

NORSAR

Årsmelding 1994

NORSAR
Postboks 51
N-2007 Kjeller, Norge
Telefon: +47-63 81 71 21 --- Telefax: +47-63 81 87 19
Telex: 78147 -- Computer mail: info@norsar.no

Bakgrunn

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

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

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

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

Bildet på forsiden ble tatt under feltarbeid ved Spitsbergen-arrayen på Janssonhaugen i Adventdalen. Longyearbyen kan skimtes i bakgrunnen til venstre. Bildet ble tatt i august 1994 av dr. Johannes Schweitzer, stipendiat fra Ruhr-University Bochum, Tyskland.

NORSAR

Virksomhetsidé

NORSARs formål er:

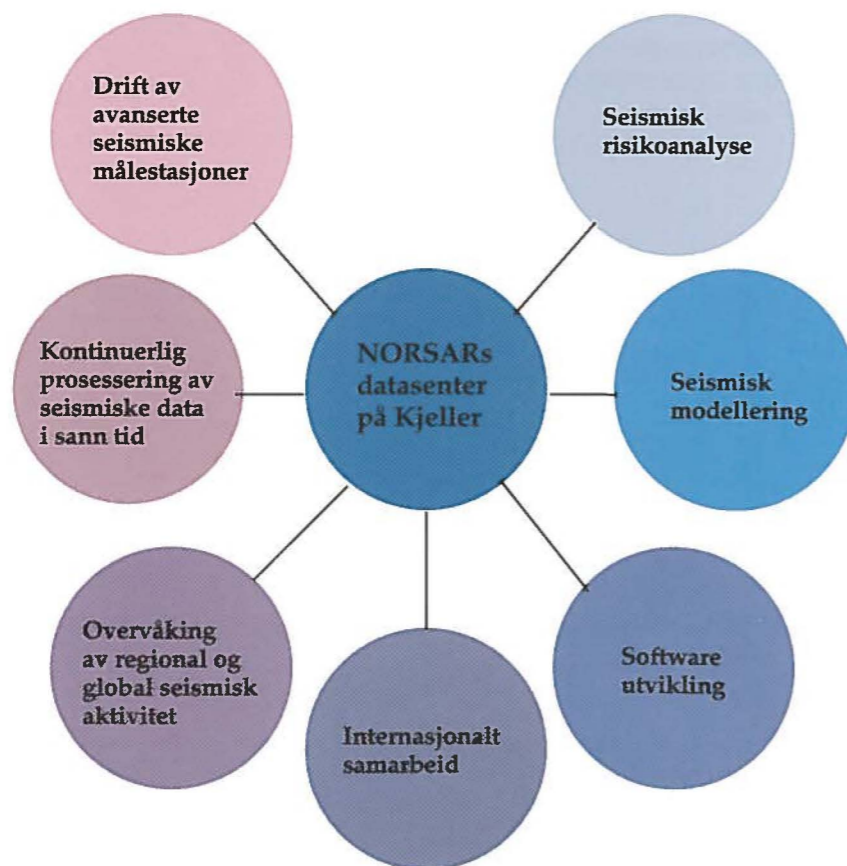
- Forskning, utvikling og rådgivende virksomhet innen geofysiske og relaterte datatekniske fagområder.
- Forskning, utvikling og drift knyttet til overvåking av jordskjelv og kjernefysiske eksplosjoner.

Kort om NORSAR

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

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

NORSAR er i dag et internasjonalt anerkjent forskningssenter innen seismologi, med 36 ansatte og et budsjett i 1995 på 30 millioner kroner.



Virksomheten i 1994

Feltsystemer

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

Jordskjelvinformasjon

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

Overvåking av kjernefysiske eksplosjoner

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

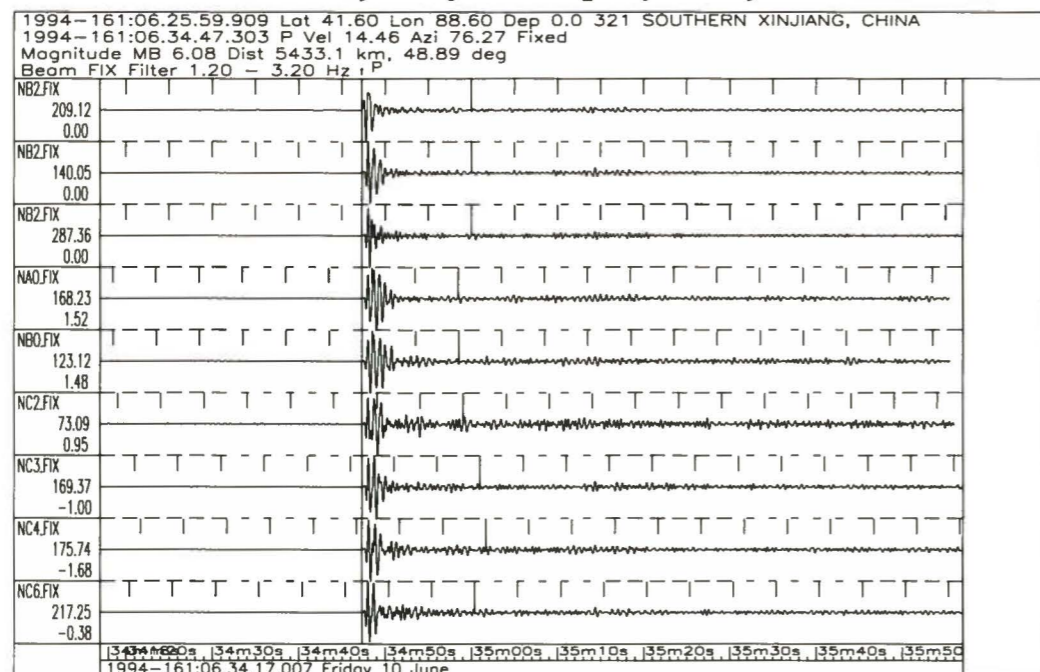
Datasenteret

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

Analyse av seismiske data ved NORSARs datasenter på Kjeller.



Kinesisk kjernefysisk eksplosjon 10. juni 1994



NORSAR registrerte to kjernefysiske eksplosjoner i 1994, begge fra Lop Nor prøvefeltet i Kina. Bildet viser registreringer fra NORSARs understasjoner for eksplosjonen den 10. juni. Avstanden til Lop Nor er 5500 km. Det tar mindre enn 10 minutter fra eksplosjonen finner sted til de seismiske bølgene kan registreres på denne avstanden.

NORAC datainnsamlingsystem

NORSAR har utviklet et innsamlings-system for seismiske data som har fått navnet NORAC (NORSAR Array Controller). NORAC er i bruk i tilknytning til flere av de seismiske stasjonene NORSAR har opprettet i de senere år, blant annet på Kola-halvøya og på Svalbard. I løpet av 1994 ble NORAC-enheter også installert i tilknytning til eksisterende array-stasjoner i Japan og Sverige.

