

NORSAR



Årsmelding Annual report

1996

NORSAR
Postboks 51
N-2007 Kjeller, Norge
Telefon: +47 - 63 80 59 00 — Telefax: +47 - 63 81 87 19
Computer mail: info@norsar.no
Web-adresse: <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.

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.

Background

NORSAR — Norwegian Seismic Array — is administered by the Research Council of Norway, and has conducted operations, research and development activities under the Research Council since 1970. Established with basis in a Government-to-Government agreement between Norway and the United States, NORSAR's original objective was to conduct research and experimentation aimed at detection and identification of earthquakes and underground nuclear explosions.

Since 1976, NORSAR's activities have expanded to comprise research and consultancy tasks within a broad field of seismology and geophysics, including seismic hazard and risk analysis and seismic modelling. The modelling activities have led to the development of advanced interactive software packages, which are now marketed commercially by NORSAR.

Within its fields of speciality, NORSAR is today an internationally recognized research institution. Continued emphasis on scientific excellence and innovation has been the key to achieving this recognition, and will continue to be the key to future progress in all NORSAR's fields of activity.

Bildet på forsiden viser de seismiske målestasjonene i det planlagte globale overvåkingssystemet for den kjernefysiske prøvestansavtalen.

The picture on the cover page shows the network of seismic stations in the planned monitoring system for the comprehensive nuclear test ban treaty.

Objectives

NORSAR's objectives are:

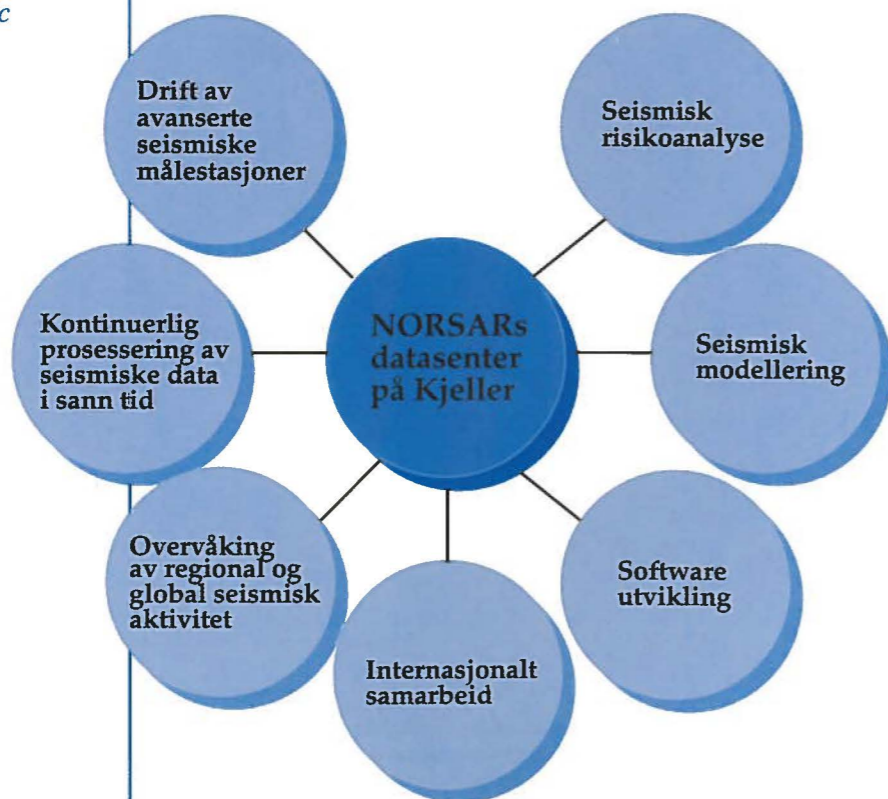
- Research, development and consultancy within geophysics and related computer systems developments
- Research, development and operations related to the monitoring of earthquakes and underground nuclear explosions

Activities

In following up the Government-to-Government agreement between Norway and USA, NORSAR operates several advanced seismological facilities and carries out related research activities.

NORSAR conducts research, development and consulting within seismic hazard and risk analysis, seismic modelling and development of geophysical software packages.

NORSAR is today an internationally recognized scientific center, with a staff of 34 employees, and with revenues of 24 mill NOK in 1996.



Aktiviteter

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 forskningssenter innen seismologi, med 34 ansatte og en omsetning i 1996 på 24 millioner kroner.

Styrets beretning

Året 1996 var begivenhetsrikt for NORSAR. Først og fremst ble avtalen om et totalforbud mot kjernefysiske sprengninger vedtatt, en avtale NORSAR har bidratt til, på den tekniske siden, gjennom mer enn 25 år. I tillegg styrket NORSAR sin posisjon som et nasjonalt og internasjonalt anerkjent kompetansesenter innen sine spesialområder. Spesielt gledelig var at NORSARs mangeårige satsning på geofysiske programvareprodukter nå ser ut til å bære frukter. På den økonomiske siden var NORSAR igjen i balanse i 1996, etter flere år med betydelige nedskjæringer.

Prøvestansavtalen

Den 10. september 1996 ble avtalen om et totalforbud mot kjernefysiske eksplosjoner vedtatt med overveldende flertall i FN's generalforsamling i New York. Pr januar 1997 hadde 137 land signert avtalen. Dette skjedde mer enn 50 år etter at det første atomvåpenet ble utprøvd i New Mexico i USA, og etter at seks atommakter har utført til sammen mer enn 2000 våpenprøver.

Inngåelsen av prøvestansavtalen er uten tvil den mest betydningsfulle hendelse for NORSAR i 1996. Den markerer kulminasjonen av mer enn 25 års arbeid både på den politiske og tekniske front, hvor NORSAR har gitt betydelige tekniske bidrag til å etablere et kontrollsystem som vil gi tilfredsstillende garanti for at avtalen overholdes.

Norske målestasjoner i det planlagte globale overvåkingssystemet.

NORSARs seismologiske målestasjoner vil utgjøre viktige komponenter i et fremtidig globalt overvåkingssystem. Den teknologi som har vært utviklet ved NORSAR, spesielt NORESS-konseptet, danner i dag standard for etablering av fremtidige overvåkingstasjoner på global basis. Videre vil dataprosesseringen ved det planlagte Internasjonale Datasenter i Wien i betydelig grad bygge på metoder som er utviklet av NORSARs forskere, og som først ble utprøvd ved NORSAR.

Styret noterer at NORSARs virksomhet innen prøvestanskontroll nå vil gå over i en ny fase. Dette innebærer store utfordringer for NORSARs ansatte, både med hensyn til å tilpasse dagens eksperimentelle drift til en mer operativ situasjon, og i å bidra til utvikling av det globale nettverket i områder der en ennå ligger langt tilbake sammenlignet med den ønskede standard.



Report from the Board of Directors

The signing of the Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty in September 1996 marked the culmination of a process to which NORSAR has contributed, on the technical verification issues, for more than 25 years. This treaty will have important ramifications for NORSAR in the years to come. During 1996, NORSAR also strengthened its position as a nationally and internationally recognized center within its areas of specialty. In particular, it is encouraging to note the promising results emerging from the efforts over the past several years to develop and market geophysical modelling software products. Financially, NORSAR again achieved a positive result in 1996, after several years of significant cutbacks.

The test ban treaty

NORSAR's seismological stations will form important components of the envisaged International Monitoring System for treaty verification. The technology developed at NORSAR, as exemplified by the NORESS-concept for a regional seismic array, has formed the standard for the development that is now taking place of seismic monitoring stations worldwide. The planned International Data Center in Vienna will to a large extent take into use processing methods that have been developed by NORSAR scientists, and that were first tested at NORSAR.

The Board notes that NORSAR's activities in the verification field will now enter a new phase, which will require significant operational changes but which will also offer new challenges in contributing to the development of the envisaged global system.

Norwegian stations forming part of the planned international monitoring system.

Seismic modelling / software products

NORSAR has developed, and is currently marketing, software packages for interactive seismic modelling in two and three dimensions (NORSAR-2D and NORSAR 3D). NORSAR-2D is already well established in the market, and a number of sales were achieved in 1996. NORSAR-3D was introduced this year at the EAGE-conference in Amsterdam, and received considerable attention, particularly because of a novel ray-based approach to seismic wave propagation in three dimensions (wavefront tracing).

NORSAR cooperates in its marketing with two independent partners, Geoquest and PGS/SERES, and has interfaced its products to their interactive seismic analysis systems (Charisma and Nucleus). NORSAR also markets stand-alone versions of its products.

Seismic hazard and risk

The Norwegian offshore petroleum industry is the main customer for NORSAR's services in seismic hazard and risk analysis, and a number of projects were undertaken in 1996. In addition, NORSAR resumed its long-standing cooperation with countries in Central America, under a project financed by NORAD. A project for seismic zoning offshore and onshore Norway was initiated in 1996, commissioned by regulatory agencies.

NORSAR further participates in a multinational project financed by EU and aimed at compiling and analyzing data for past large earthquakes in Europe.

The figure illustrates the new "Hybriseis" concept, which will be an important research topic during the next several years.

Seismisk modellering / softwareprodukter

NORSARs satsning innen seismisk modellering og salg/markedsføring av softwareprodukter viste klar fremgang i 1996. Denne satsningen, som er direkte rettet mot anvendelser innen olje/gassleting og til en viss grad også reservoarkarakterisering og overvåking, resulterte i en rekke salg av produkter og tjenester både nasjonalt og internasjonalt.

