SØ. En forsenkning midt på flaten fører til at aspektverdiene varierer. Flaten er avgrenset i øst og vest av NNØ-SSV strykende skråninger og terrengkanter. I nord er flaten avgrenset av en steil VNV-ØSØ skråning, og en dal med et vann (Vassdalsvatnet) i bunnen som har samme orientering. Denne

skråningen ser ut til å være høyresteppende. Profil 8 (Figur 5.12) og 9a (Figur 5.11) er lagt over denne flaten.



Figur 4.21. A) Topografisk modell over provins C, Flakstadøya og nordlige deler av provins B, Moskenesøya, der profillinjene i svart er lagt inn. B) Profil 10 i retning VNV-ØSØ omtrent vinkelrett på landformelement 1 (LFE1). Stiplede linjer er trendlinjer, mens heltrukne blå linjer representerer normalforkastninger i retning NNØ-SSV (S1). C) Profil 9c. D) Profil 9b. E) Profil 9a.

VNV-ØSØ strykende, NNØ hellende forkastninger observeres på den vest-vendte skråningen til høydedraget fra Neslandsheia og nordover (Figur 4.22). Disse har et tilsynelatende fall på 75°, men observert langs strøkretningen eller rett ovenifra som på figur 5.13 ser forkastningen ut til å være subvertikal eller steilt hellende. Flere av disse forkastningene/ bruddlinjene kan følges mot ØSØ, spesielt tydelig nord for Neslandsheia, C1.1.



Figur 4.22. A) Topografisk modell over ryggen fra Neslandsheia, paleisk overflate C1.1 med fallretning mot SØ-SV, med flere små rester av paleisk overflate videre nordover. Utsikt mot øst. Profillinjene 8, 9a, 9b og 9c er også langt inn. B) Profil 8 i retning NNØ-SSV, viser en generell trendlinje med fall mot SSV. Stiplede linjer representerer trendlinjer, mens heltrukne gule linjer er skrå, normale, tensjonsforkastninger i retning VNV-ØSØ (S3a). Sirklene betyr uviss lateral bevegelsesretning.

Tydelige lineære bruddlinjer i retning VNV-ØSØ til NV-SØ (S3a), ØNØ-VSV til NØ-SV og NNØ-SSV trer også tydelig frem på strandflaten ved Nesland (Figur 4.23). Merk at de rette veistrekningene i hvitt er lagt langs de to førstnevnte lineamentretningene.



Figur 4.23. Topografisk modell over strandflaten ved Nesland og paleisk overflate C1.1, Neslandsheia. Merk tydelige lineære bruddlinjer i retning VNV-ØSØ til NV-SØ, ØNØ-VSV til NØ-SV og NNØ-SSV som opptrer på strandflaten ved Nesland. Merk at de rette veistrekningene i hvitt er lagt langs de to førstnevnte retningene. Nord for C1.1, Neslandsheia kan forkastninger følges mot ØSØ som en lineær dal og søkk. Merk også høyresteppe NNØ-vendte skråninger.

Paleisk overflate C1.2 ligger rett nord for C1.1, har en høyde på 600-680 m o.h. og har 15-25° fall. På ryggen imellom denne flaten og C1.1 er det også noen rester etter paleisk overflate.

Paleisk overflate C2, Nesheia, har en høyde på 3-400 m o.h. og helningsvinkel fra 10-25°. Det dominerende fallet for flaten er mot SØ, men den har også en del aspektverdier med fall mot NV til NØ. Flaten er avgrenset i vest av en steil skråning og lineær terrengkant med retning NNV-SSØ. Nord for denne flaten er relieffet relativt slakt og er tolket som paleiske overflater av Møller og Sollid (1973). Området er imidlertid lavtliggende, faller kontinuerlig ned mot havnivå, er stekt preget av bruddlinjer og erosjon langs disse (lineamentene), og tolkes ikke som paleisk overflate her. Det er gjort en lineamentstolkning over området fra Nesheia og videre nordover i kapittel 3.1, figur 3.22.

Paleisk overflate C3-C6

Nord på Flakstadøya finnes noen små områder med paleiske overflater med fall mot ØSØ til SSV (Figur 4.24-4.28). Paleisk overflate C3 (Figur 4.27) ligger over 400 m o.h. og er avgrenset av LFE med VNV-ØSØ og NNØ-SSV retning. Paleisk overflate C4 og C5 med relativt bratt fall mot ØSØ til SSØ finnes helt på nordvestkysten av Flakstadøya (Figur 4.26 og 4.28). Fallet til overflatene varierer, noe som kan tyde på at de er del av en tidligere avrundet fjelltopp. Fallet er slakere mot Ø men øker inn mot den typiske U-dalen ved Myrdal som er formet av glasial erosjon. Denne overgangen mellom paleiske overflater og U-dalen opptrer som en lineær terrengkant (eller endring i helningsvinkel). Den har NNØ-SSV retning. Merk forøvrig også på de topografiske modellene hvordan retningen til landformelementer (LFE) som avgrenser de paleiske overflatene og også er utbredt i områdene rundt. For eksempel vannets form og den lineære kystlinjen på figur 4.28.

På paleisk overflate C4 observeres store mengder forvitningsmateriale (Figur 4.28c). Dette vitner om tidligere periglasiale forhold, der flatene har vært utsatt for frostforvitring i kvartær, og kanskje dypforvitring i prekvartær tid. Flaten kan dermed ha bevart mye av sin opprinnelige form. Langs den steile VNV-vendte fjellskråningen finnes store mengder talusmaterialer som fører til at skråningene slaker ut nærmere havnivå (Figur 4.28c).

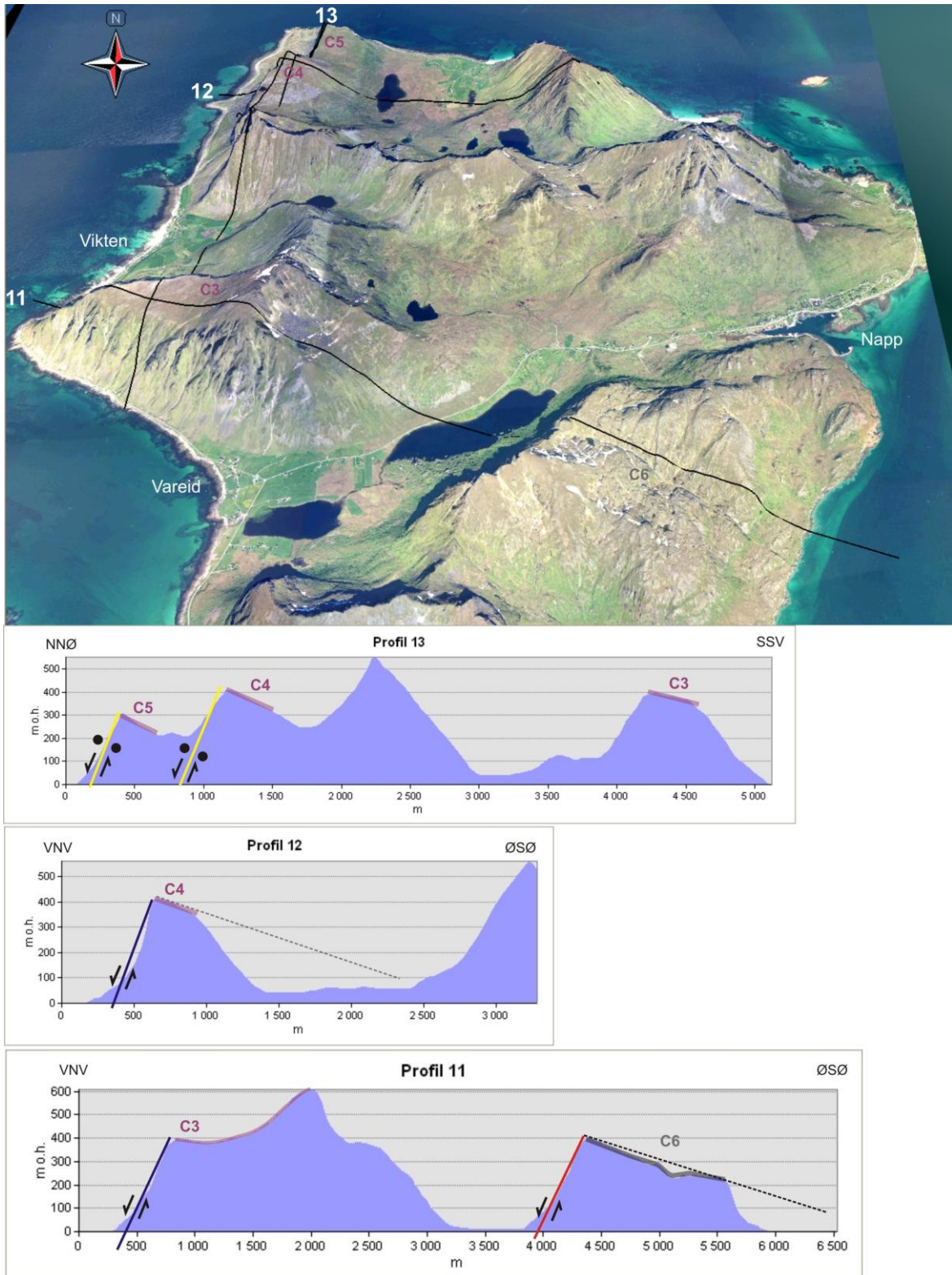
Overflate C6, er glasialt erodert men ser ut til å ha bevart gamle, paleiske trekk. Overflaten har en brattskrent og lineær terrengkant som heller mot NNØ, mens den faller slakere mot SØ til SSØ.

