

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

NORSAR

beretning for perioden
1.7.1970
30.6.1972

NORSAR
NORWEGIAN SEISMIC ARRAY

BERETNING

for perioden
1.7.1970 – 30.6.1972

REDAKTØR: HILMAR BUNGUM

KJELLER
DESEMBER 1972

NTNF/NORSAR
Postboks 51
2007 Kjeller

Tlf: 71 45 70
71 69 15

Innhold

FORMÅL	5
PROSJEKTKOMITE	5
DAGLIG LEDELSE	5
PERSONELL	6
ØKONOMI	6
HISTORISK BAKGRUNN	7
BESKRIVELSE AV ANLEGGET	9
FORSKNING OG UTVIKLING	14
INTERNASJONALT SAMARBEID	18
ORDFORKLARINGER	20
ARTIKLER OG RAPPORTER	21
FOREDRAG	24

Formål

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

Prosjektkomite

NORSAR er direkte underlagt NTNF's sentralstab. Som rådgivende komite fungerer:

Dosent M.A. Sellevoll, formann
Forskningsjef H. Nødtvedt
Byråsjef O. Værnø

Daglig ledelse

Prosjektleder: Cand.real E. Sætre,
1.7.70–15.1.71
Siv.ing. P. Tveitane,
16.1.71–1.4.72 (fungerende)
Siv.ing. N. Marås,
fra 1.4.72

Forskning: Fil. Dr. E. S. Husebye

Drift: Siv.ing. P. Tveitane

Seksjonsledere: Cand.real H. Bungum
Cand.real F. Ringdal
Ingeniør H. Schatvet
Cand.real O. Steinert

Personell

Teknisk personell	25
Akademikere	10
Kontorpersonell	4
I alt	39

Økonomi

Utgifter 1.7.70–30.6.72	kr.	8.390.000
Bevilgning 1.7.70–30.6.72 (ARPA*)	»	8.300.000
Bevilgning 1971–1972 (NTNF)	»	220.000

* Advanced Research Projects Agency, U.S.A.

Historisk bakgrunn

Bakgrunnen for NORSAR er politisk. Da stormaktene mot slutten av 50-årene for alvor begynte å interessere seg for en avtale mot kjernefysiske prøver, ble det fort klart at en prøvestansavtale som også skulle omfatte underjordiske kjernefysiske prøver måtte basere seg på et seismisk kontrollsystem. Innen 1963, da avtalen mot atmosfæriske prøver ble inngått, visste en dessuten at de daværende seismiske anlegg ikke var fintfølede nok til å være til særlig hjelp under en mulig utvidet avtale. I tillegg hadde en det problem at en vanskelig kunne si om en registrering skrev seg fra et naturlig jordskjelv eller en eksplosjon. På grunn av disse forhold har en derfor det siste tiåret opplevd en betydelig innsats innen seismologisk forskning, spesielt i U.S.A. og Storbritannia.

Fra U.S.A.'s side gikk den del av forskningen som var rettet mot en forbedring av de seismiske metoder, inn under prosjekt VELA-UNIFORM, der det hittil har vært satset ca 450 millioner dollar. Etter at hele det amerikanske forskningsprogram innen dette felt har vært oppe til vurdering i såkalte "hearings" både i Senatet og Representantenes Hus i løpet av høsten 1971, er det blitt besluttet at det er ønskelig fra amerikansk side å fortsette programmet ennå i noen år. Dette kommer av at en fremdeles betrakter det som ønskelig å tilstrebe en ytterligere forbedring av de tekniske metoder for deteksjon og identifikasjon av underjordiske kjernefysiske prøver.

En innså tidlig i prosjekt VELA-UNIFORM at det måtte satses parallelt med både forbedring av observasjonsinstrumentene og en utvikling på det teoretiske område. Inntil da hadde en seismologisk stasjon gjerne bestått av instrumenter med individuelle registreringer på papir. Dette hadde vært tilfredsstillende, og brukes fremdeles, til å ta seg av store jordskjelv, men det er mindre effektivt til å kartlegge små rystelser. En begynte derfor å eksperimentere med å kombinere seismometrene på en slik måte at registreringene ble gjort på samme sted og tid, gjerne på magnetbånd slik at dataene senere kunne behandles maskinelt. Dette var de første seismiske "arrays", av hvilke NORSAR foreløpig er den mest avanserte. Det teoretiske fundament for denne type anlegg må deles med andre disipliner, i det array-teknikken tidligere er kommet til anvendelse både ved utvikling av radaren og ved geofysiske undersøkelser i mindre skala (oljeleting).

De første planer for bygging av NORSAR tok form i 1967. Det formelle

grunnlag for det norsk-amerikanske samarbeide om NORSAR kom i en melding som ble forelagt Stortinget våren 1968, og byggingen begynte umiddelbart etterpå. Som norsk kontraktspartner fungerte Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI). Det ble først bygget noen små prøvestasjoner, og resultatene fra disse fikk i sin tur innflytelse på den endelige utforming av anlegget. Innen 30.6.70 var alle feltinnstallasjonene fullført, og FFI trakk seg da ut av prosjektet. Fra 1.7.70 overtok NTNf ansvaret for driften av anlegget.

Så lenge FFI hadde hovedkontrakten var det KIRA (Kjellerinstitusjonenes Regneanlegg) som hadde ansvaret for oppbyggingen av datasentret på Kjeller. Dette foregikk i samarbeide med IBM (Federal System Division, U.S.A.) som hadde hovedkontrakten for utviklingen av software. Denne oppgaven ble fra IBMs side fullført pr. 30.6.71, da NTNf også overtok ansvaret for denne siden av driften. På dette tidspunkt hadde de norske ansatte ved datasentret arbeidet parallelt med det amerikanske IBM-personellet et par år, og også deltatt i utviklingsarbeidet, slik at den nødvendige lokale ekspertise dermed var opparbeidet.

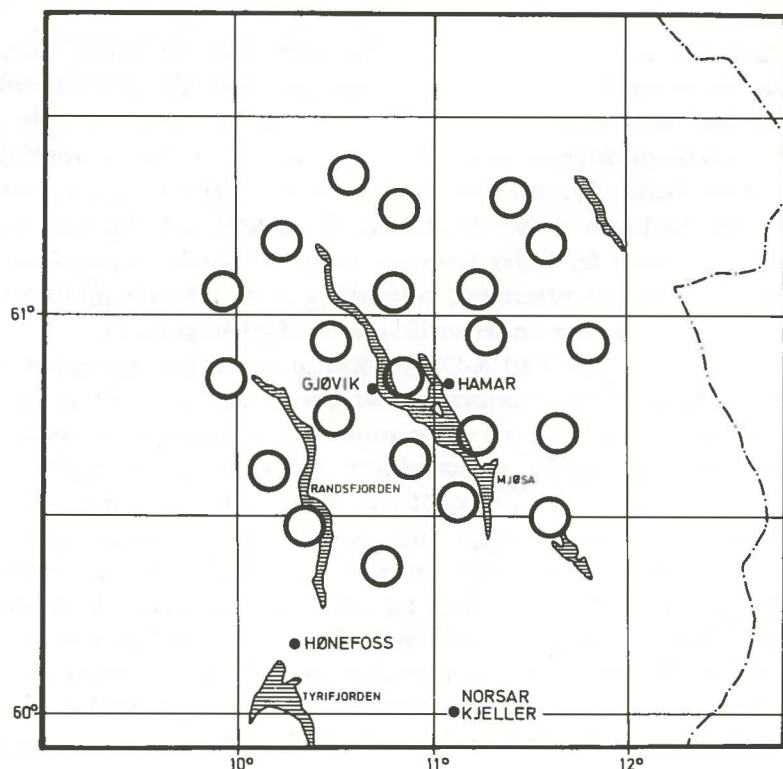


Fig. 1. NORSARs geografiske plassering. Hver sirkel indikerer et underanlegg.