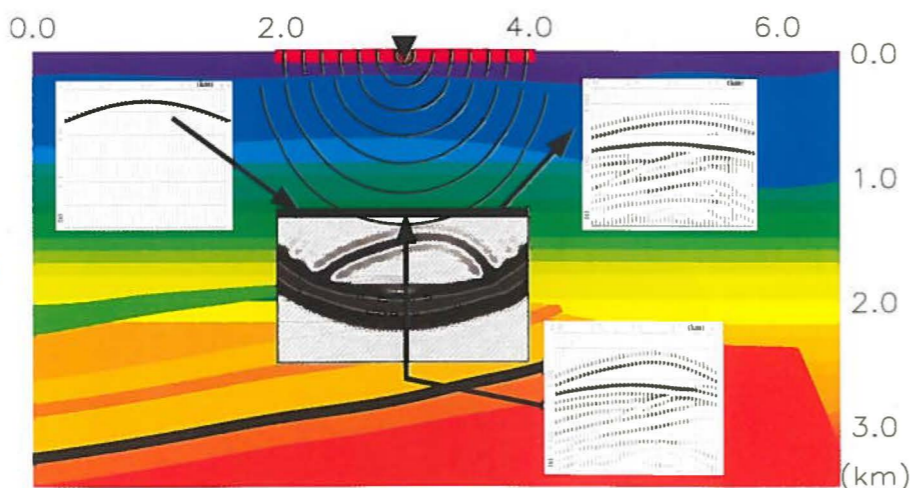
Programproduktet NORSAR-2D (to-dimensjonal seismisk modellering) er allerede godt etablert i markedet. Et programprodukt for 3-dimensjonal interaktiv modellering ble lansert på EAGE-konferansen i Amsterdam og vakte internasjonal oppmerksomhet, spesielt på grunn av en banebrytende metode for seismisk bølgeforplantning i tre dimensjoner.

NORSAR planlegger nå å videreutvikle disse produktene, bl.a. via et strategisk instituttprogram ("hybriseismikk") som vil kombinere våre egne metoder med andre typer teknikker.

NORSAR har i 1996 fortsatt samarbeidet med to uavhengige markedsføringspartnere (PGS/SERES og Geoquest) for sine softwareprodukter. Som et resultat av dette samarbeidet har NORSAR i 1996 tilbudt markedet modelleringsprodukter tett integrert med Charisma tolkningsstasjon (Geoquest) og Nucleus seismisk analyseprogram (PGS/SERES). I tillegg markedsfører NORSAR selv frittstående versjoner av sine softwareprodukter.

Jordskjelvrisiko

Innen feltet jordskjelvrisiko har NORSAR hatt stor oppdrags-tilgang, spesielt fra oljeindustrien, og NORSAR har befestet sin posisjon som det ledende nasjonale kompetansesenter på dette feltet. Vårt mangeårige samarbeid med land i Sentral-Amerika ble gjenopptatt i 1996, med finansiering fra NORAD. Arbeid for oljeindustrien og offentlige institusjoner i forbindelse med seismiske soner kart både for norsk kontinentalsokkel og fastlands-Norge ble startet opp i 1996.



Figuren illustrerer det nye "Hybriseis" konseptet, som blir et viktig satsingsområde i de nærmeste år.

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.

Jordskjelvinformasjon

NORSAR er én av to institusjoner i Norge (Institutt for den faste jords fysikk ved Universitetet 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 har fortsatt sitt samarbeid med Universitetet i Bergen i slike tilfeller for å gi raskest mulig informasjon om jordskjelvets lokasjon, styrke og andre utfyllende opplysninger.

I samarbeid med Universitetet 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 (Adventsdalen) hører inn under dette nettverket.

Ved flyulykken ved Longyearbyen den 29. september 1996 ble de registrerte seismiske signaler fra målestasjonen på Spitsbergen umiddelbart rapportert til Flyhavarikommisjonen, noe som ga viktig informasjon, bl.a. nøyaktig tidspunkt, som kom til nytte i den senere rekonstruksjon av hendelsesforløpet.

Internasjonalt samarbeid

NORSARs virksomhet er internasjonal av natur, og den internasjonale kontakt har fortsatt gjennom 1996 på flere fronter.

NORSAR har videreført sitt brede engasjement i den seismologiske ekspertgruppen nedsatt av FNs Nedrustningskonferanse i Genève. Denne ekspertgruppen har utviklet og testet et eksperimentelt globalt overvåkings-system for seismiske hendelser. Dette har lagt grunnlaget for verifikasjon av en kjernefysisk prøvestansavtale, og dermed gitt viktige bidrag til at avtalen nå er et faktum.

Utover dette 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 27. årlige nordiske deteksjonsseismologiske seminar som ble avholdt i Reykjavik 4.-5. september 1996.

Økonomi

Etter flere vanskelige år var NORSARs økonomi igjen i balanse i 1996. Oppdragstilgangen var god, og omsetningen utgjorde 23.9 mill kr. Seks prosent av omsetningen var grunnbevilgning og fem prosent strategibevilgning fra Norges Forskningsråd. De resterende nær 90% av NORSARs omsetning kom fra industrien, næringslivet og offentlige etater (spesielt Utenriksdepartementet), med en betydelig del av midlene også gjennom kontrakt med amerikanske myndigheter.

Earthquake information

In cooperation with the Institute for Solid Earth Physics, University of Bergen, NORSAR provides information to the public and media on significant earthquakes, either in Norway or abroad. The aim is to give rapid and reliable information on the size, location and other relevant data about such events. This cooperation also includes the operation of a Norwegian national seismic network, which supplements the stations operated by NORSAR alone for the purpose of seismological monitoring.

During the airplane accident in Spitsbergen on 29 September 1996, seismic signals were recorded at the array station near Longyearbyen, enabling NORSAR to report to the authorities important information e.g. on the accurate time of impact. This proved useful in the later reconstruction of the event.

International cooperation

NORSAR scientists have continued their work in the Conference on Disarmament's Group of Scientific Experts in Geneva, and the work of this Group have proved crucial to the verification system now forming part of the treaty. NORSAR has expanded its cooperation with the Kola Science Centre in Apatity, Russia, establishing Internet connectivity to a large part of that Centre through a dedicated satellite link. NORSAR had broad participation in the 27th Nordic seminar on Detection seismology in Reykjavik, Iceland, in September, 1996.

Economy

After some difficult years, NORSAR's economy was back in positive figures in 1996. The revenues came from funding by the Research Council of Norway, contracts with the industry and from governmental sources, in particular the Norwegian Ministry of Foreign Affairs and the US Government.

The US contribution to NORSAR continued to be reduced in 1996, and further reduction is expected in the future. International financing is expected to become an important source of income during the next years.

Plans for 1997 and beyond

NORSAR has begun work on a strategy plan for 1997-2001. One of the important challenges will be to establish a National Data Center for treaty monitoring by the time the treaty enters into force. The investments in development, marketing and sales of software products will be maintained, with the goal of making this activity self-supporting within a three-year period.

NORSAR will continue to focus on those areas in which its staff has special and unique competence. Recruitment, scientist exchange programs and competence building will be given high priority.

The Board considers that the institutional aspects of NORSARs organization now should be reconsidered in view of the challenges ahead. Establishing NORSAR as an independent institution might be considered in the near future.

The Board wishes to thank the NORSAR staff for its contributions during 1996. Their dedication, efforts and attitude have been the basis for the positive development now taking place at NORSAR. The Board is confident that this positive development will continue and strengthen in the years to come.

Den amerikanske del av NORSARs finansiering fortsatte å bli redusert i 1996, og ytterligere reduksjoner forventes. Dette vil i årene fremover bli kompensert bl.a. ved internasjonal finansiering via det planlagte overvåkingssettet for prøvestans i Wien.

Planer for 1997 og videre fremover

NORSAR har påbegynt arbeidet med en strategiprogram for 5-årsperioden 1997-2001. Det vil bli en rekke viktige utfordringer for NORSAR i årene fremover.

Et av hovedpunktene i strategiplanen er å forberede arbeidet med å etablere NORSAR som et norsk nasjonalt datasenter for prøvestanskontroll når avtalen trer i kraft, trolig om 2-3 år. Dette vil medføre behov for intern reorganisering, fokusering på driftsrutinene og styrkelse av staben.

Forøvrig vil NORSAR fortsatt fokusere på sine definerte satsingsområder, med vektlegging av spisskompetanse på prioriterte felter. Rekruttering, forsker-

utveksling og kompetanseoppbygging vil gis høy prioritet.

Satsningen på utvikling, markedsføring og salg av softwareprodukter vil fortsette, med målsetting at denne aktiviteten skal gå minst i balanse innen en 3-års periode. NORSAR har store forventninger til at dette skal lykkes.

Styret anser at NORSARs organisasjonsform nå bør revurderes i lys av de nye utfordringene. Det kan bli aktuelt å vurdere etablering av NORSAR som selvstendig stiftelse.

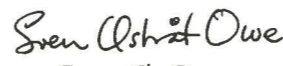
Takk til medarbeiderne

Styret takker alle medarbeiderne for godt utført arbeid i 1996, og peker på at deres innsats, vilje og evne til å ta utfordringer har vært grunnlaget for den positive utvikling som NORSAR er inne i. NORSAR er kommet styrket ut av en flerårig omstillingsprosess, og styret har full tillit til at den positive utviklingen vil fortsette og forsterkes i årene fremover.