Profillinjer

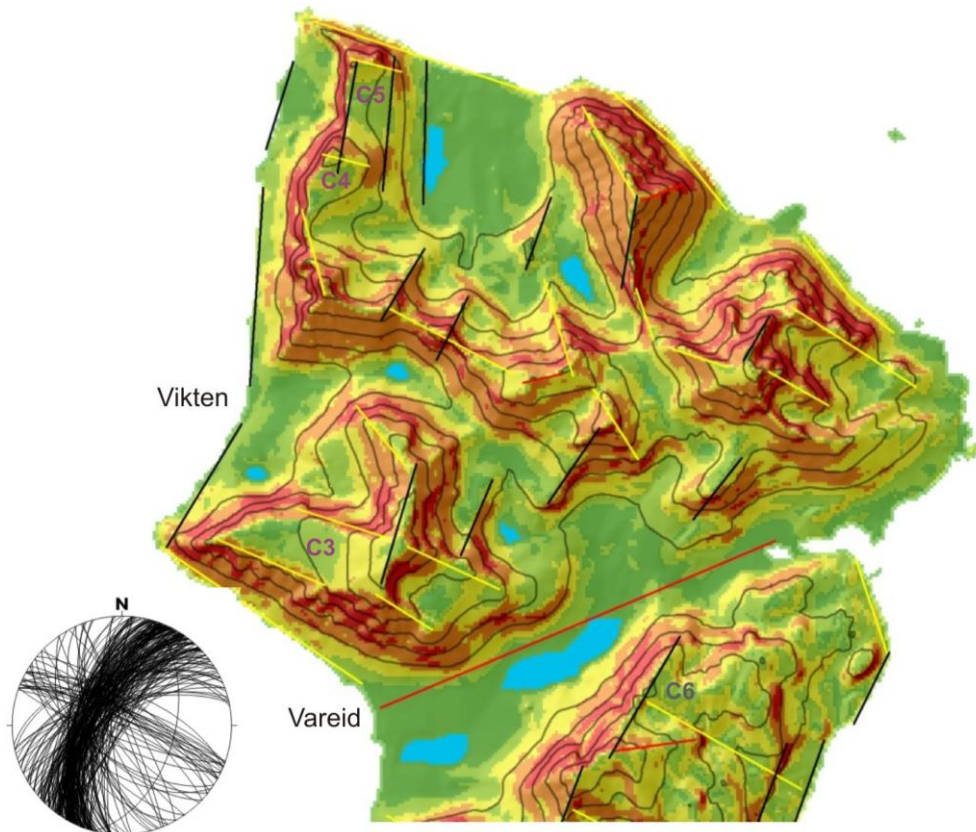
Profil 8 (Figur 4.22) i retning NNØ-SSV er laget omtrent vinkelrett på LFE 3a, og viser hvordan hovedryggen faller mot sør. På profilet er det også lagt inn tolkninger av forkastninger med VNV-ØSØ retning (markert med gule linjer). Det observeres også transverse VNV-ØSØ strykende rygger langs høydedraget (Figur 4.21 og 4.22). Hver av disse transverse VNV-ØSØ strykende ryggene består av hellende asymmetriske fjell med bratt skråning mot NNØ. Mot SSV har fjellsidene fall på 30-45° og har nesten preg av å være paleiske overflater.

Profil 9a, 9b og 9c (Figur 5.21) er laget i retning VNV-ØSØ langs noen av disse ryggene, og viser en relativt bratt skråning i vest og slakere fall til trendlinjer mot ØSØ.

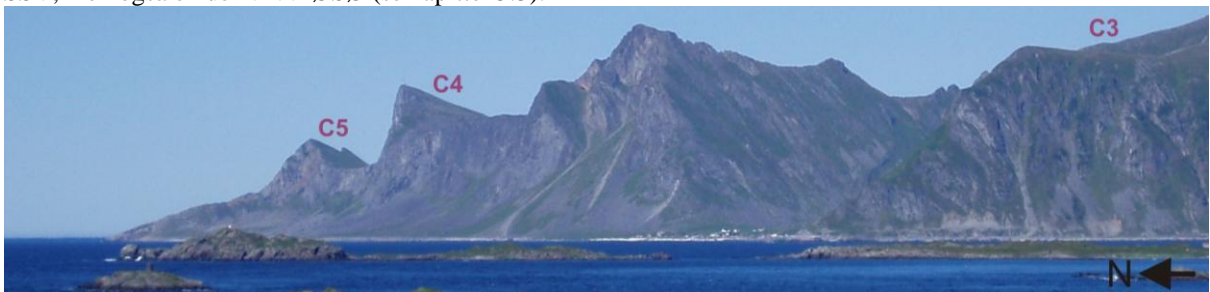
Profil 11, 12 og 13 er lagt over de nevnte paleiske overflatene (Figur 4.24). På profil 12 er det tolket en trendlinje som faller mot ØSØ inn mot dalen, og kan antyde hvordan overflaten kan ha vært før den ble glasialt erodert.



Figur 4.24. Topografisk modell over de nordligste delene av Flakstadøya, med paleisk overflate C3, C4 og C5, og profil 11, 12 og 13. Heltrukne linjer representerer forkastninger, der blå linjer er retning NNØ-SSV (S1), og rød linjer er retning ØNØ-VSV (S2-forkastninger) og gul linje retning VNV-ØSØ (S3a). Lilla farge representerer paleiske overflater mens grå farge er mer eroderte flater.



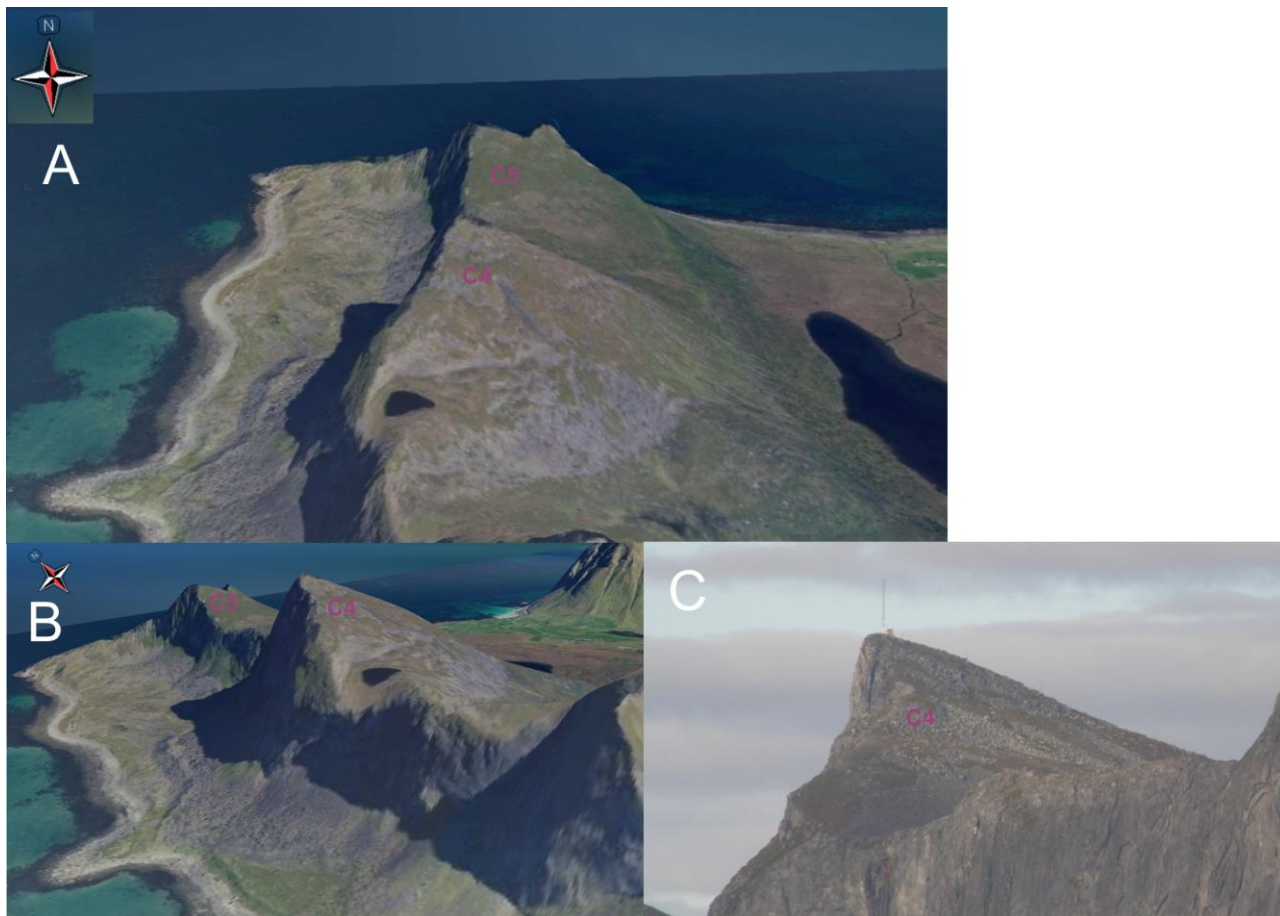
Figur 4.25. Utsnitt av helningskart over de nordlige delene av Flakstadøya, der paleiske overflater kommer fram i grønt omgitt av steilere skråninger i rødt. Retningstolkningen (plottingen av LFE) og andre retninger som kommer fram i kartet viser at området er dominert av landformelementer med retning NNØ-SSV og VNV-ØSØ til NV-SØ. Stereoplottet viser målte bruddplan mellom Vareid og Vikten med dominerende orientering NNØ-SSV, men også en del VNV-ØSØ (se kapittel 5.3).



