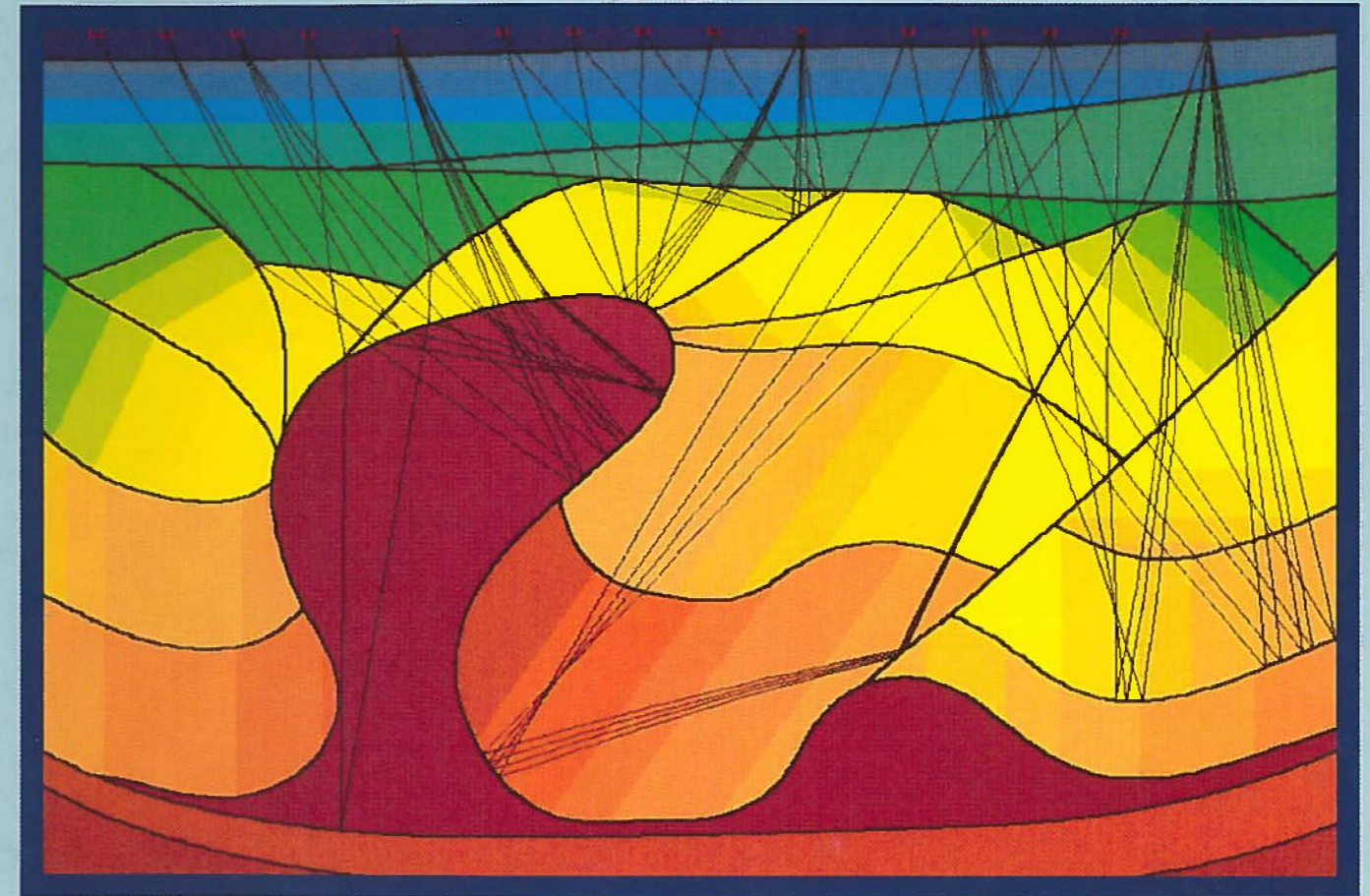


NORSAR



Årsmelding 1995

NORSAR
Postboks 51
N-2007 Kjeller, Norge
Telefon: +47 - 63 81 71 21 – Telefax: +47 - 63 81 87 19
Computer mail: info@norsar.no
Internet: <http://www.norsar.no/>

Bakgrunn

NORSAR — Norwegian Seismic Array — er en avdeling underlagt Norges Forskningsråd. NORSAR ble opprinnelig etablert som avdeling under daværende NTNf 1. juli 1970 på bakgrunn av en regjeringsavtale mellom Norge og USA om seismologisk forskning og utvikling (St. Prop. 128 67/68). Norges Forskningsråd ivaretar de norske forpliktelser i henhold til regjeringsavtalen, mens tilsvarende amerikansk kontraktspartner er Advanced Research Projects Agency (ARPA).

NORSARs opprinnelige formål var å utføre forskning på felter med tilknytning til seismologisk deteksjon og identifikasjon av jordskjelv og underjordiske kjernefysiske eksplosjoner. Fra 1976 ble NORSARs arbeidsområde utvidet til også å omfatte forskningsoppdrag fra industrien innen anvendt seismologi og geofysikk, og denne typen engasjementer utgjør i dag en vesentlig del av NORSARs FoU-aktiviteter.

NORSARs forskningsvirksomhet blir stadig mer rettet mot bruk av avansert datateknikk. Med bakgrunn i de brukerbehov som er kommet fram under NORSARs forskningsoppdrag, er det utviklet programsystemer som viser seg å være av interesse på en bredere basis, og som har ledet til produkter som NORSAR nå markedsfører.

På flere felter innen seismologi, geofysikk og datateknikk har NORSAR i løpet av de siste årene arbeidet seg inn med en spesialisert kompetanse som også representerer kjernen i NORSARs forretningsidé. Innen alle aktivitetsområdene er en betydelig del av virksomheten internasjonalt rettet. NORSAR legger vekt på kontinuerlig fornyelse av det vitenskapelige kompetansegrunnlaget som nøkkelen til en fremtidig bærekraftig aktivitet på alle NORSARs innsatsområder.

Bildet på forsiden viser en geologisk modell konstruert vha NORSAR-2D modelleringspakke. Fargene angir variasjon i seismisk bølgehastighet. Strålene viser noen utvalgte bølgebaner.

NORSAR

Virksomhetsidé

NORSARs formål er:

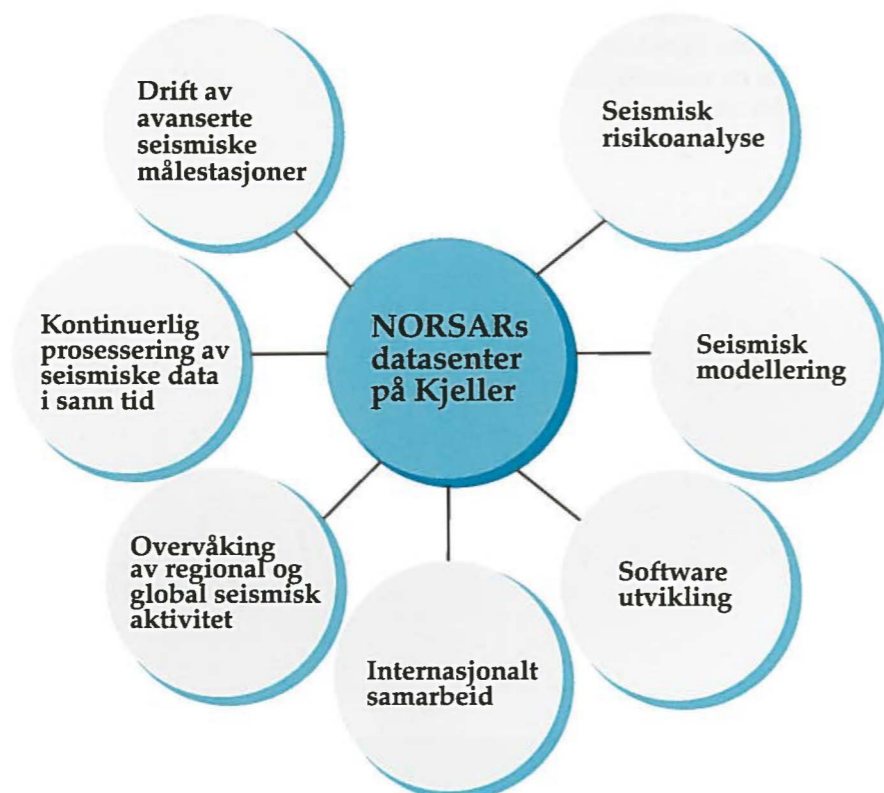
- Forskning, utvikling og rådgivende virksomhet innen geofysiske og relaterte datatekniske fagområder.
- Forskning, utvikling og drift knyttet til overvåking av jordskjelv og kjernefysiske eksplosjoner.

Kort om NORSAR

NORSAR er en avdeling underlagt Norges Forskningsråd. NORSAR følger opp Forskningsrådets forpliktelser i forbindelse med regjeringsavtalen Norge-USA om seismologisk forskning og utvikling.

NORSAR utfører forsknings-, utviklings- og konsulentoppdrag innen seismisk risikoanalyse, seismisk modellering og utvikling av programsystemer innen geofysikk.

NORSAR er i dag et internasjonalt anerkjent forskningscenter innen seismologi, med 35 ansatte og et budsjett i 1996 på 26 millioner kroner.



Virksomheten i 1995

NORSARs feltsystemer

NORSARs feltsystemer omfatter avanserte seismiske målestasjoner av array-typen i Hedmark, Finnmark og på Spitsbergen, med kontinuerlig overføring av data via høyhastighets landlinje eller satellitt til datasenteret på Kjeller. I samarbeid med vertslandene mottar og prosesserer NORSAR også kontinuerlige data fra målestasjoner i Sverige, Finland, Russland (Kola) og Tyskland.