Kjeller, 17 mars 1997


Rolf Skår
Styreformann


Jarl K. Johnsen


Sven Ø. Owe


Jan Vollset


Einar Iversen


Frode Ringdal

Organisasjon

Avdelingsstyre

NORSAR er en avdeling under Norges Forskningsråd. Som avdelingsstyre fungerer (pr. 1.1.97):

Adm. direktør R. Skår, Norconsult A.S., formann

Forskningssjef Jarl K. Johnsen, Forsvarets Forskningsinstitutt

Fung. byråsjef Sven Østråt Owe, Utenriksdepartementet

Letesjef 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

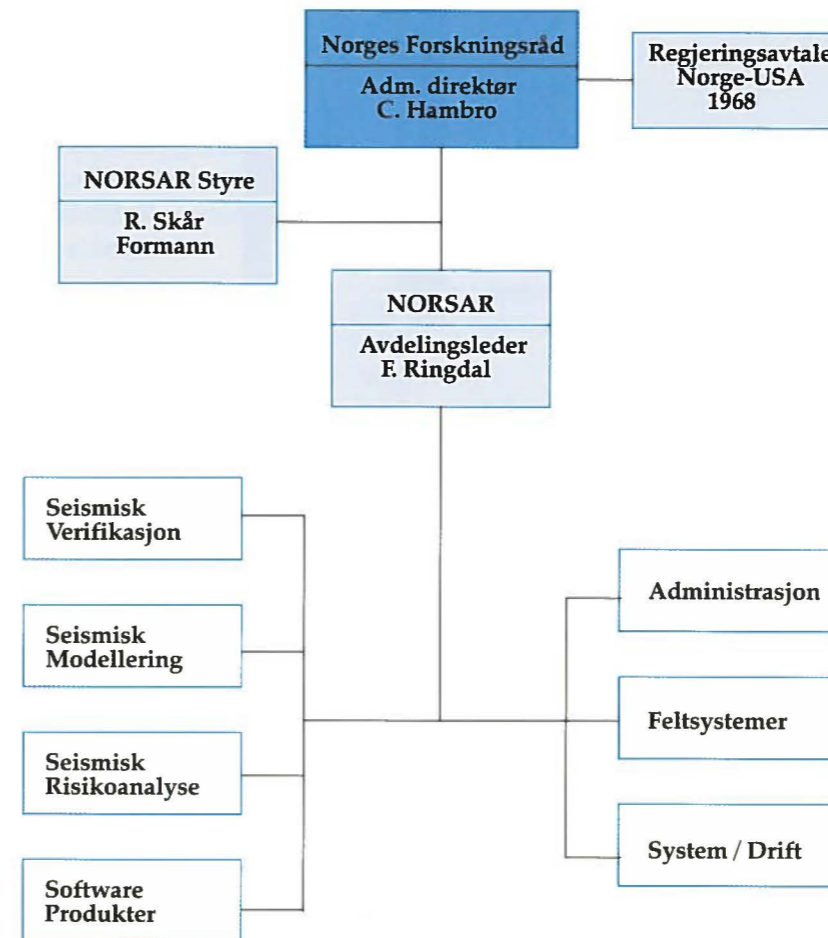
Prof. Håvar Gjølsetdal — Seismisk modellering

Cand. real Rolf Magne Aasen — Softwareutvikling

Winnie Lindvik — Administrasjon

Ing. Vidar Døhli — System

Ing. Paul W. Larsen — Feltavdeling



Organization

NORSAR is administered by the Research Council of Norway. Its Board of Directors is currently composed as follows:

Rolf Skår, Norconsult (Chairman)

Jarl K. Johnsen, NDRE

Sven Østråt Owe, Ministry of Foreign Affairs

Jan Vollset, Statoil

Einar Iversen, NORSAR

The NORSAR Management comprises:

Frode Ringdal, Director

Hilmar Bungum, Seismic Hazard and Risk

Svein Mykkeltveit, Seismic Verification

Håvar Gjølsetdal, Seismic Modelling

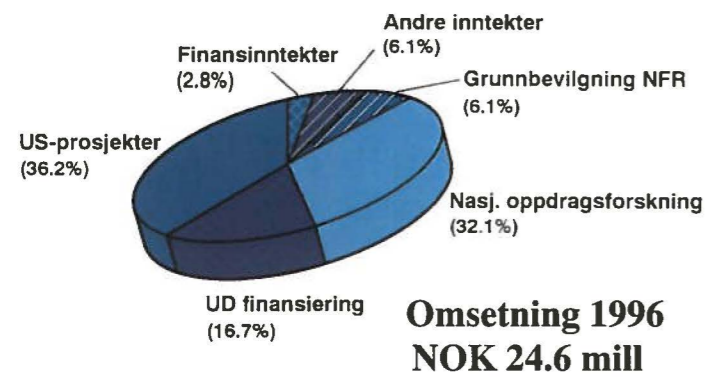
Rolf M. Aasen, Software Products

Winnie Lindvik, Administration

Vidar Døhli, Computer systems

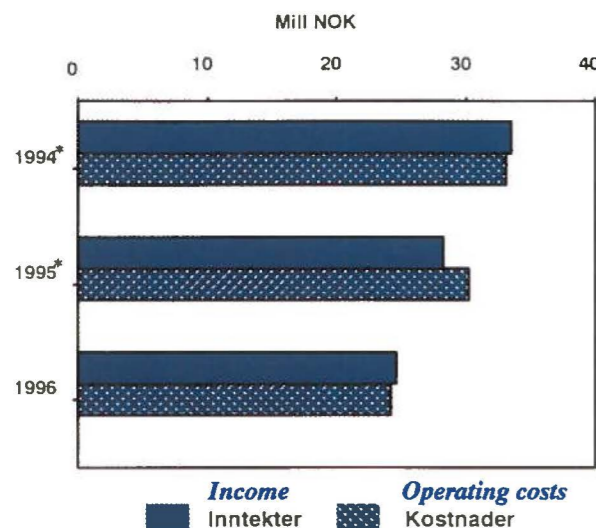
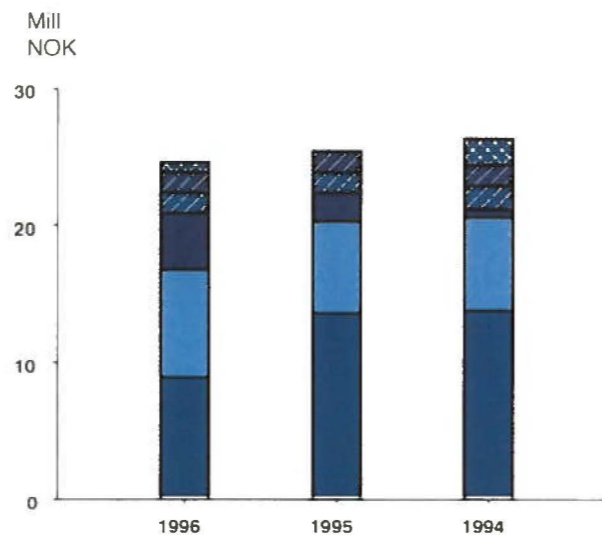
Paul W. Larsen, Field systems

Økonomi / Financial status



Omsetning / Revenues	Mill NOK
US-prosjekter / US government projects	8.9
UD-finansiering / Foreign Ministry grant	4.1
Nasj. oppdragsforskning / Projects for industry	7.9
NFR grunnbevilgning / Research Council of Norway grant	1.5
Andre inntekter / Other income	1.5
Finansinntekter / Finance income	0.7

Revenues Omsetning 1994 - 1996



Income and Operating Costs Inntekter og Kostnader 1994 - 1996

* Numbers for 1994 and 1995 include equipment purchases for US-projects

* Tallene for 1994 og 1995 inkluderer utstyrsanskaffelser på US-prosjekter

Seismisk Verifikasjon

NORSAR har som et av sine hovedformål å drive 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. I og med inngåelsen av prøvestansavtalen i 1996, kommer dette arbeidet nå i et nytt perspektiv.

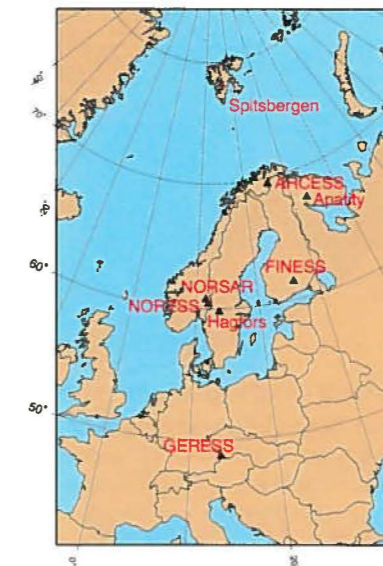
NORSARs feltsystemer og datasenter

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 vertslanene mottar og prosesserer NORSAR også kontinuerlige data fra målestasjoner i Sverige, Finland, Russland (Kola) og Tyskland.

Med unntak av NORSAR-arrayen, er alle disse målestasjonene såkalte "regionale arrayer", som representerer et av de mest betydningsfulle framskritt i de senere år innen seismologisk verifikasjon. Disse stasjonene er konstruert for å sikre optimal deteksjon av seismiske hendelser (jordskjelv og eksplosjoner) på regionale avstander, dvs avstander inntil 3000 km. Disse stasjonene kompletterer NORSAR-arrayens optimale dekningsområde, som er avstandsintervallet 3000-9000 km.

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. 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.



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

Kjernefysiske eksplosjoner i 1995 - 1996

Frankrike gjennomførte en serie på seks underjordiske kjernefysiske prøver ved Mururoa/Fangataufa atollene i Stillehavet fra september 1995 til januar 1996. I tillegg gjennomførte Kina fire kjernefysiske eksplosjoner i 1995-1996. Samtlige sprengninger ble registrert ved NORSAR og rapportert til UD og NTB. De øvrige kjernevåpenstatene opprettholdt et moratorium på prøvesprengninger i 1995-1996. I og med at prøvestans-

Seismic Verification

One of NORSAR's main objectives is research and experimentation aimed at developing improved methods for verifying a test ban treaty. This implies processing, analysis and research activities tied to operating advanced seismic monitoring stations in Norway and adjacent areas.

NORSAR's field systems comprise modern seismic arrays in southern Norway, northern Norway and on Spitsbergen. In cooperation with host countries, NORSAR also receives and processes data from seismic arrays in Sweden, Finland, Russia (Kola) and Germany, as shown in the figure to the left. All data are transmitted continuously over dedicated high-speed links, either satellite or land lines.