Figur 4.26. Flattere områder i et landskap som ellers er preget av alpine former. Paleiske overflate C3 ligger nord for Vareid, mens videre nordover finnes to brattere overflater, C5 og C6. Bildet er tatt mot NØ.



Figur 4.27. Topografisk modell over Vareid-Vikten, med paleisk overflate C3 som faller mot SSV. Flaten er avgrenset av ulike landformelementer (LFE). Rygger med retning med NNØ-SSV og VNV-ØSØ krysser hverandre. Merk også at kystlinjene, og den bratte skråningen med fall mot SSV har samme retning som ryggene. Helningskartet (Figur 4.25) viser korrekte retninger til LFE og helningsvinkel til skråningene.



Figur 4.28. A) og B) Topografiske modeller fra nordvestkysten av Flakstadøya, som viser flatere områder (paleisk overflate C4 og C5) med fall mot ØSØ til SSV samt landformelement 1 (LFE 1) med NNØ-SSV retning og LFE 3b med VNV-ØSØ retning, som relativt lineære steile skråninger, terrengkanter og kystlinjer. Merk store mengder talusmateriale i vest som fører til at skråningen slaker ut nærmere havnivå. C) Bilde av paleisk overflate C4. Merk mye forvitningsmateriale.

Oppsummering og deltolkning for provins C

De paleiske overflatene i provins C faller mot ØSØ til SSV. De har også lavere høyde over havet mot ØSØ og SSV. I mange tilfeller er flatene omgitt av ulike landformelementer (terrengkanter, skråninger) med retning NNØ-SSV (LFE1) og VNV-ØSØ (LFE3a).

Profilene i retning VNV-ØSØ (profil 9a,b,c, 10 og 11, figur 4.21 og 4.24) og de topografiske modellene viser at ryggene og trendlinjer faller mot ØSØ. I retning NNØ-SSV viser profil 8 (Figur 4.22) flere trendlinjer med fall mot SSV. Her viser en samlet trendoverflate, en tenkt overflate som kombinerer trendlinjene i de nevnte retningene, fall mot SØ.

4.3.5 Diskusjon

De fleste restene av en paleisk overflate innenfor studieområdet ligger i en høyde på mellom 300 og 500 m o.h. Fallretningen til flatene er varierende, ofte pga. forsenkninger, men sørøstlig fall er dominerende.

Utbredelsen og arealet til flatene har blitt mindre og mindre etter som erosjon, forvitring og massebevegelser ”spiser opp” overflatene (*hill slope retreat*). Spesielt gjelder dette erosjonen til botnbreer under istidene.

De høyereliggende flatene er ofte avgrenset av lineære terrengkanter og steile skråninger, som i stor grad (kan korreleres med og) har samme retning som de strukturelle elementene bruddlinjer som observeres på eller i nærheten av de paleiske overflatene.

Mange av de paleiske overflatene (og andre høyereliggende flater som er mer glasialt erodert) er avgrenset i nordvest av terrengkanter og steile skråninger mens det er et slakere fall mot SØ.

Profilene og de topografiske modellene som er laget i VNV-ØSØ retning (samt aspektkart, helningskart og spesielt høydekart) viser at paleiske overflater, mer eroderte overflater, trendlinjer og trendflater faller og har lavere høyde over havet mot ØSØ. Også fremstilte profiler som ikke inngår i denne oppgaven viser liknende trekk.

I tillegg til at den sørligste delen av Lofotryggen generelt ser ut til å falle mot ØSØ, består studieområdet av flere høydedrag, blokker eller rygger med slakt fall mot ØSØ. Dette observeres i mindre skala/ makroskala som flater områder eller rygger som er skilt fra hverandre av bratte skråninger, daler og fjorder som utgjør ulike landformelement 1 (LFE1) med retning NNØ-SSV.

Liknende observasjoner observeres på profilene i NNV-SSØ retning, som viser at noen rygger eller høydedrag også faller mot SSØ. De VNV-ØSØ orienterte asymmetriske fjellene er fremtredende innenfor provins B og C.

I kapittel 5.3 vil det diskuteres videre der sammenhengen mellom høyereliggende hellende flater og rygger og strukturelle elementer tas opp.

5 Sammenhengen mellom geomorfolgi og struktur

5.1 Innledning

Dette kapittelet er delt i to deler. I den første delen oppsummeres kort og diskuteres sammenhengen mellom orienterte formelementer og strukturelle elementer, mens den andre tar for seg sammenhengen mellom orienterte landformelementer, høyereliggende hellende flater og rygger, og strukturelle elementer.

5.2 Sammenhengen mellom orienterte formelementer og strukturelle elementer

Tabell 5.1 viser en oppsummering over dominerende retninger til orienterte formelementer og strukturelle elementer for de tre provinsene og samlet for hele studieområdet. Fire grupper av landformelementer ble utledet i kapittel 4.2.4, som vil sammenliknes med de tre populasjonene (fire grupper) som ble utledet i det strukturelle kapittelet 3.2.4.

	Samlet for hele studieområdet	Provins A	Provins B	Provins C
Landformelementer (LFE)	NNØ-SSV (LFE1) (N00°Ø- N40°Ø) ØNØ-VSV (LFE2) (N60°Ø- N80°Ø) VNV-ØSØ (LFE3a) (N280°V- N310°V) NNV-SSØ (LFE3b) (N320°V- N360°V)	(NNØ-SSV) ØNØ-VSV VNV-ØSØ (NNV-SSØ)	NNØ-SSV ØNØ-VSV VNV-ØSØ NNV-SSØ	NNØ-SSV (ØNØ-VSV) VNV-ØSØ (NNV-SSØ)
Aspekt (helningsretning)	Ø-ØSØ (104) V (270)	ØSØ (125°) SV (210°) N (360°)	Ø (90°) V (270°)	Ø (110°) V (270°)
Bruddlinjer (kartlagt på flybilder)	NNØ-SSV ØNØ-VSV VNV-ØSØ NNV-SSØ	NNØ-SSV ØNØ-VSV VNV-ØSØ NNV-SSØ	NNØ-SSV VNV-ØSØ NNV-SSØ	(NNØ-SSV) NØ-SV til ØNØ-VSV (VNV-ØSØ)
Målte bruddplan	NNØ-SSV til NØ-SV (S1/ S2) (N20°Ø- N60°Ø) VNV-ØSØ (S3a) (N290°V- N300°V) NNV-SSØ (S3b) (N340°V- N360°V)	(NNØ-SSV) (S1) NØ-SV (S2) VNV-ØSØ (S3a) NNV-SSØ (S3b)	NNØ-SSV (S1) NØ-SV (S2) ØNØ-VSV (S2) VNV-ØSØ (S3a) NNV-SSØ (S3b)	NNØ-SSV (S1) (VNV-ØSØ) (S3a)

Tabell 5.1. Oversikt over dominerende landformelementer (LFE), aspekt (helningsretning) bruddlinjer og bruddplan for de tre provinsene, og samlet for hele studieområdet.

5.2.1 Provins A

Rosediagrammet over landformelementer for provins A (Figur 4.6) viser at alle retninger opptrer, men det er en dominans av landformelementer i retning VNV-ØSØ (LFE3a) og ØNØ-VSV (LFE2). De høye aspektverdiene mot SSØ, SV og N kan delvis korreleres med motsatte sider til rygger i de nevnte retningene. Bruddplan og bruddlinjer med strøk VNV-ØSØ (S3a), og ØNØ-VSV bruddlinjer (S2) er mest utbredt og kan korreleres med LFE3a og LFE2.

5.2.2 Provins B

Dataene fra provins B viser tydelig de fire gruppene av landformelementer; LFE1, LFE2, LFE3a og LFE3b. Høyest frekvens og størst spredning har landformelementene fra NNV-SSØ til NNØ-SSV, noe som støttes av helningsretning mot Ø og V. Dette kan korreleres med utholdende bruddlinjer i NNV-SSØ og spesielt NNØ-SSV. Kortere VNV-ØSØ og noen ØNØ-VSV bruddlinjer opptrer også. Bruddmålingene viser dominans av retningene NNØ-SSV (S1), NØ-SV og ØNØ-VSV og tydelige grupper i retning VNV-ØSØ og NNV-SSØ.