Jordskjelvinformasjon

NORSAR er én av to institusjoner i Norge (Jordskjelvstasjonen i Bergen er den andre) som kan gi informasjon om jordskjelv til media og publikum. Denne viktige informasjonsrollen blir særlig fokusert ved større jordskjelv i de mer jordskjelv-utsatte områder, men det er også ofte behov for informasjon og analyser av jordskjelv i Norge som er kraftige nok til å bli merket av befolkningen. NORSAR samarbeider med

Jordskjelvstasjonen i slike tilfeller for å gi raskest mulig informasjon om jordskjelvets lokasjon, styrke og andre utfyllende opplysninger.

Kjernefysisk prøvestans

En ekspertgruppe nedsatt av FN's Nedrustningskonferanse i Genève er i ferd med å utvikle og teste et eksperimentelt globalt overvåkingssystem for seismiske hendelser. Formålet er å legge grunnlaget for verifikasjon av en kjernefysisk prøvestansavtale, som ventes ferdigforhandlet av Nedrustningskonferansen i 1996. NORSARs feltsystemer vil utgjøre en viktig komponent i et slikt system, og NORSAR har hatt et betydelig engasjement i ekspertgruppens arbeid.

Kjernefysiske eksplosjoner i 1995

Frankrike gjennomførte serie på seks underjordiske kjernefysiske prøver ved Mururoa/Fangataufa atollene i Stillehavet fra september 1995 til januar 1996. I

Registrerte kjernefysiske eksplosjoner 1.01.95 - 31.01.96

Dato	Tid (GMT)	Lokasjon	Størrelse (Richter-tall)	Område
Kina				
15.05.95	04.06.00	41.63 N 88.87 E	5.7	Lop Nor
17.08.95	01.00.00	41.60 N 88.86 E	5.5	Lop Nor
Frankrike				
05.09.95	21.30.00	21.85 S 138.94 W	4.7	Mururoa
01.10.95	23.30.00	22.25 S 138.76 W	5.2	Fangataufa
27.10.95	22.00.00	21.82 S 139.05 W	5.3	Mururoa
21.11.95	21.30.00	21.90 S 138.96 W	4.6	Mururoa
27.12.95	21.30.00	21.80 S 139.09 W	5.0	Mururoa
27.01.96	21.30.00	22.27 S 138.78 W	5.1	Fangataufa

To kinesiske og seks franske kjernefysiske prøver ble gjennomført i perioden 1.01.95-31.01.96. Samtlige ble registrert ved NORSARs feltstasjoner og også lokalisert (som vist i tabellen) av det internasjonale datasentret for det eksperimentelle globale overvåkingssystemet GSETT-3. Sprengstyrken varierte fra 20-110 kilotonn for de franske prøvene, og er anslått til 50-100 kilotonn for de kinesiske prøvene.

tillegg gjennomførte Kina to kjernefysiske eksplosjoner, i mai og august 1995. Samtlige sprengninger ble registrert ved NORSAR og rapportert til UD og NTB. De øvrige kjernevåpenstatene opprettholdt et moratorium på prøvesprengninger i 1995.

NORSARs datasenter

Alle de registrerte seismiske data blir prosessert automatisk ved NORSARs datasenter på Kjeller, med påfølgende interaktiv analyse for å fremskaffe så nøyaktig informasjon som mulig om seismiske hendelser (jordskjelv og eksplosjoner). NORSAR utgir en månedlig bulletin over seismiske hendelser globalt over en viss styrke (typisk Richtertall 4 eller større), og utarbeider også en mer detaljert regional seismisk bulletin for Skandinavia og tiliggende områder.

Seismisk risikoanalyse på kontinentalsokkelen

NORSAR har i 1995 hatt en jevn tilgang på oppdrag relatert til jordskjelvanalyser og geofysiske studier på kontinentalsokkelen. Disse oppdragene, som i hovedsak er finansiert av oljeindustrien, innbefatter bl.a. en studie av jordskjelvaktiviteten i midt-Norge, en seismisk risikoanalyse for Åsgard-feltet i samme område, og en studie av jordskjelv-potensialene langs Øygarden-forkastningen utenfor Vest-Norge.

Jordskjelvstudier internasjonalt

I 1995 har NORSAR gjennomført to prosjekter relatert til jordskjelvrisiko i det nære Østen, henholdsvis for en oljeplattform i den Persiske Golf og en kraftkabel over Akaba-bukta mellom Egypt og Jordan. I tillegg har NORSAR deltatt i et EU-finansiert prosjekt som innbefatter innsamling og analyse av data fra tidligere store europeiske jordskjelv helt tilbake til århundreskiftet. Prosjektet omfatter også studier av historiske jordskjelv i Europa.

Norsk nasjonalt seismisk nettverk

I samarbeid med Jordskjelvstasjonen i Bergen har NORSAR i 1995 videreført driften av et norsk nasjonalt seismisk

nettverk. Dette finansieres av oljeselskapene via Oljeindustriens Landsforening, og supplerer de seismiske målestasjoner som er etablert for overvåking av kjernefysiske prøver. Målestasjonen på Spitsbergen (Adventdalen) hører inn under dette nettverket.

Markedsføringsavtaler

NORSAR har i 1995 fortsatt samarbeidet med to uavhengige markedsføringspartnere (PGS/SERES og Geoquest). Som et resultat av dette samarbeidet har NORSAR i 1995 tilbudt markedet modelleringsprodukter tett integrert med Charisma tolkningsstasjon (GECO/PRAKLA) og Nucleus seismisk analyse-system (PGS/SERES). I tillegg markedsfører NORSAR selv frittstående versjoner av sine softwareprodukter.

Seismisk hastighetsbestemmelse

NORSAR har videreført en forskningskontrakt med Statoil på et prosjekt innen seismisk hastighetsbestemmelse i kombinasjon med dypmigrasjon. Dette prosjektet er kommet i stand bl.a. som et resultat av NORSARs satsing innen 2D og 3D ray-trace modellering som ble vist på EAEG-konferansene i Firenze i 1991, Paris i 1992, Stavanger i 1993, Wien i 1994 og Glasgow i 1995.

NORSAR-2D Modelleringspakke

NORSAR har utviklet en kommersiell modelleringspakke (NORSAR-2D Ray Modelling) som fra 93/94 markedsføres internasjonalt. Modelleringspakken representerer uten tvil internasjonal "state-of-the-art" innen sitt område. Samarbeidsavtaler er inngått med flere selskap om salg av NORSAR-2D, både som frittstående produkt og i samspill med andre seismikk-produkter (Charisma tolkningsstasjon, Nucleus seismisk analyse-system).

NORSAR-3D modelleringsystem

I løpet av 1995 har en utviklet første kommersielle versjon av NORSAR-3D seismisk modelleringsystem. Systemet er basert på en rekke helt nye konsepter innen strålemodellering som gjør enkelte

praktiske anvendelser vesentlig enklere enn tidligere. Siden det i dag finnes flere "standarder" for 3D modellrepresentasjon, kan NORSAR-3D "oversette" fra eksterne modeller til en intern skreddersydd modell som gir stor effektivitet og fleksibilitet mht bølge-simulering.

Kvalitetssikring og internkontroll

NORSAR har i 1995 videreført arbeidet med å etablere en tidsmessig plan for kvalitetssikring av NORSARs produkter. Dette omfatter både produkter som leveres til eksterne oppdragsgivere og rutiner for intern virksomhet. NORSAR har etablert et omfattende internkontrollsystem, som er innarbeidet i håndboken for kvalitetssikring.

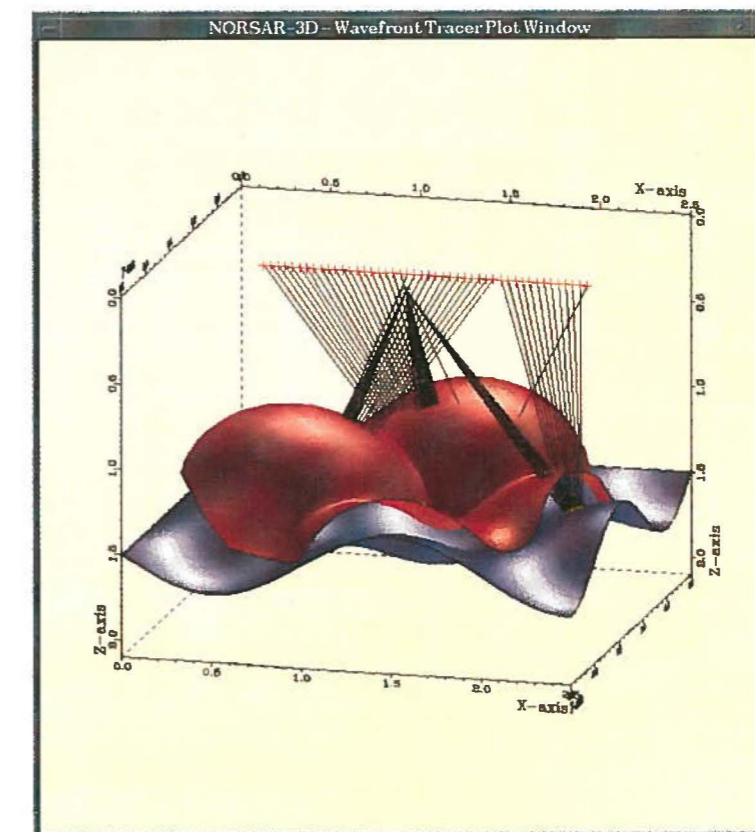
Strategiplan

NORSAR har videreført arbeidet med en strategiplan for perioden 1996-98.

Hovedpunktene i strategien er å oppnå redusert avhengighet av amerikanske bevilgninger, etablere nye aktivitetsområder innen NORSARs spesialfelter og oppnå langsiktige, kompetansebyggende forskningsprogram både via Forskningsrådet og internasjonalt. Øket kvalitetsbevissthet og kostnadseffektivisering er gitt stor vekt i strategiplanen.

