



NORSAR
Årsmelding / Annual Report 2000

Figuren på omslaget viser posisjonen der den tragiske ulykken med den russiske undervannsbåten Kursk skjedde den 12. august 2000. De seismiske nøkkelstasjonene som ble brukt i NORSARs analyser av eksplosjonene ombord i Kursk er markert som trekanter på figuren.

The figure on the cover shows the position where the tragic accident of the Russian submarine Kursk occurred on 12 August 2000. The key seismic stations used in NORSAR's analyses of the explosions inside Kursk are marked as triangles.

NORSAR
Postboks 51
Granaveien 33
N-2027 Kjeller
Norge

Tel: +47-63-805900
Fax: +47-63-818719
Email: info@norsar.no

Web: <http://www.norsar.no>

Ansvarlig redaktør:
Frode Ringdal
Layout: NORSAR
Trykking: GCS as

Rapport fra Styret 2000

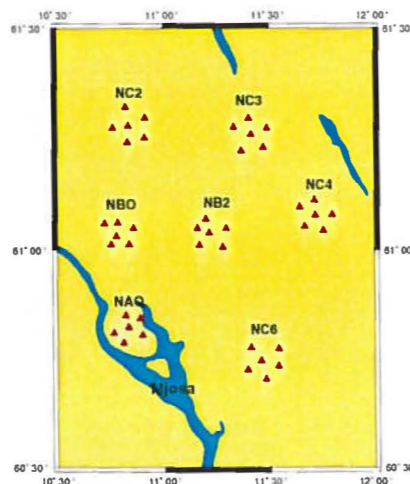
Virksomhet

I følge vedtektene, er NORSARs formål på ideelt og samfunnsnyttig grunnlag å drive forskning og utvikling innen geofysiske og datatekniske fagområder, fungere som nasjonalt kompetanse- og driftssenter knyttet til avtalen om forbud mot kjernefysiske prøvesprengninger, og arbeide for anvendelse av denne forskningens resultater i praksis til fremme av norsk nærings- og samfunnsliv.

Virksomheten er organisert i de tekniske avdelingene NDC (National Data Center), Seismologi og Seismisk Modellering, samt en administrativ avdeling.

NDC står for driften av feltanlegg, samt registrering, transmisjon, prosessering og analyse av seismiske data. Feltanlegg er lokalisert i Hedmark, i Finnmark og på Svalbard.

NORSARs seismiske anlegg ved Hamar, i prøvestansammenheng benevnt PS 27, ble sertifisert som en av de tre første i verden den 28



Seismometer-konfigurasjon for PS27. *Seismometer configuration for IMS station PS27 in Hedmark, southern Norway.*

juli, 2000. Arbeidet med teknisk oppgradering/bygging av de øvrige 5 stasjonene NORSAR skal drive under prøvestansavtalen vil fortsette fortløpende i de neste 2-3 år.

Avdelingen for Seismologi er orientert mot forskning, utvikling og anvendelse av metoder innen seismologi, for derved mellom annet å

sikre at NORSAR opprettholder og videreutvikler den nødvendige nasjonale kompetanse i tilknytning til verifikasjon av prøvestansavtalen.

Seismisk Modellering utfører FoU, påtar seg konsulentoppdrag og utvikler programvare, hovedvedsattelig for petroleumsindustrien.

NORSARs etablering i 1968 var grunnlagt på et deteksjonsseismologisk samarbeid mellom Norge og USA nedfelt i den såkalte "regjeringsavtalen" St Prp. nr. 128, 1967-68. Etter mer enn 30 år er dette forskningssamarbeidet fremdeles aktivt, og NORSAR har i løpet av 2000 framforhandlet grunnlaget for en ny 5-årig rammekontrakt for amerikanske oppdragsgivere, tilsvarende en innsats på 15-20 % av NORSARs prosjektinntekter.

Stortingets enstemmige tilslutning til St prp nr 41, 1998-99, om samtykke til ratifikasjon av prøvestansavtalen (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBT) den 26. april 1999, er en viktig premiss for NORSARs virksomhet.

Report from the Board 2000

Activities

NORSAR is an independent foundation established for the purpose of conducting research and development in geophysics and geophysical software, to act as a national resource center for verifying the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT), and to promote the application of research results for the benefit of the Norwegian society and Norwegian industry.

NORSAR's activities are organized in one administrative and three technical sections: National Data Center (NDC), Seismology and Seismic Modelling. The NDC section is responsible for the operation of field installations as well as the transmission, recording and analysis of data collected in the field. Current field installations are located in Hedmark, Finnmark and Spitsbergen.

NORSAR's seismic array installation near Hamar, denoted PS27 in the CTBT protocol, was formally certified for inclusion into the International Monitoring System (IMS) on 28 July 2000, and was included in the very first group of stations in the global network to be granted such certification. Work toward establishment and technical upgrading of the remaining five Norwegian IMS stations will continue during the next several years.

NORSAR's seismology group is involved in research, development and application of new methods in seismic analysis, and aims for an advanced, internationally oriented scientific environment to maintain and develop the national infrastructure and competence required for verifying the treaty. The seismic modelling group carries out R&D projects, consultancy tasks and develops application software, mainly for the petroleum industry.

The establishment of NORSAR in 1968 was made with basis in a Government-to-Government agreement between Norway and the United States. This cooperation remains active today, and during 2000 NORSAR has negotiated a new 5-year research contract with U.S. agencies. The funding amount corresponds to about 15-20% of NORSAR's annual revenues.

In its ratification of the CTBT on 26 April 1999, the Norwegian Parliament assigned to NORSAR the responsibility of functioning as the Norwegian National Data Center (NDC) for treaty verification. This means that NORSAR will be responsible for operating the Norwegian monitoring stations that are part of the International Monitoring System (IMS) as well as for maintaining the necessary technical contact with the CTBT Organization in Vienna, Austria.



VSAT-antenne for satellittoverføring av data fra PS27 stasjonen NAO i Nes i Hedmark til NORSARs datasenter på Kjeller.

VSAT-antenna used for real-time satellite transmission of data from IMS station PS27 in Nes, Hedmark (subarray NAO) to the NORSAR data center at Kjeller.

I proposisjonens kapittel 5, Norges rolle, utpekes NORSAR til å fungere som norsk nasjonalt datasenter og til å forestå den tekniske gjennomføringen av Norges verifikasjonsoppgaver, herunder drift og vedlikehold av de stasjoner i Norge som inngår i det internasjonale overvåkningssystemet og den nødvendige kontakt med teknisk sekretariat ved organisasjonen for prøvestans i Wien. Videre forutsettes NORSAR å opprettholde og videreutvikle den nødvendige tekniske og vitenskapelige ekspertise for å bistå norske myndigheter (Utenriksdepartementet) i spørsmål knyttet til etterlevelse av traktaten.

Proposisjonen anviser en årlig bevilgning som setter NORSAR i stand til å utføre dette oppdraget for UD. Dette økonomiske bidraget utgjør en vesentlig del (ca 35 %) av NORSARs årlige driftsinntekter.

I en overgangsperiode på 5 år fra fristillingen av NORSAR i 1999, yter Norges Forskningsråd (NFR) en utvidet støtte til strategiske programmer ved NORSAR, slik at den totale porteføljen av NFR-prosjekter for tiden utgjør ca 15% av prosjektinntektene.

Seismisk Modellering har i 2000 registrert økende interesse for sine produkter, men fremdeles er petroleumsbransjen preget av omstillingsproblemer. Interessen for NORSARs programvare innen seismisk modellering er imidlertid fortsatt til stede og for tiden størst i USA, mye som resultat av at NORSAR i 2000 ble opprettet en stedlig representasjon i Houston.

Økonomi

NORSARs brutto inntekter var i 2000 på 36.7 mill kr (32.7 i 1999). Driftsresultatet ble på 0.613 mill kr (-0.482), mens finansinntekter på 1.480 mill kr (1.241) brakte årets samlede resultat opp i 2.094 mill kr (0.759).

Resultatet er vesentlig bedre enn foregående år, og til tross for at driftsresultatet er noe lavere enn budsjettert er totalresultatet omtrent som forventet.

Framtidsutsikter

Styret behandlet og vedtok i 2000 en 5-årig strategiplan med tilhørende handlingsplan. Dette er styringsdokumenter som vil være en rettesnor for utviklingen ved NORSAR de nærmeste årene.

Moreover, the resolution approved by the Parliament requests NORSAR to maintain and develop further the technical competence required for assisting Norwegian authorities in questions relating to treaty compliance.

In following up the CTBT ratification, the Norwegian Government is providing funding for NORSAR's verification functions, currently amounting to about 35% of NORSAR's annual income. In a transitory 5-year period from the time when NORSAR was established as an independent foundation (1 July 1999), the Research Council of Norway (NFR) has granted an increased support to strategic research programs at NORSAR, and as a consequence the total support from NFR now amounts to about 15% of NORSAR's overall revenues.

Although the market conditions in the oil industry continued to be difficult during 2000, there has been an increased interest internationally for the software products developed by NORSAR's modelling group. This interest has been particularly pronounced in the U.S., and as a consequence a marketing channel for the software products has been established through a local representative in Houston, Texas.

Economy

NORSAR's gross revenue during 2000 was 36.7 MNOK, (compared to 32.7 MNOK in 1999). An operating profit of 0.613 MNOK was recorded in 2000, compared to a loss of 0.482 MNOK in 1999. Including financial revenues, the overall profit in 2000 was 2.094 MNOK (0.759 in 1999). The result is about as budgeted, and considerably better than last year.

Perspectives

The Board of Directors finalized during 2000 a new 5-year strategic plan for NORSAR. This plan will be a guidance document for the development of NORSAR in the years to come.

An important strategic goal is the work towards completing NORSAR as a Norwegian National Data Center for CTBT verification.

Another main strategic goal is to maintain and develop further NORSAR as an international center of excellence in seismology and CTBT verification. Continued emphasis on international cooperation is important in achieving this goal, and NORSAR will maintain its focus on cooperation with prominent research organizations in the United States, Russia and other countries. Another important aspect is continued active participation in the work related to CTBTO and development of the international verification regime.

Ifølge strategiplanen er ferdigstillelsen av NORSAR som norsk nasjonalt datasenter under prøvestansavtalen et prioritert mål.

Et annet mål i strategiplanen er å opprettholde og videreutvikle NORSAR som et internasjonalt kompetansesenter i seismologi. Samarbeid med andre land er i denne sammenheng et viktig virkemiddel, og NORSAR satser derfor mye på videreføring av det mangeårige samarbeidet med både amerikanske og russiske seismologiske miljøer, mellom mange andre. Samarbeidet innen CTBT, bilateralt og ved deltagelse i prøvestansorganisasjonens styringsorganer, representerer prioriterte aktiviteter for å styrke denne profilen.

Strategiplanens tredje mål er å opprettholde og videreutvikle NORSAR som en anerkjent og ledende leverandør av programvare og tjenester innen seismisk modellering. Utviklingen av NORSARs programvare vil fortsette omtrent i samme takt som tidligere, men med sterkere fokus på utvikling av produkter som kan egne seg for tjenester. Her er et godt og nært samarbeid med brukere i olje- og operatør-selskap

av avgjørende betydning, og i året 2000 er det etablert gode koblinger mellom NORSAR og flere slike miljøer. En videreføring av dette samarbeidet bør naturlig resultere i at NORSAR etablerer tjenester med egenutviklet programvare som et nytt aktivitetsområde i løpet av de nærmeste år.

Det fjerde og siste målet i strategiplanen er å etablere mikroseismisk monitorering av petroleumreservoarer, gruver, damanlegg osv som et nytt aktivitetsområde ved NORSAR. Det vil bli satset både interne og eksterne midler på oppbygging av denne aktiviteten de nærmeste årene, og det er etablert et industri-samarbeid for å sikre den nødvendige kontakt med framtidige brukergrupper. Det forventes at interessen for aktiv og passiv mikroseismisk monitorering vil vokse i takt med krav om økt utvinningsgrad ved produksjon av olje og gassfelt.

Arbeidsmiljø og personale

I 2000 ble det utført 36 årsverk av til sammen 41 ansatte ved NORSAR, hvorav to hadde arbeidsplass ved feltavdelingen på Hamar.

Sykefraværet ved NORSAR var på ca. 1.5 % i 2000. Det har ikke forekommet eller blitt rapportert arbeidsuhell, ulykker, eller forurensning av naturen knyttet til NORSARs virksomhet.

Arbeidsmiljøet anses som tilfredsstillende, men søkes vedvarende kontrollert og forbedret gjennom aktiv dialog mellom ledelse og personale, samt internt HMS-arbeid og system for kvalitetssikring.

Året som gikk var det første i et århundre der betydningen og verdien av kunnskap forventes å øke. Med bakgrunn i den kompetanse NORSARs ansatte representerer er det all grunn til å se optimistisk på fremtiden. Styret takker hver enkelt medarbeider for bidraget til virkeliggjørelsen av stiftelsens målsettinger.

The third main strategic goal relates to the seismic modelling activity, specifically to maintain and develop further the role of NORSAR as a leading supplier of geophysical software and services. Particular focus will be on expanding the market for providing services associated with NORSAR's own software packages. This will require a close collaboration with users in the petroleum industry, and the establishment of such contacts is now being given high priority.

The fourth and final main strategic goal is to establish microseismic monitoring (i.e. monitoring of oil and gas reservoirs, mines and large dams) as a new area of activity at NORSAR. Both internal and external funding is being applied for this purpose, and contact has been established with industrial partners who may in the future be users of such products and services. We expect that the interest in microseismic monitoring, using active or passive means, will increase as the requirements for extracting higher percentages of oil and gas resources in existing fields increase.

