

NORSAR Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

BERETNING FOR PERIODEN

1.7.1976 — 31.12.1979



NORSAR

BERETNING

for perioden
1.7.1976—31.12.1979

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

INNHold

FORMÅL—LEDELSE	5
PERSONELL—ØKONOMI.....	7
GENERELL BAKGRUNN	11
DAGLIG DRIFT	13
FORSKNING OG UTVIKLING	19
INTERNASJONALT SAMARBEID	31
PUBLIKASJONER	33
FOREDRAG	39

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. 31/12-79):

Direktør K. Høeg, formann.
Forskningsjef H. Nødtvedt
Byråsjef K.-O. Lie

Daglig ledelse

Prosjektleder: Siv. ing. N. Marås (til 1.7.78)
Dr. philos. F. Ringdal (fra 1.7.78)
Forskning: Fil.dr. & Dr. philos. E. S. Husebye.

PERSONELL—ØKONOMI

Personell pr. 31.12 1979

U&H utdannet personell	7
Ingeniører.	3
Annet personell	7
I alt.	17

Ansatte

Bungum, Hilmar	✓ Nilsen, Alf Kr.
Fyen, Jan	✓ Rasmussen, May
Gjøystdal, Håvar	Ringdal, Frode
✓ Hansen, Oddmund	Sandvin, Ottar A.
✓ Hoff, Thor	✓ Schatvet, Hans Kr.
✓ Hokland, Bernt Kr.	✓ Solbakken, Magne
Husebye, Eystein S.	✓ Torstveit, Jørgen.
✓ Larsen, Paul W.	✓ Tronrud, Linda B.
Mykkeltveit, Svein	

Stipendiater/gjesteforskere m.v.

NTNF Postdoctorate stipend

R.A.W. Haddon, Dept. of Applied Mathematics, University of Sydney.

P. Troitskiy, Institute of Physics of the Earth, Moscow, USSR.

Senior Scientist Visiting stipend

I.S. Sacks, Carnegie Institute, Washington, D.C., USA

Gjesteforskere:

E. Bisztricsany, Academy of Sciences of Hungary, Budapest, Hungary.

A. Christoffersson, Inst. for Statistics, University of Uppsala, Sweden.

J. Claerbout, Stanford University, California, USA.

D. Doornbos, Vening Meinesz Laboratorium, University of Utrecht, The Netherlands.

P. C. England, Dept. of Geodesy & Geophysics, University of Cambridge, U.K.

K. Fuchs, Geophysical Institute, University of Karlsruhe, Federal Republic of Germany.
D. Gubbins, Dept. of Geodesy & Geophysics, University of Cambridge, U.K.
R. Graf, ETH, Zurich, Switzerland.
A. Hardmeier, ETH, Zurich, Switzerland.
S. Kirkwood, Institute of Geological Sciences, Edinburgh, U.K.
A. Lander, Institute of Physics of the Earth, Moscow, USSR.
B. Mitchell, St. Louis University, USA.
M. Mizoue, University of Tokyo, Japan.
A. Nikolaev, Institute of Physics of the Earth, Moscow, USSR.
I. Noponen, Institute of Seismology, University of Helsinki, Finland.
S. Pirhonen, Institute of Seismology, University of Helsinki, Finland.
H. C. Rodean, Lawrence Livermore Laboratory, California, USA.
D. Seidl, Geophysical Institute, Erlangen, Federal Republic of Germany.
J. Singh, Institute of Geological Sciences, Edinburgh, U.K.
W. Stammer, Geophysical Institute, Erlangen, Federal Republic of Germany.
R. Stefansson, Vedurstofan Islands, Reykjavik, Iceland.
T. van Eck, Institute of Seismology, University of Uppsala, Sweden.
L. Vinnik, Institute of Physics of the Earth, Moscow, USSR.
E. G. Wolff, Fundacion Venezolana de Investigaciones Seismologicas, Caracas, Venezuela.

Doktoravhandlinger med grunnlag i arbeid ved NORSAR:

Frode Ringdal (1977) Dr. philos., Universitetet i Oslo.

Hovedfagsstudenter (seismologi og anvendt matematikk):

Kåre Aasen, Universitetet i Oslo (eksamen 1977).
Ottar Audun Sandvin, Universitetet i Bergen (eksamen 1977)
Jan Fyen, Universitetet i Oslo (eksamen 1978).
Jon Erik Reinhardsen, Universitetet i Bergen.
Jan Hovland, Universitetet i Oslo.
Arild Nysæther, Universitetet i Oslo.
Kristjan Tryggvason, Universitetet i Oslo og Universitetet i Reykjavik.

Økonomi

Utgifter	15 mill. kr.
Bevilgning (ARPA*)	11.4 mill. kr.
Bevilgning (NTNF)	2.2 mill. kr.
Oppdragsinntekter	2.1 mill. kr.

*Advanced Research Projects Agency, USA.

GENERELL BAKGRUNN

NORSAR (Norwegian Seismic Array) er etablert som et ledd i anstrengelsene 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 1967 (St. prp. nr. 128 av 1967/68). Byggingen av feltanleggene ble utført av Forsvarets forskningsinstitutt i perioden 1968—69.

Siden 1. juli 1970 er NORSAR administrert av Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd. NORSAR har etablert seg som en åpen, internasjonal forskningssinstitusjon, hvor seismologer fra øst og vest har kunnet samarbeide og utveksle ideer og erfaringer. Forskere fra i alt 20 land har oppholdt seg ved NORSAR i kortere eller lengre tid (opp til 2 år) i forskningsøyemed. Et spesielt nært samarbeid er etablert med de øvrige nordiske land, og årlige nordiske konferanser avholdes for å diskutere vitenskapelige problemer og forskningsplaner innen det aktuelle felt. Totalt har denne forskningsvirksomheten resultert i et stort antall vitenskapelige publikasjoner og har skaffet NORSAR internasjonal anerkjennelse som et av verdens ledende forskningssentre innen deteksjonsseismologi.

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 da-

ta 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 for å forberede overgangen til en eventuell overvåkingsfunksjon for en fullstendig prøvestansavtale. Som et ledd i dette ble anleggets størrelse redusert fra 22 til 7 understasjoner, og operatørbemanningen ble skåret ned. Forskningsvirksomheten ved anlegget ble imidlertid opprettholdt i uforandret omfang.

Selv om hovedformålet ved NORSAR har vært forskning og eksperimenter for å forberede overvåking av en fullstendig prøvestansavtale, har avdelingen etterhvert utvidet sin forskningsvirksomhet til også å omfatte andre grener av anvendt seismologi og geofysikk. NORSAR står i dag i første rekke i Skandinavia når det gjelder vurdering av jordskjelvrisiko i forbindelse med store industrielle installasjoner (kjernekraftverk, damanlegg, offshoreinstallasjoner, etc) og innen jordskjelvovervåking generelt. Avdelingen utfører også forskningsvirksomhet innen seismisk prospektering, og da spesielt innen feltet malmløsing ved seismiske metoder.

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 et datasenter på Kjeller. Dette senteret har i tillegg kontinuerlig forbindelse med et tilsvarende anlegg i USA, og data utveksles også med en rekke andre seismologiske observatorier rundt om i verden.

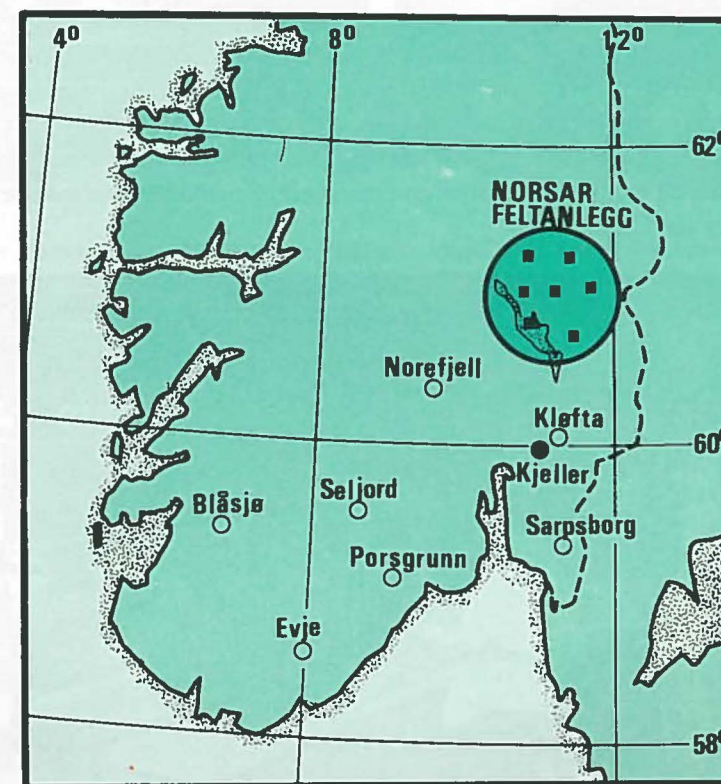


Fig. 1

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 skal nyttes 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 registreringsinstrument etter det andre. I løpet av 0.05 sekunder vil alle instrumentene være avlest én 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 bli 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 bedømmes. Enkelte av seismometrene er mer ustabile enn andre og krever en høyere grad av påpasselighet. Disse kan derfor både testes og kalibreres fra datasentret. Kalibreringen foretas av start- og stoppsignaler til små elektromotorer innebygd i instrumentene.

Et spesielt overvåkingspanel, som vist i Figur 2, nyttes i forbindelse med den ovennevnte testing og kalibrering av instrumenteringen. Seismometrene som benyttes ved NORSAR er vist i Figur 3 og 4.



Fig. 2
 Datasenterets hovedpanel for overvåking av feltinstallasjoner og data. Fra dette panelet kan operatøren følge de seismiske registreringer i sann tid, og i tillegg kontrollere at feltinstrumentene fungerer tilfredsstillende.