Beskrivelse av anlegget

FELTANLEGGET

NORSAR kan rent fysisk deles inn i et feltanlegg og et datasenter. Feltanlegget utgjøres av seismometrene som er plassert utover et område med diameter 110 km rundet Mjøsa (Fig. 1), elektronisk utstyr for innsamling og omforming av signaler og endelig dataoverføringslinjene inn til sentret på Kjeller. Som det går fram av Fig. 1 er feltinstallasjonene fordelt på 22 underanlegg. Hvert av disse består av 6 såkalte kortperiodiske seismometre, med en egenperiode på 1 sekund, og 3 langperiodiske, som har en egenperiode på rundt 20 sekund. Alle seismometrene er gravd ned og plassert i fast fjell (Fig. 2). Innenfor hvert anlegg går så dataene via nedgravde kabler til et underjordisk sentralanlegg, som huser den elektronikk som trenges for å digitalisere dataene, dvs. overføre de analoge signaler til diskret numerisk form. Fra de 22 sentralanlegg sendes så det resulterende tallmateriale til datasentret på Kjeller, samtidig som de fungerer som lokale sentrer for utveksling av kontrollinformasjon med Kjeller. Forskerne der kan f.eks. til enhver tid underøke om tilstanden til underanleggets instrumenter, og de kan også om nødvendig foreta mindre korrigeringer.

Det oppstår imidlertid også feil det ikke kan rettes på direkte fra datasentret. Til å ta seg av slike oppgaver, samt forebyggende vedlikehold, har en et felt-team på 6 teknikere. Til hjelp i dette arbeidet er det blitt opprettet et reparasjonsverksted i Brumunddal.

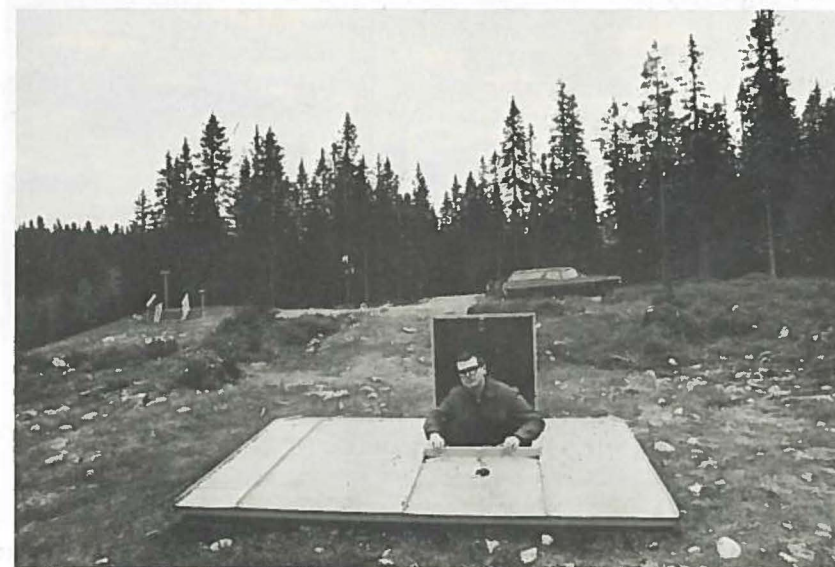


Fig. 2. Installasjonene ved et av NORSARs 22 sentralanlegg. Forrest nedgangen til de langperiodiske instrumenter, i bakgrunnen til venstre selve sentral-anlegget.

DATASENTRET

Inn til datasentret på Kjeller kommer de digitaliserte registreringene via 22 telefonlinjer, en fra hvert underanlegg. Utstyret i datasentret (Fig. 3 og 4) består først og fremst av 3 datamaskiner, en mindre spesialbygd og to IBM 360/40H maskiner. Videre finnes der 4 platestasjoner, 15 båndstasjoner, 2 kurveskrivere og diverse annet perifert utstyr. Sentret er utrustet med over 10.000 magnetbånd.

Fig. 5 viser noe av den daglige rutine ved sentret på Kjeller. Data kommer inn både fra NORSARs egne seismometre og fra et tilsvarende anlegg i USA, dit også noe av NORSARs egne data sendes. De mottatte signaler registreres og lagres på magnetbånd, separat for kortperiodiske og langperiodiske data, og det fylles opp ca et bånd pr løpende time. Denne store datamengde, ca 50.000 informasjonenheter pr sekund, ville stort sett være bortkastet hvis den ikke også kunne behandles og analyseres i samme øyeblikk som den kommer inn. Dette foregår i den såkalte deteksjonsanalyse, der en datamaskin i sann tid søker etter registreringer av mulige seismiske hendelser, jordskjelv eller eksplosjoner. Derved får en automatisk en liste over mulige hendelser, og denne registreres både på magnetbånd og plate. På grunn av arrayens evne til å søke i forskjellige retninger innover mot jordens indre vil det til hver slik automatisk deteksjon være knyttet også en beliggenhet, i



Fig. 3. Interiør fra datasentret på Kjeller. I forgrunnen linjeskrivere, kortlesere og kurveskrivere, sentralt og vendt mot hverandre de to datamaskiner, i bakgrunnen skimtes båndstasjoner og hyller med magnetbånd.



Fig. 4. Datasentrets hovedpanel for overvåking av feltinstallasjoner og data. På skjermen til høyre kan en følge de seismiske registreringene, skjermen til venstre viser den seismiske aktivitet som lysende punkter på et verdenskart, alt i sann tid. I bakgrunnen båndstasjoner.

