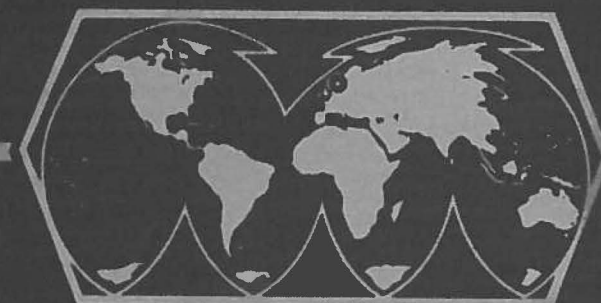


NORSAR Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

**BERETNING FOR PERIODEN
1.1.1980 — 31.12.1982**



NORSAR

BERETNING

for perioden
1.1.1980 — 31.12.1982

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

NORSAR
P.O. Box 51
2007 Kjeller
Tel. (02) 71 69 15

Innhold

Formål — Ledelse

Personell — Økonomi

Generell bakgrunn

Daglig drift

Forskning og utvikling

Internasjonalt samarbeid

Publikasjoner

Foredrag

Formål — Ledelse

Formål

- NTNF/NORSAR har som formål å drive
- grunnforskning og eksperimentering på områder som har tilknytning til problemene med å skille mellom underjordiske kjernefysiske eksplosjoner og naturlige jordskjelv ved hjelp av seismiske metoder
 - oppdragsforskning innen anvendt seismologi.

Prosjektkomité

NORSAR er direkte underlagt NTNFs sentralstab. Som rådgivende komité fungerer (pr 1.1.1983):

Direktør K. Høeg, Norges Geotekniske Institutt, formann
Forsker J.K. Johnsen, Forsvarets Forskningsinstitutt, avdeling for undervannsforsvar
Byråsjef J. Løvvald, Utenriksdepartementet

Daglig ledelse

Avdelingsleder:	Dr. philos. F. Ringdal
Grupeledere/prosjektledere:	
Administrasjon:	Ing. H.K. Schatvet
Forskning:	Fil. dr., dr. philos. E.S. Husebye
Jordskjelvovervåking/ jordskjelvrisiko:	Dr. philos. H. Bungum
Seismisk prospektering/ modellering:	Cand. real H. Gjøystdal
Regional array:	Cand. real S. Mykkeltveit
System- og driftsavdeling:	Cand. real J. Fyen
Feltavdeling:	Ing. P.W. Larsen

Personell — Økonomi

Personell pr. 31.12.1982

U & H utdannet personell	10
Ingeniører	3
Annet personell	7
I alt	20

Ansatte

Bungum, Hilmar	Mykkeltveit, Svein
Doornbos, Durk J.	Paulsen, Rune
Fyen, Jan	Rasmussen, May
Gjøystdal, Håvar	Reinhardsen, Jon E.
Hansen, Oddmund A.	Ringdal, Frode
Hoff, Thor	Sandvin, Ottar A.
Hokland, Bernt Kr.	Schatvet, Hans Kr.
Husebye, Eystein S.	Torstveit, Jørgen
Larsen, Paul W.	Tronrud, Linda B.
Mothes, Kristin	Åstebøl, Ketil

Stipendiater — m.v.

NTNF Postdoctorate stipend

Dr. I. Asudeh, Cambridge University, UK

NTNF Senior Scientist Visiting stipend

Dr. J. Cleary, Australian National University, Canberra, Australia

Dr. B.L.N. Kennett, Cambridge University, UK

Prof. R.F. Mereu, University of Western Ontario, Canada

Prof. B.J. Mitchell, University of Saint Louis, Missouri, USA

Gjesteforskere:

P. Buchen, University of Sydney, Australia
B.R. Cassell, Cambridge University, UK
D. Gubbins, University of Cambridge, UK
S.F. Ingate, Australian National University, Canberra, Australia
A.A. Nnko (NORAD-stipend), University of Dar-es-Salaam, Tanzania
J. Schlittenhardt, University of Frankfurt, V.Tyskland
C. Thomson, Cambridge University, UK
L. Toth (UD-stipend), Seismological Institute, Budapest, Ungarn
P. Troitskiy, Institute of Physics of the Earth, Moscow, USSR
K.F. Veith, Teledyne-Geotech, Texas, USA
L.P. Vinnik, Institute of Physics of the Earth, Moscow, USSR

Hovedfagsstudenter (seismologi og anvendt matematikk):

I perioden 1980-82 har i alt 14 hovedfagsstudenter fått veiledning ved NORSAR.

Økonomi

Utgifter	25.9 mill kr
Bevilgning (DARPA ¹)	17.0 mill kr
Bevilgning (NTNF)	3.3 mill kr
Oppdragsinntekter	5.6 mill kr

¹) *Defense Advanced Research Projects Agency (USA)*

Bakgrunn

NORSAR (Norwegian Seismic Array) er etablert som et ledd i anstrebene for å komme fram til en avtale som forbyr alle typer kjernefysiske eksplosjoner. Den begrensede prøvestansavtalen som ble inngått i 1963 forbød kjernefysiske sprengninger i atmosfæren, det ytre verdensrom og under havet. Avtalen omfattet imidlertid ikke underjordiske sprengninger, ettersom kontrollmulighetene her ble ansett å være utilfredsstillende. Som et ledd i arbeidet for å forberede grunnlaget for en fullstendig prøvestansavtale, ble omfattende forskningsprogrammer iverksatt av flere land for å finne metoder til å påvise underjordiske atomprøver. På avstand kan slike prøver bare oppdages gjennom å registrere de meget sterke trykkbølger som forårsakes av eksplosjonene, og som forplanter seg gjennom jordkloden på samme måte som energien fra jordskjelv. Dette er grunnen til at seismologi, som er den vitenskap som arbeider med jordskjelvsignaler, fikk en sentral rolle i denne forskningsvirksomheten.

Det forskningsprogram som ble iverksatt av USA la spesiell vekt på utvikling av den såkalte array-teknikken for registrering av seismiske signaler. Array-teknikken kan sammenlignes med antenneprinsippet for mottak av radiobølger, og bygger på koordinering av signaler fra et stort antall seismiske måleinstrumenter (seismometre) som er tilknyttet en felles datasentral. Som et ledd i denne utvikling fremmet USA i 1967 et forslag overfor norske myndigheter om bygging av et stort seismisk anlegg av array-typen i Norge. Formålet med dette var primært å bidra med data til den deteksjonsseismologiske forskning og i tillegg ha et kontrollinstrument klart hvis prøvestansavtalen av 1963 skulle bli utvidet til også å omfatte forbud mot kjernefysiske prøvesprengninger under jorden. Stortinget ga sin enstemmige tilslutning til opprettelsen av NORSAR i mai 1968 (St. prp. nr. 128 av 1967/68). Byggingen av feltanleggene ble utført av Forsvarets Forskningsinstitut i perioden 1968-70.

Siden 1. juli 1970 er NORSAR administrert av Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd. NORSAR har etablert seg som en åpen, internasjonal forskningsinstitusjon, og seismologer fra i alt 20 land har i årenes løp hatt forskningsopphold ved NORSAR i kortere eller lengre tid (opp til 2 år). Totalt har denne forskningsvirksomheten

resultert i ca 350 vitenskapelige publikasjoner og rapporter og har skaffet NORSAR internasjonal anerkjennelse som et av verdens ledende forskningssentre innen mange seismologiske disipliner.

Fra starten i 1970 og fram til 1. oktober 1976 besto NORSAR-anlegget av 22 understasjoner spredt i et område på Østlandet. I løpet av denne perioden ble store mengder data av uvurderlig verdi for seismologisk forskning samlet inn, og disse data er i alt vesentlig bevart for senere forskningsformål i NORSARs dataarkiv. Fra 1. oktober 1976 gikk driften av NORSAR over i en ny fase, med hovedvekt på mer automatisert drift av datasentret og en reduksjon av driftskostnadene. Som et ledd i dette ble anleggets størrelse redusert fra 22 til 7 understasjoner. Forskningsvirksomheten ved NORSAR har på den annen side vist jevn ekspansjon fram til dagens nivå.

Selv om det opprinnelige formål med NORSAR har vært forskning og eksperimenter for å forberede overvåking av en fullstendig prøve-stansavtale, har avdelingen etterhvert utvidet sin forskningsvirksomhet til også å omfatte andre grener av anvendt seismologi og geofysikk. NORSAR står meget sentralt når det gjelder vurdering av jordskjelvrisiko i forbindelse med store industrielle installasjoner (kjernekraftverk, damanlegg, offshoreinstallasjoner, etc) og innen jordskjelvovervåking generelt. Avdelingen har videre etablert en grunnleggende kompetanse innen seismisk prospektering og modellering, og dette virkefeltet har vært i stadig ekspansjon i perioden. NORSARs forskningsavdeling utgjør i dag et av de fremste nasjonale miljøer for forskning i forbindelse med seismiske metoder for ressurskartlegging, såvel offshore (olje/gass prospektering) som onshore (prospektering etter malm/mineraler).

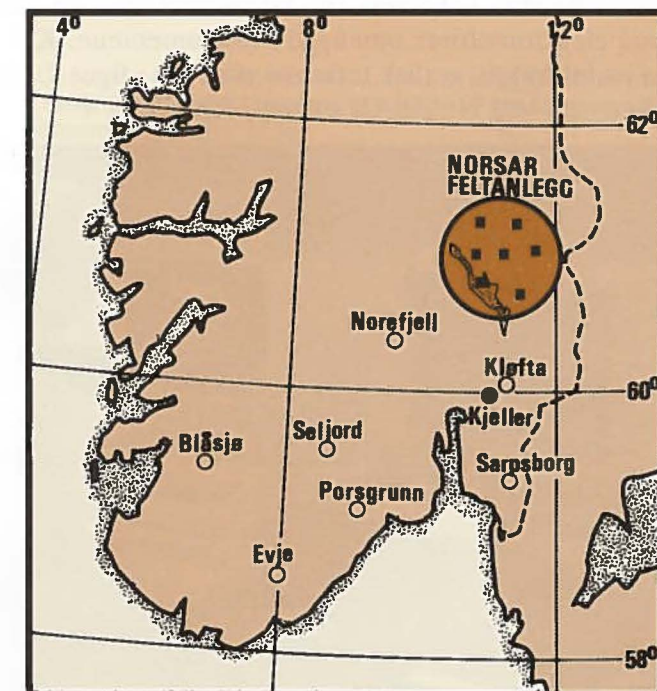
Et nært samarbeid er etablert med mange norske og utenlandske universiteter og forskningsinstitusjoner. NORSAR yter i dag vesentlige bidrag i nasjonal sammenheng når det gjelder veiledning på cand real og dr scient nivå innen seismologi og andre geofysiske disipliner. Pr 31.12.82 var det i alt 9 hovedfagsstudenter ved avdelingen, alle med NORSAR-forskere som veiledere.

Etter at NORSAR siden starten hadde hatt midlertidige kontorlokaler, som etterhvert ble meget utilfredsstillende, ga NTNF i 1982 bevilgning til oppføring av et nytt kontorbygg som tilbygg til Regneanlegget Blindern-Kjeller. Bygget ble fullført i april 1983.

Daglig drift

Feltinstallasjonene ved NORSAR

NORSAR-anlegget, som i dag er et av verdens største og mest avanserte seismiske observatorier, omfatter 7 understasjoner som vist i figur 1. Hver understasjon består av 9 seismometre og har kontinuerlig dataoverføring til datasentret på Kjeller. I tillegg utveksles data med en rekke andre seismologiske observatorier rundt om i verden. NORSAR har etablert en seismisk database (ca 15.000 magnetbånd) som er unik i internasjonal sammenheng.



