

NGU Rapport 96.023
Bruddsoner på
Frøya og Nord-Hitra

Rapport nr. 96.023		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Bruddsoner på Frøya og Nord-Hitra				
Forfatter: Alvar Braathen		Oppdragsgiver: Veikontoret i Sør-Trøndelag		
Fylke: Sør-Trøndelag		Kommune: Hitra og Frøya		
Kartbladnavn (M=1:250.000) Kristiansund, Trondheim		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1422 I Nord-Frøya, 1422 II Hitra, 1422 III Sør-Frøya, 1422 IV Sula		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 15	Pris: 48,-	
		Kartbilag: -		
Feltarbeid utført:	Rapportdato: 30/1-1996	Prosjektnr.: 16.0001.01	Ansvarlig: <i>Reidule Bpe</i>	
<p>Sammendrag:</p> <p>Rapporten omhandler en analyse av bruddsoner i berggrunnen på Frøya og nordlige Hitra, med den hensikt å diskutere mulige problematiske strukturer for en tunnel under Frøyfjorden.</p> <p>På Frøya er den steile, NØ-SV orienterte lagningen/foliasjonen i kaledonske orthogneiser kuttet av nær vertikale, NV-SØ og N-S orienterte bruddsoner. Nord på Hitra er berggrunnen dominert av glimmerskifer med kalksteinslag og vekslende gabbroide til granittisek gneiser som har en Ø-V til ØNØ-VSV lagning/foliasjon. Vertikale bruddsoner med NV-SØ og N-S orientering kutter foliasjonen. Bruddsoner i berggrunnen på Hitra har en langt lavere hyppighet sett i forhold til tilsvarende soner på Frøya.</p> <p>En vurdering av bruddsonenes tektoniske historie støtter en skjær-modell hvor jurassisk jordskorpe-bevegelse aktiviserte de fleste sonene, og hvor NØ-SV orienterte bruddsoner antagelig ble reaktivert som tensjons soner eller normal forkastninger. Dagens stress-felt favoriserer åpne sprekker med en NV-SØ orientering. Det konkluderes derfor med at NØ-SV og NV-SØ orienterte bruddsoner har størst potensiale for å være åpne til vannstrøm. Disse sonene vil sannsynligvis vil være mest problematiske ved bryting av en tunnel under Frøyfjorden.</p>				
Emneord:	berggrunn	stressfelt		
Frøyfjorden	foliasjon			
tunnel	tektoniske modeller			

INNHOLD

1. INNLEDNING.	4
2. BRUDDSONER/LINEAMENTER RUNDT FRØYFJORDEN	5
2.1. Generelt mønster	5
2.2. Forkastninger	5
2.3 Bruddsoner på Frøya	7
2.4. Bruddsoner på nordlige Hitra	9
2.5. Strukturelle trender i Frøyfjorden.	9
3. BRUDDSONENES DANNEELSE.	11
4. MULIGE ÅPNE BRUDDSONER I FRØYFJORDEN.	12
5. KONKLUSJON.	13
6. REFERANSER	15

1. INNLEDNING

Prosjektet har sitt utspring i en planlagt undersjøisk tunnel mellom Hitra og Frøya. I forprosjekt fasen har Vegkontoret i Sør-Trøndelag ønsket en omfattende geologisk vurdering av området rundt tunnel traseen. I dette forarbeidet inngår blandt annet en analyse av bruddsoner i fjellet på begge sider av Frøyfjorden, samt en vurdering av gamle og nye spenningsfelt sett i forhold til dannede strukturer. Målet med dette arbeidet har vært å klargjøre og diskutere strukturer i berggrunnen og deres orienteringer. Et viktig moment i rapporten er derfor vurderinger av strukturer som kan ha betydning for- eller skape problemer ved tunnel brytingen under sundet.

Arbeidet har vært basert på følgende materiale: (i) Topografiske kart i 1:50000 (serie 1422, blad I, II, III og IV), (ii) flybilder i 1:20000 (Norfly A/S, serie T.71 - 982), og (iii) økonomiske kart i 1:20000 (BQR 129130-20, BOP 131132-20, BQR131132-20 og BQR 135136-20). Kartgrunnlaget og flybildene er benyttet til å kartlegge relativt lineære strukturer på Frøya og nordlige Hitra. Variasjonen i målestokk for basis-materialet har gjort det mulig å klargjøre strukturer med vidt forskjellig lengde og bredde, dvs. fra regionale lineamenter til lokale sprekker. De lineære strukturene har ikke vært befart i felt, noe som medfører en usikkerhet omkring hvorvidt alle lineære strukturer er bruddsoner. Alternativt kan de i noen tilfeller representere foliasjon/lagning i bergartene. En gjennomgang av aktuell geologisk litteratur har minimert dette problemet, samt klargjort områdets generelle geologiske historie. Videre er data som er fremkommet i prosjektet på Hitra-Frøya-tunnelen tatt med i vurderingene. Dette materialet er beskrevet av Sættem og Mørk (1996) og i to Noteby rapporter (1984, 1985).