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

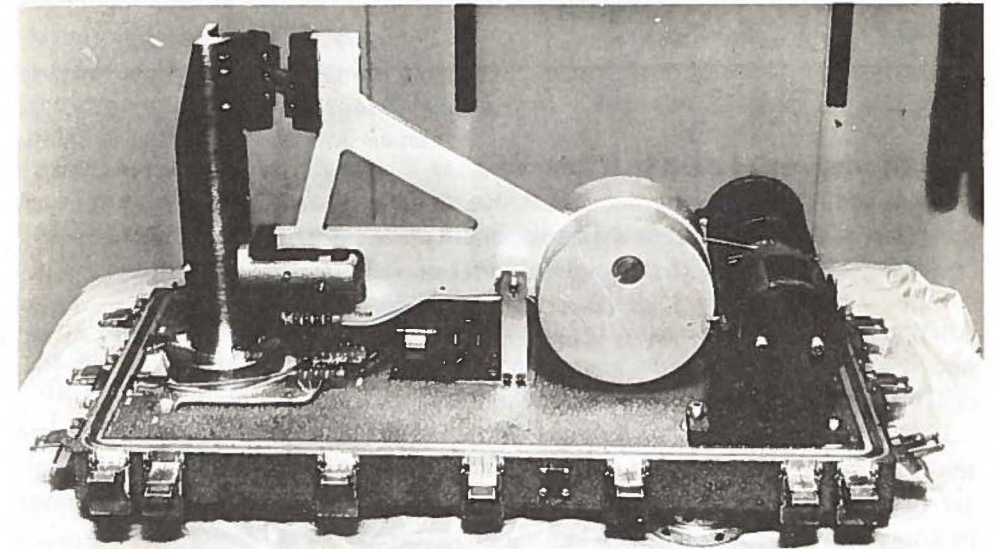


Fig. 3
 Seismometer (Geotech model 8700C) for registrering av langperiodiske overflatebølger med svingetid rundt 20 sekunder. Instrumentet er ca 60 cm langt og veier ca 60 kg, hvorav selve svingemassen utgjør 10 kg.

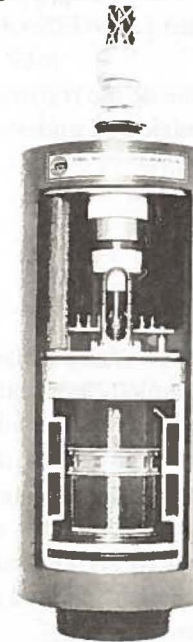


Fig. 4
 Seismometer (Hall-Sears HS-10) for registrering av kortperiodiske bølger med svingetid rundt 1 sekund. Instrumentet er 22,5 cm langt med en diameter på 11,1 cm. Vekten er ca 4 kg, hvorav svingemassen utgjør ca 0.85 kg.

NORSARs datasenter på Kjeller

NORSARs 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 består av to identiske maskinkonfigurasjoner med en omfattende kapasitet for datalagring. NORSARs arkiv på 13.000 magnetbånd utgjør en av de største seismiske datasamlinger som i dag eksisterer.

Deteksjonsanalysen

Analysen av de seismiske data 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 antennepriippet, 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 NORSAR's 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 — vil bli brukt under den påfølgende hendelsesanalyse.

Hendelsanalysen

Dette er annet og siste ledd i den rutinemessige analyse av de seismiske registreringer fra NORSAR, og samtidig det 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, dybde 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 1.7.76 til 31.12.79. NORSAR utgir forøvrig en månedlig jordskjelvkatalog som fordeles til 64 seismologiske institusjoner verden over. Totalt i perioden er det rapportert vel 10 000 jordskjelv, ved siden av i alt 114 antatte underjordiske atomsprengninger. De fleste av de registrerte hendelser kan senere bekreftes av andre jordskjelvobservatorier, men i mange tilfelle er hendelsene så små at NORSAR er alene om å rapportere dem.

Oversikt over antallet jordskjelv og antatte kjernefysiske eksplosjoner rapportert ved NORSAR i tiden 1/7.76—31/12.79.

Halvår	Jordskjelv	Antatte kjernefysiske eksplosjoner
2/1976	1896*	18
1/1977	0*	7
2/1977	920*	15
1/1978	2359	9
2/1978	1618	31
1/1979	1680	13
2/1979	1550	21
Sum	10023	114

* Merk at det var et midlertidig opphold i rapporteringen av jordskjelv ved NORSAR i perioden 1/10.76—30/9.77 grunnet systemomlegging.

Identifisering av signaler fra jordskjelv og eksplosjoner

De elastiske bølger som oppstår som følge av en større seismisk hendelse (jordskjelv eller eksplosjon) gjennomtrenger hele jordens indre og kan i løpet av få minutter registreres av seismometre på store avstander. Vi skiller mellom to hovedtyper av seismiske bølger som vist på Figur 5, 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.

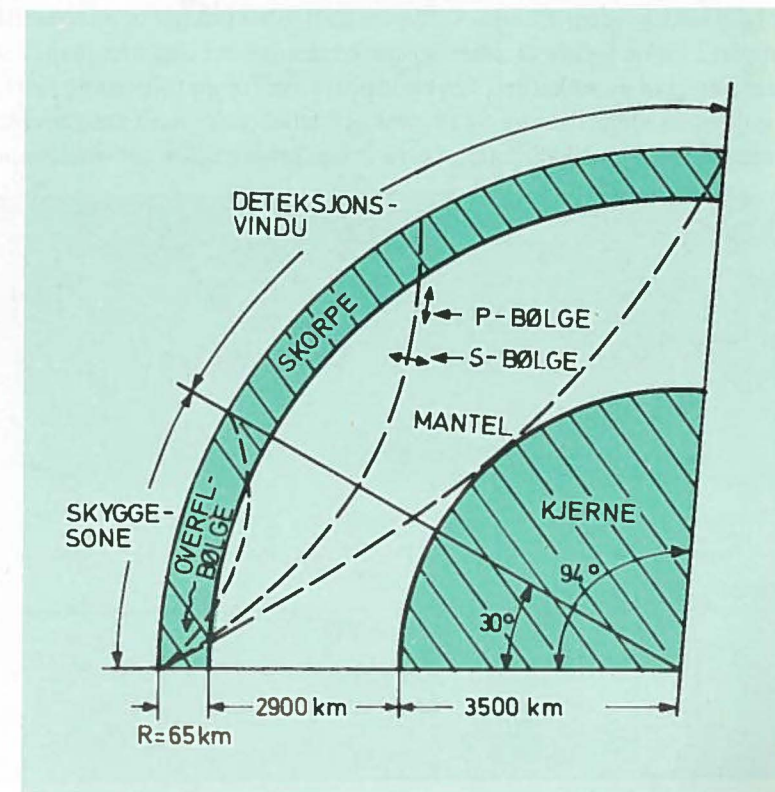


Fig. 5

Jordens oppbygging. Noen eksempler på bølgebaner for seismiske bølger er inntegnet. De klareste signalene registreres på avstander mellom 3000 og 10000 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 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 kjernfysiske eksplosjoner med en stor grad av sikkerhet. I Figur 6 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, og dets effektivitet er illustrert i Figur 7. I tillegg kan en fra Figur 6 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.

Eksemplet i Figur 6 viste at *store* seismiske hendelser i dag kan identifiseres med en relativt høy grad av sikkerhet. I et kontrollsystem for en fullstendig prøvestansavtale vil imidlertid identifisering av de *små* hendelser være mest tidskrevende og beheftet med de største usikkerheter. Dette er bakgrunnen for det omfattende forsk-

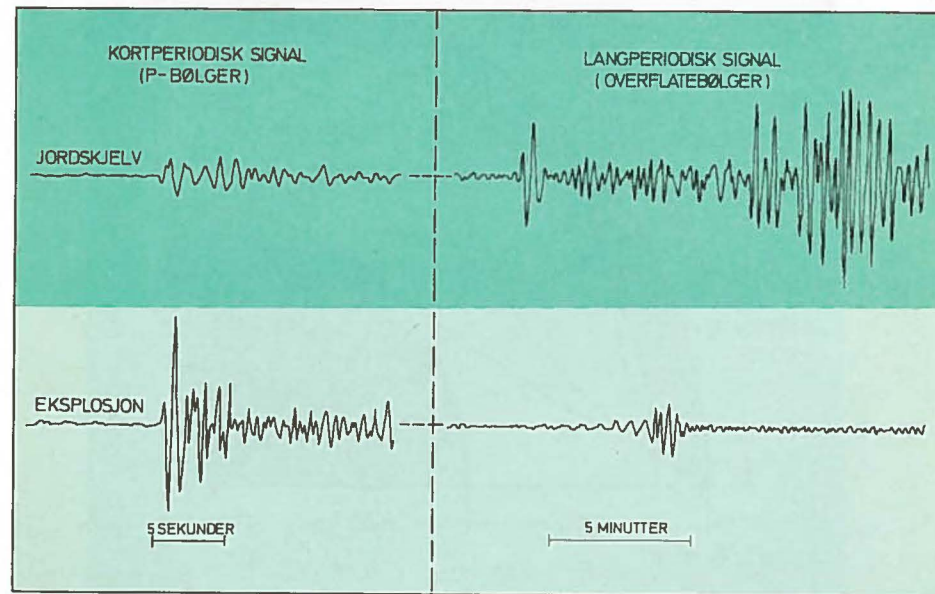


Fig. 6 Eksempel på NORSAR-registrerte signaler fra et jordskjelv (øverst) og en underjordisk eksplosjon (nederst). Forskjellen mellom de to typer registreringer kan klart identifiseres.

ningsarbeidet som fortsatt pågår med sikte på å forbedre deteksjons- og identifiseringssevnen 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 magnitudoestimater. Det eksisterer imidlertid et klart behov for ytterligere forskning på dette området.