Figur 1:

NORSARs feltanlegg består av 7 understasjoner spredt i et område på Østlandet. Datasentret på Kjeller mottar og analyserer signaler registrert ved understasjonene. Figuren viser også plasseringen av 7 midlertidige seismiske stasjoner som er blitt nytt til kartlegging av jordskjelvaktiviteten i sør-Norge.

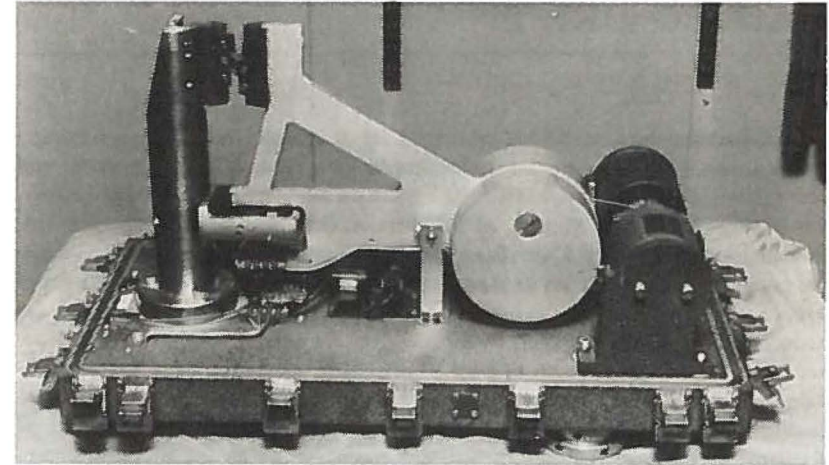
Dataregistreringen innen hver av NORSARs understasjoner styres av en spesialkonstruert elektronisk enhet. Fra hvert enkelt seismometer føres de registrerte signaler via underjordiske kabler frem til denne enhet, som "avleser" det ene registreringsinstrumentet etter den andre. I løpet av 0.05 sekunder vil alle instrumentene være avlest en gang. Sammen med diverse kontrollinformasjoner om utstyret som er i virksomhet, blir instrumentutslagene overført ved telefonsamband til datasentret på Kjeller.

Et anlegg med NORSARs utstrekning og med dets mange forskjellige og kompliserte komponenter, krever et omfattende kontroll- og vedlikeholdsarbeid for å sikre kontinuerlig og kvalifisert drift. Av praktiske grunner blir derfor seismometre, transmisjonslinjer og det elektroniske utstyr kontrollert fra datasentret. Testingen skjer ved at man fra datasentret sender ut testsignaler til en gitt understasjon. Disse signalene kan styres inn på forskjellige punkter langs transmisjonsveien, og etter mottagelse og analyse av de returnerte data ved datasentret kan kvaliteten av utstyret testes. Om nødvendig kan de enkelte seismometrene kalibreres fra datasentret via start- og stoppsignaler til små elektromotorer innebygd i instrumentene. Kalibreringen foregår via en interaktiv grafisk terminal som vist i figur 2. Seismometrene som benyttes ved NORSAR er vist i figur 3 og 4.

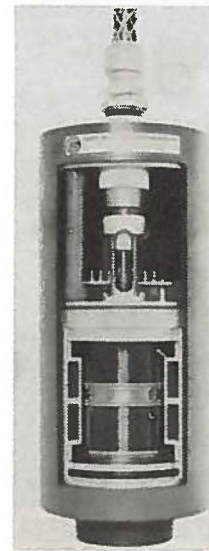


Figur 2:
Testing og kalibrering av NORSARs feltinstallasjoner foretas fra datasentret på Kjeller, via en interaktiv grafisk terminal.

For å kunne sikre best mulig vedlikehold av det kompliserte elektroniske utstyr som inngår i NORSARs feltanlegg, er det opprettet et eget vedlikeholdsavdeling på Stange.



Figur 3:
Seismometer (Geotech model 8700C) for registrering av langperiodiske overflatebølger med svingetid rundt 20 sekunder. Instrumentet er ca 60 cm langt og veier ca 60 kg, hvorav selve svingemassen utgjør 10 kg.



Figur 4:
Seismometer (Hall-Sears HS-10) for registrering av kortperiodiske bølger med svingetid rundt 1 sekund. Instrumentet er 22.5 cm langt med en diameter på 11.1 cm. Vekten er ca 4 kg, hvorav svingemassen utgjør ca 0.85 kg.

NORSARs datasenter på Kjeller

NORSAR-anleggets hovedfunksjon er å tilveiebringe data som kan bidra til oppdagelse og identifikasjon av underjordiske rystelser. Innsamling og analyse av data må foretas året rundt uten opphør, og dette stiller store krav til datasentret som skal motta, analysere og lagre de seismiske data. Datamaskinutrustningen ved NORSAR ble totalt fornyet i perioden 1979-82, og består nå av en IBM 4341/4331 konfigurasjon (figur 5), supplert med flere kommunikasjonsprosessorer (MODCOMP Classic, PDP 11-34, IBM Series 1). På grunn av de store datamengder er det spesielt lagt vekt på stor disk-kapasitet (for tiden ca 3000 megabytes), noe som vesentlig har lettet den rutinemessige dataanalyse og forskningsarbeidet. Dataanalysen foregår nå hovedsakelig via interaktive grafiske skjermer med høy oppløsning, og dette har bidratt til å øke forskningseffektiviteten vesentlig.



Figur 5:
Utsnitt av NORSARs datasenter på Kjeller.

NORSAR har også satset på å ta i bruk mikroprosessorteknologi, spesielt i forbindelse med eksperimentell datainnsamling fra måleinstrumenter i felten og eksperimentell utveksling av data med andre seismiske sentre. Det vises her spesielt til avsnittet om NORSARs virksomhet i forbindelse med FNs nedrustningskomité i Genève.

Med finansiell bistand fra Superior Oil Norge A/S og i samarbeid med Universitetet i Oslo, ble det i 1982 installert et dataanlegg av type Megaseis ved NORSAR, til bruk i forskning og undervisning innen seismisk prospektering/modellering.

Overvåking av jordskjelv og kjernefysiske eksplosjoner

Deteksjonsanalysen

Analysen av de seismiske data som registreres ved NORSAR-anlegget foregår i to trinn. For å fylle oppgaven med kontinuerlig overvåking av seismiske hendelser, må første trinn, deteksjonsanalysen, foregå tilstrekkelig hurtig til at opphopning av data ikke forekommer.

Under deteksjonsanalysen vil rystelser bli oppdaget ved at energien i de registrerte seismiske bølger plutselig øker og overskrider visse terskelverdier. De seismiske bølger vil nå de forskjellige seismometre til forskjellig tid, avhengig av hvilken retning de kommer fra. Dette betyr at en kan "styre" arrayen mot et bestemt område ved å summere signalene fra enkeltinstrumentene med et gitt sett tidsforsinkelser. I praksis er dette en anvendelse av det velkjente antenneprinsippet, men med den viktige forskjell at "antennestylingen" ved NORSAR simuleres i en datamaskin. Følgelig kan en gjennomføre et stort antall områder bare ved å introdusere et tilstrekkelig antall sett med tidsforsinkelser i datamaskinen, og dette danner grunnlaget for NORSARs globale overvåking av jordskjelv og kjernefysiske sprengninger.

Resultatet av deteksjonsanalysen — antall rystelser, tidspunktene de ble registrert av NORSAR, en foreløpig bestemmelse av kildens geografiske posisjon og andre relevante data — blir brukt under den påfølgende hendelsesanalyse.

Hendelsesanalysen

Dette er annet og siste ledd i den rutinemessige analyse av de seismiske registreringer fra NORSAR, og samtidig den vanskeligste. Ønskemålet er en komplett, automatisert analyse av alle seismiske bølger generert av den detekterte hendelse, og aller viktigst — en korrekt klassifikasjon av kilden. Disse problemer, som ennå ikke er tilfredsstillende løst, representerer både en seismologisk og en datateknisk utfordring.

Med bakgrunn i originale data og resultater fra deteksjonsanalysen, foretas en nøyaktigere bestemmelse av hendelsens geografiske posisjon og styrke. Bare for de aller største hendelser er det imidlertid mulig på det nåværende tidspunkt å gi et entydig svar på spørsmålet om en kjernefysisk eksplosjon har forekommet.

I Tabell 1 gis en oversikt over antallet rapporterte jordskjelv og antatte kjernefysiske eksplosjoner i perioden 1.1.1980 til 31.12.1982. NORSAR utgir forøvrig en månedlig jordskjelvkatalog som på oppfordring fordeles internasjonalt. Totalt i perioden er det rapportert ca 10.000 jordskjelv, ved siden av i alt 119 antatte underjordiske atomsprenghninger. De fleste av de registrerte hendelser bekreftes senere av andre jordskjelvobservatorier, men i mange tilfelle er hendelsene så små at NORSAR er alene om å rapportere dem.

Det må påpekes at NORSARs vesentligste styrke ligger i *deteksjon* av meget små seismiske hendelser. Den *lokalisering* som NORSAR kan foreta, vil alltid være beheftet med en viss usikkerhet, som kan utgjøre ca 50 km eller mer. I områder hvor kalibreringsdata (fra tidligere kjente eksplosjoner eller jordskjelv) er tilgjengelige, vil selvsagt denne usikkerhet kunne reduseres noe. I en overvåkingssituasjon for en eventuell fullstendig prøvestansavtale er det uten videre klart at NORSAR arrayens store følsomhet vis-à-vis meget små seismiske hendelser vil være av uvurderlig betydning.

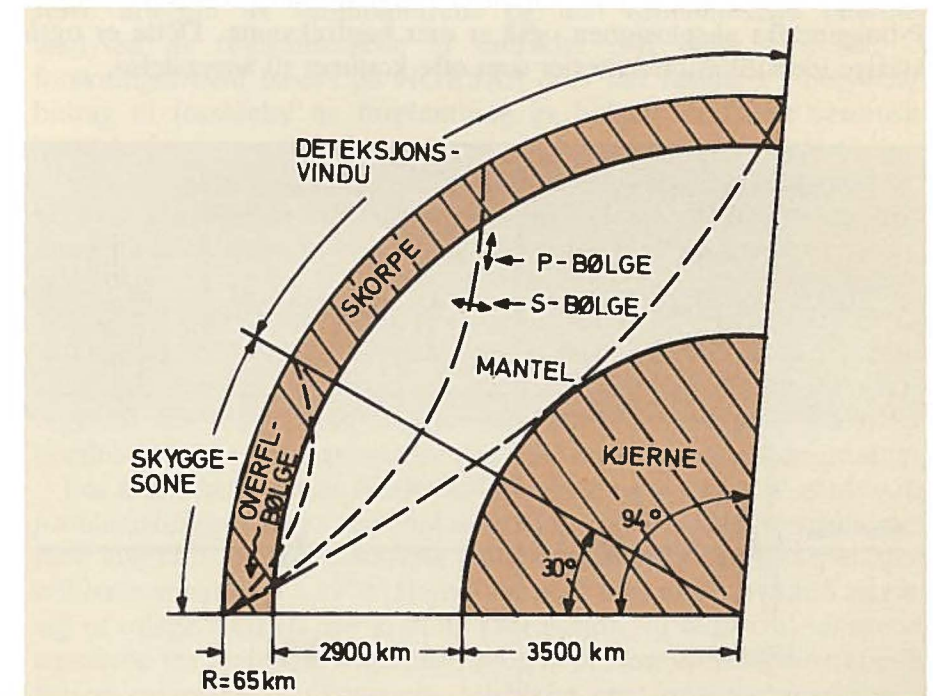
Tabell 1:

Oversikt over antall jordskjelv og antatte kjernefysiske eksplosjoner rapportert ved NORSAR i tiden 1.1.80—31.12.82

Halvår	Jordskjelv	Antatte kjernefysiske eksplosjoner
1/1980	1567	12
2/1980	1415	22
1/1981	1922	18
2/1981	1739	23
1/1982	1718	13
2/1982	1400	31
Sum	9761	119

Identifisering av signaler fra jordskjelv og eksplosjoner

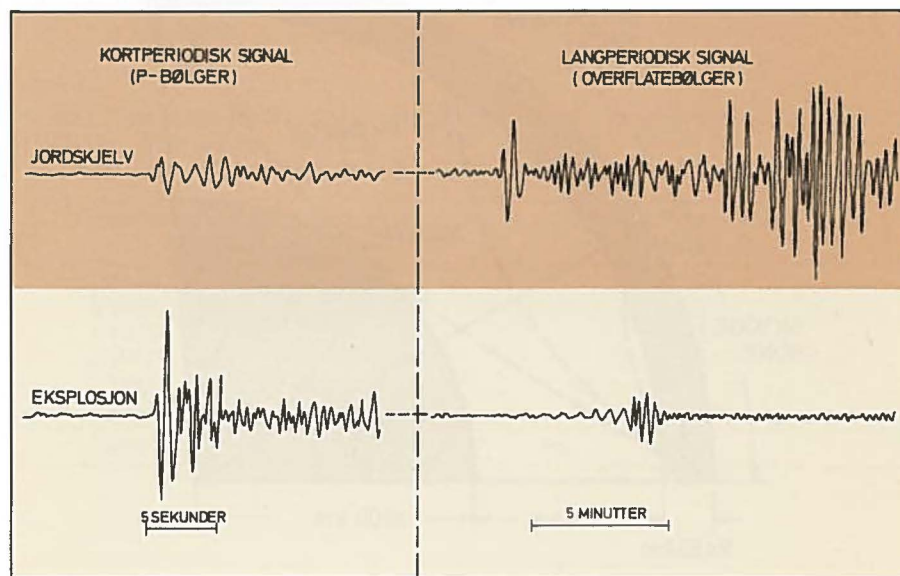
De elastiske bølger som oppstår som følge av en større seismisk hendelse (jordskjelv eller eksplosjon) utbreder seg gjennom hele jordens indre og vil i løpet av få minutter registreres av seismometre på store avstander. Vi skiller mellom to hovedtyper av seismiske bølger som vist på figur 6, de som forplanter seg gjennom de dypere lag av jordens indre (P- og S-bølger) og de som forplanter seg langs jordens øverste sjikt (overflatebølger). Den viktigste bølgetypen er P-bølgen, som gir opphav til den først ankomne impuls fra hendelsen.



Figur 6:

Jordens oppbygging. Noen eksempler på bølgebaner for seismiske bølger er inntegnet. De klareste signaler registreres på avstander mellom 3000 og 10.000 km (*deteksjonsvinduet*), mens signalene fra kortere avstander vanligvis er mer kompliserte.

Identifisering av seismiske hendelser går i korthet ut på å skille mellom de signaler som genereres henholdsvis av jordskjelv og eksplosjoner. Til tross for et omfattende forskningsarbeid over mer enn ti år har det vist seg ytterst vanskelig å formulere kriterier som har almen gyldighet. Den vesentligste årsaken er at jordens oppbygging ikke er homogen, noe som fører til at kriterier utarbeidet for en del av et kontinent ikke er effektive for andre områder. I tillegg øker vanskelighetene for eksplosjoner av mindre størrelse, ettersom deteksjonsproblemer da vil komplisere bildet ytterligere. Imidlertid er en i dag kommet så langt at en rekke kriterier er tilgjengelige til i mange tilfelle å identifisere kjernefysiske eksplosjoner med en stor grad av sikkerhet. I figur 7 vises som et eksempel NORSAR-registreringer fra en stor underjordisk kjernefysisk sprengning og fra et jordskjelv. Flere viktige forskjeller kan oppdages, mest iøynefallende er de relativt mye større overflatebølgene som genereres av jordskjelvet i forhold til størrelsen av P-bølgene. Denne såkalte $m_b:M_s$ diskriminanten er i praksis det viktigste identifikasjonskriteriet som benyttes i dag. I tillegg kan en se at eksplosjonen gir et mer impulsivt P-signal enn jordskjelvet, og at P-bølgene fra eksplosjonen også er mer høyfrekvente. Dette er også viktige identifikasjonskriterier som ofte kommer til anvendelse.



Figur 7:
Eksempel på NORSAR-registrerte signaler fra et jordskjelv (øverst) og en underjordisk eksplosjon (nederst). Forskjellen mellom de to typer registreringer kan klart identifiseres.

Eksemplet i figur 7 viste at store seismiske hendelser i dag kan identifiseres med en svært høy grad av sikkerhet. I et kontrollsystem for en fullstendig prøvestansavtale vil imidlertid identifisering av de små hendelser være mest tidkrevende og beheftet med store usikkerheter. Dette er bakgrunnen for det omfattende forskningsarbeidet som fortsatt pågår med sikte på å forbedre deteksjons- og identifikasjonsevnen for svake signaler. Arbeid utført ved NORSAR har vært banebrytende på dette området, spesielt når det gjelder utnyttelse av multivariable identifikasjonskriterier og utvikling av metoder for å forbedre magnitudo-estimer. Det eksisterer imidlertid et klart behov for ytterligere forskning på dette området.

Regional array — NORESS prosjektet

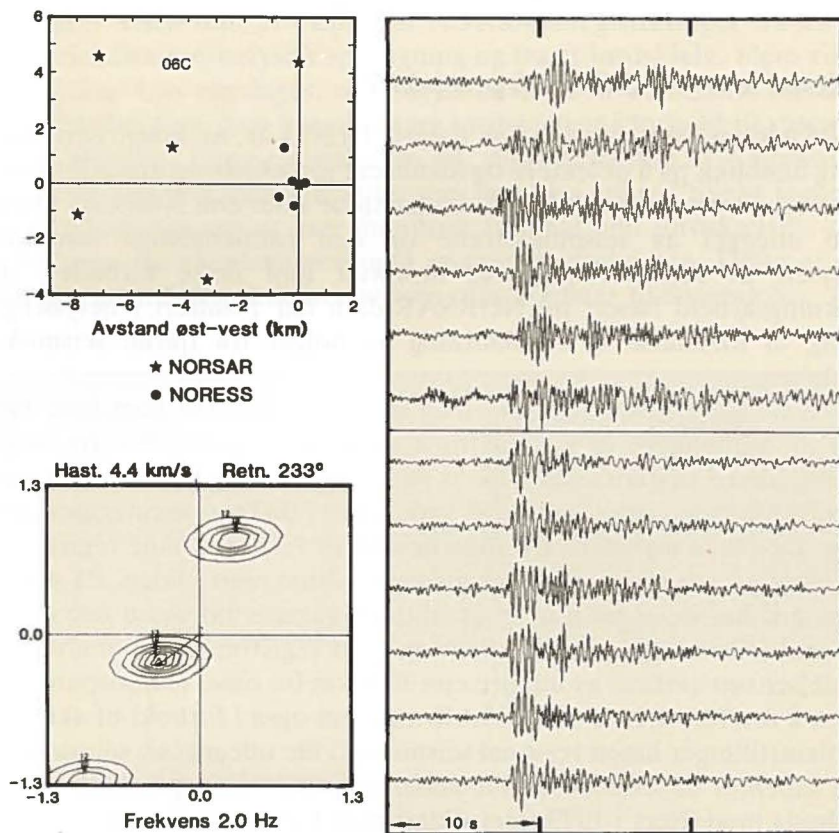
NORSAR-arrayen slik den har bestått i 12-13 år, er konstruert med særlig henblikk på å detektere og lokalisere jordskjelv og underjordiske eksplosjoner i stor avstand fra instrumentene (mer enn 3000 km). Både selve utlegget av seismometrene og den rutinemessige sanntidsanalysen av registreringene er innrettet mot dette formålet, og forskningsarbeid basert på NORSAR-data har resultert i betydelige bidrag til forståelse av forplantning av bølger fra fjerne seismiske hendelser.

Som tidligere nevnt, har det blitt utviklet teknikker som med høy grad av pålitelighet er i stand til å skille store jordskjelv fra store underjordiske eksplosjoner, slik at det i dag først og fremst er de små seismiske hendelsene som byr på problemer i diskrimineringssammenheng. De svake signalene fra slike hendelser vil best kunne registreres ved hjelp av seismiske stasjoner plassert relativt nært kilden. På denne bakgrunn har det i de senere år blitt en økende interesse for såkalt regional seismologi, som befatter seg med registrering og analyse av hendelser i en avstand av mindre enn 3000 km fra observasjonspunktet.

For å dra full nytte av NORSAR-anlegget også i forhold til aktuelle problemstillinger innen regional seismologi, ble utlegget av seismometrene innenfor en av NORSARs understasjoner (06C) på eksperimentell basis modifisert i 1979. Hensikten med forandringen var å nærme seg et utlegg med en høy grad av korrelasjon fra sensor til sensor for signalene fra regionale hendelser, men hvor man samtidig tilstreber at støyen essensielt er ukorrelert. I hvilken grad disse betingelsene er oppfylt er helt avgjørende for en arrays evne til å detektere og posisjonsbestemme en seismisk hendelse. Et gunstig utlegg for en regional array vil være en vesentlig "tettere" instrumentplassering enn for en array av NORSARs type, da signaler fra nære hendelser vil inneholde

forholdsvis høye frekvenser, og signalkorrelasjoner avtar med økende frekvens og økende instrumentseparasjon.

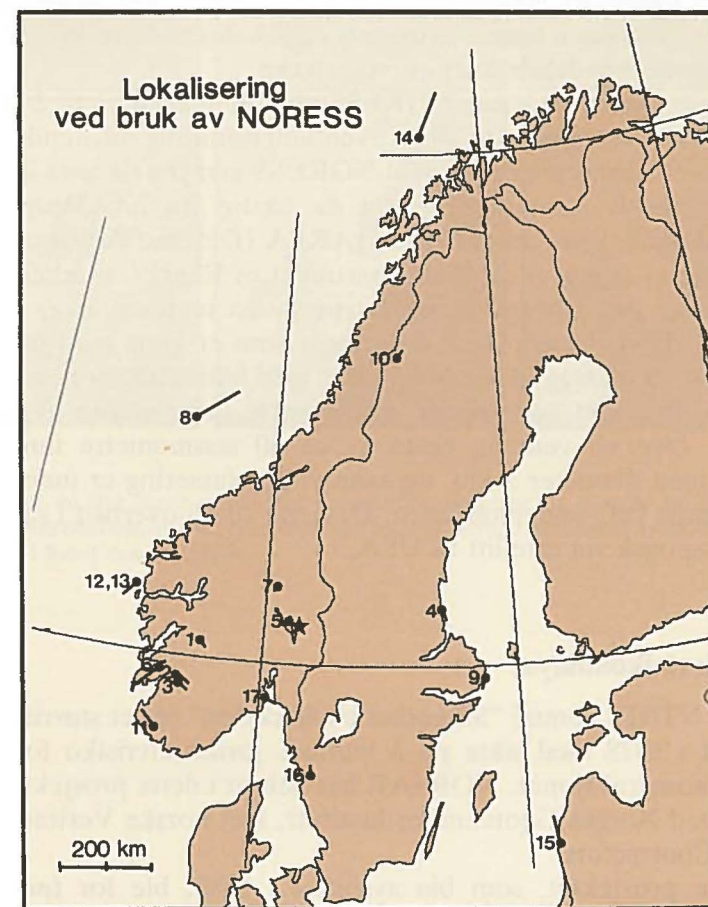
Figur 8 viser den opprinnelige 06C-konfigurasjonen og utlegget av seismometre i NORESS (NORSAR Experimental Small Subarray). Figuren viser også en S-fase fra en hendelse 300 km borte, slik den er registrert både på en vanlig NORSAR-understasjon og på NORESS. Det er her oppnådd en betydelig forbedring av signalkorrelasjonen ved den tette plasseringen av seismometrene. God korrelasjon mellom signalene er en grunnleggende forutsetning for de array-prosesseringssteknikker som brukes, og et eksempel her er vist i figur 8.