Det synes klart at området, som ligger rett nord for Møre-Trøndelag forkastningssonen, har gjennomgått flere faser med skorpebevegelse (f.eks. Grønnlie mfl. 1994). I kaledonsk og devonsk tid (ca. 430-380 Ma) ble denne forkastningssonen dannet gjennom flere episoder med plastisk deformasjon. Berggrunnen på Frøya består av kaledonske granitter og pegmatittiske orthogneiser (Askvik og Rokoengen, 1985; Nordgulen mfl., 1995). På nordlige Hitra dominerer glimmerskifer med kalksteinslag og vekslende gabbroide til granittiske gneiser (Kollung, 1963). Alle disse bergartene ble kraftig påvirket av den kaledonske deformasjonen, som har en duktil/plastisk karakter.

Ved avslutningen av denne regionale deformasjonsepisoden fikk man en overgang mot mer sprø deformasjons-forhold i devonsk tid, med dannelse av forkastningsbrekksjer, sprekker og bruddsoner (Grønlie mfl., 1994). Tilsvarende sprø deformasjon påvirket også området i karbon (>320 Ma) og jura-kritt tid (ca. 200-65 Ma). Sistnevnte fase kan knyttes til dannelsen av mindre sedimentære avsetnings-bassenger, som Frohavet bassenget nordøst av Frøya. Dette bassenget er avgrenset av forkastninger som har utløpere inn i det studerte området rundt Frøyfjorden.

I moderne tid er det rapportert en rekke små jordskjelv på kontinental sokkelen vest og nordvest av Frøya. Slike unge bevegelser, som har sitt opphav i forholdsvis store, regionale bergspenninger, vil kunne påvirke/reaktivere allerede eksisterende bruddsoner. Dette regionale bergstresset har derfor et potensiale for utvikling av åpne sprekker i bestemte retninger (Banks mfl., in press). Det er nærmere diskutert mot slutten av beskrivelsen.