The data recording and analysis is carried out at the NORSAR Data Center at Kjeller. NORSAR issues a monthly seismic bulletin of seismic events worldwide, typically with a detection threshold of around Richter magnitude 4. In addition, NORSAR publishes a more detailed bulletin for Scandinavia and surrounding regions.

Nuclear explosions in 1995-1996

France conducted a series of six underground nuclear tests in the South Pacific during 1995-96. China conducted four such tests during the same period. All these events were recorded by NORSAR and reported to the Norwegian authorities and to media. The other nuclear weapon states maintained a moratorium on nuclear testing during 1995-96.

The table lists nuclear explosions during 1996 (four by China, six by France). All of them were recorded at NORSAR and also published in the GSETT-3 bulletin.

The GSETT-3 experiment

The Conference on Disarmament's Group of Scientific Experts in Geneva has for the past several years developed an experimental global seismic monitoring system intended to test concepts for possible use in a future monitoring system for a comprehensive test-ban treaty. This activity, which is known as the Group's Third Technical Test, GSETT-3, has included a global seismic network of more than 120 stations, with an experimental international data center in Arlington, Virginia, USA.

NORSAR scientists have had central roles in the conduct of GSETT-3, and the NORSAR data center has functioned as a regional center for many participating stations. In addition, NORSAR has provided technical assistance to several countries (Finland, Japan, Pakistan, Spain, Sweden and Germany), enabling them to contribute to GSETT-3 with data from stations on their own territories.

Entry into force of the treaty

The test ban treaty is likely to enter into force within a period of 2-3 years. During this time, it will be necessary to develop the monitoring system, so that it will be fully functional. This involves building on the GSETT-3 experience, with a gradual development of a technical organization in Vienna to supervise the envisaged global monitoring system. NORSAR has ambitions to continue to contribute actively in this process, and will in addition be prepared to undertake the role as a Norwegian National Data Center for treaty verification.

Registrerte kjernefysiske eksplosjoner 1.01.95 - 31.12.96

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
08.06.96	02.56.00	41.62 N 88.65 E	5.9	Lop Nor
29.07.96	01.49.00	41.54 N 88.38 E	4.9	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

Fire kinesiske og seks franske kjernefysiske prøver ble gjennomført i perioden 1.01.95-31.12.96. Samtlige ble registrert ved NORSARs feltstasjoner og også lokalisert (som vist i tabellen) av det internasjonale datasentret for det eksperimentelle globale overvåkingsystemet GSETT-3. Sprengstyrken varierte mellom 20-110 kilotonn for de franske prøvene, og mellom 10-100 kilotonn for de kinesiske prøvene.

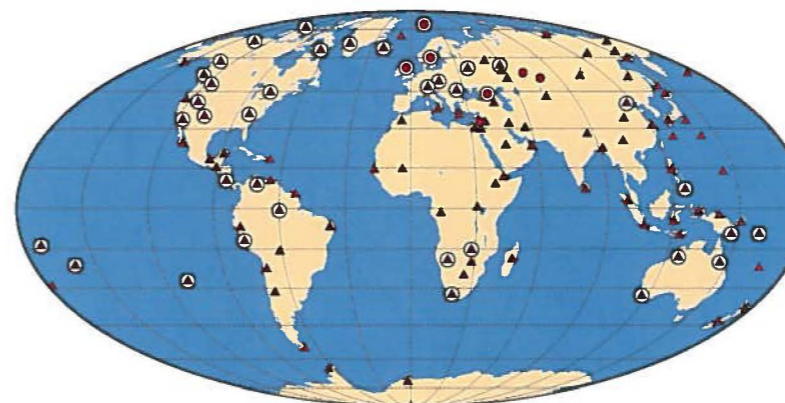
avtalen nå er vedtatt, forventes ikke flere slike sprengninger heretter.

GSETT-3 eksperimentet

Den seismologiske ekspertgruppen etablert av FN's Nedrustningskonferanse i Genève har i mange år arbeidet aktivt for å legge grunnlaget for et globalt seismisk system som kan verifisere etterlevelse av en prøvestansavtale. Siden 1993 har ekspertgruppen konsentrert seg om gjennomføringen av et eksperiment, kalt GSETT-3, som er en operasjonelt sett realistisk test av et slikt system. GSETT-3-systemet har inkludert et globalt nettverk av mer enn 120 seismiske stasjoner og et eksperimentelt internasjonalt datasenter i Virginia, USA, der data fra nettverket blir prosessert fortløpende og brukt til å utarbeide lister over seismiske hendelser.

GSETT-3-eksperimentet representerer i realiteten starten på oppbyggingen av verifikasjonsregimet for prøvestansavtalen, ettersom de fleste seismiske stasjonene som deltar i GSETT-3, har blitt valgt ut til å inngå i dette regimet. Det er derfor av største betydning nå å videreføre GSETT-3 for tidligst mulig å vinne praktisk erfaring med prøvestansavtalens kontrollsystem.

NORSAR-forskere innehar sentrale roller i organiseringen og gjennomføringen av GSETT-3. Flere land sender sine data til det internasjonalt datasentret i USA via NORSARs datasenter. I løpet av de siste årene har NORSAR-personell ytt teknisk bistand til en rekke land (Finland, Japan, Pakistan, Spania, Sverige og Tyskland), slik at disse har blitt satt i stand til å bidra med data til GSETT-3 fra seismiske stasjoner på egne territorier.



Figuren viser øverst de såkalte "primary seismic stations" i overvåkingsystemet for prøvestansavtalen og nederst de såkalte "auxiliary seismic stations", som blir brukt til å forbedre lokaliseringene av hendelsene bestemt av det primære nettverket. Arraystasjoner er plottet som fylte sirkler og såkalte tre-komponentstasjoner som trekantede. Stasjoner som allerede er operasjonelle og deltar i GSETT-3-eksperimentet, er markert med en sirkel rundt stasjonssymbolet. Figuren viser at man allerede er kommet langt i oppbyggingen av det primære nettverket (øverst), mens mye arbeid gjenstår for nettverket vist i den nederste del av figuren.

Iverksettelse av prøvestansavtalen

Etter undertegnelsen av avtalen i september 1996, foregår det nå et målrettet internasjonalt arbeid for å etablere verifikasjonsregimet for å ha dette klart ved avtalens ikrafttredelse, ventelig om 2-3 år. Hovedinnsatsen vil bli konsentrert om oppbyggingen av det internasjonale monitorerings-systemet, hvorav den seismiske

komponenten allerede langt på vei er ivarettatt gjennom arbeidet med GSETT-3, samt etablering i Wien av sekretariat og teknisk senter for overvåking av avtalen. NORSAR har ambisjoner om fortsatt å bidra aktivt i disse internasjonale anstrengelsene, og vil i tillegg inneha rollen som norsk nasjonalt datasenter for verifikasjon av prøvestansavtalen.

The figure shows the envisaged primary seismic network (top) and auxiliary seismic network (bottom) to be installed for the monitoring of the treaty. Filled circles denote arrays, and triangles denote 3-component stations. Stations participating in GSETT-3 are encircled.

Seismic Hazard and Risk

NORSARs activity in seismic hazard and risk analysis has during 1996 progressed well. A number of projects have been undertaken, most of them consultant tasks for industrial enterprises. We interpret the high demand for NORSARs services as a recognition of the quality of our work. However, most projects have strict time limitations and low budgets, and therefore do not provide a satisfactory margin for allowing the research and competence building that is crucial to stay in front in this field. It will be necessary to improve the balance between short-term projects of this type and more long-term, research-oriented tasks.

With the continuing global increase in economic development, including large-scale industrial projects, the vulnerability to earthquake motions can be expected to continue to increase the way we see today. It is therefore essential with a continued focus on this area, in order to secure life and property. While projects relating to the Norwegian continental shelf remain important for NORSAR, there has been an increase in our engagement in international projects during 1996.

Projects that began in 1995 or earlier, and which continued during 1996, include:

- Continued operation of a seismic array in Spitsbergen
- A strategic program to develop seismic methods for engineering ground investigations
- A EU-financed program for "Long period earthquake risk in Europe"

The table shows earthquakes during 1996 that have caused loss of human life.

Seismisk Risiko

Aktiviteten innen gruppen for Seismisk Risiko har i 1996 fortsatt omtrent som i tidligere år. Tilgangen på oppgaver har vært god dette året, spesielt innen konsulentoppdrag for industrien. Slike oppdrag gir imidlertid, på grunn av lave timepriser og store leveransekrav, relativt små fortjenestemarginer. Det blir derfor lite tilbake som senere kan brukes til styrking av forskningsaktiviteten og til videre markedsføring. Det er forskningen som til enhver tid er og må være ryggraden i hele virksomheten, og det er ingen grunn til å legge skjul på at med dagens rammevilkår for denne type aktivitet er det vanskelig å opprettholde den ønskede balanse mellom forskning og konsulentoppdrag.

Som tidligere har arbeider rettet spesifikt mot beregning av seismisk risiko bare utgjort en del av virksomheten innen denne gruppen, og poenget her er at slike analyser er multidisiplinære og derfor krever en bred faglig oversikt i tillegg til godt samarbeid

over faggrensene, fra geologi til ingeniørfag.

En av de sikreste faktorene innen dette feltet er at jordskjelvene fortsetter sin aktivitet på global skala, og med en økende skadekurve på grunn av økende sårbarhet. Det er derfor fortsatt behov for en innsats innen dette feltet, med sikte på sikring av liv og eiendom. Oppdrag på den norske kontinentalsokkelen er fortsatt viktige for NORSAR, samtidig som de internasjonale engasjementene i 1996 har økt i antall.

Av prosjekter som det ble arbeidet med innen denne gruppen i 1996, men som begynte i 1995 eller tidligere, finner vi:

- 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 innen 'Seismiske Metoder for Grunnundersøkelser'.