Internasjonalt samarbeid

Utover det som er nevnt tidligere, har NORSAR videreført sitt samarbeid med Kola Science Centre i Apatity, bl.a. med kontinuerlig utveksling av seismiske data via et høyhastighets satellittsamband. NORSAR var representert med en rekke foredrag ved det 26. årlige nordiske deteksjonsseismologiske seminar som ble avholdt i København 20.-22. november 1995.



"Snapshot" fra 3D modelleringspakken NORSAR-3D. Bildet viser en seismisk reflektor (blå), en reflektert bølgefront (rød) og en rekke stråler mellom kilde og mottakere.

Organisasjon

Avdelingsstyre

NORSAR er en avdeling under Norges Forskningsråd. Som avdelingsstyre fungerer (pr. 1.1.96):

Professor Roy H. Gabrielsen, Univ. i Bergen, formann

Forsknings sjef Jarl K. Johnsen, Forsvarets Forskningsinstitut

Byråsjef Roald Næss, Utenriksdepartementet

Sjefsgeolog Jan Vollset, Statoil

Seniorforsker Einar Iversen, NORSAR

Daglig ledelse

Avdelingsleder:

Dr. philos. Frode Ringdal

Gruppeledere/Forskningsledere:

Prof. Hilmar Bungum — Seismisk risiko

Cand. real Svein Mykkeltveit — Seismisk verifikasjon

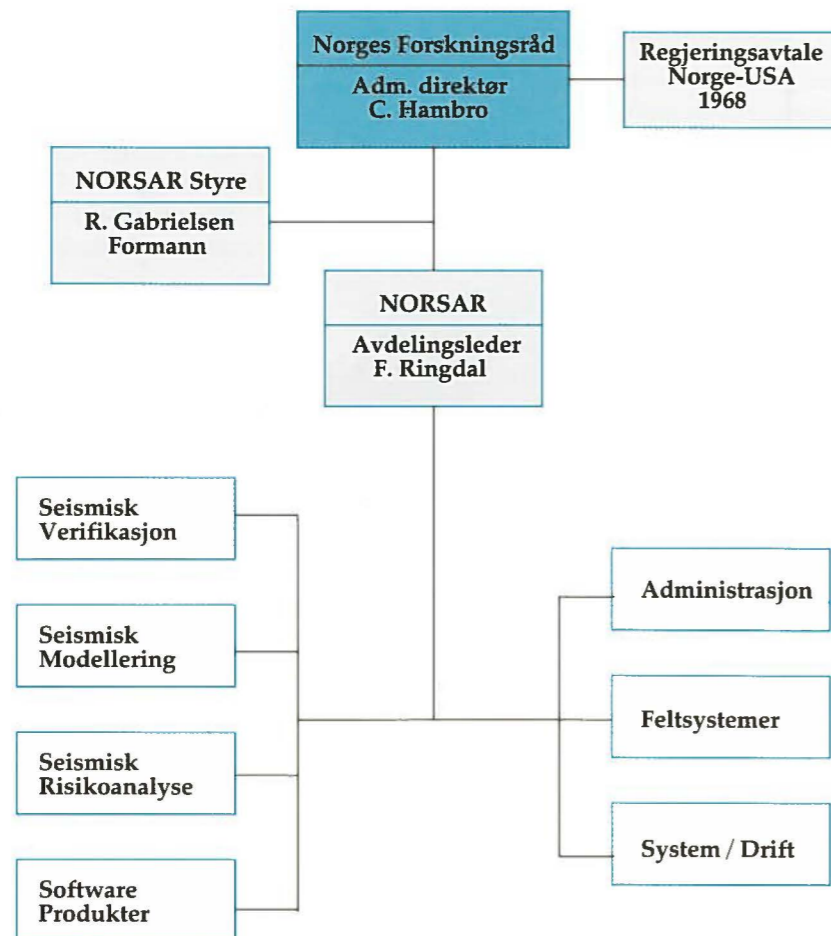
Prof. Håvar Gjøystdal — Seismisk modellering

Cand. real Rolf Magne Aasen — Softwareutvikling

Ing. Hans Kr. Schatvet — Administrasjon

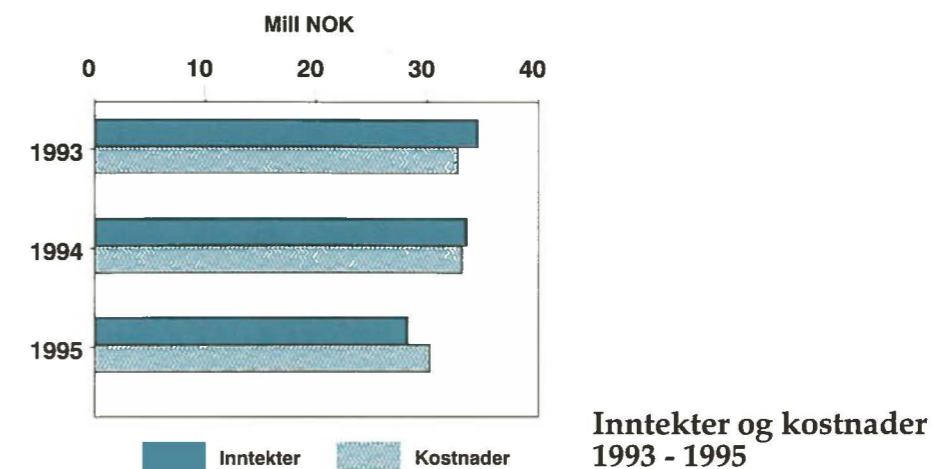
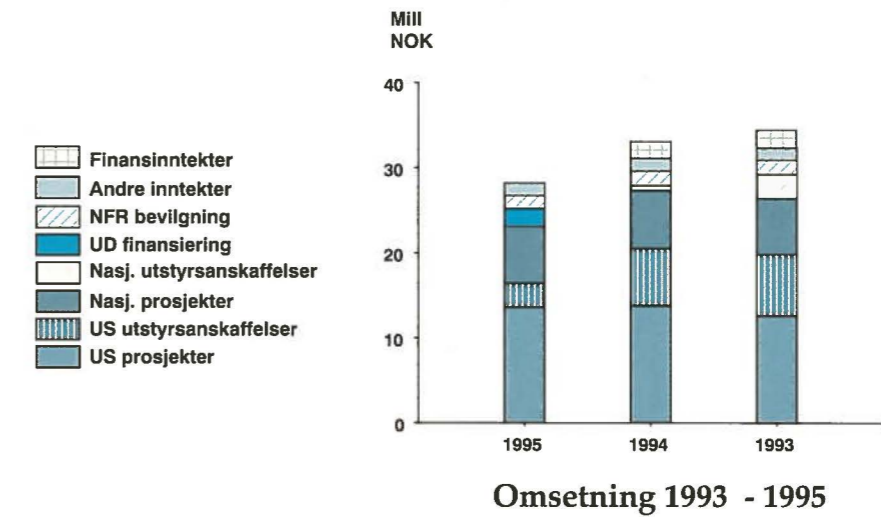
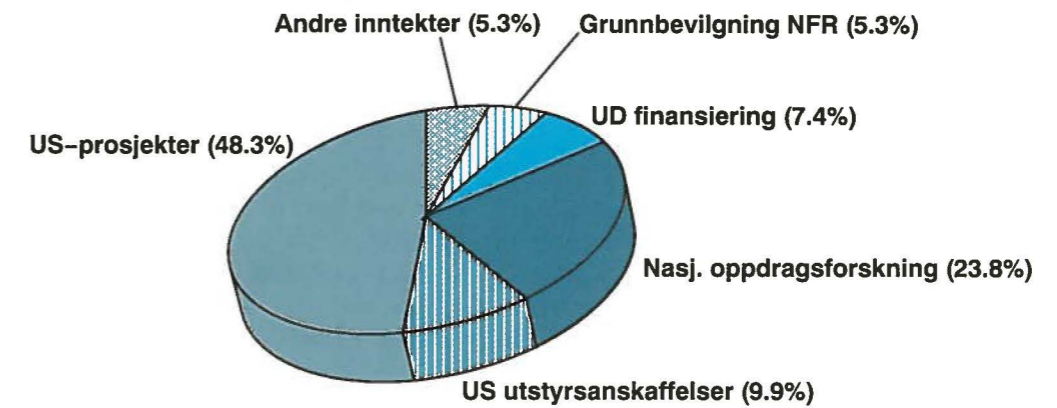
Ing. Vidar Døhli — System

Ing. Paul W. Larsen — Feltavdeling



Økonomi

Omsetning 1995 NOK 28 mill



Seismisk Verifikasjon

Innledning

NORSAR har som et av sine hovedformål å drive forskning og eksperimentering innen området seismologisk verifikasjon av en fullstendig kjernefysisk prøvestansavtale. I praksis innebærer dette utvikling, uttesting og forbedring av systemer såvel som metoder for påvisning av underjordiske atomprøvesprengninger. En betydelig del av virksomheten er knyttet til utvikling av programvare til bruk i automatisk såvel som interaktiv analyse av seismiske data.

Stasjonsnettverket

NORSAR-arrayen ble konstruert i 1968-70 for på best mulig måte å kunne detektere og lokalisere seismiske hendelser (jordkjelv og eksplosjoner) i avstandsintervallet 3000-9000 km, og rangerer



Data fra stasjonene vist på dette kartet overføres i sann tid til NORSARs datasenter på Kjeller.

