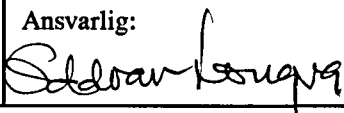


NGU Rapport 93.060

Berggrunnsgeologi Skagerrak.
Foreløpig tolkning av
refleksjonsseismiske data fra Skagerrak
(Arendal - Kristiansand), basert på data
innsamlet i 1992 (tokt 9204).

Rapport nr. 93.060		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Berggrunnsgeologi Skagerrak. Foreløpig tolkning av refleksjonsseismiske data fra Skagerrak (Arendal-Kristiansand), basert på data innsamlet i 1992 (tokt 9204).				
Forfatter: Terje Thorsnes		Oppdragsgiver: NGU/NP/NSKV/OD/SFT		
Fylke:		Kommune:		
Kartbladnavn (M=1:250.000) Arendal/Mandal		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 19	Pris: 130 kr.	
		Kartbilag: 3		
Feltarbeid utført: 04.06 - 01.07.92	Rapportdato: 24.5.93	Prosjektnr.: 66.2301.24	Ansvarlig: 	
Sammendrag: <p>Grunnseismiske undersøkelser med luftkanon (Sleeve gun) er utført i området Arendal - Kristiansand, fra kysten ut til midtlinjen mot Danmark. Undersøkelsene viser at berggrunnen i området består av prekambriske grunnfjellsbergarter, overleiret av antatt tidligpaleozoiske (kambro-siluriske) og mesozoiske (triassiske til krittassiske) sedimentære bergarter. De tidligpaleozoiske bergartene ligger stort sett med vinkeldiskordans på grunnfjellet, men stedvis er grensen normalforkastninger. De mesozoiske bergartene overleirer med vinkeldiskordans forkastede og skråstilte tidligpaleozoiske bergarter. Også de mesozoiske bergartene er påvirket av normalforkastninger. En av disse forkastningene ser ut til å ha vært aktiv i kvartær tid, men studier av jordskjelvdata fra 1964 - 1992 viser ingen klar sammenheng mellom slike neotektoniske strukturer og registrerte jordskjelv.</p>				
Emneord:	Berggrunnsgeologi		Refleksjonsseismikk	
Strukturgeologi	Paleozoikum		Mesozoikum	
Sedimentær bergart	Neotektonikk		Fagrapport	

INNHOOLD

	Side
1. INNLEDNING	4
2. UNDERSØKELSESONOMRÅDET	5
3. METODER - NAVIGASJON OG INSTRUMENTERING	5
3.1 Navigasjon	5
3.2 Utstyr	5
4. REGIONAL GEOLOGI	6
5. UTBREDELSE OG STRUKTURELL UTVIKLING AV PALEOZOISKE BERGARTER UTENFOR ARENDAL-KRISTIANSAND	10
6. UTBREDELSE AV OG STRUKTURELL UTVIKLING INNEN DE MESOZOISKE SEDIMENTÆRE BERGARTENE, UTENFOR ARENDAL- KRISTIANSAND	12
7. SAMMENDRAG	16
8. REFERANSER	17

OVERSIKT OVER FIGURER OG TEGNINGER:

Tegning nr. 93.060-01: kart over grunnseismisk linjenett, tokt 9204.

Tegning nr. 93.060-02: dybdekart.

Tegning nr. 93.060-03: kart over utgående berggrunn, M. 1:250.000.

Figur 1: oversiktskart over berggrunnsgeologi i Oslo-Skagerrakområdet.

Figur 2: strektoenkning av antatt neotektonisk forkasting.

BERGGRUNNSGEOLOGI, SKAGERRAK. FORELØPIG TOLKNING AV REFLEKSJONSSEISMISKE DATA FRA SKAGERRAK (ARENDALE - KRISTIANSAND) BASERT PÅ DATA INNSAMLET I 1992 (TOKT 9204).

1 INNLEDNING

I perioden 4. juni til 1. juli 1992 utførte Norges geologiske undersøkelse (NGU) i samarbeid med Statens kartverk, div. Norges Sjøkartverk (NSKV) et maringeologisk/geofysisk/hydrografisk tokt (tokt nr. 9204) i Skagerrak med NSKV's fartøy M/S Geofjord.

Formålet med toktet var for NGU å samle inn grunnseismiske og magnetiske data innen et område som strekker seg fra Arendal i nordøst til Kristiansand i sørvest, og ut til midtlinjen mot Danmark. For NSKV var formålet med undersøkelsene detaljert kartlegging av dybdeforholdene ved hjelp av multistråleekkoloddet EM 100. Dybde-dataene fra NSKV ble ferdigprosessert i utgangen av november 1992, og har vært et nyttig hjelpemiddel for å utlede forløpet av tektoniske strukturer i området.

Toktet inngår i et undersøkelsesprogram for Skagerrak, kystnære farvann langs den sydlige delen av Vestlandet, og et område begrenset av 57-58° N og 4-6° Ø i Nordsjøen, som er tidsavgrenset til 1991-95. Anvendelse av berggrunnsgeologiske data fra disse undersøkelsene er knyttet til regionalgeologiske sammenstillinger og undersøkelser relevante for petroleumsindustrien, herunder:

- vurdering av sikkerhet for undersjøiske installasjoner i forbindelse med nåværende bevegelser langs eldre bruddsoner (neotektonikk).
- vurdering av kilder for grunn gass, som kan være et risikoelement i forbindelse med undersjøiske installasjoner.
- regional sammenstilling av data for presentasjon dels i et geologisk informasjonssystem (2- og 3-dimensjonale modeller), dels i form av tradisjonelle berggrunnskart.
- undersøkelse av forkastningsmønster knyttet til kystnære basseng med sedimentære bergarter, som kan være av interesse for andre etaters/firmas modellstudier i forbindelse med olje/gass-prospektering.
- naturlige bakgrunnsverdier (metaller og lette hydrokarboner) ved forurensningskartlegging.

Denne rapporten oppsummerer foreløpige tolkninger av utbredelsen av berggrunnsgeologiske hovedenheter og strukturell utvikling i undersøkelsesområdet. For tekniske data m.m. henvises det til Thorsnes et al. (1992).

2 UNDERSØKELSESONMRÅDE OG DYBDEFORHOLD

Tokt nr. 9204 ble utført i et område av Skagerrak som strekker seg langs kysten fra Arendal i sørvest til Kristiansand i sørvest, fra kysten ut til midtlinja mot Danmark (tegning 93.060-01). Det ble tilsammen kjørt 138 seismiske linjer med en samlet linjelengde på 3.237 km. Kvaliteten på de refleksjonsseismiske linjene varierer noe på grunn av værforholdene, men er generelt god. Profilnettet er delvis tilpasset NGU's behov (geologisk kartlegging), men hovedsaklig følger det NSKV's opplegg for kartlegging av dybdeforholdene. Dette har ført til en varierende tetthet for profilene, som viser seg i forskjellig detaljeringsgrad i kartlegging av forkastninger og batymetriske lineamenter (skrenter, antatte forkastninger).