5.2.3 Provins C

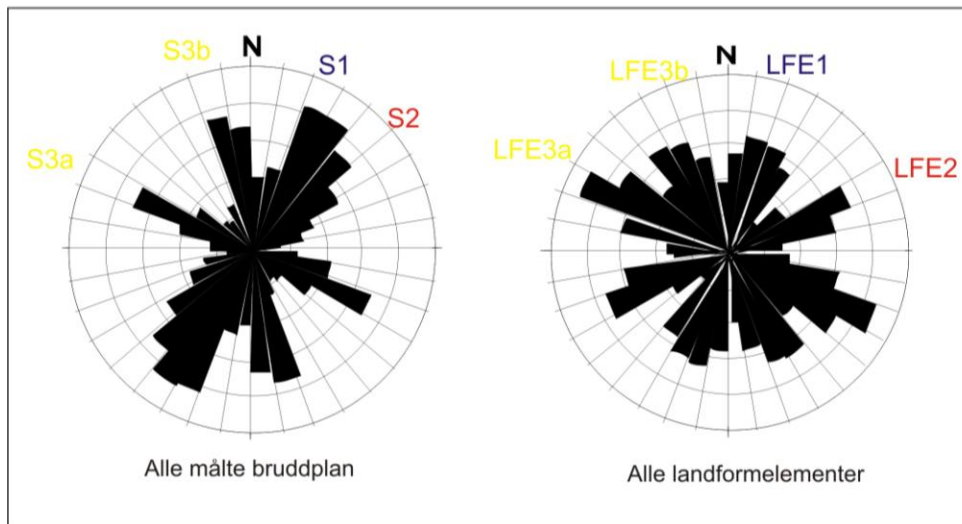
Landformelementer innenfor provins C har dominerende retning VNV-ØSØ (LFE3a) og NNØ-SSV (LFE1) med god spredning. ØNØ-VSV retningen (LFE2) forekommer også. De dominerende helningsretningene er mot øst og vest og utgjøres i stor grad av sidene til rygger i retning NNØ-SSV. De orienterte formelementer kan korreleres med dominerende orientering av bruddlinjer NNØ-SSV, NØ-SV til ØNØ-VSV og VNV-ØSØ. ØNØ-VSV bruddlinjer er mest utbredt men er ikke dominerende i landskapet. Bruddmålingene viser at dominerende retning NNØ-SSV (S1) og VNV-ØSØ er også opptredende.

5.2.4 Sammenlikning av provinsene

De samme dominerende gruppene av strukturelle elementer og landformelementer ser delvis ut til å gå igjen for alle provinsene. Provins A skiller seg derimot ut der gruppene av landformelementer ØNØ-VSV (LFE2) og VNV-ØSØ (LFE3a) (som underbygges av dominerende helningsretning mot nord og sør) og bruddplan og bruddlinjer i samme retning

er mer dominerende. NNØ-SSV retninger til både strukturelle elementer og landformelementer er mindre utbredt for provins A, mens de er mer dominerende for provins B og C.

5.2.5 Hele studieområdet



Figur 5.1. Speilet rosedigram over alle målte bruddplan og alle landformelementer (LFE).

De ulike gruppene av landformelementer har liknende asimut/ orientering for de høyeste frekvensene og kan delvis korreleres med strukturelementer og deres populasjoner (Figur 5.1). Landformelement 1 (LFE1) med retning NNØ-SSV kan sees i sammenheng med, og være styrt av S1- forkastninger og bruddpopulasjoner med retning NNØ-SSV. Bruddmålinger viser klart dominerende og god spredning i strøketretning NNØ-SSV til NØ-SV (N20°Ø- N60°Ø) mens landformelementer har en mer NNØ-SSV retning (N00°Ø- N40°Ø). Det store antall bruddmålinger i retning NØ-SV ved Å fører til at disse utgjør en stor andel av de samlede målingene. Ved mange lokaliteter kan det derimot skilles skarpere mellom S1 og S2. ØNØ-VSV bruddplan har lav frekvens, men bruddlinjer med denne retningen er fremtredende.

LFE2, med ØNØ-VSV retninger kan sees i sammenheng med S2. Rosediagrammet over bruddplan viser mange målinger i retning NØ-SV og relativt få i ØNØ-VSV retning. Bruddlinjene på flybildene viser derimot klarere orientering ØNØ-VSV.

LFE3a og 3b, med retning VNV-ØSØ (N280°V- N310°V) og NNV-SSØ (N320°V- N360°V) kan korreleres med henholdsvis S3a (N290°V- N300°V) og S3b (N340°V- N360°V). S3b har en mer nordlig retning enn LFE3b. VNV-ØSØ retning av landformelementer (LFE3a), og de subvertikale VNV-ØSØ styrkende bruddlinjer og bruddplan (S3a) er de tydeligste i landskapet og de mest overensstemmende. Aspekthistogrammet for hele studieområdet med dominerende helningsretning mot øst og vest kan underbygge at de NNØ-SSV og delvis NNV-SSØ retningene er dominerende i studieområdet.

5.2.6 Diskusjon

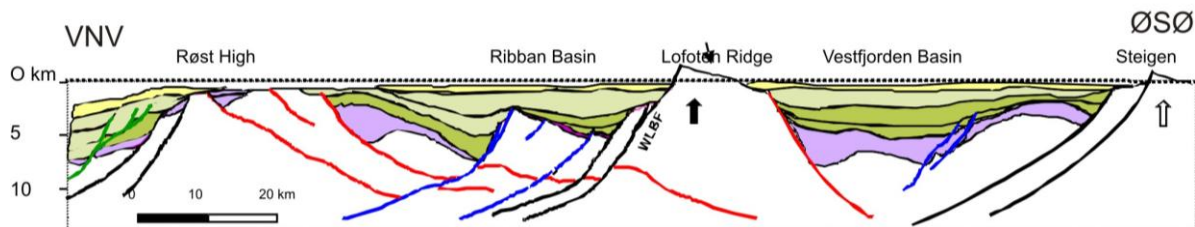
Ved å korrigere for misvisningen for de målte bruddplanene, som i dag er ~5° østlig ved Sund på Flakstadøya i forhold til geografisk nord, ville noen av gruppene og populasjonene stemt bedre overens.

Overensstemmelsen mellom orienterte formelementer; utbredte langstrakte, uniforme skråninger med dominerende aspekt i retning øst og vest og lineære landformelementer som delvis samsvarer med strukturelle elementer, tyder på at retninger av landformelementer i stor grad ser ut til å være styrt av den tektoniske utviklingen og dannelsen av sprø forkastninger og bruddpopulasjoner. De fire ulike gruppene av lineære landformelementer (LFE) og de tre (fire) populasjonene av sprø bruddplan og (bruddlinjer) støtter opp under strukturelle retningsdata, populasjonene og modellene til Bergh et al. (2006, 2007, 2008) og Eig et al. (2008).

For den strukturelle delen er det plukket ut bruddmålinger for bare små lokaliteter, og det kan stilles spørsmålsteget om hvor representative dataene er, og om de kan representere helheten. Jeg velger å tro at de 1536 målte bruddplanene (inkludert målinger av Karsten Eig) gir et bilde godt bilde av de dominerende retningene innenfor studieområdet.

5.3 Sammenhengen mellom strukturelle elementer og høyereliggende hellende flater og rygger

Bergh et al. (2006, 2008) har påvist liknende høyereliggende hellende flater med fall mot SØ i Lofoten og Vesterålen som er registrert i dette studiet. Der tolkes den sørøstlige helningen til overflatene å være forårsaket av en rotasjon av hele, eller deler av Lofotryggen, der det også er en rotasjon av mindre overflater. Årsaken til rotasjonen antas bl.a. å være normal, eller en noe skrå bevegelse langs S1 (populasjon 1) hovedgrenseforkastninger med orientering NNØ-SSV til NØ-SV med forskyvning ned mot NV (bl.a. *West Lofoten Border Fault*, merket WLBF på Figur 5.2) og dermed en oppheving av liggblokken (se figur 5.2) (Bergh et al. 2006, 2007, 2008).



Figur 5.2. Profil i retning VNV-ØSØ over Lofotryggen og omkringliggende områder (Bergh et al. 2008). Bassenger og høyder i områdene rundt er dannet etter bevegelser langs forkastninger tolket i svart, blått, rødt og grønt (jfr. figur 1.3). Lofotryggen har et fall mot ØSØ. Merk tykke mesozoiske sedimentære lagpakker over grunnfjellet i hvitt.

Bakgrunn for min tolkning av roterte forkastningsblokker er basert på helning til trendlinjer og paleiske overflater. Det antas at de tolkede paleiske overflatene og trendlinjene gjenspeiler eller har vært styrt av en tidligere overflate (av mulig mesozoisk alder) som opprinnelig var tilnærmet horisontal, eller hadde et svakt bølgende landskap.

De tolkede segmentene av paleisk overflate ser ut til å danne rester av en mer sammenhengende svakt bølgende flate med slak helning mot sørøst. Denne flaten antas å være yngre enn forkastningene.