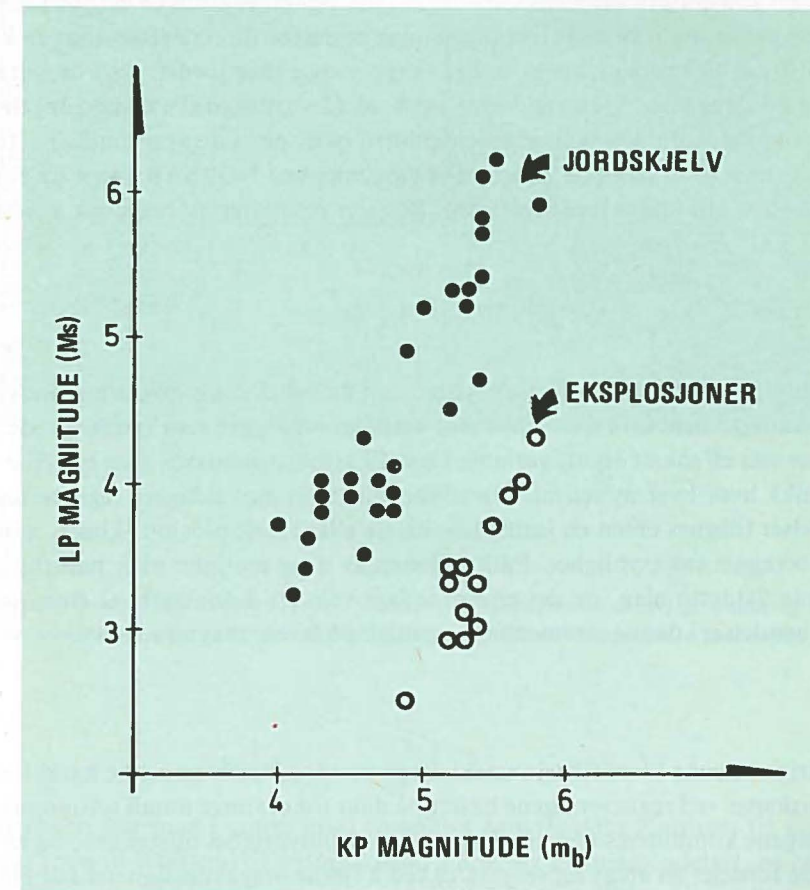


Fig. 7 Forholdet mellom kortperiodisk (KP) og langperiodisk (LP) magnitudo for en del jordskjelv og eksplosjoner fra Sentral-Asia. Diagrammet viser meget god separasjon mellom jordskjelv og eksplosjoner. Det må imidlertid påpekes at problemene med kildeidentifikasjon øker betydelig ved lavere magnitudoer.

Utvikling av nye klassifikasjonskriterier

NORSARs forskningsinnsats på dette felt har i de siste år vært konsentrert om problemstillinger i tilknytning til NORSAR-arrayens evne til å identifisere og klassifisere små seismiske hendelser samt til å detektere og lokalisere hendelser som forekommer i relativt liten avstand fra arrayen (dvs. 0—3000 km).

De fysiske utløsningsmekanismer for jordskjelv og underjordiske eksplosjoner er meget forskjellige, og mye av forskningen i dag er derfor direkte rettet mot en kartlegging av disse. Et problem her er at den meget komplekse jordstrukturen setter et sterkt preg på signalene, og en må derfor også søke å kartlegge alle større uregelmessigheter i jordens indre. Forskningsarbeidet hittil tyder på at de uregelmessige strukturer som i størst grad påvirker de seismiske signaler ved NORSAR ligger på et dyp av ca. 150—200 km under jordoverflaten. Dette er resultater av betydelig geofysisk interesse.

For å utnytte maksimalt den informasjon som de enkelte seismogram representerer, er det vanlig å benytte seg av statistiske metoder i tillegg til rent fysiske modeller. Sentralt her står en såkalt «multivariable klassifikasjonsprosedyre» som benytter seg av en teknikk hvor hver ny seismisk hendelse blir testet mot tidligere registreringer. Nye hendelser tilegnes enten en jordskjelv-klasse eller en eksplosjons-klasse, avhengig av en beregnet sannsynlighet. Påliteligheten av disse metoder øker naturlig nok med økende datagrunnlag, og det er derfor lagt vekt på å analysere et stort antall seismiske hendelser i denne sammenheng, spesielt på lavere magnitudenivå.

Første trinn i denne klassifikasjonsteknikken består i å måle en rekke karakteriserende egenskaper ved registreringene basert på data fra et større antall seismometre. Registreringene kombineres derved til en såkalt «multivariabel tidsrekke», og en utnytter da de fordeler en array representerer ved å fjerne uregelmessigheter i de enkelte registreringer som skyldes helt lokale forhold. Det neste trinn i analysene er å anvende en teknikk fra matematikken kalt prinsipalkomponent-analyse. Den endelige klassifikasjon foretas så ved å beregne to sannsynlighetsfordelinger og tilegne hver registrering den fordeling som gir størst sannsynlighet. Dette kalles «mønstergjenkjenning», og er en teknikk som har vist seg å gi vesentlig bedre resultater enn tidligere anvendte diskriminanter (se Figur 8). I tillegg kan den nye teknikken anvendes på et langt lavere magnitudenivå enn den tradisjonelle $m_b: M_s$ metoden.

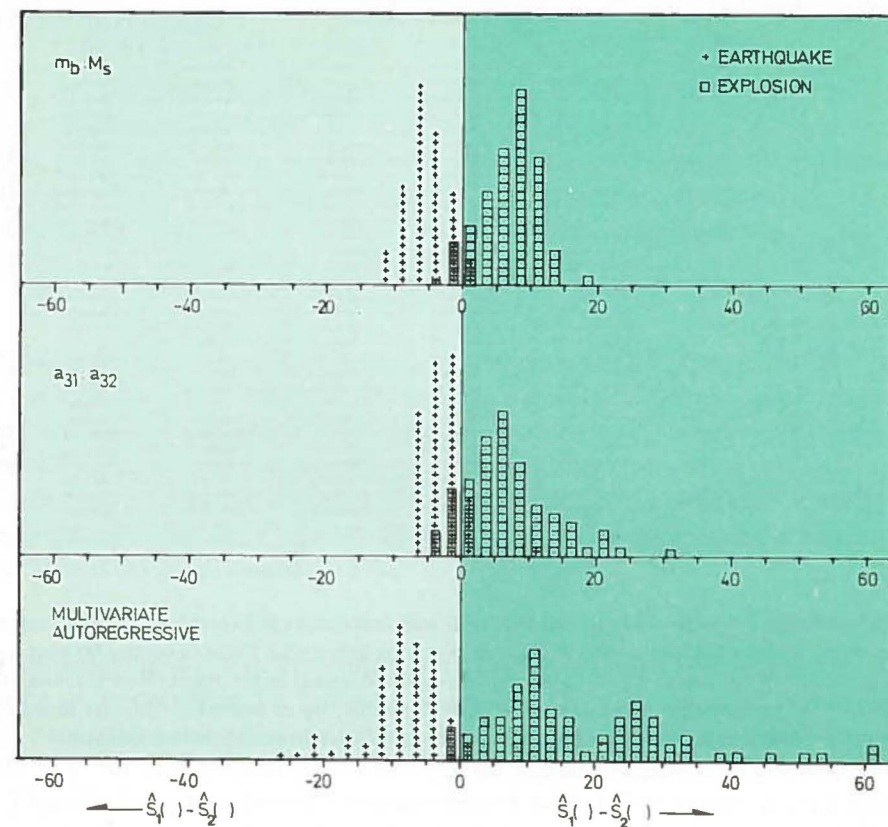


Fig. 8
Histogram som viser separasjonen mellom jordskjelv og eksplosjoner basert på 3 ulike identifikasjonskriterier. Best resultat viser den multivariable autoregressive teknikken representert nederst på figuren.

Etterhvert har man i større grad forsøkt å benytte data registrert på kortere avstander (opp til 3000 km) til seismisk diskriminering av små hendelser, og en database for dette er også blitt bygget opp ved NORSAR. Som diskriminant har en her tatt utgangspunkt i hvordan energien i signalet fordeler seg som funksjon av signalets frekvens, noe som illustreres i Figur 9. Eksplosjonene er generelt mer høy-frekvente enn jordskjelvene, og resultatet i diskriminerings-sammenheng er vist i Figur 10. Av 42 jordskjelv og 47 antatte eksplosjoner er alle unntatt 4 jordskjelv og 2 eksplosjoner klassifisert korrekt, og dette er et godt resultat tatt i betraktning at det her dreier seg om hendelser med meget svak signalstyrke.

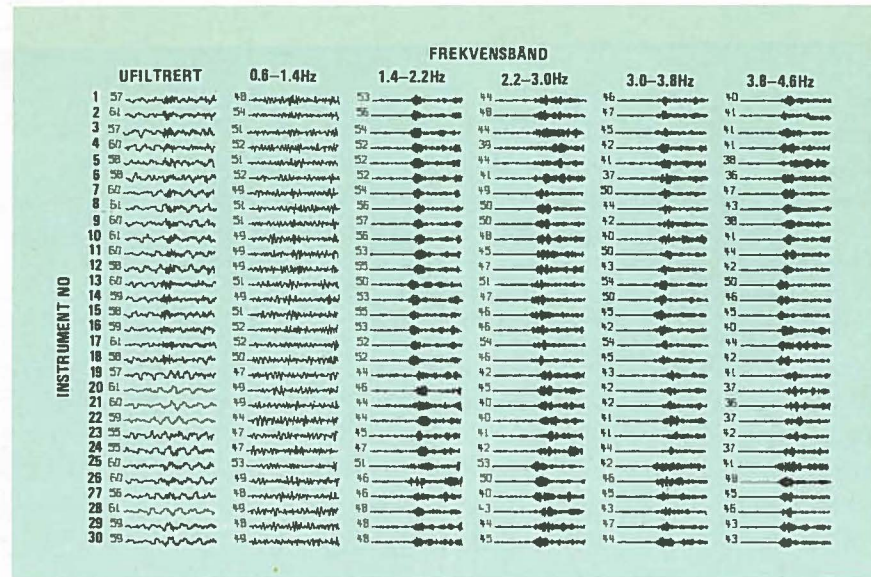


Fig. 9
Energifordelingen i P-bølger registrert ved NORSAR som funksjon av frekvensbånd. Signalene stammer fra en antatt underjordisk kjernefysisk eksplosjon av relativt liten styrke. Tallet til venstre for hver enkelt trase gir et uttrykk for energien i det tilhørende frekvensband som er angitt øverst i hver kolonne. 30 av NORSAR's 42 kortperiodiske instrumenter er vist på figuren, og en bemerker både det økende signal/støyforhold ved høye frekvenser og den store variasjon i signalstyrke mellom instrumentene.