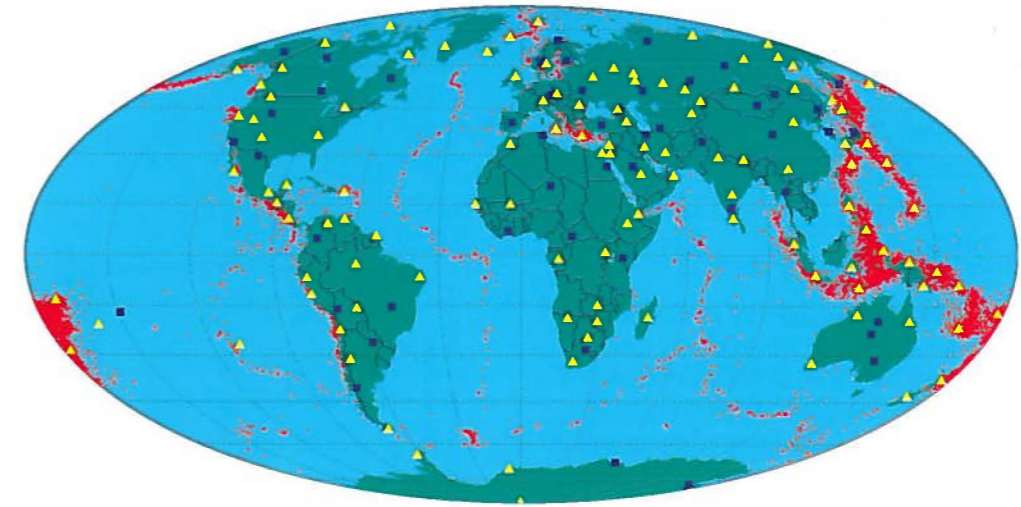
selv i dag rent ytelsesmessig som et av verdens mest avanserte seismologiske observatorier. En gjennomgripende teknisk modernisering av NORSAR-arrayen ble fullført i 1995.

De såkalte "regionale arraystasjoner" representerer et av de mest betydningsfulle framskritt i de seinere år innen seismologisk verifikasjon. De to første arrayene av denne typen, NORESS og ARCESS, ble installert i Norge i tiden 1985-87. I løpet av de siste seks år er det etablert slike stasjoner på Svalbard, i Apatity på Kola-halvøya, og i Finland og Tyskland. De regionale arraystasjonene er konstruert for å sikre optimal deteksjon av seismiske hendelser på regionale avstander, dvs avstander inntil 3000 km. De kompletterer dermed dekningsområdet til NORSAR-arrayen.

Seismologiske data overføres kontinuerlig i sann tid til NORSARs datasenter på Kjeller. Registrerte data analyseres daglig med sikte på deteksjon, lokalisering og identifikasjon av seismiske hendelser.

GSETT-3-eksperimentet

Den seismologiske ekspertgruppen etablert av FNs Nedrustningskonferanse i Genève har i mange år arbeidet aktivt for å legge grunnlaget for et globalt seismisk system som kan verifisere etterlevelse av en framtidig prøvestansavtale. Etter en utredningsfase vedrørende et slikt systems utforming og funksjoner, konsentrerer ekspertgruppen seg nå om gjennomføringen av et eksperiment, kalt GSETT-3, som er en operasjonelt sett realistisk test av et slikt system. Ved utgangen av 1995 bidro ca 120 seismiske stasjoner på verdensbasis med data i dette eksperimentet. Disse dataene sendes i nær sann tid til et internasjonalt datasenter i Virginia, USA, der de blir prosessert fortløpende og brukt til å utarbeide lister over seismiske hendelser bestemt av GSETT-3-nettverket. Disse



Kartet viser de seismiske stasjonene som inngår i det foreslåtte IMS-nettverket. De 50 såkalte primærstasjonene (markert som mørkeblå firkanter) skal sende data kontinuerlig til det internasjonale datasenteret, mens andre stasjoner (gule trekantene) er tilgjengelige for uthenting av data etter behov. Kartet viser også 20,224 seismiske hendelser (røde prikker) detektert og lokalisert av GSETT-3-nettverket i 1995.

listene er sammen med alle rådata tilgjengelige for deltagerne i eksperimentet. NORSAR-forskere innehar sentrale roller i organiseringen og gjennomføringen av GSETT-3. I tillegg bidrar NORSAR med data fra tre array-stasjoner på norsk område. Flere land sender sine data til det internasjonale senteret i USA via NORSARs datasenter. Det ble i 1995 yttet assistanse til Spania og Pakistan for slik datatransmisjon via Norge, og det foreligger planer om å bidra med teknisk hjelp også til land i Afrika.

Prøvestansforhandlingene i Genève

Forhandlinger med sikte på en fullstendig prøvestansavtale startet i regi av Nedrustningskonferansen i 1994, og det er et reelt håp om at disse forhandlingene vil lykkes og kan sluttføres i løpet av sommeren 1996. I løpet av 1995 har det langt på vei blitt enighet om utformingen av det framtidige monitoreringssystemet (IMS — International Monitoring System) for overvåking av avtalen. Den seismiske komponenten av IMS vil ha fire stasjoner på norsk territorium: NORSAR-arrayen i Hedmark, ARCESS-arrayen i Karasjok, Spitsbergen-arrayen i

Adventdalen på Svalbard, og en stasjon på Jan Mayen. Data fra disse fire stasjonene vil bli kanalisert via NORSARs datasenter på Kjeller til det framtidige internasjonale senteret for prøvestansovervåking, som høyst sannsynlig vil bli plassert i Wien. IMS vil i tillegg til de seismiske stasjonene ha sensorer for måling av infralyd, radioaktivitet og akustiske signaler i verdenshavene. På norsk område ser det ut til å bli en infralydstasjon i Karasjok og en stasjon for radioaktivitetsmålinger på Svalbard.

GSETT-3-eksperimentet representerer et første og viktig skritt i etableringen av IMS. Det er nå et overordnet mål å fortsette dette eksperimentet i regi av ekspertgruppen inntil det er opprettet et overvåkingsorgan i Wien som kan overta driften. Samtidig er det en målsetning å få med i eksperimentet så mange som mulig av de seismiske stasjonene som inngår i det foreslåtte IMS-nettverket, og etterhvert vil data fra de andre verifikasjonsteknikkene også bli integrert i GSETT-3. Arbeidet med GSETT-3 og deretter etableringen av IMS og det internasjonale datasenteret i Wien vil komme til å stå sentralt i NORSARs virksomhet innenfor seismisk verifikasjon i årene framover.

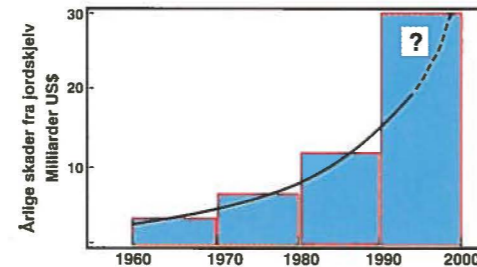
Seismisk Risiko

Jordskjelvrisikoen øker

Jordskjelv er forårsaket av geologiske prosesser knyttet til bevegelser i jordskorpen og i jordens indre. Forekomsten av jordskjelv varierer både fra sted til sted og fra år til år, men over lange tidsrom er de geologiske prosessene stabile slik at jordskjelvaktiviteten også blir stabil. Når man ofte får inntrykk av at jordskjelv blir verre med tiden så er dette riktig på den måten at vår sårbarhet for jordskjelvene stadig øker, og i en raskere takt enn vår evne til å utnytte en stadig bedre kunnskap om hvor og hvordan jordskjelv opptrer. Resultatet er stadig større skader fra jordskjelv, der Kobe-skjelvet den 17. januar 1995 står sterkt i minne.

Med dette som utgangspunkt er det klart at det i dag mer enn noen gang er behov for en fortsatt innsats innen jordskjelvrisiko, med sikte på å begrense skader, og NORSAR er med i dette arbeidet. Selv om den norske kontinentalsokkelen gir viktige oppdrag for NORSAR, har engasjementene i 1995 i tillegg hatt et mer internasjonalt preg.

Av prosjekter som det ble arbeidet med i 1995, men som begynte i 1994 eller tidligere, finner vi:



Oversikt over skader fra jordskjelv de siste tiårene, der de største bidragene på 1990-tallet kommer fra Los Angeles (Northridge) den 17. januar 1994 og fra Kobe i Japan nøyaktig et år senere (bygd på data fra Munich Re).

- Fortsatt drift av en seismisk array-stasjon på Svalbard som del av et nasjonalt seismologisk stasjonsnett (i samarbeid med Universitetet i Bergen) støttet av Oljeindustriens Landsforening (OLF).
- Et Strategisk Instituttprogram (SIP) innen 'Seismiske Metoder for Grunnundersøkelser', med oppstart i 1994.
- Et EU-prosjekt om 'Long Period Earthquake Risk in Europe' i samarbeid med NGI og med institusjoner i England, Portugal og Italia. Dette prosjektet startet opp høsten 1994.
- En komponent under et annet og større EU-prosjekt, 'Integrated Basin Studies; Dynamics of the Norwegian Margin'. I samarbeid med oljeindustri

Dato	Bredde	Lengde	Styrke	Sted	Døde
16/1	34.6	135.0	6.8	Kobe, Japan	5530
8/2	4.1	-76.6	6.3	Colombia	42
27/5	52.6	142.8	7.5	Sakhalin, Russland	1989
15/6	38.4	22.3	6.5	Aiyion, Hellas	26
1/10	38.1	30.2	6.1	Dinar, Tyrkia	101
6/10	-2.1	101.4	6.9	Sumatra, Indonesia	84
9/10	19.2	-104.2	7.3	Jalisco, Mexico	49
23.10	25.9	102.2	6.4	Yunnan, Kina	36

Større jordskjelv i 1995 på verdensbasis med mer enn 20 omkomne. I tillegg var det 16 andre skjelv med inntil 20 omkomne.

Følte jordskjelv i Norge i 1995 med styrke på 3.0 eller mer på Richters skala. I tillegg er også 9 mindre skjelv rapportert følt.

Dato	Bredde	Lengde	Styrke	Sted
29/3	66.5	13.1	3.0	Nordland
10/5	66.5	13.0	3.0	Nordland
20/7	61.7	4.0	3.2	Vestlandet
3/7	69.8	24.9	3.0	Finnmark
23/10	69.4	24.1	3.3	Finnmark
13/11	60.0	11.2	3.3	Østlandet
13/11	61.5	4.1	3.2	Vestlandet

og universiteter har NORSARs arbeid omfattet spenningsmålinger avledet fra jordskjelvregistreringer.