Figur 8:

Figuren øverst til venstre viser det egentlige utlegget av instrumenter i subarray 06C og den modifiserte grupperingen av instrumentene i den eksperimentelle NORESS-konfigurasjonen. Stasjonen i sentrum av koordinatsystemet er felles for de to utleggene. Til høyre er vist S-bølgene fra en lokal hendelse, slik de er registrert på en vanlig NORSAR-subarray (øverste 6 traser) og på de 6 NORESS-seismometrene. Et såkalt frekvens-bølgetallsspektrum (nederst til venstre) forteller fra hvilken retning og med hvilken hastighet bølgene til høyre brer seg over NORESS-arrayen.

Denne såkalte frekvens-bølgetallsanalysen viser at signalene brer seg over NORESS med en hastighet av 4.4 km/s og at de kommer fra sørvestlig retning (233°). Fra slike analyser vil en altså finne retningen fra arrayen til en hendelse og også (ut fra hastigheten) hvilken type signaler (P eller S) det er tale om. Ved å analysere hele bølgetoget fra en hendelse, vil man kunne finne retning og avstand til hendelsen og dermed være i stand til å lokalisere den. Figur 9 viser resultater fra et eksperiment hvor seismiske hendelser er forsøkt lokalisert ved hjelp av NORESS-data alene. Avviket mellom posisjoner bestemt av NORESS og tilsvarende basert på nettverket av seismologiske stasjoner i Norden



Figur 9:

Lokalisering av seismiske hendelser ved bruk av NORESS-registreringer. NORESS-arrayens posisjon er avmerket med en stjerne. De nummererte punktene refererer til 17 hendelser lokalisert ved hjelp av nettverket av seismologiske stasjoner i Norden. Strekene ut fra disse punktene angir avviket mellom disse lokaliseringene og tilsvarende bestemt fra NORESS-registreringer.

er generelt lite og innenfor usikkerhetsmarginene for lokalisering ved hjelp av nettverket. Det er altså vist at en liten array av type NORESS er i stand til å posisjonsbestemme regionale hendelser med en nøyaktighet som grenser opp til den man får fra et forholdsvis omfattende nettverk av stasjoner fordelt i hele området hvor hendelsene forekommer.

Etter de første eksperimentene som beskrevet ovenfor har det fulgt en serie forsøk både med utlegg av stasjoner og utprøving av prosesseringsteknikker. Det er blant annet utarbeidet et programsystem som opererer på data fra NORESS og detekterer og lokaliserer regionale hendelser i sann tid. Programsystemet er uttestet over lange tidsintervall og har vist seg å kunne detektere og lokalisere korrekt nær opp til alle regionale hendelser over en viss styrke.

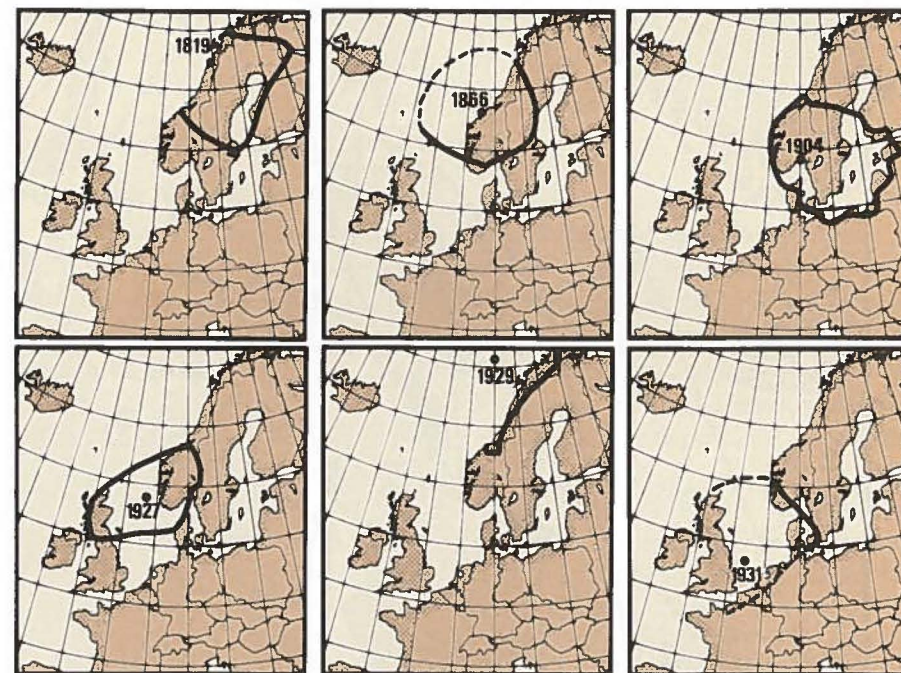
Array-stasjoner av typen NORESS vil kunne komme til å spille en viktig rolle i overvåkningen av en eventuell framtidig fullstendig prøve-stansavtale. Eksperimentene med NORESS-arrayen de siste årene har da også påkalt stor interesse og da særlig fra amerikansk hold. NORSAR har, i samarbeid med DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) og US Department of Energy, utarbeidet konkrete planer om å bygge en prototype av en regional array i Mjøsaområdet i 1984, basert på de erfaringer som er gjort med NORESS. NORSAR vil i tillegg til å lede arbeidet med feltinstallasjonene, forestå utredningsarbeidet vedrørende den eksakte utformingen av den nye arrayen. Den vil ventelig bestå av ca 40 seismometre innenfor et område med diameter 3 km, og sannsynlig plassering er innenfor den eksisterende 06C-understasjonen. Dataene vil bli overført i sann tid til Kjeller og også via satellitt til USA.

Seismisk risikoanalyse

I regi av NTNFs komité "Sikkerhet på Sokkelen" ble et større prosjekt igangsatt i 1978 med sikte på å vurdere jordskjelvrisiko for norske offshorekonstruksjoner. NORSAR har deltatt i dette prosjektet i samarbeid med Norges Geotekniske Institutt, Det norske Veritas og Norwegian Contractors.

I dette prosjektet, som ble avsluttet i 1982, ble for første gang systematisk gjennomgått all tilgjengelig informasjon om tidligere jordskjelv på den norske kontinentalsokkel. Figur 10 viser hvor en del av de største historiske skjelvene i området har funnet sted. NORSARs forskningsarbeidet ved dette prosjektet resulterte bl.a. i et seismisk sonekart for den norske sokkel, som vist i figur 11. Dette sonekartet

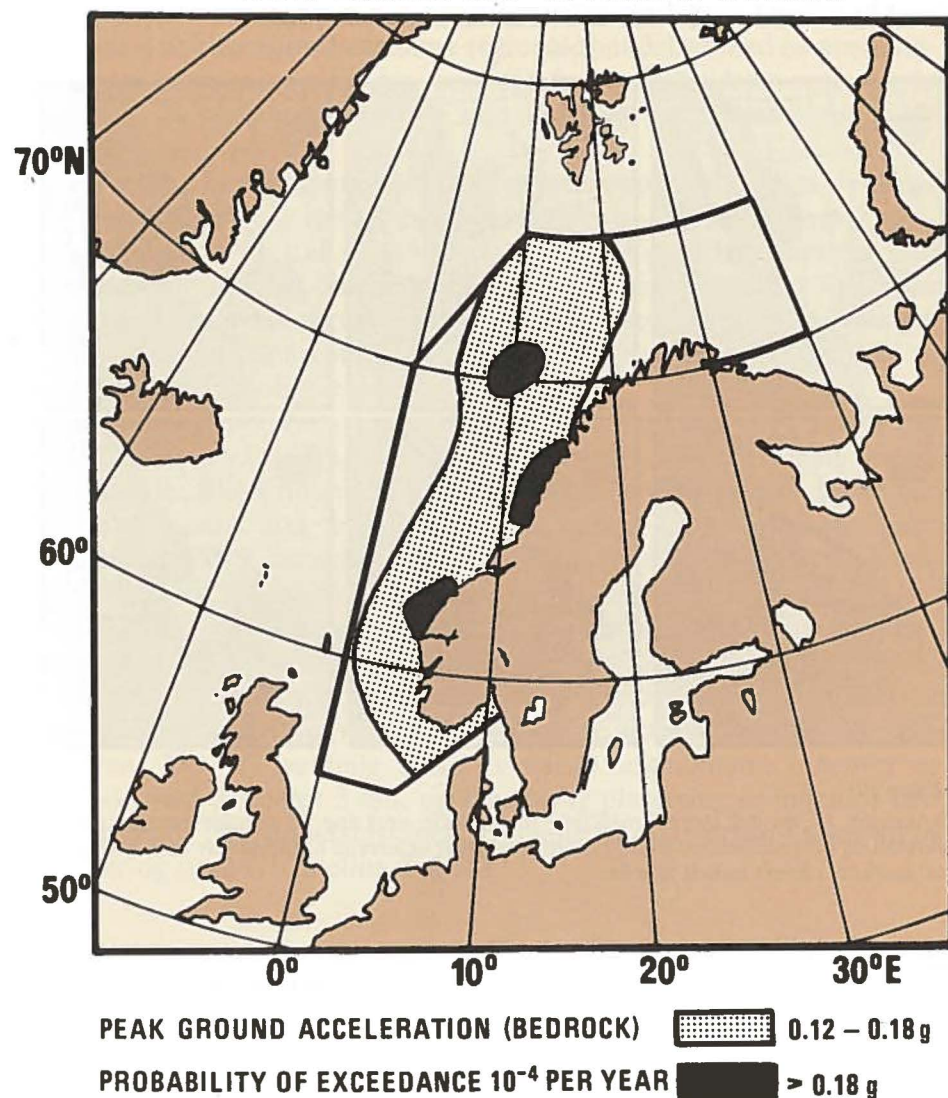
har nå bidratt til å danne retningslinjer for Oljedirektoratets krav til jordskjelvvurderinger for nye offshorekonstruksjoner.



Figur 10:

Lokasjon av en del store jordskjelv (magnitudo omkring 6) utenfor norskekysten. Årstall og utbredelsesområdet (dvs området hvor skjelvene er merket av befolkningen) er markert i hvert enkelt tilfelle.

SEISMIC ZONING MAP OFFSHORE NORWAY



Figur 11:

Seismisk sonekart for den norske kontinentalsokkel, utarbeidet ved NORSAR. De mørkskraverte områdene antas å være relativt sett mest utsatt for jordskjelv.