Likevel kan noen av de tolkede paleiske overflatene og trendlinjene i denne oppgaven se ut til å gjenspeile, eller være styrt av helningen til en meget gammel overflate som strekker seg tilbake til før forkastningsaktiviteten som følge av ekstensjon fant sted. Etter dannelsen av

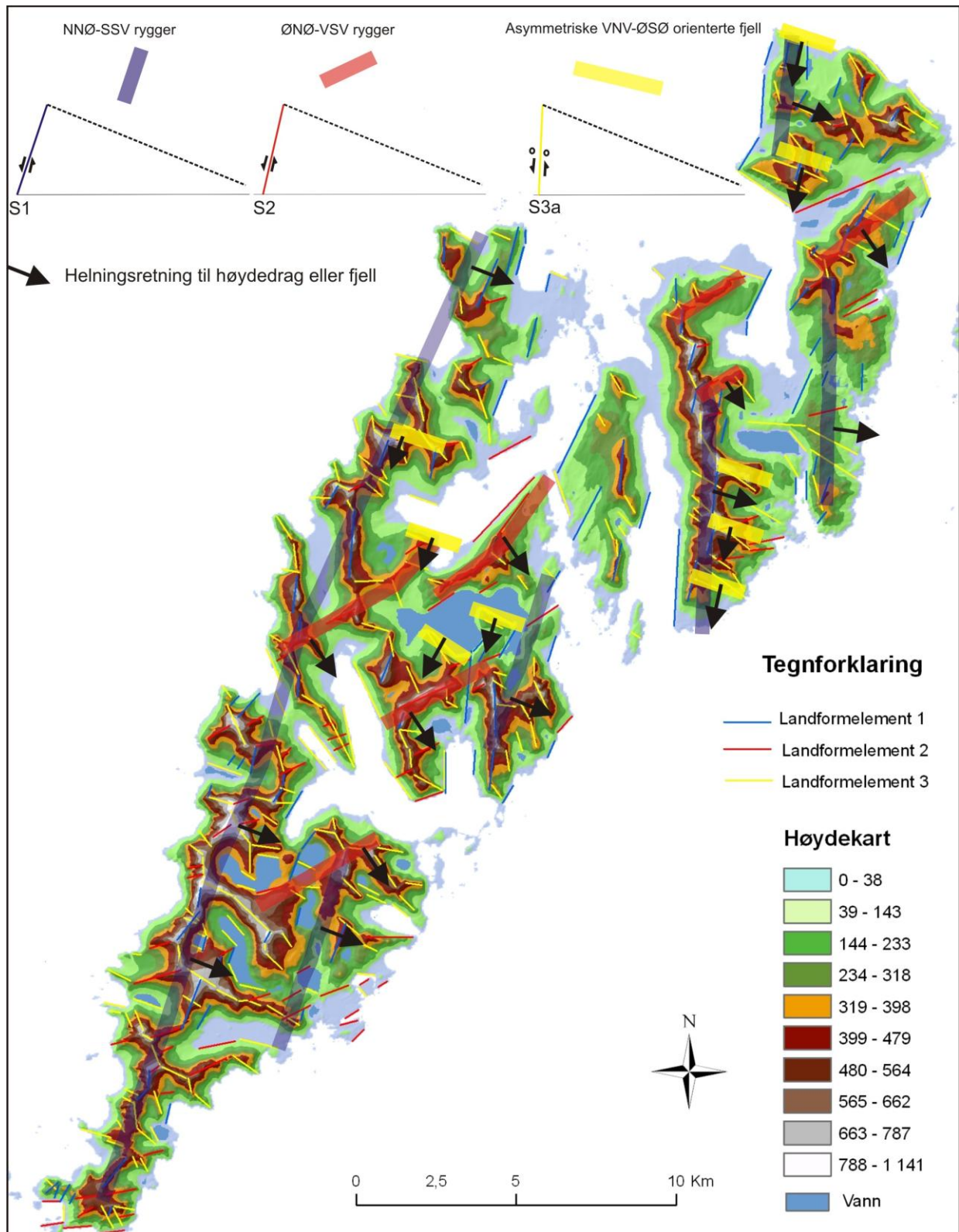
denne flaten er den forkastet i episoder fra perm-neogen. Den aktuelle flaten er nå erodert bort. Overliggende sedimenter kan ha vært medvirkende til å bevare en mulig mesozoisk svak helning til flaten. En annen mulighet er at flatene er strukturmessig dannet slik (som blokker) og utviklet på de ulike forkastningsblokkene samtidig med forkastningsutviklingen eller senere.

Profilene i kapittel 4.3 viser stiplede linjer som representerer trendlinjer. Hver av disse trendlinjene tolkes som en rotert forkastningsblokk eller normal forkastningsbevegelse for deler av blokken. Flere profiler viser også at kystklipper, rygger og fjell ofte har en brattere skråning i VNV mens relieffet avtar, høyden til toppene er lavere og det er et slakere fall til rygger og fjell mot ØSØ. Flere steder gjentar dette mønsteret seg, noe som kan tolkes som flere roterte forkastningsblokker. Figur 5.3 viser et kart der rygger, blokker eller høydedrag er merket av med de respektive fargene, og pilene angir fallretningen til trendlinjer som er vinkelrett på disse retningene. Bruddlinjer som er observert på flere av de paleiske overflatene antyder at mange skråninger og terrengkanter som avgrensner flatene er kontrollert av strukturer.

5.3.1 NNØ-SSV orienterte rygger og høydedrag

Profiler i VNV-ØSØ retning (profil 1, 2, 4, 7 og 10) er laget vinkelrett på NNØ-SSV orienterte høydedrag (rygger), steile skråninger og mange LFE1 i retning N-S til NNØ-SSV (Figur 4.30). De viser at trendlinjer faller mot ØSØ. I de samme profilene er det tolket S1 forkastninger med strøk NNØ-SSV som er merket av med blå farge. På flere av profilene er det tolket to eller flere trendlinjer som faller mot ØSØ inn mot disse forkastningene.

Flere av de paleiske overflatene innenfor provins B og C, er avgrenset av terrengkanter i NNØ-SSV retning (B1.2, B2.1, B2.2, C1.1, C1.2, C4 og C5). Svakhetssonene i berggrunnen representert ved S1 bruddplan med NNØ-SSV strøk, observert på paleisk overflate B2.1, ser ut til å ha påvirket retningen til kystklippen. Utvikling av den submarine strandflaten og erosjon relatert til dens dannelse har ført til at den paleiske overflatens utbredelse har blitt mindre og mindre (*hill slope retreat*). Eventuelt kan det også være en større forkastningssone i NV.



Figur 5.3. Høydekart med modell over roterte rygger, blokker eller høydedrag.

De ulike ryggene eller høydedragene i NNØ-SSV retning tolkes til å være ulike tektoniske blokker (Figur 4.30), skilt fra hverandre av S1 forkastninger i samme retning. Disse S1 forkastningene ser ut til å rotere blokkene mot ØSØ. Et eksempel er profil 10 og den

topografiske modellen over nordlige provins B og provins C (Figur 4.21) som viser en tolkning av tre slike roterte blokker (høydedrag) i retning N-S til NNØ-SSV og som faller mot ØSØ. På profilene er det også tegnet inn blå linjer langs steile VNV-vendte skråninger som tolkes til å representere forkastninger eller strukturelle svakhetssoner i berggrunnen med retning NNØ-SSV (S1).

Lokaliseringen av forkastningene eller svakhetssonene kan i disse tilfellene ligge lenger mot vest, eller sentrum av forkastningssonene enn der linjene på profilene er lagt inn. Erosjon og forvitring har ført til dagens plassering av de lineære landformelementene, og utgjør ofte daler, sund og fjorder. Likevel antas dagens retninger å være styrt av den opprinnelige svakhetssonen. Retningene er dermed styrt av strukturer som ikke nødvendigvis kan observeres på landområdene men ligger skjult langs daler, sund og fjorder.

5.3.2 ØNØ-VSV orienterte rygger eller høydedrag

Profiler i retning NNV-SSØ (3, 5 og 6) er laget vinkelrett på rygger eller LFE2 i retning ØNØ-VSV, og viser at paleiske overflater og trend linjer (rygger) også faller mot SSØ. I ØNØ-VSV retning er det tolket S2 forkastninger (merket rødt på profilene), og kan korreleres med og tolkes til å styre utviklingen av LFE2. Også i denne retningen er det på flere av profilene tolket flere trendlinjer som faller mot SSØ inn mot S2 forkastninger i retning ØNØ-VSV.

Paleisk overflate A4 og C6 har en lineær terrengkant og bratt skråning i NV mens fallet til overflatene er slakere mot SØ til SSØ. Disse formelementer i ØNØ-VSV retning kan korreleres med S2 forkastninger i samme retninger. I området nord for Å, på flybildet nord for Neslandsheia og på tvers av profil 5 og 6 er bruddlinjer og landformelementer med ØNØ-VSV retning utbredt. Paleisk overflate A4, A5 og C6 tolkes derfor til å være lokalt rotert mot ØSØ av S2 forkastninger.