Seismisk risikoanalyse

NORSAR har i 1994 hatt en jevn tilgang på oppdrag relatert til jordskjelvanalyser og geofysiske studier på kontinental-sokkelen. Disse oppdragene, som i hovedsak er finansiert av oljeindustrien, innbefatter bl.a. en omfattende studie av neotektonikk i Barentshavet og en analyse av jordskjelvmekanismer i Sør-Skandinavia. Et EU-finansiert prosjekt om jordskjelvrisk ved lave frekvenser (<1 Hz) ble også startet opp i 1994.

Norsk nasjonalt seismisk nettverk

I samarbeid med Jordskjelvstasjonen i Bergen har NORSAR i 1994 fullført oppbyggingen av et norsk nasjonalt seismisk nettverk. Dette finansieres av oljeselskapene via Oljeindustriens Landsforening, og supplerer de seismiske målestasjoner som er etablert for overvåking av kjernefysiske prøver. Målestasjonen på Spitsbergen (Adventdalen) hører inn under dette nettverket.

Jordskjelvstudier i Sentral-Amerika

NORSAR har i 1994 videreført sitt samarbeid med Jordskjelvstasjonen i Bergen om jordskjelvstudier i Sentral-Amerika. Dette prosjektet, som finansieres av NORAD, omfatter oppbygging av et moderne seismisk nettverk, analyse-sentre, jordskjelvstudier og utdanning/kompetanseoppbygging. Første fase av prosjektet er nå avsluttet, og det arbeides med forslag til videreføring.

Markedsføringsavtaler

NORSAR har i 1994 etablert samarbeidsavtaler med tre uavhengige markedsføringspartnere (PGS/SERES, Geoquest og Scandpower AS). Som et resultat av dette samarbeidet vil NORSAR i løpet av 1995 tilby markedet modelleringsprodukter tett integrert med Charisma tolkningsstasjon (GECO/PRAKLA) og Nucleus seismisk analysesystem (PGS/SERES). NORSAR har også markedsført en "stand-alone" versjon av sin 2-D modellerings pakke i nært samarbeid med Scandpower AS, blant annet med demonstrasjon på EAEG-konferansen (European Association of Exploration Geophysicists) i Wien i juni 1994.

Seismisk hastighetsbestemmelse

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

NORSAR-2D Modelleringspakke

NORSAR har utviklet en kommersiell modelleringspakke (NORSAR-2D Ray Modelling) som fra 93/94 markedsføres internasjonalt. Modelleringspakken representerer uten tvil internasjonal "state-of-the-art" innen sitt område. Samarbeidsavtaler er inngått med flere selskap om salg av NORSAR-2D, både som frittstående produkt og i samspill med andre seismikk-produkter (Charisma tolkningsstasjon, Nucleus seismisk analysesystem). I 1994 ble det solgt NORSAR-2D lisenser bl.a. til Oljedirektoratet og flere oljeselskaper. Det er stor interesse for oppfølgingsproduktet NORSAR-3D, som vil bli lansert i 1995.



Bølgefronter og stråler i en 3D seismisk modell.

Kvalitetssikring og internkontroll

NORSAR har i 1994 videreført arbeidet med å etablere en tidsmessig plan for kvalitetssikring av NORSARs produkter. Dette omfatter både produkter som leveres til eksterne oppdragsgivere og rutiner for intern virksomhet. NORSAR har i 1994 etablert et omfattende internkontrollsystem, som er innarbeidet i håndboken for kvalitetssikring.

Strategiplan

NORSAR har videreført arbeidet med en strategiplan for perioden 1995-98. Hovedpunktene i strategien er å oppnå redusert avhengighet av amerikanske bevilgninger, etablere nye aktivitetsområder innen NORSARs spesialfelter og oppnå langsiktige, kompetansebyggende forskningsprogram både via Forskningsrådet og internasjonalt. Øket kvalitetsbevissthet og kostnadseffektivisering er gitt stor vekt i strategiplanen.

Internasjonalt samarbeid

Utover det som er nevnt tidligere, har NORSAR videreført sitt samarbeid med Kola Science Centre i Apatity, bl.a. med kontinuerlig utveksling av seismiske data via et høyhastighets satellittsamband. NORSAR var representert med en rekke foredrag ved det 25. årlige nordiske deteksjonsseismologiske seminar som ble avholdt i Stockholm 23.-25. august 1994.

Organisasjon

Avdelingsstyre

NORSAR er en avdeling under Norges Forskningsråd. Som avdelingsstyre fungerer (pr. 1.1.95):

Prof. Roy Gabrielsen, Univ. i Bergen, formann

Forskningssjef J.K. Johnsen, Forsvarets Forskningsinstitutt

Byråsjef Roald Næss, Utenriksdepartementet

Sjefsgeolog Jan Vollset, Statoil

Seniorforsker Einar Iversen, NORSAR

Daglig ledelse

Avdelingsleder:

Dr. philos. Frode Ringdal

Gruppeledere/Forskningsledere:

Prof. Hilmar Bungum — Seismisk risiko

Cand. real Svein Mykkeltveit — Seismisk verifikasjon

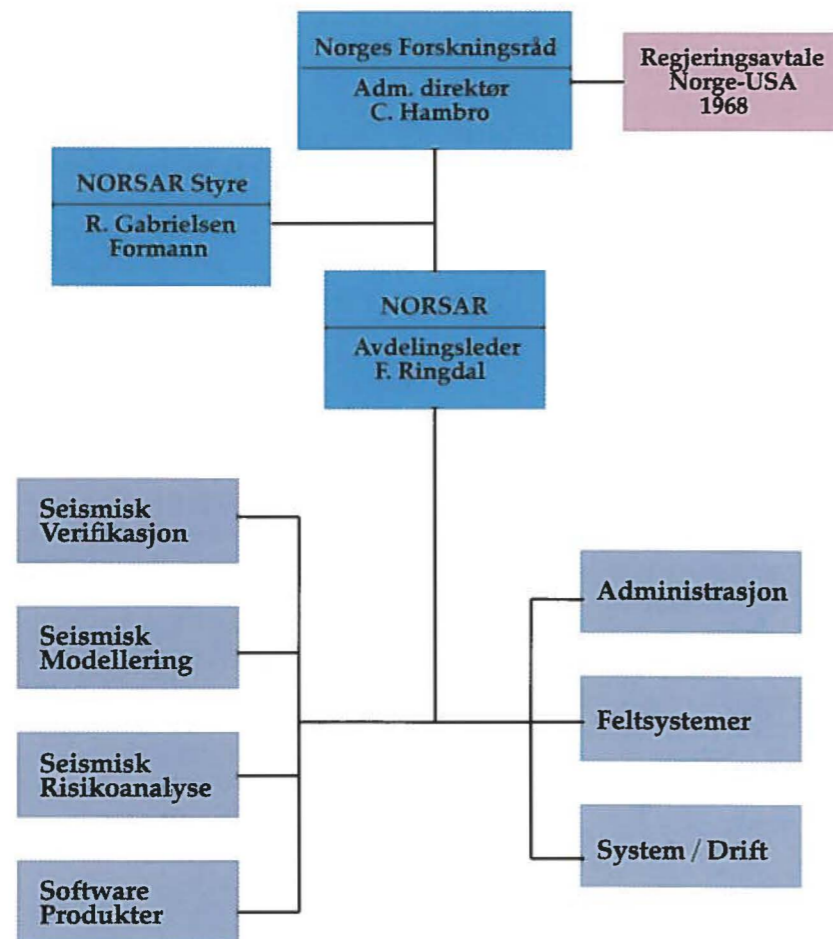
Prof. Håvar Gjøystdal — Seismisk modellering