Personnel

NORSAR had 41 employees during 2000, with 36 man-years of work being conducted. Two of the staff were working at the field data center at Hamar.

Total sick leave at NORSAR was about 1.5% during 2000. No accidents, injuries or incidents causing pollution of the environment have been recorded in connection with NORSAR's activities during the year.

The working environment at NORSAR is considered satisfactory. NORSAR encourages the improvement of this environment through an active dialog between employees and management, and through emphasis on HSE-work and quality assurance.

The year 2000 was the first in a century during which the importance and value of knowledge is expected to become more significant than ever before. The professional competence and dedication of NORSAR's employees give strong reasons for optimism with regard to NORSAR's future prospects. The Board of Directors thanks each individual for their contributions during the past year.

Organisasjon / Organization

Styre Stiftelsen NORSAR 1.1.-31.12.2000 / Board of Directors

Professor Olav Eldholm, UiO, *leder*
Forskningsjef Jarl Johnsen, FFIU
Letesjef Jan Vollset, Statoil
Forskningsjef Olav Njølstad, Det norske Nobelinstitutt
Seniorforsker Arve E. Mjelva, NORSAR

Administrasjon / Administration

Anders Dahle, *adm. direktør*
Winnie Lindvik, *personalleder*
Linda B. Loughran, *ansvarlig prosjektadministrasjon*
May Rasmussen, *økonomiansvarlig*
Jorunn Edvardsen, *sekretær*
Rune Lindvik, *driftstekniker*
Turid Schøyen, *sekretær*
Hilde Ødegård, *sekretær (vikar)*

Nasjonalt Datasenter / National Data Center (NDC)

Jan Fyen, *leder NDC*
Ulf Baadshaug, *nestleder NDC*
Vidar Døhli, *senior systemingeniør*
Kamran Iranpour, *softwareutvikler*
Frode Johansen, *systemingeniør*
Svein Mykkeltveit, *programkoordinator Verifikasjon*
Berit Paulsen, *analysesjef*
Nils K. Schøyen, *systemsjef*
Jørgen Torstveit, *driftssjef Hamar*
Paul W. Larsen, *feltsjef*
Kjell Arne Løken, *senior feltingeniør*

Seismologi / Seismology

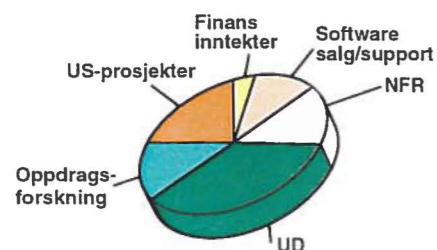
Hilmar Bungum, *forskningsleder*
Frode Ringdal, *senior vitenskapelig rådgiver*
Jan Inge Faleide, *seniorforsker*
Andreas Hafslund, *stipendiat*
Erik Hicks, *stipendiat*
Tormod Kværna, *seniorforsker*
Conrad Lindholm, *seniorforsker*
Volker Oye, *stipendiat*
Michael Roth, *Post-doc. stipendiat*
Johannes Schweitzer, *seniorforsker*
Lyla Taylor, *forsker*

Seismisk Modellering / Seismic Modeling

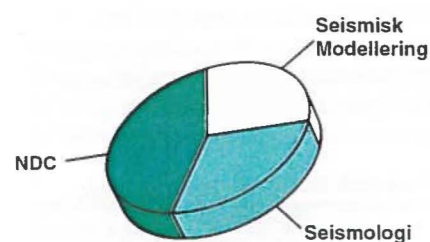
Håvar Gjølstad, *ansvarlig, prosjekter og tjenester*
Arve E. Mjelva, *ansvarlig, software produktutvikling*
Vetle Vinje, *ansvarlig markedsføring*
Håkan Bolin, *softwareutvikler*
Einar Iversen, *vitenskapelig rådgiver*
Håvard Iversen, *senior softwareutvikler*
Renaud Laurain, *stipendiat*
Isabelle Lecomte, *seniorforsker*
Stein Inge Moen, *seniorforsker*
Stein Holger Pettersen, *senior softwareutvikler*
Ketil Åstebøl, *seniorforsker*

Økonomi / Economy

Fordeling av inntektskilder 2000 / Source of income 2000



Avdelingsvis fordeling av inntekter 2000 / Distribution of income by organizational section 2000



Resultatregnskap 2000 / Profit and Loss 2000

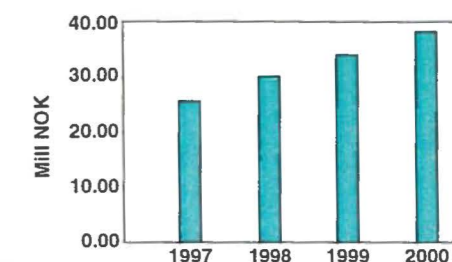
	2000	1999
Midler fra NFR / Grants from the Research Council of Norway	5 790 675	3 777 000
Prosjektmidler fra UD / Funding by the Ministry of Foreign Affairs	13 300 000	15 300 000
Andre salgs- og oppdragsinntekter / Other sales and project income	17 655 825	13 669 000
Sum driftsinntekter / Total operating revenue	36 746 500	32 746 000
Lønn og sosiale kostnader / Payroll and social costs	19 026 240	17 302 000
Avskrivninger / Depreciation	1 844 291	1 661 000
Andre driftskostnader / Other operating expenses	11 562 469	11 522 000
Administrative kostnader / Administrative expenses	3 700 155	-41 000
Sum driftskostnader / Total operating expenses	36 133 155	33 305 000
Driftsresultat / Operating result	613 345	-559 000
Netto finansposter / Net financial transactions	1 480 199	1 241 000
Resultat 2000 / Profit for 2000	2 093 544	682 000

Balanse / Balance

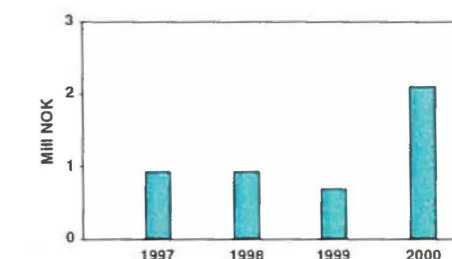
	2000	1999
Eiendeler / Assets		
Anleggsmidler / Fixed assets	11 705 622	12 553 000
Oppdrag i arbeid / Work in progress	454 070	245 000
Debitorer / Debtors	6 546 422	4 489 000
Andre kortsiktige fordringer / Other short-term receivables	395 425	591 000
Kasse, bank / Cash, bank	19 733 408	17 356 000
Sum eiendeler / Total assets	38 834 947	35 234 000
Egenkapital / Equity		
Grunnkapital / Basic capital	200 000	200 000
Overkursfond / Share premium reserve	843 000	843 000
Annen egenkapital / Other equity	18 608 603	22 219 000
Sum egenkapital / Total equity *	19 651 603	23 262 000
Gjeld / Liabilities		
Langsiktig gjeld / Long-term debt	5 658 900	
Leverandørgjeld / Suppliers	3 914 868	1 768 000
Skyldige avgifter og skattetrekk / Tax withholding reserves	1 323 960	1 557 000
Skyldig lønn og feriepenger / Payable salary and holiday pay	2 114 701	1 598 000
Annen kortsiktig gjeld / Other short-term liabilities	6 170 915	7 049 000
Sum gjeld / Total liabilities	19 183 344	11 972 000
Sum Egenkapital og Gjeld / Total Equity and Liabilities	38 834 947	35 234 000

* Reduksjon i egenkapital skyldes avsetninger for framtidige pensjonsforpliktelser (langsiktig gjeld).

Omsetning 1997 - 2000 / Revenue 1997 - 2000



Resultat 1997 - 2000 / Profit and Loss 1997 - 2000



Nasjonalt Datasenter (NDC)

Norges tekniske forpliktelser i henhold til prøvestansavtalen vil bli ivareført av det nasjonale datasenteret (NDC) som nå er etablert ved NORSAR. Figuren nedenfor viser de 6 IMS-målestasjonene som ligger på norsk territorium. Av disse er 4 seismiske, én er for infralyd og én for radioaktivitet. Tilsammen er disse stasjonene utstyrt med 119 måleinstrumenter.

Seismiske primærstasjoner

De seismiske stasjonene ved Hamar og Karasjok er såkalte primærstasjoner i overvåkingsnettverket. Stasjonen ved Hamar ble sertifisert for IMS i 2000. Karasjok-stasjonen ventes å bli sertifisert i 2001.

Seismiske sekundærstasjoner

De seismiske stasjonene ved Longyearbyen og på Jan Mayen er såkalte sekundærstasjoner i overvåkingsnettverket. Stasjonen ved Longyearbyen bidrar allerede med data til IDC, mens stasjonen på Jan Mayen, som i dag drives av Universitetet i Bergen, vil kreve en teknisk

oppjustering. En satellitt-link mellom stasjonen på Jan Mayen og NORSAR ble etablert i 2001.

Stasjoner for infralyd og radioaktivitet

Stasjonen for infralyd i Karasjok forventes etablert i 2001 eller 2002. En stasjon for måling av radioaktivitet på Svalbard vil bli etablert fra grunnen av. En forundersøkelse gjennomført i 1999 og konkluderte med at Platåberget ved Longyearbyen er et velegnet sted for en slik stasjon, og stasjonen vil bli etablert i der i 2001.

Datatransmisjon

Data fra de seks norske IMS-stasjonene vil bli sendt via NORSARs datasenter på Kjeller til det internasjonale datasenteret i Wien. NORSAR etablerte i 1999 et såkalt uavhengig innsamlingsnett for kommunikasjon innen Norge, mens viderefremming til Wien skjer via prøvestansorganisasjonens nye, globale kommunikasjonsinfrastruktur. Pr 1. januar 2001 sendes data fra de seismiske stasjonene ved Hamar, Karasjok og Longyearbyen til Wien.

Driftsfunksjoner

Drift av de norske IMS-stasjonene med tilhørende strenge krav til datakvalitet, regularitet i registrering og transmisjon, og til beredskap for å kunne håndtere feilsituasjoner, representerer en betydelig utfordring for NORSAR-ansatte både ved feltavdelingen på Hamar og ved datasenteret på Kjeller. Overgangen fra dagens eksperimentelt betonte til en mer krevende operasjonell drift fordrer etablering av nye arbeidsformer, rutiner og prosedyrer. I den forbindelse bygges det opp et internt kvalitetssikringsystem som ivaretar prøvestansorganisasjonens krav til drift av stasjoner i IMS-nettet.

Informasjon mottatt fra IDC

Det nasjonale datasenteret mottar fortløpende og på regulær basis informasjon fra det internasjonale datasenteret i Wien. Kjernen i denne informasjonen er såkalte seismiske bulletiner, som er lister over registrerte hendelser med tilhørende opplysninger (tid, sted, styrke, osv). For NORSAR er det en sentral oppgave å foreta selvstendige vurderinger av hendelser av spesiell interesse for Norge, og å holde norske myndigheter (UD) løpende informert om slike hendelser.

Verifikasjon i praksis

Når prøvestansavtalen trer i kraft, vil det internasjonale datasenteret i Wien bidra med informasjon om et stort antall hendelser daglig, men vil selv ikke ta stilling til om noen av disse er mulige kjernefysiske eksplosjoner. Denne typen vurdering tillegges den enkelte traktatpartner, og det forutsettes derfor at disse har den nødvendige faglige kompetanse til å vurdere de data som tilrettelegges fra IDC.

Overvåking av nordområdene

Norge vil ha en spesielt viktig rolle når det gjelder overvåking av nordområdene, herunder det russiske prøvefeltet på Novaya Zemlya. De regionale seismiske målestasjonene som allerede i dag drives av NORSAR, har uovertruffen kapasitet for overvåking av disse områdene. De nye målestasjonene som vil bli

National Data Center

NORSAR will function as the Norwegian National Data Center (NDC) for treaty verification. Six monitoring stations, comprising altogether 119 field instruments, will be located on Norwegian territory as part of the future International Monitoring System (IMS) as shown in the figure.

Monitoring stations

Four of the stations are part of the seismic component of the IMS network. They are all in operation today, with three of them contributing data to the International Data Centre (IDC). Two are so-called primary stations, and two are auxiliary stations. The primary station PS27 in Hedmark was certified for inclusion in the IMS in 2000. The second primary station, near Karasjok, is expected to be certified in 2001.

The two auxiliary seismic stations are located at Spitsbergen and Jan Mayen. The Spitsbergen station is already contributing data to the IDC, whereas the Jan Mayen station will require a technical upgrade. A satellite link between the Jan Mayen station and NORSAR's data center has recently been established.

The infrasound station in northern Norway and the radionuclide station at Spitsbergen will need to be established within the next few years. Data recorded by the Norwegian stations will be transmitted in real time to the Norwegian NDC, and provided to the IDC through a specially established global communications infrastructure.

Operations

Operating the Norwegian IMS stations will require increased resources and additional personnel both at the NDC and in the field. It will require establishing new and strictly defined procedures as well as increased emphasis on regularity of data recording and timely data transmission to the IDC in Vienna. Anticipating these requirements, a new organizational unit has been established at NORSAR during 1997, to form a core group for the future Norwegian NDC for treaty monitoring. The NDC will carry out all the technical tasks required in support of Norway's treaty obligations. NORSAR will also carry out assessments of events of special interest, and advise the Norwegian authorities in technical matters relating to treaty compliance.

Verification in practice

After the CTBT enters into force, the IDC will provide data for a large number of events each day, but will not assess whether any of them are likely to be nuclear explosions. Such assessments will be the task of the States Parties, and it is important to develop national expertise in the participating countries.

Monitoring the Arctic region

Norway will have monitoring stations of key importance for covering the Arctic, including Novaya Zemlya, and Norwegian experts have a unique competence in assessing events in this region. On several occasions in the past, seismic events near Novaya Zemlya have caused political concern, and NORSAR specialists have contributed to clarifying these issues.