5.3.3 VNV-ØSØ orienterte asymmetriske fjell

Profil 8,13 og 14 er laget i retning NNØ-SSV og viser steile skråninger i VNV-ØSØ retning merket med gule linjer på profilene. Et bemerkelsesverdig trekk ved provins B er de

asymmetriske VNV-ØSØ orienterte fjellene med steile NNØ- vendte skråninger (Figur 4.20). Flere steder er disse steppende. Profil 14 (Figur 4.20d) er laget over noen av disse fjellene. Dannelsen av de NNØ- vendte skråningene tolkes til å være påvirket av subvertikale VNV-ØSØ strukturer (bruddplan/ bruddlinjer) som observeres på flere av fjellene spesielt innenfor provins B, blant annet på Tverrfjellet (Figur 4.20b) og på kystklippene fra Brasråstinden og sørover (Figur 4.20c). Disse bruddlinjene (forkastningene) må være reelle strukturer og kan korreleres med bruddplan i retning VNV-ØSØ som er målt ved nesten alle lokaliteter innenfor studieområdet. Bruddplanene har et konsekvent subvertikalt fall, og er tolket til å være strøkslippforkastninger. De steile bruddlinjene, samt de storskala steppende skråningen til fjellene kan også vitne om et sidelengs forkastningsregime. Mot sør har alle fjellene en slakere skråning. Noen steder er det observert slakt hellende bruddplan som tolkes til å være påvirket av foliasjonen. Et eksempel er på Tverrfjellet, der foliasjonen er merket oransje på figur 4.20b). Disse strukturene faller svakt mot sør og antas å influere på utviklingen av den slakt hellende overflaten. Botnbreer på nordsiden av fjellene kan ha medvirket til utviklingen av de steile NNØ- vendte brattskrentene ved *hill slope retreat*.

Liknende asymmetriske fjell er observert innenfor provins C. Utviklingen av landformelementene og paleiske overflater i området fra Neslandsheia, paleisk overflate C1.1 og nordover kan korreleres direkte til, og ser ut til å være styrt av strukturelle elementer. Profil 8 (Figur 4.22) er laget over dette høydedraget. VNV-ØSØ strykende, NNØ steilt hellende S3a forkastninger observeres på den vestvendte skråningen til høydedraget fra Neslandsheia og nordover (Figur 4.21 og 4.22). Bruddlinjer observeres tydelig i sør, på strandflaten ved Nesland (Figur 4.23).

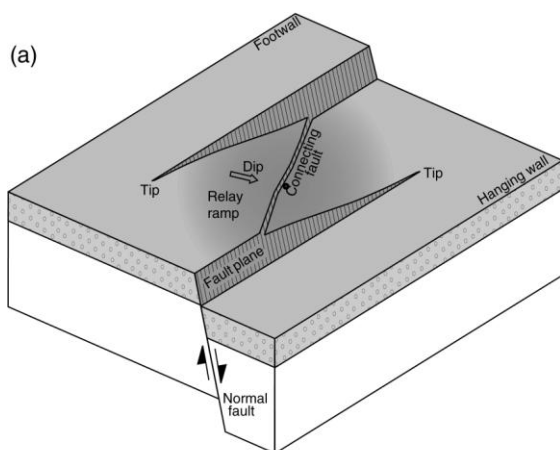
Eksempel på landformelementer med samme retninger er den VNV-ØSØ orienterte skråningen nord for Neslandsheia som faller steilt mot NNØ. Den tolkes til å være styrt av skrå normalforkastninger med en udefinert strøkslippkomponent (i et transtensjons-regime). S3a forkastninger ser ut til å rotere den paleiske overflaten mot SSV. Ryggene i VNV-ØSØ til NV-SØ retning videre nordover (Figur 4.22) med subvertikale til steilt hellende skråninger imot NNØ og slakere helningsvinkel mot SSV tolkes også til å være tektonisk kontrollert og styrt av forkastninger med samme retning.

De paleiske overflatene nord på Flakstadøya, C4 og C5, har mange likhetstrekk med de ovennevnte flatene. Flatene faller både mot ØSØ og SSV og er omgitt av ulike

landformelementer (terrengkanter og steile skråninger) (Figur 4.24 og 4.25) med retning NNØ-SSV (LFE1) og VNV-ØSØ (LFE3a). De paleiske overflatene kan derfor se ut til å være påvirket av både normale S1 forkastninger og sidelengs eller skrå S3a forkastninger.

Erosjon i tilknytning til de steile VNV-ØSØ orienterte forkastningene/ svakhetssonene har medvirket til utformingen av landformelementene med denne retningen. Ut i fra landskapsanalysen ser S3a- forkastningene (LFE 3a- skråningene) også ut til å ha hatt en viss normalbevegelse.

Et alternativ er at VNV-ØSØ forkastningene er *relay rampe* eller *breach* (Figur 5.3) (Peacock et al. 2002). Det vil si at de er en forbindelsesforkasting (*connecting fault*) mellom forkastningene i retning NNØ-SSV, og dermed er dannet samtidig med disse.



Figur 5.4. Oppeving og forkastninger i ulike retninger har hatt betydning for dannelsen av overflater med fall i ulike retninger (fra Peacock et al. 2002).

Figur 4.25 viser godt sammenhengen mellom strukturelle elementer, lineære landformelementer, steile skråninger og høyereliggende hellende flater og rygger i nordlige deler av Flakstadøya. De bratte uniforme skråningene som heller mot VNV (retning NNØ-SSV) og NNØ (retning VNV-ØSØ) og rygger med samme retning, kan vitne om at de er strukturelt styrt (Jordan et al. 2005). Figur 4.25 viser at det er LFE1 og LFE3a, med retning henholdsvis NNØ-SSV og VNV-ØSØ som er dominerende for området.

At topografien her er styrt av strukturene underbygges også av målingene av bruddplanene mellom Vareid og Vikten (Figur 4.25) som viser omtrent samme orienteringer, med

dominerende NNØ-SSV strykende bruddplan som faller steilt mot VNV og subvertikale VNV-ØSØ strykende bruddplan.

Det kan dermed antas at større forkastninger og forkastningssoner har samme orientering og utgjøres av liknende bruddplan med orienteringene som er observert på stranden ved Vareid. NNØ-SSV ryggen (LFE 1) i vest og dens kurvede trase (Figur 4.28a) antas derfor å være en følge av S1 forkastning(er) som faller mot VNV.

Ifølge den strukturelle diskusjonen (kap. 3.2.4), Bergh et al. (2007) og Eig et al. (2008) er S3 forkastninger hovedsakelig strøkslippforkastninger og skulle derfor ikke rotere overflaten. De paleiske overflatene og trendlinjer som faller mot SSV tyder på at S3a forkastninger likevel kan ha en viss skrå komponent. Den normale bevegelsen til forkastninger ser uansett ut til å være større for S1 og S2 forkastninger.

5.4 Diskusjon

Dataene fra dette studiet viser at det ser ut til å være en klar sammenheng/ korrelasjon mellom orienterte landformelementer, høyereliggende hellende flater og rygger, og strukturelle elementer. Landformelementer og steile skråninger samsvarer oftest godt med de strukturelle elementene. Resultatene støtter i hovedsak teoriene til Bergh et al. (2007, 2008) og Eig et al. (2008) om at det eksisterer tre (fire) mesozoiske-kenozoiske hovedpopulasjoner av bruddplan og lineamenter. Overflatene i de sørligste delene av Lofoten tolkes til å være styrt av tektonikk og å gjenspeile en rotasjon vinkelrett på disse populasjonene og gruppene, mot ØSØ, SSØ og SSV, i episoder fra perm til paleogen (Bergh et al. 2006, 2007, 2008).

5.4.1 Roterte blokker

Bergh et al. (2007) har påvist forkastningsaktivitet fra perm til neogen. Alderen til de roterte svakt hellende overflatene i Lofoten er ukjent, men området er antatt å ha blitt oppløftet før kvartær. Det kan stilles spørsmål om hvordan slike strukturer fortsatt kan være bevart i landskapet. To alternative forklaringer kan være; a) på grunn av rask sen-kenozoisk skorpeheving, dvs. at landskapet nylig er ekshumert, eller b) at forkastningene er relativt unge eller er reaktivert på senere stadier. Ut fra observasjoner av landskapet og de kartlagte trendlinjene i denne oppgaven kan det se ut til at noen forkastninger er reaktivert i senere tid.

De paleiske overflatene på land i Lofoten har likhetstrekk med roterte paleozoiske- mesozoiske forkastningsblokker og paleo-overflater, avgrenset av ekstensjonsforkastninger som er observert i seismiske data på sokkelen (Figur 5.2) (Bergh et al. 2006, 2007, 2008; Eig et al. 2008).