Nye prosjekter for 1995 omfatter mellom annet:

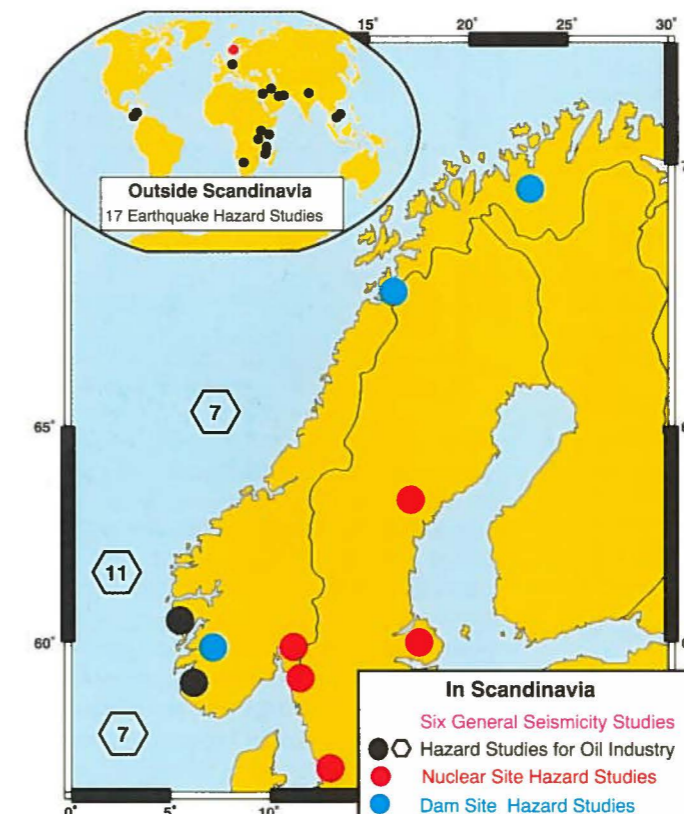
- En oversikt over jordskjelvaktiviteten i midt-Norge, og en større seismisk risikoanalyse for Åsgard-feltet i samme området.
- En seismisk risikoanalyse for en kabelkryssing over Akaba-bukta mellom Egypt og Jordan.
- En detaljstudie av jordskjelv-potensialene langs Øygarden-forkastningen utenfor vest-Norge.
- En seismisk risikoanalyse for en oljeinstallasjon utenfor Qatar i den persiske Golf.

- En forundersøkelse for to Agenda-21 prosjekter i Kina om krise-beredskap.

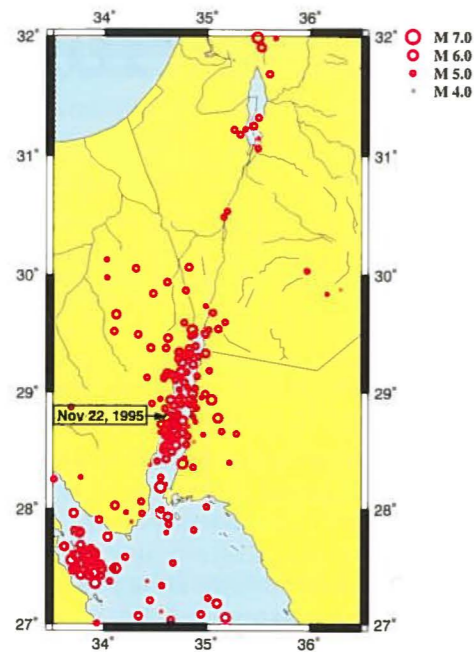
Noen av disse prosjektene omtales nærmere i det følgende:

Samarbeid med industrien — konsulenttjenester og FoU

Selv om det er den norske oljevirksomheten som har vært det viktigste grunnlaget for NORSARs engasjement innen jordskjelvrisiko, der rene forskningsprosjekter også er blitt støttet, så legges det også sterk vekt på samarbeidet med andre industriselskaper og med entreprenører. Dette samarbeidet har ledet til oppdrag, de fleste i forbindelse med



Kartet viser prosjekter innen seismisk risiko utført av NORSAR. De innrammede tallene offshore viser til antall studier i sørlige og nordlige del av Nordsjøen og utenfor midt-Norge.



Jordskjelv i og rundt Akaba-bukta, der det inntraff et styrke 7.2 skjelv bare dager før en seismisk risikoanalyse for en kabeltrasé over bukta skulle leveres. Skjelvet gjorde store materielle skader, og 10 mennesker omkom.

vannkraftsprosjekter, i mange deler av verden.

I 1995 gjennomførte NORSAR to slike prosjekter i den nære Østen. Det ene var en risikoanalyse for en oljeplattform i den persiske Gulf (for en dansk oppdragsgiver), i et område som ligger på grensen mellom et seismisk meget aktivt område i Iran og et mer eller mindre aseismisk område på den arabiske halvøy.

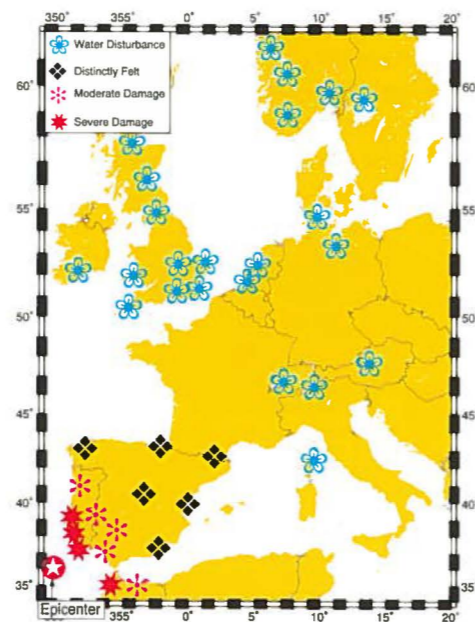
Det andre studien var en risikoanalyse for en kraftkabel over Akaba-bukta, mellom Egypt og Jordan, der det er stor jordskjelvaktivitet og der det største skjelvet på kanskje mange hundre år inntraff i det studien skulle avsluttes. Det ble heldigvis ikke nødvendig å forandre på konklusjonene!

Annen forskning med tilknytning til seismisk risiko

Innen dette aktivitetsområdet har det bl.a. vært arbeidet med to EU-prosjekter, der det ene (Long Period Earthquake Risk in Europe) er en studie som bl.a.

omfatter innsamling og analyse av gamle instrumentelle registreringer av store europeiske jordskjelv helt tilbake til århundreskiftet. Grunnen til dette er at store skjelv setter opp sterke langperiodiske bølger, og det er i dag en del usikkerhet m.h.t. hvordan moderne anlegg som broer, flytebroer, nedsenkte tunneler, rørledninger, etc., vil kunne tåle slike påkjenninger. Et av formålene med denne studien er å undersøke skadepotensialene gjennom en kombinasjon av teoretiske beregninger og observerte data.

Prosjektet omfatter også studier av historiske jordskjelv i Europa, der det mest kjente er kjempeskjelvet utenfor kysten av Portugal som ødela Lisboa i 1755, og som også førte til skader så langt borte som i England. Mindre kjent er det store skjelvet som fire år senere fra sitt senter i Kattegat rystet Danmark og store deler av Sverige, Norge og Tyskland.



Kartet viser hvordan Lisboa-jordskjelvet den 1. november 1755 (styrke ~8 på Richters skala) ble følt over det meste av Europa. Rystelsene, en stor flodbølge og etterfølgende branner ødela Lisboa, og flodbølgen gjorde store skader i Marokko. Rystelsene ble følt over hele den Iberiske halvøy, mens Europa for øvrig merket skjelvet best ved lang-periodiske bevegelser i grunne og/eller trange vannbassenger, spesielt på begge sider av Kanalen (gjengitt med tillatelse fra Gordon Woo, EQE).