Information received from IDC

The IDC will provide regular bulletins of detected events as well as numerous other products, but will not assess the nature of each individual event. An important task for the Norwegian NDC will be to make independent assessments of events of particular interest to Norway, and to communicate the results of these analyses to the Norwegian Ministry of Foreign Affairs.

International cooperation

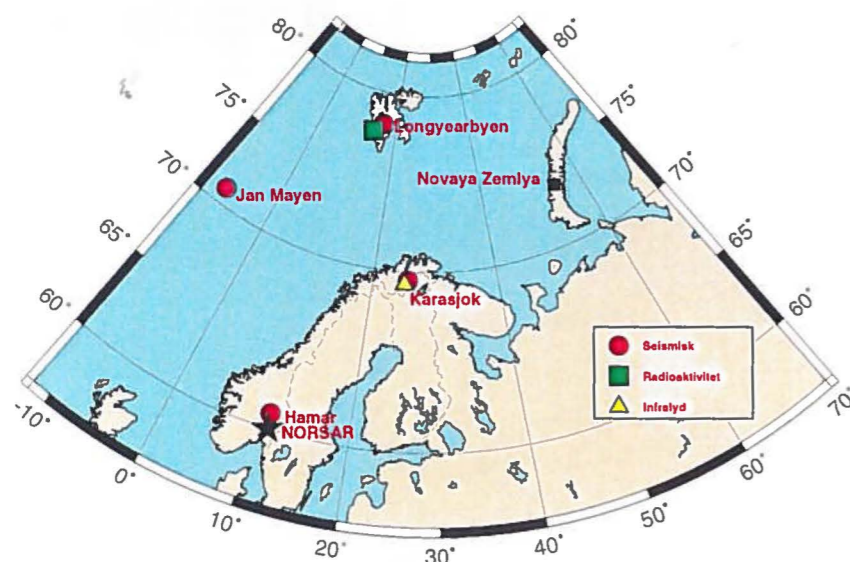
After entry into force of the treaty, a number of countries are expected to establish national expertise to contribute to the treaty verification on a global basis. Norwegian experts have been in contact with experts from several countries with the aim to establish bilateral or multilateral cooperation in this field. One interesting possibility for the future is to establish NORSAR as a regional center for European cooperation in the CTBT verification activities.

etablert for infralyd og radionuklider vil ytterligere forsterke betydningen av de norske bidrag til overvåkings-systemet.

Norske eksperter har opparbeidet en unik kompetanse i denne forbindelse. Det har i flere tilfelle i de senere år forekommet seismiske hendelser ved Novaya Zemlya som har skapt politisk oppmerksomhet, og hvor data fra de norske målestasjonene og ekspertanalyser ved NORSAR har vært sentrale i å klarlegge disse hendelsene.

Internasjonalt samarbeid

Når prøvestansavtalen trer i kraft, forventes en rekke land å etablere nasjonal kompetanse for å bidra i overvåkingen på global basis. Eksperter fra flere land har allerede tatt initiativ for å trekke Norge inn i et bilateralt eller multilateralt samarbeid i denne forbindelse. Det er blant annet diskutert muligheten for å etablere et europeisk regionalt ressurscenter for slikt samarbeid, og NORSAR er en naturlig kandidat til å ivareta en slik rolle.



Norge vil bidra med 6 overvåkingsstasjoner i det planlagte globale nettverket (IMS). Lokaliseringen av stasjonene er vist på figuren.

Norway will contribute six monitoring stations in the IMS: two primary seismic stations (Hamar and Karasjok), two auxiliary seismic stations (Longyearbyen and Jan Mayen), one infrasound station (Karasjok), and one station for radionuclide measurements (Longyearbyen).

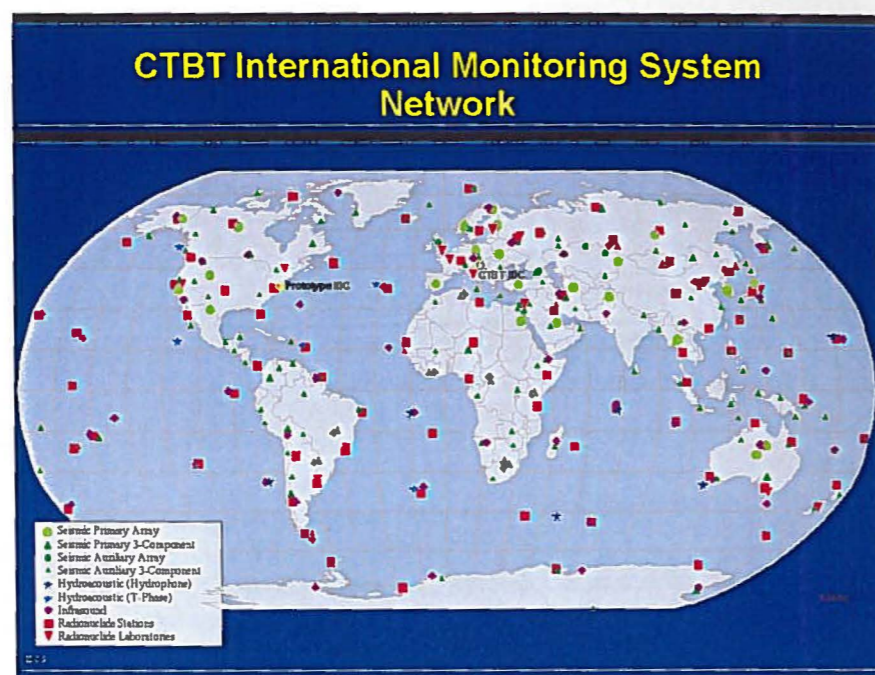
Verifikasjon av prøvestansavtalen

I september 1996 ble avtalen om et totalforbud mot kjernefysiske eksplosjoner vedtatt med overveldende flertall av FNs hovedforsamling i New York. Pr 1. januar 2001 hadde 160 land sluttet seg til avtalen.

Et effektivt opplegg for kontroll av etterlevelse er en vesentlig forutsetning for prøvestansavtalens troverdighet. Avtaleteksten inkluderer da også detaljerte bestemmelser vedrørende verifikasjon. Verifikasjonsregimet består av et internasjonalt overvåkingssystem (IMS) med tilhørende datasenter (IDC) i Wien, konsultasjonsordninger, bestemmelser vedrørende stedlig inspeksjon og tiltaksskapende tiltak. IMS inkluderer 321 målestasjoner som fordeler seg på de fire teknologiene seismologi, radionuklide metoder, infralyd og hydroakustikk.

Forberedende arbeid

Det forberedende arbeidet knyttet til iverksettelse av avtalen skjer i regi av prøvestansorganisasjonen som ble etablert i Wien i 1997. Denne organisasjonen består av et teknisk sekretariat og styrende organer. Finansieringen er basert på pliktige bidrag fra signatarstatene, og organisasjonen har et budsjett på 84 millioner amerikanske dollar for sin virksomhet i 2001. Som norske



Det internasjonale overvåkingssystemet for prøvestansavtalen omfatter 321 målestasjoner innen fire teknologier: seismologi, hydroakustikk, infralyd og måling av radioaktivitet.

The international Monitoring System for the nuclear test-ban treaty comprises 321 monitoring stations in four technologies: seismology, hydroacoustics, infrasound and radionuclide measurements.

akkrediterte delegater har NORSAR-ansatte i 2000 deltatt aktivt i arbeidet i prøvestansorganisasjonens styrende organer. Denne deltagelsen har hatt et tosidig siktemål; på den ene side å bidra konstruktivt i oppbyggingsfasen for verifikasjonsregimet, og på den

annen side å ivareta spesifikke norske tekniske interesser.

Oppbygging av IMS og IDC

Oppbyggingen av verifikasjonsregimet for prøvestansavtalen ble i realiteten påbegynt i 1995, da den seismologiske ekspertgruppen etablert av FNs Nedrustnings-

konferanse i Genève innledet et stort anlagt globalt eksperiment, kalt GSETT-3. Formålet var å legge grunnlaget for den seismiske komponenten av et framtidig verifikasjonssystem. De fleste av de stasjonene som har deltatt i eksperimentet, er valgt ut til å inngå i IMS.

GSETT-3 har omfattet innsamling av data fra et globalt nett av mer enn 120 seismiske stasjoner og prosessering av data ved et eksperimentelt, internasjonalt datasenter i Arlington, Virginia i USA. Driften av NORSARs seismiske stasjoner har i 2000, som i de foregående år, i hovedsak vært å anse som et norsk bidrag til GSETT-3. Gjennom avtaler med myndigheter i Finland, Pakistan og Sverige har NORSAR også kanalisert data fra stasjoner i disse landene til datasenteret for GSETT-3 i USA.

Det er av stor betydning å sikre videreføring av GSETT-3 inntil stasjonene kan sertifiseres som fullverdige IMS-stasjoner etter gjeldende krav. Driften vil deretter skje i regi av prøvestansorganisasjonen, basert på avtaler med de enkelte vertsland. Tilsvarende er funksjonene ved det eksperimentelle internasjonale datasenter for GSETT-3 i USA i ferd med å bli overført til IDC ved organisasjonen i Wien.

Norske bidrag

Norske eksperter deltar aktivt på flere felter i det arbeidet som utføres av prøvestansorganisasjonens arbeidsgruppe for verifikasjon (Working Group B) i Wien. Svein Mykkeltveit, NORSAR, har en viktig rolle i organiseringen av arbeidet i denne gruppen. Frode Ringdal, NORSAR, leder arbeidet med å kalibrere det globale overvåkingssystemet for å oppnå mest mulig presis lokalisering av de registrerte hendelser. Dette er av spesiell betydning ettersom prøvestansavtalens protokoll forutsetter at en eventuell stedlig inspek-

sjon skal begrenses til et område på mindre enn 1000 km², og det er derfor et siktemål å oppnå denne nøyaktigheten i den rutinemessige analysen. Jan Fyen, NORSAR, har en nøkkelrolle i utvikling av driftsprosedyrer for overvåkingstasjonene.

NORSAR arrangerte i mars 2000 for andre gang et internasjonalt symposium om kalibrering av det internasjonale overvåkingssystemet. Symposiet samlet 60 deltagende eksperter fra 15 land, og resultatene ble rapportert til arbeidsgruppen for verifikasjon i mai 2000.



NORSARs hovedkontor og datasenter på Kjeller.
NORSAR's main office facilities and data center at Kjeller.

Verification

In September 1996 the Comprehensive Test Ban Treaty (CTBT), banning nuclear explosions in all environments, was overwhelmingly adopted by the United Nations General Assembly in New York. As of January 2001, 160 countries had signed the treaty.

An effective verification system is essential in order to ensure the credibility of the CTBT. The treaty has extensive verification provisions, including an International Monitoring System (IMS) with an associated International Data Center (IDC) in Vienna. Provisions for on-site inspections, consultation, and clarification, as well as confidence-building measures, are included in the treaty. The IMS comprises 321 monitoring stations world-wide, within the four technologies seismology, radionuclide monitoring, hydroacoustics, and infrasound.

Preparatory work

The preparatory work to implement the verification regime is taking place under the auspices of the CTBT Organization (CTBTO) in Vienna. The Organization has a budget of USD 84 million in 2001, financed by the States Signatories. NORSAR personnel have been participating in the preparatory work as members of the Norwegian delegation, and the NORSAR technical staff is contributing to the initial establishment of monitoring facilities in Norway and abroad.

Developing the IMS

The development of the verification system has, in practice, been taking place since 1995, when the Conference on Disarmament's Group of Scientific Experts in Geneva initiated an experiment in global seismic monitoring

intended to test concepts for possible use in a future CTBT monitoring system. 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's seismic stations have provided data to GSETT-3, and the NORSAR data center has functioned as a regional data distribution center for many participating countries (Finland, Pakistan and Sweden). It is important to maintain GSETT-3 until the participating stations can be certified as official stations in the IMS network.

Norwegian contributions

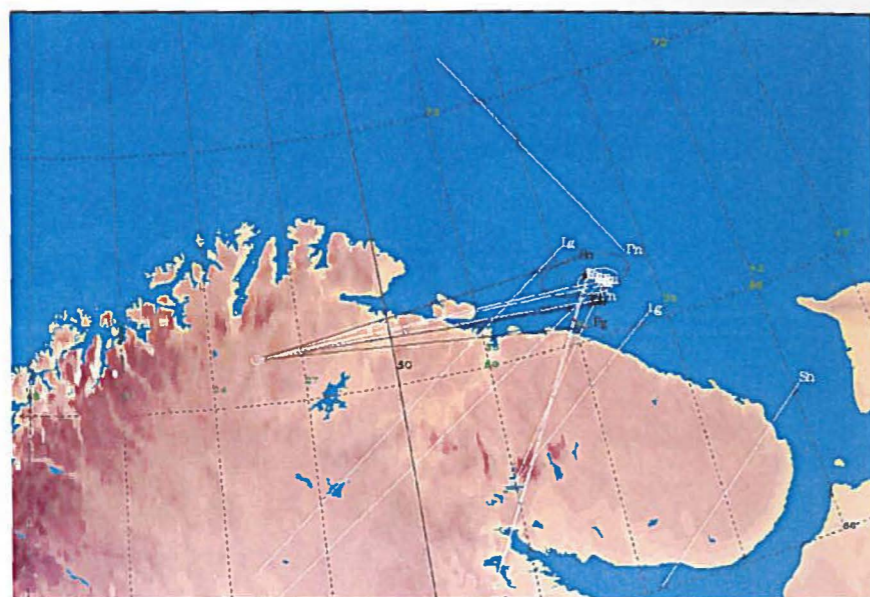
Norwegian experts participate actively in several areas of work of the Preparatory Commission's Working Group for Verification (Working Group B) in Vienna. Svein Mykkeltveit has an important role in organizing the WGB activities. Frode Ringdal is the Chairman of the Experts Group on Location Calibration, which is charged with developing procedures for accurate location of events detected by the IMS. This work is important to support the CTBT protocol, which requires that the area for on-site inspection shall not exceed 1000 km², with no linear distance greater than 50 km in any direction. Jan Fyen has a key function in developing operations manuals for the IMS stations.