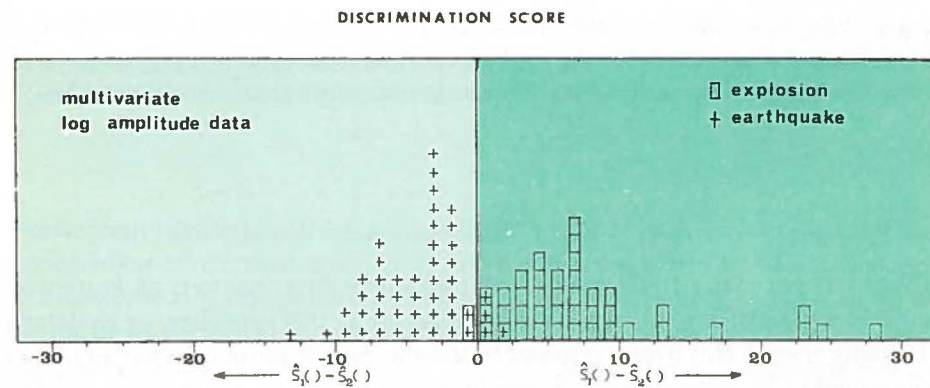


Fig. 10
Histogram som viser separasjonen innen en database av relativt små eksplosjoner og jordskjelv fra avstander inntil ca 4000 km. Separasjonen er god tatt i betraktning de store vanskeligheter som tradisjonelt har vært forbundet med diskriminering på nære avstander.

Seismisk risikoanalyse

Innen anvendt seismologi har hovedvekten av NORSARs forskning vært lagt på seismisk risikoanalyse. I 1977 ga Statoil, på vegne av Statoil/Mobil gruppen, NORSAR i oppdrag å vurdere jordskjelvaktiviteten langs rørledningstraseen Statfjord-Sotra. Denne analysen ble fullført i juni 1978, og resulterte i den hittil mest omfattende samlede vurdering av tektoniske forhold, jordskjelvaktivitet og jordskjelvrisiko som er utført for noen del av den norske kontinentalsokkel.

I forbindelse med et stort prosjektert damanlegg med tilhørende kraftverk i Stiegler's Gorge, Tanzania, har A/S Hafslund, på vegne av NORAD, gitt NORSAR i oppdrag å vurdere jordskjelvriskoen i området. Etter at en forstudie ble gjennomført i 1977, ble det besluttet å installere et seismisk stasjonsnett ved Stiegler's Gorge for å forbedre datagrunnlaget. Nettet, som består av 6 stasjoner, kom i operasjon i september 1978, og har i løpet av 1978 og 1979 gitt verdifull ny informasjon om jordskjelvaktiviteten i området.

I samarbeid med Norsk Polarinstitutt har NORSAR siden 1976 utført detaljkartlegging av seismisiteten på Svalbard (Figur 11). Dette har medført etablering av semi-permanente seismiske stasjoner i flere gruvesamfunn og arbeidet vil ha stor verdi bl.a. for vurdering av jordskjelvriskoen ved den planlagte gruvedrift i Svea. Av Figur 11 fremgår at jordskjelvaktiviteten på Svalbard er relativt stor og spesielt er det en sterk konsentrasjon av seismisitet like øst for Sveagruben. Fra 1979 deltar også St. Louis University, USA, i kartleggingen av jordskjelv på Svalbard, og et større forskningsprosjekt er nå under utvikling. NORSAR deltok i Polarinstituttets Antarktisekspedisjon 1978/79, noe som bl.a. resulterte i de første seismiske registreringer som er oppnådd fra Bouvetøya. Vårt samarbeid med Polarinstituttet ga også interessante seismologiske resultater under det amerikanske isdriftsprosjektet FRAM I våren 1979.

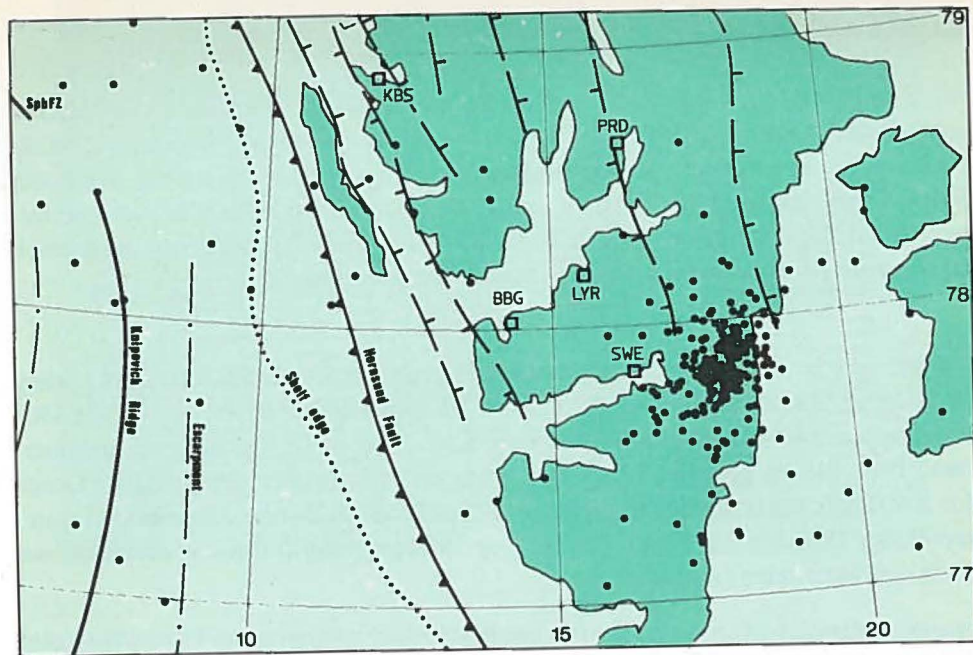


Fig. 11
Lokalisering av 290 jordskjelv i Svalbard-området, basert på data fra 4 seismografiske stasjoner (PRD, BBG, LYR og SWE) etablert av NORSAR i samarbeid med Norsk Polarinstitutt. Den meget sterke jordskjelvaktiviteten rett øst for Sveagruben (SWE) er bemerkelsesverdig.

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. Første fase av prosjektet har vesentlig vært konsentrert om å samle og systematisere tilgjengelig informasjon om tidligere jordskjelv på den norske kontinentalsokkel, og i Figur 12 vises hvor en del av de største historiske skjelvne i området har funnet sted. Forskningsarbeidet er nå under videreføring.

Etter oppdrag av Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen har NORSAR i 1979 startet forberedelsene til etablering av et midlertidig nettverk til å overvåke jordskjelv i Sør-Norge (Kfr. Figur 1). Nettet forventes å være i drift i 3 år, og vil i samband med tilsvarende nett i Sverige og Danmark gi informasjon om skandinaviske jordskjelv i en detalj som tidligere ikke har vært mulig. Slik informasjon er av betydning bl.a. for å vurdere jordskjelvrisikoen forbundet med damanlegg og andre større industrielle installasjoner.

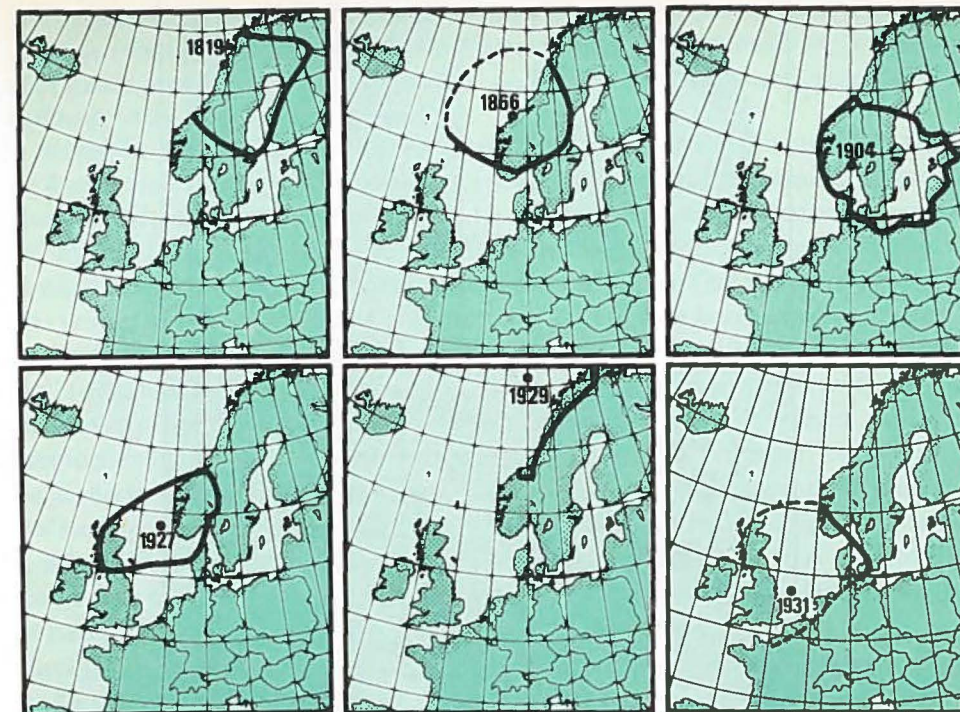


Fig. 12
Lokasjon av en del store jordskjelv (magnitudo omkring 6) utenfor norskekysten. Årstall og utbredelsesområde (dvs området hvor skjelvne er merket av befolkningen) er markert i hvert enkelt tilfelle.