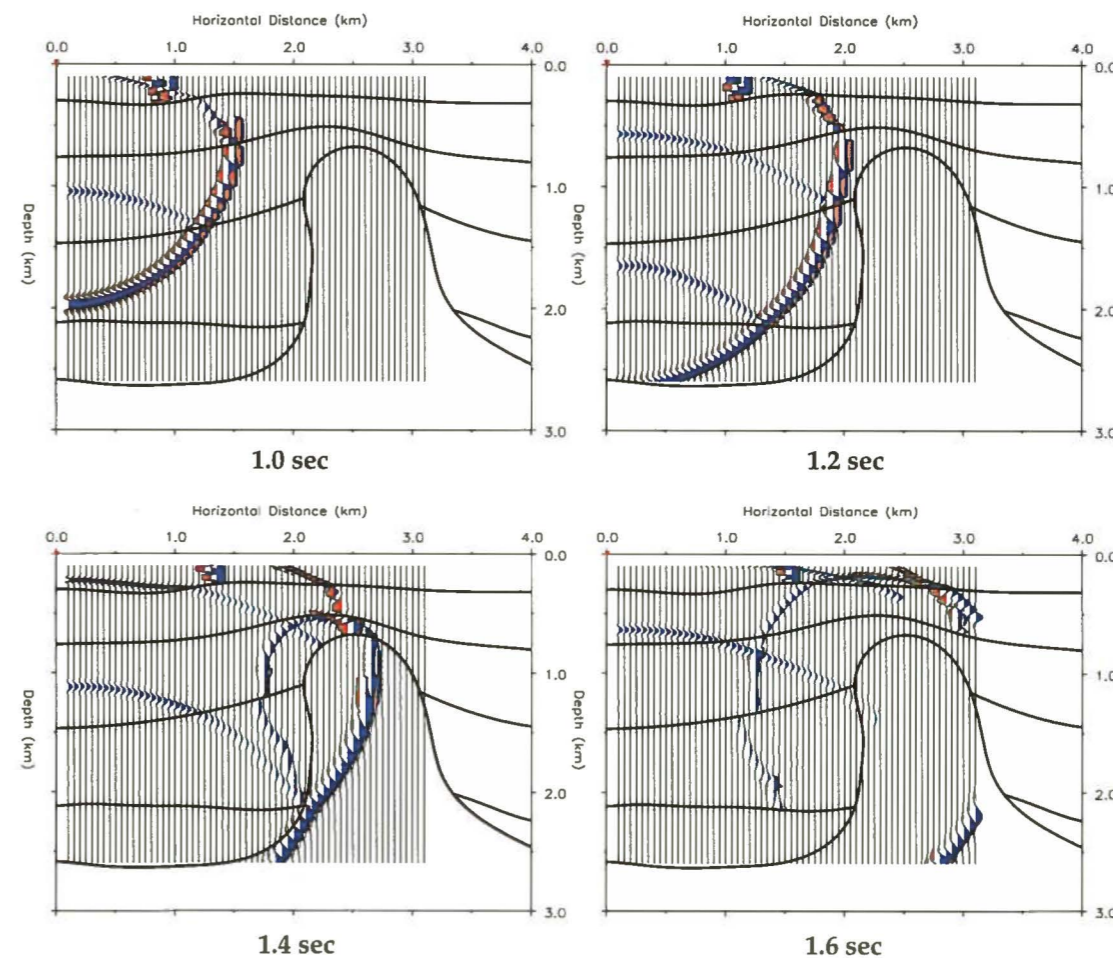
Seismisk Modellering

Innledning

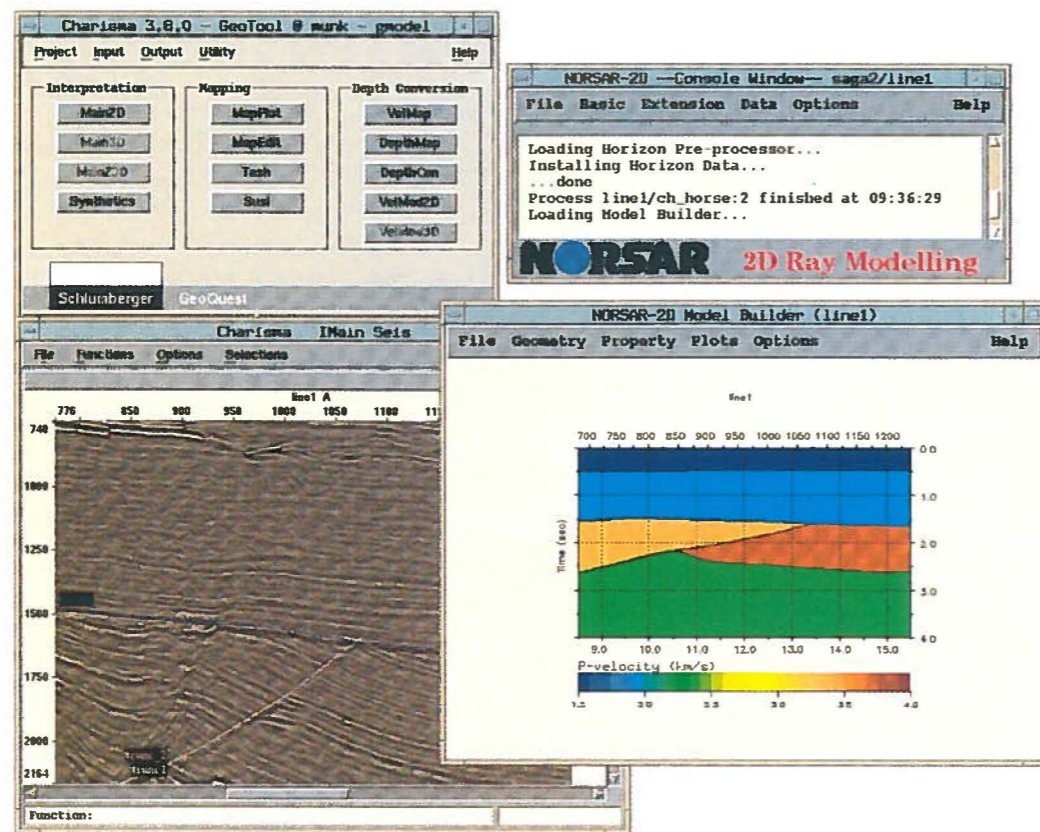
NORSAR har siden 1977 vært sterkt engasjert i forskning og utvikling innen fagfeltene *seismisk prospektering* og *seismisk modellering*. Prosjektene har dekket både utvikling av nye teoretiske metoder og utvikling av kommersiell programvare, der oppdragsgiverne stort sett har vært å finne innen oljeindustrien. Virksomheten beskjeftiger i dag 10-12 geofysikere og software-spesialister og representerer det området ved NORSAR som har hatt størst ekspansjon de siste årene.

2D og 3D seismisk modellering

Seismikk er den metoden som i dag er lengst utviklet og mest anvendt i forbindelse med prospektering etter olje og gass. I korthet går denne metoden ut på at en sender kraftige lydsignaler ned i undergrunnen og registrerer de signaler som reflekteres fra de forskjellige lag-grensene i dypet. Ved prosessering av de registrerte data oppnår en et slags *lydbilde* av sedimentlagene som så tolkes av oljeselskapenes geologer. Disse *seismiske seksjonene* er et av de viktigste hjelpe-



Figuren viser øyeblikksbilder ("snap-shots"), generert vha en nyutviklet bølgefront-teknikk. Ved å "fryse" bølgefeltet på forskjellige tidspunkter, kan de forskjellige effektene studeres i detalj. Vi kan her se hvordan bølgefeltet utvikler seg etterhvert som energien reflekteres fra de forskjellige grenseflatene i modellen.



Figuren viser et skjermbilde fra en arbeidsstasjon der NORSAR-2D modellering kjøres i interaksjon med Charisma tolkningssystem. NORSAR har i samarbeid med Geco-Prakla utviklet en tett kopling mellom disse produktene, slik at f.eks. en gitt seismisk tolkning kan overføres til modellbyggeren i NORSAR-2D.

midler når det gjelder å fastsette borepunkter for leteboring.

De største prosjektene har foregått innen området 2D og 3D seismisk modellering. Begrepet er et samlebegrep for en rekke prosesser som går ut på å simulere utbredelsen av seismiske bølger i en geologisk modell. En har utviklet systemer som er i stand til å representere de aktuelle modellene numerisk i datamaskinen, og som inneholder algoritmer for simulering av bølgeutbredelse gjennom de forskjellige lag i modellene.

Ved NORSAR har en bygget opp en spesiell kompetanse på de såkalte ray-tracing teknikker (stråleteknikker), som også benyttes mye innen optikk. Disse teknikker går ut på å simulere bølgefeltet med stråler og beregne forskjellige parametere som karakteriserer bølgefeltet (gangtid, amplitude, etc.) langs strålebanene. Beregningene kan utføres for alle ønskede bølgetyper, f. eks. refleksjonene fra de forskjellige geologiske laggrensene.

Selv om det er ray-tracing teknikkene som i første rekke har representert NORSARs spisskompetanse innen seismisk modellering, har en i den senere tid begynt å arbeide med alternative bølgesimuleringsteknikker. Dette er først og fremst motivert ut fra ønsket om å kunne tilby nye anvendelser der de klassiske strålemetoder er utilstrekkelige. Et nytt og viktig område er de såkalte endelig differanse metoder (finite difference = FD) som er istand til å simulere de seismiske bølger på en mer komplett måte. Spesielt i områder hvor de geologiske strukturer er komplekse, kan det være nødvendig å ta i bruk slike metoder. Hovedproblemet med disse metodene er at de — særlig i 3D — er svært krevende mht computer-ressurser. En interessant problemstilling som vi har begynt å arbeide med i denne sammenheng, går ut på å prøve å kombinere stråleteknikker og FD-teknikker — såkalte hybrid-teknikker. Dette ser ut til å kunne bli et satsningsområde for NORSAR i de kommende år.

2D og 3D seismisk avbildning

På basis av de modelleringsteknikker som er omtalt ovenfor, har en i de senere år arbeidet med en rekke anvendelser av disse teknikkene. En viktig anvendelse er såkalt seismisk avbildning.

Problemet med standardprosesserte seismiske seksjoner er at de generelt fremstiller de geologiske lagene i mer eller mindre forvrent form. F. eks. kan en interessant geologisk detalj dypt nede i undergrunnen både forflyttes og forvrennes ved avbildning på seksjonen. Grunnen til dette er at standard prosesseringsteknikker som benyttes av industrien ikke i tilstrekkelig grad tar hensyn til at de seismiske bølger på veien ned og opp avbøyes gjennom et komplisert 'linsesystem' av geologiske lag av forskjellig form og tykkelse. Her kan en avansert seismisk modellering metode beregne virkningen av og kompensere for denne avbøyningen, slik at geologien kan avbildes på korrekt plass i dypet og i mest mulig uforvrent form. De teknikker som er utviklet ved NORSAR innen seismisk avbildning kan i hovedsak deles i tre grupper:

- seismisk hastighetsbestemmelse (tomografi)
- seismisk dypkonvertering
- seismisk dypmigrasjon

Seismisk programvareutvikling

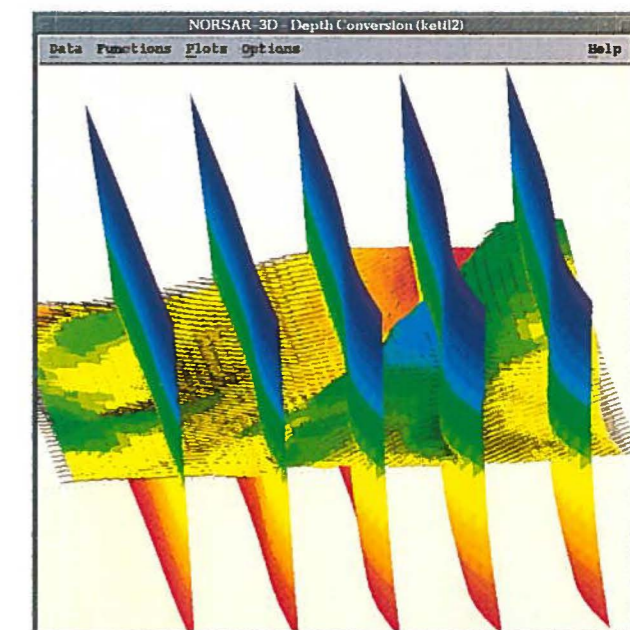
NORSAR har spesialisert seg på utvikling av kommersielle, brukerorienterte programpakker som markedsføres overfor norsk og internasjonal oljeindustri. I tillegg til en rekke standardpakker leveres også mer skreddersydde systemer etter kundens spesifikasjoner der kommunikasjon med andre programpakker ofte står sentralt — både gjennom kundenes interne data-formater og gjennom internasjonale standarder (GeoShare/POSC). Interaktive brukergrensesnitt og avansert 2D og 3D grafikk er viktige elementer i de programsystemer som leveres (X11, Motif, PEX/OpenGL).