Etter oppdrag av Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen etablerte NORSAR i 1979 et midlertidig nettverk til å overvåke jordskjelv i Sør-Norge (Kfr. figur 1). Nettet ble planlagt å være i drift fram til april 1983 og har i samband med tilsvarende nett i Sverige og Danmark gitt

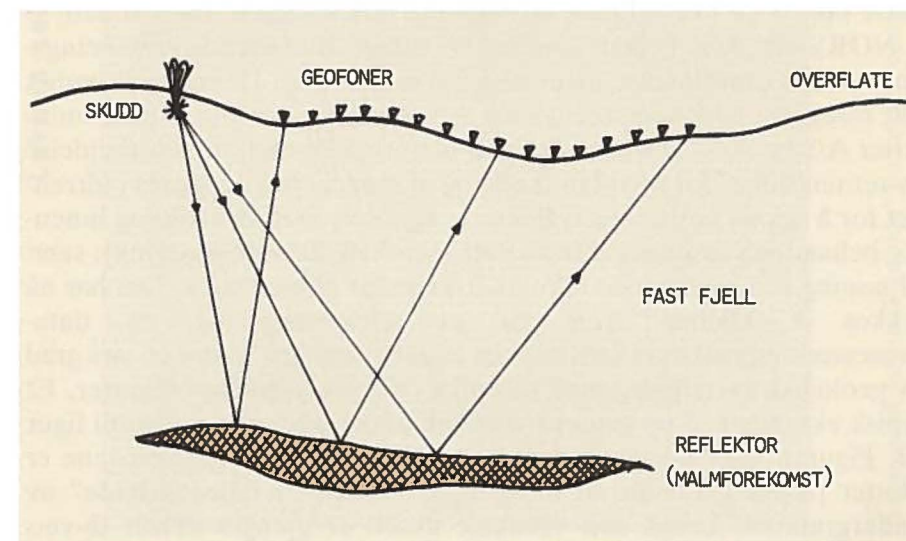
informasjon om skandinaviske jordskjelv i en detalj som tidligere ikke har vært mulig. Slik informasjon er av den største betydning for å vurdere jordskjelvrisikoen forbundet med damanlegg og andre større industrielle installasjoner.

Seismisk prospektering/modellering

Malmleting med seismiske metoder

I 1978 ble NORSAR engasjert i et forskningsprosjekt som hadde til formål å utvikle og utprøve seismiske metoder for malmleting på store dyp, dvs dyp større enn ca 400 m. Prosjektet ble etablert som en følge av de bestrebelsene som A/S Sulitjelma gruber og Orkla industrier A/S i flere år hadde nedlagt med henblikk på å søke nye veier i malmletingen. Allerede i 1971 ble de første forsøk på seismiske undersøkelser gjort i Sulitjelma, og de følgende år fortsatte disse forsøkene, men uten at tilfredsstillende resultater ble oppnådd.

Seismiske malmletingsmetoder benytter seg av såkalt refleksjonsseismikk, som i en årrekke har vært kjent fra oljeleting i sedimentære (lagdelte) bergarter. Prinsippene for disse metoder illustreres i figur 12,



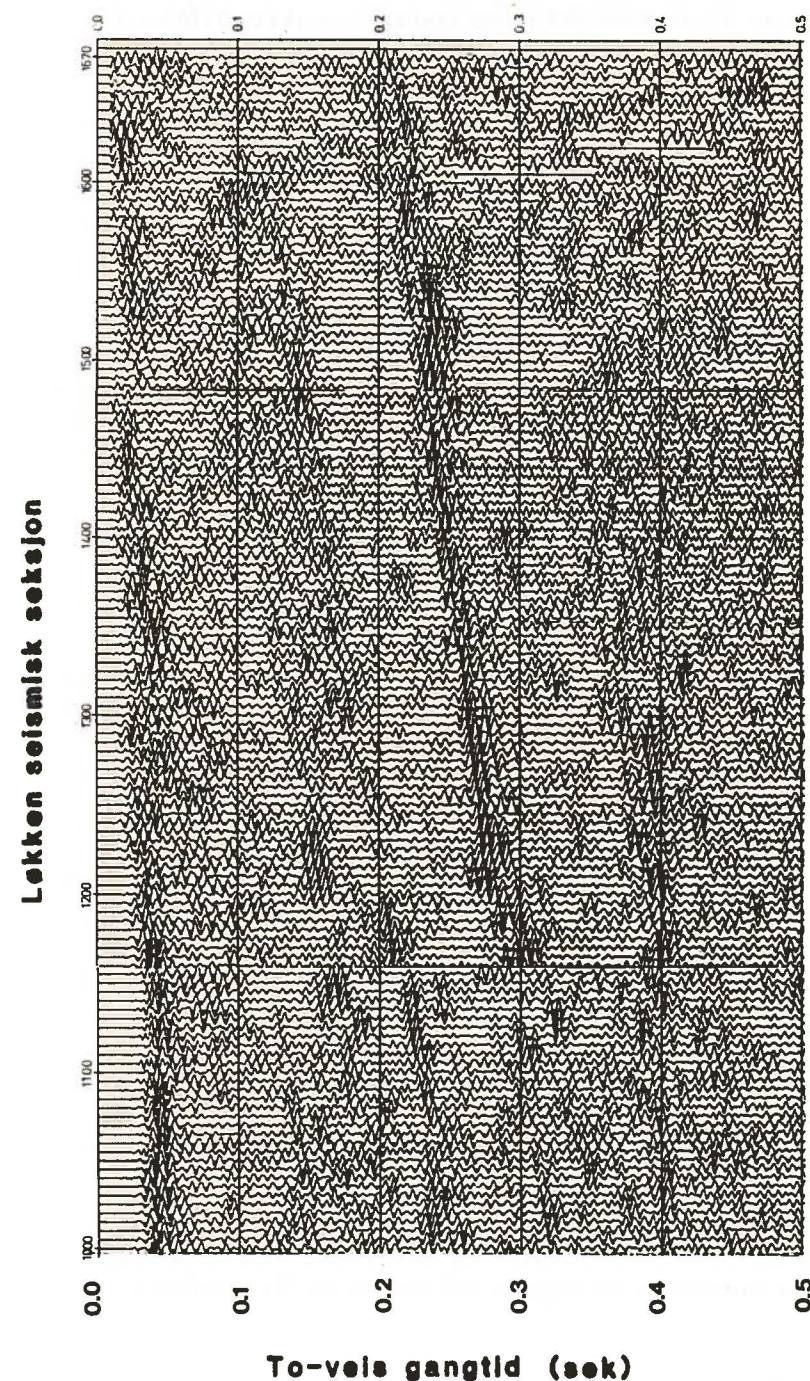
Figur 12:

Malmleting med seismikk utføres etter de samme prinsippene som oljeprospesjering. Et skudd avfyres nær overflaten, og de trykkbølger som reflekteres fra en eventuell malmforekomst kan avleses på meget følsomme instrumenter (geofoner). Dybden og utstrekningen av malmen kan deretter beregnes.

som viser en tenkt malmforekomst omgitt av fast fjell. Videre har vi en energikilde på overflaten. Denne energikilden kan være av forskjellig type alt etter forholdene på stedet. I fast fjell på land er det vanlig å avfyre en sprengladning (f.eks. dynamitt) i et 3-4 m dypt borehull på overflaten. I det ladningen avfyres, brer det seg elastiske bølger (lydbølger) i alle retninger nedover i fjellgrunnen. Bølgene brer seg med en bestemt hastighet avhengig av fjellets beskaffenhet, typiske verdier er 5000-6000 meter pr sekund. Når bølgene treffer en eventuell malmforekomst som har vesentlig større tetthet enn de omliggende bergarter, blir en del av bølgeenergien reflektert tilbake mot overflaten, hvor registreringsinstrumenter (geofoner) plasseres i en linje ut fra skuddpunktet, vanligvis med 5-10 meters mellomrom. Geofonene er igjen knyttet til en elektronisk registreringsenhet, som lagrer målingene på magnetbånd.

Hovedideen er nå at dersom de meget svake reflekterte bølger kan oppdages, er det mulig å påvise malmforekomsten, og en kan da også beregne dybden ned til forekomsten. I praksis avfyres en ladning i mange punkter langs en målelinje (et såkalt seismisk profil) samtidig som geofonene flyttes tilsvarende. Under de påfølgende dataanalysene kan en da summere bølger som har forskjellig skuddpunkt og geofonpunkt, men som er reflektert fra samme punkt på malmflaten, og ved dette oppnå en forsterkning av de svake refleksjonene fra malmen.

NORSAR har i den senere år utført omfattende forskningsvirksomhet i forbindelse med seismisk malmleting. Denne virksomhet har foregått i nært samarbeid med A/S Sulitjelma gruber, Orkla industrier A/S og A/S Geoteam. Spesielt har arbeidet omfattet utarbeidelse av retningslinjer for hvordan skudd og mottagere bør plasseres i terrenget for å oppnå best mulig reflekterte signaler, metodeutvikling innenfor behandling av de registrerte data (seismisk dataprosessering), samt tilpasning av eksisterende teknikker innenfor oljeseismikk. Det har nå lyktes å komme frem til et feltopplegg og en dataprosesseringsprosedyre som har vist at det er mulig å utføre en viss grad av geologisk kartlegging med seismikk også i krystalline bergarter. Et typisk eksempel på resultater fra en slik undersøkelse er gjengitt i figur 13. Figuren viser en såkalt "seismisk seksjon", der registreringene er plottet på en slik måte at de gjengir et slags "refleksjonsbilde" av undergrunnen. Langs den vertikale akse er gjengitt såkalt to-veis gangtid for de seismiske bølger. Denne gangtiden kan skaleres til dyp vha en gitt bølgehastighet. De reflekterende horisontene fremkommer her som mørkere partier i seksjonen (større amplitude). Vi ser her to tydelige reflektorer som altså representerer bergartskontraster. Plasseringen av disse kontrastene ble senere bekreftet ved boring til ca 1000



Figur 13: Eksempel på "seismisk seksjon" fra Løkken-området i Trøndelag, som viser tydelige refleksjoner mellom 0.2 og 0.3 sek (to-veis gangtid), som tilsvarer et dyp på ca 600-900 m.