En svært forenklet fremstilling av dybdeforholdene i undersøkelsesområdet er vist på tegning 93.060-02. Kontureringen av vanddyp er basert på sjøkart nr. 305, M. 1:350.000, og gir en svært grov oversikt over hovedtrekkene.

3 METODER - NAVIGASJON OG UTSTYR

3.1 Navigasjon

Under toktet ble det benyttet et system med differensiell satellittposisjonering (Diffstar fra Kongsberg Navigation), med en referansestasjon på Skagen i Danmark. I tillegg ble Motorola Miniranger benyttet til posisjonering av linjer nær kysten (innenfor en avstand av ca. 30 km fra land) for kontroll av Diffstar-posisjoneringen. NSKV hadde ansvaret for posisjonering under toktet.

Feilmarginene under posisjonering varierte alt etter mottaksforholdene, men var oftest bedre enn 5 m. På grunn av mulige unøyaktigheter ved beregning av det seismiske slepets lengde kan en anta en nøyaktighet på ca. 15 m for linjene.

3.2 Utstyr

På grunn av variasjoner i berggrunns-/kvartærgeologi og vanddyp er det benyttet forskjellig instrumentering under toktet. For berggrunnsformål er det benyttet luftkanon (Sleeve gun) med 15-40 kubikktommer volum. Det ble i tillegg benyttet et magnetometer, men dette sviktet etter kort tid, og det eksisterer derfor ikke magnetometriske data fra toktet. For videre opplysninger om utstyr m.m. og toktgjennomførelse henvises det til Thorsnes et al. (1992).

4 REGIONAL GEOLOGI

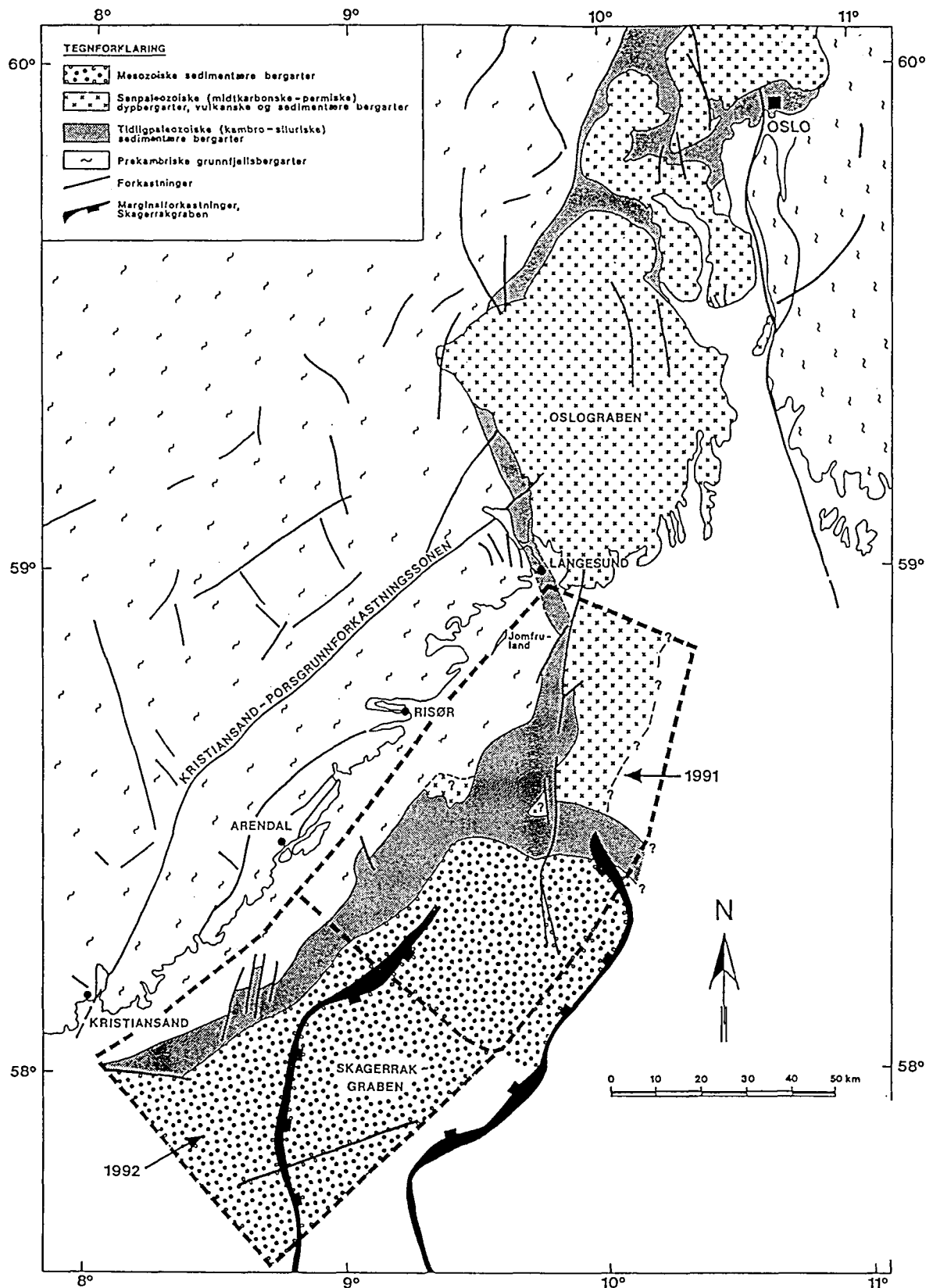
Berggrunnsgeologien i Skagerrak er sterkt knyttet til geologien i omliggende landområder. Det er derfor nødvendig å gi en regionalgeologisk oppsummering av hele området.

Det undersøkte området ligger i den sørvestlige forlengelsen av Skagerrakgrabenen og Oslofeltets bergarter, inkludert Oslo grabenen (Fig. 1). Oslofeltets bergarter i det aktuelle området kan deles i en tidlig- og senpaleozoisk del. Den tidligpaleozoiske delen er avsatt på et underlag av prekambriske grunnfjellsbergarter, og omfatter mellomkambriske til sensiluriske marine sedimentære bergarter (basalkonglomerat, alunskifer, kalksteiner og sandsteiner) med enkelte bentonitthorisonter, og sensiluriske kontinentale sandsteiner (Størmer 1953; Bjørlykke 1974, 1983; Owen et al. 1990). I sensilurisk tid fantes det et deposenter i det området som i senpaleozoisk tid utviklet seg til Oslo- og Skagerrakgrabenene (Bjørlykke 1983).

