GEOFYSIKEN

I DANMARK

METEOROLOGI - HYDROGRAFI
JORDMAGNETISME
SEISMOLOGI

VED

J. EGEDAL
J. P. JACOBSEN
V. LAURSEN
I. LEHMANN
J. OLSEN
INGOLF SESTOFT



EJNAR MUNKSGAARD
KØBENHAVN 1945

SEISMOLOGI

Ved

I. LEHMANN

Seismologien beskæftiger sig med studiet af jordskælv. Den bygger dels paa umiddelbare iagttagelser af jordskælvenes saakaldte makroseismiske virkninger, dels paa instrumentelle optegnelser, hovedsagelig af de svage, mikroseismiske virkninger. Man studerer det enkelte jordskælvs ytringsformer og makroseismiske udbredelsesomraade, jordskælvenes geografiske fordeling og deres hyppighed og søger derigennem at komme til forstaaelse af deres sammenhæng med andre geofysiske fænomener og af aarsagerne til deres optræden. De instrumentelle optegnelser støtter paa forskellig maade disse undersøgelser, særlig ved at muliggøre nøjagtige bestemmelser af et jordskælvs udgangspunkt eller focus. De danner tillige grundlaget for de seismiske undersøgelser af jordens indre. Jordskælvsbevægelsen forplanter sig som elastiske bølger ind igennem og rundt om jorden. Bestemmer man bølgernes tidskurver eller hodografer, der er forplantningstiden fremstillet som funktion af afstanden fra epicentrum (punktet paa jordoverfladen lodret over focus), kan man deraf udlede forplantningshastigheden i forskellig dybde. Af dennes størrelse og variation kan man drage visse slutninger om beskaffenheden af det materiale, bølgerne gennemløber, og om jordklodens struktur. Særlig vægt lægges paa bestemmelse af beliggenheden af de saakaldte diskontinuitetsflader, der skiller materialer af forskellig beskaffenhed, idet den seismiske metode er den eneste geofysiske metode, der tillader saadanne bestemmelser.

Det var ikke før i slutningen af forrige aarhundrede, at man begyndte at bygge følsomme seismografer, paa hvilke jordskælv kunde optegnes i stor afstand fra deres udgangspunkt. Indtil da havde jordskælvsforskningen ikke andre iagttagelser at bygge paa end dem, der kunde anstilles i det makroseismiske udbredelsesomraade. Da der kun sjældent er jordskælv her i landet, og de jordskælv, der forekommer, er smaa, var der ikke megen tilskyndelse til jordskælvsforskning og heller ikke meget materiale, hvormed man kunde bidrage til en saadan forskning, saalænge der kun var tale om makroseismiske undersøgelser.

Nogle undersøgelser af denne art er dog udført af danske forskere, og de skal først omtales.

Den første, der har interesseret sig for at indsamle oplysninger om jordskælv her i landet synes at være Sjællands biskop *L. Harboe,* der efter et ret stort jordskælv i 1759 opfordrede stiftets præster til at indsende beretninger derom. De blev benyttet af astronomen *C. Horrebow,* der i Videnskabernes Selskabs Skrifter (1765) gav en skildring af jordskælvet og dets virkninger. Senere har geologerne *J. G. Forchammer* (1794—1865) og *J. F. Johnstrup* (1818—94) indsamlet oplysninger om enkelte jordskælv og bearbejdet dem. Beretninger findes bl. a. i *Oversigter over Videnskabernes Selskabs Forhandlinger.*

Et tilløb til en systematisk indsamling af jordskælvsiagttagelser blev gjort i 1895. I Sverige og Norge havde man fra geologisk side sat en jordskælvstjeneste igang, og man opfordrede *Dansk Geologisk Forening* til at gøre det samme her i landet. Der blev da til post- og telegrafkontorer og fyr landet over udsendt spørgeskemaer, som i tilfælde af jordskælv skulde indsendes med oplysninger derom.

Der indkom derfor mange meddelelser om et jordskælv, der fandt sted i Jylland i december 1895. De blev bearbejdet af geologen *V. Hintze* (1863—1934) (Medd. D. Geol. For. 3. 1896; sammesteds Hintzes bearbejdelse af Johnstrups materiale vedr. jordskælvet 21/5 1881). I de følgende aar indkom enkelte meddelelser om smaarystelser. I anledning af det skandinaviske jordskælv 23/10 1904 udsendte Dansk Geologisk Forening nye spørgeskemaer og fik en stor mængde besvarelser. Hintze gav en fore-

løbig meddelelse om jordskælvet paa grundlag af dem. Senere blev de overladt til oberstløjtnant *E. G. Harboe* (1845—1919), der offentliggjorde en bearbejdelse (Medd. D. Geol. For. 16, 1910; Gerl. Beitr. Geoph. 11, 1912).