2. BRUDDSONER/LINEAMENTER RUNDT FRØYFJORDEN

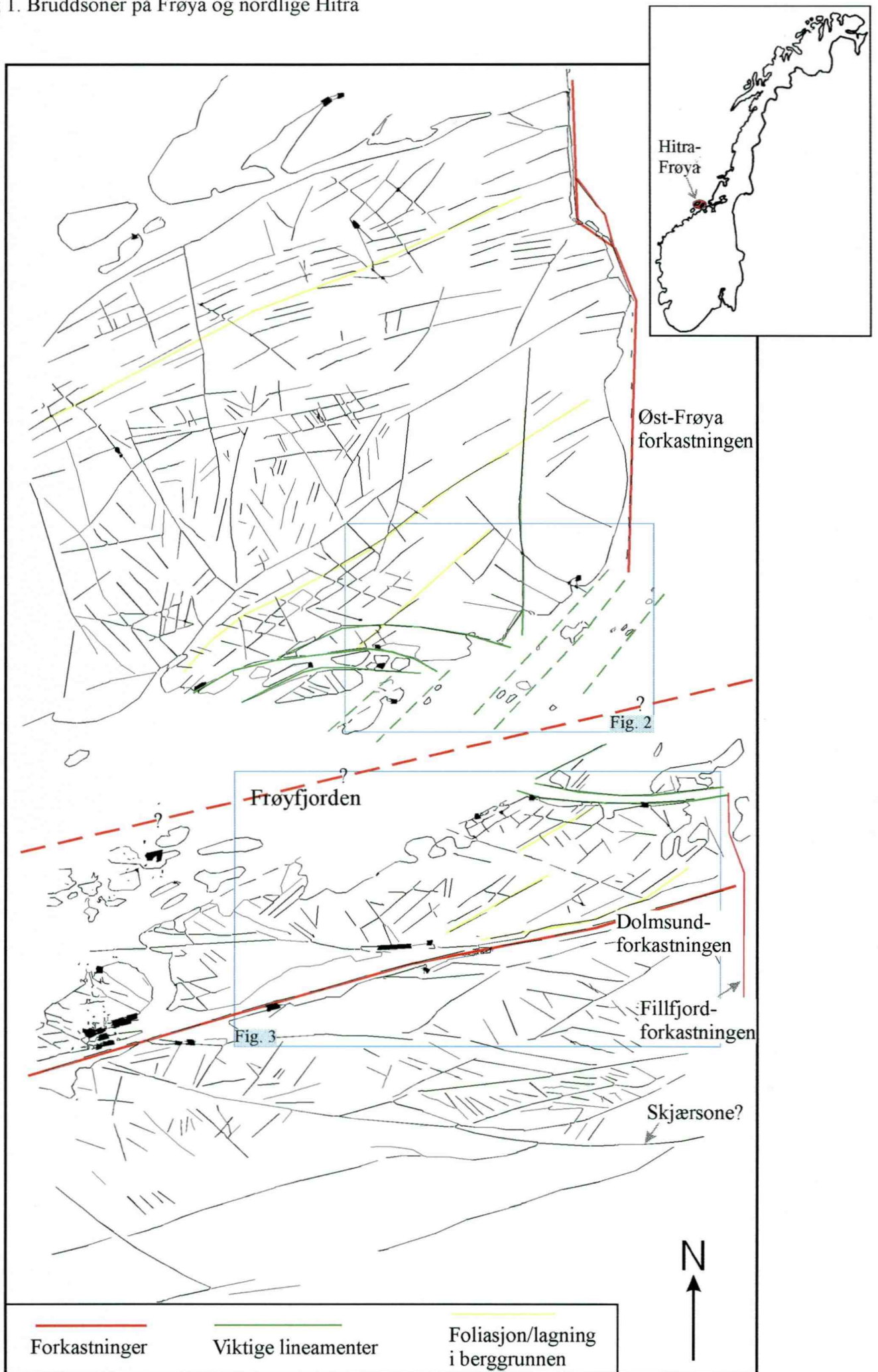
2.1. Generelt mønster av bruddsoner

Det er fem strukturelle orienteringer som dominerer i området (Fig. 1); N-S, NØ-SV, ØNØ-VSV til Ø-V, ØSØ-VNV og NV-SØ (Noteby rapporter, 1984, 1985). Disse trendene opptrer på begge sider av Frøyfjorden, men hyppigheten varierer. Nord for fjorden er ØNØ-VSV til NØ-SV trenden framtrædende, og representerer antagelig en vertikal foliasjon/lagning i bergartene. Syd for sundet, på Hitra, har lagningen/foliasjonen en vertikal ØNØ-VSV til Ø-V orientering. Det framtrædende sprekkemønsteret her i på Hitrasiden preges av vertikale NØ-SV orienterte strukturer. Dette er forskjellig fra Frøya, der NV-SØ og N-S sprekkesoner dominerer.

2.2. Forkastninger

Flere bruddsoner viser i kartbildet forskyvning av bergartsgrenser og representerer derfor forkastninger. Disse fremkommer fra en gjennomgang av aktuell litteratur (Kollung, 1963; Wolff, 1976; Askvik og Rokoengen, 1985; Bøe, 1991; Bøe mfl., 1992a, 1992b). Forkastningene er navngitt (Fig. 1) med den hensikt å forenkle beskrivelsen, men navne er å betrakte som uformelle.

Fig 1. Bruddsoner på Frøya og nordlige Hitra



En større forkastning opptrer langs østkysten av Frøya. Den viser tilsynelatende høyreveis sidebevegelse av kontakten mellom gneis og granitt på nord Frøya, med en forskyvning på flere kilometer (Fig. 1). På nordlige Hitra finnes flere forkastninger (Kollung, 1963). I Fillfjorden mot øst opptrer en N-S forkastning med høyreveis bevegelse (Fillfjordforkastningen, Fig. 1), som kan representere fortsettelsen til forkastningen langs øst-Frøya. Dolmsundet, som er orientert ØNØ-VSV, er lokalisert langs en betydelig forkastnings-soner. Dette er antydning ved at strukturen fortsetter mot ØNØ, hvor den er sammenfallende med normalforkastninger som avgrensner jura-bassenget i Frohavet (Bøe, 1991). En annen regional strukturell trend, som antagelig kan knyttes til dette jura-bassenget, er lokalisert til sundet mellom Hitra og Frøya (Fig. 1). Dette sundet har en ØNØ-VSV orientering som kan følges fra Frohavet i NØ, gjennom Frøyfjorden og ut på sokkelen i SV, og utgjør derfor antagelig en svakhetssoner i berggrunnen. Strukturens betydning er usikker, men jura-bassenget i Frohavet er lokalisert til sonen, noe som underbygger at det var bevegelse langs denne strukturen i jura tid.