Oslo grabenen ble dannet ved rifting og innsynkning i senpaleozoisk tid. Bergartene tilknyttet grabendannelsen er vesentlig senkarbonske til permiske dypbergarter samt mindre mengder gang- og dagbergarter (Ofte Dahl 1960; Ramberg & Larsen 1978, Sundvoll et al. 1990). I tillegg finnes det antatt marine midtkarbonske (Olausson 1981) og kontinentale tidligpermiske (Henningsmoen 1978) sedimentære bergarter som overlirer de kambro-siluriske bergartene med en svak vinkeldiskordans (Rohr-Torp 1973). Skagerrakgrabenen (Ro et al. 1990a) antas å representere en utaskjærs fortsettelse av Oslo grabenen. Her ligger en mektig sekvens (mer enn 2 sekunder toveis gangtid, minst 5 kilometer) med tidligpaleozoiske overflatebergarter, begrenset av to NØ-løpende normalforkastninger. I følge Ro et al. (1990b) ligger det langs disse hovedforkastningene en antatt permisk (senpaleozoisk) sekvens diskordant over tidligpaleozoiske overflatebergarter. Denne diskordante sekvensen kan stamme fra erosjon langs forkastnings-skrentene, fra erosjon fra en sentralt oppløftet del, eller for en stor del av bestå av vulkanoklastisk materiale. Det kan stilles spørsmålsteget ved eksistensen av den nordvestre marginalforkastningen og den permiske sekvensen (Brekke, H. -personlig kommunikasjon 1992).

Mesozoiske sedimentære bergarter ligger med en bunntriassisk vinkeldiskordans over de paleozoiske bergartene i Skagerrak (Sellevoll & Aalstad 1971, Van Weering 1982, Hamar et al. 1983).

Tektonisk aktivitet i området er registrert fra prekambrisk tid til nåtid. I grunnfjellet utgjør Kristiansand-Porsgrunnforkastningssonen (Fig. 1) et viktig langlivet lineament hvor det har vært påvist duktil, prekambrisk deformasjon og post-kaledonsk sprø forkastningsaktivitet (Ramberg & Smithson 1975, Starmer 1991).



Figur 1: Regionalgeologisk oversiktskart fra Oslo-Skagerrakområdet. Modifisert fra Sigmond et al. (1984), Ro et al. (1990a) og Thorsnes (1992).

Kaledonsk (sensilurisk-tidligdevonsk) deformasjon i de tidligpaleozoiske bergartene i Oslofeltet varierer mye fra nord til sør. I nord er deformasjonen preget av duktil folde- og skyvetektonikk (Bockelie & Nystuen 1985), mens bergartene i den sørlige del av feltet er lite påvirket av dette. Et brudd i lagrekken i Langesundsområdet er tolket som en liten skyvesone (Bockelie & Nystuen 1985), men senere arbeider viser at dette kan være en erosjonsinkonformitet (Ribland Nilssen 1985, i Owen et al. 1990). De sedimentære bergartene er vanligvis nedfoldet inn mot de permiske dypbergartene, i tilknytning til intrusjon av disse. Sprø deformasjon er kjent i de sørlige deler av Oslofeltet. I de kambro-siluriske bergartene i sørvestre deler av Oslo-feltet (Eiken-Sandsvær) er det påvist forkastninger med mindre bevegelse før eller samtidig med avsetning av sedimentene. Knyttet til intrusjon av de permiske dypbergartene skjedde en del forkastningsaktivitet, delvis som reaktivering av eldre forkastninger (Rohr-Torp 1973). Endel seismisk aktivitet (jordskjelv) fra nåtiden er kjent fra Oslograben (Oslograben, Skagerrakgraben) (Bungum et al. 1991).

I 1991 ble det gjort undersøkelser i området nordøst for 1992-undersøkelsene, mellom Arendal-Langesund og ut til midtlinjen mellom Norge og Sverige/Danmark (for tokt-opplysninger vises det til Bøe et al. 1991, og til Thorsnes (1992) for en mer utfyllende beskrivelse av berggrunnsgeologien). Berggrunnen i dette området består av prekambriske grunnfjellsbergarter, overleiret av hovedsakelig tidligpaleozoiske (kambro-siluriske) sedimentære bergarter. Disse intruderes av senpaleozoiske (permiske) dypbergarter. Den yngste enheten er mesozoiske (triassiske til jurassiske) sedimentære bergarter, som overleirer de tidligpaleozoiske sedimentære bergartene med en vinkeldiskordans.

De tidligpaleozoiske sedimentære bergartene kan følges fra land ved Langesund, via Langesundskanalen og ut i Skagerrak. Det ser ut til at Langesundskanalen kan deles i tre segmenter; et indre NV-SØ orientert segment som er lite kjent pga. manglende seismikk, et midtre N-S orientert segment som kan være en grabenstruktur, og et ytre N-S orientert segment som kan være en halvgrabenstruktur. I Langesundskanalen er det en rekke N-S orienterte skrenter som antas å være normalforkastninger. En markert skrent løper langs østsiden av kanalen, og denne kan knyttes til en markert sprekkesone på land. Dagens utforming er imidlertid i stor grad resultat av erosjon knyttet til glasiasjon og deglasiasjon i senpliocen?-pleistocen tid.

I området utenfor Arendal-Risør er orienteringen på skrenter og normalforkastninger mer NNØ-SSV, selv om N-S orienterte bruddsoner kan finnes også her. Åpne syn- og anti-klinaler har akseplantraser som er parallelle eller subparallelle med disse strukturene. Det antas at foldestrukturene er dannet i tilknytning til forkastningstektonikk, ikke som følge av orogen kompressiv tektonikk. Området ligger på nordvestflanken av Skagerrak-grabenen, og det må antas at strukturene er knyttet til dannelsen av denne i senpaleozoisk tid.

De senpaleozoiske permiske dypbergartene som intruderer tidligpaleozoiske bergarter på land ser ut til å fortsette ca. 40 km ut mot Skagerrak. Begrensningen mot grunnfjellsbergarter i øst er usikker, men kan sannsynligvis fastsettes ved tolkning av de innsamlede magnetiske dataene. Et mindre område i den ytre del av Langesundskanalen er tolket som en geomorfologisk og delvis strukturelt kontrollert høyde med dypbergarter, skilt fra hovedlegemet av post-triassiske forkastninger. En strukturell dom med tilknyttede magnetiske anomalier langs grensen mellom grunnfjell og paleozoiske bergarter utenfor Risør er forslagsvis tolket som en permisk intrusjon, i motsetning til tidligere tolkninger som går ut på at det er en tertiær vulkan.

De mesozoiske bergartene ligger med en vinkeldiskordans over forkastede og skråstilte paleozoiske bergarter. Undersøkelsene i 1991 har vist at undergrensen for disse bergartene kan trekkes lengre inn mot land i forhold til det som tidligere var kjent, i området Langesund-Arendal. En del N-S til NØ-SV orienterte normalforkastninger med sprang i størrelsesorden 100 til 150 m er observert. Disse kan muligens knyttes til jurassisk tektonikk kjent utenfor undersøkelsesområdet, eller de kan være yngre. I tillegg finnes en del større og mindre fleksurer som kan være dannet i forbindelse med innsynkning langs dypereliggende forkastninger. Enkelte forkastninger danner skrenter på havbunnen, og disse er kandidater for helt unge (neotektoniske) forkastninger.