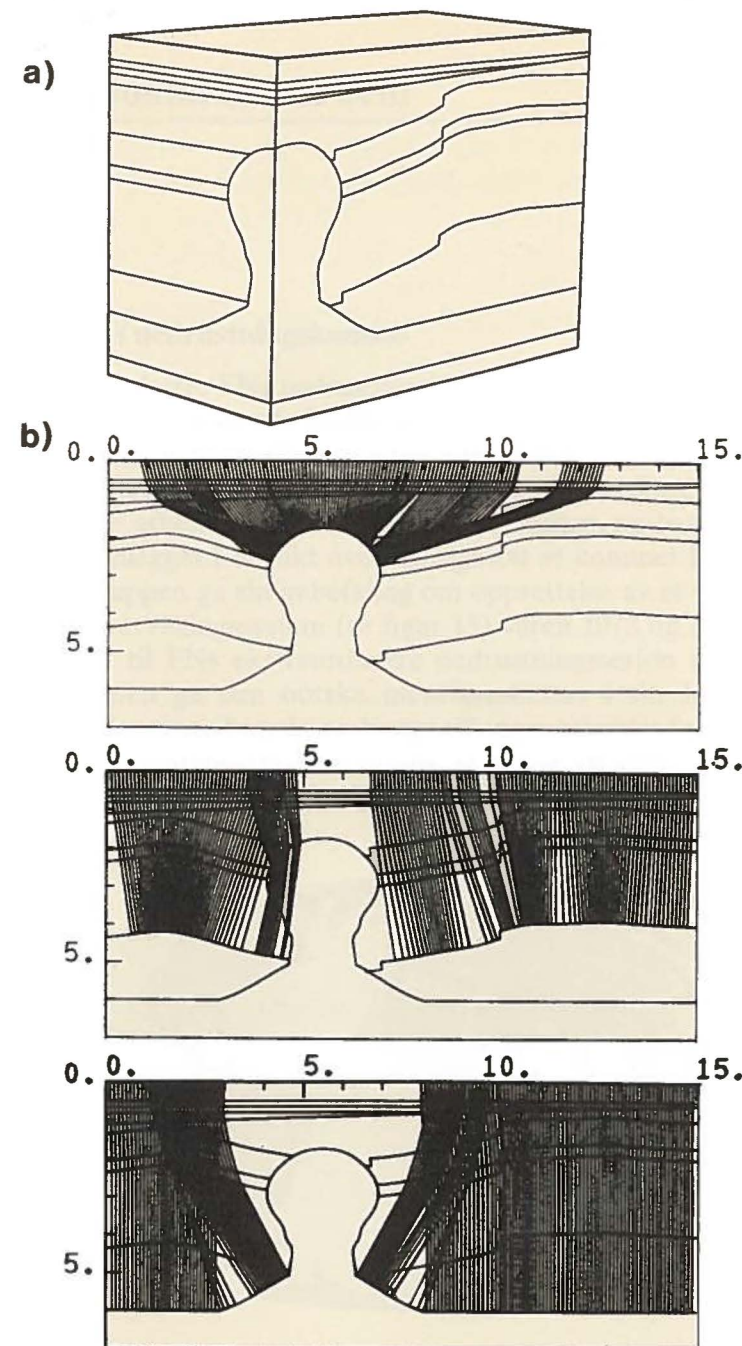
m dyp. I dette tilfelle viste det seg at kontrastene ikke skyldtes malmforekomster, men grenseflater mellom forskjellige typer bergarter. I likhet med de problemstillinger en finner innenfor oljeleting, kan seismiske metoder ikke påvise malmforekomster direkte, men på den annen side gir de nødvendige verdifulle indikasjoner på hvor en bør bore eller ikke bore. Vurdert i forhold til de kostnader et borehull medfører (størrelsesorden 1 mill kr for 1000 m), vil seismiske undersøkelser derfor være av uvurderlig betydning i det omstendelige arbeid det er å påvise nye malmforekomster og deres drivverdighet.

NORSAR står i dag sterkt rustet når det gjelder instrumentering for forskning og utvikling innenfor seismisk prospektering. Høsten 1980 gikk avdelingen til anskaffelse av en moderne digital feltutrustning (Texas Instruments DFS V) for registrering av seismiske data av høyeste kvalitet. Et spesialdataanlegg for seismisk prosessering (MEGA-SEIS) som ble installert ved NORSAR i 1982, har også utgjort en viktig faktor.

3-dimensjonal seismisk modellering

Som et ledd i NORSARs engasjement innenfor prospekteringsgeofysikk, er det utført et relativt omfattende arbeid innenfor såkalt 3-dimensjonal (3D) seismisk modellering, for en stor del på oppdrag for GECO A/S. Det er utviklet regnemaskinprogrammer som er istand til å simulere utbredelsen av seismiske bølger i på forhånd spesifiserte geologiske modeller. En beskriver da de forskjellige geologiske grenseflater matematisk, sammen med bølgehastighetene i de forskjellige lagene. Ved hjelp av en såkalt "ray-tracing"-prosedyre kan en følge de seismiske stråler mellom gitte skudd og mottagere i modellen, som illustrert på figur 14. Disse metoder gjør det mulig å beregne f.eks. gangtid og amplitude for de seismiske bølger og således simulere hva en ville registrert i en tilsvarende virkelig geologisk modell (direkte modellering). Videre kan en ved systematisk forandring av modellen tilpasse de simulerte data til de observerte, og derigjennom beregne en tilnærmet geologisk modell ut fra de gitte feltregistreringene (inversmodellering).

Slike metoder vil være av stor verdi både når det gjelder utarbeidelse av nye 3D prosesseringsteknikker og ikke minst som et verktøy i den ofte svært kompliserte geologiske tolkningen av 3D seismiske data.



Figur 14:

Eksempel på "ray-tracing" i en computerisert geologisk modell.

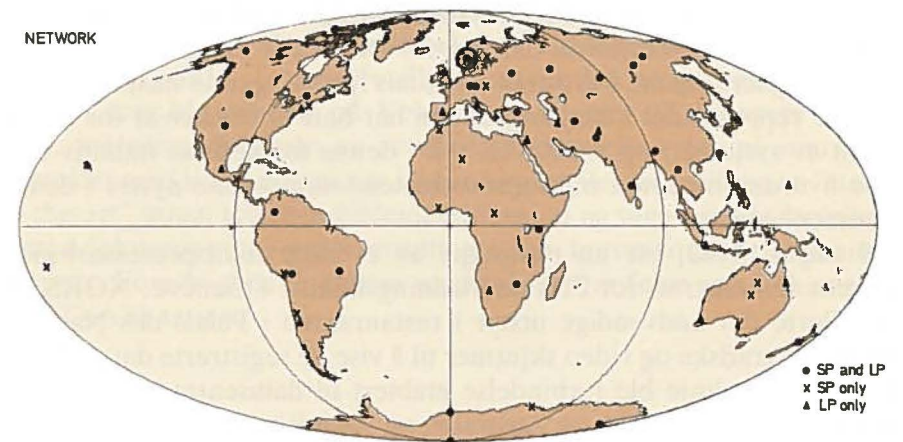
a) viser et 3-dimensjonalt plot av et tilfeldig utsnitt av modellen.

b) viser et utvalg av såkalte "normalt innfallende stråler", dvs stråler som reflekteres normalt på de reflekterende flater og dermed returnerer til samme punkt på overflaten.

Arbeid i FNs nedrustningskomité

I juni 1976 nedsatte FNs nedrustningskomité i Genève en seismologisk ekspertgruppe for å utrede hvilke krav en skal stille til et verdensomspennende nett av seismiske stasjoner som skal kontrollere at en fullstendig prøvestansavtale overholdes. NORSAR-forskere har deltatt aktivt i dette arbeidet som norske representanter, og betydningen av NORSAR-anlegget i et slikt overvåkingsnett er kommet klart fram.

Ekspertgruppen ga sin anbefaling om opprettelse av et verdensomspennende overvåkingssystem (se figur 15) våren 1978 og anbefalingen ble fremmet til FNs ekstraordinære nedrustningssesjon samme år. I denne sesjonen ga den norske utenriksminister i sitt hovedinnlegg uttrykk for den store betydning Norge tillegger arbeidet for å oppnå en fullstendig prøvestansavtale og uttalte at Norge vil stille NORSAR til disposisjon for en overvåkingsrolle dersom en slik avtale blir inngått.



Figur 15:

FNs seismologiske ekspertkomité i Genève har foreslått opprettet et verdensomspennende overvåkingsnettverk for underjordiske kjernefysiske prøver.

Det foreslåtte globale system har spesielle internasjonale datasentre som vil utføre detaljert bearbeiding og rapportering av de registrerte hendelser. Ved NORSARs datasenter på Kjeller har en tilsvarende rapportering om enn i mindre målestokk, foregått i mer enn 10 år. I lys av denne opparbeidede erfaring vil NORSAR derfor være aktuelt som et internasjonalt datasenter i tillegg til å være et nøkkelobservatorium for påvisning av svært små hendelser.

Etter det opplegg som er foreslått av ekspertgruppen, vil de ovennevnte datasentre ikke selv ta ansvaret for å identifisere seismiske hendelser. De vil kun legge data til rette slik at identifisering kan foretas på nasjonal basis, eventuelt av et internasjonalt ekspertorgan dersom politisk enighet kan oppnås om dette. På grunn av de statistiske usikkerheter som alltid ledsager identifikasjonsproblemet vil det alltid være behov for en viss subjektiv bedømmelse når "vanskelige" hendelser skal identifiseres. Basert på den kompetanse som er opparbeidet av NORSARs forskningsavdeling, vil norske eksperter kunne bidra til å vurdere de data som vil fremkomme i det foreslåtte globale systemet. Dette betyr at Norge vil kunne spille en aktiv rolle i kontrollen av at en eventuell prøvestansavtale overholdes.

Demonstrasjon av datautveksling i Genève, 1982

Et av de vanskeligste problemer i det globale overvåkningssystem som ble foreslått av den seismiske ekspertgruppen, er å oppnå rask og pålitelig utveksling av seismiske bølgeformdata mellom de enkelte stasjoner og de internasjonale datasentre. Det er her tale om meget store datamengder som må overføres fra tildels fjerntliggende stasjoner. Den norske representant i ekspertgruppen har hatt hovedansvar for denne siden av systemet, og NORSAR tok i denne forbindelse initiativ til å vise hvordan moderne mikroprosessorteknologi kunne nyttes i denne sammenheng.

I august 1982, ble en prototype av et slikt mikroprossessorbasert system demonstrert for FNs nedrustningskomité i Genève. NORSAR installerte det nødvendige utstyr i restauranten i Palais des Nations, inklusive grafiske og video skjermer til å vise de registrerte data. Via en vanlig telefonlinje ble forbindelse etablert til datasentre og seismiske stasjoner i Norge, USA og Australia, og seismiske data ble overført til Genève. Demonstrasjonen forløp meget vellykket, og viste til fulle at slik dataoverføring i dag kan utføres ved enkle midler. Dette var av spesiell viktighet siden enkelte representanter i ekspertgruppen tidligere hadde argumentert at overføring i større skala av slike data i det globale systemet ville by på så store praktiske problemer at det ikke kunne anbefales.

NORSAR er nå i ferd med å videreutvikle dette mikroprossessor-systemet med den hensikt å komme frem til en fullt ferdig løsning som kan inkorporeres i et eventuelt fremtidig overvåkningssystem. Dette prosjektet støttes finansielt av NTNf og Utenriksdepartementet.

Øvrig internasjonalt samarbeid

Som det framgår av listen over gjesteforskere, har NORSAR hatt et jevnt belegg med besøkende forskere som har beriket miljøet og som har ført til at en rekke nye problemstillinger er tatt opp og utviklet videre. Det gjelder bl.a. detaljstudier av jordens strukturen, seismisk bølgeforplantning i komplekse media, dynamisk kildemodellering, dataprosesseringsteknikker og seismiske magnituberegninger av jordskjelv og underjordiske eksplosjoner.

NORSAR har etablert forskningssamarbeid med en rekke internasjonalt anerkjente universiteter og forskningsinstitusjoner, og blant disse kan nevnes Cambridge University (UK), MIT og Harvard (USA), og Institute of Physics of the Earth (Moscow). I årene siden 1970 er det også etablert nordisk samarbeid innen deteksjonsseismologi, og dette samarbeid er blitt videreført, spesielt via årlige nordiske seminarer innen dette fagfelt, med deltagelse av 30-40 seismologer fra de nordiske land.