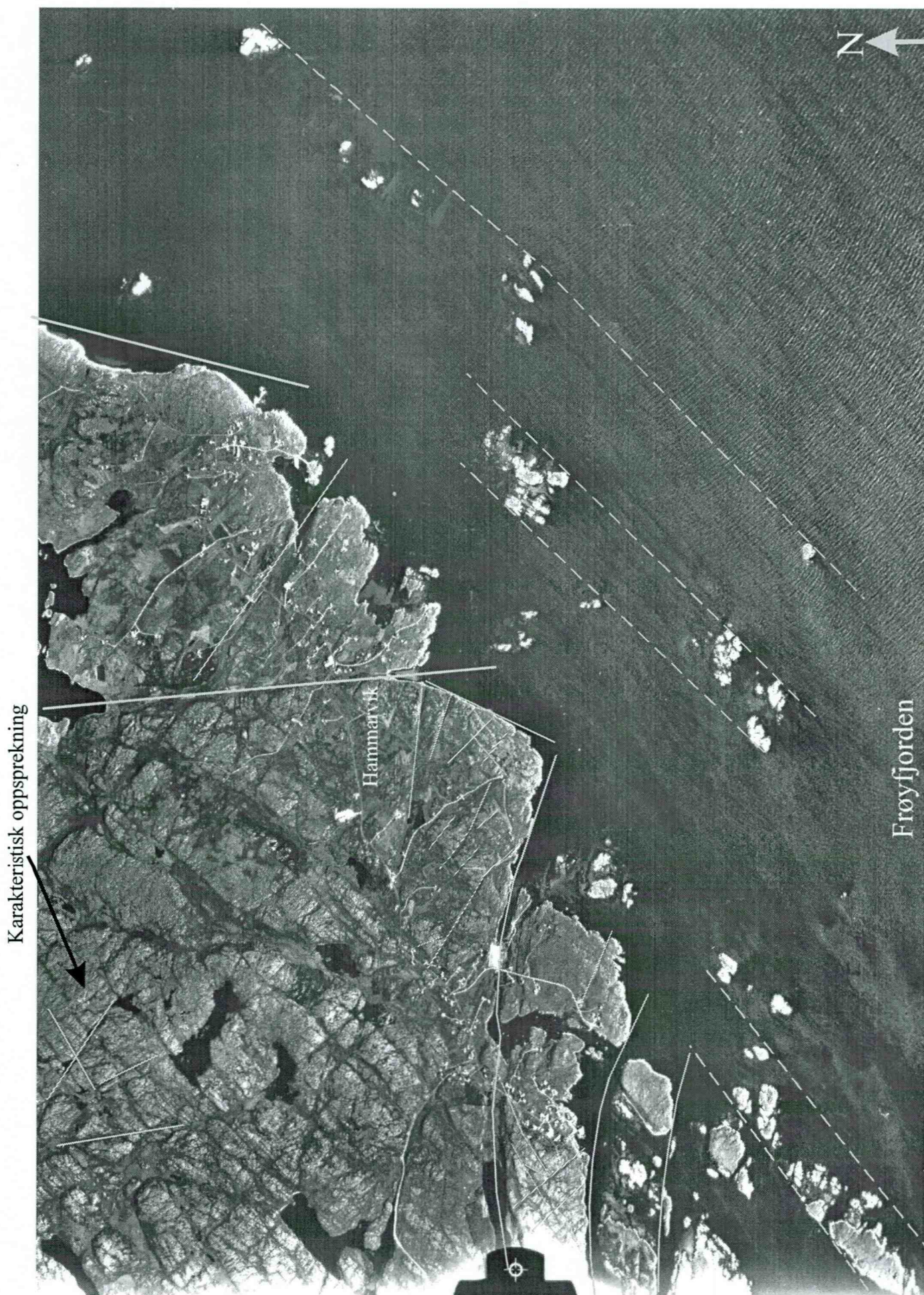
På øyene øst for Hitra, dvs. på Fjellværøy, er det kartlagt flere mindre forkastninger (Kollung, 1963). Disse NV-SØ orienterte strukturene viser høyreveis forskyvning av berggrunnen i kartbildet.

2.3 Bruddsoner på Frøya

Hovedtrenden av lagningen/foliasjonen på Frøya er ØNØ-VSV til NØ-SV, hvor sistnevnte orientering dominerer mot syd (Fig. 1). Lagningen i bergartene har en nær vertikal orientering, og sprekkesoner/forkastninger kan lokalt følge foliasjonen (Nordgulen, pers. med.). Sprekker som kutter lagningen/båndingen i bergartene stryker i hovedsak N-S og NØ-SV og har en nær vertikal orientering. N-S sonene varierer fra flere kilometers til noen få hundre meters lengde, og har gjennomgående en mindre hyppighet enn NV-SØ sprekke. Sistnevnte sprekker dominerer på Frøya, hvor de sammen med foliasjonen/båndingen i bergartene preger øyas topografi (Fig. 2).

I området ved Hammarvik sør på Frøya (Fig. 2) framstår de strukturelle trendene klart på flybilder. På land har dalførene NØ-SV og NV-SØ orienteringer, dvs. sammenfallende med de dominerende strukturelle orienteringene som er nevnt over. Enkelte N-S strukturer vises også, da spesielt i området ved Hammarvik og langs kysten lenger øst. Øyene ute i sundet ligger på rekke langs en NØ-SV lengste akse, noe som antyder at de avgrensnes av svakhetssoner med denne

Fig. 2: Utsnitt av flybilde T71-982-F10 med tolkning av bruddsoner på SØ Frøya.



orienteringen (se Sættem og Mørk, 1996). En Ø-V trend ser ut til å dominere i skjærgården øst for Hammarvik (Fig. 2), hvor flere buete lineamenter er definert av sundenes orientering.

2.4. Bruddsoner på nordlige Hitra

Foliajonen/lagningen på nordlige Hitra har en nær vertikal, Ø-V til ØNØ-VSV orientering (Fig. 1; Kollung, 1963). Et karakteristisk buktende/anastomoserende mønster antyder at disse strukturene lokalt representerer plastiske/duktile skjærsoner, som deler berggrunnen i området inn i store blokker (Fig. 1). Disse skjærsonene representerer svakhetssoner i berggrunnen som antagelig delvis er reaktivert som sprekkesoner/forkastninger. Dette underbygges av Dolmsund-forkastningens ØNØ-VSV orientering, som i hovedsak følger strøket til lagningen i berggrunnen.

Sprekkesoner som kutter lagningen i berggrunnen er gjennomgående steiltstående og har en dominerende NV-SØ orientering. Et underordnet sett stryker N-S. Disse trenden er sammenfallende med sprekkorienteringene på Frøya, men hyppigheten på den nordlige delen av Hitra er langt lavere (Fig. 3).