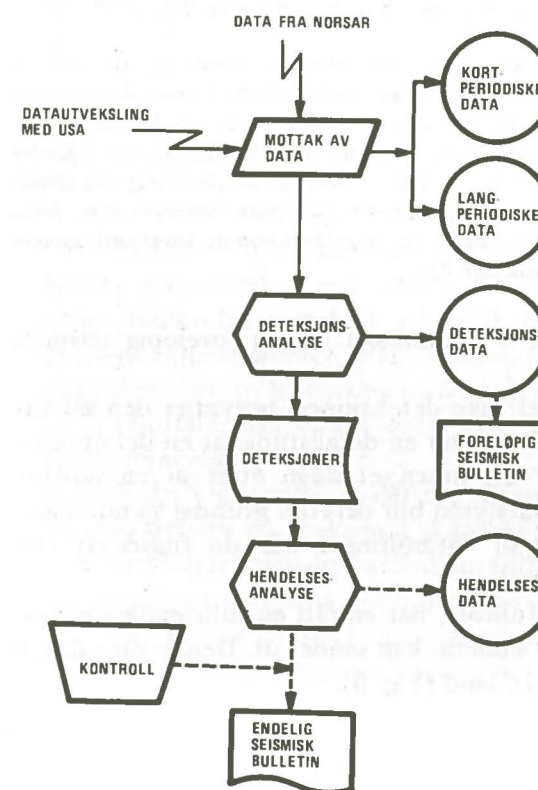


Fig. 5. Skjematisk oversikt over NORSARs daglige databearbeidelse. Heltrukket linje betegner sanntidsanalyse, prikket linje går til analyser som først foretas etter en viss tid.

ARRIVAL TIME	REF	PHS	AMP	PER	VEL	DIR	DEL	OR.	TIME	LAT	LONG	MB	REGION	Q
26 MAY 15.54.30.5	01A	P	1.0	0.9	17.1	117	75	15.42.51	15	68E	3.9	421	CARLSBERG RIDGE	3
26 MAY 19.07.32.4	01A	P	2.3	0.9	21.2	52	88	18.54.48	22N	140E	4.3	213	VOLCANO ISLANDS REGION	2
27 MAY 04.16.25.0	01A	P	0.0	0.9	17.2	24	64	04.05.56	52N	158E	0.0	217	KAMCHATKA	1
27 MAY 07.38.50.7	01A	PKP	6.7	0.8	29.8	26	145	07.19.19	26S	180E	4.4	171	SOUTH OF FIJI ISLANDS	1
27 MAY 08.46.03.5	01A	P	4.4	0.7	12.2	115	39	08.38.41	32N	51E	4.4	348	IRAN	1
27 MAY 09.06.13.0	01A	P	0.9	0.8	19.1	46	77	08.54.22	34N	142E	3.9	229	OFF E COAST HUNSHU, JAPAN	3
27 MAY 09.08.28.6	01A	PKP	4.2	0.8	32.3	27	144	08.49.01	25S	180W	4.3	171	SOUTH OF FIJI ISLANDS	2
27 MAY 11.30.31.9	01A	P	1.7	0.7	14.4	64	50	11.21.44	49N	102E	4.0	334	MONGOLIA	2
27 MAY 14.01.14.0	01A	P	0.6	0.7	13.5	96	45	13.53.02	36N	72E	3.6	717	AFGHANISTAN-USSR BORDER	3
27 MAY 14.06.11.8	01A	P	3.0	1.0	17.8	58	72	13.54.49	34N	127E	4.2	231	SOUTH KOREA	3
27 MAY 15.41.24.6	01A	P	0.5	0.6	13.4	93	43	15.33.29	39N	72E	3.6	716	KIRGIZ SSR	2
27 MAY 21.50.53.7	01A	P	4.5	0.9	17.8	35	70	21.39.46	44N	150E	4.4	221	KURILE ISLANDS	1
28 MAY 01.13.07.7	01A	PKP	5.6	0.9	29.8	28	145	00.53.36	27S	179E	4.3	171	SOUTH OF FIJI ISLANDS	2
28 MAY 01.59.21.6	01A	PKP	2.4	0.7	42.4	60	118	01.40.40	6S	151E	4.8	192	NEW BRITAIN REGION	2
28 MAY 02.09.37.7	01A	P	40.0	1.6	20.6	87	107	01.55.24	13S	112E	6.2	588	NORTHWEST OF AUSTRALIA	3
28 MAY 03.14.35.9	01A	P	3.7	0.9	21.6	286	85	03.02.06	11N	87W	4.4	77	OFF COAST OF COSTA RICA	2
28 MAY 03.19.58.0	01A	P	21.9	1.5	11.3	138	25	03.14.39	39N	30E	4.5	366	TURKEY	3
28 MAY 03.35.29.9	01A	P	1.2	0.9	20.3	72	91	03.22.31	10N	120E	4.2	253	SULU SEA	3
28 MAY 03.49.47.4	01A	P	1.1	0.9	18.1	43	72	03.38.28	40N	143E	3.9	228	NEAR E COAST HUNSHU, JAPAN	3
28 MAY 04.14.41.5	01A	P	9.2	1.1	17.7	44	70	04.03.32	41N	140E	4.7	224	HOKKAIDO, JAPAN, REGION	1
28 MAY 06.13.58.5	01A	P	1.5	0.7	12.4	115	42	06.06.12	29N	53E	3.9	353	SOUTHERN IRAN	2
28 MAY 06.27.28.0	01A	P	0.5	0.7	12.5	115	43	06.19.29	28N	54E	3.4	353	SOUTHERN IRAN	3
28 MAY 10.51.46.5	01A	P	14.0	0.8	17.8	37	70	10.40.39	44N	148E	5.0	221	KURILE ISLANDS	1
28 MAY 11.04.00.0	01A	P	1.0	0.8	20.4	70	92	10.50.56	10N	122E	4.2	257	NEGROS, PHILIPPINE IS.	3
28 MAY 11.42.34.7	01A	P	0.5	0.8	17.8	6	68	11.31.40	52N	174W	3.6	7	ANDREANOF IS., ALEUTIANS	3
28 MAY 12.27.35.5	01A	P	0.8	0.7	12.4	116	41	12.19.55	30N	52E	3.7	348	IRAN	3
28 MAY 12.35.33.7	01A	P	1.5	0.7	19.6	68	85	12.23.04	17N	122E	4.2	243	LUZON, PHILIPPINE ISLANDS	3
28 MAY 14.21.24.4	01A	P	4.7	0.8	18.0	37	71	14.10.09	43N	148E	4.5	225	OFF COAST HOKKAIDO, JAPAN	2
28 MAY 14.45.09.2	01A	P	0.8	0.9	11.3	172	24	14.39.58	37N	14E	3.3	400	MEDITERRANEAN SEA	3
28 MAY 15.21.35.2	01A	P	0.9	0.7	19.5	69	84	15.09.08	17N	120E	3.9	249	LUZON, PHILIPPINE ISLANDS	3
28 MAY 15.33.34.3	01A	P	2.7	0.9	20.9	72	97	15.20.05	4N	122E	4.9	262	CELEBES SEA	2
28 MAY 16.20.59.9	01A	P	3.8	0.8	19.5	68	84	16.08.32	18N	122E	4.5	249	LUZON, PHILIPPINE ISLANDS	1
28 MAY 16.24.58.8	01A	P	0.8	0.7	19.6	67	84	16.12.31	19N	123E	3.9	249	LUZON, PHILIPPINE ISLANDS	3
28 MAY 17.00.33.0	01A	P	5.0	0.9	13.3	97	44	16.52.31	37N	70E	4.3	718	HINDU KUSH REGION	1
28 MAY 18.30.49.4	01A	PKP	14.3	1.2	43.0	32	139	18.11.25	20S	178W	5.3	172	WEST OF TONGA ISLANDS	3
28 MAY 19.14.52.6	01A	P	1.3	0.7	19.8	68	86	19.02.18	16N	122E	4.1	249	LUZON, PHILIPPINE ISLANDS	2
28 MAY 19.50.55.5	01A	P	3.3	0.9	17.6	38	70	19.39.51	44N	146E	4.3	221	KURILE ISLANDS	2
28 MAY 19.55.56.6	01A	PKP	7.7	0.9	34.4	24	143	19.36.30	25S	177W	4.5	171	SOUTH OF FIJI ISLANDS	1
28 MAY 20.47.09.3	01A	P	2.5	1.0	20.4	70	92	20.34.06	10N	123E	4.5	257	NEGROS, PHILIPPINE IS.	3