Dato	Bredde	Lengde	Styrke	Sted	Døde
1/1	0.7	119.9	7.6	Sulawesi	8
3/2	27.3	100.3	6.5	Kina	251
17/2	-1.0	137.0	8.1	Indonesia	108
21/1	-9.6	-79.6	6.6	Peru	4
19/3	40.0	76.7	6.0	Kina	24
28/3	-1.0	-78.7	5.2	Ekvador	19
29/4	-6.5	155.0	7.5	Solomonøyene	1
3/5	40.8	109.7	6.0	Kina	18
9/10	34.6	32.1	6.8	Kyprus	1
12/11	-15.0	-75.7	7.3	Peru	14

Jordskjelv i 1996 på verdensbasis som har tatt menneskeliv. Dette er et av de 'gode' årene i så måte, ettersom det ikke har vært noen helt store katastrofeskjelv.

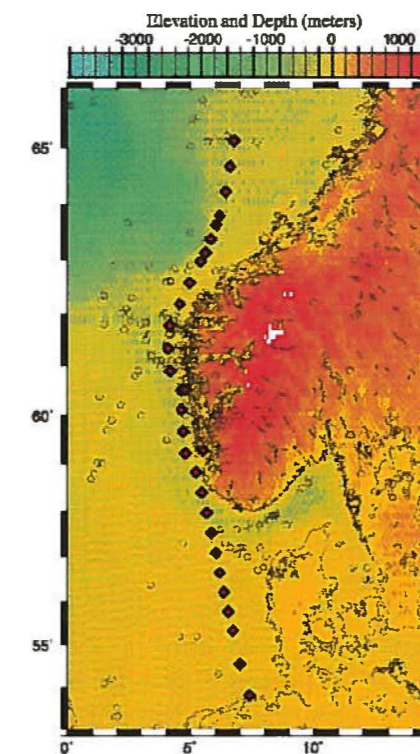
Dato	Tid	Bredde	Lengde	Styrke	Sted
21/1	0216	69.5	24.0	4.1	Finnmarksvidda
17/3	0328	60.2	5.2	2.3	Bergen
16/4	1027	61.9	5.5	2.7	Nordfjord
31/10	1252	61.8	3.4	3.4	Vest av Nordfjord
31/10	1257	61.8	3.4	3.2	Vest av Nordfjord
31/10	2347	61.8	3.4	3.7	Vest av Nordfjord
11/11	1641	59.8	6.4	2.5	Ryfylke
10/12	1042	59.1	5.6	2.4	Boknafjorden
16/12	0409	61.0	3.8	3.0	Vest av Sogn
31/12	1611	66.7	13.6	3.1	Meløy, Nordland

Følte jordskjelv i Norge i 1996. Dette er et noe mindre antall enn vanlig.

- Et EU-prosjekt om 'Long Period Earthquake Risk in Europe' i samarbeid med NGI og med institusjoner i England, Portugal og Italia. Dette prosjektet avsluttes i februar 1997.

Nye prosjekter i løpet av 1996 omfatter blant annet:

- En større risikoanalyse for rørledningen (Europipe II) fra Åsgard-feltet via Kollnes eller Kårstø, til nord-Tyskland.
- En større risikoanalyse for en rekke samarbeidende oljeselskaper knyttet til de nye lisensene på dypt vann utenfor midt-Norge (den såkalte 'Seabed' gruppen), der spørsmålet om undersjøiske ras kan utløses av jordskjelv er sentral.
- En seismisk sonering for både offshore-sektoren og norske landområder i samarbeid med Norsk Byggestandardiseringsråd og med økonomisk støtte fra både oljeselskaper og offentlige institusjoner. Arbeidet vil bli ferdig høsten 1997.



Europipe II rørledningen vil gå fra Åsgardfeltet på Haltenbanken, via Kollnes eller Kårstø (alternativer), til nord-Tyskland, og oppdraget med å beregne jordskjelvrisiko var utfordrende og interessant fordi traséen går gjennom områder med meget varierende jordskjelvaktivitet (høyt i nord, lavt i sør), havdyp (som antydnet av fargesetningen) og bunnforhold (vanskelig i nord, enklere i sør). Figuren viser også jordskjelv over styrke 3.4 på Richter skala.

The table shows felt earthquakes in Norway during 1996.

Among the new projects during 1996 are:

- A large-scale hazard analysis for a pipeline (Europipe II) from the Åsgard field to Germany
- A study undertaken for the Mid-Norway region on earthquakes and submarine slides
- Seismic zonation of Norway, both on- and offshore
- A seismic hazard analysis for the planned depository for nuclear waste in Himdalen
- Hazard analyses for power plants in Tanzania, Namibia, Philippines and Vietnam
- A renewed long-term engagement in Central America, supported by NORAD

Plans

The seismic zonation project for on- and offshore Norway is expected to lead to a coordination with similar activities on the British continental shelf during 1997. The assessment of earthquake hazard for the Himdalen depository will likewise be important in future work, especially in the zonation activities.

We plan to continue developing our cooperation with industrial companies and entrepreneurs, in particular in connection with the development of hydroelectrical power plants abroad. One of our main partners so far has been Norconsult and its cooperating partners, and NORSAR aims to further strengthen this cooperation.

The figure to the left shows the Europipe II pipeline from Haltenbanken offshore Norway to northern Germany. The pipeline covers zones with varying seismic activity and geological conditions. Earthquakes of magnitude above 3.4 are shown as circles.

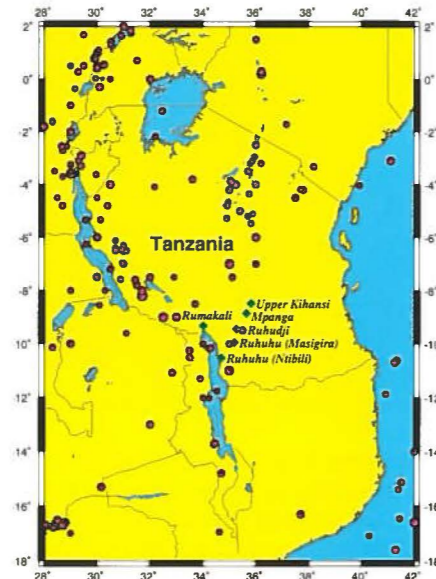
Internationally, the renewed engagement in Central America is especially important, as a long-term undertaking. It will be a challenging task to strengthen the infrastructural and industrial basis in these countries, and to establish a dialog with the authorities and planning institutions in order to implement new knowledge and to increase the awareness of seismic risk problems in general.

The important EU-financed project on long-period seismic waves was completed early 1997, and the results have already proved important in national projects. The potential load on structures of such waves can be considerable, but are more difficult to calculate than the load from higher frequency waves, which traditionally have been given most attention.

A follow-up study is planned for the EU-financed project on long period seismic waves. This new project will focus on earthquake damage potential for large cities in Europe.

- En fullskala risikoanalyse for det planlagte deponiet for lav- og middel-radioaktivt avfall i Himdalen, en mindre studie av sprengninger i forbindelse med Gardermoen-utbyggingen, og en mindre betenkning om jordskjelvaktiviteten i Hadsselfjord-området knyttet til veiprojekter.
- Risikoanalyser for flere mindre nærliggende kraftverksprosjekt i Tanzania, samt tilsvarende oppdrag i Namibia, Filippinene og Vietnam.
- En nytt og langsiktig (1996-2000) engasjement i Sentral-Amerika som en fase 2 av et tidligere oppdrag for NORAD (1991-1994).

Noen av disse prosjektene omtales nærmere i det følgende:



Tanzania har mye jordskjelv som er knyttet til den øst-Afrikanske riftsonen, der en gren går gjennom de store sjøene og en annen gren kommer sørover fra Kenya. På dette kartet er det bare tatt med jordskjelv med styrke 5.0 og over på Richters skala, mens de grønne punktene (med navn) identifiserer de aktuelle lokasjoner for kraftverk som NORAD har gjort seismiske risikoanalyser for.

Prosjekter

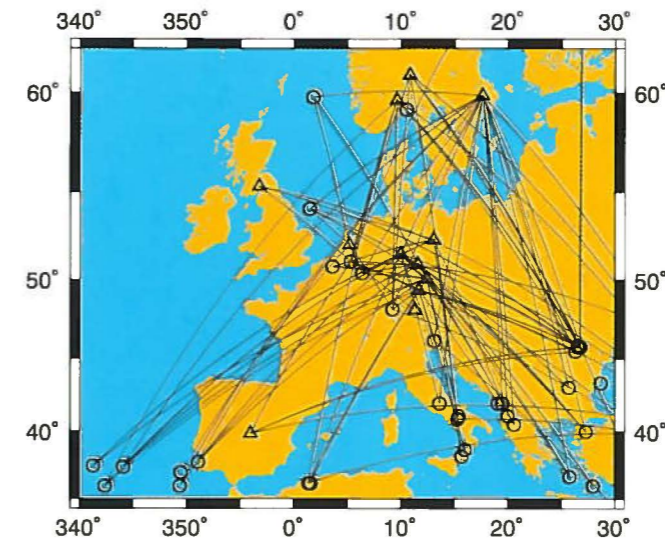
Arbeidet innen risiko-gruppen har som tidligere i stor grad vært knyttet til den norske oljevirk-somheten, der forskningsvirk-somheten også er blitt støttet, ofte i kombinasjon med konsu-lentoppdrag. To viktige arbeider her var Europe II og oppdraget for Seabed-gruppen, som begge ga resultater som det var mulig å ta videre inn i det nye og ganske omfattende soneringsarbeidet for både off- og on-shore områder. Det forventes at dette i 1997 vil føre til et samarbeid med, og en koordinering mot, et tilsvarende soneringsarbeid på britisk sektor.

På landsiden i Norge var ellers arbeidet med Himdalen-utred-ningen av betydning, spesielt fordi lite har vært gjort tid-

ligere i Oslo-området, der det store 1904-skjelvet i ytre Os-lofjord, med en styrke på 5.4, er særlig betydningsfullt. Også dette arbeidet vil komme til nytte når hele landet nå skal soneres, til bruk i nye byggeforskrifter.