Jordskjelvne i Meløy høsten 1978

At jordskjelv kan forekomme i Norge fikk man en påminnelse om i november 1978, da Meløy kommune i Nordland ble utsatt for en serie med tildels kraftige rystelser. Rystelsene ble ledsaget av kraftige smell, noe som i begynnelsen fikk folk til å tro at de kanskje var forårsaket av eksplosjoner eller overlydsfly. At det virkelig dreide seg om jordskjelv ble imidlertid klart etter at NORSAR installerte mobile seismografer på stedet. Disse seismografene registrerte flere tusen skjelv i løpet av november/desember 1978, og jordskjelvaktiviteten var fortsatt betydelig vinteren og våren 1979. Jordskjelvsentrene ble lokalisert til et relativt begrenset område nær Glomfjorden (se Figur 13) og lå på et dyp av 4–8 km under havoverflaten. De største av skjelvne hadde en styrke i overkant av 3 på Richters skala, og var altså relativt små i forhold til enkelte tidligere registrerte jordskjelv i Norge. Når de likevel ble merket såpass sterkt, skyldes dette først og fremst at sentret for skjelvne lå så nær overflaten.

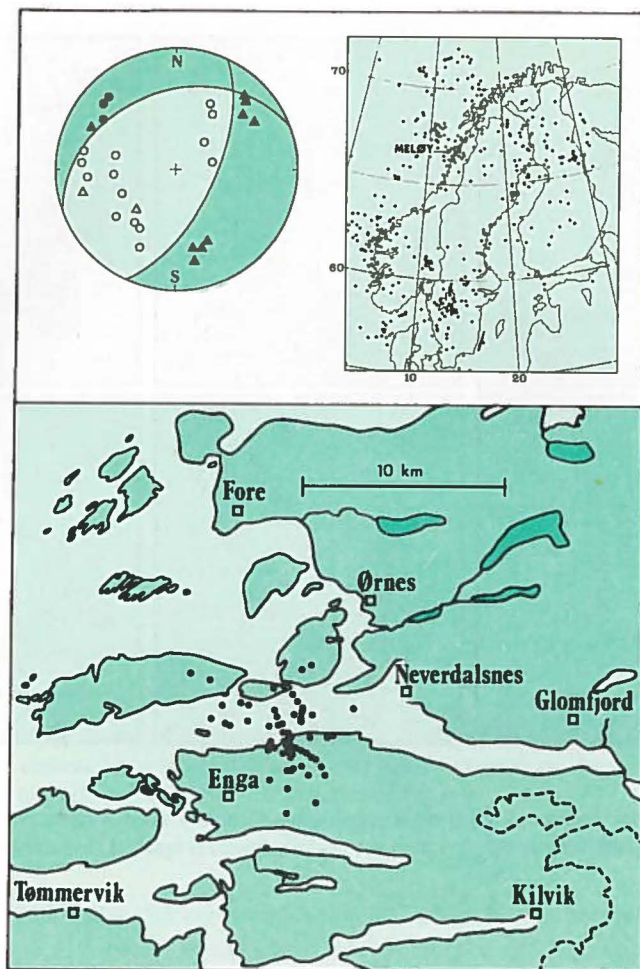


Fig. 13
Kart over Meløy kommune i Nordland, med angivelse av de steder hvor NORSAR har hatt seismografer i operasjon i 1978/79. NORSAR's lokalisering av noen av de kraftigste jordskjelvene i denne perioden er markert med punkter. Øverst til høyre er Meløy tegnet inn på et kart over jordskjelvaktiviteten i Skandinavia i 1951—78, mens en såkalt 'sammensatt fokalløsning' for Meløy-skjelvene er angitt øverst i venstre hjørne.

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 bestrebelse 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 i de følgende år fortsatte disse forsøkene men uten at tilfredsstillende resultater ble oppnådd. Det viste seg nemlig at problemene var større enn man hadde ventet, vesentlig på grunn av de meget kompliserte geologiske forhold forbundet med malmførende bergarter.

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 Fig. 14, som viser en tenkt malmforekomst omgitt av fast fjell. Videre har vi en energikilde på overflaten. Denne energikilden vil 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 4000—6000 meter pr. sekund. Når bølgene treffer en eventuell malmforekomst som er tyngre enn de omliggende bergarter, blir en del av bølgeenergien reflektert tilbake mot overflaten, og resten forplanter seg gjennom malmen og videre nedover i dypet. På overflaten plasseres registreringsinstrumenter (geofoner) 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 bølgene 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.

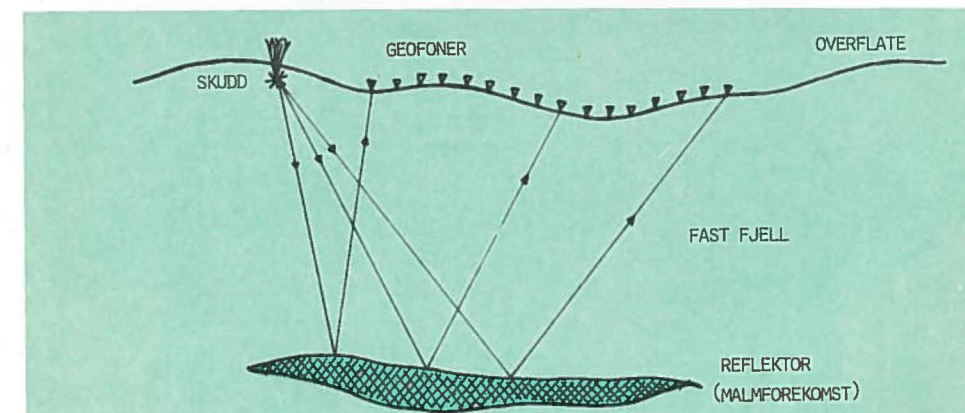


Fig. 14
Malmleting med seismikk utføres etter de samme prinsipper som oljeprospektering. Et skudd avfyres nær overflaten, og de trykkbølger som reflekteres fra en eventuell malmforekomst kan avleses på meget følsomme instrumenter (geofoner). Dybden og utstrekningen av malmen kan deretter beregnes.

NORSAR har siden 1978 utført et større forskningsarbeid med sikte på å belyse de ovennevnte problemer, og spesielt utarbeide retningslinjer for hvordan skudd og mottagere bør plasseres ute i terrenget for i størst grad å redusere de uønskede effektene. Etter omfattende simuleringseksperimenter, har det nå lyktes å komme fram til et praktisk opplegg som høsten 1979 viste seg å gi meget positive resultater med et forsøk over en kjent malmsforekomst ved Løkken i Sør-Trøndelag (Figur 15). På figuren kan vi se refleksjoner fra et dyp på ca. 700 m, som nøyaktig svarer til lokaliseringen av den kjente malmsforekomst. Selv om de reflekterte bølger er meget svake sammenlignet med de forutgående overflatebølgene, kan de likevel klart identifiseres i dette tilfelle.

I lys av de lovende resultater hittil, planlegger vi i årene fremover å opptrappe forskningsvirksomheten forbundet med seismisk malmløsting. Dette vil skje gjennom en forskningsinnsats hvor en satser på en kombinasjon av teoretiske analyser og eksperimenter ute i felten.

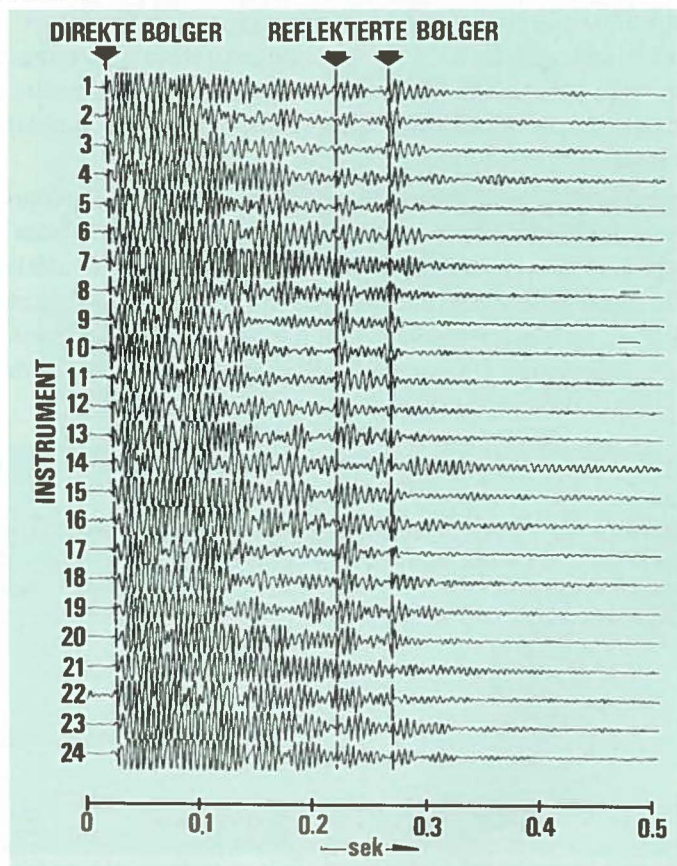


Fig. 15
Seismiske seksjoner fra et felteksperiment i malmløsting i Løkken 1979. De meget sterke overflatebølger ankommer først på hver av de 24 geofonene, mens de noe svakere refleksjoner kan identifiseres ca 0.2 sekunder senere.

INTERNASJONALT SAMARBEID

Arbeid i FNs nedrustningskomité

I juni 1976 nedsatte FNs nedrustningskomité i Geneve 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 overvåkingsystem (se Figur 16) 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.

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 snart 10 år. I lys av denne opparbeidede erfaring vil NORSAR derfor være aktuelt som et internasjonalt datasenter i tillegg til å være en nøkkelstasjon for signalregistrering.