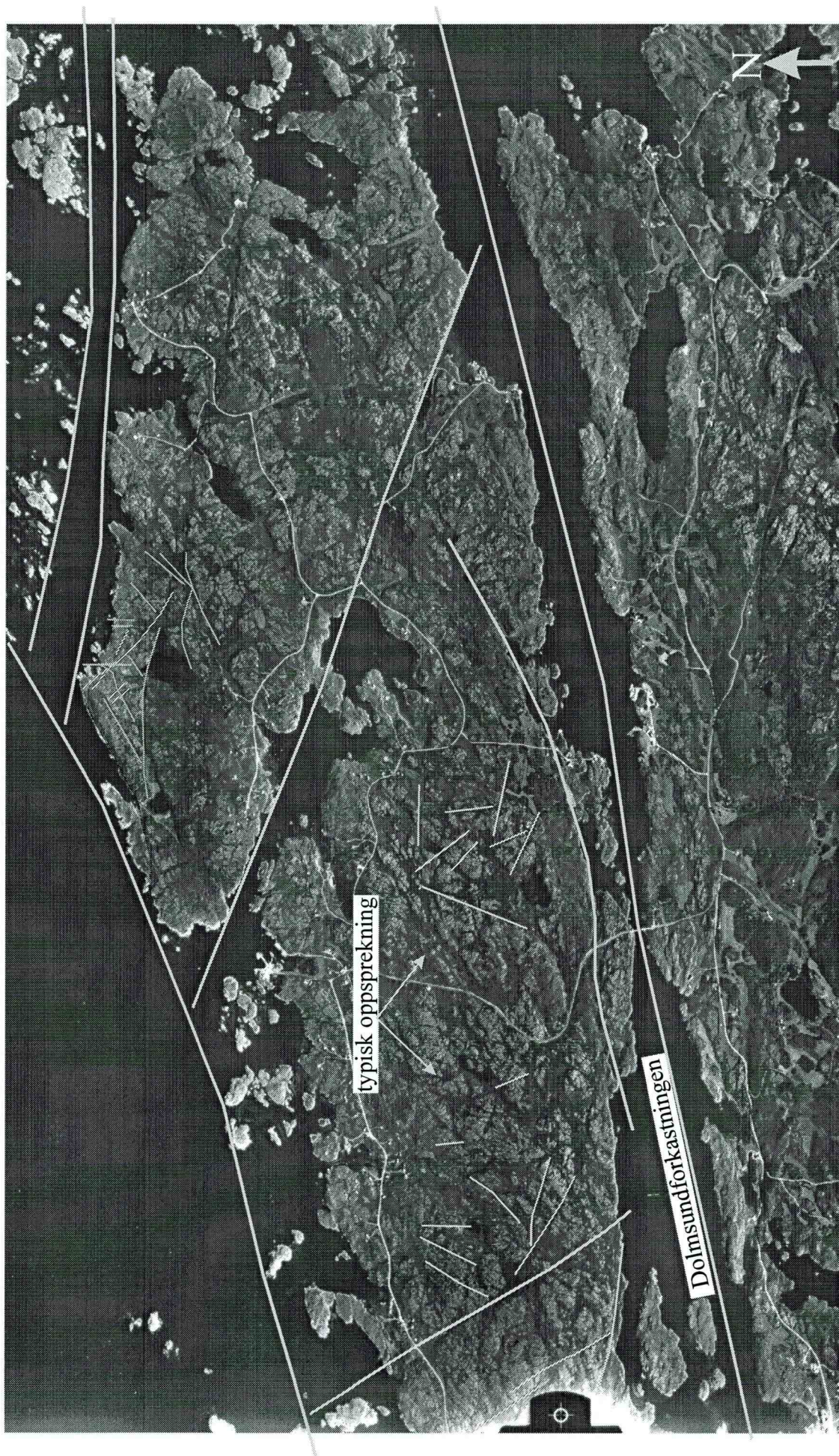
Enkelte større NØ-SV lineamenter preger topografien på Dolmøya, da sammen med den ØNØ-VSV orienterte lagning i berggrunnen. De førstnevnte strukturene er derimot lite framtrede i skjærgården utenfor Dolmøya, hvor øyene ligger langs en utpreget ØNØ-VSV akse.

2.5. Strukturelle trender i Frøyfjorden

Frøyfjorden ser ut til å representere et skille mellom to blokker karakterisert ved forskjellig grad og orientering av bruddsoner. Sør for sundet ligger øyene langs en ØNØ-VSV akse, mens området lenger mot nord viser lineamenter med NØ-SV orientering. Dette skillet ser ut til å være lokalisert til sundet mellom Hitra og Frøya (Fig. 1). En detaljert beskrivelse av havbunns-topografien og strukturelle trender i sundet er gitt av Sættem og Mørk (1996).