Forøvrig har vi videre-utviklet samarbeidet med industriselskaper og med entreprenører, mest i forbindelse med vannkraft-prosjekter i utlandet. I 1996 gjennomførte NORAD som nevnt ovenfor flere slike pro-sjekter, lokalisert i Tanzania, Namibia, Filippinene og Vi-etnam. Dette er basert på samarbeid vesentlig med Norconsult og selskapene innen Norconsult, et samar-beid som NORAD legger stor vekt på å kunne utvikle videre.

Internasjonalt blir særlig det nye engasjementet i Sentral-



Dette kartet viser 'gangveier' mellom større jordskjelv i Europa og seismiske stasjoner som det er samlet inn data for under prosjektet 'Long Period Earthquake Risk in Europe'. De instrumentelle registreringene som er samlet inn går helt tilbake til 1905 og en god del av disse dataene er nå digitalisert ved NORSAR slik at de vil bli lettere tilgjengelige for videre forskning.

Amerika viktig framover, og det-te vil på mange måter bli en kre-vende oppgave. Ved siden av institusjons-bygging vil en i den-nye fasen ta spesielt mål av seg til å nå fram til myndigheter og planleggings-institusjoner i de sentral-amerikanske landene, med sikte på implementering av ny kunnskap og bevisstgjøring om jordskjelvrisiko.

Endelig skal det noteres at et vik-tig EU-prosjekt for studier av langperiodiske bølger fra jord-skjelv ble avsluttet på nyåret 1997, og resultatene fra dette ar-beidet har allerede kommet godt

til nytte innen nasjonale prosjek-ter. De potensielle belastningene fra langperiodiske bølger kan være betydelige, men er vanske-ligere å beregne enn for høyere frekvenser, som mer konven-sjonelle metoder er begrenset til.

Med støtte fra Norges Forsk-ningsråd er det nå søkt på et nytt EU-prosjekt innen jordskjelvrisiko, konsentrert om store byer der skadepotensialene er størst. På grunn av kravet til egeninn-sats er det imidlertid begrenset hva en kan satse på innen EU-programmene.

This map shows travel paths from larger earthquakes to selected European recording stations. The data have been analyzed as part of the project "Long Period Earthquake Risk in Europe" and include earthquakes as far back as 1905.

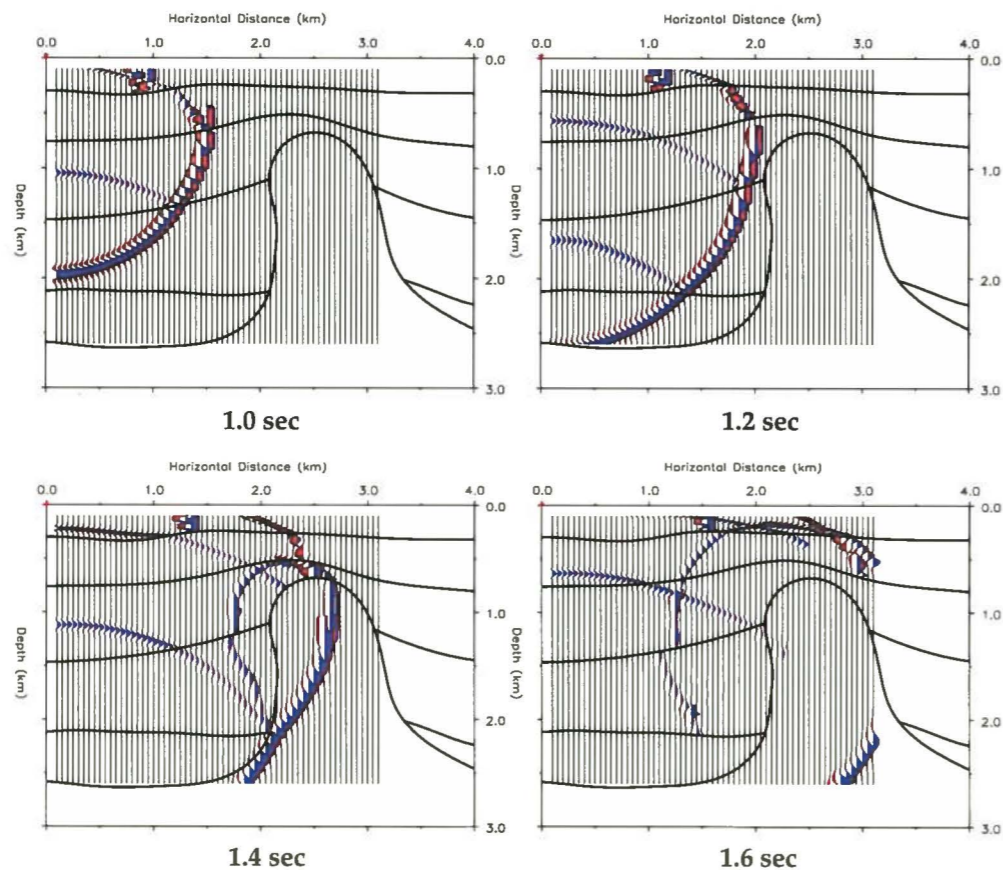
Seismic Modelling

NORSAR has since 1977 had a significant research activity in the fields of seismic prospecting and seismic modelling. These projects have covered theoretical studies as well as development of commercial software products, with customers mainly from the oil industry. About 10-12 geophysicists and software specialists are currently engaged in this activity, which represents the main area of expansion for NORSAR during the past several years.

2D and 3D seismic modelling

Seismic methods are today the most important tool in prospecting for oil and gas reservoirs. Briefly, strong sound signals are generated near the surface, and the reflections from the various layer boundaries underground are recorded. By processing the recorded data, one obtains a sound-picture of the sedimentary layers, and such pictures can in turn be interpreted by geologists. Such seismic sections are one of the most important tools in determining the sites for subsequent exploratory drilling.

The figure shows snapshots of seismic wavefront tracing using NORSAR-2D. It can be seen how the wavefield develops as the energy is reflected from various model layers.



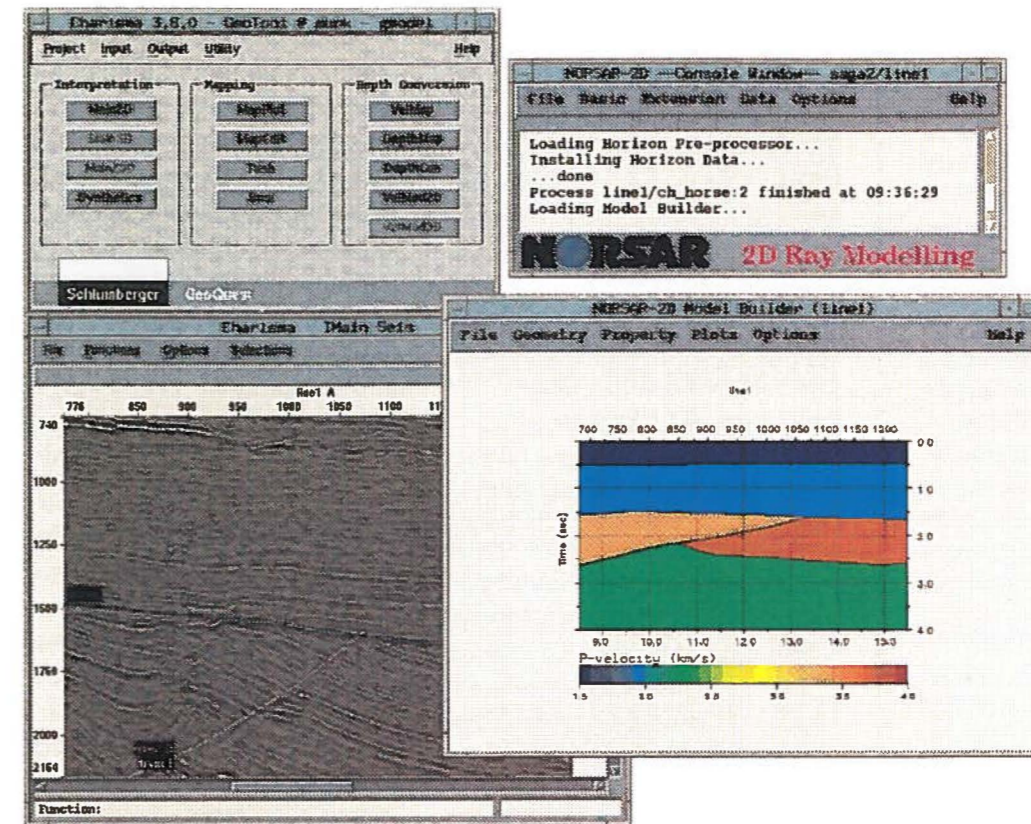
Figuren viser øyeblikksbilder ("snap-shots"), generert vha en nyutviklet bølgefront-teknikk. Ved å "fryse" bølgefeltet på forskjellige tidspunkter, kan de forskjellige effektene studeres i detalj. Vi kan her se hvordan bølgefeltet utvikler seg etterhvert som energien reflekteres fra de forskjellige grenseflatene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

Seismisk Modellering

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 lyd-signaler 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 oljeselskaperes geologer. Disse seismiske seksjonene er et av de viktigste hjelpemidler når det



Figuren viser et skjermbilde fra en arbeidsstasjon der NORSAR-2D modellering kjøres i interaksjon med Charisma tolkningsystem. NORSAR har i samarbeid med Geco-Prakla utviklet en tett kobling mellom

The figure shows a screen picture from interactive analysis using NORSAR-2D integrated with a Charisma system (Geco-Prakla).

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 lag-grensene.