Fig. 6. En side fra en av de ukentlige seismiske bulletiner fra NORSAR. De enkelte kolonner gir bølgenes ankomsttid (arrival time) og hvilket underanlegg denne tiden knyttes til (ref), bølgestype (phs), amplitude i 10^{-9} m (amp), bølgeperiode i sekunder (per), bølgefrontens hastighet over arrayen i km/s (vel) og dens retning eller azimuth i grader (dir), avstand fra arrayen til rystelsens sentrum regnet i storsirkelgrader (del), tidspunkt da rystelsen fant sted (or.time) og lengde og bredde for dens sentrum (lat, lon), magnitudo (mb), region nummer og navn basert på et internasjonalt anerkjent system (region), og i siste kolonne en kvalitetsindikator (Q).

tillegg til starttid og styrke. Dette er grunnlaget for en foreløpig seismisk bulletin.

Etter at det er samlet opp en del slike deteksjoner, begynner den såkalte hendelsesanalyse, der en datamaskin foretar en detaljstudie av en del utvalgte deteksjoner. Dette foregår stort sett innen et døgn etter at en mottok signalene, og resultatene av denne analysen blir deretter grundig gjennomgått av seismologer, som retter og gjør forandringer når de finner at den automatiske løsningen ikke er god nok.

Først etter at dette arbeidet er fullført, har en fått en fullstendig oversikt over registreringene, og en seismisk bulletin kan sendes ut. Denne går i dag ut til 48 vitenskapelige institusjoner i 16 land (Fig. 6).

En annen av datasentrets oppgaver er å forestå den overvåking av feltinstallasjonene som er nevnt ovenfor. Gjennom dette arbeidet gjøres instrumenter og elektronikk stadig til gjenstand for en grundig analyse og kontroll, og oppståtte feil rettes på så fort som mulig. Når forskerne senere skal arbeide med noe av dataene, har de derfor tilgjengelig en god oversikt over hvordan status av instrumentene var på et gitt tidspunkt.

Endelig hører det også til datasentrets oppgaver å legge forholdene best mulig til rette for de forskere som skal arbeide med dataene. Her dreier det seg om ting som å fremskaffe oversikter over hva som er tilgjengelig av data, finne fram til disse når de trenges, og ikke minst å betjene datamaskinene.

STATUS PR 30.6.72

NORSAR antas i dag å være landets største anlegg for sanntidsbearbeidelse av data: ca. 50.000 informasjonsenheter mottas, behandles og registreres per sekund. Utviklingen av dette har vært en komplisert oppgave, og et godt eksempel på en såkalt forskings- og utviklingsoppgave. I dag kjøres anlegget rutinemessig og med en høy driftssikkerhet (98-99%), og i sin helhet av norsk personell.

En av NTNF/NORSARs hovedoppgaver, i den daglige drift, er å finne ut hvor mange og hvor små rystelser et seismisk anlegg av denne type kan oppfatte fra de forskjellige deler av verden, og hvor godt disse kan lokaliseres. På grunn av den kontinuerlige innsats som er lagt ned på dette felt, er NORSARs evne til å rapportere hendelser omtrent blitt fordoblet etter at anlegget kom i full drift i løpet av våren 1971. Basert på resultater fra første halvår 1972 har en funnet at NORSAR rapporterer 90% av alle hendelser med en kortperiodisk magnitudo over 4.0, fra den halvpart av jorden som ligger nærmest stasjonen. Dette tilsvarer at det rapporteres daglig 15-20 hendelser i gjennomsnitt, som lokaliseres av NORSAR med en sikkerhet som tilsier at halvparten plasseres nærmere enn 150 km fra det virkelige senter for rystelsen. Identifikasjonsterskelen er ennå ikke bestemt med tilsvarende sikkerhet, men resultatene hittil tyder på at den ligger ca en magnitudo-enhet over deteksjonsterskelen, altså på ca 5.0 (se Fig. 9). Alt dette er resultater som en forventer ytterligere å kunne forbedre endel i løpet av det kommende år.

Den viktigste grunn til at det tar såpass lang tid å innstille følsomheten til NORSAR-arrayen på maksimal skarphet er at ingen regioner hvor rystelser oppstår produserer signaler med akkurat de samme egenskaper. Dette skyldes inhomogeniteter i jordens indre, og fører til at en, etter å ha fokusert på et punkt, ikke kan skifte over til et annet uten at bildet blir uklart. Derfor må store mengder informasjon samles inn om hver region, hvoretter denne

informasjon tilbakeføres i systemet slik at en bedre vet hva en kan forvente når nye rystelser oppstår. Disse erfaringer kan også føre til at en må forandre på de mer grunnleggende metodene for databehandlingen.

Dette møysommelige arbeid for å forbedre NORSARs evne til å detektere og lokalisere seismiske hendelser pågår stadig, og en kan ytterligere forvente å oppnå endel forbedringer. Imidlertid går en asymptotisk mot en optimal grense, slik at forbedringer blir stadig vanskeligere å oppnå.

Forskning og utvikling

NTNF/NORSAR er en forskningsinstitusjon. Som formålsparagrafen tilsier, konsentreres det meste av forskningen innen områder som er knyttet til problemene deteksjon og identifikasjon av underjordiske kjernefysiske prøver. I praksis betyr dette at en ofte må tilbake til rent seismologiske grunnproblemer, og det har derfor også blitt arbeidet med et stort spektrum av problemer (kfr. publikasjonslisten).

Organisatorisk har en ved NTNF/NORSAR en forskningsgruppe på fire personer. I praksis har også flere forskere i driftsgruppen deltatt i forsknings- og utviklingsarbeidet, samtidig som forskningsgruppen har deltatt i oppgaver knyttet til den daglige drift av anlegget. Endelig har en også hatt stor nytte av utenlandske gjesteforskere.

