

*AS*  
**NORSAR**

**BERETNING FOR PERIODEN**

**1.7. 1974 – 30.6. 1976**

NORSAR  
NORWEGIAN SEISMIC ARRAY

## BERETNING

*for perioden*  
*1/7 1974–30/6 1976*

REDAKTØR: DR. PHILOS. HILMAR BUNGUM

*Kjeller*  
*Oktober 1976*

# FORMÅL-LEDELSE

---

## Formål

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

## Prosjektkomité

NORSAR er direkte underlagt NTNFs sentralstab. Som rådgivende komité fungerer:

Professor M. A. Sellevoll, formann  
Forskningsjef H. Nødtvedt  
Byråsjef G. Krane

## Daglig ledelse

*Prosjektleder:*

Siv.ing. N. Marås

*Gruppeledere:*

Administrasjon:

Ing. H. Schatvet

Data- og systemanalyse:

Dr.philos. H. Bungum

Drift:

Driftsleder J. Torstveit

Forskning:

Fil.dr. & dr.philos. E. S. Husebye

Programmering:

Cand.real. D. Rieber-Mohn

Teknisk vedlikehold:

Sjefsanalytiker A. K. Nilsen

## PERSONELL – ØKONOMI

---

### Personell pr. 1/7-76

Teknisk personell .....	21
Akademikere .....	8
Kontorpersonell .....	2
I alt .....	31

### Ansatte

Andresen, Toril Kvist  
Berteussen, Karl-A.  
Berteussen, Vibeke  
Brurberg, Tom  
Bungum, Hilmar  
Engebretsen, Per  
Falch, Kristian  
Fyen, Jan  
Gamal, Ali  
Hansen, Oddmund  
Hoff, Thor  
Hokland, Bernt Kr.  
Husebye, Eystein S.  
Johansen, Trygve  
Langdalen, Rita  
Larsen, Paul W.

Lund, Toril  
Marås, Nils  
Nilsen, Alf Kr.  
Rieber-Mohn, Dag  
Ringdal, Frode  
Schatvet, Hans Kr.  
Skrefsrud, Per Arne  
Solbakken, Magne  
Stokstad, Arne  
Talleraas, Anne Grethe  
Thorvaldsen, Thorleif  
Tjøstheim, Dag  
Torstveit, Jørgen  
Tronrud, Linda B.  
Uggerud, Laila

## Stipendiater/Gjesteforskere m.v.

### NTNF POSTDOCTORATE STIPEND

Dr. R. James Brown (Canada)  
Dr. Gildo Calcagnile (Italia)  
Dr. Raymond A. W. Haddon (Australia)  
Dr. David W. King (Storbritannia)  
Dr. George Purcaru (Romania)

### NTNF SENIOR SCIENTIST VISITING PROGRAM

Professor Keiiti Aki, Massachusetts Institute of Technology (USA)  
Dr. John Cleary, Australia National University (Australia)  
Dr. Anatoli Levshin, Institutt for Jordens Fysikk, Moskva (Sovjetunionen)  
Dr. I. Selwyn Sacks, Carnegie Institute of Technology, Washington (USA)

### GJESTEFORSKERE

Dr. I. Noponen, Universitetet i Helsinki (Finland)  
Hr. S. Pirhonen, Universitetet i Helsinki (Finland)  
Dr. H. Korhonen, Universitetet i Oulu (Finland)  
Prof. A. Christoffersson, Universitetet i Uppsala (Sverige)  
Dr. S. Gregersen, Geodætisk institut (Danmark)  
Dr. E. Hjortenberget, Geodætisk institut (Danmark)  
Hr. T. Risbo, Universitetet i København (Danmark)  
Dr. S. Crampin, Inst. of Geological Sciences, Edinburgh (Storbritannia)  
Dr. M. Worthington, Oxford University (Storbritannia)  
Dr. R. North, Lincoln Laboratory, M.I.T. (USA)  
Dr. L. Turnbull, Texas Instruments (USA)  
Hr. M. Baer, Teknisk Høyskole i Zürich (Sveits)

## DOKTORAVHANDLINGER MED GRUNNLAG I ARBEID VED NORSAR

Derek Doornbos (1974), Ph. D., Universitetet i Utrecht, Nederland  
Hilmar Bungum (1974), Dr. philos., Universitetet i Bergen  
Karl-A. Berteussen (1976), Dr. philos., Universitetet i Oslo  
Eystein Husebye (1976), Dr. philos., Universitetet i Oslo

## HOVEDFAGSTUDENTER (SEISMOLOGI OG ANVENDT MATEMATIKK)

Anders Dahle (eksamen 1974), Universitetet i Oslo  
Kåre Aasen, Universitetet i Oslo  
Jan Fyen, Universitetet i Oslo  
Ottar Audun Sandvin, Universitetet i Bergen

## Økonomi (1/7-74-30/6-76):

NTNF-bevilgning kr. 710.000,-  
Bevilgning fra ARPA (Advanced Research Projects Agency, USA) \$ 1.700.000,-

## GENERELL BAKGRUNN

---

Bakgrunnen for etableringen av NORSAR-anlegget er utenrikspolitisk og anlegget er et ledd i anstrengelsene for å komme fram til en avtale som forbyr alle typer kjernefysiske eksplosjoner, en såkalt fullstendig prøvestansavtale. Kjernefysiske sprengninger i atmosfæren kan vanligvis lett identifiseres ved hjelp av rekognoserings satellitter eller ved målinger av radioaktivitet. Underjordiske sprengninger kan imidlertid på avstand bare registreres og identifiseres ved hjelp av den del av eksplosjonsenergien (ca 1 prosent) som omformes til seismiske bølger og som forplanter seg dels langs jordens overflate som overflatebølger, dels gjennom jordens indre som rombølger.

Det er særlig USA og Sovjetunionen som i egenskap av ledende atommakter har bestemt utviklingen av de forhandlinger FNs nedrustningskomité i Geneve har ført for å komme fram til en fullstendig prøvestansavtale. Sovjetunionen har hevdet at 'nasjonale' midler (f.eks. seismisk deteksjon, rekognoserings satellitter og elektronisk lytteutstyr) er tilstrekkelig for kontroll av en fullstendig prøvestansavtale. USA har hele tiden hevdet at en i tillegg også må gjennomføre et visst antall inspeksjoner på sprengningsstedene som en ekstra kontroll av seismiske hendelser en ikke har fått tilstrekkelig identifisert ved hjelp av seismiske metoder. Da Sovjetunionen har vanskelig for å akseptere slike inspeksjonsordninger, har forhandlingene i realiteten stått i stampe siden 1963 da en begrenset prøvestansavtale, som bl.a. forbyr sprengninger i atmosfæren, ble inngått. (Vi kan her bemerke at hverken Kina eller Frankrike har undertegnet den sistnevnte avtalen.)

Både USA og Sovjetunionen har indikert at de er villige til å diskutere vilkårene for en fullstendig prøvestansavtale videre. De har inngått en tosidig avtale som forbyr underjordiske våpenprøver over en terskel på 150 kilotonn. Denne terskelavtalen skulle etter forutsetningene tre i kraft fra 31.mars 1976, men er foreløpig ikke godkjent av den amerikanske Kongressen. Den politiske nytten av avtalen som et skritt på veien til en fullstendig prøvestansavtale har vært sterkt omdiskutert. I forbindelse med terskelavtalen, er det også utarbeidet en avtale mellom USA og Sovjetunionen om kontroll med de såkalte fredelige kjernefysiske eksplosjoner. Denne type prosjekter tar sikte på å bruke energien som frigjøres ved eksplosjonen til utgraving av kanaler eller til stimulering av olje- eller gassproduksjon. Mens USA synes å ha forlatt slike prosjekter da en angivelig ikke oppnådde de tilsiktede fordeler, har Sovjetunionen gjennomført et relativt stort antall såkalte fredelige kjernefysiske eksplosjoner, sannsynligvis i forbindelse med større kanalprosjekter.

I avtalen om kontroll med de fredelige kjernefysiske eksplosjoner har Sovjetunionen til en viss grad akseptert prinsippet om inspeksjon på stedet, noe som

peker framover mot en løsning på problemet med kontroll av en fullstendig prøvestansavtale. For om mulig å lempe på sitt krav om inspeksjon på stedet, har USA siden 1960-årene gjennomført et omfattende deteksjonsseismologisk forskningsprogram. Norge sluttet seg til dette programmet gjennom St. prp. nr 128 av 1967-68 som gir samtykke til inngåelse av en avtale om norsk-amerikansk deteksjonsseismologisk samarbeid. Den norske arraystasjonen NORSAR, The Norwegian Seismic Array, ble bygget av Forsvarets Forskningsinstitutt i 1968-70 på grunnlag av denne avtalen.

Siden 1. juli 1970 er NORSAR administrert av Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd. NORSAR er en åpen forskningsinstitusjon som registrerer og analyserer data fra jordskjelv og underjordiske eksplosjoner fordelt over hele verden. Data publiseres og meldinger om antatte kjernefysiske eksplosjoner sendes ut uten hensyn til hvem som er ansvarlig for sprengningen. NORSARs datalager (som omfatter ca 34 000 jordskjelv og 190 kjernefysiske eksplosjoner) er sterkt etterspurt blant seismologer verden over. At vi nå også har etablert forskerutveksling med ledende forskningsinstitutt innen den faste jords fysikk i bl.a. USA og Sovjetunionen, betyr dessuten at NORSAR og dermed Norge etter hvert kan bidra til bedre å klargjøre de tekniske problemer som er forbundet med kontroll av en fullstendig prøvestansavtale. Gjennom en norsk bevilgning til forskningsaktiviteten ved NORSAR vil Norge kunne yte sitt bidrag til det konkrete nedrustningsarbeidet som i dag foregår.