Cand. real Rolf Magne Aasen — Softwareutvikling

Ing. Hans Kr. Schatvet — Administrasjon

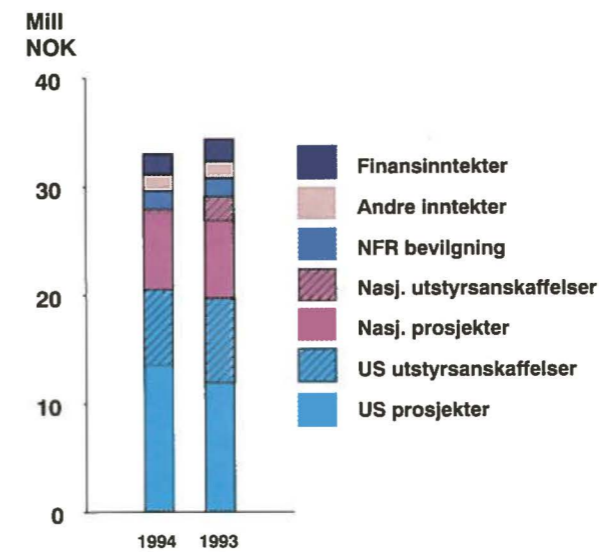
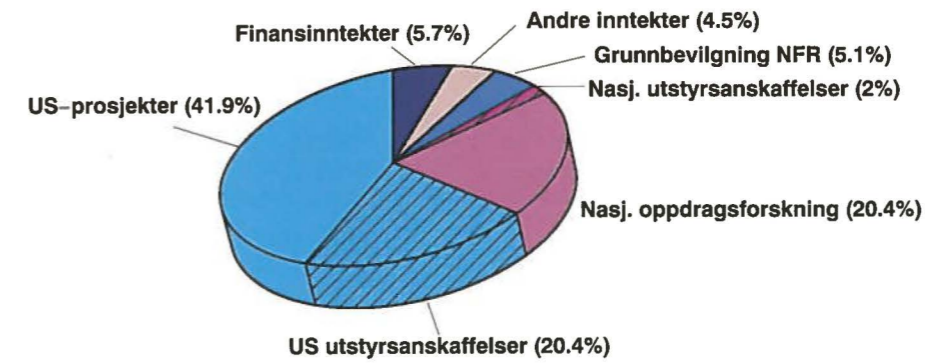
Ing. Vidar Døhli — System

Ing. Paul W. Larsen — Feltavdeling

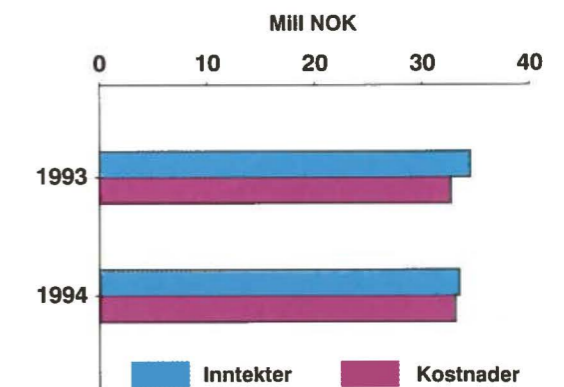


Økonomi

Omsetning 1994 NOK 33 mill



Omsetning 1993 og 1994



Inntekter og kostnader 1993 og 1994

Seismisk Verifikasjon

Innledning

NORSAR har som et av sine hovedformål å drive forskning og eksperimentering innen området seismologisk verifikasjon av en fullstendig kjernefysisk prøvestansavtale. I praksis innebærer dette utvikling, uttesting og forbedring av systemer såvel som metoder for påvisning av underjordiske atomprøver, samt seismologisk forskning av mer generell karakter.

Stasjonsnettverket

NORSAR-arrayen ble konstruert i 1968-70 for på best mulig måte å kunne detektere og lokalisere seismiske hendelser (jordskjelv eller eksplosjoner) i avstandsintervallet 3000-9000 km, og rangerer selv i dag rent ytelsesmessig som et av verdens mest avanserte seismologiske observatorier. En gjennomgripende

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



modernisering av NORSAR-arrayen vil bli fullført i 1995.

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

Registrering av jordskjelv og kjernefysiske eksplosjoner

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

Et globalt overvåkingsystem for kjernefysisk prøvestans

Forhandlinger med sikte på en fullstendig prøvestansavtale startet i regi av FN's Nedrustningskonferanse i Genève i 1994. Det er allerede klart at seismiske stasjoner vil utgjøre hovedkomponenten i et overvåkingsnettverk, som forøvrig vil ha sensorer for måling av infralyd, radioaktivitet og lydbølger i verdenshavene. Et foreløpig forslag til et primært seismisk overvåkingsnettverk består av 46 stasjoner og inkluderer NORSAR-arrayen og ARCESS. Stasjonen på Svalbard kan bli brukt som en supplerende stasjon, som innebærer at alle data er tilgjengelige og hentes inn etter behov.

Som ledd i forberedelsene til etablering av et overvåkingsnettverk pågår det nå et globalt teknisk eksperiment i regi av



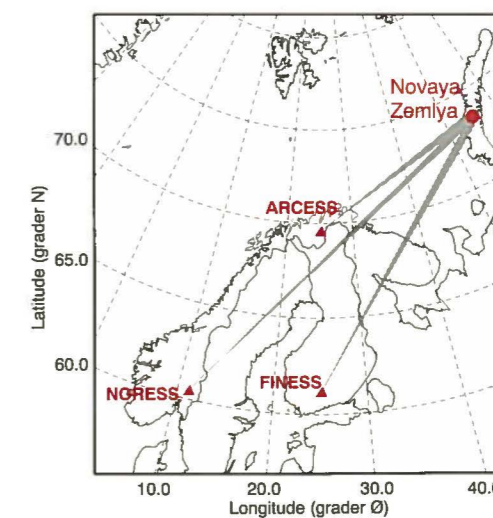
Seismisk nettverk foreslått for framtidig overvåking av en kjernefysisk prøvestansavtale.

Nedrustningskonferansens seismologiske ekspertgruppe, med deltagelse fra et hundretalls seismiske stasjoner. Dette eksperimentet er en operasjonelt realistisk test av et framtidig system, og NORSAR spiller en viktig rolle, både som et regionalt datasenter og gjennom å yte seismologisk og datateknisk assistanse til en rekke land for å bidra til at disse settes i stand til å delta i eksperimentet. I løpet av 1994 var NORSAR engasjert i slikt arbeid i Japan, Spania og Sverige. I tillegg vurderes teknisk hjelp til land i Afrika og Asia, der hovedproblemet er å skaffe gode og fleksible kommunikasjonsløsninger. Telenors opplegg for satellittkommunikasjon ved bruk av såkalte VSAT-terminaler synes meget velegnet, og er nå i bruk bl.a. for overføring av data fra den seismiske stasjonen Hagfors i Sverige til NORSARs datasenter.