In March 2000, NORSAR organized a workshop on calibration of the International Monitoring System, with participation of 60 experts from 15 countries. The results of the workshop were presented to Working Group B in May 2000.

Kursk-ulykken i Barentshavet

Den tragiske ulykken med den russiske undervannsbåten Kursk i Barentshavet den 12. august 2000 var en av de hendelser i løpet av året som skapte størst internasjonal oppmerksomhet. NOR SARs seismiske målesystemer registrerte denne dagen to uvanlige seismiske rystelser utenfor nordkysten av Kola-halvøya. Den første av disse, kl. 07.28.27 GMT, var relativt svak, og målte 1.5 på Richters skala. Den andre hendelsen, 2 minutter og 15 sekunder senere, var betydelig kraftigere, og ble målt til et Richter-tall på 3.5.

Det ble ganske raskt klart at disse hendelsene var lokalisert i det området der Kursk forliste, og at de hadde sammenheng med ulykken. NOR SARs automatiske systemer ga en initiell lokasjon ca 14 km fra ulykkesstedet, mens vi etter en mer detaljert analyse kunne stedfeste hendelsene med mindre enn 5 km usikkerhet. Dette regnes som en meget nøyaktig stedsangivelse ved bruk av seismiske målinger, ettersom målestasjonene er lokalisert på avstander opp til flere tusen kilometer.



Figuren viser lokalisering av de to seismiske hendelsene i Barentshavet den 12. august 2000 basert på seismiske data fra NOR SARs målestasjoner, med tilhørende usikkerhetsellipser (hvit for den største hendelsen, sort for den minste).

Estimated location of the two seismic events in the Barents Sea on 12 August 2000. The white ellipse shows the 90% confidence area for locating the largest event, while the black ellipse corresponds to the smallest event. Estimated azimuths of phases recorded at individual stations are also shown.

NOR SARs registreringer

En detaljert analyse av de registrerte signalene ved NOR SARs målestasjoner viste at begge hendelsene etter alt å dømme var eksplosjoner i havet, og ikke jordskjelv i undergrunnen. Den første eksplosjonen var så svak at den

bare kunne observeres ved Karasjok-stasjonen i Finnmark, på en avstand av 500 km. Den andre var synlig på alle NOR SARs målestasjoner, fra Spitsbergen i nord til Hedmark i syd, og ble i tillegg registrert på enkelte målestasjoner også i andre land.

Kursk

The tragic accident of the Russian submarine Kursk in the Barents Sea on 12 August 2000 was one of the events during 2000 that created the most international attention. On that day, NOR SAR's seismic sensors recorded two unusual seismic disturbances off the coast of the Kola Peninsula. The first one, at 07.28.27 GMT, was relatively weak, and had a Richter magnitude of 1.5. The second disturbance, occurring 2 minutes and 15 seconds later, was far more powerful, and measured 3.5 on the Richter scale.

It soon became clear that these two events were located in the area where the sinking of the Kursk had occurred, and that they were connected with the accident. NOR SAR's automatic systems gave an initial location about 14 km from the site of the accident, and after more detailed interactive analysis, the location could be specified with an uncertainty of less than 5 km. This is considered a very accurate result based on seismic measurements, since the monitoring stations are situated at distances up to several thousand km.

NOR SAR's recordings

A detailed analysis of the seismic signals recorded at NOR SAR's stations showed that both of the disturbances in all likelihood were underwater explosions. The first explosion was so weak that it could only be seen of the closest monitoring station (the Karasjok station in Finnmark, northern Norway) at a distance of about 500 km. The second, larger explosion was visible on all the Norwegian IMS stations, from Spitsbergen in the north to Hedmark in the south, and was in addition recorded on some monitoring stations outside Scandinavia as well.

The accident first became known to the public on Monday 14 August. NOR SAR reported preliminary analysis results to Norwegian authorities on Tuesday 15 August, and sent out a press release on Friday 18 August. The most important information that NOR SAR could provide in this matter was the presentation of specific evidence of the characteristics and timing of the recordings, and this material was extensively used in subsequent media coverage.

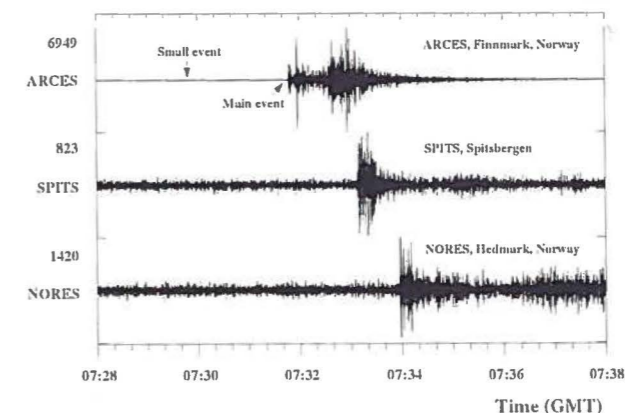
Ulykken ble først kjent for omverdenen mandag den 14. august. NOR SAR rapporterte de foreløpige analyseresultatene til norske myndigheter tirsdag 15. august, og gikk offentlig ut med en pressemelding fredag 18. august. Den viktigste informasjonsverdien i NOR SARs registreringer lå i presentasjonen av grafisk materiale for de to eksplosjonene, og dette medførte detaljert omtale og illustrasjoner i media verden over.

Viktig informasjon

Kursk-ulykken er et eksempel på at NOR SARs seismiske målesystemer kan gi viktig informasjon også utenom primæroppgaven som er rapportering av jordskjelv og kjernefysiske sprengninger. NOR SARs data alene har ikke kunnet gi noe entydig svar på årsaksforløpet i forbindelse med Kursk-ulykken, men har bidratt til å klargjøre det nøyaktige tidspunkt og styrken av eksplosjonene. Det bør også påpekes at NOR SARs data er den eneste offentlig tilgjengelige informasjon som konkret viser at Kursk-forliset kan knyttes til to separate eksplosjoner.

Også ved enkelte andre anledninger har NOR SARs målesystemer registrert større ulykker i Norge og nordområdene. Som eksempler ble flyulykken på Spitsbergen i 1996 såvel som togkollisjonen ved Rena i januar 2000 registrert på NOR SARs måleinstrumenter. Vi kunne dermed gi informasjon til undersøkelseskomisjonene bl. a. om nøyaktig tidspunkt (innenfor tidels sekunder) for begge disse ulykkene, noe som kom til nytte i den etterfølgende detaljerte kartlegging av hendelsesforløpene.

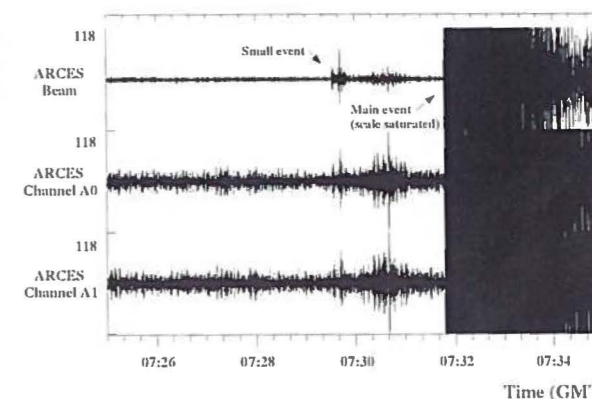
NOR SAR recordings of the main event in the Barents Sea on 12 August 2000



Registrering ved tre av NOR SARs målestasjoner av den største hendelsen i Barentshavet den 12 august 2000.

Registreringer ved en av NOR SARs målestasjoner (i Karasjok, Finnmark) av de to hendelsene i Barentshavet den 12 august 2000. Denne stasjonen var nær nok til å registrere begge hendelsene. Registreringene er her skalert slik at den minste hendelsen er synlig, men til gjengjeld går bølgeformene "i metning" for den største hendelsen.

Recordings of the two events in the Barents Sea on 12 August 2000 made in Finnmark, northern Norway



Pressemelding fra NOR SAR

Lørdag 12. august 2000 ble det registrert signaler fra antatte undervannseksplosjoner i Barentshavet på seismiske stasjoner i flere land, blant annet på NOR SARs anlegg i Norge. Posisjonen for disse hendelsene stemmer godt overens med posisjonen for den havarerte russiske undervannsbåten "Kursk".

NOR SARs foreløpige analyser indikerer at det var to eksplosjoner. Den største eksplosjonen fant sted klokka 07.30.42 GMT i beregnet posisjon 69 grader 38 minutter nord, 37 grader 19 minutter øst. Denne eksplosjonen hadde en styrke på 3.5 på Richters skala, tilsvarende en sprengkraft på 1-2 tonn TNT detonert i vann. En mindre eksplosjon med styrke 1.5 ble registrert fra samme posisjon 2 minutter og 15 sekunder tidligere.

NOR SAR fortsetter sine detaljerte analyser av disse signalene fra Barentshavet.

Press release from NOR SAR

Signals from presumed underwater explosions in the Barents Sea were recorded on 12 August 2000 on seismic stations in several countries, and among these were the facilities operated in Norway by the NOR SAR seismological observatory. The estimated location of these events coincides well with the position of the Russian submarine Kursk.

Preliminary analyses conducted by NOR SAR indicate that there were two explosions. The larger explosion occurred at 07.30.42 GMT at an estimated location of 69 degrees 38 minutes North, 37 degrees 19 minutes East. This explosion had a magnitude of 3.5 on the Richter scale, corresponding to about 1-2 tons of explosive in water. A smaller explosion with a magnitude of 1.5 was recorded from the same location 2 minutes 15 seconds earlier.

NOR SAR is continuing its detailed analyses of these signals from the Barents Sea.

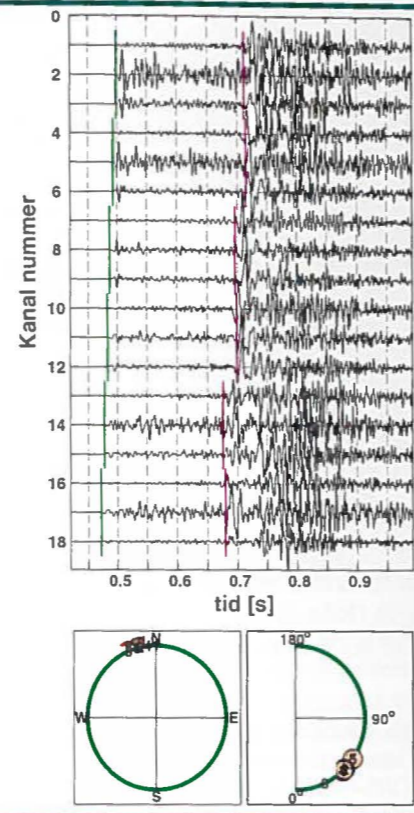
Seismologisk overvåking av olje- og gass-reservoarer

Det er vel kjent fra langt tilbake at utvinning av olje og gass kan lede til mindre 'jordskjelv' i og rundt reservoaret. Dette kan skyldes trykkreduksjon ved selve utvinningen, injeksjon av væske (vann) i reservoaret som 'erstatning' for det man tar ut, eller såkalt hydrofrakturering der en bryter opp reservoar-bergartene ved å pumpe inn vann under høyt trykk i en mindre del av reservoaret. I sjeldne tilfeller har slik aktivitet ført til relativt store jordskjelv, men da fordi aktiviteten har utløst tektoniske spenninger som har vært der i utgangspunktet. Som regel er det bare mikroskjelv som blir utløst, og disse er uten betydning for sikkerheten på feltet.

Det er i det siste blitt klart at denne såkalte induerte mikroseismisiteten, som i utgangspunktet var et mindre problem for industrien, også kan bidra til å kartlegge og å overvåke tilstander og bevegelser i reservoaret. Betydningen av å øke utnyttelsesgraden og dermed også levetiden av våre olje- og gass-felter er vel kjent, og en god overvåking av mikroskjelv og tilknyttet oppsprekking kommer inn som et av flere virkemidler som kan bidra til å oppnå dette.

Eksempel på data fra et oljefelt i Nord-sjøen samlet inn vha 6 tre-komponent seismometre (for måling av både vertikale og horisontale svingninger) plassert i et borehull med en avstand på ca. 20 meter mellom hvert. Det er ca. 0.2 sekunder mellom P- og S-bølgene i dette tilfellet, der grønne og røde streker markerer automatisk beregnede ankomsttider vha NORSARs nye analysesystem. På den nederste del av figuren kan en se at bølgen ankommer fra NNV og med en vinkel på ca 45 grader i forhold til horisontalplanet (sjøbunnen).

Example of seismic data from an oil field in the North Sea, collected by six 3-component seismometers emplaced in a borehole with a spacing of 20 meters. The difference between arrival of the P and S waves is about 0.2 seconds, and the green and red bars mark the automatically calculated phase arrival times using NORSAR's new analysis system. The bottom part of the figure shows that the waves arrive from NNV with an incidence angle of about 45 degrees.