## DAGLIG DRIFT

---

Sentralt i driftsfunksjonen ved NORSAR står oppgaven med å registrere og å analysere data som over telefonlinjer blir sendt til datasentret på Kjeller fra i alt 198 seismometre ute i marka. Disse instrumentene er plassert i Mjøsa-traktene, hvor de er spredt ut over et område med diameter ca 110 km. Feltinstallasjonene omfatter også en god del elektronisk utstyr som trenges til dataoverføringen, og for å betjene alt dette er det opprettet et vedlikeholdssenter på Stange, hvor tre medarbeidere har sitt daglige virke. Anlegget er ellers høyt automatisert, slik at det meste av den tekniske kontrollen utføres ved fjernstyring fra datasentret, som drives på helkontinuerlig basis. Med to mann på skift til enhver tid krever dette det meste av det tekniske personell, som har en viktig oppgave i det å betjene datamaskinene, både de som brukes til dataregistreringen og rutineanalysene og de som benyttes til forskningsformål. Dataanalysene baserer seg på en omfattende og automatisert sanntidsanalyse som gjennom en videreanalyse fører fram til publiseringen av en seismisk bulletin (liste over jordskjelv) som nå sendes ut til over 60 abonnenter verden over.

Ved siden av den omfattende publikasjonsvirksomheten fra forskerne er det utgivelsen av denne seismiske bulletinen som har tjent til å gjøre institusjonen NORSAR kjent internasjonalt. Bulletinen, som sendes ut hver uke, omfatter vanligvis mellom ett og to hundre jordskjelv, og for hvert skjelv opplyses det mellom annet om tid, sted og styrke. Tabell 1 viser at det på denne måten er blitt rapportert ca 14 000 skjelv fra NORSAR i de to årene denne beretningen dekker, dette blir ca 19 pr dag. De fleste av skjelvene er små og uten skadevirkninger, det er heldigvis slik at jo større magnitude en har desto færre skjelv vil det være. Dette illustreres godt i Figur 1 som viser den såkalte frekvens-magnitude fordelingen av de nevnte 14 000 skjelv. Det går fram av figuren at når magnituden øker med en enhet (f.eks. fra 5 til 6) så avtar antallet skjelv til tiendeparten, noe som uttrykker en generell lovmessighet i forekomsten av naturlige jordskjelv. For å kunne vise hvordan et skjelv ser ut når det registreres ved NORSAR har vi i Figur 2 gjengitt litt av registreringene fra et mellomstort jordskjelv i Kamchatka den 10. juni 1976.

Halvår	Jordskjelv
2/1974	3429
1/1975	3613
2/1975	2891
1/1976	4043
Sum	13976

TABELL 1

Oversikt over antallet jordskjelv rapportert ved NORSAR i tiden 1/7.74–30/6.76. Den store variasjonen fra et halvår til det annet skyldes variasjoner i den naturlige seismisitet.

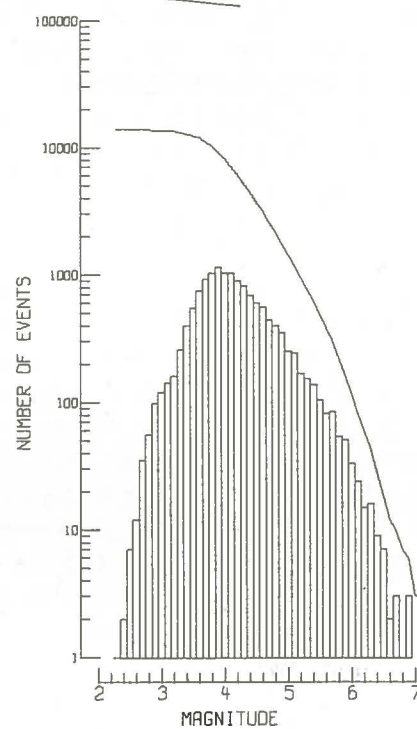


Fig. 1. Styrkefordelingen av ca. 14 000 jordskjelv registrert ved NORSAR i tiden 1/7.74–30/6.76. Hver kolonne i histogrammet viser antallet skjelv innenfor hver tiendedels magnitudo; den heltrukne kurven er kumulativ og viser for hver magnitudo det totale antall skjelv over denne magnitudo. Økningen av antallet skjelv fra de største magnituder og ned mot magnitudo 4 skyldes en reell økning i den naturlige seismisitet, mens det avtagende antall under dette nivå skyldes NORSARs avtagende deteksjonskapasitet.

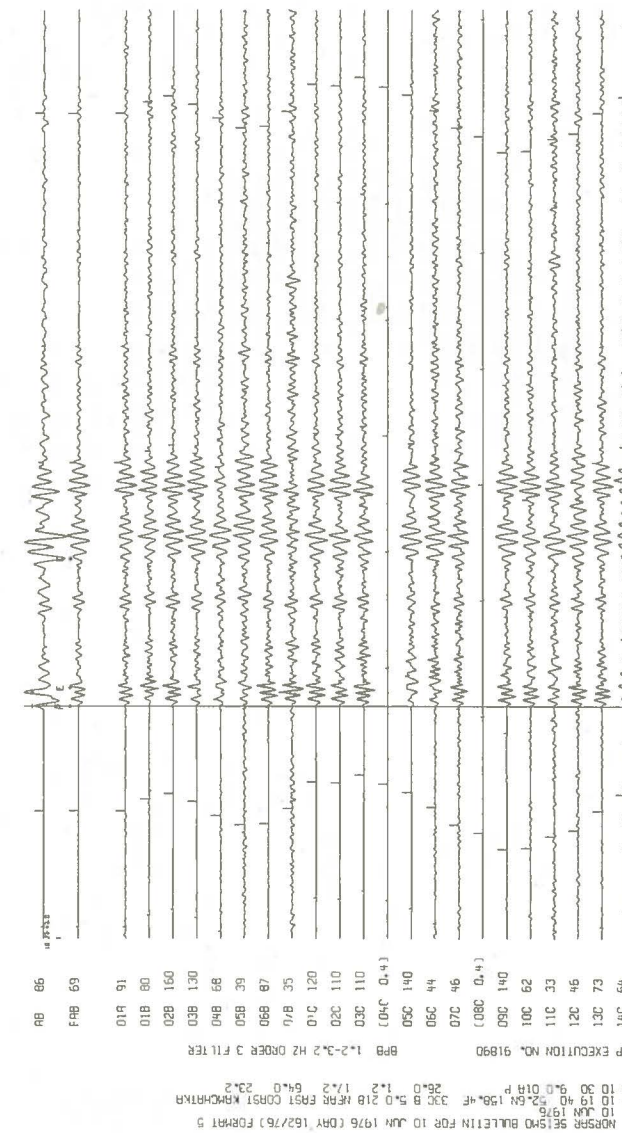


Fig. 2. Seismiske registreringer ved NORSAR fra et jordskjelv med magnitudo 5.0 utenfor Kamchatka-halvøya den 10. juni 1976. De to øverste kurvene representerer summen av alle de 132 kortperiodiske seismometrene ved NORSAR, og de øvrige er fra hvert av de 22 underanleggene der hver kurve representerer summen av 6 seismometre. Registreringene dekker ca. 80 sekunder, mens de sterkeste utslagene varer i ca. 20 sekunder. Teksten til venstre viser mellom annet at jordskjelvet fant sted kl. 10.19.40 med beliggenhet 53°N og 158°E.



## FORSKNING OG UTVIKLING

---

I den første beretningen fra NORSAR (1970-72) ble det under dette kapitlet lagt opp til en presentasjon av grunnproblemene innen deteksjon, lokalisering og identifikasjon av seismiske hendelser. I den neste (1972-74) ble det lagt mer vekt på å presentere noen mer generelle problemstillinger innen den faste jords fysikk, med spesiell referanse til arbeidet utført ved NORSAR. I denne tredje beretningen (1974-76) tar vi et nytt utgangspunkt igjen og presenterer fire forskjellige forskningsprosjekter i noen detalj. Disse representerer selvfølgelig bare en liten del av den totale aktiviteten, men spenner likevel over så mange forskjellige felter at de gir et visst bilde av den seismologiske forskningen ved NORSAR. En mer fullstendig oversikt vil en få fra listene over publikasjoner og foredrag.