5.4.2 Landskapsutvikling

Geomorfologien på Moskenesøya og Flakstadøya vitner om et glasial fortært tektonisk landskap. Årsaken til at det er forskjellige kjennetegn for landskapet i ulike områder i Lofoten, for eksempel at det har vært sterk botnerosjon og mange botner på Moskenesøya, kan være at øya har blitt hevet senere og dermed har et "umodent landskap" i forhold til lengre øst i Lofoten. Dette støttes av AFT aldre som er statistisk forskjellig på hver side av kjente lineamenter i Lofoten. Dataene indikerer at det har vært flere hundre meter til km vertikal bevegelse (offset) langs flere mesozoiske- kenozoiske forkastninger (Hendriks 2003, 2005; Redfield et al. 2005). Innenfor studieområdet går en AFT grense omtrent langs Nappstraumen imellom Vestvågøya og Flakstadøya, og en omtrent i grensen mellom provins A og B i denne oppgaven (Redfield et al. 2005).

Det er sannsynlig at det i løpet av kvartær har vært få perioder der studieområdet har vært dekket av innlandsisen. Den påviste isstrømmen ut Vestfjorden (Laberg 2005, 2007; Ottesen, 2005) førte til at i det meste av istidene var lokalglasiasjon på de vestligst øyene. Dette førte til gode forhold for botnbreer og utviklingen av botner, botndaler og botnfjorder som er spesielt utbredt i de sørligste delene av Lofoten. Botnerosjonen har vært av vesentlig betydning for utviklingen det alpine landskapet. Botnbreer danner ideelt sett amfiformer med en halvsirkulær form med avrundede sidevegger (Nesje 1995). Kartleggingen av LFE viser at botnvannene ofte har lineære vannkanter. Dette kan vitne om at strukturer influerer på dannelsen av botnene og deres retninger. Det samme gjelder for strandlinjer langs botnfjordene. I de kaldeste periodene eroderte dalbreer og botndalbreer som utløpere fra Vestfjordbreen inn mot øyene. Breene beveget seg langs svakhetssoner i berggrunnen, gjennom daler, fjorder og sund i retning NV til N og avsatte morener på nordsiden av mange av disse (Bargel 2003).

6 Konklusjon

I dette arbeidet er det sammenstilt data for orienterte landformelementer, inkludert lineære landformelementer (LFE), aspekt og høyereliggende hellende flater, som er sammenliknet med strukturelle retningsdata (bruddplan og bruddlinjer).

I analysen av orienterte lineære landformelementer (LFE) kom fire grupper frem: NNØ-SSV, ØNØ-VSV, VNV-ØSØ og NNV-SSØ. Aspektverdiene fra aspekthistogram med dominerende fall mot øst og vest underbygger at rygger med N-S retning er dominerende for studieområdet.

Retningene til de orienterte formelementene stemmer relativt godt overens med populasjonen til bruddplan og forkastninger. Disse samsvarende retningene er:

- NNØ-SSV
- NØ-SV til ØNØ-VSV
- VNV-ØSØ
- NNV-SSØ

Mine studier av sammenhengen mellom landskap og struktur på Moskensøya og Flakstadøya i Lofoten viser at både strukturelle og geomorfologiske data er klart delt inn i fire grupper eller populasjoner. Dette samsvarer og støtter opp under Bergh et al. (2006, 2007, 2008) og Eig et al. (2008) sine teorier om at forkastningene er delt inn i populasjoner, som har vært aktive i ulike perioder. Den tektoniske historien og strukturene som er dannet har en sterk innvirkning på utformingen av landskapet, fra de minste detaljer til de store formene i landskapet, som retningen og beliggenheten til selve Lofotryggen.

Referanseliste

- Ahlmann, H.W. 1919: Geomorphological studies in Norway. *Geogr. Ann.* 1, 1-148 og 193-252.
- Bergh, S. G., Eig, K., Kløvjan, O., Henningsen, T., Olesen, O. and Hansen, J. A. 2007: The Lofoten-Vesterålen continental margin: a multiphase Mesozoic-Paleogene rifted shelf as shown by offshore-onshore brittle fault-fracture analysis. *Norwegian Journal of Geology*, 87, 1-31.
- Bergh, S. G., Hansen, J. A., Eig, K., Henningsen, T., Kløvjan, O., Olesen, O., Corner, G. D. and Vorren, T. 2006: Crustal structure of the Lofoten Ridge and offshore shelf exemplified by brittle faults and fractures: controlling effect on glacial landscape and drainage patterns Abstracts and proceedings of the Geological Society of Norway, No. 1, 1st Topo Norge workshop, p. 5.
- Bergh, S.G., Corner G., & Corfu, F. 2008: Proterozoic igneous and metamorphic rocks: a template for Mesozoic-Cenozoic brittle faulting and tectonic inherited landscapes in Lofoten-Vestrålen, North Norway. 33 IGC excursion No 38, August 14-18, 2008.
- Bergström, E. 1959: Utgjorde Lofoten och Vesterålen ett refugium under sista istiden? *Svensk naturvetenskap* 12, p. 116-122.
- Braathen A. & Gabrielsen R.H. 2000: Bruddsoner i fjell- oppbygging og definisjoner. NGU Gråsteinen 7.
- Burbank, D.W., Anderson, R.S., 2001: *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science, Malden.
- Corfu, F., Armitage, P. E. B., Kullerud, K. and Bergh, S. G. 2003: Preliminary U-Pb geochronology in the west Troms basement complex, north Norway; Archaean and Palaeoproterozoic events and younger overprints. *Bulletin*, 441: 61-72.
- Corfu, F. 2004: U-Pb age, setting, and tectonic significance of the anorthosite-mangerite- charnockite-granite- suite, Lofoten-Vesterålen, Norway. *Journal of Petrology*, 45, 1799-1819.
- Corner, G.D. 2005a: Atlantic coast and fjords (Ch. 12). In Seppälä, M. (ed), *The physical Geography of Fennoscandia*. Oxford Regional Environments Series, Oxford University Press, 203-228.
- Corner, G.D. 2005b: Scandes Mountains (Ch. 13). In Seppälä, M. (ed), *The physical Geography of Fennoscandia*. Oxford Regional Environments Series, Oxford University Press, 229-254.
- Davis, G.H. and Reynolds, S.J., 1996: *Structural geology of rocks and regions*. John Wiley & Sons, Inc., 776 pp.
- Doré, A. G., Lundin, E. R., Jensen, L. N., Birkeland, O., Eliassen, P. E. and Fichler, C. 1999: Principal tectonic events in the evolution of the Northwest European Atlantic margin. *Petroleum Geology of Northwest Europe: Proceedings of the Conference* 5: 41-61.

- Doré A.G., 1992: The base Tertiary surface of southern Norway and the northern North Sea. *Nor. Geol. Tidsskr.* 72 259–265.
- Eig, K., 2008: Onshore and offshore tectonic evolution of the Lofoten passive margin, North Norway. Phd. Thesis University of Tromsø, faculty of Science, Department of geology.
- Fjalstad, A. 1997: Late Weichselian glacial maximum, glacial retreat, and postglacial sea level changes at northern and central Andøya, northern Norway. Dr.scient. thesis. Universitetet i Tromsø.
- Gabrielsen, R. H., Braathen, A., Dehls, J. and Roberts, D. (2002): Tectonic lineaments of Norway. *Norwegian Journal of Geology* 82(3): 153-174.
- Gjessing, J. 1967: Norway`s Paleic Surface. *Norsk Geografisk Tidsskrift* 21, 2, 69-132.
- Griffin, W. L., Taylor, P. N., Hakkinen, J. W., Heier, K. S., Iden, I. K., Krogh, E. J., Malm, O., Olsen, K. I., Ormaasen, D. E. and Tveten, E. (1978): Archaean and Proterozoic crustal evolution in Lofoten-Vesteraalen, N Norway. *Journal of the Geological Society of London* 135, Part 6: 629-647.
- Grønlie, O.T. 1940: On the Traces of the Ice-Ages in Nordland, Troms, and the South-Western Part of Finnmark in Northern Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 20, 70 pp.
- Grønlie, O.T. 1951: On the Rise of Sea and Land and the forming of Strandflats on the West Coast of Fennoscandia. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 29, p. 26-63.
- Holtedahl, O. 1929: On the geology and physiography of some Antarctic and sub-Antarctic islands. *Scient. Results Norw. Antarct. Exped.*, No. 3, 172 pp.
- Holtedahl, O. 1929: On the geology and physiography of some Antarctic and Sub-Antarctic islands. *Scientific results of the Norwegian Antarctic expeditions 1927-28 and 1928-1929, instituted and financed by consul Lars Christensen.* *Det Nor. Vid. Ak. Oslo*, 3. 172 s.
- Holtedahl, H. 1959: Den norske strandflate. Med særlig henblikk på den utvikling i kystområdene på Møre. *Norsk Geografisk Tidsskrift.* 16, 285-385.
- Holtedahl, H. 1998: The Norwegian strandflat – a geomorphological puzzle. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 78, 47-66.
- Jordan G. & Csillag G. 2001: Digital terrain modelling for morphotectonic analysis: A GIS framework In: H. Ohmori, Editors, *DEMS and geomorphology*, Special Publication of the Geographic Information Systems Association vol. 1, Nihon University, Tokyo (2001), pp. 60–61.
- Jordan G., G. Csillag, Szucs A. and Qvarfortv U. 2003: Application of digital terrain modelling and GIS methods for the morphotectonic investigation of the Káli Basin, Hungary, *Zeitschrift fur Geomorphologie* 47 (2003), pp. 145–169.