Terskelmonitorering

Med dagens teknologi er man i stand til å påvise selv meget små underjordiske kjernefysiske eksplosjoner. Selv om det selvsagt alltid vil finnes en nedre grense for hvor små eksplosjoner som kan registreres, har de regionale arraystasjonene ført til at denne grensen er blitt stadig lavere. Et viktig bidrag har vært innføringen av såkalt terskelmonitorering, en metode som er utviklet ved NORSAR. Metoden består i at en gruppe arraystasjoner "fokuseres" mot et gitt område,

med optimale analyseparametre for hver array. Ved bruk av multiarray-prosessering kan en deretter beregne, i sann tid, den øvre terskel for seismisk aktivitet i området. Figuren nedenfor illustrerer dette prinsippet for prøvelfeltet på Novaya Zemlya. Til tross for at de tre arrayene ligger mer enn 1000 km unna prøvelfeltet, har det vist seg i praksis at de er i stand til å overvåke seismisk aktivitet på Novaya Zemlya helt ned til et Richtertall på 2.5. Dette betyr at selv en middels kraftig gruveeksplosjon (av den typen som daglig forekommer i gruveindustrien) vil bli påvist dersom den blir gjennomført i dette området.



Terskelmonitorering av prøvelfeltet på Novaya Zemlya.

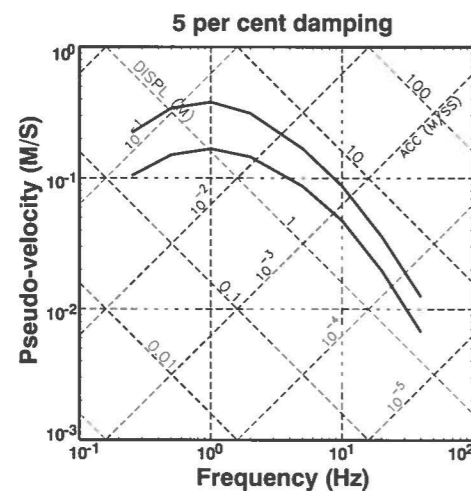
Seismisk Risiko

Innledning

Aktivitetene innen seismisk risiko har i de siste årene ved siden av de rene risikoanalysene knyttet til industrielle utbyggingssjekter i Norge (vesentlig innen offshore-sektoren) og i utlandet (vesentlig vannkrafts-prosjekter) også omfattet forskjellige prosjekter av mer seismologisk art knyttet til både datainnsamlings-systemer, data-analyser og mer grunnleggende forskning.

I løpet av 1994 har det innen denne faggruppen, som har en kjerne på tre forskere, vært arbeidet med følgende prosjekter:

- Et større NORAD-finansiert prosjekt rettet mot jordskjelv-risiko for seks land i Sentral-Amerika. Prosjektet har gått siden 1991 og ble avsluttet i desember 1994.

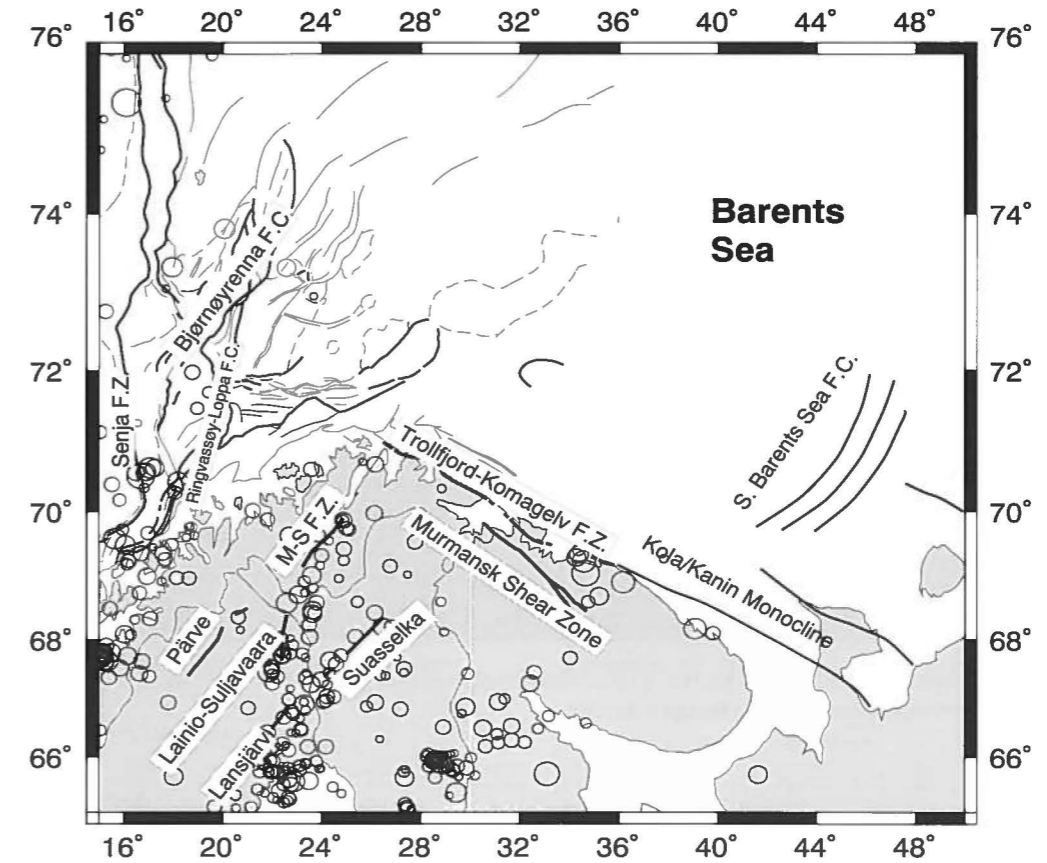


Belastninger fra jordskjelv beregnes ofte i form av et spektrum der verdiene for hver frekvens har samme sannsynlighet, her for San Salvador i Sentral-Amerika, der de to kurvene er beregnet for returperioder på henholdsvis 50 år (nederst) og 500 år (øverst).

- Et industri-finansiert forskningsprosjekt rundt seismo- og neotektonikk i Finnmark, Kola og Barentshavet, avsluttet på vårparten i 1994.
- Fortsatt drift av en seismisk array-stasjon på Svalbard, som del av et nasjonalt seismologisk stasjonsnett (i samarbeid med Universitetet i Bergen) støttet av Oljeindustriens Landsforening (OLF).
- Et Strategisk Instituttprogram (SIP) innen 'Seismiske Metoder for Grunnundersøkelser', med oppstart i 1994.
- Et EU-prosjekt, initiert av NORSAR, om 'Long Period Earthquake Risk in Europe' i samarbeid med NGI og med kolleger i England, Portugal og Italia. Dette prosjektet startet reelt opp sommeren 1994, formelt først 1. desember 1994.
- En komponent under et annet og større EU-prosjekt, 'Integrated Basin Studies, Dynamics of the Norwegian Margin', i samarbeid med oljeindustri og universiteter, der NORSARs arbeid går på spenningsmålinger avledet fra jordskjelv.