Med dette som utgangspunkt har NORSAR nå satset på å utvikle en ny løsning for sanntids-overvåking av olje- og gass-reservoarer. Det faglige grunnlaget for dette ligger i at NORSAR i mer enn 30 år har samlet inn og sanntidsprosessert data fra seismiske arrayer (grupper av seismometre), og i mer enn 15 år drevet med avansert 3-dimensjonal modellering av seismiske bølger,

der dette anvendes ved leting etter olje og gass. I nært samarbeid med Read Well Services har NORSAR derfor nå utviklet en første generasjons versjon (prototype) av et analysesystem for overvåking av mikroseismikk fra reservoarer og testet dette på reelle data.

Programvaren er utviklet for to parallelle formål. Det ene formålet er en kontinuerlig 'passiv' overvåk-

ning av produksjons-aktiviteten i et felt, og det andre er en mer kortvarig 'aktiv' overvåking av resultatene fra såkalt hydrofrakturering, som er en teknikk for stimulering av produksjon. I det siste tilfellet er det ofte tilstrekkelig å benytte en enkel homogen geologisk modell der egenskapene bare forandrer seg med dypet (linearisert inversjon), mens det under en passiv overvåking legges opp til å benytte en mer komplisert geologisk modell der de seismiske bølgebanene kan få en betydelig avbøying.

Programvaren analyserer registreringene kontinuerlig og på en slik måte at støy filtreres bort mens rystelsene som kommer fra reservoaret blir identifisert og lokalisert. Anvendt på både aktiv og passiv overvåking vil analysesystemet automatisk fremskaffe pålitelige ankomsttider for både P (kompressjons-) og S (skjær-) bølger, som utgangspunkt for beregning av hendelsenes lokalisering i tid og rom. Styrkeberegninger (Richtertall) er en integrert del av disse analysene, der det senere også er potensialer for mer avanserte analyser av de prosessene og mekanismene som ligger bak de registrerte mikroskjelvene.

Seismological monitoring of oil and gas reservoirs

The fact that extraction of oil and gas can induce earthquakes is well known since the 1920's in the U.S., and in particular through a series of shocks in the Wilmington Oil Field, California, between 1947 and 1961. Normally only microseismicity is observed, however, triggered by production and/or stimulation (e.g., fluid injection, hydrofracturing). While such activity earlier often was considered as a potential problem for the oil industry, the situation now is that it can be used positively as a means for mapping and monitoring conditions and processes in the reservoir.

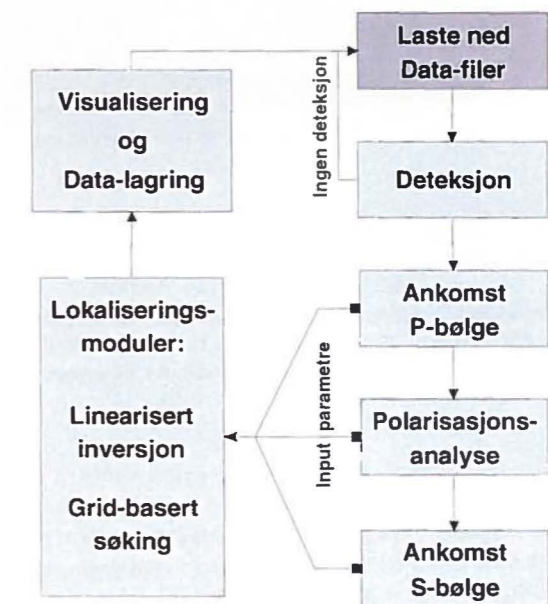
To this end NORSAR has now developed a prototype software package for real time analysis of microseismicity data from reservoirs, based on more than 30 years experience from real time analysis of seismic array data and more than 15 years experience from 3D modelling of seismic waves for oil prospecting. The new package, developed in cooperation with Read Well Services, has already been tested on real data.

This processing system has been developed for two different applications, namely long term passive monitoring of hydrocarbon reservoirs and short term active monitoring relating to hydrofracturing experiments. In the latter case a simply homogeneous geological model may be sufficient (linearized inversion), while a 3D approach is necessary for full scale and long term reservoir monitoring (directed grid search). The system can handle data from an arbitrary seismometer configuration, but has so far been tested mostly for borehole instrumentation.

The software package is fully automatic (but with an interactive version as well), it identifies P- and S-waves and performs locations and displays of results in real time. The solution is robust and operationally stable, and can be installed in the field.

ning av produksjons-aktiviteten i et felt, og det andre er en mer kortvarig 'aktiv' overvåking av resultatene fra såkalt hydrofrakturering, som er en teknikk for stimulering av produksjon. I det siste tilfellet er det ofte tilstrekkelig å benytte en enkel homogen geologisk modell der egenskapene bare forandrer seg med dypet (linearisert inversjon), mens det under en passiv overvåking legges opp til å benytte en mer komplisert geologisk modell der de seismiske bølgebanene kan få en betydelig avbøying.

Programvaren analyserer registreringene kontinuerlig og på en slik måte at støy filtreres bort mens rystelsene som kommer fra reservoaret blir identifisert og lokalisert. Anvendt på både aktiv og passiv overvåking vil analysesystemet automatisk fremskaffe pålitelige ankomsttider for både P (kompressjons-) og S (skjær-) bølger, som utgangspunkt for beregning av hendelsenes lokalisering i tid og rom. Styrkeberegninger (Richtertall) er en integrert del av disse analysene, der det senere også er potensialer for mer avanserte analyser av de prosessene og mekanismene som ligger bak de registrerte mikroskjelvene.



Analysene av seismologiske registreringer fra reservoarer er basert på en full-automatisert prosedyre utviklet ved NORSAR. Ankomsttidene for P- og S-bølgene beregnes vha avanserte algoritmer, fulgt av lokalisering enten basert på linearisert inversjon eller på en grid-basert søking der utgangspunktet er bølgefronts-beregninger i en tre-dimensjonal modell av reservoaret.

Flowchart showing the analysis of seismic recordings using a fully automatic procedure developed at NORSAR. The arrival times of P and S waves are calculated by using advanced algorithms, and are followed by location estimation either based on linearized inversion or grid-based search techniques using wavefront calculations in a three-dimensional model of the reservoir.

Mikroseismisitet i olje- og gass-reservoarer

Produksjon olje/gass
Væskeinjeksjon
Hydrofrakturering

Forandringer i
reservoar-spenning
og poretrykk

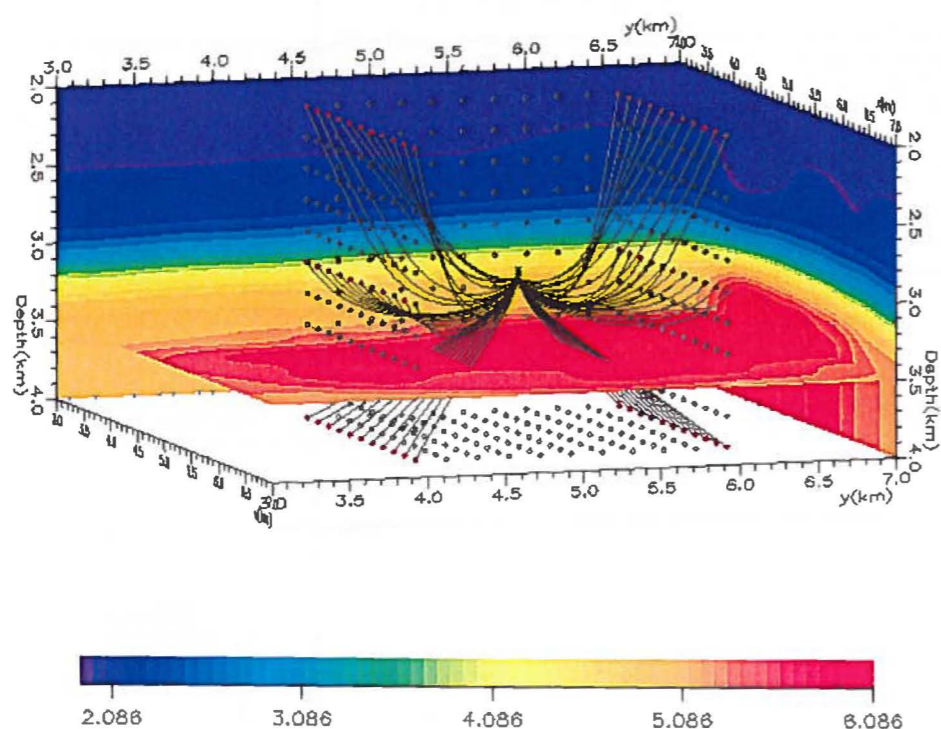
Spennings-utløsning
i forkastninger og andre
svakhetssoner; brudd
i reservoarbergarter

Mikroseismiske data bærer med seg informasjon om:

- Intern struktur i reservoaret
- Forandringer i reservoarets egenskaper knyttet til produksjon
- Bevegelser av væske-fronter
- Resultater av hydrofrakturering
- Kildemekanismer og underliggende fysiske prosesser

Typiske egenskaper ved mikroseismisitet:

- Magnitude (Richter-tall): -3 til +2
- Signal-frekvens: opp til 1000 Hz
- Antall hendelser: 10 til 1000 pr. time
- Avstand kilde-mottaker: opp til 1000 meter



Tre-dimensjonale beregninger av bølgestråler i det samme reservoaret som dataene på denne siden er hentet fra. På grunn av de sterke variasjoene i seismiske hastigheter (se fargekodene) skjer det en betydelig avbøyning av strålene, noe som vil føre til at en lokalisering av hendelser basert på en linearisert inversjon vil gi store feil. En 3-dimensjonal modell må derfor brukes også i lokaliseringene.

Three-dimensional wavefront calculations of ray paths in the same reservoir as discussed elsewhere in this section. Because of the strong variations in seismic velocities (as indicated by the color codes), the rays exhibit substantial curvature, which in turn may cause significant errors when using linearized inversion for locating the seismic events. It is therefore necessary to use a 3-D model for the location estimation as well.

En forutsetning for at analyser som disse skal være tilstrekkelig nyttige og anvendelige er ikke bare at de er pålitelige, men også at de kan utføres i sann tid, noe som betyr at de skal kunne installeres og opereres ute på feltet. Dette betyr videre at analysesystemet ikke bare må kunne takle mange slags registreringer og dessuten være driftssikkert, men det må også kunne presentere resultatene på en måte som

lett kan oppfattes, forstås og brukes av operatørene på feltet. Det er dessuten lagt stor vekt på brukervennlighet.

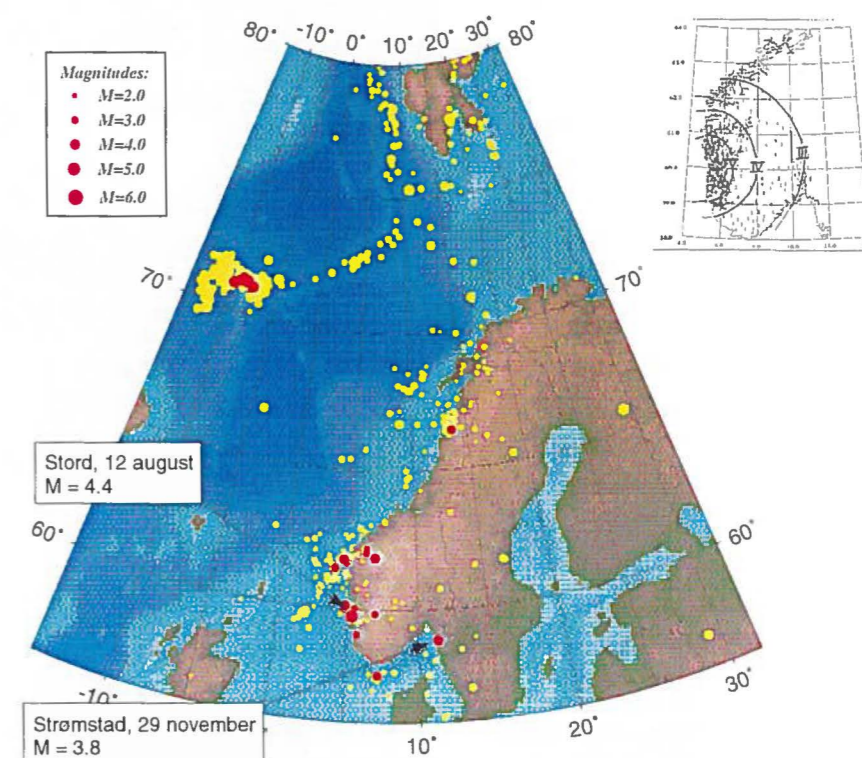
Bak denne aktiviteten har NORSAR nå et vitenskapelig spennende og utfordrende strategisk program som også er anvendelig og samfunnsnyttig.

Jordskjelv i Norge 2000

Norge har lite jordskjelvaktivitet sammenliknet med mange andre land, men til tross for dette kan vi notere oss for 23 følte jordskjelv bare i år 2000, 14 i sør-Norge, ett i midt-Norge og 8 på Norges eneste vulkanske øy, Jan Mayen. Det sterkeste følte (Jan Mayen) hadde en styrke på 4.7 på Richters skala, mens det sterkeste følte på fastlandet inntraff 12 august nær Stord, med en styrke på 4.4. Dette skjelvet ble følt over store deler av sør-Norge.

Overvåkingen av jordskjelvaktiviteten er et internasjonalt anliggende der nasjonale institusjoner samarbeider. I Norge samles data fra seismiske stasjoner på fastlandet, Jan Mayen, Bjørnøya og Svalbard. NORSAR har et aktivt samarbeid med Institutt for den Faste Jords Fysikk, Universitet i Bergen, og de to institusjonene samordner sine data i en nasjonal database. Ved større jordskjelv kontakter vi rutinemessig også våre naboland.