### SEISMISITETEN I FENNOSKANDIA OG RUNDT JAN MAYEN

Et større forskningsarbeid som nå er avsluttet omfatter en analyse av jordskjelvaktiviteten i Fennoskandia (Skandinavia + Finland) for tidsrommet fra 1497 til 1975. Utgangspunktet rent datamessig har vært tidligere rapporter og artikler om jordskjelv i Norge, Sverige og Finland for tiden fram til 1950. Da den første seismografen i Skandinavia ble installert i 1904 er disse dataene i det vesentlige basert på beskrivelse av hvordan skjelvene ble følt og opplevet av mennesker, dette kalles makroseismisk informasjon. Også i tiden etter 1904 kunne måleinstrumentene bidra relativt lite da de var så lite følsomme. Dessuten var det altfor få av dem, og disse manglene ble egentlig ikke rettet opp før rundt 1960 da elektromagnetiske seismografer avløste de mekaniske. Likevel er mange av de gamle publikasjonene om jordskjelv i Skandinavia av forbausende god kvalitet, og det er spesielt grunn til å framheve det arbeidet som Professor K.F. Kolderup i Bergen utførte i begynnelsen av dette århundret. Han baserte seg vesentlig på spørreskjemaer som ble sendt ut etter hvert jordskjelv, en teknikk som ble tatt i bruk i Norge i 1880-årene og som fremdeles benyttes.

I tillegg til innsamling og bearbeidelsen av disse gamle jordskjelvdatabaene har dette prosjektet omfattet en kritisk gjennomgåelse også av de instrumentelle data for tiden 1951-75. Hovedproblemet i dette arbeidet har vært de mange eksplosjoner, både på sjø og land, som blander seg inn i jordskjelvkatalogene. Signalene fra slike eksplosjoner er nemlig ofte til forveksling lik de fra naturlige jordskjelv, derimot har de gjerne en annen statistisk fordeling i tid og rom, og

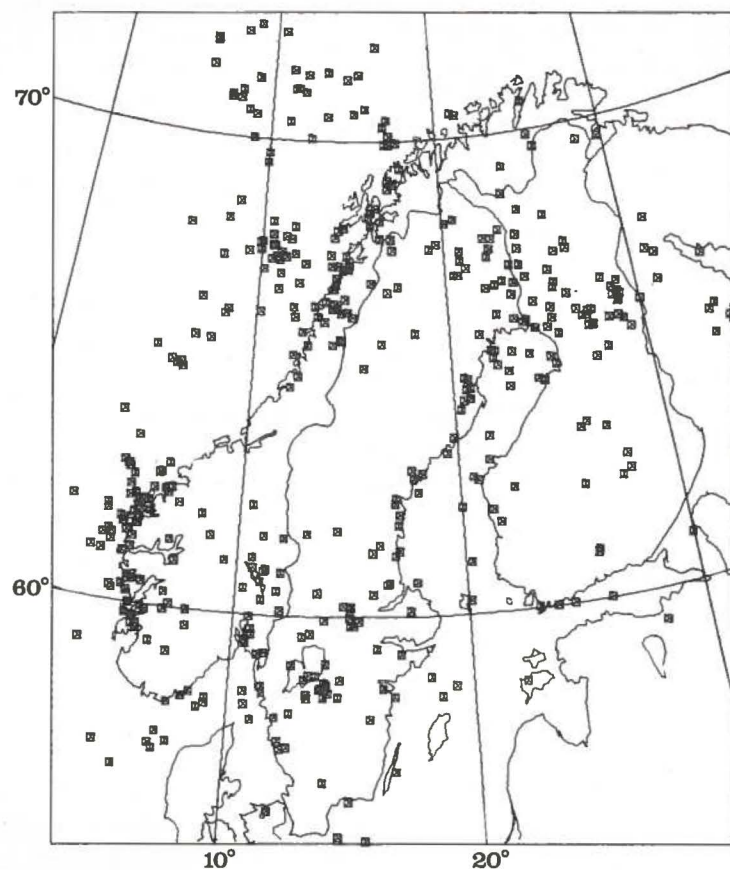


Fig. 3. Jordskjelv i Fennoskandia i tiden 1951-1975, med lokaliseringer vesentlig basert på instrumentelle registreringer. Kartet viser mellom annet en viss konsentrasjon av seismisitet på Vestlandet samt i og utenfor Nord-Norge.

kan skilles ut på det grunnlag. Det endelige resultat hva angår tiden 1951-75 er vist i Figur 3, hvor 469 jordskjelv er blitt tegnet inn. Seismisiteten slik den framtrer på Figur 3 og på andre kart som ikke er gjengitt her har ført til en inndeling i tre større soner, én i Vest-Norge, én gjennom Telemark-Vänern området, og én langs vestkysten av Bottenviken. Dessuten er tre svakere soner blitt definert, én i Lapplands-området, én Norskehavs-sone som går nordøstover fra Senja, og én Kontinentalsokkel-sone som går i en stor bue fra Lofoten og sørover til Stadt.

Et interessant spørsmål er nå hva som er årsaken til denne om enn beskjedne, jordskjelvaktiviteten i Fennoskandia. Et klart svar på dette spørsmålet har en fremdeles ikke, men en kan nok si at spekulasjonene nå er en god del mer velfunderte enn de var før. I denne forbindelse er det blitt samlet inn en

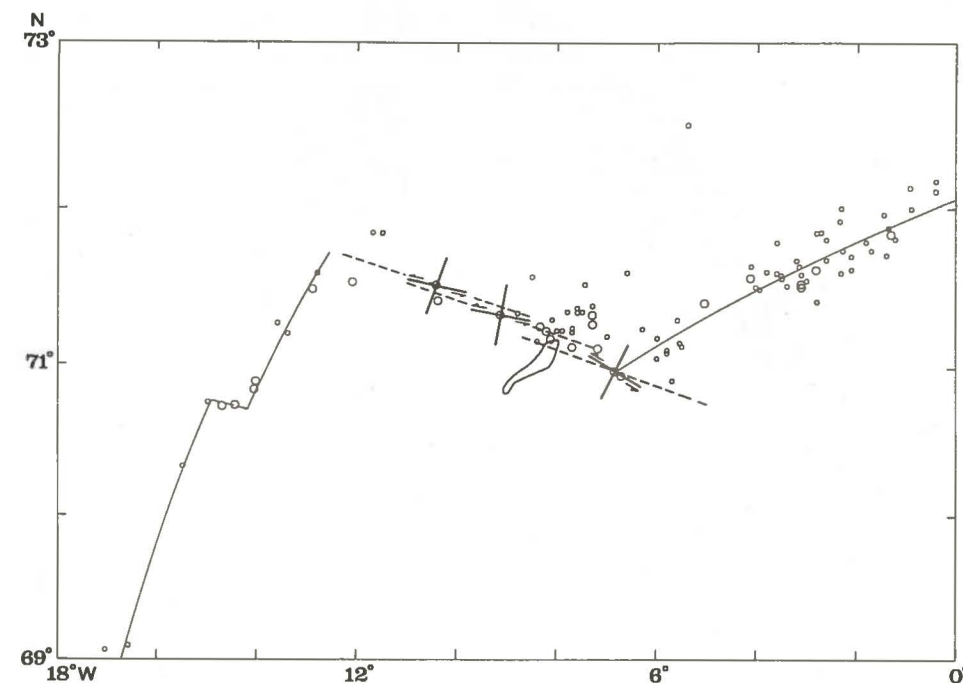


Fig. 4. Jordskjelvaktiviteten i områdene rundt Jan Mayen, basert på instrumentelle registreringer i tiden 1955-1975. Hvert skjelv er avmerket med en sirkel, og kryssene indikerer skjelv hvor selve forkastningsmekanismen er blitt undersøkt i detalj.

mengde relevante geologiske data, og seismisiteten er tolket i lys av det en nå vet om global tektonikk, altså om jordskorpebevegelser av forskjellige slag, inkludert kontinentalforskyvninger. I denne sammenhengen befinner Fennoskandia seg inne i en tektonisk "plate" som beveger seg langsomt (med noen få cm pr år) i forhold til de andre kontinentene. De kreftene som virker inne i en slik plate vil føre med seg et ganske komplisert jordskjelmønster slik som en har det for Fennoskandia, der en heller ikke kan se bort fra spenninger knyttet til den tertiære landheving, sedimentering utenfor kysten og til masseforskyvninger i forbindelse med istidene.

I tillegg til Fennoskandia er områdene rundt Jan Mayen blitt studert på tilsvarende måte. Disse to områdene er imidlertid tektonisk sett helt forskjellige, da Jan Mayen ligger på en midthavsrygg som markerer skillelinjen mellom to

tektoniske plater. Langs denne ryggen vitner den vulkanske aktiviteten om at ny jordskorpe blir dannet, og der er også en betydelig seismisk aktivitet. Ved NORSAR har vi gjennomgått rapportene for tiden 1955-75 og fjernet jordskjelv-lokaliseringer som er mindre pålitelige. Resultatet er kartet i Figur 4 som viser at den midt-Atlantiske ryggen i dette området er skåret over av en tversgående bruddsone som går rett gjennom Jan Mayen. Et nærmere studium av jordskjelvmekanismene langs denne bruddsonen viser resultater som stemmer helt med teorier om at havbunnen på begge sider av denne sonen forskyver seg i forhold til hverandre, med det resultat at Norskehavet langsomt åpner seg i det Grønland fjerner seg fra Skandinavia.

### SEISMISKE RISIKOANALYSER FOR SKANDINAVIA

Arbeidene med kartlegging og forklaring av jordskjelvaktiviteten i et område er en nødvendig forutsetning for å kunne si noe om risikoen for rystelser i fremtiden. Selv om det har vist seg at det er en del små og mellomstore skjelv i Skandinavia så er området likevel praktisk talt aseismisk i forhold til de virkelig aktive områdene. Dette viser seg også i det at det ikke er kjent noen beretninger fra de siste 500 år om at mennesker er blitt skadet av jordskjelv. De sterkeste rystelsene en kjenner til fra denne perioden er knyttet til et skjelv i Oslofjord-området søndag den 23. oktober 1904, med anslått styrke 6.0-6.5 på Richters skala. Skjelvet var sterkt nok til at det ble tilløp til panikk flere steder, med en god del skader på hus. De største skadene oppsto på Idd kirke der endeveggen revnet – til og med midt under gudstjenesten.