I løpet av utbyggingsperioden, spesielt fram til 1.7.71, var det en særlig oppgave for NTNF/NORSARs personell å tilegne seg den nødvendige kjennskap til anlegget, slik det var bygget opp fra amerikansk side. I praksis foregikk dette ved at en arbeidet med spesielle utviklingsoppgaver, og også tok del i planleggingsarbeidet. Da utbyggingen av NORSAR var et typisk forsknings- og utviklingsprosjekt, måtte en i noen grad prøve seg fram med løsninger, og også av og til forandre de opprinnelige planer. Fra første stund ble det viktig å prøve å dra mest mulig informasjon ut av registreringene, slik at en kunne utnytte dette i det videre arbeid.

DETEKSJON

De forskningsoppgaver som en i denne første fase særlig har konsentrert seg om, har vært knyttet til påvisning av seismiske hendelser, dvs. i praksis å gjøre NORSAR til et best mulig deteksjonsinstrument. Det er selvkjent at før en kan begynne å interessere seg for opprinnelsen til en rystelse, må den i det hele tatt påvises. Dette problem, som er så enkelt å definere, er likevel nokså komplisert å løse, og forbedringene foregår sjelden i store sprang. Fig. 7 viser

noen eksplosjoner og jordskjelv som er blitt registrert fra forskjellige deler av verden. Forskjellene er som en ser store, og det er ikke enkelt å finne en deteksjonsprosedyre som kan fungere tilfredsstillende på alle signaler. Her har en ofte igjen måttet behandle de forskjellige regioner hver for seg. Denne økede innsikt i hva slags data en har å arbeide med har, i tillegg til forbedringer innen den opprinnelige ramme, også ført fram til utviklingen av en helt ny deteksjonsteknikk.

I tillegg til arbeidet med å forbedre deteksjonsevnen har det foregått et parallelt evalueringsarbeid for å finne ut hva et anlegg som NORSAR til enhver tid kan prestere. Dette sammenlignes med resultatene av teoretiske studier over deteksjonsevnen. Her igjen må de forskjellige regioner behandles separat, da det er stor forskjell på arrayens følsomhet fra en seismisk sone til en annen. Studier av denne art vil komme godt til nytte hvis det noen gang blir aktuelt med en utvidet prøvestansavtale. Da vil det nemlig være viktig å kunne ha en begrunnet oppfatning av hva store seismiske anlegg som NORSAR kan bidra med.

Det som i virkeligheten setter begrensningen for hvor små rystelser en kan oppfatte, er den såkalte bakgrunnstøyen. Dette er små, til enhver tid nærværende rystelser som en ikke er interessert i, og som ofte skjuler de rystelser en gjerne vil ha tak i. En av de viktigste årsaker til denne støyen, som en ofte kaller mikroseismikk, er meteorologiske stormer over åpent hav og dessuten bølgeslag mot kysten. Ut fra det prinsipp at en bør kjenne sine fiender best mulig er det ved NORSAR lagt ned en god del arbeid på å kartlegge i detalj den mikroseismiske aktivitet, som ofte varierer betydelig fra et tidspunkt til et annet. På denne måten blir deteksjonsterskelen ikke bare avhengig av hvilken region en ser på, men også av tidspunktet.

Mye av forskningen rundt disse problemene konsentrerer seg om å finne

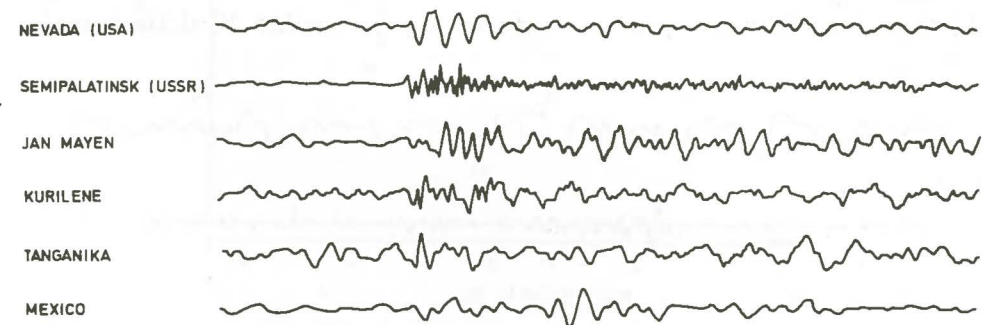


Fig. 7. Typiske registreringer fra et enkelt-seismometer ved NORSAR. De to første er underjordiske kjernefysiske eksplosjoner, de øvrige naturlige jordskjelv.

fram til metoder for reduksjon av støyen. Fig. 8 gir et eksempel på hvordan en ved å kombinere registreringer fra et stort antall seismometre kan få fram signaler som knapt ville vært synlige med bare ett instrument. Denne evne til å oppfatte og forbedre svake signaler er en av de to viktigste egenskaper hos en stor seismisk array. Den andre er knyttet til lokaliseringsevnen.

LOKALISERING

Like viktig som å kunne detektere en seismisk hendelse er det å kunne lokalisere den, dvs. finne et best mulig estimat av hvor rystelsens sentrum ligger. Dette er samtidig en av de viktigste diskriminanter (test som forteller noe om opprinnelsen til en hendelse), da de fleste geografiske posisjoner i seg selv utelukker at der kan ha funnet sted en kjernefysisk eksplosjon. Den beste metode til å lokalisere en hendelse er å kombinere registreringstidspunktene til et større antall stasjoner fra hele verden. På den måten kan hendelsen ofte lokaliseres med en feil på under 10 km, og i de fleste tilfeller mindre enn 50 km. Slik lokalisering foretas i dag rutinemessig av internasjonale institutter, men det tar måneder, ofte år, før resultatene foreligger, og da bare for de aller største rystelsene.

Ved NORSAR arbeides det betydelig raskere, det første estimat av lokaliseringen foreligger umiddelbart etter registreringen, mens et forbedret og gjennomarbeidet estimat normalt foreligger i løpet av et døgn (Fig. 5). Presisjonen er i dag slik at halvparten av rystelsene lokaliseres med en feil på mindre enn 150 km, når avstanden til sentret er mellom 3.000 og 9.000 km fra NORSAR. Denne feil er mellom 3 og 15 ganger større enn det en kan oppnå med et verdensomspennende nett av stasjoner, men dette oppveies langt av tidsfaktoren. Dessuten kan NORSAR innenfor mange regioner i dag rapportere og lokalisere betydelig svakere, og dermed flere, hendelser enn nettet av konvensjonelle stasjoner.