NORSAR arrangerte i september 1980 en vitenskapelig konferanse (NATO Advanced Study Institute) med emneområde "Seismisk kildeidentifikasjon — jordskjelv eller underjordisk eksplosjon". Konferansen, som ble avholdt på Voksenåsen, samlet 93 deltagere fra 18 land, inklusive de fleste av verdens fremste eksperter på området. Formålet med konferansen var å oppnå en samlet fremstilling av "state-of-the-art" innen seismisk kildeidentifikasjon og tilgrensende fagfelter, samt å fokusere på de problemstillinger som krever fortsatt forskningssinnsats. Foredragene er senere utgitt i bokform (mer enn 800 sider) i NATO-ASI serien.

Publikasjoner

- Asudeh, I. (1982): Seismic structure of Iran from surface and body-wave data, *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 71, 715-730.
- Asudeh, I. (1982): Pn velocities beneath Iran, *Earth Planet. Sci. Lett.* 61, 136-142.
- Beretning for perioden 1.7.1976 - 31.12.1979, NTNF/NORSAR, Kjeller.
- Bungum, H. (1980): The Raniya Dam Project. Preliminary seismological considerations. Spesial rapport utarbeidet for VBB, Stockholm.
- Bungum, H. & P. Selnes (1981): Seismic study of the Kallstø-Kårstø area, part II. Rapport utarbeidet for Statoil.
- Bungum, H. & F. Ringdal (1981): Seismology and seismic risk analysis, *In: Norconsult A/S: Ayago-Nile Hydroelectric Project, Uganda, Final Report.*
- Bungum, H. & F. Ringdal (1982): Turkwel Gorge multipurpose project. Further seismological considerations. Rapport utarbeidet for NORAD.
- Bungum, H. & F. Ringdal (1982): Earthquake study for the Block 34/10 B-platform. Rapport utarbeidet for Norges Geotekniske Institutt.
- Bungum, H. & F. Ringdal (1982): Stiegler's Gorge Power Project. Seismic Risk Analysis — Phase II. Rapport utarbeidet for A/S Hafslund/NORAD.
- Bungum, H., Y. Kristoffersen & A.K. Nilsen (1981): The seismicity of the Bouvetøya region, *Norsk Polarinst. Skrifter* 175, 71-78.
- Bungum, H., B.J. Mitchell & Y. Kristoffersen (1982): Concentrated earthquake zones in Svalbard, *Tectonophysics* 82, 175-188.
- Bungum, H., S. Pirhonen & E.S. Husebye (1980): Crustal thickness in Fennoscandia, *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 63, 759-744.
- Bungum, H., F. Ringdal & E.S. Husebye (1982): Earthquake study for Block 31/2. Rapport utarbeidet for A/S Norske Shell.
- Bungum, H., T. Risbo & E. Hjortenberget (1981): Application of vibroseismic vibrations generated by hydroelectric dam for study of variations of seismic velocities. *In: Study of the Earth by Nonexplosion Seismic Sources* (A.V. Nikolaev & I.N. Galin, eds.), (in Russian), Nauka Moscow, 248-259.
- Bungum, H., S. Vaage & E.S. Husebye (1982): The Meløy earthquake sequence, northern Norway; Source parameters and their scaling relations, *Bull. Seism. Soc. Am.* 72, 197-206.
- Christoffersson, A. & F. Ringdal (1981): Optimum approaches to magnitude measurements, *In: Identification of Seismic Sources — Earthquake or Underground Explosion* (E.S. Husebye & S. Mykkeltveit, eds.).
- Doornbos, D.J. (1981): The effect of a second-order velocity discontinuity on elastic waves near their turning point, *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 64, 499-511.
- Doornbos, D.J. (1981): Seismic moment tensors, *In: Identification of Seismic Sources — Earthquake or Underground Explosion* (E.S. Husebye & S. Mykkeltveit, eds.).
- Doornbos, D.J. (1982): Seismic moment tensors and kinematic source parameters, *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 69, 235-251.
- Doornbos, D.J. (1982): Seismic source spectra and moment tensors, *Phys. Earth Planet. Inter.* 30, 214-227.
- Gjøystdal, H. (1980): Ray-tracing in complex 3-D geological models, *NORSAR Technical Report No. 1/80.*
- Gjøystdal, H. (1980): Seismic methods in metamorphic rocks, *NORSAR Technical Report 2/80.*

- Gjøystdal, H. (1980): Computation of seismic ray paths between given source and receiver line in a complex 3-D model, NORSAR Technical Report No. 3/80
- Gjøystdal, H. (1980): A general computer algorithm for calculating zero-value contours of a bivariate scalar function, with special application to seismic ray tracing in complex 3-dimensional models, NORSAR Technical Report No. 4/80.
- Gjøystdal, H., J.E. Reinhardsen & B. Ursin (1981): Travel time and wavefront curvature calculations in inhomogeneous layered media with curved interfaces, NORSAR Tech. Rep. 2/81. (Submitted to Geophysics)
- Gjøystdal, H. & B. Ursin (1981): Inversion of reflection times in three dimensions, *Geophysics* 46, 972-983.
- Gjøystdal, H. & J.E. Reinhardsen (1982): 3-D seismic modelling by use of dynamic ray-tracing, Proceedings NPF møte, Kristiansand, mars 82.
- Hove, K., P.B. Selnes & H. Bungum (1982): Seaquakes: A potential threat to offshore structures. *In: Proceedings of the Third International Conference on the Behaviour of Offshore Structures* (C. Chrystosonides & J.J. Connor, eds.), McGraw-Hill International Book Co., Vol. 2, 561-571.
- Hovland, J. & E.S. Husebye (1981): Three-dimensional seismic velocity image of the upper mantle beneath southeastern Europe, *In: Identification of Seismic Sources — Earthquake or Underground Explosion* (E.S. Husebye & S. Mykkeltveit, eds.).
- Hovland, J., D. Gubbins & E.S. Husebye (1981): Upper mantle heterogeneities beneath central Europe, *Geophys. J.R. Astr. Soc.* 66, 261-284.
- Hovland, J. & E.S. Husebye (1982): Upper mantle heterogeneities beneath Eastern Europe, *Tectonophysics* 90, 137-151.
- Husebye, E.S. & H. Bungum (1981): New crustal thicknesses for Fennoscandia, *Geol. För. Stockholm Förh.* 103, 1-8.
- Husebye, E.S. & S. Mykkeltveit (1981): Identification of Seismic Sources — Earthquake or Underground Explosion, Proceedings NATO ASI Oslo, 1980, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, The Netherlands
- Husebye, E.S. & J. Hovland (1982): On upper mantle heterogeneities beneath Fennoscandia, *Tectonophysics* 90, 1-17.
- Husebye, E.S. & F. Ringdal (1980): Seismic design for a Tripod. Report prepared for Norwegian Contractors.
- Kristoffersen, Y. & H. Bungum (1982): A microearthquake survey of Bouvet Island, South Atlantic, *Tectonophysics* 81, T1-T5.
- Kristoffersen, Y., E.S. Husebye, H. Bungum & S. Gregersen (1982): Seismic investigations of the Nansen Ridge during the FRAM I experiment, *Tectonophysics* 82, 57-68.
- Mykkeltveit, S. (1980): A seismic profile in southern Norway. *Pure Appl. Geophys.*, 118, 1310-1325.
- Mykkeltveit, S., E.S. Husebye & C. Oftedahl (1980): Subduction of the crust beneath the Møre Gneiss Region, Southern Norway, *Nature* 288, 473-475.
- Mykkeltveit, S. & E.S. Husebye (1981): Lg wave propagation in Eurasia, *In: Identification of Seismic Sources — Earthquake or Underground Explosion* (E.S. Husebye & S. Mykkeltveit, eds.).
- Mykkeltveit, S. & F. Ringdal (1981): Phase identification and event location at regional distance using small-aperture array data, *In: Identification of Seismic Sources — Earthquake or Underground Explosion* (E.S. Husebye & S. Mykkeltveit, eds.).
- Nilsen, A.Kr. (1980): Semiannual Technical Summary, 1 Oct 79 — 31 Mar 80, NORSAR Sci. Rep. No. 2-79/80.
- Nilsen, A.Kr. (1980): Semiannual Technical Summary, 1 Apr — 30 Sep 1980, NORSAR Sci. Rep. No. 1-80/81.
- Nilsen, A.Kr. (1981): Semiannual Technical Summary, 1 Oct 80 — 31 Mar 81, NORSAR Sci. Rep. No. 2-80/81.
- Nysæter, A. (1981): Quadratic versus linear envelope beamforming for seismic event detection, NORSAR Tech. Rep. 3/81.

- Reinhardsen, J.E. (1981): Dynamic ray-tracing in complex three dimensional media, NORSAR Tech. Rep. 1/81.
- Ringdal, F. (1981): Automatic processing methods in the analysis of data from a global seismic network, *In: Identification of Seismic Sources — Earthquake or Underground Explosion* (E.S. Husebye & S. Mykkeltveit, eds.).
- Ringdal, F. & E.S. Husebye (1982): Application of seismic arrays for detection, location and identification of seismic events, *Bull. Seism. Soc. Am.* 72, S201-S224.
- Ringdal, F. & E.S. Husebye (1981): Seismic study of the Kallstø-Kårstø area. Rapport utarbeidet for Statoil.
- Ringdal, F. & E.S. Husebye (1981): Seismic study of the Alta and Ulla-Førre area. Rapport utarbeidet for Norges Geotekniske Institutt/Norges Vassdrags- og elektrisitetsvesen.
- Ringdal, F., H. Bungum & E.S. Husebye (1981): Sleipner-earthquake design study. Rapport utarbeidet for Norges Geotekniske Institutt.
- Ringdal, F., E.S. Husebye, H. Bungum, S. Mykkeltveit & O.A. Sanvin (1982): Earthquake hazard offshore Norway. Rapport utarbeidet for NTNFs Sikkerhet på Sokkelen komité.
- Sandvin, O.A. & D. Tjøstheim (1981): A numerical comparison of two criteria for determining the order of AR processes, *Math. Operationsforsch. Statist. Ser. Statistics* 12, No. 1, 1-9.
- Torstveit, J. (1981): Semiannual Technical Summary, 1 Apr — 30 Sep 81, NORSAR Sci. Rep. No. 1-81/82.
- Torstveit, J. (1982): Semiannual Technical Summary, 1 Oct 81 — 31 Mar 82, NORSAR Sci. Rep. No. 2-81/82.
- Troitskiy, P., E.S. Husebye & A. Nikolaev (1981): Lithospheric studies based on holographic principles, *Nature* 294, 618-623.
- Tronrud, L.B. (1982): Semiannual Technical Summary, 1 Apr — 30 Sep 82, NORSAR Sci. Rep. 1-82/83.
- Tryggvason, K. (1981): 3-D mapping of the Iceland hot spot, NORSAR Tech. Rep. 4/81

(Foredragsholder)