Selv om det er ray-tracing teknikken 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 i stand til å simulere de seismiske

The largest activity has been within the fields of 2D and 3D seismic modelling. These terms represent an overall concept which comprises a number of processes to simulate the propagation of seismic waves in a geologic model. Such models are represented numerically in the computer, and are associated with algorithms to simulate wave propagation through the various model layers.

NORSAR has in particular established a unique competence in so-called ray-tracing techniques, which are also commonly used in optics. These techniques simulate the wavefields using rays, and compute various parameters characterizing the wavefield along its propagation path (travel time, amplitude, etc.). These calculations can be performed for all types of waves, e.g., for the waves reflected from various geological boundaries.

NORSAR has also recently begun work with alternative techniques for wavefield simulation, motivated by the desire to provide new applications in cases where the classical ray-based methods are insufficient. In particular, finite difference methods are important as a tool to achieve more complete simulation of seismic waves. This is essential in areas with very complex geological structures. The drawback of such methods is that they demand far greater computer processing capacity than the ray-tracing methods. For this reason, we have begun studying a synthesis of finite difference and ray-tracing techniques, denoted hybrid seismic modelling.

Seismic software development

NORSAR has specialized in developing advanced, user-oriented seismic software packages that are marketed commercially, especially targeted towards Norwegian and international oil industry. Both standard packages and tailor-made systems are available. International standards for data formats (GeoShare/POSC), interactive and flexible user interface and advanced 2D/3D graphics are important elements in the systems delivered by NORSAR.

NORSAR-2D/3D seismic modelling system

NORSAR-2D/3D Ray Modelling systems are commercially available 'state-of-the-art' software packages that have been developed by NORSAR and that are now being marketed. Customers include oil companies, contractors, research institutes, universities, etc. NORSAR cooperates in its marketing with two independent partners, Geoquest and PGS/Seres, and has interfaced its products to their interactive seismic analysis systems (Charisma and Nucleus). NORSAR also markets stand-alone versions of its products.

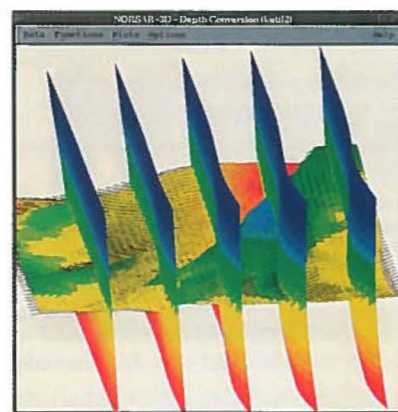
A depth-converted horizon and some cross-sections through the depth mapping function. The black lines indicate the lateral movement from time to depth.

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 forvrengt form. F. eks. kan en interessant geologisk detalj dypt nede i undergrunnen både forflyttes og forvrenges ved avbildning på seksjonen. Grunnen



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

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 modelleringsmetode beregne virkningen av og kompensere for denne avbøyningen, slik at geologien kan avbildes på korrekt plass i dypet og i mest mulig uforvrengt form.

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/3D seismisk modelleringsystem

Det er i løpet av de senere år utviklet kommersielle modelleringspakker (NORSAR-2D/3D Ray Modelling) som fra 93/94 er blitt markedsført overfor seismikk-relaterte selskap og institutter (oljeselskap, kontraktorselskap, forskningsinstitutter, universiteter, osv). Modelleringspakkene representerer uten tvil internasjonal 'state-of-the-art' innen 2- og 3-dimensional

strålebasert seismisk modellering. Samarbeidsavtaler er inngått med flere selskap om salg av NORSAR-2D/3D, både som frittstående produkt og i samspill med andre seismikk-produkter (Charisma tolkningsstasjon, Nucleus seismisk analysesystem).

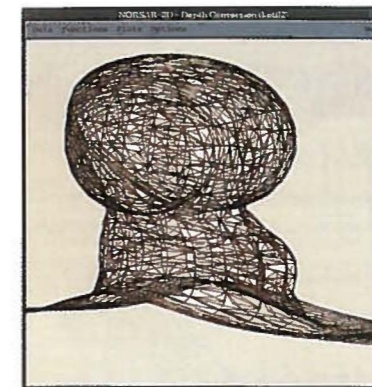
Prosjekter innen grunnseismikk

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 modellerings-teknikker som er utviklet. Programmet avsluttes våren 1997 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



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

Geco's Charisma-miljø. Viktige elementer i dette prosjektet er modellering av bergartsparametere og sammenhengen med de seismiske parametere, modellretvedt prosessering og geostatistisk klassifisering. Prosjektet skal munne ut i et kommersielt software-produkt som skal markedsføres internasjonalt.

Seismisk hybrid-modellering

NORSAR har i 1996 arbeidet med forprosjekter innen seismisk "hybrid-modellering", som går ut på å kombinere stråleteknikker og endelig differanse (FD) teknikker. Dette har resultert i et nytt strategisk institutt program fra 1997, samt et nytt "konsortium" (HybriSeis) for kommersialisering av metoden. Samarbeidspartnere er IKU og UiB.

"Wireline" plot of a 3D "salt dome" model after triangulation. The Open Ray Model handles any complex geometry.

Seismic methods for engineering ground investigations

A strategic program, supported by the Research Council of Norway, was initiated by NORSAR in 1994. The objective has been to improve and to automate methods for seismic velocity estimation and imaging at shallow depths (1-100m). This project, which is undertaken in cooperation with NGI and GEOMAP, aims at developing an interactive program system for shallow seismics.

NORSAR is also engaged in an EU-supported project, in cooperation with Norwegian, French and Italian partners. This project, named "Seabed Imaging", has as its objective to improve the methodology for seismic detection and imaging of small objects buried on the sea floor.

Seismic hybrid modelling

In 1996, NORSAR carried out a pre-project in the field of seismic hybrid modelling, which entails combining ray-based and finite difference techniques. This has resulted in a new strategic program being initiated in 1997, and has furthermore led to the establishment of an industrial research consortium (HybriSeis) which will develop a commercial version of the method. IKU and the University of Bergen are cooperating with NORSAR in this undertaking.

Personell / Personnel

Personell pr 1.1.97

I alt / Total :	34
U & H personell / R & D personell:	19
Ingeniører / Engineers:	7
Annet personell / Others:	8

Ansatte / Employees

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

Gjesteforskere / Visiting Scientists

Johannes Schweitzer, Ruhr University, Bochum, Tyskland, 8-22/1.	Igor Kuzmin, Kola Science Centre, Apatity, Russland, 9-16/4, og 3-7/9.
Vladimir Pinsky, Inst. for Petroleum Research and Geophysics, Holon, Israel, 4-6/3.	Robert Beaubien, GeoQuest, Stavanger, 13-15/5.
Yefim Gittermann, Inst. for Petroleum Research and Geophysics, Holon, Israel, 4-6/3.	Mario Araujo, INPRES, Argentina, 14-19/6.
Matt Pritchard, Dept. of Geological Sciences, University of Durham, UK, 10-24/3.	Manfred Joswig, GeoForschungs-Zentrum Potsdam, Tyskland, 26/8-8/9.
Hugh Cowan, 18-31/3.	Gordon Woo, EQE Int., Cambridge, UK, 18-22/11.
Elena Kremenetskaya, Kola Science Centre, Apatity, Russland, 9-16/4, og 3-17/9.	

Hovedfagsstudenter / Graduate Students

Erik Hicks
Ståle Høgden

Utplassering

Rashid Kaggwa Hassan,
geofysiker, 5/2-31/3

Publikasjoner / Foredrag Publications / Presentations

Publikasjoner / Publications

Bungum, H. (1996): Seismic risk in intraplate areas. Lecture notes, Third Workshop on Three Dimensional Modelling of Seismic Wave Generation, Propagation and Their Inversion, International Centre for Theoretical Physics, Trieste, 4-15 november 96.

Bungum, H. & C.D. Lindholm (1996): Seismo- and neotectonics in Finnmark, Kola and the southern Barents Sea, Part 2: Seismological analysis and seismotectonics, *Tectonophysics* (in press).

Camacho, E., C.D. Lindholm, A. Dahle & H. Bungum (1996): Seismic hazard for Panama, *Tectonophysics* (in press).

Cowan, H., L. Sanchez, E. Camacho, J.L. Palacios, A. Tapia, D. Irving & C.D. Lindholm (1995): Seismicity and tectonics of western Panama from new portable seismic array data, Tek. rapport, desember 95.

Dahle, A. & C.D. Lindholm (1996): Earthquake loading, Proc. Fjellsprengningskonferansen, Oslo 1996.

Dahle, A., A. Climent, W. Taylor, H. Bungum, P. Santos, M. Ciudad-Real, C.D. Lindholm, W. Strauch & F. Segura (1996): New spectral strong-motion attenuation models for Central America, In: Proc. 5th Intern. Conf. on Seismic Zonation, Nice, 1005-1012.

Fejerskov, M., C.D. Lindholm, H. Bungum, A. Myrvang, R.K.

Bratli & B.T. Larsen (1995): Crustal stress in Norway and adjacent offshore regions. Final Report for the IBS-DNM project, Topic 1.3 "Regional Stress Field".

Gudmestad, O., R. Sandvik, S. Remseth, H. Bungum, F. Nadim & T. Søreide (1996): Norwegian application code for Eurocode 8, NS-ENV-1998. In: Torkelsson, B. (ed.), *Proc. 25th General Assembly of ESC*, Reykjavik, Island, september 96.

Hovland, H. (1996): NORSAR 2D Ray Modelling, Version 3.2, User Manuals Basic & Extension, februar 96.

Hovland, H. & R.M. Aasen (1996): NORSAR 2D Ray Modelling, Charisma version, vers. 3.2, mars 96.

Iversen, E. (1996): Derivatives of reflection point coordinates with respect to model parameters, *Pure & Appl. Geophys.*, 148, nos. 1/2.