Antallet instrumentelt registrerte rystelser er imidlertid betydelig større enn det antallet som ble følt av mennesker (4790 rystelser ble registrert i den nasjonale databasen for år 2000, inkludert gruvesprengninger og mindre eksplosjoner). Når vi bare far med naturlige jordskjelv (1060 over det viste området) viser dette et mønster som er ganske likt



Jordskjelv i Norge og tilgrensende havområder i år 2000. Røde symboler er brukt for følte skjelv, og to av de som ble sterkeste merket er indikert med piler. Gule symboler er brukt for jordskjelv som kun er instrumentelt registrert. Innsatt boks til høyre viser intensitets-utbredelsen fra jordskjelvet på Stord 12 august.

Earthquakes in and around Norway in year 2000. The felt earthquakes are indicated with red symbols. The right inset shows the intensity distribution following the August 12 earthquake on Stord.

det vi får ved å tegne inn de siste 100 års jordskjelvaktivitet på kartet. Denne stabiliteten (som likevel kan variere en hel del) gir et godt grunnlag for beregning av risiko for jordskjelv f.eks. i Nordsjøen.

Et annet område med jevnlig følte jordskjelv er Oslofjorden, der det i 1904 inntraff et jordskjelv med styrke 5.4 som førte til en del mindre skader. Vi har i de senere år hatt noen jordskjelv i dette området, og den 29 november 2000 ble et jordskjelv av styrke 3.8 med senter nær Strømstad følt over store deler av Østlandet.

Earthquakes in Norway 2000

The earthquake activity in Norway is moderate to low. Nevertheless, a total of 23 earthquakes were reported felt in 2000, the majority near the northern North Sea in western Norway (red dots on map). As many as 1060 smaller earthquakes were located by the national seismic network where data from seismic stations operated by NORSAR and the University of Bergen is merged into a unified database. The geographical distribution of the seismic activity is fairly stable over time, and the activity in year 2000 depicts reasonably well the areas of quiescence and those with pronounced earthquake activity. During the 1980's there were two earthquakes with magnitudes above 5.0, both off the coast of western Norway, however none have occurred since 1989.

Det største jordskjelvet i Norge i historisk tid inntraff i Rana-området i 1819 og hadde en styrke som i ettertid er blitt beregnet til 5.8. Vi har jevnlig hatt jordskjelv med styrke over 5.0 i Norge, fortrinnsvis i nordlige Nordsjøen og i Norskehavet, men ingen siden 1989.

Jordskjelv globalt 2000

Mens det på verdensbasis årlig forventes i underkant av 20 jordskjelv med styrke over 7.0 på Richters skala, var det i år 2000 bare 5 jordskjelv over en slik styrke, og 14 med styrke over 6.5. Det lave antall store jordskjelv reflekteres også i antall omkomne som i 2000 bare var i overkant av 200, mens det til sammenlikning i 1999 var omkring 20,000 omkomne (først og fremst knyttet til katastrofen i Tyrkia). De største jordskjelvene følger i hovedsak de tektoniske plategrensene som skissert i figuren nedenfor.

Store jordskjelv har et nesten ufattelig destruksjons-potensiale, men det er først når de rammer tett befolkede og urbaniserte områder at dette potensialet gir utslag. Samtidig med den akselererende urbaniseringen (og derved økende sårbarhet) ser vi også en bedring i jordskjelvsikker konstruksjon der økonomien tillater dette. Med urbaniseringen følger store investeringer, og bl. a. for å redusere risikoen for økonomisk tap fokuseres det stadig sterkere på jordskjelvrisiko. NORSAR har i en årrekke vært en hyppig benyttet konsulent når jordskjelvrisiko skal utredes, og NORSAR har utført oppdrag over hele verden der siktemålet er å redusere store tap ved store jordskjelv. NORSARs engasjement på denne fronten har bl. a. vært knyttet til seismiske vurderinger for store vannkraftanlegg rundt om i verden. Gjennom systematisk arbeid og holdningsendring går utviklingen i dag i riktig retning, selv om det er langt igjen.

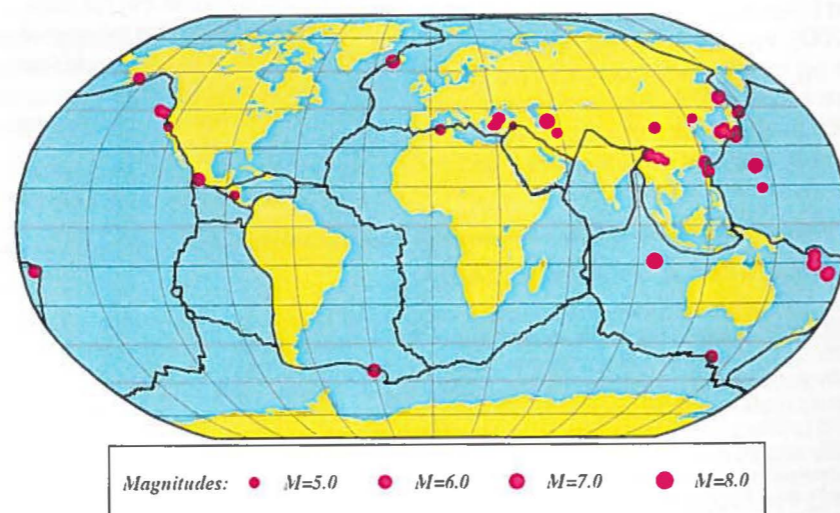
Gjennom mediene gis det ofte et inntrykk av at tap av menneskeliv og skadeomfang ved store jordskjelv stadig øker. Virkeligheten er at store jordskjelv i dag slår forskjellig ut i den rike og den fattige del av verden. Et stort jordskjelv i den rike, industrialiserte, del av verden medfører hovedsakelig materielle skader,



Virkinger av jordskjelvet i El Salvador 13. januar 2001 (M=7.6). Bildet viser en jernbanebro. *Effects of the El Salvador earthquake 13 January 2001 (M=7.6). The picture shows broken piers of an old railway bridge.*

mens et tilsvarende skjelv i den fattige del av verden vil kunne medføre tap av svært mange menneskeliv. Denne situasjonen er i stor grad økonomisk betinget, men mye kan også gjøres i de fattige land med enkle midler dersom kunnskap økes og bevissthet vekkes. NORSAR har på hele 90-tallet vært engasjert i NORAD-finansierte prosjekter i Mellom-Amerika med

siktemål å redusere jordskjelvrisiko. Prosjektene har hatt to målsettinger, for det første å stimulere og bidra til utviklingen av teknisk og vitenskapelig samarbeid i de mellom-amerikanske land, og der nest å forbedre den faglige kompetansen og bidra med teknologi som bedrer de nasjonale fagmiljøenes muligheter for å gi pålitelige beregninger av jordskjelvrisiko.



Jordskjelv i 2000 som krevet menneskeliv eller hadde styrke over 6.4. Se også tabellen. Tektoniske plategrenser er inntegnet med svarte linjer. *Earthquakes in 2000 that claimed lives or had magnitude exceeding 6.4. Black lines indicate tectonic plate boundaries.*

Earthquakes World-wide in 2000

The largest earthquakes have a virtually incomprehensible damage potential, however, it takes the combination of a strong earthquake and a densely populated area of poorly engineered houses (or other unfortunate factors) to generate a catastrophe. The only road that leads to reduced risk is to increase the robustness (safety) of all important structures. This has since long been understood in the developed world, where the ratio between loss of lives and economic losses have decreased dramatically over the last decades. However, many developing countries have continued to increase their vulnerability through the combination of poor construction practice and high population density.

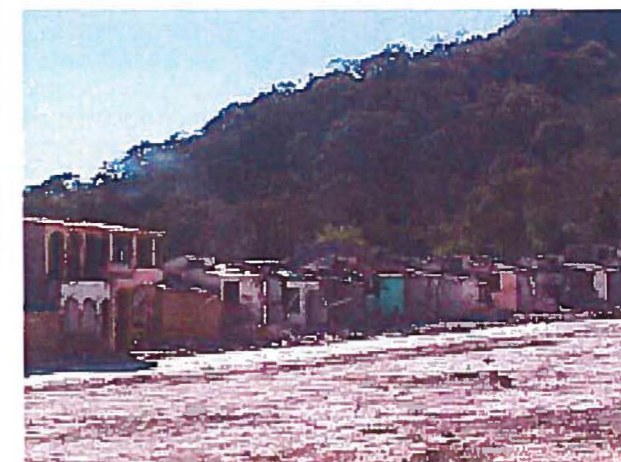
NORSAR has since the late 1970's worked as consultants in seismic hazard estimation, and since the 1990's the main focus of this activity has been on projects involving all countries in Central America towards mitigation of seismic risks. The work has focussed primarily on the strengthening of the regional technical and scientific cooperation, and at the same time the project provided improved capacity and working tools for the national scientific and technical groups. NORSAR plans to continue such work in the future.

The seismic quiescence (relatively speaking) of year 2000 was abruptly terminated by the El Salvador earthquake of 13 January 2001 that also triggered very large landslides.



Virkinger av El Salvador-jordskjelvet 13. januar 2001: Et jordskred i Las Colinas traff en landsby og krevde nær 800 menneskeliv.

Effects of the El Salvador earthquake 13 January 2001: The Las Colinas landslide hit directly into a village and claimed nearly 800 victims.



NORSARs engasjement i Mellom-Amerika er nå avsluttet, men den betydelige risikoen for at store jordskjelv skal føre til katastrofer gjør det nødvendig med fortsatt langsiktig innsats på dette området.

Store jordskjelv inntreffer regelmessig, og det vil de fortsette med. Vi vil få år med lite skader (som i 2000), og vi vil få se år med store katastrofer som i 1999. NORSAR ønsker å utnytte sin kunnskap og kompetanse til å redusere sårbarhet mot fremtidige jordskjelv, spesielt i utviklingsland.

Dato	Land / Region	Styrke	Omkomne
Jan 14	Yunnan, China	5.9	7
May 04	Sulawesi, Indonesia	7.6	46
Jun 04	Southern Sumatera, Indonesia	7.9	103
Jul 06	Nicaragua	5.1	7
Nov 10	Nortern Algeria, P.N.G	5.7	11
Nov 25	Eastern Caucasus	6.3	5
Dec 06	Turkmenistan	7.0	11
Dec 15	Turkey	6.1	6

Jordskjelv i 2000 som krevet menneskeliv. *Earthquakes in 2000 that claimed lives.*

Seismisk Modellering

Spissteknologi innen seismiske undersøkelser

Seksjon for seismisk modellering arbeider med utvikling av spissteknologi innen området seismiske undersøkelser, herunder leveranse av FoU-prosjekter, eksperttjenester og programvare, til oljeindustrien. Seksjonen teller for tiden 12 fast ansatte med bakgrunn innenfor geofysikk og IT.

Seismisk modellering dreier seg om konstruksjon av 3-dimensjonale (3D) regnemaskinmodeller for geologiske strukturer og formasjoner, samt simulering av seismiske bølgeutbredelse i modellene. Denne teknologien har i de senere år utviklet seg til å bli et svært viktig verktøy for prosessering, avbildning og analyse/tolkning av de store mengder seismiske data som innsamles på verdens oljefelter. Seismiske undersøkelser er storindustri, og NORSAR har funnet en nisje i dette markedet. Med over 20 års erfaring innen seismisk modellering, er seksjonen teknologiledende innen fagområdet. Fra å være en metodikk som for noen år siden ble anvendt hovedsakelig i tilknytning til FoU-

prosjekter og spesialanalyser, er seismisk modelleringen i dag på god vei inn i den mer rutinemessige delen av selve dataprosesseringen og benyttes stadig oftere som et ledd i kvalitetskontroll og etterprøving av viktige resultater. Dette gir fagområdet en ny dimensjon for fremtiden, der utfordringene og mulighetene ser ut til å kunne bli betydelige.

Fra forskningsverktøy til anvendt teknologi

NORSAR har en helt spesiell bakgrunn innen fagfeltet seismisk modellering. Mangeårige utviklingsprosjekter for industrien på 80-tallet, da FoU-bevilgningene var gode, ga en spesialkompetanse som er blitt vedlikeholdt og videreutviklet av NORSAR for egen regning fra 1992-93 og frem til i dag. Interessen i industrien var relativt begrenset på 90-tallet — man holdt seg stort sett til tradisjonell prosesseringsteknologi basert på primitive antagelser som langt fra utnyttet potensialet i den raskt økende mengde og kvaliteten av de innsamlede rådata. Det var fortsatt "for dyrt" å gjøre jobben skikkelig, i hvert fall på rutinemessig basis. Den stadig økende pris/ytelse på datakraft er nå i ferd med å revolusjonere prosesseringsteknikkene. Istedenfor å basere seg på

forenklede og skjematisk matematiske modeller, har seismisk modellering begynt å gjøre sitt inntog som kjerne i den seismiske avbildningsprosessen. Et nøkkelord her er "prestack dyp-migrasjon", som gjør bruk av 3D seismisk bølgesimulering i geologiske modeller. Her etterliknes den aktuelle lagstrukturen i leteområdet, og prosessen fokuserer og avbilder reflektorene på en vesentlig bedre måte enn tidligere — særlig i tilknytning til komplekse områder, f. eks. saltdomer.

Unik verktøykasse

NORSAR har i den senere tid merket en økende etterspørsel etter programvare og tjenester innen 3D seismisk modellering. En klar strategi er nå å satse på egenfinansiert programvare uten de tidligere eierskapsbindinger til kontrollerende sponsorer. Det har medført at NORSAR i dag sitter med en unik portefølje av modelleringsverktøy med betydelig potensiale innen en rekke viktige anvendelser. Kjernen i denne teknologien er et meget fleksibelt 3D modellrepresentasjonskonsept (Open Model Concept), samt en effektiv og generell simuleringmetode for seismiske bølger (WaveFront Construction).