NORSAR-2D seismisk modelleringspakke

Det er i løpet av de senere år utviklet en kommersiell 2D modelleringspakke (NORSAR-2D Ray Modelling) som fra 93/94 blitt markedsført overfor seismikkrelaterte selskap og institutter (oljeselskap, kontraktorselskap, forskningsinstitutter, universiteter, osv). Modelleringspakken representerer uten tvil internasjonal 'state-of-the-art' innen sitt område, og er NORSARs første uavhengige kommersielle software-produkt. Samarbeidsavtaler er inngått med flere selskap om salg av NORSAR-2D, både som frittstående produkt og i samspill med andre seismikk-produkter (Charisma tolkningsstasjon, Nucleus seismisk analyse-system).

NORSAR-2D er en interaktiv, brukerorientert modelleringspakke som inneholder en rekke nyttige funksjoner for en petroleumsgeofysiker. Av de viktigste kan nevnes:

- fleksibel modellbygger for kompliserte geologiske modell-geometrier
- tid til dyp konvertering
- spesifisering av seismiske parametere i modellen (hastigheter, tettheter, etc)



En 3D dypkonvertert horisont og enkelte vertikale snitt gjennom "dypavbildnings-funksjonen". De sorte linjene indikerer horisontale forflytning fra tid til dyp.

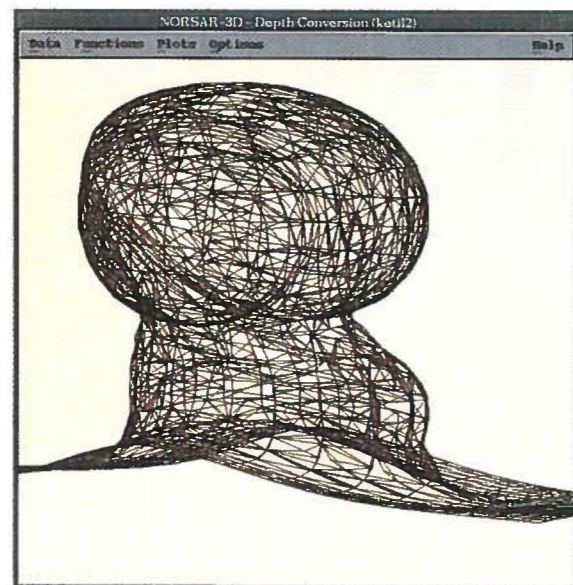
- spesifikasjon av forskjellige typer seismiske surveyer (null-offset, HSP, VSP, cross-well)
- simulering av forskjellige typer seismiske bølger (ray tracing)
- generering av syntetiske data
- hastighetsbestemmelse
- fleksibelt verktøy for analyse av bølgeparametere
- link til andre produkter via standardiserte formater (Segy, GeoShare, etc)

NORSAR-3D seismisk modelleringsystem

I løpet av 1995 har en utviklet første kommersielle versjon av NORSAR-3D seismisk modelleringsystem. Systemet er basert på en rekke helt nye konsepter innen strålemodellering som gjør enkelte praktiske anvendelser vesentlig enklere enn tidligere. Siden det i dag finnes flere "standarder" for 3D modellrepresentasjon, kan NORSAR-3D "oversette" fra eksterne modeller til en intern skreddersydd modell som gir stor effektivitet og fleksibilitet mht bølge-simulering.

Fuksjonaliteten i NORSAR-3D er i stor grad den samme som i NORSAR-2D, men vi vil spesielt fokusere på:

- generelle geologiske strukturer
- ny "state-of-the-art" 3D bølgefront-tracer
- effektiv beregning av såkalte Green's funksjoner for bruk i 3D dypmigrasjon



"Wireline" plot av en 3D "salt dome" modell. Flatene representeres på et triangelnett som gir en helt generell beskrivelse.

- nye konsepter innen tid-til-dyp konvertering.

Prosjekter innen grunnseismikk

NORSAR initierte i 1994 et NFR-støttet "Strategisk instituttprogram (SIP)" innen seismiske grunnundersøkelser. Formålet med dette programmet har vært å forbedre og automatisere metoder for hastighetsbestemmelse og strukturavbildning på grunne dyp (ca 1-100 m), bl a ved utstrakt bruk av de modelleringsteknikker som er utviklet. Programmet avsluttes i 1996 og skal munne ut i en omfattende interaktiv programpakke for seismiske grunnundersøkelser (NORSAR Shallow Seismics). Samarbeidspartnere er NGI og GEOMAP.

NORSAR er også engasjert i et EU-prosjekt i samarbeid med NGI og NORDEV i Norge, samt italienske ISMES og franske GEODIA. Prosjektet heter "Seabed Imaging" og har som formål å utvikle og forbedre teknikker for seismisk deteksjon og avbildning av små objekter (rørledninger, miner, rullesteiner, osv) begravd i havbunnen.

Lokal modellbasert analyse i 4D

NORSAR er sterkt engasjert i et større prosjekt innen NFR-programmet LETE (lete-teknologi) der samarbeidspartnere er Geco-Prakla og Universitetet i Bergen. Prosjektet har som formål å utvikle et komplett system for modellbasert analyse og tolkning av pre-stack seismiske data innen Geco's Charisma-miljø. Viktige elementer i dette prosjektet er modellering av bergartsparemetere og sammenhengen med de seismiske parametere, modelldrevet prosessering og geostatistisk klassifisering. Prosjektet skal munne ut i et kommersielt software-produkt som skal markedsføres internasjonalt.

Personell

Personell pr 1.1.96

I alt: 35
 U & H personell: 19
 Ingeniører: 8
 Annet personell: 8

Hovedfagsstudenter

Unni Byrkjeland
 Erik Hicks

Stipendiat

Hugh Cowan

Ansatte

Hilmar Bungum	Linda B. Loughran
Ulf Baadshaug	Kjell A. Løken
Anders Dahle	Arve E. Mjelva
Vidar Døhli	Stein Inge Moen
Jorunn Edvardsen	Svein Mykkeltveit
Jan Fyen	Lasse Nygård
Håvar Gjøyndal	Berit Paulsen
Kristin Hansvold	Stein Holger Pettersen
Bernt Kr. Hokland	May Rasmussen
Henning Hovland	Trond Rasmussen
Einar Iversen	Frode Ringdal
Håvard Iversen	Hans Kr. Schatvet
Tormod Kværna	Turid Roseth Schøyen
Nils H. Kalvatn Larsen	Jørgen Torstveit
Paul W. Larsen	Vetle Vinje
Isabelle Lecomte	Rolf Magne Aasen
Conrad Lindholm	Ketil Åstebøl
Winnie Lindvik	

Gjesteforskere

Lucas Barros, University of Brasilia, Brasil, 21. - 31. august
 Elena Kremenetskaya, Kola Science Centre, Apatity, Russland, 2. - 9. februar; 18. juli - 8. august; 14. - 19. november
 Igor Kuzmin, Kola Science Centre, Apatity, Russland, 2. - 9. februar; 1. - 8. august; 14. - 19. november

Nitzan Rabinowitz, IAEC, Tel Aviv, Israel, 20. - 23. desember
 Johannes Schweitzer, Ruhr-University Bochum, Tyskland, 1. januar - 28. februar
 Silvia Sundquist, Universitetet i Bergen, 1. - 8. august
 Ezra Twesigomve, University of Makerere, Campala, Uganda, 15. - 29. mai