Det er følgelig kjent i utgangspunktet at jordskjelvriskoen i Skandinavia ikke er spesielt stor. Imidlertid finnes det i dag tekniske installasjoner der konsekvensene av en skade kan være så stor at denne risikoen likevel må utredes i størst mulig detalj. Dette gjelder først og fremst kjernekraftverk, men det gjelder også maritime oljeinstallasjoner av forskjellig type og større damanlegg. Slike risikovurderinger har vært foretatt ved NORSAR, på oppdrag fra både norske og svenske institusjoner.

Hovedproblemet i en seismisk risikoanalyse er å kunne finne fram til med hvilken sannsynlighet et skjelv over en viss størrelse vil finne sted i et gitt område innen et gitt tidsrom. Slike forutsigelser kan bare skje med utgangspunkt i kjennskapet til tidligere seismisitet, og for Fennoskandia har det da vært naturlig å ta utgangspunkt i den seismisitetsundersøkelsen som er beskrevet ovenfor. Dataene i Figur 3 gir der en god indikasjon på de mest

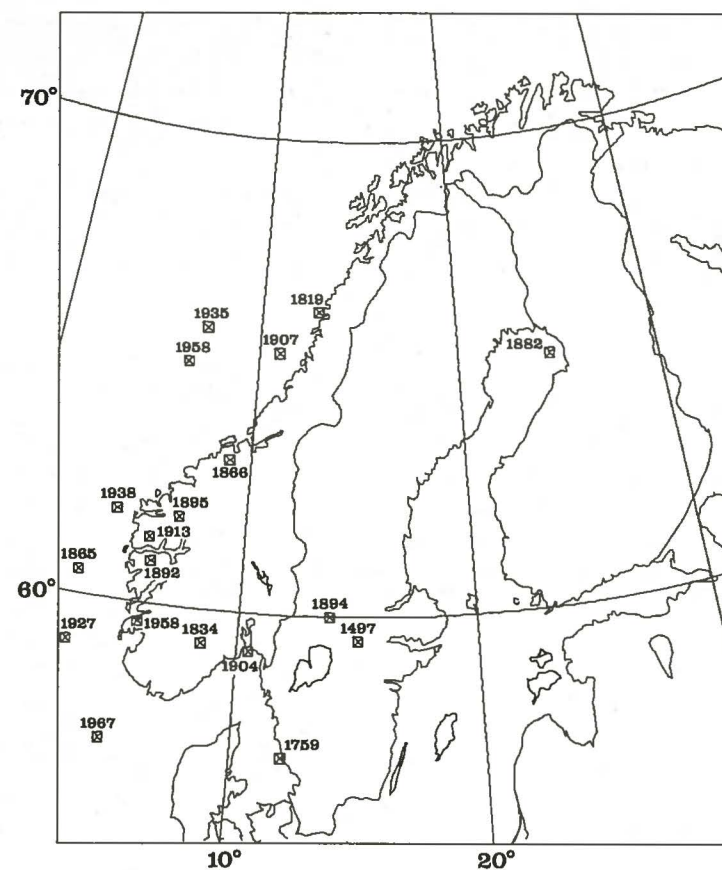


Fig. 5. Jordskjelv i Fennoskandia med magnitudo på 5.0 eller over. Kartet dekker perioden 1497-1975.

aktive seismiske sonene, men da bare 25 år er dekket gir det likevel ikke en tilstrekkelig oversikt over de største skjelvene. Disse får en et bedre inntrykk av i Figur 5, der alle skjelv som antas å ha hatt styrke over 5.0 på Richters skala de siste 480 år er blitt avmerket.

Når en på denne måten har skaffet seg en best mulig oversikt over den historiske seismisiteten i et område, finnes det to alminnelig brukte metoder for å vurdere den fremtidige risikoen, begge på statistisk grunnlag. Den ene metoden, som er basert på et relativt presist kjennskap til forekomsten også av de mellomstore og små skjelv, er ikke så godt anvendelig i et område med svak seismisitet. Den andre, som kalles ekstremverdi-metoden, er mer anvendelig i Fennoskandia da den bare forutsetter at en kjenner de største skjelvene. I dette

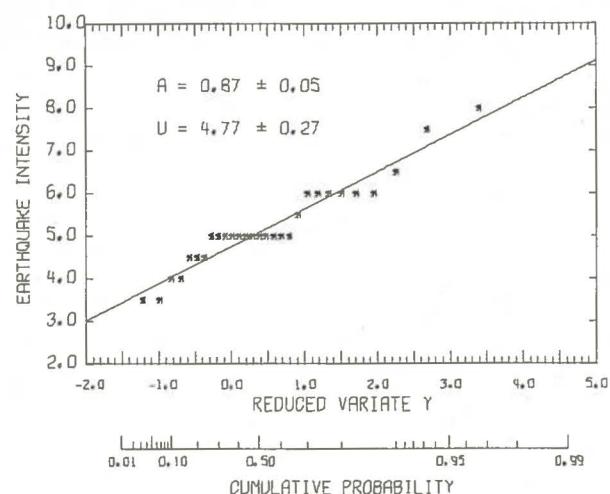


Fig. 6. Statistikk over de maksimale observerte seismiske intensiteter i Sør-Sverige i 10-års perioder. Den estimerte ekstremalverdifordeling basert på disse data er tegnet inn som en rett linje.

tilfelle har vi delt de siste 480 år inn i 48 intervaller på 10 år, og så funnet fram til det største skjelvet innen hvert 10-års intervall. Et eksempel på en slik analyse er vist i Figur 6 der metoden er anvendt på data fra Sør-Sverige etter 1660. Figuren viser mellom annet at det er 50 % sjanse for at det i løpet av en tiårsperiode skal finne sted et skjelv på minst 5.5 i intensitet, og at sannsynligheten er 8 % for et skjelv på over 7.0. Det må her presiseres at den maksimale intensitet, som er et uttrykk for hvordan rystelsene føles på overflaten rett over skjelvets sentrum, er ikke det samme som magnituden (Richter-tallet); denne er et uttrykk for den totale utløste energi. (Oslofjordskjelvet hadde for eksempel en intensitet på over 7 og en antatt magnitudo på 6 til 6.5).

For et konstruktør av et kjernekraftverk eller en oljeboringsplattform er det imidlertid ikke nok å kjenne sannsynlighetene for at visse intensiteter, eventuelt magnituder, skal finne sted. En mer meningsfylt parameter i denne sammenheng er jordbunns-akselerasjonen, uttrykt relativt til tyngdens akselerasjon  $g=9.8 \text{ m/s}^2$ . Med basis i de nevnte data fra Sør-Sverige har en da funnet at det er en sannsynlighet på  $10^{-5}$  for at det i løpet av et år skal finne sted et skjelv som i Forsmark-området nordøst for Stockholm (der det planlegges et kjernekraftverk) vil gi en akselerasjon på 0.16 g. Eller uttrykt på en annen måte: det vil i gjennomsnitt gå 100 000 år mellom hver gang en vil oppleve en akselerasjon på 0.16 g. Dette er en risiko som er lav nok til at den enkelt kan møtes med konstruksjonsmessige tiltak.

## ULTRA-PRESISE MÅLINGER AV BØLGEHASTIGHETER

En av de viktigste metoder som er blitt utviklet for varsling av jordskjelv baserer seg på at det av og til kan måles systematiske variasjoner i forplantningshastigheten av seismiske bølger i tiden før et jordskjelv utløses. Dette har sammenheng med at både jordskjelvet og bølgehastighetene har en årsaksmessig tilknytning til spenningsvariasjoner i jordskorpa. Der er imidlertid ingen enkel forbindelse, og det er tvilsomt om slike variasjoner går forut for alle skjelv.

I mellomtiden er det viktig å utvikle enkle og presise metoder for måling av hastighetsvariasjoner. Vanligvis gjøres dette ved å avfyre eksplosjoner med visse mellomrom i tid og så se om gangtiden fram til et fast registreringspunkt forandrer seg med tiden. Mye større presisjon kan imidlertid oppnås ved å bruke en kontinuerlig kilde, med avlesninger en eller flere ganger i sekundet. Et slikt eksperiment er gjennomført ved NORSAR, der vi har benyttet kraftstasjonen ved Hunderfossen som seismisk bølgegenerator, og registrert bølgene over en avstand fra 4 til 14 km fra stasjonen. Det som skjer er at litt av energien som overføres via de flere hundre tons tunge rotorene lekker ut og overføres til regelmessige seismiske bølger, med en frekvens svarende til generatorens omdreiningsrate på  $166 \frac{2}{3}$  pr minutt.