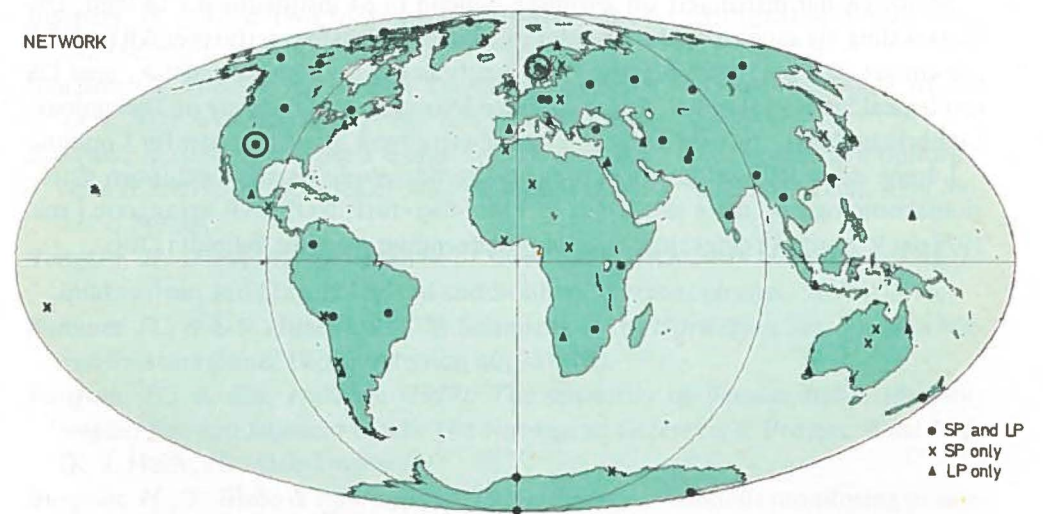


Fig. 16
FN's seismologiske ekspertkomité i Geneve har foreslått opprettet et verdensomspennende overvåkingsnettverk for underjordiske kjernefysiske prøver. På figuren er de store observatoriene i Norge (NORSAR) og USA (LASA) spesielt markert med sirkler.

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.

FNs seismologiske ekspertgruppe har nå fått fornyet mandat til å arbeide videre med disse problemstillinger, og NORSARs engasjement i denne forbindelse vil derfor fortsette i årene fremover.

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 struktur, seismisk bølgeforplantning over kontinentale områder og seismiske magnitudoeregninger av jordskjelv og underjordiske eksplosjoner.

NORSAR har distribuert sin seismiske bulletin til 64 institusjoner i 18 land. Datautveksling via satellitt og det amerikanske kommunikasjonsnettverket ARPANET har funnet sted med bl.a. Seismic Data Analysis Center i Virginia, USA, med US Geological Survey i Boulder, Colorado, med Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass., og med det britiske atomenergibyrå, Blacknest utenfor London.

I årene siden 1970 er det etablert et omfattende nordisk samarbeid innen deteksjonsseismologi, og dette samarbeid er blitt videreført. NORSAR arrangerte i mai 1978 det 9. nordiske deteksjonsseismologiske seminar, som ble avholdt i Oslo.

PUBLIKASJONER

- Aki, K., A. Christoffersson & E.S. Husebye (1977):* Determination of the three-dimensional seismic structure of the lithosphere, *J. Geophys. Res.*, 82, 277—296.
- Berteussen, K.-A. (1976):* Final Technical Report, 1 April — 30 September 1976, NORSAR Sci. Rep. 1-76/77, NTNf/NORSAR, Kjeller.
- Berteussen, K.-A. (1976):* Long period P-wave spectra as a tool for studies of local structure, *Proc. XVth Gen. Assemb. ESC, Krakow, Sept. 76.*
- Berteussen, K.-A. (1977):* Direct measurement of crustal P-velocities in the NORSAR area, *Pure & Appl. Geophys.*, 115, 707-719.
- Berteussen, K.-A. (1977):* Moho depth determinations based on spectral ratio analysis of NORSAR long period P-waves, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 15, 13-27.
- Berteussen, K.-A., E.S. Husebye, R.F. Mereu & A. Ram (1977):* Quantitative assessment of the crust-upper mantle heterogeneities beneath the Gauribidanur Seismic Array in southern India. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 37, 326-332.
- Berteussen, K.-A., & H. Bungum (1977):* Surface wave investigations at NORSAR, The Norwegian Geotraverse Project, Final Rep. (K.S. Heier, ed.), Oslo University.
- Brown, R.J. (1977):* Two-parameter scaling of source spectra: Love waves from deep focus Conin Island earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 67, 285-300.
- Bungum, H. (1976):* Årsberetning 1974-1976, NTNf/NORSAR, Kjeller.
- Bungum, H. (1977):* Two focal mechanism solutions for earthquakes from Iceland and Svalbard, *Tectonophysics*, T15-T18.
- Bungum, H. (1977):* Semiannual Technical Summary, 1 October 1976-31 March 1977, NORSAR Sci. Rep. 2-76/77, NTNf/NORSAR, Kjeller.
- Bungum, H. (1977):* Stiegler's Gorge Seismic Network. A proposal for monitoring seismic activity in the Stiegler's Gorge area, Tanzania. NORSAR Tech. Rep. No. 2/77, 140 pp.
- Bungum, H. (1978):* Re-analyzation of three focal-mechanism solutions for earthquakes from Jan Mayen, Iceland and Svalbard, *Tectonophysics*, 51, T15-T16.
- Bungum, H., & E.S. Husebye (1977):* Seismicity of the Norwegian Sea: The Jan Mayen Fracture Zone, *Tectonophysics*, 40, 351-360.
- Bungum, H., & E.S. Husebye (1977):* The seismicity of Fennoscandia, the Norwegian Sea and adjacent areas. The Norwegian Geotraverse Project, Final Rep. (K.S. Heier, ed.) Oslo University.
- Bungum, H., T. Risbo & Hjortenberget (1977):* Precise continuous monitoring of seismic velocity variations and their possible connection to solid earth tides. *J. Geophys. Res.*, 82, 5365-5373.
- Bungum, H., H. Gjøystdal, B. Hokland & Y. Kristoffersen (1978):* Seismicity of the Svalbard region: A preliminary report on the microearthquake activity. NORSAR Tech. Rep. 2/78, NTNf/NORSAR, Kjeller.

Bungum, H., & Y. Kristoffersen (1977): The seismicity of Spitsbergen: Preliminary results. Norsk Polarinstitutt Årbok 1977, 237-246.

Bungum, H., B.K. Hokland, E.S. Husebye & F. Ringdal (1979): An exceptional intraplate earthquake sequence in Meløy, Northern Norway. *Nature*, 280, 5715, 32-35.

Bungum, H., & E.S. Husebye (1979): The Meløy, N. Norway, Earthquake sequence — a unique intraplate phenomenon. *Norsk Geol. Tidsskr.*, 59, 189-193.

Bungum, H., & Y. Kristoffersen (1979): A microearthquake study of the Svalbard region. NORSAR Tech. Rep. No. 1/79, NTNF/NORSAR, Kjeller.

Bungum, H., & F. Ringdal (1979): Stiegler's Gorge Power Project. Reevaluation of the seismic risk analysis, Phase I. NORSAR Tech. Rep. No. 2/79, NTNF/NORSAR, Kjeller.

Christoffersson, A. (1978): Statistical models for seismic magnitude, NORSAR Sci. Rep. 1-77/78, NTNF/NORSAR, Kjeller.

Christoffersson, A., & E.S. Husebye (1979): On three-dimensional inversion of P-wave time residuals: Option for geological modelling. *J. Geophys. Res.*, 84, 6168-6176.

Doornbos, D. (1979): The effect of a rough core-mantle boundary on PKKP. *Phys. of the Earth and Planet. Inter.*, in press.

Gjøystdal, H. (ed.) (1977): Final Technical Summary, 1 April-30 September 1977. NORSAR Sci. Rep. 3-76/77, NTNF/NORSAR, Kjeller.

Gjøystdal, H. (ed.) (1978): Semiannual Technical Summary, 1 October 1977-30 March 1978. NORSAR Sci. Rep. 2-77/78, NTNF/NORSAR, Kjeller.

Gjøystdal, H., & B. Ursin (1978): Inversion of reflection times in three dimensions. Reprint from the 48th Annual Meeting of SEG, San Francisco 1978.

Gjøystdal, H. (1978): Ray-tracing in complex 3-D geological models. Tech. Rep., GECO/NORSAR, June 1978.

Gjøystdal, H. (1978): Computation of seismic ray paths between given source and receiver line in a complex 3-D model. Tech. Rep., GECO/NORSAR, June 1978.

Gjøystdal, H. (1978): A general computer algorithm for calculating zero-value contours of a bivariate scalar function, with special reference to seismic ray-tracing in complex 3-dimensional models. Tech. Rep. GECO/NORSAR, June 1978.

Gjøystdal, H. (1978): On computing ray paths between specified end points by use of wavefront curvature estimates. Tech. Rep. GECO/NORSAR, August 1978.

Gjøystdal, H. (1979): Semiannual Technical Summary 1 October 1978/31 March 1979, NORSAR Sci. Rep. 2-78/79, NTNF/NORSAR, Kjeller.

Gjøystdal, H. (1979): Seismic methods in metamorphic rock. Final Report. NORSAR Tech. Rep. 1/80, November 1979.

Gjøystdal, H. (1979): Semiannual Technical Summary 1 April - 30 September 1979, NORSAR Sci. Rep. 1-79/80, NTNF/NORSAR, Kjeller.

Haddon, R.A.W., E.S. Husebye & D.W. King (1977): Origins of precursors to P'P'. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 41—71.

Haddon, R.A.W., & E.S. Husebye (1978): Joint interpretation of P-wave time and amplitude anomalies in terms of lithospheric heterogeneities. *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 55, 19-44.

Haddon, R.A.W. (1978): Scattering of seismic body waves by small random inhomogeneities in the earth. NORSAR Sci. Rep. 3-77/78, NTNF/NORSAR, Kjeller.

Husebye, E.S., H. Bungum, J. Fyen & H. Gjøystdal (1978): Earthquake activity in Fennoscandia between 1497 and 1975 and intraplate tectonics. *Norsk geol. tidsskr.*, 58, 51-68.

Husebye, E.S., F. Ringdal & G. Lande (1976): Jordskalvet i Oslofjorden — nordens største i modern tid. *Forskning och Framsteg*, 6, 27-28.

Husebye, E.S., & F. Ringdal (1976): Seismisk riskanalyse. *Forskning och Framsteg*, 6, 29-33.

Husebye, E.S., R.A.W. Haddon & D.W. King (1977): Precursors to P'P' and upper mantle discontinuities. *J. Geophys.*, 43, 535-543.