I tillegg har risiko-gruppen dette året vært spesielt aktive på markedsførings-siden gjennom generelle og langsiktige tiltak såvel som gjennom forslag til og anbud på nasjonale og internasjonale prosjekter innen gruppens arbeidsområde. En av målsettingene i denne forbindelse er å inkludere beregninger av skader og tap ved jordskjelv, med konkrete utspill mot Sentral-Amerika, mot EU-forskningen (miljø-programmet), og mot FN's Agenda 21 (Kina).

Noen av prosjektene som det har vært arbeidet med i 1994 omtales nærmere i det følgende.



Kart over området analysert i prosjektet 'Seismo- and neotectonics in Finnmark, Kola and the southern Barents Sea', med angivelse av forkastninger på land og i Barentshavet, samt lokaliseringer av jordskjelv for tidsrommet 1979-1992.

Nasjonale prosjekter

Prosjektet 'Seismo- and neotectonics in Finnmark, Kola and the southern Barents Sea' startet opp våren 1992 og gikk over to år, og ble støttet av Statoil, Hydro og Saga. Prosjektet ble gjennomført i samarbeid med NGU og omfattet en geologisk lineaments-analyse, en detaljert studie av en neotektonisk forkastning i Alta, samt en omfattende innsamling og repressering av seismologiske data for hele området (i samarbeid med mellom andre Kola Science Center). Resultatene viste at det er endel mindre jordskjelv i Finnmark som kan knyttes til en neotektonisk forkastning i Alta, der det etter siste istid var mange store jordskjelv på grunn av den raske landhevingen. På Kola viste det seg derimot å være mer vanskelig å knytte jordskjelvaktiviteten til kjente geologiske strukturer. Det meste av Barentshavet er til sammenligning uten jordskjelv, bortsett fra i det vestlige området mot kontinentalmarginen. Studien omfattet også utvikling av en enkel

modell for jordskjelvriskoen i hele det analyserte området.

Et beslektet prosjekt har vært utbygging og drift av en array-stasjon på Svalbard, som en del av nasjonalt seismisk stasjonsnett der NORSAR samarbeider med Universitetet i Bergen, støttet av Oljeindustriens Landsforening (OLF). Nettverket består foruten array-stasjonen på Svalbard av 8 stasjoner langs Norskekysten samt en stasjon på Bjørnøya, alle disse drevet av UiB. Array-stasjonen på Svalbard som er bygget og drives av NORSAR, ligger i Adventdalen ca. 17 km øst for Longyearbyen. Instrumenteringen består av 9 vertikale bredbåndsseismometere samt et 3-komponent bredbåndsseismometer i sentrum av arrayen. Alle instrumentene er installert i 6 m dype borehull i permafrosten. Digitalisering av data gjøres lokalt på stedet, og digitale data sendes over radio til Longyearbyen, der de overføres videre på satellitt til Kjeller. Strøm til radio-overføring og drift av digitaliseringsenhet skaffes fra en batteribank som lades med en vindmølle.

Seismisk Modellering



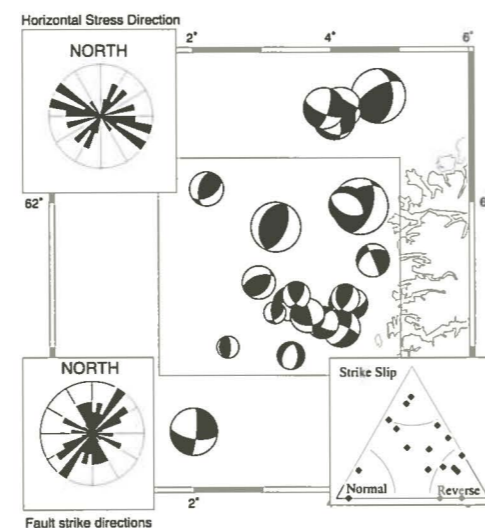
Bilde som viser deler av NORSARs anlegg på Janssonhaugen i Adventdalen (Svalbard). Om sommeren er helikoptertransport eneste tillatte transportmetode.

Array-stasjonen på Svalbard representerer en flankeinstallasjon i nettverket og gir viktig informasjon (krysspeiling) for lokalisering av jordskjelvene i Barentshavet, spesielt langs Senja-bruddsonen, i Storfjorden øst for Spitsbergen og utenfor Finnmarkskysten.

Internasjonale prosjekter

'Integrated Basin Studies' er et stort EU-finansiert prosjekt der de tre norske oljeselskapene sammen med norske universiteter og forskningsinstitusjoner fokuserer på temaet 'Dynamics of the Norwegian Margin'. NORSAR arbeidet i 1994 sammen med NTH på en del av dette prosjektet, og dette arbeidet vil fortsette i 1995. Målet med studien har vært å kartlegge spenningene i jordskorpen ved hjelp av *in-situ* målinger (NTH) og kilde-mekanismer fra jordskjelv (NORSAR), og å tolke disse resultatene geologisk. Arbeidet har nå resultert i en database med mer enn 90 slike jordskjelv-mekanismer fra Skandinavia og Svalbard, og NORSAR har med disse dataene kunnet belyse spennings-retninger, typer av

forkastninger (tektonikk), dominerende aktive forkastningssoner, samt variasjoner i dypene for jordskjelv i den nordlige Nordsjøen.