Relativt store mengder av antatt biogen grunn gass i løsmasser er observert i den nordøstligste del av undersøkelsesområdet hvor berggrunnen utgjøres av permiske dypbergarter eller grunnfjellsbergarter.

5 UTBREDELSE OG STRUKTURELL UTVIKLING AV PALEOZOISKE BERGARTER UTENFOR ARENDAL-KRISTIANSAND

En sammenstilling av berggrunnsgeologien i området undersøkt ved tokt 9204 er vist på tegning nr. 93.060-03. Grunnet høyere oppløsning på seismikken og et tettere nett kan det vises at undergrensen for de paleozoiske bergartene går opptil 2 kilometer lengre inn mot kysten (nordvest) enn det som f.eks. er gjengitt på det foreløpige 1:250.000-kartbladet ARENDAL (Padget, under forberedelse), basert på data fra Oljedirektoratet. Likeledes kan det vises at forkastningsmønsteret er mer komplekst enn tidligere antatt.

Basert på seismisk signatur, er det mulig å skille mellom **akustisk underlag** og **paleozoiske overflatebergarter/sedimentære bergarter**. Det akustiske underlaget utgjøres av prekambriske grunnfjellsbergarter, som på land består av gneiser (omdannede dyp- og overflatebergarter) og dypbergarter av granittisk sammensetning som er lite omdannet eller deformert.

Grunnfjellsbergartene kjennetegnes ved at de har en uregelmessig overflate, et karakteristisk diffraksjonsmønster, og lav seismisk penetrasjon. De paleozoiske bergartene har en jevnere overflate, og færre diffraksjoner. Mange steder sees klare reflektorer. Enkelte steder er det vanskelig å se reflektorer, men fremdeles kan de paleozoiske bergartene skilles fra grunnfjellsbergartene ved at de er mer transparente mht. seismisk signatur. Utover mot Skagerrak blir reflektorene tydeligere.

Alderen på de paleozoiske bergartene som er kartlagt i denne undersøkelsen er usikker. Det er grunn til å anta at det nær land er overveiende kambro-siluriske bergarter. Midtkarbonske og tidligpermiske sedimentære og vulkanske bergarter er kjent fra Oslofeltet/Oslograben, og det er mulig at bergarter fra disse tidsrommene også er representert i den kartlagte paleozoiske sekvensen.

I den nordlige delen av det undersøkte området (tegning 93.060-03), mellom Arendal og Lillesand, er grensen mellom grunnfjellsbergarter og paleozoiske bergarter en inkonformitet som heller svakt mot sørøst.

I den sentrale delen av området, utenfor Lillesand, er denne inkonformiteten brutt av flere normalforkastninger. Dekningen av seismiske linjer er for dårlig til å fastslå forløpet av forkastningene nøyaktig, men en kombinert tolkning av seismikk og batymetri viser at det er minst fire NNØ-SSV-løpende forkastninger. Samlet danner disse en slags grabenstruktur. Grunnet mangel på ledehorisonter er det vanskelig å fastslå spranghøyde for forkastningene, men det kan antydes vertikalbevegelser på minst 100-200 meter langs hver av de fire forkastningene. Forkastningene kan ikke finnes igjen i de mesozoiske sedimentære bergartene som finnes lengre ut fra kysten, og det er derfor trolig at

forkastningsaktiviteten er pre-mesozoisk. Dette stemmer godt med Ro et al. (1990a), som har tolket forkastningsaktiviteten langs nordvestflanken av Skagerrakgrabenen til å ha foregått i senpaleozoisk tid.

I den sørlige delen av området, mellom Lillesand og Kristiansand, følger grensen mellom grunnfjell/akustisk basement og de paleozoiske sedimentære bergartene stort sett kysten. Grensen faller sammen med mindre skrenter, men mangel på gode reflektorer i den innerste delen gjør det vanskelig å fastslå mektigheten av den paleozoiske sekvensen, og om denne kuttes av forkastninger eller rett og slett kiler ut. På bakgrunn av sammenligning med grenseforhold andre steder i det undersøkte området, foreslås en tolkning som innebærer at grensen mellom den paleozoiske sekvensen og det akustiske underlaget er en inkonformitet. Det skal imidlertid ikke utelukkes at grensen er en liten normalforkastning som nedforkaster de sedimentære bergartene mot SØ.

6 UTBREDELSE AV OG STRUKTURELL UTVIKLING INNEN DE MESOZOISKE SEDIMENTÆRE BERGARTENE, UTENFOR ARENDAL-KRISTIANSAND

Den mesozoiske sekvensen i undersøkelsesområdet (tegning 93.060-03) omfatter triassiske og yngre sedimentære bergarter (Van Weering 1982, Hamar et al. 1983). Undergrensen for triasbergartene er en vinkeldiskordans som overleirer skråstilte og forkastede tidlig- til senpaleozoiske overflatebergarter (Ro et al. 1990a). Grunnet høyere oppløsning på seismikken og et tettere nett kan det vises at undergrensen for de mesozoiske bergartene går opptil 4 kilometer lengre ut fra kysten (sørøst) enn det som f.eks. er gjengitt på det foreløpige 1:250.000-kartbladet ARENDAL (Padget, under forberedelse), basert på data fra Oljedirektoratet.

Den mesozoiske sekvensen er seismisk karakterisert av stort sett plane, regelmessige, parallelle, utholdende reflektorer. Det er stort sett ikke observert noen brudd i lagrekken, bortsett fra i tilknytning en forkastning som er beskrevet under. Strukturelt sett er de mesozoiske bergartene påvirket av monoklinale fleksurer i forskjellig skala og diskrete normalforkastninger.