Husebye, E.S., F. Ringdal, O.A. Sandvin & A. Christoffersson (1976): Statistical test theory in the analysis of macroseismic questionnaires. NORSAR Tech. Rep. 3/76, NTNF/NORSAR, Kjeller.

Husebye, E.S., & I.B. Ramberg (1978): Geophysical Investigations. *Norges Geol. Unders.*, 337, 41-54.

Husebye, E.S., P.C. England & I.B. Ramberg (1978): The ideal-body concept in interpretation of the Oslo Rift gravity data and their correlation with seismic observations. In: (I.B. Ramberg & E. Neumann, eds.): *Tectonics and Geophysics of Continental Rifts*, NATO ASI proceedings, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, The Netherlands, 313-327.

Husebye, E.S., & F. Ringdal (1978): Seismic mapping of the Fennoscandian lithosphere and asthenosphere with special reference to the Oslo graben region. In: (I.B. Ramberg & E. Neumann, eds.): *Tectonics and Geophysics of Continental Rifts*, NATO ASI Proceedings, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, The Netherlands, 313-327.

Husebye, E.S., F. Ringdal, J. Fyen & O.A. Sandvin (1979): Earthquake risk for Norwegian offshore installations. Phase 1: A study of tectonics, seismicity and expected ground accelerations due to earthquakes. Special Rep. submitted to NTNF's 'Safety Offshore' Committee, 15 April 1979.

Larsen, P.W. (1978): Test of Teledyne-Geotech S-500 seismometer. NORSAR Int. Rep. 1-78/79, NTNF/NORSAR, Kjeller.

Levshin, A., & K.-A. Berteussen (1979): Anomalous propagation of surface waves in the Barents Sea as inferred from NORSAR recordings. *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 56, 97-118.

Mykkeltveit, S. (1979): A seismic profile in southern Norway. *Pure & Appl. Geophys.* (in press).

Nilsen, A.Kr. (1979): Operations checklist for Stiegler's Gorge Seismic Network. NORSAR Int. Rep. 1-79/80, NTNF/NORSAR, Kjeller.

- Rieber-Mohn, D. (1977):* Report from participation in the online conference on data communications networks, London, 9-11 May 1977. NORSAR Int. Rep. 1-76/77, NTN/NORSAR, Kjeller.
- Rieber-Mohn, D. (1978):* The use of the ARPANET for transmission of real time seismic data. NORSAR Int. Rep. 1-77/78. NTN/NORSAR, Kjeller.
- Rieber-Mohn, D. (1978):* Documentation of the NCP task. NORSAR Int. Rep. 2-77/78, NTN/NORSAR, Kjeller.
- Rieber-Mohn, D. (1978):* The interactive NORSAR bulletin editing system — User guide and documentation. NORSAR Int. Rep. 3-77/78, NTN/NORSAR Kjeller.
- Rieber-Mohn, D. (1978):* Final Technical Summary, 1 April-30 September 1978, NORSAR Sci. Rep. 1-78/79, NTN/NORSAR, Kjeller.
- Ringdal, F. (1977):* P-wave amplitudes and sources of scattering in m_p -observations. *J. Geophys.*, 43, 611-622.
- Ringdal, F., & H. Bungum (1977):* Noise level variation at NORSAR and its effect on detectability. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 67, 479-492.
- Ringdal, F., E.S. Husebye & J. Fyen (1976):* Seismic zoning of Fennoscandia. NORSAR Tech. Rep. 2/76, NTN/NORSAR, Kjeller.
- Ringdal, F., & E.S. Husebye (1978):* Seismic mapping of heterogeneities in the Fennoscandian lithosphere and asthenosphere. *Nor. Geol. Under.*, 338, 25-36.
- Ringdal, F., E.S. Husebye & J. Fyen (1977):* Earthquake detectability estimates for 478 globally distributed seismograph stations. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 165, P24-P32.
- Ringdal, F., E.S. Husebye, O. A. Sandvin & A. Christoffersson (1978):* Statistical test theory in the analysis of macroseismic questionnaires. *Tectonophysics*, 49, 161-170.
- Ringdal, F. (1978):* A reply to 'Comments on the use of truncated distribution theory for improved magnitude estimation', by D. von Seggern and D.W. Rivers. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 68, 1547-1548.
- Ringdal, F., & H. Bungum (1978):* Stiegler's George, Tanzania, Hydroelectric Power Project, Seismic Risk Analysis, Phase 1. NORSAR Tech. Rep. 1/78, NTN/NORSAR, Kjeller.
- Ringdal, F. (1978):* NORSAR-observatoriet og seismisk registrering. Artikkel i 'Føran FN's spesialsesjon om nedrustning, Utvalget for rustningskontroll og nedrustning, Oslo.
- Sacks, I.S., A. Snoke & E.S.: Husebye (1979):* Lithospheric thickness beneath the Baltic Shield, *Tectonophysics*, 56, 101-110.
- Sandvin, O.A., & D. Tjøstheim (1976):* Autoregressive modelling of seismic storms. *Proc. XVth Gen. Assemb. ESC, Krakow*, Sept. 76.
- Sandvin, O. A. & D. Tjøstheim (1978):* Multivariate autoregressive representation of seismic P-wave signals with application to short period discrimination. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 68, 735-756.

- Tjøstheim, D. (1977):* Recognition of waveforms using autoregressive feature extraction. *Corr. IEEE Trans. Computers*, C-26, 268-270.
- Tjøstheim, D. (1977):* Spectral generating operators for nonstationary processes. *Appl. Prob.*,
- Tjøstheim, D. (1976):* On random processes that are almost strict sense stationary. *Appl. Prob.*, 8, 820-830.
- Tjøstheim, D. (1978):* Improved seismic discrimination using pattern recognition. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 16, 85-108.
- Tjøstheim, D. (1977):* Measuring deviations from stationarity. *Appl. Prob.*,
- Tjøstheim, D. (1978):* A measure of association for spatial variables. *Biometrika*, 65, 109-114.
- Tjøstheim, D. (1978):* Multiplicity theory for random fields using quantum mechanical methods. *Springer Lecture Notes in Mathematics*, Vol. 656, 257-274 (Polish Academy of Science).
- Tjøstheim, D. (1978):* Statistical spatial series modelling. *Adv. Appl. Prob.*, 10, 130-154.
- Tjøstheim, D., & O.A. Sandvin (1979):* Multivariate autoregressive feature extraction and the recognition of multichannel waveforms. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI 1, 80-86.
- Vinnik, L. P. (1977):* Detection of waves converted from P to SV in the mantle. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 15, 39-45.

- Berteussen, K.-A.*: Seismiske overflatebølger og horisontale og vertikale strukturelle grenseflater i Barentshavet, Geologisk landsmøte, Blindern, Oslo, 6.—7. januar 1977.
- Berteussen, K.-A.*: Detaljkartlegging av Moho i nordre del av Oslofeltet, Geologisk landsmøte, Blindern, Oslo, 6.—7. januar 1977.
- Berteussen, K.-A.*: Anomalous propagation of surface waves in the Barents Sea as inferred from NORSAR recordings, 9th Nordic Seminar on Detection Seismology, Oslo, 29—31. mai 1978.
- Berteussen, K.-A.*: Coherence and earth structure, 9th Nordic Seminar on Detection Seismology, Oslo, 29—31. mai 1978.
- Berteussen, K.-A.*, * & *A. Levshin*: A surface wave of the Barents Sea, IA-SPEI/IAVCEI Assembly, Durham, 8.—19. august 1977.
- Bungum, H.*: Precise continuous monitoring of seismic velocities, 11th Symposium on Mathematical Geophysics, Seeheim/Odenwald, 18.—27. august 1976.
- Bungum, H.*: Varsling av jordskjelv, Oslo Geofysikeres Forening, Oslo, 30. september 1976.
- Bungum, H.*: Jordskjelvaktiviteten i Fennoskandia og Norskehavet, inter- og intra-plate tektonikk, Avsluttende møte, En norsk geotravers, Blindern, Oslo, 5. januar 1977.
- Bungum, H.*: Platetektonikk i Norskehavet og jordskjelvaktiviteten i Jan Mayen og Svalbard områdene, Norsk Geologisk Forenings Landsmøte, Oslo, 6.—7. januar 1977.
- Bungum, H.*: Presis kontinuerlig monitorering av seismiske hastighetsvariasjoner og deres forbindelse med tidejordseffekter, Norsk Geologisk Forenings Landsmøte, Oslo, 6.—7. januar 1977.
- Bungum, H.*: Inter- and intra-plate seismicity and lithospheric structure in the Svalbard area, 8th Nordic Seminar on Detection Seismology, Helsinki, 1.—3. juni 1977.
- Bungum, H.*: A review of reservoir-induced seismicity, 8th Nordic Seminar on Detection Seismology, Helsinki, 1.—3. juni 1977.
- Bungum, H.*: Recent investigations of local earthquakes in Norway, 9th Nordic Seminar on Detection Seismology, Oslo, 29.—31. May 1978.
- Bungum, H.*: A microearthquake survey of the Svalbard archipelago, 9th Nordic Seminar on Detection Seismology, 29.—31. May 1978.
- Bungum, H.*: The seismicity of Spitsbergen, Conference on Geophysics, Geology, Geomorphology and Geodesy of Spitsbergen, Hamburg, 2.—3. oktober 1978.
- Bungum, H.*: Seismological research in Svalbard and adjacent areas, Workshop on eastern Arctic research, Lyngby, Danmark, 23.—26. januar 1979.