For å oppnå en høy presisjon, og for å studere eventuelle variasjoner med hensyn på tiden, har vi analysert registreringer fra 6 seismometre over en hel uke, med 10 samlepunkter pr sekund (tilsammen ca 36 millioner avlesninger). Det viste seg at ved å bruke alle disse registreringene i kombinasjon var det mulig å måle hastighetsforandringer av størrelsesorden 0.001 %, det mest pre-

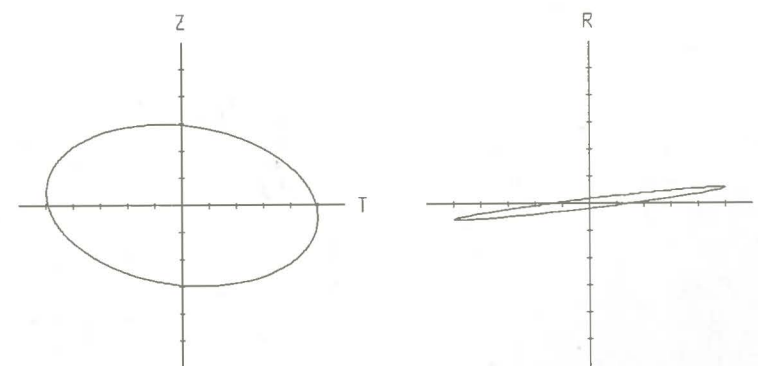


Fig. 7. Partikkelbevegelsen i de seismiske bølgene fra Hunderfossen kraftstasjon i Gudbrandsdalen slik de registreres i en avstand av 4.7 km. Z står for den vertikale akselen, T for den transversale (på tvers av bølgeretningen) og R for den radielle (langs bølgeretningen). Figuren viser at partiklene beveger seg i et plan loddrett på forplantningsretningen for bølgene, noe som er typisk for skjær-bølger (også kalt sekundær-bølger).

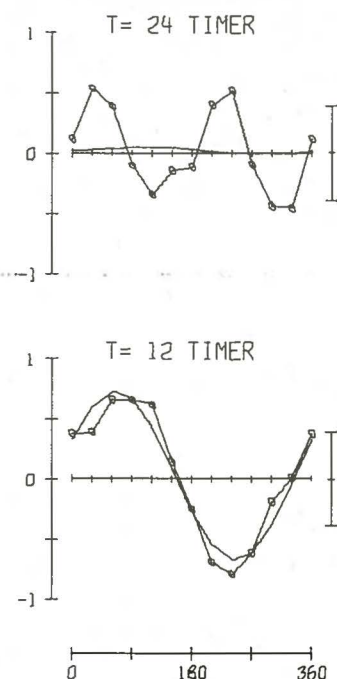


Fig. 8. Analyse som viser en 12 timers periodisitet i hastighetsvariasjonene slik de måles ved hjelp av de seismiske bølgeene fra Hunderfossen kraftstasjon. På en framstilling som dekker 24 timer (øverst på figuren) framtrer variasjonen med to fulle perioder.

sise som noen gang er dokumentert. Ved å bruke bare to timer med data kom presisjonen opp på 0.01 %, og det er fremdeles en meget stor nøyaktighet.

Et viktig steg i dataanalysen under dette prosjektet var å finne fram til typen av bølger som ble utsendt fra kraftstasjonen. Til det ble det foretatt en analyse av partikkelbevegelsen i registreringspunktet. Denne er vist i Figur 7, og det viser seg at partiklene svinger på tvers av forplantningsretningen, noe som er typisk for de såkalte S-bølger. Disse har i det aktuelle området en hastighet på ca. 3.5 km/sek. Etter at bølgetypen var bestemt, ble dataene analysert for om mulig å finne fram til systematiske variasjoner i hastigheten. Figur 8 viser at det ble funnet en periodisitet på 12 timer, der utslagene var av størrelsesorden 0.01 % – altså meget små variasjoner. Den mest sannsynlige kilden til disse variasjonene ligger i den såkalte tidejordseffekten, som skyldes jordens, månens og solas relative bevegelser. Dette fører til systematiske spenningsvariasjoner i jordskorpen som igjen vil influere på de seismiske bølgehastighetene. I forbindelse med dette prosjektet er det gjort omfattende teoretiske studier av tidejordseffektene, og selv om de teoretiske resultatene ikke stemmer helt med observasjonene er det likevel overveiende sannsynlig at de observerte hastighetsvariasjonene i virkeligheten skriver seg fra månens bevegelse rundt jorden.

## IDENTIFIKASJON AV KJERNEFYSISKE EKSPLOSJONER

Det går fram av formålsparagrafen at den sentrale oppgave for NORSAR er å drive forskning rundt problemene med å identifisere underjordiske kjernefysiske eksplosjoner. I praksis viser det seg at det er få seismologiske problemstillinger som ikke er relevante i forhold til denne målsettingen, og da står en selvfølgelig friere med hensyn til valg av konkrete forskningsoppgaver. Dette kan best illustreres ved å vise til at hvis en vil få fram mest mulig informasjon om en bestemt jordrustelse bare basert på en fjern seismologisk registrering så må en i detalj kjenne de fysiske egenskapene til mediet som bølgeene har gått gjennom. Dermed er en inne i den faste jords fysikk, med alt hva dette innebærer av generelle seismologiske problemstillinger.

Ved NORSAR har vi de siste par årene trappet opp forskningen rundt de spesifikke kriterier og tester som anvendes for å kunne klassifisere en hendelse enten som et jordskjelv eller en eksplosjon (å skille mellom kjemiske og kjernefysiske eksplosjoner er ikke mulig ved hjelp av seismiske metoder – men som regel er jo de kjernefysiske betydelig kraftigere). En slik test kalles gjerne en *diskriminant*, og utviklingen og forbedringen av disse har i alt vesentlig skjedd i to etapper. Den første fant sted i tiden 1967-72 da en rekke diskriminanter ble utviklet etter en konsentrert og omfattende internasjonal forskningsinnsats. De fleste av disse diskriminantene var todimensjonale og gikk ut på at det fra registreringene ble trukket ut to parametre, og et diagram hvor den ene parameteren ble plottet mot den andre viste da en mer eller mindre god separasjon mellom eksplosjoner og naturlige jordskjelv. Den beste av disse viste seg å være den såkalte  $m_b:M_s$  diskriminanten som sammenligner magnituden (Richter-tallet) på registreringer fra henholdsvis kortperiodiske ( $m_b$ ) og langperiodiske ( $M_s$ ) seismometre. En slik kurve er gjengitt i Figur 13 i NORSARs beretning for 1972-74.

Den andre etappen i utviklingen av identifikasjonsteknikkene har vært direkte knyttet til forskningsaktiviteten ved NORSAR. Gjennom en serie arbeider, basert på fem år med NORSAR-registreringer, er det blitt utviklet en helt ny identifikasjonsteknikk som representerer en vesentlig forbedring i forhold til tidligere. Det nye er at en trekker ut et større antall parametre både fra de kortperiodiske og de langperiodiske dataene, hvoretter en behandler identifikasjonsproblemet som et problem innen feltet mønstergjenkjennelse (pattern recognition). En viktig del av dette er at den informasjon som initielt trekkes ut fra de seismiske registreringene først behandles i en såkalt prinsippal-komponent analyse. I dette ligger at en finner ut hvilke parametre som inneholder mest informasjon om de seismiske bølgeene, noe som i praksis f. eks. kan føre til at en presser informasjonen fra 50 målinger inn i 5 tall, der det første tallet (prinsippal-komponenten) bærer mest informasjon, det andre nest mest, etc. Denne datareduksjonen er av stor betydning da den gjør den endelige klassifiseringen av hendelsene mye enklere. Denne utføres gjennom en

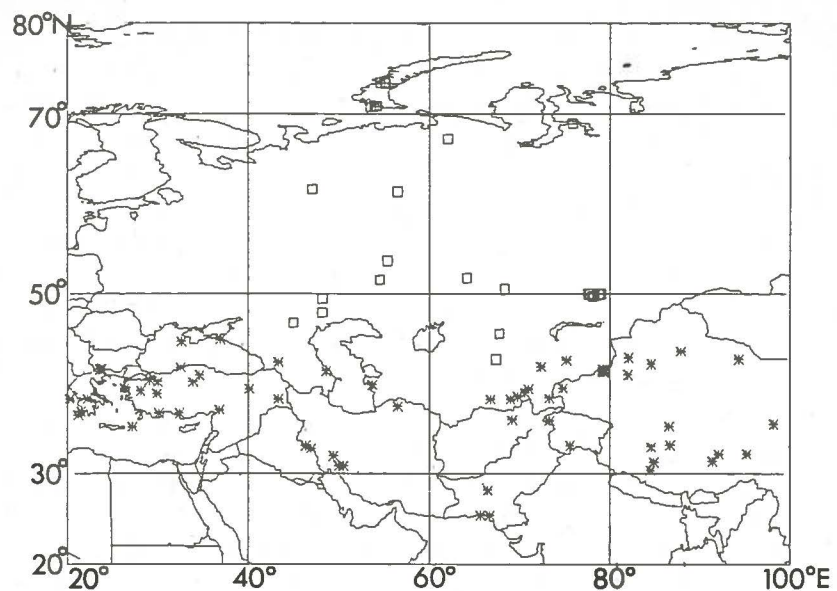


Fig. 9. Kart som viser den geografiske fordeling av noen av de eksplosjoner (firkanter) og jordskjelv (stjerner) som har inngått i diskriminerings-analysene ved NORSAR.