Som Fig. 5 antyder, er NORSAR i dag koplet til et tilsvarende anlegg i USA med en direkte linje for datautveksling, via satellitt. På dette grunnlag

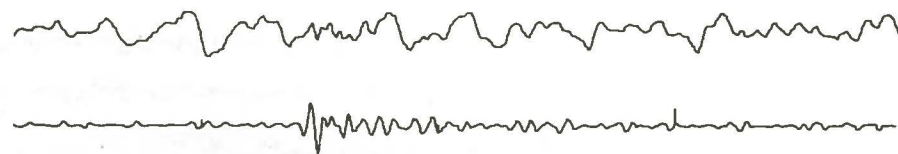


Fig. 8. Eksempel på en NORSAR-registrering av et jordskjelv i Kurilene før og etter anvendelse av metoder for å redusere støyen. Den øverste er fra et enkeltseismometer, den nederste viser resultatet etter at registreringer fra 132 slike seismometre er blitt utnyttet.

er en metode blitt utviklet som lokaliserer ved å kombinere informasjon fra to eller flere slike anlegg. Dermed oppnås en presisjon i lokaliseringen som ofte er like god som det en kan oppnå med et omfattende nett av konvensjonelle stasjoner. Samtidig beholder en fordelen ved en rask behandling av dataene og oppnår dessuten en betydelig bedre dekning av små rystelser.

DISKRIMINERING

Etter at en rystelse er detektert og lokalisert, kommer spørsmålet om det er et naturlig jordskjelv eller en eksplosjon. Dette kalles diskriminering, klassifisering eller identifisering, og er internasjonalt blitt gjenstand for en betydelig forskningsinnsats over en lang årrekke. I dette arbeidet har en bokstavelig talt gått til kilden på den måte at en har søkt å oppnå en bedre forståelse for selve mekanismen ved utløsningen av jordskjelv og eksplosjoner. Disse er i alminnelighet ganske forskjellige men ikke uten unntak, idet noen ganske få jordskjelv på de fleste måter oppfører seg som eksplosjoner.

I tillegg til disse vanskelige unntakene er situasjonen i dag også den at bare

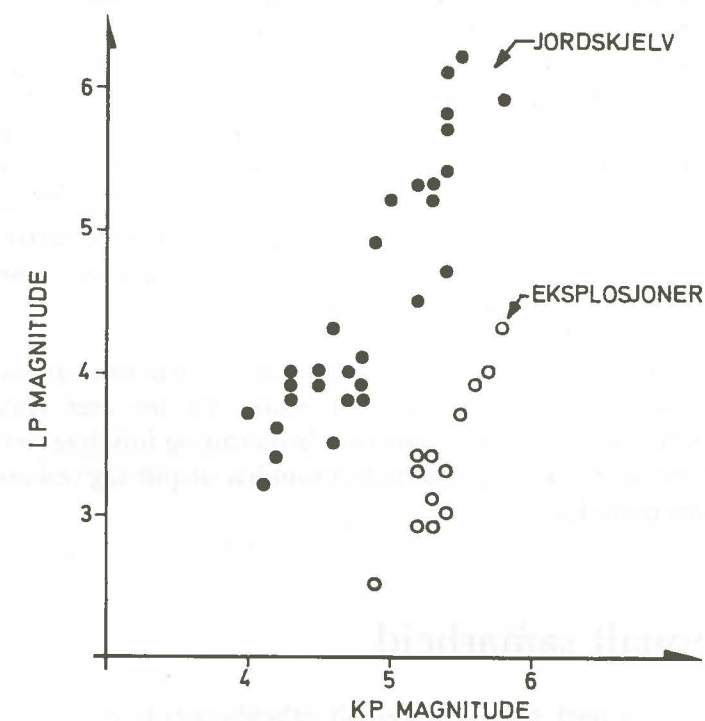


Fig. 9. Forholdet mellom kortperiodisk (KP) og langperiodisk (LP) magnitudo for endel jordskjelv og eksplosjoner fra Sentral-Asia. Dataene er fra 1971 og første halvår av 1972, og viser god separasjon mellom jordskjelv og eksplosjoner.

rystelser over en viss størrelsesorden kan identifiseres med tilstrekkelig sikkerhet. Dette kalles identifikasjonsterskelen, som alltid ligger en del over deteksjonsterskelen. Arbeidet ved NTNf/NORSAR innen dette felt har hittil vært konsentrert om å utprøve de forskjellige diskriminanter en kjenner i dag, og innen denne ramme finne ut hva som er NORSARs identifikasjonsterskel.

Den beste av disse diskriminanter baserer seg på en sammenligning mellom rystelsens magnitudo beregnet på samtidige registreringer fra kortperiodiske og langperiodiske instrumenter. Fig. 9 viser dette anvendt på data fra Sentral-Asia registrert ved NORSAR i tiden 1971/72. På grunn av at eksplosjoner utvikler mindre langperiodisk energi vil disse falle på et sted i diagrammet (sirkler) mens jordskjelvene vil gruppere seg et annet sted. Ved å foreta samme type beregning på nye rystelser vil en dermed kunne avgjøre om de kan klassifiseres som jordskjelv eller eksplosjoner.

Som det implisitt går fram av Fig. 9 er det mulig å oppfatte langperiodiske (LP) bølger fra jordskjelv ned til en hel kortperiodisk (KP) magnitudo mindre enn hva grensen er for eksplosjoner. Dette er en av de begrensninger som gjør at identifikasjonsterskelen ved NORSAR ligger ca. en magnitudo høyere enn deteksjonsterskelen, henholdsvis ved ca 5.0 og 4.0.

Det er vanskelig å gjøre magnitudene i Fig. 9 om til ladningsstørrelse da en her mangler den nødvendige kalibrering. Hvis en imidlertid forutsetter samme koplingseffekt som ved amerikanske eksplosjoner, er det ting som tyder på at den svakeste eksplosjon i Fig. 9 har en ladning som ligger i en størrelsesorden tilsvarende 1–10 kilotonn TNT i fast fjell. Dette betyr imidlertid ikke at alle eksplosjoner av denne størrelsesorden fra dette område kan identifiseres, da dette som ovenfor antydnet også er avhengig av bakgrunnsstøyens styrke på det aktuelle tidspunkt.

Denne korte oversikt over en del problemer som det har vært arbeidet med ved NORSAR er naturlig nok ikke fullstendig. En litt mer systematisk oversikt kan en få ved å studere listene over litteratur og foredrag, selv om de også bare reflekterer en del av den aktivitet som har utspilt seg ved instituttet i den siste to-års periode.

Internasjonalt samarbeid

Som en institusjon med et typisk globalt arbeidsområde er det naturlig at NTNf/NORSAR satser særlig på internasjonalt samarbeid. Anlegget er helt åpent, og dataene er tilgjengelige for alle interesserte. Den opprinnelige samarbeidsavtale med USA forutsetter også at Norge legger forholdene ved

NORSAR best mulig til rette for at forskere fra andre land kan utnytte data fra og arbeide ved institusjonen.

Det en her har å vise til er en rekke utenlandske forskere som har vært innom NTNf/NORSAR på opphold fra et par uker til flere måneder. Spesielt har de andre skandinaviske land vist en betydelig interesse. Arbeidsoppgavene har i noen utstrekning vært innenfor deteksjonsseismologi, men det har også vært arbeidet med helt andre og rent seismologiske problemer.