Seismic Modelling

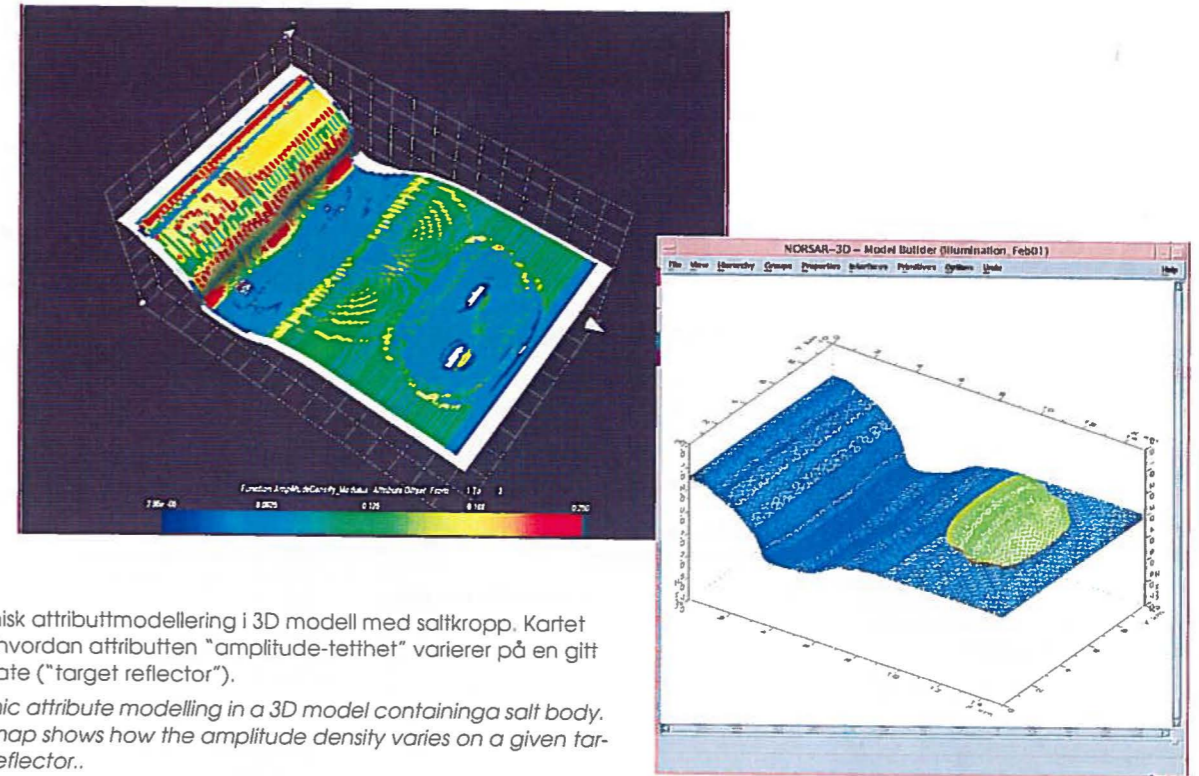
Cutting-edge technology

NORSAR's section for seismic modelling is in the forefront internationally regarding development of products and services in the field of seismic oil and gas prospecting. Twelve geophysicists and software specialists are currently engaged in this activity.

Seismic modelling consists in essence of constructing 3-dimensional (3D) computer models for geological structures and simulating seismic wave propagation in such models. Over the past several years, this technique has emerged as an important tool for processing, mapping and interpretation of the vast volumes of seismic data collected in reservoir areas around the world. While 3-D modelling initially was used mainly in R&D projects and special analyses, it forms today an important part of routine processing as well as playing a role in quality assurance.

R&D developments

With more than 20 years of experience, NORSAR has a special background in the field of seismic modelling. During the 1980s, numerous R&D projects were used to build competence, and when R&D funds became more scarce in the 1990s, this competence was maintained and developed further using internal funding. While the interest in the oil industry was rather limited for many years, the revolutionary development in computer price/performance is now initiating a new era in the use of advanced modelling techniques. A key concept is "prestack depth migration", which applies 3D seismic wavefield simulation to geological models. Using an approximate model of the layered structure in the prospecting area, the technique focuses on and maps the reflectors in a way superior to that of conventional methods. The improvements are especially significant in complex geological structures, such as salt domes.



Seismisk attributtmodellering i 3D modell med saltkropp. Kartet viser hvordan attributten "amplitude-tetthet" varierer på en gitt målflate ("target reflector").

Seismic attribute modelling in a 3D model containing a salt body. The map shows how the amplitude density varies on a given target reflector.

Som en grov oppsummering kan en si at åttiårene la det metodemessige grunnlaget, mens nittiårene raffinerte og effektiviserte teknikene til dagens avanserte "verktøykasse" innen seismisk modellering. Fokus videre fremover vil først og fremst være på anvendelser, og en

rekke interessante prosjekter er i gang i denne forbindelse.

Algoritmer, anvendelser og allianser

Den praktiske bruk av seismisk modellering i petroleumsindustrien er økende, og NORSAR har i dag

bevisst valgt en strategisk satsing med fokus på noen viktige anvendelser som en i den senere tid har merket en sterk etterspørsel etter. Anvendelsene utvikles dels som kommersiell programvare (NORSAR-2D/3D), dels som tjenester. Det foregår for tiden en prioritert videre-

Unique toolkit

There are now clear signs of an increased interest in 3D seismic modelling products and services. NORSAR's strategy over the past several years has been to develop internally funded seismic software packages for commercial marketing and sale. As a result, NORSAR can today offer a unique set of modelling software. The key components comprise a flexible concept for 3D wavefield modelling (Open Model Concept), and a computer-efficient and general wavefield simulation method (WaveFront Construction).

In summary, the 1980s provided the basic R&D foundation, while the 1990s focused on efficient and user-friendly toolkits for modelling software. In the next decade, the focus will be on applications, and several interesting projects are already underway.

Applications and alliances

The use of seismic modelling in the petroleum industry is increasing, and NORSAR has made a strategic decision to focus on those applications for which we have noted a strong interest among potential customers. NORSAR develops such applications partly as commercial software packages (NORSAR-2D/3D), partly as services. A number of new algorithms and processing methods are currently under development, for example:

- Target-oriented image analysis and mapping of attributes
- Local model-based mapping
- Repeated modelling in local reservoir zones
- Reflector-oriented amplitude correction
- Time-depth conversion and velocity estimation
- Integration with petrophysical modelling

NORSAR has established or is participating in several strategic alliances or cooperative projects aimed at providing the user with improved technology and more flexible user tools. Examples are:

- Interface to the 3D model builder GoCAD (developed in cooperation with the French company T-Surf)
- Integration with Charisma/GeoFrame (GeoQuest)
- Integration with NUCLEUS (PGS)

NORSAR Seismic Modelling World-wide

The market for NORSAR seismic modelling products is expanding in many parts of the world. About 80-90 software licences have already been delivered in 5 continents, and the number is increasing rapidly. Several marketing channels and agencies have been established, and at present, NORSAR software is marketed from Kjeller, Oslo, Stavanger, Bergen, Houston, Paris, and Beijing.

Each year, NORSAR participates with a stand at the two largest exhibitions in exploration geophysics, EAGE (Europe) and SEG (USA).

utvikling av algoritmer med stort anvendelsespotensiale og tilrettelegging innenfor følgende områder:

- målorientert belysningsanalyse og attributtkartlegging
- lokal modellbasert avbildning
- repetert modellering i lokale reservoarsoner
- reflektor-orientert amplitudekorreksjon
- tid-dyp konvertering og hastighetsestimering
- integrasjon med petrofysisk modellering

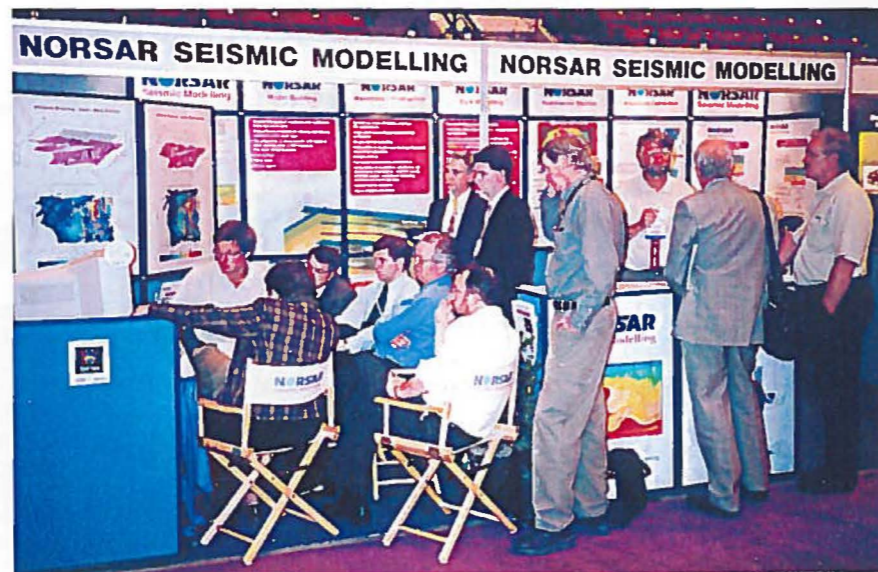
Strategiske allianser og samarbeidsprosjekter er etablert med henblikk på "brukerstyrt" teknologi. Spesielt kan nevnes:

- kopling mot 3D modellbyggeren GoCAD som utvikles i samarbeid med det franske selskapet T-Surf
- integrasjon med Charisma/GeoFrame (GeoQuest)
- integrasjon med NUCLEUS (PGS).

NORSAR seismisk modellering over hele verden

NORSAR seismisk modellering er på full fart ut i verden. 80-90 softwarelisenser finnes nå i 5 verdensdeler, og antallet er raskt økende. En rekke markedsføringskanaler/ agenter er etablert, for tiden forgår markedsføring av NORSAR-software fra Kjeller, Oslo, Stavanger, Bergen, Houston, Paris og Peking.

NORSAR deltar årlig med stand på de to største utstillingene innenfor "exploration geophysics", EAGE (Europa) og SEG (USA).



Bildet ble tatt på SEGs årlige konferanse i Calgary, Canada i august 2000. The picture was taken at the annual SEG conference in Calgary, Canada, in August 2000.

Publikasjoner / Publications

Asming, V., E.O. Kremenetskaya & F. Ringdal: Seismic events in the Kara Sea and adjacent regions detected by the Amderma station during 1994-98. Spec. Tech. Rep. No. 6, US Dept. of Energy.

Bungum, H.: Jordskjelv på godt og vondt. In: K. Bjørlykke (ed.) Geologi, ressurser og miljø, Inst. for geologi, Univ. i Oslo.

Bungum, H., C. Lindholm, A. Dahle, G. Woo, F. Nadim, J.K. Holme, O.T. Gudmestad, T. Hagerberg & K. Karthigeyan: New seismic zoning maps for Norway, the North Sea and the U.K., Seism. Res. Lett., 71(6), 687-697.

Bungum, H., C. Lindholm, E. Hicks & A. Myrvang: Regional deformation models. In: Neotectonics in Norway — Final Tech. Rep., NGU Rep. 2000.002, Trondheim, Norway.

Byrkjeland, U., H. Bungum & O. Eldholm: Seismotectonics of the Mid-Norwegian continental margin, J. Geophys. Res., 105, 6221-6236.

Dehls, J., O. Olesen, L. Bockmann, H. Brække, H. Bungum, E. Hicks, C. Lindholm & F. Riis: Neotectonic map, 1:3 million. In: Neotectonics in Norway — Final Tech. Rep., NGU Rep. 2000.002, Trondheim, Norway.

Faleide, J.I.: Crustal structure of the Barents Sea — Important constraints for regional seismic velocity and travel-time models. In: Semiannual Tech. Summ. 1 Oct 99 - 31 Mar 00, NORSAR Sci. Rep. 2-1999/2000.

Faleide, J.I., J. Schweitzer, H. Bungum & E. Møllegaard: Synthetic travel times for regional crustal transects across the Barents Sea and the adjacent western continental margin. In: Semiannual Tech. Summ. 1 Apr - 30 Sep 2000, NORSAR Sci. Rep. 1-2000/2001.

Fejerskov, M., C. Lindholm, A. Myrvang & H. Bungum: Crustal stress in and around Norway: a compilation of in situ stress observations, Geol. Soc. London, Special Publ. 167, 441-449.

Fjeldskaar, W., C. Lindholm, J. Dehls & I. Fjeldskaar: Postglacial uplift, neotectonics and seismicity in Fennoscandia, Quat. Sci. Rev., 19, 1413-1422.

Gellus, L.-J. & I. Lecomte: The resolution function in linearized Born and Kirchhoff inversion. In: P.C. Hansen et al (eds.) Lecture Notes in Earth Sciences: Methods and Applications of Inversion, Springer Verlag.

Hicks, E.: Norge skjelver, Viten.com internet publication, <http://www.viten.com/nyviten/hicks.htm>.

Hicks, E., H. Bungum, L. Olsen, O. Olesen, J. Dehls & L. Bockmann: Neotectonics in Nordland. In: Neotectonics in Norway — Final Tech. Rep., NGU Rep. 2000.002, Trondheim, Norway.

Hicks, E., H. Bungum, C. Lindholm & O. Olesen: Seismic activity, inferred crustal stresses & seismotectonics in the Rana region, northern Norway. In: Stewart, I.S., J. Sauber & J. Rose (eds.): Glacio-seismotectonics: Ice sheets, crustal deformation and seismicity, Quat. Sci. Rev., 19, 1423-1436.

Hicks, E., H. Bungum & F. Ringdal: Earthquake location accuracies in Norway based on a comparison between local and regional networks, PAGEOPH, in press.