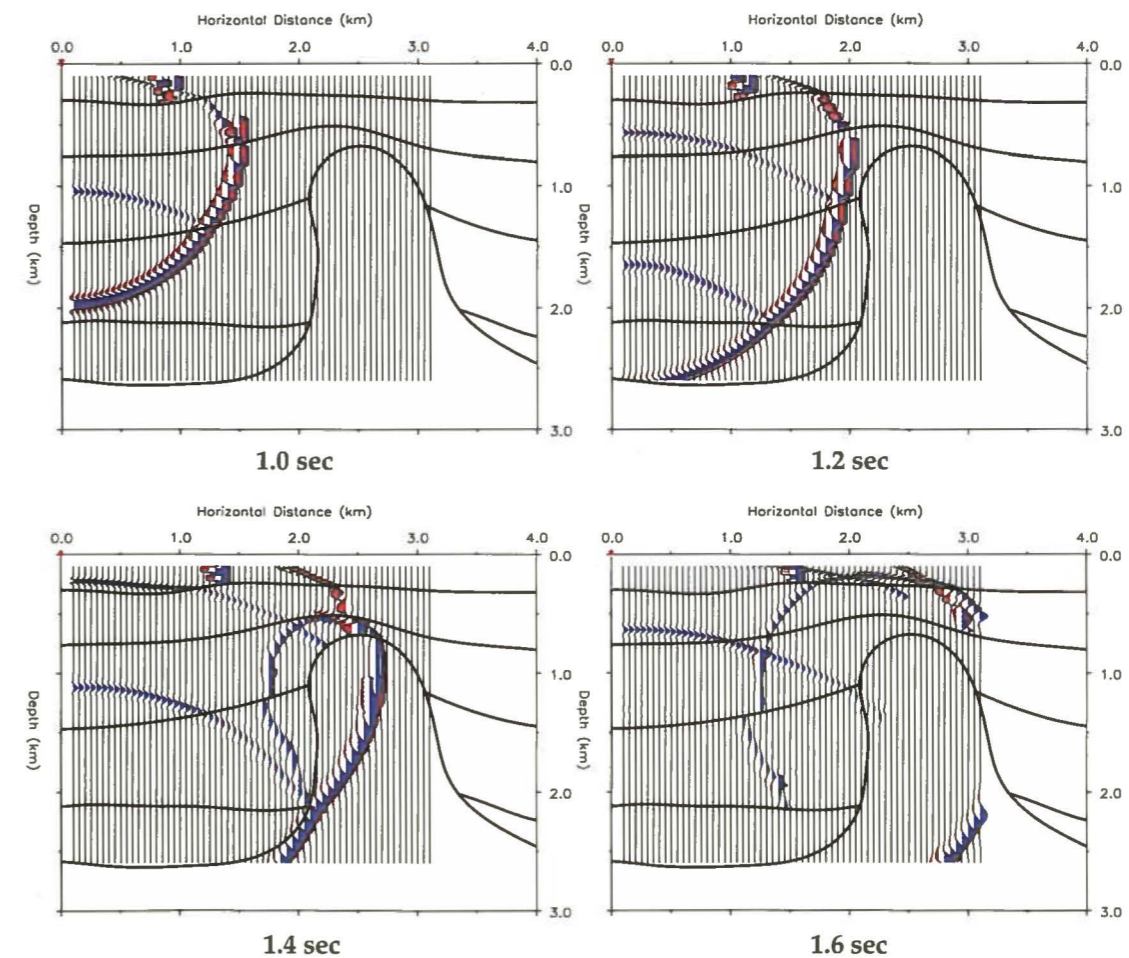
Kart med jordskjelvmekanismer (sirkler plassert på stedet for skjelvet og med en størrelse proporsjonal med styrken), der dessuten spennings-retningene vises øverst til venstre, retningene av de brutte forkastningene nederst til venstre, og typer av mekanismer nederst til høyre.

Innledning

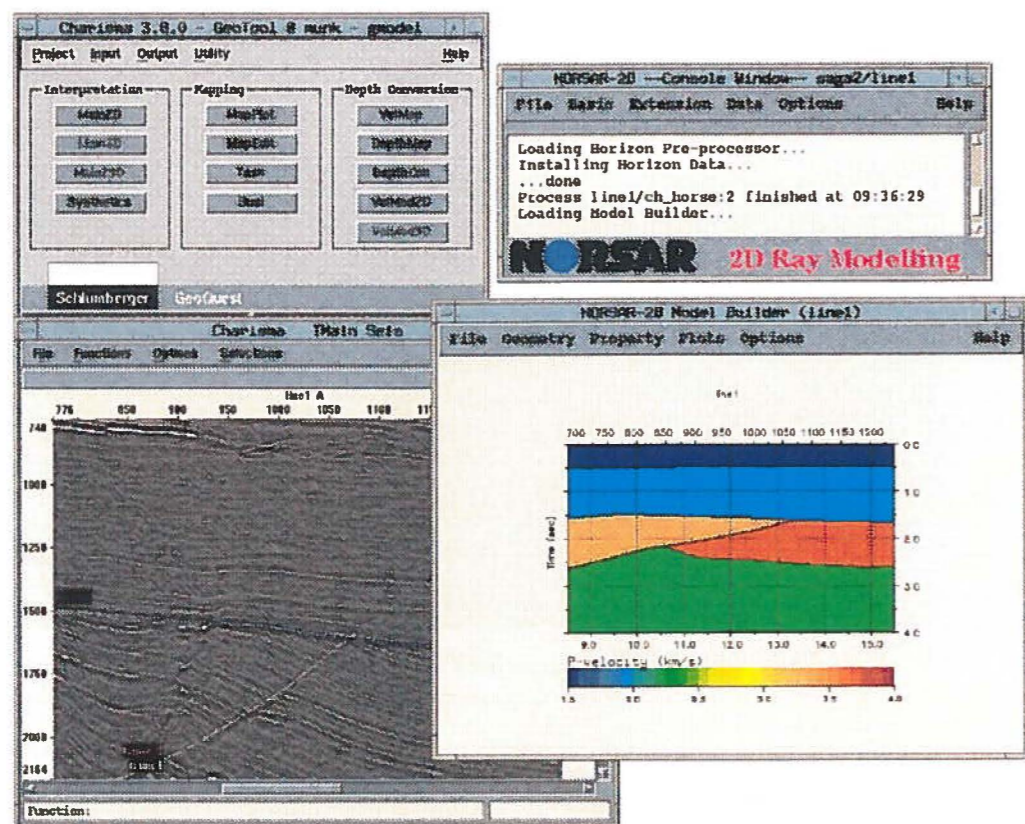
NORSAR har siden 1977 vært sterkt engasjert i forskning og utvikling innen fagfeltene *seismisk prospektering* og *seismisk modellering*. Prosjektene har dekket både utvikling av nye teoretiske metoder og utvikling av kommersiell programvare, der oppdragsgiverne stort sett har vært å finne innen oljeindustrien.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

2D og 3D seismisk modellering

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



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



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

midler når det gjelder å fastsette borepunkter for leteboring.

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

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

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 forvrenses ved avbildning på seksjonen. Grunnen til dette er at standard prosesseringsteknikker som benyttes av industrien ikke i tilstrekkelig grad tar hensyn til at de seismiske bølger på veien ned og opp avbøyes gjennom et komplisert 'lensesystem' av geologiske lag av forskjellig form og tykkelse. Her kan en avansert seismisk modelleringsteknikke beregne virkningen av og kompensere for denne avbøyningen, slik at geologien kan avbildes på korrekt plass i dypet og i mest mulig uforvrengt form. De teknikker

som er utviklet ved NORSAR innen seismisk avbildning kan i hovedsak deles i tre grupper:

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

Seismisk programvareutvikling

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

NORSAR-2D seismisk modelleringssystem

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

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

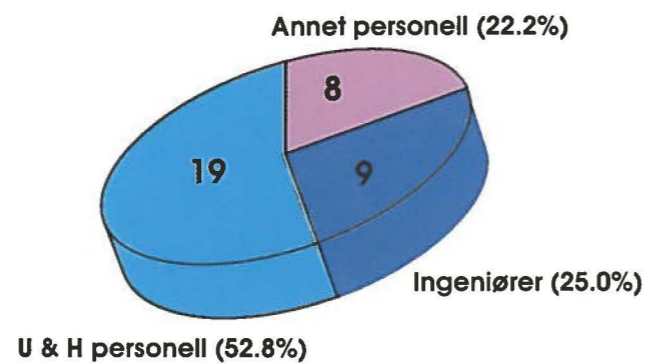
- fleksibel modellbygger for kompliserte geologiske modell-geometrier
- tid til dyp konvertering
- spesifisering av seismiske parametere i modellen (hastigheter, tettheter, etc)
- spesifisering av forskjellige typer seismiske surveyer (null-offset, HSP, VSP, cross-well)
- simulering av forskjellige typer seismiske bølger (ray tracing)
- generering av syntetiske data
- hastighetsbestemmelse
- fleksibelt verktøy for analyse av bølgeparametere
- link til andre produkter via standardiserte formater (Segy, GeoShare, etc)

NORSAR-3D seismisk modelleringssystem

I løpet av 1994 har en utviklet første kommersielle versjon av NORSAR-3D seismisk modelleringssystem. Systemet er basert på en rekke helt nye konsepter innen strålemodellering som gjør enkelte praktiske anvendelser vesentlig enklere enn tidligere. Siden det i dag finnes flere "standarder" for 3D modellrepresentasjon, kan NORSAR-3D "oversette" fra eksterne modeller til en intern skreddersydd modell (HEART) som gir stor effektivitet og fleksibilitet mht bølgesimulering. Programsystemet vil bli markedsført for fullt fra 1995.