I tillegg til disse langtidsbesøkende har et større antall utenlandske forskere avlagt kortere besøk. Høydepunktet i så måte var et seminar som ble avviklet i Oslo i november 1971 i forbindelse med at utbyggingen av NORSAR var fullført. Til slutt møtte det opp et sekstitalt utenlandske gjester, og seminaret ble faglig sett særdeles vellykket.

Ved siden av NORSARs funksjon som et forskningssenter, foregår det også et internasjonalt samarbeid med utveksling av data. Et viktig ledd her er utsendelsen av en seismisk bulletin hver uke (Fig. 6), men en får også endel henvendelser om utveksling av rådata. Dessuten kommer selvfølgelig den direkte datautveksling med USA inn her.

Endelig har en det ikke uvesentlige internasjonale samarbeid som kommer i stand ved den reisevirksomhet som NORSARs egne forskere utfører. Først og fremst gjelder dette deltagelse på kongresser, der en kan legge fram og diskutere nyere resultater (se listen over foredrag), og der en kan møte personer som arbeider med problemer en selv interesserer seg for. Mange av de første kontakter i forbindelse med NORSARs egne besøkende er blitt opprettet ved slike høve.

Ordforklaringer

Detekttere:	Å konstatere tilstedeværelsen av en seismisk hendelse.
Deteksjonsterskel:	Det magnitudo-nivå ved hvilket bare en gitt prosent (ofte 90% eller 50%) av det totale antall hendelser blir detektert.
Digitalisere:	Å framskaffe fra en analog representasjon av seismiske utslag en digital representasjon av utslagenes størrelse.
Diskriminere: (Identifisere) (Klassifisere)	Å arrangere detekterte seismiske hendelser i to klasser, jordskjelv og eksplosjoner, basert på beslutninger ved gitte sannsynlighetsnivå.
Hendelse:	En plutselig forandring i fase eller amplitude på en seismisk registrering, normalt et naturlig jordskjelv eller en eksplosjon.
Lokalisere:	Å bestemme den geografiske plassering av en seismisk hendelse.
Magnitudo:	En størrelse som er karakteristisk for den totale energi utløst av en seismisk hendelse.
Sanntidsanalyse:	Analyse innenfor et system som foregår i en takt som bestemmes av begivenheter i et annet system, her: som bestemmes av tilførselen av nye seismiske data.
Seismisk array:	En samling av seismometre plassert i et gitt geometrisk mønster utover et gitt geografisk område.
Seismometer:	Instrument som gir utslag for seismiske bølger.
Software:	Programmer og prosedyrer som knyttes til en databehandlingsmaskin i den hensikt å tilrettelegge bruken av denne.

Artikler og rapporter

Artikler

- Bungum, H.:* An Evaluation of the Routine Processing of Events at NORSAR, Til Trykning, Proceedings, Seminar on Seismology and Seismic Arrays, Oslo, November 1971.
- Bungum, H.:* Forskningsvirksomheten ved NORSAR, Årbok 1971/72, Utvalget for rustningskontroll og nedrustning, Oslo 1972.
- Bungum, H., and E.S. Husebye:* Errors in Time Delay Measurements, Pure and Appl. Geophys., 91: pp. 56–70, 1971.
- Bungum, H., og E.S. Husebye:* Aspekter ved Digital Seismisk Analyse, Ingeniør-Nytt, No. 5, Feb 1971.
- Bungum, H., E.S. Husebye og F. Ringdal:* The NORSAR Array and Preliminary Results of Data Analysis, Geophys. J.R. Astr. Soc., 25: pp. 115–126, 1971.
- Bungum, H., E. Rygg og L. Bruland:* Short-Period Seismic Noise Structure at the Norwegian Seismic Array, Bull. Seism. Soc. Am., Vol 61: pp. 357–373, 1971.
- Doornbos, D., og E.S. Husebye:* Array Analysis of Core Precursor Waves, Til Trykning, Proceedings, Seminar on Seismology and Seismic Arrays, Oslo, November 1971.
- Doornbos, D., og E.S. Husebye:* Array Processing of Core Phases and their Precursors, Til trykning, Phys. of Earth and Plan. Int., 1972.
- Filson, J., og H. Bungum:* Initial Discrimination Results from the Norwegian Seismic Array, Til Trykning, Proceedings, Seminar on Seismology and Seismic Arrays, Oslo, November 1972.
- Filson, J., og H. Bungum:* Initial Discrimination Results from the Norwegian Seismic Array, Til trykning, Geophys. J.R. Astr. Soc.
- Gjøystdal, H., E.S. Husebye og D. Rieber-Mohn:* One-Array and Two-Array Location Capabilities, Til Trykning, Bull. Seism. Soc. Amer., 1972.
- Gjøystdal, H., E.S. Husebye og D. Rieber-Mohn:* Simulating Array Event Location Capabilities, Til Trykning, Proceedings, Seminar on Seismology and Seismic Arrays, November 1971.
- Husebye, E.S.:* The Norwegian Seismic Array, Comm. Ser. A, No. 13, Obs. Royal de Belgique, 1971.
- Husebye, E.S.:* Seismic Arrays and Seismology, Acta Universitatis Upsalensis, 223, Uppsala 1972.

Husebye, E.S., og H. Bungum: Seismic Arrays and Data Handling Problems, Comm. Ser. A, No. 13, Obs. Royal de Belgique, 1971.

Husebye, E.S., R. Kanestrøm og R. Rud: Vertical and Lateral Inhomogeneities in the Earth's Deep Mantle, Comm. Ser. A, No. 13, Obs. Royal de Belgique, 1971.

Husebye, E.S., R. Kanestrøm og R. Rud: Observations of Vertical and Lateral P-velocity in the Earth's Mantle using the Fennoscandinavian Continental Array, Geophys. J. R. Astr. Soc., 25: pp. 3-16, 1971.

Noponen, I., E.S. Husebye og D. Rieber-Mohn: Extraction of P Wave Spectra using the NORSAR Array, Til Trykning, Proceedings, Seminar on Seismology and Seismic Arrays, November 1971.

Steinert, O.: NORSAR, The Norwegian Seismic Array, Ingeniør-Nytt, No. 7, Feb 1971.

Steinert, O.: NORSAR - et øre mot jorden, Hamar Stiftstidende, 20 og 23 november 1970.

Steinert, O.: NORSAR - seismologisk observation i verdensstørrelse, Årbok 1971/72, Utvalget for rustningskontroll og nedrustning, Oslo 1972.