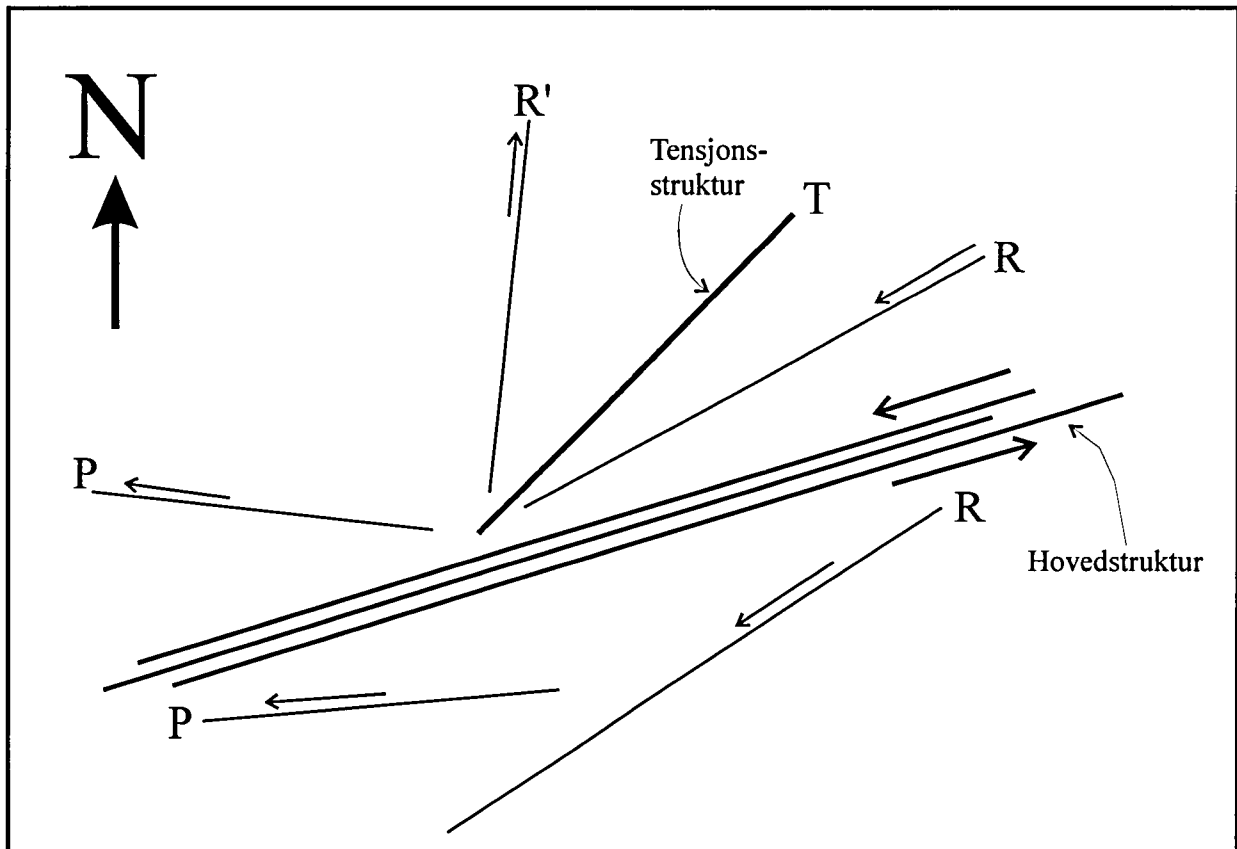
Kystsonen på begge sider av Frøyfjorden viser svakhetssoner i berggrunnen med en overordnet Ø-V orientering. Disse sonene har et buet forløp, og har motsatt avbøyning på hver side av sundet (Fig. 1). Slike buete geometrier fremkommer ofte langs forkastninger med varierende grad av bevegelse. Representerer disse sonene reelle forkastninger antyder dette en plassering av Dolmsundet til en forkastningsgrop, som antagelig ble dannet i jurassisk tid.

Fig. 3: Utsnitt av flybilde T71-982-F8 med tolkning av bruddsoner på Dolmøya og nordlige Hitra



Senere erosjon har deretter fjernet de sedimentære avsetningene. En slik tolkning samsvarer med utbredelsen av jura-bassenger, som opptrer i NØ og som streker seg innover mot Frøyfjorden.

Fig. 4. Illustrasjon av en venstre-veis skjær-modell for dannelsen av jurassiske strukturer. Hovedstrukturen viser venstreveis skjær. Midre forkastninger som dannes marginalt til hovedstrukturen viser enten en tilsvarende venstreveis skjærbevegelse (R og P), eller, hvis strukturen er orientert med stor vinkel til hovedstrukturen, med høyreveis skjær (R').



3. BRUDDSONENES DANNEELSE

Mange av bruddsonene har antagelig sitt opphav i sen/post-devonsk tid, dvs. etter at den store kaledonske fjellkjeden i Norge ble dannet ved innskyvning av sedimentære-, vulkanske-, intrusive og grunnfjells-bergarter over det prekambriske grunnfjellet. Den etterfølgende devonske kollapsen av fjellkjeden gav bl.a. opphav til Møre-Trøndelag forkastningssonen slik den fremstår i dag. Senere sprø deformasjonen som vises i de kaledonske og devonske bergartene på Hitra og Frøya kom antagelig på plass som følge av jordskorpe bevegelser i

karbon, perm og trias-jura perioden (f.eks. Grønlie mfl., 1994). Det er sannsynlig at mange av sprekke-retningene i dette området var dannet før den siste kjente episoden med skorpebevegelse i området, dvs. i jura tid. Forkastninger som tilhører den siste fasen kan derfor i mange tilfeller ha reaktivert eldre bruddsoner og lagning/foliasjoner i berggrunnen.