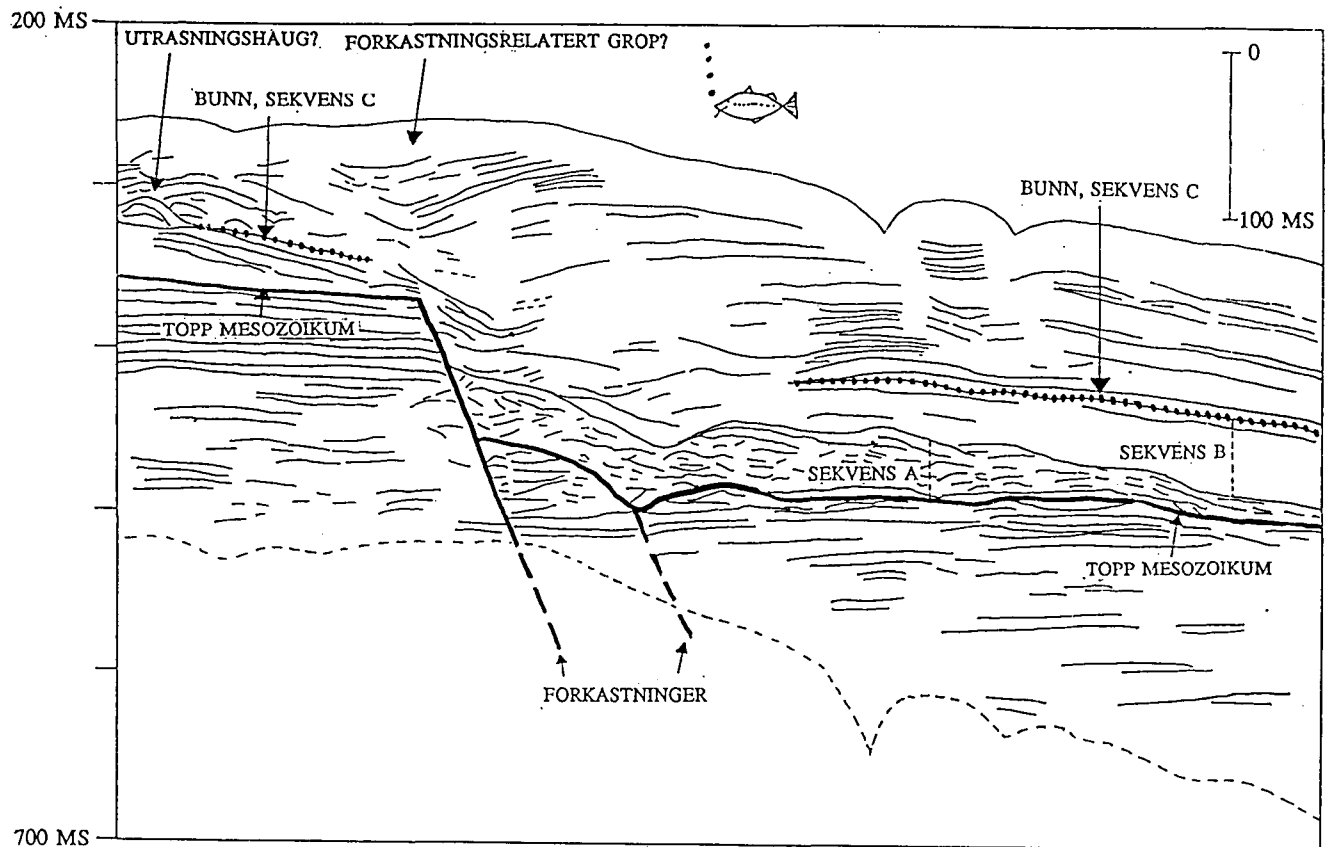
Fleksurene har ombøyningssoner på opptil 500 meter. En fleksur (tegning 93.060-03) løper N-S over en strekning på ca. 10 kilometer, og viser nedbøying av lagene mot vest. Den andre fleksuren løper ØNØ-VSV over en strekning på ca. 5 kilometer.

Tre normalforkastninger, en liten og to større er kartlagt. Den minste (tegning 93.060-03) løper ØNØ-VSV, og kan følges på detaljerte batymetriske kart over en strekning på ca. 5 kilometer. Spranghøyden på forkastningen er ca. 10 m, basert på vertikal forskyvning av fjelloverflaten. Forkastningen ser ut til å være lite modifisert av erosjon, noe som kan indikere relativt unge bevegelser.

Den vestligste av de to store forkastningene (tegning 93.060-03) er en ØSØ-VNV-løpende normalforkastning, med spranghøyde på minst 150 m. I vestlige deler nedforkaster forkastningen mesozoiske (tidligtriassiske?) sedimentære bergarter i forhold til paleozoiske sedimentære bergarter, og når opp til de kvartære løsmassene. Mot øst overleires disse forkastede bergartene av en yngre sekvens av antatt sen- eller post-triassisk alder. Forholdet mellom disse to sekvensene er tildels diskordant nær forkastningen, men blir konkordant vekk fra denne. På grunn av manglende penetrasjon i den seismikken som er brukt i denne tolkningen og manglende stratigrafisk kontroll, har det ikke vært mulig å følge dette bruddet lengre enn det som er vist på tegning 93.060-03.

Den andre av de to store normalforkastningene løper VNV-ØSØ over en distanse på minst 40 kilometer. Forkastningen markeres av en brattskrent i fjelloverflaten, og spranghøyde,

basert på vertikal bevegelse av denne flaten er minst 150 ms. Bevegelse langs forkastningen utover 150 ms kan ikke påvises med den seismikken som er brukt i denne tolkningen, men muligheten for dette må holdes åpen. I vestlige deler utgjør denne brattskrenten et batymetrisk lineament, mens den er dekket av kvartære løsmasser i de østlige deler. Et eksempel fra forkastningen er vist i figur 2.



Figur 2: Antatt neotektonisk forkastning på sørøstflanken av Norskerenna. For lokalisering, se tegning 93.060-01. Snittlengde ca. 3 kilometer. Se tekst for nærmere forklaring.

Analyse av de overliggende løsmassene i østlige deler indikerer at det kan ha vært bevegelse langs forkastningen i kvartærtiden:

- 1: brattskrenten ser ikke ut til å være erodert i særlig grad, bortsett fra helt inntil selve forkastningsflaten. Hvis forkastningen var betydelig eldre, ville en forvente at relieffet knyttet til forkastningen var mer nedslitt.
- 2: en grop eller synklinal er dannet over/i forlengelsen oppad av forkastningsplanet. Dette er tolket som et resultat av en rask nedforkastning av hengveggen, med utrasning og deformasjon av sedimentene over forkastningen som resultat.

- 3: på hengveggsiden (NNV for forkastningen) er der et bånd med tre-fire sterke, parallelle reflektorer som kan følges kontinuerlig eller nær kontinuerlig over flere kilometer utenfor området ved forkastningen. Dette reflektorbåndet ligger i bunnen av en ca. 50-150 ms mektig sekvens (C) som er karakterisert av storskala kryss-sjiktning og prograderende enheter hvor de interne reflektorene terminerer skrått ned mot bunnen av sekvensen ("down lap"). Dette reflektorbåndet mister sin klare seismiske signatur inn mot forkastningen, og blir meget utydelig ca. 1 kilometer fra denne. Uklare reflektorer som kan være fortsettelsen av reflektorbåndet bøyer ned, og terminerer mot toppen av den underliggende sekvensen (A), samtidig som (B) kiler ut. Dette kan også observeres i andre snitt. At bunnen av sekvens C mister sin seismiske signatur inn mot forkastningen, kan forklares ved at sedimentene er blitt omrørt i forbindelse med utrasning knyttet til forkastningsbevegelse. Nedbøyingen og termineringen av reflektorer, samt utkilingen av sekvens B kan tolkes som resultat av en listrisk geometri på et hovedglideplan under de utraste sedimentene (figur 2).

På hengveggsiden (SSØ for forkastningen) overleirer sekvens C en kile av løsmasser (det er usikkert om dette er A eller B) som er erodert frem mot forkastningsskrenten. Undergrensen for (C) heller tilsvarende mot denne skrenten. Uregelmessige, haugformede strukturer (fig. 2) opptrer i tilknytning til grenseflaten mellom sekvens C og underliggende løsmasser. Dette kan være utrasningshauger ("slide mounds") dannet i sammenheng med utrasning av sekvens C og deler av underliggende sedimenter langs det antydede hovedglideplanet.