Spesielle tekniske rapporter

Bungum, H., og E.S. Husebye: Errors in Time Delay Measurements, NORSAR Techn. Report No. 3

Bungum, H., E.S. Husebye og F. Ringdal: The NORSAR Array and Preliminary Result of Data Analysis, NORSAR Techn. Report No. 4

Bungum, H., og K.A. Berteussen: An Evaluation of the Routine Processing of Events at NORSAR during the Time Period May - October 1971, NORSAR Techn. Report No. 24

Gjøystdal, H., E.S. Husebye og D. Rieber-Mohn: One-Array and Two-Array Location Capabilities, NORSAR Techn. Report No. 29

Husebye, E.S.: The Norwegian Seismic Array, NORSAR Tech. Report No. 7

Husebye, E.S., R. Kanestrøm og R. Rud: Vertical and Lateral Inhomogeneities in the Earth's Deep Mantle, NORSAR Techn. Report No. 5

Husebye, E.S. R. Kanestrøm og R. Rud: Observations of Vertical and Lateral P-velocity Anomalies in the Earth's Mantle using the Fennoscandinavian Continental Array, NORSAR Techn. Report No. 6

Husebye, E.S., og H. Bungum: Seismic Arrays and Data Handling Problems, NORSAR Techn. Report No. 8

Kontraktspliktige rapporter

Progress Reports, 3rd&4th Quarters 1970, NORSAR Reports No. 2 og 10
Progress Reports, 1st-4th Quarters 1971, NORSAR Reports No. 13, 17, 18 og 20.

Progress Reports, 1st&2nd Quarters 1972, NORSAR Reports No. 25 og 34.
System Operation Report 1 July - 31 December 1970, NORSAR Report No. 15

System Operation Report 1 January - 30 June 1971, NORSAR Report No. 36

NORSAR Research and Development, 1 July 1970 - 30 June 1971, NORSAR Report No. 23.

Field Maintenance Report, 1 July - 31 December 1970, NORSAR Report No. 31

Foredrag

Gitt i tiden 1.7.70 – 30.6.72

(* = foredragsholder)

*Berteussen, K.A., and H. Bungum**: Real time signal detection on single time series. Second Nordic Seminar on Detection Seismology, Hagfors, Sverige, 1–4 mars 1971.

*Bungum, H. *, and K.A. Berteussen*: Initial evaluation results from NORSAR. Seminar on Seismology and Seismic Arrays, Oslo, 22–25 november 1971.

Bungum, H.: Discrimination results from NORSAR. Third Nordic Seminar on Detection Seismology, Roskilde, Danmark, 8–10 mai 1972.

Bungum, H.: Evaluation of the routine processing of events at NORSAR. Third Nordic Seminar on Detection Seismology, Roskilde, Danmark, 8–10 mai 1972.

Bungum, H.: En oversikt over teknikker for digital filtrering, med spesiell referanse til NORSAR. Dansk Geofysisk Forening, København, Danmark, 17 november 1970.

Bungum, H.: Forskningsvirksomheten ved NORSAR. Fellesmøtet av det danske og norske nedrustningsutvalg, Oslo, 3 mai 1972.

Bungum, H.: NORSAR event analysis. Seminar Digitale Datenverarbeitung an seismischen Arrays, Karlsruhe, Vest-Tyskland, 25–27 januar 1971.

Bungum, H.: Prefiltering in seismic surveillance. Second Nordic Seminar on Detection Seismology, Hagfors, Sverige, 1–4 mars 1971.

Bungum, H., og E.S. Husebye*: Aspekter av digital seismisk analyse. Industriseminarets foredragsserie om undersøkelser på kontinentalsokkelen, Oslo, 7–10 desember 1970.

Bungum, H., and E.S. Husebye*: Seismic Arrays and data handling problems. Twelfth general Assembly of the European Seismological Commission, Luxembourg, 21–29. September 1970.

Bungum, H., E.S. Husebye and F. Ringdal*: Aspects of on-line and off-line processing of NORSAR data. Seventh UMC Symposium on Geophysical Theory and Computers, Stockholm, Sverige, 17–28 august 1970.

Doornbos, D., and E.S. Husebye*: Array processing of core phases and their precursors. Seminar on Seismology and Seismic Arrays, Oslo, 22–25 november 1971.

Filson, J., and H. Bungum*: Initial long period results at NORSAR. Seminar on Seismology and Seismic Arrays, Oslo, 22–25 november 1971.

Gjøystdal, H., E.S. Husebye and D. Rieber-Mohn*: Locating events using one and two large aperture arrays. Third Nordic Seminar on Detection Seismology, Roskilde, Danmark, 8–10 mai 1972.

Husebye, E.S.: DT/D Δ measurements using seismic arrays. Seminar Digitale Datenverarbeitung an seismischen Arrays, Karlsruhe, Vest-Tyskland, 25–27 januar 1971.

Husebye, E.S.: En seismologisk beskrivelse av NORSAR-arrayen. Årsmøte Norsk Geofysisk Forening, Sandefjord, september 1971.

Husebye, E.S.: Event detection and localization problems for seismic arrays. MIT Conference on Seismic Discrimination, Cambridge, Mass., USA, 10–12 januar 1972.

Husebye, E.S.: The NORSAR array. Twelfth General Assembly of the European Seismological Commission, Luxembourg, 21–29 september 1970.

Huseby, E.S., H. Gjøystdal and D. Rieber-Mohn*: Estimating array location capabilities. Seminar on Seismology and Seismic Arrays, Oslo, 22–25 november 1971.

Husebye, E.S., and R. Kanestrøm*: Observations of vertical and lateral P-velocity anomalies in the earth's mantle using the Fennoscandian Continental Array. Seventh UMC Symposium on Geophysical Theory and Computers, Stockholm, Sverige, 17–28 august 1970.

Husebye, E.S., R. Kanestrøm and R. Rud*: Direct Measurement of the P-wave parameter DT/D Δ using the Fennoscandinavian Continental Array. Twelfth General Assembly of the European Seismological Commission, Luxembourg, 21–29 september 1970.

Husebye, E.S., I. Noponen and D. Rieber-Mohn*: Signal spectra at NORSAR. Seminar on seismology and Seismic Arrays, Oslo, 22–25 november 1971.

Rieber-Mohn, D.: Short period discrimination criteria. Second Nordic Seminar on Detection Seismology, Hagfors, Sverige, 1–4 mars 1971.

Ringdal, F.: Aspects of the NORSAR on-line system. Seminar Digitale Datenverarbeitung an seismischen Arrays, Karlsruhe, Vest-Tyskland, 25–27 januar 1971.

Ringdal, F., and E.S. Husebye*: NORSAR Detection Algorithms and incoherent Beamforming. Third Nordic Seminar on Detection Seismology, Roskilde, Danmark, 8–10 mai 1972.

Ringdal, F.: NORSAR – fra rystelser i jordskorpen til seismisk bulletin. NORDATA-konferanse, Stavanger, 21–24 juni 1971.

Steinert, O.: Menneske-maskin samvirke ved seismologisk signalanalyse og instrument-overvåking. NORDATA-konferanse, Stavanger, 21–24 juni 1971.

Steinert, O.: On computerized NORSAR field instrumentation monitoring

and NORSAR data reliability. Third Nordic Seminar on Detection Seismology, Roskilde, Danmark, 8–10 mai 1972.

Steinert, O.: Orientering om NORSAR. Industriseminarets foredragsserie om undersøkelser på kontinentalsokkelen, Oslo, 7–10 desember 1970.