Personell

Personell pr 1.1.95



Ansatte

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

Hovedfagsstudenter

Unni Byrkjeland
Erik Hicks
Finn Lunde

Doktorgradsarbeider

Tormod Kværna, Dr. philos.
Universitetet i Oslo, september 94

Gjesteforskere / Stipendiater

Anton Dainty, Massachusetts Institute of Technology, USA, 6. januar - 5. februar
Morten Fejerskov, NTH, Trondheim, 31. oktober - 18. november
Leonid Haikin, Moskva, Russland, 4. - 16. desember
Elena Kremenetskaya, Kola Science Centre, Apatity, Russland, 21. februar - 3. mars
Alexander Kushnir, Moscow IRIS Data Center / SYNAPSE, Russland, 6. januar - 6. februar
Igor Kuzmin, Kola Science Centre, Apatity, Russland, 21. februar - 3. mars
Johannes Schweitzer, Ruhr-University Bochum, Tyskland, 18. februar - 31. desember

Besøkende i forbindelse med Sentral-Amerika prosjektet (Rondica)

Eduardo Camacho, Panama, 27. februar - 5. mai
Mathias Franke, Venezuela, 23. - 28. april
Federico Güendel, Costa Rica, 5. september - 5. november
Maria Laporte, Costa Rica, 15. mai - 15. juli
Juan Pablo Ligorria, Guatemala, 17. april - 1. mai; 14. - 16. juni
Peggy Quijada, Venezuela, 23 - 28. april
Wilfried Strauch, Nicaragua, 12 - 14. april
Mario Villagran, Guatemala, 10. - 20. april; 1. juli - 18. desember

Publikasjoner / Foredrag

Publikasjoner

- Atakan, K., C. Lindholm & J. Havskov: Earthquake swarm in Steigen, northern Norway: An unusual example of intraplate seismicity. *Terra Nova*, 6, 180-194.
- Bungum, H.: Seismic source evaluation, strong motion attenuation and soil response in Central America. In: Ambeh, W.B. (ed), *Proc. Caribbean Conference on Natural Hazards: Volcanoes, Earthquakes, Windstorms, Floods*, The University of the West Indies, Trinidad, 113-121, oktober 94.
- Camacho, E., C. Lindholm, A. Dahle & H. Bungum: Seismic hazard for Panama. *Rondica Tech. Rep.* 2-13, mai 94.
- Camacho, E., C. Lindholm, A. Dahle & H. Bungum: Seismic hazard for Panama. Update. *Rondica Tech. Rep.* 2-18, juli 94.
- Climent, A., W. Taylor, M. Ciudad Real, W. Strauch, G. Santana, M. Villagran, A. Dahle & H. Bungum: Spectral strong motion attenuation in Central America. *Rondica Tech. Rep.* 2-17, august 94.
- Cowan, H. & K. Atakan: Earthquake hazard assessment in Central America: Summary of current status and options for future work. *Rondica, Misc. Rep.* 2-3, juli 94.
- Ferstad, B. & R. Paulsen: NORAC Reference Guide, Internal Rep., august 94.
- Güendel, F. & H. Bungum: Earthquakes and related hazards in Central America. *Innsendt Bull. Seism. Soc. Am.*
- Harjes, H.-P., M. Jost & J. Schweitzer: Preliminary calibration of candidate alpha stations in the GSETT-3 network. *Annali di Geofisica*, XXXVII, 383-396, juni 94.
- Iversen, E. & H. Gjøystdal: Event-oriented velocity estimation based on pre-stack data in time or depth domain. Extended Abstract, 56th Annual EAEG Meeting, Wien, juni 94.
- Iversen, E., I. Lecomte, A.E. Mjelva & H. Gjøystdal: Velocity estimation based on prestack depth migration. Report prepared for Statoil, januar 94.
- Iversen, E., I. Lecomte & H. Gjøystdal: Macro-model construction by integration of local prestack depth imaging, event interpretation and non-zero offset ray-theoretical depth conversion. Expanded Abstract, 64th Annual SEG Meeting, Los Angeles, oktober 1994.
- Kværna, T.: Automatic processing of data from small-aperture arrays and seismograph networks in the context of seismic verification. Doktoravhandling, Univ. i Oslo, august 94.
- Kværna, T.: Accurate determination of phase arrival time using autoregressive likelihood estimation. *Ann. Geof.*, Vol XXXVII, nr 3, 287-300, juni 94.
- Kværna, T. & F. Ringdal: Intelligent post-processing of seismic events. *Ann. Geof.*, Vol XXXVII, nr 3, 309-322, juni 94.
- Kværna, T., H. Iversen & N.H.K. Larsen: Continuous seismic threshold monitoring. User's Guide, NORSAR, oktober 94.
- Laporte, M., C. Lindholm, H. Bungum & A. Dahle: Seismic hazard for Costa Rica. *Rondica Tech. Rep.* 2-14, juli 94.
- Lindholm, C., H. Bungum, R.K. Bratlie, B.S. Aadnøy, N. Dahl, B. Tørrudbakken and K. Atakan: Crustal stress in the northern North Sea as inferred from in situ measurements and earthquake focal mechanisms. Under trykking, *Terra Nova*.
- NORSAR: Seismo- and neotectonics in Finnmark, Kola and the southern Barents Sea. Rep. prepared for Statoil, Norsk Hydro & Saga Petroleum, Harstad, mai 94.
- NORSAR: Reduction of natural disasters in Central America: Earthquake preparedness and hazard mitigation, seismic zonation and earthquake hazard assessment. Final Tech. Rep. prepared for NORAD, Oslo.
- NORSAR: NORSAR 2D Ray Modelling. Version 2.1, Program Documentation, februar 94.
- NORSAR: NORSAR 2D Ray Modelling, Version 3.0, Basic & Extension. Program Documentation, oktober 94.
- Ringdal, F.: GSETT-3: A test of an experimental international seismic monitoring system. *Ann. Geof.*, Vol XXXVII, nr 3, 241-247, juni 94.