*) Iversen, E. & H. Gjølystdal (1996): Event-oriented velocity estimation based on prestack data in time or depth domain, *Geophys. Prospecting*, 44, 643-686.

Iversen, E., A.E. Mjelva & H. Gjølystdal (1996): Analysis of converted waves, based on SUMIC data, Rapport for Den norske stats oljeselskap a.s., juni 96.

Iversen, E., V. Vinje & L.J. Gelius (1996): Raytracing in a smooth velocity model, *J. Seism. Explor.*, 5, 129-140.

Iversen, H. (1996): New CGM Usage Strategy in NORSAR-2D, Specification Doc., desember 96.

Kværna, T. & F. Ringdal (1996): Generalized beamforming, phase association and threshold monitoring using a global seismic network, In: Husebye, E.S. & A. Dainty (eds.): *Monitoring a Comprehensive Test Ban Treaty*, Kluwers Academic Publ., 447-466.

Lecomte, I. (1996): Hybrid modeling with ray tracing and finite difference, Expand. Abstract, SEG, november 96.

Lecomte, I. (1996): High-resolution seismic seabed imaging: computer modelling and imaging tasks, Rapport for NGL, november 96.

Lindholm, C.D., H. Bungum, E. Hicks & M. Villagran (1996): Crustal stress and tectonics in Norwegian regions determined from earthquake focal mechanisms, *J. Geol. Soc. London* (in press).

Lindholm, C.D., W. Rojas, H. Bungum, A. Dahle, E. Camacho, H. Cowan & M. Laporte (1996): A new regional seismic zonation for Central America, In: Proc. 5th Intern. Conf. on Seismic Zonation, Nice, 437-444.

NORSAR (1996): Analyse av registrerte rystelser i Gardermoenområdet 19. desember 1995 kl 1010, Rapport for Ing. Per Kristian Karlsen AS, februar 96.

*) Tildelt prisen som beste publikasjon i tidsskriftet *Geophysical Prospecting* i 1996.

*) Awarded the prize for the best paper in the journal *Geophysical Prospecting* in 1996.

- NORSAR & Grøner A.S. (1996): 93046 KLDRA-Himdalen Earthquake Design Criteria, Rapport for Statsbygg, februar 96.
- NORSAR (1996): Earthquake Criteria for Åsgard and Europipe II pipelines. Rapport for Den norske stats oljeselskap, juni 96.
- NORSAR (1996): Epupa Falls, Namibia, Preliminary Earthquake Loading, Rapport for Berdal/Strømme a.s., august 96.
- NORSAR (1996): Power VI Tanzania, Seismic Studies, Phase II, Rapport for Norconsult International a.s., Power Dept., august 96.
- NORSAR (1996): Earthquake Criteria Update for Åsgard and Europipe II pipelines, Rapport for Den norske stats oljeselskap a.s., oktober 96.
- NORSAR (1996): Northern Panay, Philippines, Hydropower project. Seismological considerations, Rapport for Norconsult International A/S, november 96.
- NORSAR (1996): Jordskjelvaktivitet i Hadsselfjordområdet; Kvalitativ vurdering, Rapport for Statens Vegvesen, Nordland Vegkontor, desember 96.
- NORSAR (1996): Song Hinh Hydropower Project; Preliminary earthquake considerations, Rapport for Norconsult International A/S, desember 96.
- NORSAR (1996): Kravspesifikasjon for repetert 2D modellering i 3D modell, Tek. rapport for Den norske stats oljeselskap, desember 96.
- NORSAR (1996): Semiannual Technical Summary, 1 Oct 95 - 31 Mar 96, NORSAR Sci. Rep. 2-95/96, mai 96.
- NORSAR (1996): Review of the Ilaguen B, Luzon, seismic hazard feasibility study report, Rapport for Norconsult International A/S, oktober 96.
- NORSAR (1996): Review "Feasibility Study of the Tagloan II Hydroelectric Project, Seismic Risk Assessment", Rapport for Norconsult International A/S, oktober 96.
- NORSAR (1996): Review of seismic hazard feasibility study (Appendix C, Seismicity Analysis) for the Kanan 1B hydroelectric project, Luzon, Philippines, Rapport for Norconsult International A/S, oktober 96.
- NORSAR (1996): Semiannual Technical Summary, 1 Apr - 30 Sep 96, NORSAR Sci. Rep. 1-96/97, november 96.
- Pettersen, S.H. (1996): New features in NG-USE/NOGRA, Specification doc., des 96.
- Ringdal, F. (1996): Lessons learned from the GSETT-3 experiment, Proc. ARPA CTBT Monitoring Tech. Conf., San Juan, Puerto Rico, januar 96.
- Ringdal, F. (1996): Monitoring a CTBT: Lessons learned from the GSETT-3 experiment. UNIDIR Newsletter, Geneva (English and French version).
- Sellevoll, M.A., H. Bungum & J. Havskov (1996): History of Norwegian seismic stations and current networks, Proc. Uppsala Weichert Jublium (in press).
- Villagran, M., C.D. Lindholm, A. Dahle, H. Cowan & H. Bungum (1996): Seismic hazard assessment for Guatemala City, Guatemala, *Natural Hazards* (in press).
- Vinje, V. (1996): Popper, Bayes og seismisk inversjon, Essay i Viten. teori, kurs MNVIT 401, høsten 96.
- Vinje, V., E. Iversen, K. Åstebøl & H. Gjølystdal (1996): Estimation of multivalued arrivals in 3D models using Wavefront Construction. Parts I and II, *Geophys. Prospecting*, 44, 819-842.
- Aasen, R.M. (1996): NORSAR-3D/Charisma Integration, Conventions and Communications Tools, Specification doc., desember 96.
- Foredrag / Presentations**
- Bungum, H.: En reise til jordens indre, NRK P2 Akademiet, august 96.
- Bungum, H.: Seismotectonics of the mid-Norwegian margin, 25th General Assembly of the European Seismological Commission, Reykjavik, Island, september 96.
- Bungum, H., C.D. Lindholm & A. Dahle: European historical seismograms as a basis for long period ground motion prediction models, 25th General Assembly of the European Seismological Commission, Reykjavik, Island, september 96.
- Bungum, H., A. Dahle & C.D. Lindholm: Methodologies, models and uncertainties relating to seismic hazard analyses in Norway, 25th General Assembly of the European Seismological Commission, Reykjavik, Island, september 96.
- Bungum, H.: Seismic risk in intraplate areas — I: Seismotectonics. Third Workshop on Three Dimensional Modelling of Seismic Wave Generation, Propagation and Their Inversion, International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy, november 96.
- Bungum, H.: Seismic Risk in intraplate areas — II: Hazard, risk and policies, Third Workshop on Three Dimensional Modelling of Seismic Wave Generation, Propagation and Their Inversion, International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy, november 96.
- Dahle, A. & C.D. Lindholm: Earthquake Loading, Fjellsprenningskonferanse, Oslo, 96.
- Fyen, J.: An overview of the refurbishment of the large aperture NORSAR array, with emphasis on processing techniques for ray parameter estimation, 25th General Assembly of the European Seismological Commission, Reykjavik, Island, september 96.
- Gudmestad, O.T., R. Sandvik, S. Remseth, H. Bungum, F. Nadim & T. Søreide: Norwegian application code for Eurocode 8, NS-ENV-1998, 25th General Assembly of the European Seismological Commission, Reykjavik, Island, september 96.
- Gudmestad, O.T., A. Dahle & H. Bungum: Development of a seismic code for an intraplate area; Case study: Norway, 11th World Conf. on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, juni 96.
- Kværna, T.: How much can we believe in automatic and manual phase picks?, 25th General Assembly of the European Seismological Commission, Reykjavik, Island, september 96.
- Lecomte, I.: Hybrid modelling with ray tracing and finite difference, SEG-møte, Denver, USA, november 96.
- Ligorria, J., C.D. Lindholm & C.J. Ammon: Regional hazard and seismogenic coupling of the middle America subduction zone in Guatemala, American Geophysical Union, San Francisco, USA, desember 96.
- Lindholm, C.D., M. Fejerskov, H. Bungum & E. Hicks: Crustal stress in Norwegian regions; Observations and stress generating mechanisms, 25th General Assembly of the European Seismological Commission, Reykjavik, Island, september 96.
- Lindholm, C.D., H. Bungum, A. Dahle & O. Olesen: Stuaragura, a seismically active post-glacial fault in Norway; Implications for hazard modelling, 25th General Assembly of the European Seismological Commission, Reykjavik, Island, september 96.
- Mykkeltveit, S.: The GSETT-3 experiment: Aspects of planning and documentation, African Workshop on GSETT-3 and the CTBT, Pretoria, Syd Afrika, april 96.
- Mykkeltveit, S.: A overview of the GSETT-3 experiment, 25th General Assembly of the European Seismological Commission, Reykjavik, Island, september 96.
- Mykkeltveit, S.: The GSETT-3 experiment: Aspects of planning and documentation, The Asia-Pacific Workshop on Seismic Events, Jakarta, Indonesia, oktober 96.
- Ringdal, F.: Monitoring a CTBT: Lessons learned from the GSETT-3 experiment, ARPA CTBT Monitoring Tech. Conf., San Juan, Puerto Rico, januar 96.
- Ringdal, F.: Norwegian NDC experience during GSETT-3, CTBT Symposium, Moskva, mai 96.
- Ringdal, F.: Developing and testing an experimental international monitoring system: The GSETT-3 experiment, AGU Special Session on CTBT Verification, San Francisco, desember 96 (Invited Paper).
- Ringdal, F. & T. Kværna: Continuous Seismic Threshold Monitoring for real-time assessment of network capabilities. Poster Session, AGU Special Session on CTBT Verification, San Francisco, desember 1996.
- Schweitzer, J. & T. Kværna: The effect of source radiation pattern on short-period magnitude estimates (m_b), 25th General Assembly of the European Seismological Commission, Reykjavik, Island, september 96.