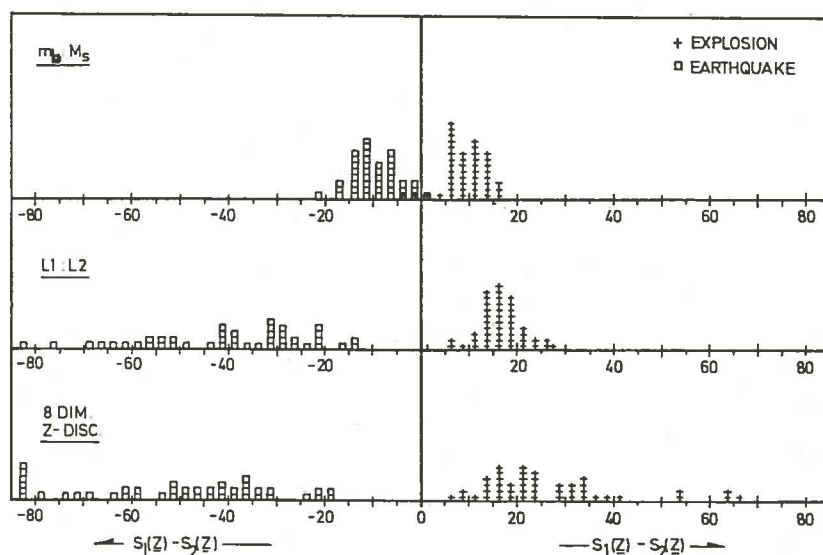


Fig. 10. Histogram som viser separasjonen av jordskjelv og eksplosjoner ved tre forskjellige diskriminanter. Den øverste ( $m_b:M_s$ ) er den som hittil er blitt mest benyttet internasjonalt, mens de to nederste, som er blitt utviklet ved NORSAR, viser en betydelig bedre separasjon.

multivariat klassifiseringsprosedyre som til slutt forteller en hvilken sannsynlighet det er for at en gitt seismisk hendelse skal være en eksplosjon, eventuelt et jordskjelv. Enkelt kan en si at hele prosedyren er basert på at en med grunnlag i tidligere data lærer seg hva som er de karakteristiske egenskapene i registreringene fra henholdsvis eksplosjoner og jordskjelv, og når en ny rystelse registreres foretas det en sammenligning.

Denne prosedyren er blitt testet ut på i alt 67 antatte kjernefysiske eksplosjoner og 73 jordskjelv, alle fra det Euro-Asiatiske kontinent. Plasseringen av disse seismiske hendelsene er vist i Figur 9. Noen av resultatene er vist i Figur 10, der en kan sammenligne resultatene fra den gamle  $m_b:M_s$  diskriminanten først med en ny to-dimensjonal diskriminant ( $L1:L2$ ) og så med en 8-dimensjonal diskriminant. De to siste gir åpenbart en mye bedre separasjon mellom jordskjelv og eksplosjoner.

Til slutt skal det også nevnes at denne nye identifikasjonsprosedyren er meget velegnet for videreutvikling til å kunne omfatte data fra mange forskjellige seismologiske stasjoner. En slik prosedyre, som nå er under utforskning ved NORSAR, vil komme til å bli helt sentral hvis en noen gang oppnår en internasjonal avtale mot underjordiske kjernefysiske sprengninger. Det følger da også at ved å delta i utviklingen av og forbedringen av de seismologiske identifikasjonsteknikkene tjener en til å fjerne de tekniske innvendingene (hva angår kontroll) mot en avtale.

## 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.

NORSAR har i løpet av perioden bidratt med en utredning til FNs nedrustningskomité i Geneve (CCD), der en gjorde rede for de løsninger NORSARs forskere er kommet fram til når det gjelder forbedrede metoder til å skille mellom underjordiske kjernefysiske eksplosjoner og jordskjelv. Utredningen ble meget godt mottatt. To NORSAR-forskere representerer Norge i en ekspertkomité satt ned av CCD for å utrede hvilke krav en skal stille til et verdensomspennende nett at seismiske stasjoner som skal kontrollere at en fullstendig prøvestansavtale overholdes. En av de norske forskerne ble valgt til ekspertkomitéens vitenskapelig sekretær. Denne ekspertkomitéen skal gi sin anbefaling til CCD i løpet av sommeren 1978. Det antas at en av anbefalingene kan bli å gjennomføre et praktisk eksperiment på basis av data fra de stasjonene ekspertgruppen mener skal inngå i kontrollsystemet. Som en av verdens største seismiske stasjoner vil NORSAR i så fall få en sentral rolle i dette eksperimentet som neppe vil bli slutført før omkring 1980.

NORSAR har distribuert sin ukentlige seismiske bulletin til 65 institusjoner i 18 land. Datautveksling via satellitt og ARPANET med det amerikanske Seismic Data Analysis Center i Virginia, med US Geodetic Survey i Boulder, Colorado, med Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass., og med det britiske atomenergibyrå, Blacknest utenfor London, har funnet sted.

Det nordiske samarbeidet har fortsatt på stort sett samme nivå som før og utgjøres av forskerutveksling, daglig datautveksling via telex og et årlig nordisk seminar som behandler deteksjonsseismologiske emner. Det er publisert to avhandlinger i samarbeid med finske forskere.

NORSAR-forskere har deltatt i en rekke internasjonale møter og deres bidrag går fram av listen over foredrag i siste del av denne beretningen.

Det er etablert samarbeid med Det sovjetiske vitenskapsakademis Institutt for Jordens Fysikk i Moskva om forskerutveksling. Den første forsker derfra besøkte NORSAR høsten 1975 og NORSAR-forskere vil besøke det sovjetiske institutt i 1976 og 1977.

Samarbeid med Lincoln Laboratories, Massachusetts Institute of Technology og med Institute of Earth and Planetary Sciences, M.I.T., har fortsatt i perioden. En NORSAR-forsker var gjesteforsker ved M.I.T. i 6 måneder våren og sommeren 1975, og en NORSAR-forsker besøkte M.I.T. i en måned sommeren 1975. Samarbeidet har ført til at en rekke avhandlinger er blitt publisert.

## PUBLIKASJONER

---

- Aki, K., A. Christoffersson og E. S. Husebye:* Determination of the three-dimensional seismic structure of the lithosphere, *J. Geophys. Res.*, (til trykking).
- Aki, K., A. Christoffersson og E. S. Husebye:* Three-dimensional seismic structure of the lithosphere under Montana LASA, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 66, 501-524, 1976.
- Aki, K., og E. S. Husebye:* Preliminary report on and proposal for future focal mechanism study of North Atlantic earthquakes by the surface wave method, *Sci. Rep. No. 2-74/75*, NTN/NORSAR, Kjeller, Norge, 1974.
- Berteussen, K.-A., A. Dahle og E. S. Husebye:* Wave scattering effects in modelling intrinsic time and amplitude anomalies observed across the NORSAR array, *Proceed. Int. Symp. on Seismology and Physics of Solids of the Earth's Int.*, Jena, 1974.
- Berteussen, K.-A. (red.):* Final Technical Report NORSAR Phase 3, 1 July 1974–30 June 1975, NTN/NORSAR, Kjeller, Norge, 1975.
- Berteussen, K.-A.:* Array analysis of lateral inhomogeneities in the deep mantle, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 28, 212–216, 1975.
- Berteussen, K.-A.:* P-wave amplitude variability at NORSAR, *J. Geophys.*, 41, 595–613, 1975.
- Berteussen, K.-A.:* Crustal structure and P-wave travel time anomalies at NORSAR, *J. Geophys.*, 41, 71–84, 1975.
- Berteussen, K.-A. (red.):* Semiannual Technical Report NORSAR Phase 3, 1 July–31 December 1975, NORSAR Sci. Rep. No. 1-75/76, NTN/NORSAR, Kjeller, Norge, 1976.
- Berteussen, K.-A.:* The origin of slowness and azimuth anomalies at large arrays, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 66, 719–741, 1976.
- Berteussen, K.-A.:* Inhomogeneities in the crust and upper mantle of the earth, doktoravhandling, Universitetet i Oslo, 1976.
- Berteussen, K.-A., H. Bungum og F. Ringdal:* Re-evaluation of the NORSAR detection and location capabilities, *NORSAR Sci. Rep. No. 3-75/76*, NTN/NORSAR, Kjeller, Norge, 1976.
- Berteussen, K.-A., A. Christoffersson, E. S. Husebye og A. Dahle:* Wave scattering theory in analysis of P-wave anomalies at NORSAR and LASA, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 42, 529–546, 1975.
- Berteussen, K.-A., og E. S. Husebye:* Amplitude pattern effects on NORSAR P-wave detectability, *NORSAR Scientific Rep. 1-74/75*, NTN/NORSAR, Kjeller, Norge, 1975.
- Brown, R. J.:* Love-wave spectral ratios and scaling of seismic spectra: deep-focus Bonin Islands earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.* (til trykking).