- Segura, F., W. Strauch, W. Taylor, G. Santana, A. Dahle & H. Bungum: Digital strong motion data from Nicaragua. *Rondica Tech. Rep.* 2-15, august 94.
- Semiannual Technical Summary 1 Oct 93 - 31 Mar 94, NORSAR Sci. Rep. 2-93/94, mai 94.
- Semiannual Technical Summary 1 Apr - 30 Sep 94, NORSAR Sci. Rep. 1-94/95, november 94.
- Taylor, W., A. Climent, P. Santos, M. Ciudad Real, M. Villagran, W. Strauch, F. Segura, A. Dahle & H. Bungum: Digital strong motion data from Central America. *Rondica Tech. Rep.* 2-16, august 94.
- Villagran, M., H. Cowan, H. Bungum, A. Dahle & C. Lindholm: Seismic hazard assessment for Guatemala City. *Rondica Tech. Rep.* 2-19, desember 94.
- Vinje, V., I. Lecomte, K. Åstebøl & E. Iversen: New wave simulation tools for improved 3D imaging of seismic data in complex areas. Extended Abstract, Norsk Petroleum Forenings konferanse, Kristiansand, mars 94.
- Vinje, V., I. Lecomte, K. Åstebøl & E. Iversen: Efficient Green's functions calculation for improved 3D seismic imaging in complex areas. Extended Abstract, Extended Abstract, 56th Annual EAEG Meeting, Wien, juni 94.
- Aadnøy, B.S., R.K. Bratlie & C. Lindholm: In situ stress modelling of the Snorre Field. *Proc., Symposium on Rock Mechanics in Petroleum Engineering*, Delft, Nederland, august 94.
- Åstebøl, K.: Ray field segment computation — an efficient and flexible wave propagation technique. Extended Abstract, 56th Annual EAEG Meeting, Vienna, juni 94.
- Åstebøl, K.: Easy-to-use modelling: 3D field propagation in open ray models, Expanded Abstract, EAEG/SEG Summer Workshop on Construction of 3D Macro Velocity-Depth Models, Noordwijkerhout, Nederland, juli 94.
- Åstebøl, K., H. Gjøystdal & A.E. Mjelva: Take the best from each seismic domain — integrated, simultaneous multidomain interpretation. *Proc. NPF Conference on New Trends in Geoscience Computing*, Stavanger, november 94.

Foredrag

- Bungum, H.: Jordskjelvet i Los Angeles — hva med oss? Norsk Hydro Research Centre, Bergen, februar 94.
- Bungum, H.: Jordskjelvrisiko i globalt perspektiv. Norwegian Society for Earthquake Engineering, Trondheim, april 94.
- Bungum, H.: Some recent research tasks in seismology in Norway. Uppsala Wiechert 90-year jubileum seminar, Seismological Department, Uppsala University, Sverige, august 94.
- Bungum, H.: Magnitudes of Scandinavian earthquakes derived from Uppsala Wiechert records. Uppsala Wiechert 90-year jubileum seminar, Seismological Department, Uppsala University, Sverige, august 94.
- Bungum, H., C. Lindholm, A. Dahle & D. Roberts: Seismo- and neotectonics in Finnmark, Kola and the southern Barents Sea. 25th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, august 94.
- Dahle, A., H. Bungum, C. Lindholm, A. Climent, W. Taylor, P. Santos, M. Ciudad-Real, W. Strauch & F. Segura: New models for spectral strong motion attenuation in Central America. 25th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, august 94.
- Fyen, J.: Operation of a seismological verification system in a CTB. Workshop on Comprehensive Nuclear Test Ban (CTB) Verification, Tokyo, Japan, mars 94.
- Fyen, J.: Refurbishment of the NORSAR teleseismic array and new processing techniques. 25th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, august 94.
- Iversen, E. & H. Gjøystdal: Event-oriented velocity estimation based on pre-stack data in time or depth domain. Paper G016, European Association of Exploration Geophysicists 56th Meeting, Wien, juni 94.
- Iversen, E., I. Lecomte & H. Gjøystdal: Macro-model construction by integration of local prestack depth imaging, event interpretation and non-zero offset ray-theoretical depth conversion. Society of Exploration Geophysicists 64th Annual Meeting, Los Angeles, CA, USA, oktober 94.
- Kværna, T.: Network processing of seismic data. Prøveforelesning for dr. philos.-graden, Univ. i Oslo, september 94.
- Kværna, T.: Earthquake prediction — a waste of time or a realistic goal? Prøveforelesning, for dr. philos.-graden, Univ. i Oslo, september 94.

- Lindholm, C., H. Bungum, A. Dahle, W. Rojas, E. Camacho, M. Laporte & H. Cowan: Regional and local earthquake hazard studies for Central America. 25th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, august 94.
- Mykkeltveit, S.: Status of planning for GSETT-3. 25th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, august 94.
- Mykkeltveit, S., F. Ringdal, T. Kværna & J. Fyen: Accurate automated location of seismic events in mining regions — Experience from the Fennoscandian Regional Network. CTBT Monitoring Technologies Conference, San Diego, California, september 94.
- Ringdal, F.: Capability monitoring of a global network. GSETT-3 Workshop, Alexandria, Va, USA, april 94.
- Ringdal, F.: Contributions of arrays to seismology (invited lecture). Sixth Annual Iris Workshop, Glendale, CA, USA, april 94.
- Ringdal, F.: GSETT-3: A test of an experimental seismic monitoring system. Presentation to the Conference on Disarmament, Genève, mars 94.
- Ringdal, F.: Monitoring a comprehensive test-ban treaty. Presentation at the GSETT-3 IDC, Arlington, Va, USA, oktober 94.
- Ringdal, F. & T. Kværna: Threshold monitoring and generalized beamforming at the International Data Center. 25th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, august 94.
- Ringdal, F. & T. Kværna: Continuous Threshold Monitoring for near real-time assessment of network capabilities. CTBT Monitoring Technologies Conference, San Diego, California, september 94.
- Villagran, M.: Use of digital accelerometers in Central America. 25th Nordic Seminar on Detection Seismology, Stockholm, august 94.
- Vinje, V., I. Lecomte, K. Åstebøl & E. Iversen: New wave simulation tools for improved 3D imaging of seismic data in complex areas. Norsk Petroleum Forenings seminar "The 3D challenge", Kristiansand, mars 94.
- Vinje, V., I. Lecomte, K. Åstebøl & E. Iversen: Efficient Green's functions calculation for improved 3D seismic imaging in complex areas. Paper B043, European Association of Exploration Geophysicists, 56th Annual Meeting, Wien, juni 94.
- Åstebøl, K.: Ray field segment computation — an efficient and flexible wave propagation technique. Paper G015, European Association of Exploration Geophysicists, 56th Annual Meeting, Wien, juni 94.
- Åstebøl, K.: Easy-to-use modelling: 3D ray field propagation in open ray models. EAEG/SEG Summer Workshop on Construction of 3D Macro Velocity-Depth Models, Noordwijkerhout, Nederland, juli 94.
- Åstebøl, K., H. Gjøystdal & A.E. Mjelva: Take the best from each seismic domain — integrated, simultaneous, multidomain interpretation. NPF Conference on New Trends in Geoscience Computing, Stavanger, november 94.