Jura-bassenget i Frohavet har en avlang, asymmetrisk form (Bøe, 1991), er avgrenset av ØSØ-VNV orienterte hovedforkastninger og viser internt midre NØ-SV orienterte normalforkastninger som sprangvis forplanter seg mot ØNØ, dvs. parallelt med den regionale strukturelle trenden i området. Denne geometrien og forkastnings-orienteringene kan underbygge en venstreveis skjær-modell, som er presentert under.

De fleste sprø deformasjonsstrukturene/lineamentene som opptrer på Hitra og Frøya, og i Frøyfjordens skjærgård mot NØ, kan forklares i en venstreveis skjær-modell (Fig. 4). I en slik modell vil foliasjonen/lagningen i berggrunnen, med en dominerende ØNØ-VSV orientering, være reaktivert som strøk-slip forkastninger (horisontal bevegelse). Mindre forkastninger (Ø-V, N-S og ØNØ-VSV til NØ-SV) rundt hovedstrukturene vil være karakterisert ved forskjellige strøk-slip bevegelser (R, R' og P i Fig. 4), mens et sett med strukturer, orientert NØ-SV, vil representere rene strekningsstrukturer (i tensjonsfeltet/T-sprekker i Fig. 4). Disse vil således utgjøre normalforkastninger.

4. MULIGE ÅPNE BRUDDSONER I FRØYFJORDEN

Med bakgrunn i modellen for dannelse av bruddsoner i jura tid, som er beskrevet over, kan flere strukturelle orienteringer trekkes fram som potensielt åpne sprekke-retninger. Normalforkastninger har, sammenlignet med sideveis- og reversforkastninger, et høyere potensiale for veskestrøm. Dette er godt dokumentert fra petroleumsrelaterte problemstillinger. Det synes derfor klart at de NØ-SV orienterte sprekkesonene i det studerte området, som er foreslått som normalforkastninger, har størst potensiale for å være åpne for veskestrøm innenfor rammene av den foreslåtte dannelses-modellen.

Flere små jordskjelv i området underbygger at dagens stress-feltet har innflytelse på regionen. Dette stress-felt kan påvirke åpenhetsgraden av sprekker i berggrunnen. I en slik modell (Fig. 5) vil sprekker orientert parallelt med det største stresset ha et større potensiale for å være åpne enn sprekker orientert vinkelrett på det største stress retning. Dette skyldes at

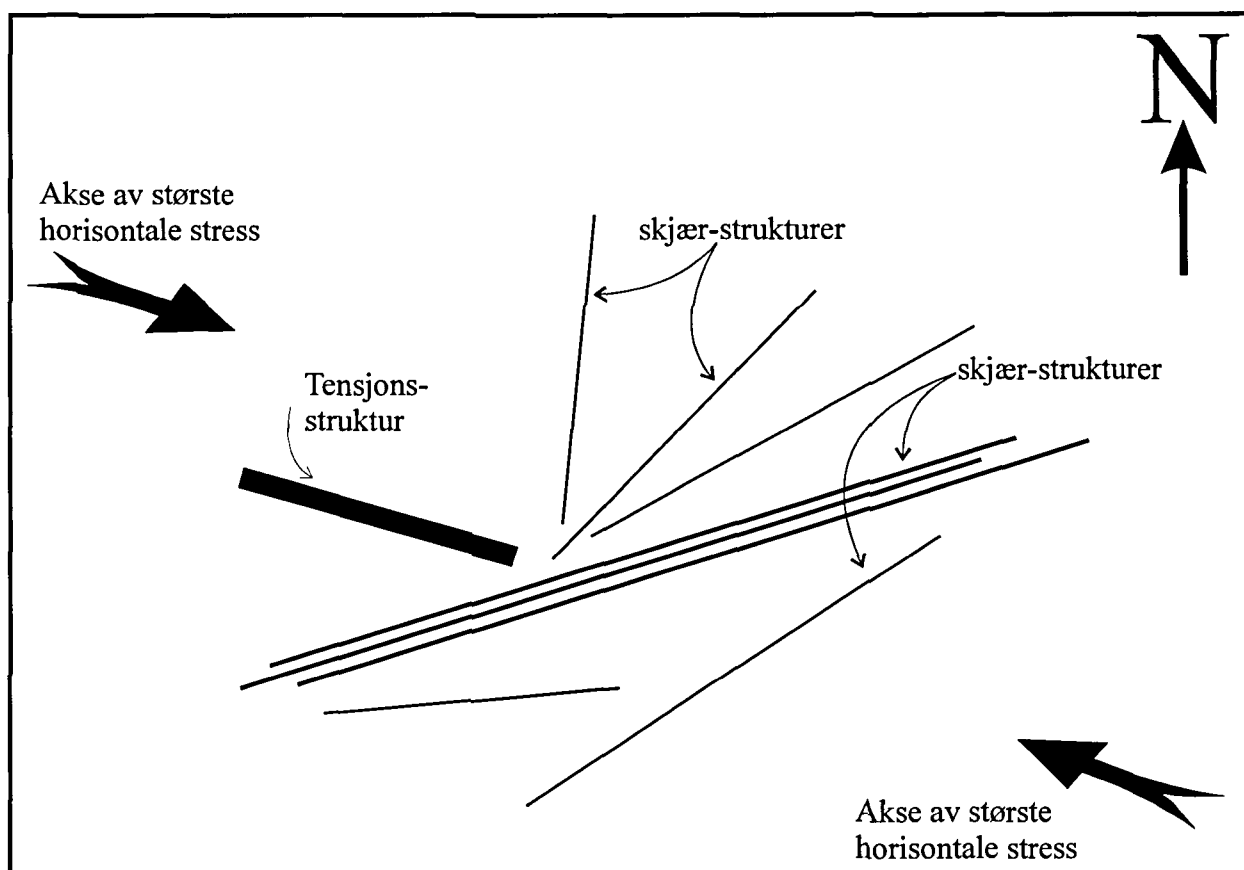
sistnevnte sprekker vil bli klemt sammen og dermed lukket av stresset i bakken. Den største aksen i stress-feltet for området rundt Hitra og Frøya har en omtrentlig VNV-ØSØ til NV-SØ orientering (f.eks. Lindholm mfl., 1995). Dette antyder at sprekker med en tilsvarende orientering, dvs. NV-SØ, har størst potensiale for å være åpne (Fig. 5).