- Bungum, H.: A new procedure for automated arrival time analysis of local and regional earthquake recordings, 11th Nordic Seminar on Detection Seismology, Copenhagen, mai 1980.
- Bungum, H.: Seismicity of the Stiegler's Gorge area, Tanzania. 11th Nordic Seminar on Detection Seismology, Copenhagen, Denmark, mai 1980.
- Bungum, H., Y. Kristoffersen & B.K. Hokland: A microearthquake survey of the Svalbard region, final results, Phase I. 11th Nordic Seminar on Detection Seismology, Copenhagen, Denmark, mai 1980.
- Bungum, H., J. Fyen & E.S. Husebye: Hypocentral distribution, focal mechanisms, and tectonic implications of Fennoscandian earthquakes 1954-1978, 14. Nordiske Vintermøte, Bergen, januar 1980.
- Bungum, H.: Automatic determination of arrival time, amplitude and period in analysis of teleseismic events. 12th Nordic Seminar on Detection Seismology, Reykjavik, Iceland, juni 1981.
- Bungum, H.: Concentrated earthquake zones in Svalbard. 12th Nordic Seminar on Detection Seismology, Reykjavik, Iceland, juni 1981.
- Bungum, H.: Concentrated earthquake zones in Svalbard. IASPEI 21st General Assembly, London, Canada, juli 1981.
- Bungum, H., S. Vaage & E.S. Husebye: The Meløy earthquake sequence, northern Norway; source parameters and their scaling relations. IASPEI 21st General Assembly, London, Canada, juli 1981.
- Bungum, H.: Microseismicity and tectonic implications in the Stiegler's Gorge area, Tanzania. European Geophysical Society and European Seismological Commission, Leeds, U.K., august 1982.
- Bungum, H. & S. Mykkeltveit: Real-time analysis of data from small-aperture arrays. European Geophysical Society and European Seismological Commission, Leeds, U.K., august 1982.
- Bungum, H., D.J. Doornbos, E.S. Husebye, S. Mykkeltveit & K. Åstebøl: Seismic array configuration optimization. DARPA Symposium on Seismic Detection Analysis, Discrimination and Yield Determination, Hampton, Virginia, USA, mai 1982.
- Bungum, H.: Jordskjelv i Norge. Trondheim Geologiske Forening, Trondheim, Norway, november 1982.
- Doornbos, D.J.: The core-mantle boundary. IUGG Conference "Mathematical Problems of the Thermal and Dynamic State of the Earth", Lake Arrowhead, USA, juli 1980.
- Doornbos, D.J.: Seismic moment tensors. NATO Advanced Study Institute, Identification of seismic sources — earthquake or underground explosion, Oslo, september 1980.
- Doornbos, D.J.: Representation of seismic sources. University of Uppsala, april 1981.
- Doornbos, D.J.: Source parameter estimation. University of Uppsala, april 1981.
- Doornbos, D.J.: Some recent seismic results about the core-mantle boundary and the core. IASPEI 21st General Assembly, London, Canada, juli 1981.
- Doornbos, D.J.: Seismic moment tensors and kinematic source parameters. IASPEI 21st General Assembly, London, Canada, juli 1981.

Doornbos, D.J.: Seismic source retrieval from long and short period data. DARPA Symposium on Seismic Detection Analysis, Discrimination and Yield Determination, Hampton, Virginia, USA, mai 1982.

Doornbos, D.J.: Seismic source spectra and moment tensors. American Geophysical Union, Spring meeting, Philadelphia, Pennsylvania, USA, juni 1982.

Doornbos, D.J.: Seismic source retrieval from long and short period data. IUGG Conference "Mathematical Geophysics", Bonas, France, juni 1982.

Fyen, J.: New trends at NORSAR computer center. 11th Nordic Seminar on Detection Seismology, Copenhagen, Denmark, mai 1980.

Gjøystdal, H.: Ray-tracing in complex 3D geological models. 11th Nordic Seminar on Detection Seismology, Copenhagen, Denmark, mai 1980.

Gjøystdal, H., J.E. Reinhardsen & B. Ursin: Travel time and wavefront curvature calculations in inhomogeneous layered media with curved interfaces. Society of Exploration Geophysicists meeting, Los Angeles, USA, oktober 1981.

Gjøystdal, H., J.E. Reinhardsen & B. Ursin: Travel time and wavefront curvature calculations in inhomogeneous layered media with curved interfaces. European Association of Exploration Geophysicists meeting, Cannes, France, juli 1982.

Gjøystdal, H., J.E. Reinhardsen & K. Åstebøl: 3D seismic modelling by use of ray-tracing techniques. 13th Nordic Seminar on Detection Seismology, Helsingfors, Finland, mai 1982.

Gjøystdal, H. & J.E. Reinhardsen: 3D seismic modelling by use of dynamic ray-tracing techniques. Seminar on 3D Seismic Techniques, Kristiansand, mars 1982.

Gjøystdal, H. & J.E. Reinhardsen: 3D seismic modelling by use of dynamic ray-tracing techniques. European Association of Exploration Geophysicists meeting, Cannes, juni 1982.

Hoff, T.: NORSAR computing center. 12th Nordic Seminar on Detection Seismology, Reykjavik, Iceland, juni 1981.

Hovland, J., E.S. Husebye & D. Gubbins: Structural heterogeneities in the upper mantle beneath Central Europe. 14. Nordiske Vintermøte, Bergen, januar 1980 og 11th Nordic Seminar on Detection Seismology, Copenhagen, Denmark, mai 1980.

Hovland, J. & E.S. Husebye: Three-dimensional seismic velocity image of the upper mantle beneath southeastern Europe. 12th Nordic Seminar on Detection Seismology, Reykjavik, Iceland, juni 1981.

Hovland, J. & E.S. Husebye: Upper mantle heterogeneities beneath Eastern Europe. European Geophysical Society møte, Uppsala, august 1981.

Hovland, J. & E.S. Husebye: 3-D seismic mapping of upper mantle heterogeneities beneath various parts of Europe. EGS/ESC møte, Leeds, U.K., august 1982.

Husebye, E.S., K. Åstebøl & S. Mykkeltveit: Analysis of signal and noise recordings from the NORESS mini-array. 12th Nordic Seminar on Detection Seismology, Reykjavik, Iceland, juni 1981.

Husebye, E.S.: P wave velocity anomalies in the mantle beneath central Europe. DARPA Symposium on Seismic Propagation at Regional Distance Ranges and Source Characterization, Grand Island, New York, USA, mai 1980.

Husebye, E.S., H. Bungum & S.E. Pirhonen: Crustal thicknesses in Fennoscandia, 14. Nordiske Vintermøte, Bergen, januar 1980.

Husebye, E.S., J. Hovland & D. Gubbins: Upper mantle heterogeneities beneath Central Europe. AGU møte, Toronto, Canada, mai 1980.

Husebye, E.S. & J. Hovland: 3-D seismic mapping of the upper mantle beneath various parts of Europe. NATO Advanced Study Institute, Identification of seismic sources — earthquake or underground explosion, Oslo, september 1980.

Husebye, E.S.: Source mechanisms — moment tensor analysis, DARPA Program Review, Washington D.C., USA, november 1980.

Husebye, E.S. & J. Hovland: 3-dimensional mapping of upper mantle heterogeneities. DARPA Program Review, Washington D.C., USA, november 1980.

Husebye, E.S. & J. Hovland: On upper mantle heterogeneities beneath Fennoscandia. European Geophysical Society møte, Uppsala, august 1981.

Husebye, E.S., S. Mykkeltveit, K. Åstebøl & D.J. Doornbos: Seismic array configuration optimization. Seismological Society of America møte, California, mai 1982.

Kristoffersen, Y., E.S. Husebye, B. Johansen & B.L.N. Kennett: Pilot study on seismic exploration in the Arctic Ocean during the FRAM IV expedition, March-May 1982, Offshore Northern Seas Conference, Stavanger, november 1982.

Mereu, R.F., S. Mykkeltveit & E.S. Husebye: An extensive search for deterministic later arrival phases in FENNOLORA recordings at NORSAR. IASPEI 21st General Assembly, London, Ontario, Canada, juli 1981.

Mykkeltveit, S.: Large-scale overthrusting in the Norwegian Caledonides — seismic evidence of deep-seated sediments. 14. Nordiske Geologiske Vintermøte, Bergen, januar 1980.

Mykkeltveit, S. & H. Bungum: Crustal phase velocities and azimuths from an experimental small aperture array. 11th Nordic Seminar on Detection Seismology, Copenhagen, Denmark, mai 1980.

Mykkeltveit, S. & F. Ringdal: Crustal phase velocities and azimuths from an experimental small subarray within the NORSAR array. DARPA Symposium on Seismic Propagation at Regional Distance Ranges and Source Characterization, Grand Island, New York, USA, mai 1980.

Mykkeltveit, S.: Phase identification at regional distance using data from a mini-aperture seismic array. NATO Advanced Study Institute, Identification of Seismic Sources — earthquake or underground explosion, Oslo, september 1980.

Mykkeltveit, S. & E.S. Husebye: Lg wave propagation in Eurasia, DARPA Program Review, Washington D.C., USA, november 1980.

Mykkeltveit, S. & B.R. Cassell: Crustal structure in the North Sea near Lista, Southern Norway. 9th Annual Meeting EGS/ESC, Leeds, U.K., august 1982.

Mykkeltveit, S. & H. Bungum: Short-period seismic noise and its effect on array configurations. 9th Annual Meeting EGS/ESC, Leeds, U.K., august 1982.

Mykkeltveit, S., B.R. Cassell, R. Kanestrøm & E.S. Husebye: Crustal structure along a profile from Lista to NORSAR. 13th Nordic Seminar on Detection Seismology, Espoo, Finland, mai 1982.

Pirhonen, S.E., H. Bungum & E.S. Husebye: New crustal thickness results for Fennoscandia, 11th Nordic Seminar on Detection Seismology, Copenhagen, Denmark, mai 1980.

Ringdal, F. & S. Mykkeltveit: Regional location capability of the small aperture NORSAR subarray. DARPA Symposium on Seismic Propagation at Regional Distance Ranges and Source Characterization, Grand Island, New York, USA, mai 1980.

Ringdal, F.: Automatic processing methods in the analysis of data from a global seismic network (invited paper), NATO Advanced Study Institute, Identification of seismic sources — earthquake or underground explosion, Oslo, september 1980.

Ringdal, F.: NORSARs virksomhet og arbeidet for verifikasjonssystemer i CTB-sammenheng. Utvalget for rustningskontroll og nedrustning, mars 1981.

Ringdal, F.: Relative location of regional events using travel time differentials between P arrival branches. DARPA Program Review on Seismic Wave Propagation and Source Characterization, Las Vegas, Nevada, USA, mai 1981.

Ringdal, F.: Geophysical research at the Norwegian Seismic Array, Potomac Geophysical Society, Washington D.C., USA, September 1981.

Ringdal, F. & E.S. Husebye: Application of arrays in the detection, location and identification of seismic events (invited paper). Symposium on Test Ban Treaty Verification Research, Anaheim, California, USA, april 1982.

Ringdal, F., S. Mykkeltveit & H. Bungum: On-line analysis of data from small aperture arrays. DARPA Program Review on Seismic Detection, Analysis, Discrimination and Yield Determination, Hampton, Virginia, USA, mai 1982.

Ringdal, F.: Seismicity of the North Sea area (invited paper). NATO Advanced Study Institute Workshop on Seismicity and Seismic Risk in the North Sea Area. Utrecht, the Netherlands, juni 1982.

- Ringdal, F.: The role of NORSAR in the verification of a future Comprehensive Test Ban. Orientering for det norske og finske nedrustningsutvalg, Kjeller, oktober 1982.
- Ringdal, F.: Jordskjelvrisiko på kontinentalsokkelen, Sikkerhet på Sokkelen sluttkonferanse, Stavanger, november 1982.
- Tryggvason, K.: Depth extent on the Icelandic Mid-oceanic Rift System. 11th Nordic Seminar on Detection Seismology, Copenhagen, Denmark, mai 1980.
- Åstebøl, K., E.S. Husebye, S. Mykkeltveit & D.J. Doornbos: Seismic mini-array configuration optimization. 13th Nordic Seminar on Detection Seismology, Helsingfors, mai 1982.