- 4: Kartlegging av undergrensen for sekvens C viser at nivået (i to-veis-gangtid) ligger minst 50 ms lavere på hengveggsiden enn det en ville forvente hvis enheten bare draperte over en eksisterende forkastningsskrent (tegning 93.060-03).

Sekvens A ser ut til å være avsatt bare på hengveggsiden, på nedsiden av forkastningsskrenten. Sekvensen er karakterisert ved hovedsakelig kaotiske indre reflektorer, og stedvis parallelle eller undulerende reflektorer. I det viste snittet avtar mektigheten vekk fra forkastningsskrenten, men enheten kan følges flere kilometer fra denne, og kan stedvis være relativt mektig. Det kaotiske refleksjonsmønsteret indikerer at avsetningen kan være en slumpavsetning eller morene. På bakgrunn av utbredelsesmønsteret tolkes avsetningen foreløpig som en morene. På liggveggsiden er denne antatte moreneavsetningen ikke observert. Grunnen til dette kan være at det eksisterte en forsenkning i hengveggen som følge av forkastningsbevegelse før avsetning av morenen. Under avsetning av morenen ble så denne fortrinnsvis avsatt i forsenkningen.

Det kan stilles spørsmålsteget ved hvorfor det ikke er noe klart relieff i overflaten av løsmassene, dersom det har vært bevegelse langs forkastningen i kvartærtiden.

Argumentene her er som følger:

- løsmassene i sekvens C er sannsynligvis relativt finkornede sedimenter (leire, silt eller finsand) som vil kunne være ustabile og utsatt for utrasning dersom det brått oppstår et forhøyet relieff. Sedimentene i sekvens C i det beskrevne området har en jevnt grå seismisk karakter, men går lateralt over i transparente sedimenter, som ellers i Skagerrak er tolket som finkornede, dvs. leire eller silt. Overgangen fra jevn grå til transparent karakter skjer brått, over noen hundre meters avstand, og overgangssonen er vertikal. Det er derfor grunn til å tro at den grå karakteren skyldes gass i sedimentene. Hvis karakterendringen skyldtes laterale endringer i kornstørrelse, ville en ikke forvente å se en slik brå, vertikal overgang.
- sekvens C er erodert etter avsetning. Dette kan sees ved at storskala kryss-sjiktning er kuttet av havbunnen, og sekvensen er fullstendig erodert på liggveggsiden nær forkastningen langs de vestlige deler av forkastningen.

Analysen av de kvartære løsmassene over forkastningen viser at det følgende hendelsesforløpet i kvartær tid er forenlig med de observerte strukturer:

- avsetning av morene på hengveggsiden, i en forsenkning dannet av "tidlig" bevegelse langs forkastningen.
- avsetning av sekvens B og hele eller deler av sekvens C
- normalbevegelse langs forkastningen, med anslagsvis 50 ms nedbevegelse på NNV-siden av forkastningen.
- utrasning i løsmassene, dannelsen av "slide mounds", dannelsen av grop over/i forlengelsen av forkastningsplanet, omrøring av sedimentene nær forkastningen.
- erosjon, med utjevning av eventuelt relieff i havbunnen.

Forløpet av denne forkastningen er sammenholdt med data om jordskjelv i perioden 1964 - 1992, velvillig stilt til disposisjon av H. Bungum, NORSAR. Dataene er i liten grad analysert og filtrert for å skille naturlig og antropogen seismisk aktivitet, og dette må tas med i vurderingen av dataene. Jordskjelvene i det aktuelle området (fire stykker, med styrke ca. 4 på Richter's skala, se tegning 93.060-03), ligger langs en NØ-SV-gående trend. Det er ikke mulig å fastslå noen entydig sammenheng mellom resente jordskjelvaktivitet og observerte mulige/sannsynlige neotektoniske strukturer, men sammenfallet i trend mellom jordskjelv og forkastningsstrukturer er interessant.

7 SAMMENDRAG

Berggrunnen i det undersøkte området (Arendal-Kristiansand-midtlinjen) består av prekambriske grunnfjellsbergarter, overleiret av antatt tidligpaleozoiske (kambro-siluriske) sedimentære bergarter. Den yngste enheten er mesozoiske (triassiske til krittassiske) sedimentære bergarter, som overleirer de tidligpaleozoiske sedimentære bergartene med en vinkeldiskordans.

De paleozoiske sedimentære bergartene ligger enten med en inkonformitet over prekambriske krystalline grunnfjellsbergarter, eller så er grensen normalforkastninger. Utenfor Lillesand danner fire NNØ-SSV-løpende normalforkastninger en slags grabenstruktur. Denne struktureringen ser ut til å ha foregått før avsetning av mesozoiske bergarter.

De mesozoiske bergartene ligger med en vinkeldiskordans over forkastede og skråstilte paleozoiske bergarter. Undersøkelsene har vist at undergrensen for disse bergartene må trekkes opptil fire kilometer lengre ut fra land i forhold til det som tidligere var kjent. Flere normalforkastninger kutter de mesozoiske bergartene, og en mindre og to større er kartlagt.

Mulig neotektonisk aktivitet er påvist langs forkastningen på sørøstflanken av Norskerenna. Denne ser ut til å ha vært aktiv i kvartær tid. Vurdering av jordskjelvdata fra 1964 - 1992 viser ingen klare sammenhenger mellom potensielle neotektoniske strukturer og registrerte jordskjelv.

8 REFERANSER

- Bjørlykke, K. 1974: Depositional history and geochemical composition of Lower Palaeozoic epicontinental sediments from the Oslo Region. *Norges geologiske undersøkelse*, 305, 1-81.
- Bjørlykke, K. 1983: Subsidence and tectonics in Late Precambrian and Palaeozoic sedimentary basins. *Norges geologiske undersøkelse*, 380, 159-172.
- Bockelie, J.F. & Nystuen J.P. 1985: The southeastern part of the Scandinavian Caledonides. I: Gee, D.G. & Sturt, B.A. (red.), The Caledonide Orogen - Scandinavia and related areas. John Wiley, Chichester, 69-86.
- Bungum, H., Alsaker, A., Kvamme, L.B. & Hansen, R.A. 1991: Seismicity and seismotectonics of Norway and nearby continental shelf areas. *Journal of Geophysical Research*, 96, 2249-2265.
- Bøe, R., Olsen, H.A., Thorsnes, T., Torsvik, T. & Øverby, L. 1991: Maringeologisk/geofysisk tokt nr. 9101 i Skagerrak 1991, toktrapport. Norges geologiske undersøkelse, *NGU-rapport 91.014*, 32s.
- Hamar, G.P., Fjæran, T. & Hesjedal, A. 1983: Jurassic stratigraphy and tectonics of the south-southeastern Norwegian offshore. I: Kaaschieter, J.P.H. & Reijers, T.J.A. (red.s), Petroleum geology of the southeastern North Sea and adjacent onshore areas. *Geol. Mijnbouw*, 62, 135-144.
- Henningsmoen, G. 1978: Sedimentary rocks associated with the Oslo Region lavas. I: J.A. Dons & B.T. Larsen (red.), The Oslo Paleorift: A review and guide to excursion. *Norges geologiske undersøkelse*, 337, 17-24
- Oftedahl, Chr. 1960: Permian rocks and structures of the Oslo region. I: O. Holtedahl (red.), Geology of Norway. *Norges geologiske undersøkelse*, 208, 298-343.
- Olaussen, S. 1981: Marine incursion in Upper Palaeozoic sedimentary rocks of the Oslo Region, southern Norway. *Geological Magazine*, 118, 281-288
- Owen A.W., Bruton D.L., Bockelie, J.F., Bockelie, T.G. 1990: The Ordovician successions of the Oslo Region, Norway. *Norges geologiske undersøkelse, Special publication no. 4*, 1-54.
- Ramberg, I.B. & Larsen, B.T. 1978: Tectonomagmatic evolution. I: J.A. Dons & B.T.