- Brown, R. J., G. H. Friesen, D. H. Hall og O. G. Stephenson:* Weighted vertical stacking in crustal seismic reflection studies on the Canadian Shield, *Geophysical Prospect.*, (til trykking).
- Bungum, H. (red.):* Melding for perioden 1.7.72–30.6.74, NTN/NORSAR, Kjeller, 1974.
- Bungum, H., og J. Capon:* Coda pattern and multipath propagation of Rayleigh waves at NORSAR, *Phys. Earth Planet. Int.*, 9, 111–127, 1974.
- Bungum, H., og E. S. Husebye:* Analysis of the operational capabilities for detection and location of seismic events at NORSAR, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 64, 637–656, 1974.
- Bungum, H., og E. S. Husebye:* The seismicity of Fennoscandia, *Proceed. ESC Symposium on Earthquake Risk for Nuclear Power Plants*, 19–25, 1976.
- Bungum, H., og E. S. Husebye:* Seismicity of the Norwegian Sea: The Jan Mayen Fracture Zone, *Tectonophysics*, (til trykking).
- Bungum, H., og D. Tjøstheim:* Discrimination between Eurasian earthquakes and underground explosions using the  $m_b$ : $M_s$  method and short period autoregressive parameters, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 45, 371–392, 1976.
- Capon, J., and K.-A. Berteussen:* A random medium analysis of crust and upper mantle under NORSAR, *Geophys. Res. Lett.*, 1, 327–328, 1974.
- Dahle, A.:* A Kirnos seismograph in the NORSAR seismic array, *Gerlands Beitr. Geophysik*, 85, 111–120, 1976.
- Dahle, A.:* Time and amplitude fluctuations of teleseismic P-signals at NORSAR in view of wave scattering theory, *Sci. Rep. No. 4-74/75*, NTN/NORSAR, Kjeller, Norge, 1975.
- Fyen, J., E. S. Husebye og A. Christoffersson:* Statistical methods in detection of weak seismic signals, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 42, 529–546, 1975.
- Haddon, R. A. W., E. S. Husebye og D. W. King:* Origins of precursors to P'P', *Phys. Earth Planet. Int.*, (til trykking).
- Husebye, E. S.:* Seismic aspects of small-scale inhomogeneities in the earth's crust and mantle, doktoravhandling, Universitetet i Oslo, 1976.
- Husebye, E. S., H. Bungum, J. Fyen og H. Gjølystdal:* Earthquake activity in Fennoscandia between 1497 and 1975 and intraplate tectonics, *Norsk Geologisk Tidsskrift*, (til trykking).
- Husebye, E. S., A. Christoffersson, K. Aki og C. Powell:* Preliminary results on the 3-dimensional seismic structure of the lithosphere under the USGS Central California Seismic Array, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 46, 319–340, 1976.
- Husebye, E. S., A. Dahle og K.-A. Berteussen:* Bias analysis of NORSAR and ISC reported seismic event  $m_b$  magnitudes, *J. Geophys. Res.*, 79, 2967–2978, 1974.
- Husebye, E. S., H. Gjølystdal, H. Bungum og O. Eldholm:* Seismicity of the Norwegian and Greenland Seas and adjacent continental shelf areas, *Tectonophysics*, 26, 55–70, 1975.

- Husebye, E. S., D. W. King og R. A. W. Haddon:* Precursors to PKIKP and seismic wave scattering near the mantle-core boundary, *J. Geophys. Res.*, 81, 1870–1882, 1976.
- King, D. W.:* Precursors to PP and the P coda, *Proceed. 14th General Assembly European Seismological Commission*, Trieste, 1974.
- King, D. W. og G. Calcagnile:* P-wave velocities in the upper mantle beneath Fennoscandia and Western Russia, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 46, 407–432, 1976.
- King, D. W., R. A. W. Haddon og E. S. Husebye:* Precursors to PP, *Physics Earth Planet. Int.*, 10, 103–127, 1975.
- King, D. W., E. S. Husebye og R. A. W. Haddon:* Processing of seismic precursor data, *Phys. Earth Planet. Int.*, 12, 128–134, 1976.
- Korhonen, H., og S. Pirhonen:* Spectral properties and source areas of storm microseisms at NORSAR, *Sci. Rep. No. 2-75/76*, NTN/NORSAR, Kjeller, Norge, 1976.
- Pirhonen, S., F. Ringdal og K.-A. Berteussen:* Event detectability of seismograph stations in Fennoscandia, *Phys. Earth Planet. Int.*, 12, 329–342, 1976.
- Ringdal, F.:* On the estimation of seismic detection thresholds, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 65, 1631–1642, 1975.
- Ringdal, F.:* Maximum likelihood estimation of seismic magnitude, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 66, 789–802, 1976.
- Ringdal, F., og H. Bungum:* Noise level variation at NORSAR and its effect on detectability, *Bull. Seism. Soc. Am.*, (til trykking).
- Steinert, O., E. S. Husebye og H. Gjølystdal:* Noise variance fluctuations and earthquake detectability, *J. Geophys.*, 41, 289–302, 1975.
- Tjøstheim, D.:* Multiplicity theory for multivariate wide sense stationary generalized processes, *J. Mult. Analys.*, 5, 314–321, 1975.
- Tjøstheim, D.:* Autoregressive representation of seismic P-wave signals with application to the problem of short-period discriminants, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 43, 269–291, 1975.
- Tjøstheim, D.:* Some autoregressive models for short-period seismic noise, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 65, 677–691, 1975.
- Tjøstheim, D.:* Commutation relations for generalized random fields which are homogeneous and purely non-deterministic, *International Statistical Institute, Contributed Papers* 40, 832–837, 1975.
- Tjøstheim, D.:* A note on the unified Dirac-von Neumann formulation of quantum mechanics, *J. Math. Phys.*, 16, 766–767, 1975.
- Tjøstheim, D.:* A commutation relation for wide sense stationary processes, *SIAM J. of Appl. Math.*, 30, 115–122, 1976.
- Tjøstheim, D.:* Spectral generating operators for nonstationary processes, *Applied Probability*, (til trykking).
- Tjøstheim, D.:* On random processes that are almost strict sense stationary, *Applied Probability*, (til trykking).

*Tjøstheim, D.:* Spectral representation and density operators for infinite-dimensional homogeneous random fields, *Wahrscheinlichkeitstheorie und verwandte gebiete*, 35, 323–336, 1976.

*Tjøstheim, D.:* Recognition of waveforms using autoregressive feature extraction, *Correspondence IEEE Trans. Computers*, (til trykking).

*Tjøstheim, D. og E. S. Husebye:* An improved discriminant for test ban verification using spectral estimates for surface wave energy, *Geophys. Res. Lett.*, 8, 499–502, 1976.

*Tjøstheim, D. og J. B. Thomas:* Linear time-invariant transformations of some nonstationary random processes, *Quart. Appl. Math.*, April, 113–117, 1976.

## FOREDRAG — (\*=foredragsholder)

---

*Aki, K.\**, *E. S. Husebye*, *A. Christoffersson* og *C. Powell:* Three-dimensional seismic velocity anomalies in the crust and upper mantle under the U.S.G.S. California seismic array, Annual Fall Meeting of the A.G.U., San Francisco, desember 1974.

*Aki, K.\**, *E. S. Husebye* og *A. Christoffersen:* Three-dimensional seismic images of the lithosphere and their implication on the driving mechanism of plate tectonics, Annual Spring Meeting of the A.G.U., Washington, D.C., juni 1975.

*Aki, K.*, *A. Christoffersson* og *E. S. Husebye\**: Three-dimensional seismic velocity anomalies in the earth's crust and upper mantle in southeastern Norway, Norsk Geologisk Forenings Vinterlandsmøte, 9–10 januar 1975.

*Aki, K.*, *E. S. Husebye\**, *H. Gjølystdal* og *H. Bungum:* Tectonic movements in the Atlantic north of Iceland – Problems and hypotheses, Norsk Geologisk Forenings Vinterlandsmøte, 9–10 januar 1975.

*Berteussen, K.-A.:* On the origin of slowness and azimuth anomalies, 6th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, 2–4 juni 1975.

*Berteussen, K.-A.:* The use of body wave spectra in studies of local structure, Prøveforelesning for doktorgrad, Oslo Universitet, 20 mai 1976.

*Berteussen, K.-A.:* Discrimination between seismic signals from explosions and earthquakes, Prøveforelesning for doktorgrad, Oslo Universitet, 20 mai 1976.

*Berteussen, K.-A.*, *H. Bungum\** og *F. Ringdal:* A reevaluation of NORSAR performance, 7th Nordic Seminar on Detection Seismology, København, 24–26 mai 1976.

*Berteussen, K.-A.\**, *D. W. King* og *H. Bungum:* Implications of crustal scattering on seismic profiling, 6th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, 2–4 juni 1975.

*Brown, R. J.:* Corner frequencies and scaling laws from Love-wave spectral ratios, 6th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm 2–4 juni 1975.

*Brown, R. J.:* Source models and Love-wave corner frequencies, European Seismological Commission/European Geophysical Society Workshop on 'Surface waves and free oscillations of the earth', Mamaia, Romania, 22–30 september 1975.

*Brown, R. J.\**, *G. H. Friesen* og *D. H. Hall:* Weighted vertical stacking in crustal seismic reflection studies on the Canadian Shield, 37th Meeting of the European Association of Exploration Geophysicist, Bergen, 17–20 juni 1975.