- Bungum, H., & J. Fyen**: An exceptional intraplate earthquake sequence in Meløy, Northern Norway, The Third U.K. Geophysical Assembly, 2—5 april 1979, Southampton.
- Bungum, H.*: Fennoscandian seismicity 1954—1978: Hypocentral distribution and focal mechanisms within a tectonic framework, 10th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, 21—23 mai 1979.
- Bungum, H.*: The seismicity of Svalbard — recent results and future plans, 10th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, 21—23 mai 1979.
- Bungum, H.*: The seismicity of the Stiegler's Gorge area, Tanzania. 10th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, 21—23 mai 1979.
- Bungum, H.*: Eastern Africa seismicity and tectonics as observed at a new high-quality seismic array station in Tanzania. IUGG General Assembly Canberra, Australia, 2—15 desember 1979.
- Christoffersson, A.*: Statistical models for seismic magnitude, 12th Symposium for Mathematical Geophysics, Caracas, 14—24 august 1978.
- Christoffersson, A., F. Ringdal, C. Bjørck & E.S. Husebye**: Estimating the linearity of the m_b ; M_s relationship, 12th Symposium on mathematical geophysics, Caracas, 12—14 august 1978.
- England, P.C., E.S. Husebye* & I.B. Ramberg*: The ideal-body concept in interpretation of Oslo Rift gravity data and their correlation with seismic observations, NATO ASI Paleorift Systems with Emphasis on the Permian Oslo Rift, Oslo, 27 juli—5 august 1977.
- England, P.C., & E.S. Husebye**: A case study of plates in collision, the lithosphere in the Hindu-Kush and Pamirs region, Geologisk landsmøte, Blindern, Oslo, 6—7 januar 1977.
- England, P.C., & E.S. Husebye**: The ideal-body concept in interpretation of gravity data with special reference to the Oslo Graben, Geologisk landsmøte, Blindern, Oslo, 6—7 januar 1977.
- Fyen, J.*: Recent advances in microearthquake studies, Norsk Geologisk Forenings Landsmøte, 11—12 januar 1979.
- Fyen, J.*: Earthquake activity in Fennoscandia and past tectonic processes, Norsk Geologisk Forenings Landsmøte, 11—12 januar 1979.
- Gjøystdal, H.*: Use of seismotectonic modelling in earthquake risk studies, 9th Nordic Seminar on Detection Seismology, 29-31 May 1978, Oslo.
- Gjøystdal, H. *, & B. Ursin*: Inversion of reflection times in three dimensions, 48th Annual Meeting of the SEG, San Francisco, November 1978.
- Gjøystdal, H. *, & B. Ursin*: Inversion of reflection times in three dimensions — a real data experiment, 10th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, 21-23 May 1979.
- Gjøystdal, H.*: Inversion of reflection times in three dimensions — a real data experiment. EAEG, Hamburg 28-29 May 1979.

- Gjøystdal, H.*: Inversion of reflection times in 3 dimensions, Nordisk Geofysikermøte, Januar 1979.
- Gjøystdal, H.*: Ray-tracing in complex 3D geological models, 49th Annual Meeting of the SEG, New Orleans, November 1979.
- Husebye, E.S.*: Precursors to P'P' and seismic wave scattering in the mantle, 11th Symposium on Mathematical Geophysics, Seeheim, 18—27 august 1976.
- Husebye, E.S.*: Inversion of seismic array data, Invitert foredrag, Institute of Physics of the Earth, Moscow, September 1976.
- Husebye, E.S.*: Heterogeneities in the earth's mantle. Invitert foredrag ved 'Computer center, Academy of Science, Novosibirsk, USSR, september 1976.
- Husebye, E.S.*: Inversion of seismic data and wave scattering effects, Invitert foredrag ved Mathematical Institute, University of Leningrad, USSR, september 1976.
- Husebye, E.S.*: Geofysisk forskning i Sovjetunionen — inntrykk fra en rundreise høsten 1976, Norsk Geofysisk Forening, Bø i Telemark, 8-10 juni 1977.
- Husebye, E.S.*: Detailed mapping of Moho in the northern part of the Oslo graben, NATO ASI Paleorift Systems with Emphasis on the Permian Oslo Rift, Oslo, 27 juli-5 august 1977.
- Husebye, E.S.*: Three-dimensional mapping of the lithosphere in the general Oslo graben region, NATO ASI Paleorift Systems with Emphasis on the Permian Oslo graben, Oslo, 27 juli-5 august 1977.
- Husebye, E.S. *, P.C. England, A.A. Lukk & L.P. Vinnik*: A case study of plates in collision, the lithosphere in Hindu-Kush and Pamirs region, IASPEI/IAVCEI Assembly, Durham, 8-19 august 1977.
- Husebye, E.S. *, F. Ringdal, R.A.W. Haddon & P.C. England*: Lateral variation in the lithosphere and seismic network travel time residuals, IASPEI/IAVCEI Assembly, Durham, 8-19 august 1977.
- Husebye, E.S.*: Intraplate tectonics in Scandinavia, Symposium on seismic risk and neotectonics, Luleå, 31 oktober 1977.
- Husebye, E.S. *, & F. Ringdal*: Seismic mapping of heterogeneities in the Fennoscandian lithosphere and asthenosphere, 8th Nordic Seminar on Detection Seismology, Helsinki, 1-3 juni 1977.
- Husebye, E.S. *, P.C. England, A.A. Lukk & L.P. Vinnik*: A case study of plates in collision, the lithosphere in Hindu-Kush and Pamir region, 8th Nordic Seminar on Detection Seismology, Helsinki, 1-3 juni 1977.
- Husebye, E.S.*: Geophysical research in polar regions, 9th Nordic Seminar on Detection Seismology, Oslo, 29-31 mai 1978.
- Husebye, E.S.*: Inversion of seismic travel time data, 9th Nordic seminar on Detection Seismology, Oslo, 29-31 mai 1978.
- Husebye, E.S.*: The Meløy earthquake sequence — exceptional intraplate activity, Norsk geologisk forenings landsmøte, Trondheim, 11-12 januar 1979.

- Husebye, E.S. *, & A. Christoffersson:* 3-D seismic mapping of subsurface heterogeneities, Norsk geologisk forenings landsmøte, Trondheim, 11-12 januar 1979.
- Husebye, E.S. *, & S. Mykkeltveit:* Lg, Li and Sn propagation characteristics across Eurasia, 10th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, 21-23 mai 1979.
- Husebye, E.S. *, & A. Christoffersson:* 3-D mapping of subsurface heterogeneities, 10th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, 21-23 mai 1979.
- Husebye, E.S. *, & S. Mykkeltveit:* Lg, Li and Sn Propagation characteristics across Eurasia, DARPA Program Review, Washington, 23-24 mai 1979.
- Husebye, E. S. *, & H. Bungum:* East African seismicity, microearthquake survey in Tanzania and earthquake hazard considerations for the proposed Stigegler's Gorge dam site, UNESCO International Symposium on Earthquake Prediction, Paris, 2-6 April 1979.
- Ringdal, F.:* P-wave amplitudes and sources of scattering in m_b -observations, 11th Symposium on Mathematical Geophysics, Seeheim, 18-27 August 1976.
- Ringdal, F. & E.S. Husebye*:* Seismotektoniske provinser og 'pattern recognition teknikker ved seismisk risiko analyser, Geologisk landsmøte, Blindern, Oslo, 6-7 januar 1977.
- Ringdal, F.:* Om teoriene for jordskjelvmekanismer, Prøveforelesning for doktorgrad, Oslo, 11 mars 1977.
- Ringdal, F.:* Seismisk risikoanalyse, Prøveforelesning for doktorgrad, Oslo, 11 mars 1977.
- Ringdal, F.:* Statistical methods in seismology, Invitert foredrag, Uppsala Universitetet, 22 mars 1977.
- Ringdal, F. *, & E.S. Husebye:* Statistical analysis of macroseismic questionnaires, 8th Nordic Seminar on Detection Seismology, Helsinki, 1-3 juni 1977.
- Ringdal, F. *, E.S. Husebye & J. Fyen:* P-wave detectability of 478 globally distributed seismograph stations, 8th Nordic Seminar on Detection Seismology, Helsinki, 1-3 juni 1977.
- Ringdal, F. *, & E.S. Husebye:* Analysis of ISC travel time residuals using a continental array, 8th Nordic Seminar on Detection Seismology, Helsinki, 1-3 juni 1977.
- Ringdal, F. *, & E.S. Husebye:* Seismic mapping of heterogeneities in the Fennoscandian lithosphere and asthenosphere, IASPEI/IAVCEI Assembly, Durham, 8-19 August 1977.
- Ringdal, F. *, E.S. Husebye, A. Christoffersson & O.A. Sandvin:* Statistical test theory in the analysis of seismic intensities, IASPEI/IAVCEI Assembly, Durham, 8-19 August 1977.
- Ringdal, F.:* Internasjonalt seismologisk samarbeid i overvåkning av en fullstendig prøvestansavtale. Foredrag ved Utvalg for Rustningskontroll og Nedrustning, Oslo, 3 oktober 1977.

- Ringdal, F.:* Statistical aspects of seismic risk analysis, Symposium on seismic risk and neotectonics, Luleå, 31 oktober 1977.
- Ringdal, F.:* Current status of international cooperation in seismic source identification, 9th Nordic Seminar on Detection Seismology, Oslo, 29-31 May 1978.
- Ringdal, F. *, & L.S. Turnbull:* Bias in PDE and ISC reported m_b at low magnitudes, 9th Nordic Seminar on Detection Seismology, Oslo, 29-31 May 1978.
- Ringdal, F. *, & H. Bungum:* A seismicity study and a planned microearthquake network in Tanzania, 9th Nordic Seminar on Detection Seismology, Oslo, 29-31 May 1978.
- Ringdal, F.:* Event detection and location capability of NORSAR at regional distances, 10th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, 21-23 May 1979.
- Ringdal, F. *, J. Fyen & O.A. Sandvin:* Event detection capability of NORSAR and selected WSSN stations at regional distances, DARPA Program, Washington, D.C., 23-24 mai 1979.
- Sandvin, O.A.; & D. Tjøstheim:* Short period seismic discrimination based on multivariate autoregressive parameters, 8th Nordic Seminar on Detection Seismology, Helsinki, 1-3 juni 1977.
- Tjøstheim, D.:* A new method of spectral analysis for spatial data, 8th Nordic Seminar on Detection Seismology, Helsinki, 1-3 Jun 1977.
- Tjøstheim, D.:* Multiplicity theory for random processes and fields using quantum mechanical methods, Conference on Probability Theory on Vector Spaces, Trzebiezowice, Poland, september 1977.