Hicks, E., C. Lindholm & H. Bungum: Stress inversions of earthquake focal mechanism solutions from onshore and offshore Norway, Nor. Geol. Tidsskr., 80, 235-250.

Holden, L. B. Natvig, S. Sannan, P. Abrahamson & H. Bungum: Modelling spatial and temporal dependencies between earthquakes. Proc. 6th Int. Geostatistics Conf. Cape Town.

Iversen, E., H. Gjøystdal & J.O. Hansen: Prestack map migration as an engine for parameter estimation in TI media. Exp. Abst., SEG, Calgary.

Johansen, T.A., Å. Drottning, I. Lecomte & H. Gjøystdal: An approach to combine rock physics and seismic modelling of fluid substitution. Accepted for publ. Geophys. Prospect.

Kremenetskaya, E.O., V. Asming & F. Ringdal: Locating seismic events in northern Eurasia. In: Semiannual Tech. Summ. 1 Oct 99 - 31 Mar 00, NORSAR Sci. Rep. 2-1999/2000.

Kværna, T.: Waveform quality analysis and data conditioning for the SPITS array. In: Semiannual Tech. Summ. 1 Oct 99 - 31 Mar 00, NORSAR Sci. Rep. 2-1999/2000.

Kværna, T., J. Schweitzer & L. Taylor: The Euro-bridge profile — Growth Truth observations at the Fennoscandian arrays. In: Semiannual Tech. Summ. 1 Oct 99 - 31 Mar 00, NORSAR Sci. Rep. 2-1999/2000.

Kværna, T. & L. Taylor: Threshold Monitoring processing parameters for IMS stations PDYAR and ARCES. In: Semiannual Tech. Summ. 1 Apr - 30 Sep 2000, NORSAR Sci. Rep. 1-2000/2001.

Kværna, T., F. Ringdal, J. Schweitzer & L. Taylor: Regional seismic Threshold Monitoring. Conf. proc. Seismic Research Symposium, New Orleans.

Laurain, R.: From seismic to GPR: a theoretical and technical evaluation for modelling, processing and imaging. Siv. Ing. oppgave, Strasbourg Univ.

Laurain, R.: Modelling Ground Penetrating Radar: from electromagnetism to seismics. DEA, Physique et Chimie de la Terre, Univ. i Strasbourg.

Lecomte, I., H. Gjøystdal, A. Dahle & O.-C. Pedersen: Improving modelling and inversion in refraction seismics with a first-order Eikonal solver. Geophys. Prosp., 48, 437-454.

Lindholm, C. & H. Bungum: Probabilistic seismic hazard: A review of the seismological frame of reference with examples from Norway, Soil Dyn. Earthq. Eng., 20, 27-38.

Lindholm, C., H. Bungum, E. Hicks & M. Villagran: Crustal stress and tectonics in Norwegian regions determined from earthquake focal mechanisms, Geol. Soc. London, Special publ. 167, 429-439.

Lindholm, C., J. Schweitzer, E. Wolf, H. Bungum, K. Atakan, S. Gregersen, K. Arhe & J. Malaska: Third level seismo-geographical regionalization of Fennoscandia. In: Semiannual Tech. Summ. 1 Oct 99 - 31 Mar 00, NORSAR Sci. Rep. 2-1999/2000.

Maurer, H. J. Giudici-Trausch, M. Roth, K. Hollinger, S.M. Springman & M. van der Veen: Bestimmung elastischer Bodeneigenschaften bei kleinen Verformungen. Rock and Soil Eng., 5, 129-133.

Mykkellveit, S., F. Ringdal, C. Lindholm & E.O. Kremenetskaya: Seismic calibration of the European Arctic. Conf. proc. Seismic Research Symposium, New Orleans.

NORSAR: Signals from the accident of the Russian submarine Kursk. ORFEUS Elect. Newsletter 2-2, August.

NORSAR: The Middle Marsyangli Hydropower project — Earthquake Hazard. Review of design basis memorandum and related documents. Rapp. for Statkraft Engineering a.s.

NORSAR: Technical study for the Sawalkot hydropower project, Kashmir: Earthquake hazard analysis. Rapp. for Statkraft Grøner.

NORSAR: Technical Note on earthquake hazard analysis application. Rapp. for Statkraft Grøner.

Ringdal, F.: Seismic event location calibration. In: Semiannual Tech. Summ. 1 Oct 99 - 31 Mar 00, NORSAR Sci. Rep. 2-1999/2000.

Ringdal, F.: Semiannual Tech. Summ. 1 Oct 99 - 31 Mar 00, NORSAR Sci. Rep. 2-1999/2000.

Ringdal, F.: Semiannual Tech. Summ. 1 Apr - 30 Sep 00, NORSAR Sci. Rep. 1-2000/2001.

Ringdal, F.: Proc. from the Second Workshop on IMS Location Calibration, Oslo.

Ringdal, F., E.O. Kremenetskaya, V. Asming, T. Kværna & J. Schweitzer: Research in regional seismic monitoring. Conf. proc. Seismic Research Symposium, New Orleans.

Ringdal, F., T. Kværna & B. Paulsen: Seismic events in the Barents Sea at and near the site of the Kursk submarine accident on 12 August 2000. In: Semiannual Tech. Summ. 1 Apr - 30 Sep 2000, NORSAR Sci. Rep. 1-2000/2001.

Ritter, J.R.R. & J. Schweitzer: Ludwig Carl Geiger, submitted to IASPEI.

Ritter, J.R.R. & J. Schweitzer: Gustav H. Angenheister (1878-1945) as seismologist. Submitted to IASPEI.

Roth, M. & K. Hollinger: The non-geometric PS wave in high-resolution seismic data: observations and modelling. Geophys. J. Int., 140, F5-F11.

Roth, M., H. Bungum & R.A.W. Haddon: Source properties and focal depth of the Ms 4.2 Revda earthquake of August 17, 1999. In: Semiannual Tech. Summ. 1 Apr - 30 Sep 2000, NORSAR Sci. Rep. 1-2000/2001.

Schweitzer, J.: Recent profiling experiments in the Spitsbergen area — calibration data for the SPITS array. In: Semiannual Tech. Summ. 1 Oct 99 - 31 Mar 00, NORSAR Sci. Rep. 2-1999/2000.

Schweitzer, J. & W.H.K. Lee: Old seismic bulletins — A collective heritage from early seismologists, submitted to IASPEI.

Foredrag / Lectures

Bungum, H.: State-of-the-art in earthquake hazard assessment. Closing Workshop for Seismic Microzonation Projects in Central America, UCR, Costa Rica, 7.-8. september.

Bungum, H.: Reservoir microseismicity monitoring: active and passive approaches. 31st Nordic Seminar on Detection Seismology, Korsør, Denmark, 27.-29. september.

Bungum, H.: Full waveform modelling of the August 17, 1999, Kola Peninsula earthquake. 31st Nordic Seminar on Detection Seismology, Korsør, Denmark, 27.-29. september.

Bungum, H.: 2D and 3D travel times for the European Arctic: observations, modelling and implications for event location precisions. 31st Nordic Seminar on Detection Seismology, Korsør, Denmark, 27.-29. september.

Bungum, H.: Neotectonics, earthquakes and seismodynamics in Norway: results and implications. Industrial Liaison Annual Meeting, Dept. of Geology, Univ. of Oslo, 13. oktober.

Bungum, H.: Full waveform inversion: Example from northern Fennoscandia. Int. Inst. of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Teheran, Iran, 20. desember.

Bungum, H.: Microseismic monitoring of oil and gas reservoirs. Int. Inst. of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Teheran, Iran, 20. desember.

Gjøystdal, H.: Seismic attribute mapping by comprehensive 3D modelling. Commercial presentation, EAGE Annual Meeting, Glasgow, UK, mai.

Gjøystdal, H. & E. Iversen: Seismisk modellering av isotrope og anisotrope strukturer. Lofoten-seminaret 2000, Kabelvåg, august.

Gjøystdal, H.: Nye anvendelser innen 3D seismisk modellering. Seminar i seismologi/seismikk, IFJF, Univ. i Bergen, oktober.

Hicks, E., H. Bungum & A. Dahle: The 12 August 2000 Sunnhordaland earthquake. 31st Nordic Seminar on Detection Seismology, Korsør, Denmark, 27.-29. september.

Holden, L. B. Natvig, S. Sannan, P. Abrahamson & H. Bungum: Modelling spatial and temporal dependencies between earthquakes. 6th Int. Geostatistics Conf. Cape Town, South Africa, 10.-14. april.

Iversen, E.: Veivalg inn i en strålende fremtid. NORSARs vinterseminar, 17-19. mars.

Iversen, E.: Perturbation of isochrone positions in anisotropic media. Workshop on seismic waves in laterally inhomogeneous media V, Zahradky, Czech Republic, 5-9. juni.

Iversen, E. & B. Hovden: On efficiency and accuracy of ray tracing in isotropic and anisotropic media. Workshop on seismic waves in laterally inhomogeneous media V, Zahradky, Czech Republic, 5-9. juni.

Iversen, E., H. Gjøystdal & J.O. Hansen: Prestack map migration as an engine for parameter estimation in TI media. SEG 70th Annual Meeting, Calgary, Canada, august.

Johansen, F.: Terminalserverløsninger. Økonominansvarliges forum, Oslo, 11. desember.

Kværna, T.: The Eurobridge profile — Growth Truth observations at the Fennoscandian arrays. Workshop on IMS Location Calibration, Oslo, mars.

Kværna, T., L. Taylor & J. Schweitzer: The Eurobridge profile — Growth Truth observations at the Fennoscandian arrays. XXVII General Assembly ESC, Lisbon, Portugal, september.

Kværna, T., F. Ringdal, J. Schweitzer & L. Taylor: Regional seismic Threshold Monitoring. DOC/DOE Seismic Research Symposium, New Orleans, USA, september.

Lindholm, C., J. Schweitzer, F. Krüger, F. Scherbaum, G. Richter, J. Höhne, E. Hicks & H. Bungum: Masi Project 1999, a seismic survey to study neotectonic phenomena in the Finnmark area. 60. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, München, Germany, 28. februar-3. mars.

Lindholm, C.: Seismic microzonation in Costa Rica, Central America; A review. Poster presentation, XXVII Gen. Assembly of ESC, Lisbon, Portugal, 10.-15. september.

Lindholm, C., J. Schweitzer, F. Krüger, F. Scherbaum, G. Richter, J. Höhne, E. Hicks & H. Bungum: Masi Project 1999, a seismic survey to study neotectonic phenomena in the Finnmark area. Poster presentation, XXVII Gen. Assembly of ESC, Lisbon, Portugal, 10.-15. september.

Lindholm, C., J. Schweitzer, F. Krüger, F. Scherbaum & G. Richter: MASI-project 1999: a seismic survey to study neotectonic phenomena in the Finnmark area. 31st Nordic Seminar on Detection Seismology, Korsør, Denmark, 27.-29. september.

Mykkeltveit, S., F. Ringdal, C. Lindholm & E.O. Kremenetskaya: Seismic calibration of the European Arctic. DOD/DOE Seismic Research Symposium, New Orleans, USA, september.

Møllegaard, E., J.I. Faleide, J. Schweitzer & H. Bungum: 2D and 3D travel times for the European Arctic: observations, modelling and implications for event location precisions. 31st Nordic Seminar on Detection Seismology, Korsør, Denmark, 27.-29. september.

Ringdal, F.: Overview — Technical Issues for the Workshop. Workshop on IMS Location Calibration, Oslo, mars.

Ringdal, F.: Issues regarding the collection, application and validation of location calibration information. Workshop on IMS Location Calibration, Oslo, mars.

Ringdal, F.: The international effort towards calibrating the global seismic network for CTBT monitoring. Presentation to Working Group B of the CTBT Preparatory Commission, Vienna, Austria, 4. september.

Ringdal, F., E.O. Kremenetskaya, V. Asming, T. Kværna & J. Schweitzer: Research in regional seismic monitoring. DOD/DOE Seismic Research Symposium, New Orleans, USA, september.

Roth, M. & V. Oye: Analysis of microseismic data. Norw. Petr. Res. Seminar, Bergen.

Roth, M., H. Bungum & R.A.W. Haddon: Full waveform modelling of the August 17, 1999, Kola Peninsula earthquake. AGU Fall Meeting, San Francisco, USA.

Roth, M., H. Bungum & R.A.W. Haddon: Modellierung des Kola-Bebens vom 17. August 1999. 26th Sitzung der Arbeitsgruppe Seismologie, Bergglieshübel, Germany.

Schmidt, V. A. Dahle, H. Bungum & C. Lindholm: Costa Rican spectral strong motion attenuation. XXVII Gen. Assembly of ESC, Lisbon, Portugal, 10.-15. september.

Schweitzer, J.: Recent profiling experiments in the Spitsbergen area — calibration data for the SPITS array. Workshop on IMS Location Calibration, Oslo, mars.

Schweitzer, J.: Frühe Beiträge aus Deutschland zur Entwicklung der modernen Sei. 60. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, München, Germany, 28. februar - 3. mars.

Schweitzer, J.: Der Atomwaffenteststopp — Vertrag (CTBT) und seine Überwachung. Hadamar, 28. april.

Schweitzer, J.: Recent profiling experiments in the Spitsbergen area — calibration of the SPITS array. XXVII General Assembly ESC, Lisbon, Portugal, september.

Schweitzer, J.: Seismic arrays — a chapter for the new manual of seismological practice (MSOP). XXVII General Assembly ESC, Lisbon, Portugal, september.

Schweitzer, J. & T. Kværna: Beobachtung von Reflexions- und Refraktionsexperimenten an nordeuropäischen Arrays. AG Seismologie, Bergglieshübel, Germany, september.