- Bungum, H.:* Seismic array P-wave travel time and amplitude data in analysis of earth structure. Prøveforelesning for doktorgrad, Bergen Universitet, 14 november 1974.
- Bungum, H.:* Signal extraction from stochastic and coherent noise, Prøveforelesning for doktorgrad, Bergen Universitet, 14. november 1974.
- Bungum, H.:* The effect of multipath propagation on surface wave dispersion analysis, 14th General Assembly of the European Seismological Commission, Trieste, Italy, 15–26 september 1974.
- Bungum, H.:* Seismicity of the Fennoscandian land uplift area, Second Discussion Meeting of the Blue Road Project, Uppsala, Sverige, 24–25 februar 1975.
- Bungum H.:* Deteksjon og identifikasjon av underjordiske kjernefysiske prøver, Fellesmøte av det norske og finske nedrustningsutvalg, Kjeller, 19. mai 1976.
- Bungum, H.\* og K. Aki:* In situ stress measurements in the NORSAR siting area, Norsk Geologisk Forenings Vinterlandsmøte, Bergen, 9–10 januar 1975.
- Bungum, H.\* og D. Tjøstheim:* Discrimination between explosions and earthquakes using  $m_b$ : $M_s$  data in combination with short period autoregressive parameters, 6th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, 2–4 juni 1975.
- Bungum, H.\* og D. Tjøstheim:* Discrimination between explosions and natural earthquakes using the Norwegian Seismic Array, Annual Meeting of the American Geophysical Union, Washington, D.C., 16–19 juni 1975.
- Bungum, H.\*, og E. S. Husebye:* The seismicity of Fennoscandia with special reference to the Oslofjord Area, European Seismological Commission Symposium on Earthquake Risk for Nuclear Power Plants, Walferdange, The Netherlands, 20–22 oktober 1975.
- Bungum, H.\* og E. S. Husebye:* Seismicity of the Norwegian Sea: The Jan Mayen Fracture Zone, 7th Nordic Seminar on Detection Seismology, København, 24–26 mai 1976.
- Bungum, H.\*, T. Risbo og E. Hjortenberg:* Precise continuous monitoring of seismic velocities, 7th Nordic Seminar on Detection Seismology, København, 24–26 mai 1976.
- Calcagnile, G.:* Rayleigh wave phase velocities for the path Kirkenes-Kings Bay, 6th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, 2–4 juni 1975.
- Calcagnile, G. og D. W. King\*:* P-wave velocities in the upper mantle beneath western Russia, Scandinavia and the North Atlantic, 6th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, 2–4 juni 1975.
- Christoffersen, A.\*, E. S. Husebye og K. Aki:* Three-dimensional inversion of two-dimensional array P-wave travel time data, Annual Spring Meeting of the A.G.U., Washington, D.C., 16–19 juni 1975.

- Cleary, J. og D. W. King\*:* S-waves and upper mantle shear structure, European Seismological Commission/European Geophysical Society Workshop on Surface Waves and Free Oscillations, Mamaia, Romania, september 1975.
- Crampin, S.\* og D. W. King:* Higher modes of seismic surface waves: Evidence from particle motion of anisotropy in the upper mantle beneath Eurasia, European Seismological Commission/European Geophysical Society Workshop on Surface Waves and Free Oscillations, Mamaia, Romania, september 1975.
- Fyen, J.\*, E. S. Husebye og A. Christoffersson:* Nonparametric statistical methods in detection of weak seismic signals, 14th General Assembly European Seismological Commission, Trieste, Italy, september 1974.
- Gjøystdal, H.\*, og E. S. Husebye:* Seismic activity in Norway during the time period 1612–1974, Norsk Geologisk Forenings Vinterlandsmøte, Bergen, 9–10 januar 1975.
- Haddon, R. A. W.\*, E. S. Husebye og D. W. King:* Origins of precursors to P'P', 16th General Assembly, International Union of Geodesy and Geophysics, Grenoble, 25 august–6 september 1975.
- Haddon, R. A. W.\* og E. S. Husebye:* 3-D upper mantle structure beneath NORSAR, 7th Nordic Seminar on Detection Seismology, København, 24–26 mai 1976.
- Haddon, R. A. W.\*, E. S. Husebye og D. W. King:* Precursors to P'P', 7th Nordic Seminar on Detection Seismology, København, 24–26 mai 1976.
- Husebye, E. S.:* Nye utfordringer innen den faste jords fysikk–miljøvern og bedre utnyttelse av georessurser, Norsk Geofysisk Forenings møte, 17–19 september 1975.
- Husebye, E. S.:* Tre-dimensjonalt seismisk bilde av lithosfæren under Oslofeltet og hypoteser for kontinentforskyvninger, Norsk Geofysisk Forenings møte, 17–19 september 1975.
- Husebye, E. S.:* Determination of the 3-dimensional seismic structure of the lithosphere under NORSAR, LASA and Central California, foredrag ved University of Western Ontario, 14 juli 1975.
- Husebye, E. S.:* Determination of the 3-dimensional seismic structure of the lithosphere, foredrag ved Dept. of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada, 16 juli 1975.
- Husebye, E. S.:* Skandinaviske jordskjelv og seismiske risikoanalyser, Norsk Geofysisk Forenings møte 9–11 juni 1976.
- Husebye, E. S.:* Seismicity of Fennoscandia and intraplate tectonics, prøveforelesning for doktorgrad, Oslo Universitet, 14 juni 1976.
- Husebye, E. S.:* Areas of seismological research for the next decade, prøveforelesning for doktorgrad, Oslo Universitet, 14 juni 1976.

- Husebye, E. S.\**, *H. Bungum* og *H. Gjøystdal*: Earthquake activity in Fennoscandia between 1497 and 1975 and intraplate tectonics, 7th Nordic Seminar on Detection Seismology, København, 24–26 mai 1976.
- Husebye E. S.\**, *D. W. King* og *R. A. W. Haddon*: Precursors to PKIKP and seismic wave scattering near the mantle-core boundary, 7th Nordic Seminar on Detection Seismology, 24–25 mai 1976.
- Husebye, E. S.\** og *A. Christoffersson*: The seismic structure of the lithosphere beneath NORSAR, LASA and Central California, foredrag ved Lincoln Laboratories, M.I.T., Cambridge, Mass., mai 1975.
- King, D. W.*: Precursors to PP and the P coda, 14th General Assembly of the European Seismological Commission, Trieste, Italy, 16–22 september 1974.
- King, D. W.*: New seismological methods for lithospheric modelling, Blue Road Traverse Meeting, Uppsala, Sverige, 23–25 februar 1975.
- King, D. W.*: Introduction to facilities at NORSAR, European Seismological Commission/European Geophysical Society Workshop on Surface Waves and Free Oscillations, Mamaia, Romania, september 1975.
- King, D. W.\**, *E. S. Husebye* og *R. A. W. Haddon*: Seismic wave scattering in the earth: a review, 6th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, 2–4 juni 1975.
- King, D. W.\** og *S. Crampin*: Higher mode surface waves at NORSAR, 6th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, 2–4 juni 1975.
- King, D. W.* og *S. Crampin*: Love waves from atmospheric explosions, European Seismological Commission/European Geophysical Society Workshop on Surface Waves and Free Oscillations, Mamaia, Romania, september 1975.
- King, D. W.\**, *E. S. Husebye* og *R. A. W. Haddon*: Processing of seismic precursor data, 14th General Assembly, I.U.G.G., Grenoble, 25 august–6 september 1975.
- King, D. W.*, *E. S. Husebye\** og *R. A. W. Haddon*: Seismic wave scattering in the earth, Annual Spring Meeting of the A.G.U., Washington, D.C., 16–19 juni 1975.
- Rieber-Mohn, D.*: ARPANET fra brukerens synspunkt, Norsk Selskap for Elektronisk Informasjonsbehandling, 13 november 1974.
- Rieber-Mohn, D.*: Is your FORTRAN programming good enough?, 6th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, 2–4 juni 1975.
- Rieber-Mohn, D.*: Vertsmaskintilknytning til et datanett, Norsk Selskap for Elektronisk Informasjonsbehandling, 24 mars 1976.
- Ringdal, F.*: Maximum-likelihood estimation of seismic event magnitude from network data, 6th Nordic Seminar on Detection seismology, Stockholm, 2–4 juni 1975.
- Ringdal, D.\** og *H. Bungum*: Noise level variation at NORSAR and its effect on detectability, 7th Nordic Seminar on Detection Seismology, København, 24–26 mai 1976.

- Ringdal, F.\** og *E. S. Husebye*: Gumbel's extreme value statistics in seismic risk analysis for the Mosjøen area, Northern Norway, 7th Nordic Seminar on Detection Seismology, København, 24–26 mai 1976.
- Tjøstheim, D.*: Autoregressive representation of seismic P-wave signals, 6th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, 2–4 juni 1975.
- Tjøstheim, D.*: Commutation relations for random fields which are homogeneous and purely nondeterministic, 40th ISI conference in statistics, Warsaw, september 1975.
- Tjøstheim, D.*: Annen-ordens teori for stokastiske prosesser med anvendelse på geofysiske data, Seminar i anvendt statistikk, Universitetet i Tromsø, 12–14 november 1975.
- Tjøstheim, D.*: Analyse av tidsrekker, 6 forelesninger holdt i januar/februar, Oslo Universitet, 1976.
- Tjøstheim, D.*: Analyse av tidsrekker, 6 forelesninger holdt i mars, Bergen Universitet, 1976.
- Tjøstheim, D.*: Om stokastiske prosesser som er nesten annen-ordens stasjonære, Hovedfagsseminar, Universitetet i Oslo, mai 1975.
- Tjøstheim, D.*: Seismic discrimination using pattern recognition, 7th Nordic Seminar on Detection Seismology, København, 24–26 mai 1976.