- Jordan, G., Meijninger, B. M. L., van Hinsbergen, D. J. J., Meulenkamp, J. E. and van Dijk, P. M. 2005: Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and applications for study areas in Hungary and NW Greece. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 7: 163-182.
- Klemsdal, T. 1982: Coastal classification and the coast of Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift*. 36, 129-152.
- Klemsdal, Tormod. 1993: Temahefte landformer. Geografisk institutt, Universitetet i Oslo. 49 s. Upubl.
- Laberg J.S., Eilertsen R.S., Salomonsen G.R. & Vorren T.O. 2005: Late Weichselian paleoenvironment in the area of the Vestfjorden paleo-ice stream, north Norway. *Geophysical research abstract* (7)
- Laberg J.S., Eilertsen R.S., Salomonsen G.R. & Vorren T.O. 2007: Submarine push moraine formation during the early Fennoscandian Ice Sheet deglaciation. *Quaternary Research* 67 (3), 453-462.
- Lidmar-Bergström, K., Ollier, C.D. & Sulebak, J.R. 2000: Landforms and uplift history of southern Norway. *Global and Planetary Change* 24, 211-231.
- Løseth, H. and Tveten, E. 1996: Post-Caledonian structural evolution of the Lofoten and Vesterålen offshore and onshore areas. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 76: 215-230.
- Malm, O. and Ormaasen, D. E. 1978: Mangerite-charnockite Intrusives in the Lofoten-Vesterålen Area, North Norway: Petrography, Chemistry and Petrology. *Norges geologiske undersøkelse*, 338, 83-114.
- Mangerud, J. 1973: Isfrie refugier i Norge under istidene. *Norges geologiske undersøkelse* 297, Skrifter 7, 23 pp.
- Mangerud, J., 1996: Late Cenozoic history of the Scandinavian and Barents Sea ice sheets. *Global and planetary change*, 12(1-4): 11-26.
- Markl, G., Frost, B. R. and Bucher, K. 1998: The origin of anorthosites and related rocks from the Lofoten Islands, Northern Norway: I. Field relations and estimation of intrinsic variables. *Journal of Petrology* 39, 1425-1452.
- Møller, J.J. & Sollid, J.L. 1972: Deglaciation chronology of Lofoten-Vesterålen-Ofoten, north Norway. *Norsk geografisk Tidsskrift* 26 (3), 101-133.
- Møller, J. J. and Sollid, J. L. 1973: Geomorfologisk kart over Lofoten-Vesterålen (With English summary) *Norsk geogr. Tidsskr.* 27 . 195-205.
- Nansen, F. 1904: The bathymetrical features of the North polar seas. *Norwegian North Polar Expedition 1893-1896. Scientific Research* 4, 1-232.

- Nesje, A. 1995: *Brelære*. Høyskoleforlaget, Kristiansand, 124 pp.
- Nansen, F. 1922: The strandflat and isostasy. *Skr. Vid. Selsk. Krist. Mat.-Maturvid. KI. 2*, 1-313.
- Nordgulen, Ø., Bargel, T. H., Longva O., Olesen O. & Ottesen D. 2005: A preliminary study of Lofoten as a potential World Heritage Site based on natural criteria. NGU report 2005-086.
- O'Leary, D., Friedman, J.D. and Pohn, H.A. 1976: Lineament, linear, and lineation: some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bulletin*, 87, 1463-1469.
- Olesen, O., Torsvik, T. H., Tveten, E., Zwaan, K. B., Løseth, H. and Henningsen, T. 1997: Basement structure of the continental margin in the Lofoten-Lopphavet area, northern Norway: constraints from potential field data, on-land structural mapping and palaeomagnetic data. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 77: 15-30.
- Olsen, L. 2002: Mid and late Weichselian ice-sheet fluctuations northwest of the Svartisen Glacier, Nordland, Northern Norway. *Bulletin Norges Geologiske Undersøkelse Bulletin* 440, p., 39-52.
- Ottesen, D., Rise, L., Knies, J., Olsen, L. & Henriksen, S. 2005: The Vestfjorden-Trænadjupet palaeo-ice stream drainage system, mid-Norwegian continental shelf. *Marine Geology* 218, 175-189.
- Peulvast, J. P. 1988: Pre-glacial landform evolution in two coastal high latitude mountains: Lofoten-Vesterålen (Norway) and Scoresby Sund area (Greenland) *Geografiska Annaler* 70A (4) 351-360.
- Peulvast, 1986: J.-P. Peulvast, Structural geomorphology and morphological development in the Lofoten-Vesterålen area, Norway. *Nor. Geogr. Tidsskr.* 40 135–161.
- Peulvast, J.-P., 1985: Post-orogenic morphotectonic evolution of the Scandinavian Caledonides during the Mesozoic and Cenozoic. *The Caledonide Orogen—Scandinavia and Related Areas*, Wiley, Chichester 979–996.
- Peulvast, J.-P. 1985: In situ weathered rocks on plateaus, slopes and strandflat areas of the Lofoten-Vesterålen, North Norway. *Fennia* 163, p. 333-340.
- Prost, G.L. 1994: *Remote sensing for geologists. A guide to image interpretation*, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam.
- Redfield, T. F., Braathen, A., Gabrielsen, R. H., Osmundsen, P. T., Torsvik, T. H. and Andriessen, P. A. M. (2005): "Late Mesozoic to early Cenozoic components of vertical separation across the More-Trondelag fault complex, Norway." *Tectonophysics* 395(3-4): 233-249.

- Reusch, H. 1894: Strandfladen, et nyt træk i Norges geografi. Norges geologiske undersøkelse 14, 1-14.
- Riis, F. 1996: Quantification of Cenozoic vertical movements of Scandinavia by correlation of morphological surfaces with offshore data. *Global and Planetary Change* 12(1-4): 331-357.
- Riis F. and Fjeldskaar W., 1992: On the magnitude of the Late Tertiary and Quaternary erosion and its significance for the uplift of Scandinavia and the Barents Sea. *Nor. Pet. Soc. Spec. Publ.* 1 163–185.
- Rudberg, 1994: Glacial Cirques in Scandianavia, *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 48: 179-97.
- Steltenpohl, M. G., Hames, W. E. and Andresen, A. 2004: The Silurian to Permian history of a metamorphic core complex in Lofoten, northern Scandinavian Caledonides. *Tectonics* 23(1).
- Strøm, K.M. 1948: The geomorphology of Norway. *Geographical Journal* 62, 19-27.
- Stuevold, L.M. & Eldholm, O., 1996: Cenozoic uplift of Fennoscandia inferred from a study of the mid-Norwegian margin. *Global and Planetary Change* 12, 359–386.
- Torske, T., 1972: Tertiary oblique uplift of western Fennoscandian crustal warping in connection with rifting and break up of the Laurasian continent. *Nor. Geol. Unders.* 273 43–48.
- Trømborg, D., 2006: Geologi og landformer i Norge. Landbruksforlaget 130pp.
- Tsikalas, F., Eldholm, O. and Faleide, J. I. 2005: Crustal structure of the Lofoten-Vesterålen continental margin, off Norway. *Tectonophysics* 404(3-4): 151-174.
- Tsikalas, F., Faleide, J. I. and Eldholm, O. 2001: Lateral variations in tectono-magmatic style along the Lofoten-Vesterålen volcanic margin off Norway *Marine and Petroleum Geology*, 18, 807-832.
- Tveten, E. 1978: Geologisk kart over Norge, berggrunnskart Svolve 1:250 000, Norges geologiske undersøkelse.
- Undås, I. 1938: Kvartærstudier i Vestfinnmark og Vesterålen. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 18, p. 81-217.
- Undås, I. 1967: Om maksimum av siste innlandsis i ytre Vesterålen. J.W. Eides boktrykkeri A.S., Bergen, 31 pp.
- Vorren T. og Mangerud, J., 2006: Landet blir til Kap. 15 Istider kommer og går. *Norsk geologisk forening* 478-531.
- Vorren, T.O., Vorren, K.D., Alm, T., Gulliksen, S. & Løvlie, R., 1988: The last deglaciation (20,000 to 11,000 B.P.) on Andoya, Northern Norway. *Boreas*, 17(1): 41-77.

Vorren, T.O., Edvardsen, M., Hald, M. & Thomsen, E., 1983: Deglaciation of the continental shelf off Southern Troms, North Norway. Bulletin, 380: 173-187. In: Geological Survey of Norway 1858-1983; 125-years anniversary volume, 173-187. Universitetsforlaget, Norway.

Vorren, K.-D., 1978: Late and Middle Weichselian stratigraphy of Andøya, north Norway, Boreas 7, 19–38.

Wilson, R. W., McCaffrey, K. J. W., Holdsworth, R. E., Jones, R. R., Imber and J. & Clegg, P. 2005: Lofoten has its faults! Detailed fault analysis and 3D digital mapping in Norway's Lofoten Islands. Geoscientist 15.

Woodcock, N.H. and Schubert, C., 1994. Continental Deformation. Pergamon Press, 251-263 pp.

Internett sider:

www.wikipedia.no

geoleksi, <http://alun.uio.no/geomus/leksi/>

www.ordnett.no