Publikasjoner / Foredrag

Publikasjoner

- Argo, P., R.A. Clark, A. Douglas, V. Gupta, J. Hassard, P.M. Lewis, P.K.H. Maguire, K. Playford & F. Ringdal: The detection and recognition of underground nuclear explosions. *Surveys in Geophysics*, 16, 459-532.
- Bungum, H., H. Cowan & A. Dahle: Earthquake prediction, dream or reality? In: Proc. Oslo Conf. on International Aspects of Emergency Management and Environmental Technology, juni 95.
- Bungum, H., C. Lindholm & H. Cowan: Earthquake disasters in a global perspective. In: Proc. Oslo Conf. on International Aspects of Emergency Management and Environmental Technology, juni 95.
- Dahle, A., A. Climent, W. Taylor, H. Bungum, P. Santos, M. Ciudad-Real, C. Lindholm, W. Strauch & F. Segura: New spectral strong-motion attenuation models for Central America, In: Proc. 5th International Conf. on Seismic Zonation, Nice, oktober 95.
- Fejerskov, M., C. Lindholm, A. Myrvang & H. Bungum: In situ rock stress pattern on the Norwegian Continental Shelf and mainland. In: Fejerskov, M. & A. Myrvang (eds.), Proc. Workshop "Rock Stresses in the North Sea", Univ. of Trondheim, februar 95, 191-201.
- Fyen, J.: NORSAR system response. NORSAR tekn. rapport, juni 95.
- Fyen, J.: NORSAR time delays. NORSAR tekn. rapport, juni 95.
- Güendel, F. & H. Bungum: Earthquakes and seismic hazards in Central America. *Seism. Res. Lett.*, 66, 19-25.
- Hovland, H.: NORSAR 2D Ray Modelling, version 3.1: User Manuals, Basic & Extension, oktober 95.
- Iversen, E.: Aktiviteter innenfor 3D strålemodellering. Rapport for Statoil, april 95.
- Iversen, E.: S-velocity determination from SUMIC data — a prestudy. Rapport for Statoil, april 95.
- Iversen, E.: Derivatives of reflection point coordinates with respect to model parameters. NORSAR Int. Rapport, nov 95.
- Iversen, E. & H. Gjøystdal: Event-oriented velocity estimation based on prestack data in time or depth domain. Int. rapport, november 95.
- Iversen, H.: NOGRA User's Guide, version 4.0: 1) NG-BASE User's Guide — a portable general purpose graphics library; 2) NG-ANNO User's Guide — an annotation graphics system; 3) NG-SURF User's Guide — a surface rendering and contouring system.
- Iversen, H., S.H. Pettersen, N.H.K. Larsen et al: NG-USE — A User Interface Management System, version 4.0: 1) NG-USE User's Guide; 2) NG-USE Command Reference Manual; NG-USE Component Syntax Reference Manual; 4) NG-USE Subroutine Library Reference Manual.
- Kremenetskaya, E. & V.M. Trjapitsin: Induced seismicity in the Khibiny Massif (Kola Peninsula). *PAGEOPH*, 145, 1 29-37.
- Kremenetskaya, E., F. Ringdal, I.A. Kuzmin & V.E. Asming: Seismological aspects of mining activity in Khibiny. A brief overview. Kola Regional Seismological Centre, Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences.
- Kvamme, L.B., R.A. Hansen & H. Bungum: Seismic source and wave propagation effects of Lg waves in Scandinavia. *Geophys. J. Int.*, 120, 525-536.
- Lecomte, I.: Seabed imaging project: Computer modelling and imaging tasks. Semi-annual Project Report #1, High-resolution Seismic Seabed Imaging, for NGI.
- Ligorria, J.P., C. Lindholm, H. Bungum & A. Dahle: Seismic Hazard for Guatemala. Tech. Rep. 2-21, Reduction of Natural Disasters in Central America, Earthquake Preparedness and Hazard Mitigation, Seismic Zonation and Hazard Assessment (Rondica), mai 95.
- Lindholm, C., H. Bungum, R.K. Bratlie, B.S. Aadnøy, N. Dahl, B. Tørrudbakken & K. Atakan: Crustal stress in the northern North Sea as inferred from in situ measurements and earthquake focal mechanisms. *Terra Nova*, 7, 51-59.
- Lindholm, C., H. Bungum, M. Villagran & E. Hicks: Crustal stress and tectonics in

Norwegian regions determined from earthquake focal mechanisms. In: Fejerskov, M. & A. Myrvang (eds.), Proc. Workshop "Rock Stresses in the North Sea", Univ. i Trondheim, februar 95., 77-91.

- Lindholm, C.D., W. Rojas, H. Bungum, A. Dahle, E. Camacho, H. Cowan & M. Laporte: A new regional seismic zonation for Central America. In: Proc. 5th International Conf. on Seismic Zonation, Nice, oktober 95.
- Mykkeltveit, S.: Seismological monitoring of underground nuclear explosions. Rapport for NGI, april 95.
- NGI & NORSAR: Gulf of Aqaba Submarine Cable. Seismic assessment. Rapport for Alcatel Kabel Norge.
- NORSAR.: Earthquake activity on the mid-Norwegian shelf; A review. Rapport for Norsk Hydro, mars 95.
- NORSAR: Reinterpretation of earthquake activity models for the Øygarden-north fault. Sluttrapport, Statoil, april 95.
- NORSAR: Semiannual Technical Summary, 1 October 94 - 31 March 95, NORSAR Sci. Rep. 2-94/95, mai 95.
- NORSAR: Semiannual Technical Summary, 1 April - 30 September 95, NORSAR Sci. Rep. 1-95/96, november 95.
- NORSAR: Earthquake criteria for the Al Shaheen Site. Rapport for Mærsk Olie og Gas A/S, september 95.
- NORSAR: Long Period Earthquake Risk in Europe: Compilation and digitization of seismograms. NORSAR Interim Rep. 1, for European Commission, desember 94 - mai 95.
- NORSAR & NGI: Åsgard Development: Earthquake criteria study. Rapport for Statoil, november 95.
- NORSAR: A short overview of seismic hazard in southwestern Nicaragua. Rapport for Carl Bro Anlæg a.s., november 95.
- NORSAR & ICTE (Portugal): Long Period Earthquake Risk in Europe. Task A: Empirical study of long period seismograms; Task B: Numerical simulation of long period ground motion. Annual Rep. 1, European Commission, november 95.
- Ringdal, F.: Final Report, Contract F-08606-89-C-0005. For AFTAC, november 95.
- Ringdal, F.: GSETT-3: Testing the Experimental International Seismic Monitoring System. In: *Disarmament: A periodic review by the United Nations*, XVIII, 1, 153-162.

- Ringdal, F. & I. Kuzmin: Development of IT and satellite communications for geophysical monitoring in the Barents region. Proc. 1st BAR-IT Conf., Kirkenes, mars 95.
- Vinje, V., K. Åstebøl, E. Iversen & H. Gjøystdal: 3D ray modelling by Wavefront Construction in Open Models. Expanded Abstr. SEG, oktober 95.

Foredrag

- Bungum, H.: Fennoscandian seismotectonics. Workshop on Rock Stresses in the North Sea, Univ. i Trondheim, februar 95.
- Bungum, H.: Hvorfor følger jordskjelvene kontinentalmarginene? OKN avslutningsseminar, Tromsø, mars 95.
- Bungum, H., H. Cowan & A. Dahle: Earthquake prediction, dream or reality? Oslo Conf. on International Aspects of Emergency Management and Environmental Technology, juni 95.
- Bungum, H., C.D. Lindholm & H. Cowan: Earthquake disasters in a global perspective. Oslo Conf. on International Aspects of Emergency Management and Environmental Technology, juni 95.
- Dahle, A., W. Rojas, H. Bungum, P. Santos, M. Ciudad Real, C.D. Lindholm, W. Strauch & F. Segura: New spectral strong motion attenuation models for Central America. 26th Nordic Seminar on Detection Seismology, København, Danmark, november 95.
- Fyen, J.: NORSAR large array processing. GSE Informal Technical Workshop, Baltimore, Maryland, USA, juni 95.
- Iversen, E.: Å for ei strålende modellering!, Blindernseminaret, Univ. i Oslo, mai 95.
- Iversen, E.: Derivatives of reflection point coordinates with respect to model parameters. "Workshop meeting on seismic waves in laterally inhomogeneous media IV". Czech Republic, mai 95.
- Iversen, E.: Ray modelling applications. Lofoten-seminaret, Nyvågar, Norge, august 95.
- Kværna, T.: Demonstration of global Threshold Monitoring system. CTBT Monitoring Technologies Conf., Chantilly, Virginia, USA, mai 95.
- Kværna, T.: Automatic estimation of phase arrival times at the GSETT-3 IDC. 26th Nordic Seminar on Detection Seismology, København, Danmark, november 95.

- Kværna, T. & F. Ringdal: Generalized Beamforming, phase association and Threshold Monitoring using a global seismic network. NATO Advanced Study Institute on Monitoring a Comprehensive Test Ban Treaty, Algarve, Portugal, januar-februar 95.
- Lindholm, C.D.: Earthquakes; Source for disasters and new understanding of earth inner structure. Lions Club, Nittedal, april 95.
- Lindholm, C.D., M. Fejerskov, M. Villagran & E. Hicks: Sources of crustal stress in Norway and adjacent offshore regions. 26th Nordic Seminar on Detection Seismology, København, Danmark, november 95.
- Lindholm, C.D., W. Rojas, H. Bungum, A. Dahle, E. Camacho, H. Cowan & M. Laporte: A new regional seismic zonation for Central America. 5th Int. Conf. on Seismic Zonation, Nice, Frankrike, oktober 95
- Lindholm, C.D., W. Rojas, H. Bungum, A. Dahle, E. Camacho, H. Cowan & M. Laporte: A new regional seismic zonation for Central America. 26th Nordic Seminar on Detection Seismology, København, Danmark, november 95.
- Mykkeltveit, S.: Seismology and nuclear test ban verification. Foredrag for Folk og Forsvar, mars 95.
- Mykkeltveit, S.: Status of GSETT-3 station participation. GSE Informal Technical Workshop, Baltimore, Maryland, USA, juni 95.
- Mykkeltveit, S.: The GSETT-3 experiment: Participation and documentation aspects. Regional Workshop on GSETT-3. San Juan, Argentina, november 95.
- Ringdal, F.: GSE and GSETT-3: Status and plans. GSE Informal Technical Workshop, Baltimore, Maryland, USA, juni 95.
- Ringdal, F.: NORSARs participation in the Kolanet project, Second Kolanet Conference, Apatity, Russia, august 95.
- Ringdal, F.: The FINESS array and seismic monitoring issues. FINESS 10th Anniversary Workshop, oktober 95.
- Ringdal, F.: Status and plans for the GSETT-3 experiment. 26th Nordic Seminar on Detection Seismology, København, Danmark, november 95.
- Ringdal, F. & I. Kuzmin: Development of IT and satellite communications in the Barents region. BAR-IT Conf., Kirkenes, mars 95.
- Ringdal, F., S. Mykkeltveit & T. Kværna: Global seismic Threshold Monitoring and automatic network processing. Poster presentation at ARPA CTBT Monitoring Technologies Conf., Chantilly, Virginia, USA, mai 95.
- Vinje, V., K. Åstebøl, E. Iversen & H. Gjøystdal: 3-D ray modelling by wavefront construction in open models, SEG 65th Annual Meeting, Houston, Texas, USA, oktober 95.