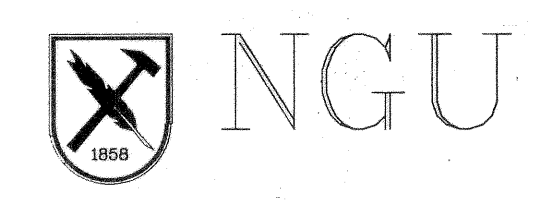
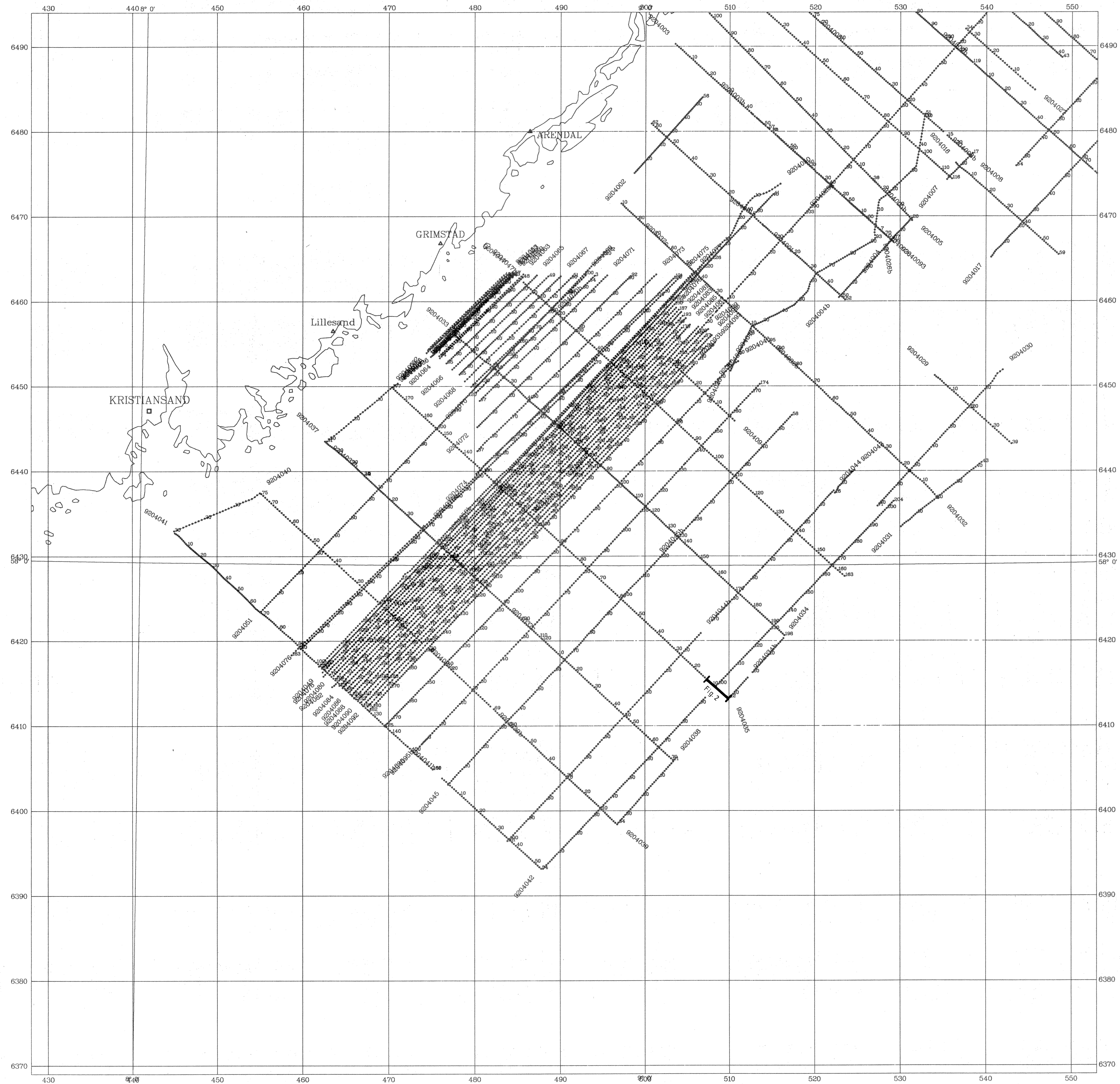
- Larsen (red.), The Oslo Paleorift: A review and guide to excursion. *Norges geologiske undersøkelse*, 337, 55-73
- Ramberg, I.B. & Smithson, S.B. 1975: Geophysical interpretation of crustal structure along the southeastern coast of Norway and Skagerrak. *Geological Society of America Bulletin*, 86, 769-774.
- Ribland Nilssen, I. 1985: Kartlegging av Langesundhalvøyas Kambro-ordovisiske avsetningslagrekke, intrusiver og forkastnings-tektonikk, samt fullført litostratigrafisk inndeling av områdets mellom-Ordovicium. *Upublisert Cand. scient.-oppgave, Universitetet i Oslo*, 176s.
- Ro, H.E., Stuevold, L., Faleide, J.I., & Myhre, A.M. 1990a: The Skagerrak Graben - the offshore continuation of the Oslo Graben. I: E.-R. Neumann (red.), Rift zones in the continental crust of Europe - geophysical, geological and geochemical evidence: Oslo-Horn Graben. *Tectonophysics*, 178, 1-10.
- Ro, H.E., Larsson, F.R., Kinck, J.J. & Husebye, E.S. 1990b: The Oslo Rift - its evolution on the basis of geological and geophysical observations. I: E.-R. Neumann (red.), Rift zones in the continental crust of Europe - geophysical, geological and geochemical evidence: Oslo-Horn Graben. *Tectonophysics*, 178, 11-28.
- Rohr-Torp, E. 1973: Permian rocks and faulting in Sandsvær at the western margin of the Oslo Region. *Norges geologiske undersøkelse, Bulletin 300*, 53-71.
- Sigmond, E.M.O., Gustavson, M. & Roberts, D. 1984: Berggrunnskart over Norge - M 1:1 million. *Norges geologiske undersøkelse*.
- Sellevoll, M.A. & Aalstad, L. 1971: Magnetic and seismic profiling in the Skagerrak. *Marine Geophysical Researches*, 1, 284-302.
- Starmer, I.C. 1991: The Proterozoic evolution of the Bamble Sector shear belt, southern Norway: correlations across southern Scandinavia and the Grenvillian controversy. *Precambrian Research*, 49, 107-139.
- Størmer, L. 1953: The Middle Ordovician of the Oslo Region, Norway, 1. Introduction to stratigraphy. *Norsk geologisk tidsskrift*, 31, 37-141.
- Sundvoll, B., Neumann, E.-R., Larsen, B.T. & Tuen, E. 1990: Age relations along the Oslo Rift magmatic rocks: implications for tectonic and magmatic modelling. I: E.-R. Neumann (red.), Rift zones in the continental crust of Europe - geophysical,

geological and geochemical evidence: Oslo-Horn Graben. *Tectonophysics*, 178, 67-87.