5. KONKLUSJON

Betraktningene over klargjør enkelte forhold av betydning for en tunnel under Frøyfjorden. Det synes klart at to sett med bruddsone har størst potensiale for vanninnstrømning, dvs. nær vertikale soner med NØ-SV og NV-SØ strøk. I tillegg er det verdt å bemerke den store ansamlingen av lineamenter/bruddsoner rett ut for land syd av Hammarvik på Frøya (Fig. 1). I dette området møtes en rekke strukturelle trender, noe som antagelig har ført til en stor grad av oppsprekking av berggrunnen.

Området må generelt sett betraktes som problematisk for tunnelbryting, siden en rekke tektoniske hendelser har påvirket berggrunnen i Frøyfjorden. Dette er godt illustrert ved de forholdsvis unge, jurassiske strukturene som kan påvises i området.

Fig. 5. Illustrasjon av hvordan dagens stress-felt påvirker eldre bruddsoner på Hitra og Frøya.



6. REFERANSER

- Askvik, H., and Rokoengen, K., 1985.
Berggrunnskart Kristiansund, 1:250000. NGU.
- Banks, D., Odling, N.E., & Skarphagen, H.E., in press.
Permeability and stress in crystalline rocks.
- Bøe, R., 1991.
Structure and seismic stratigraphy of the innermost mid-Norwegian continental shelf: an example from the Frohavet area. *Mar. Pet. Geol.*, 8, 140-151.
- Bøe, R., Nordgulen, Ø., and Sollie, A., 1992a.
Nord Frøya, berggrunnskart 1422 I, M 1:50000. NGU.
- Bøe, R., Nordgulen, Ø., and Sollie, A., 1992b.
Halten, berggrunnskart 1523 III, M 1:50000. NGU
- Bøe, R., Atakan, K., and Sturt, B.A., 1989.
The style of deformation in the Devonian rocks on Hitra and Smøla, central Norway. *NGU Bull.*, 414, 1-19.
- Grønnlie, A., Naeser, C.W., Naeser, N.D., Mitchell, J.G., Sturt, B.A., and Ineson, P.R., 1994.
Fission-track and K-Ar dating of tectonic activity in a transect across the Møre-Trøndelag Fault Zone, central Norway. *NGT* 74, 24-34.
- Kollung, S., 1963.
Metamorfe og eruptive bergarter på Hitra. *NGU Årbok* 223, 161-222.
- Lindholm, C.D., Bungum, H., Bratli, R.K., Aadnøy, B.S., Dahl, N., Tørudbakken, B., & Atakan, K., 1995.
Crustal stress in the northern North Sea as inferred from borehole breakouts and earthquake focal mechanisms. *Terra Nova* 7, 51-59.
- Nordgulen, Ø., Solli, A., and Sundvoll, B., 1995.
Caledonian granitoids in the Frøya-Froan area, central Norway. *NGU Bull.*, 427, 48-51.
- Noteby rapport, 1984.
Ingeniørgeologiske forundersøkelser, tunneler til Hitra og Frøya. Oppdragsnr. 21150, rapport nr. 1.
- Noteby rapport, 1985.
Ingeniørgeologiske forundersøkelser og prosjektering, tunneler til Hitra og Frøya. Oppdragsnr. 21150, rapport nr. 4.
- Sættem, J. og Mørk, M., 1996.
Forstudier basert på vertikalboringer og regional lineament informasjon. IKU Rap. 23.2574.00/01/96
- Wolff, F. Chr., 1976.
Berggrunnskart Trondheim 1:250000. NGU.