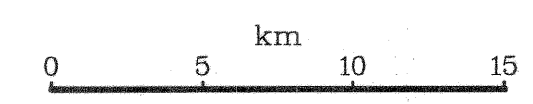
Thorsnes, T. 1992: Berggrunnsgeologi Skagerrak. Foreløpig tolkning av refleksjons-seismiske data fra den nordøstre del av Skagerrak basert på data innsamlet i 1991. *NGU-rapport 92.222*, 33s.

Thorsnes, T., Bøe, R., Ottesen, D., Larsen, E. Moen, P.T., Olsen, H.A., Totland, O. & Øverby, L.T. 1992: Maringeologisk/geofysisk tokt nr. 9204 i Skagerrak 1992, toktrapport. *NGU-rapport 92.287*, 42s.

Van Weering, T.C.E. 1982: Shallow seismic and acoustic reflection profiles from the Skagerrak; implications for recent sedimentation. *Proc. K. Ned. Akad. Wet., Ser. B*, 85(2), 129-152.



M 1 : 250000

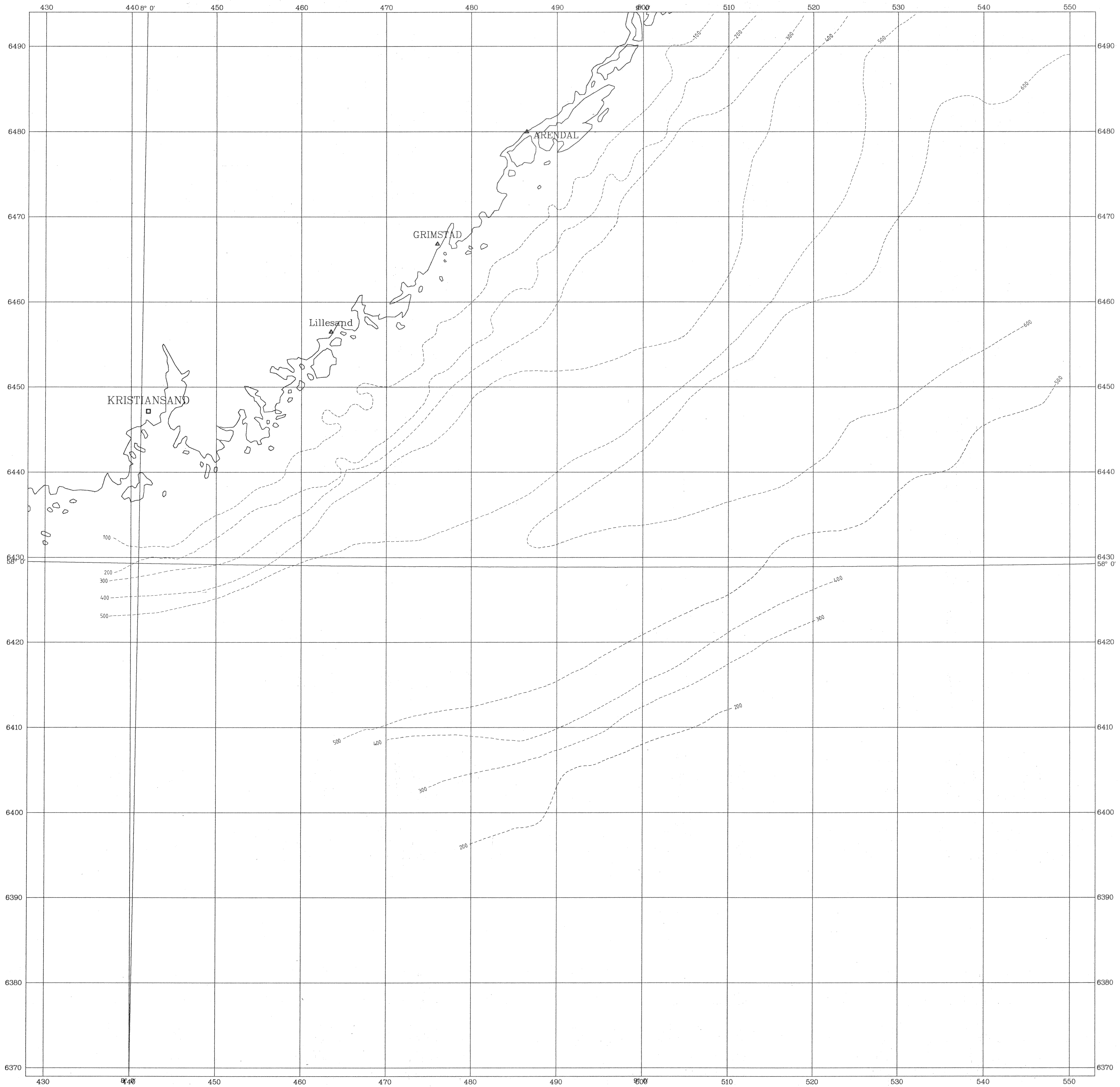


NGU 1992
GEOLOGICAL SURVEY OF NORWAY

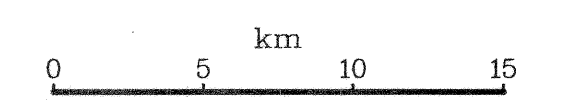
TEGNFORKLARING

- 9204032 GRUNNSEISMISK LINJE MED NUMMER OG POSISJONSANGIVELSER
- UTSNITT AV SEISMISK LINJE VIST I FIGUR 2

NGU - NSKV / OD / NP / SFT GRUNNSEISMISK LINJENETT, REFLEKSJONSEISMISK SKAGERRAK	MÅLESTOKK	MÅLT	JUNI 92
	1: 250 000	TEGN.	
		TRAC.	MAI 93
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 93.060 - 01	KARTBLAD NR.	



M 1 : 250000



NGU 1992
GEOLOGICAL SURVEY OF NORWAY

NGU - NSKV / OD / NP / SFT DYBDEKART SKAGERRAK	MÅLESTOKK	MÅLT	JUNI 92
	1: 250 000	TEGN.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TRAC.	MAI 93	
	TEGNING NR. 93.060 - 02	KARTBLAD NR.	