I 1903 oprettedes den (første) *Internationale Seismologiske Association*, der fik centralbureau i Strassburg. Man indsamlede der oplysninger om jordskælv fra hele verden. E. G. Harboe medvirkede ved fremskaffelse af oplysninger, ikke blot her fra landet, men ogsaa fra udlandet, og han opnaaede i 1904, at Udenrigsministeriet henstillede til sine konsuler at rapportere jordskælv til ham. I de første aar derefter indkom en del meddelelser. Paa Harboes opfordring udsendte desuden Meteorologisk Institut i 1905 spørgekort til sine observatorer paa Færøerne, i Island, Grønland og Dansk Vestindien. Harboe tilstillede det internationale bureau alle de oplysninger, der indkom. Han har desuden i to publikationer givet meddelelser om jordskælv og vulkanudbrud i Danmark med bilande for tiden 1903—1913. (Medd. D. Geol. For. Bd. 3 & 4) og har bearbejdet to større islandske jordskælv (Gerl. Beitr. Geoph. 12 & 13). Verdenskrigen afbrød forbindelsen mellem landene, og da Harboe døde i 1919, var der foreløbig ingen, der tog hans arbejde op.

I maj 1929 fandt der med en uges mellemrum to smaa jordskælv sted i Nordjylland. For disse og jordskælvet 30/11 1930 i nærheden af København blev der indsamlet materiale af *Geodætisk Institut* (se senere), og det blev bearbejdet af *I. Lehmann* (Naturens Verden 1929 og 1931). Om et jordskælv i Jylland 28/11 1941 er der indsamlet oplysninger, men for et par smaa jordskælv, der fandt sted i det mellemliggende tidsrum, er det ikke sket.

Baade i 1925 og i 1937 blev der paa foranledning af det internationale seismologiske centralbureau i Strasbourg ad ministeriel vej rettet opfordring til at indsamle oplysninger om jordskælv her i landet, i Island og Grønland og til at fremsende disse til bureauet. Den sidste henvendelse gav anledning til, at *Geodætisk Institut* lod udfærdige spørgeskemaer, som af *Grønlands Styrelse* blev sendt til forskellige kolonibestyrere i Grønland. En del besvarelser modtoges i efteraaret 1939.

Da jordskælvsforskningen i slutningen af forrige aarhundrede fik følsomme instrumenter til raadighed, blev ogsaa lande, der ikke omfatter seismisk virksomme omraader, i stand til at indsamle materiale vedrørende jordskælv. I forstaaelse af den betydning det vilde have at faa et net af seismiske stationer spredt ud over jorden, oprettede man den tidligere nævnte *Internationale Seismologiske Association,* der bestræbte sig for at vække interesse for det seismiske arbejde i alle lande og at opnaa deres tilslutning til Associationen.

E. G. Harboe deltog i den konference, der forberedte dannelsen af Associationen, og han udfoldede stor virksomhed for at faa Danmark til at slutte sig til den. Det lykkedes ham at skabe interesse om sagen, og i 1911 kunde han indgive et andragende til regeringen, som var anbefalet af 9 forskellige foreninger og institutioner. Det blev dog afslaaet; men efter henvendelse fra den russiske seismolog Fyrst Galitzin blev der i 1914 givet løfte om, at bevilling skulde blive søgt paa finansloven 1915—16. Forinden standsede imidlertid krigen Associationens virksomhed.

Harboe arbejdede ogsaa energisk paa at faa oprettet seismiske stationer i Danmark, Island og Grønland, og han støttedes herunder af Associationen og dens ledende mænd.

Paa Grønland lykkedes det i 1907 at faa en station igang. Lederen af den biologiske station paa Disko, *M. Porsild,* blev interesseret og paatog sig det arbejde, der var forbundet med at indrette lokale til, opstille og passe en seismograf. De fornødne midler lykkedes det at bringe til veje. Det arktiske klima beredte imidlertid driften saa mange vanskeligheder, at den ophørte efter 5 aars forløb. Harboe har berettet om stationens virksomhed og offentliggjort de bedste observationer (Gerl. Beitr. Geoph. 11 & 14).

Harboe gav stødet til oprettelsen (1909) af den seismiske station i Reykjavik, der stadig er i drift. Derimod arbejdede han forgæves med forskellige planer om oprettelse af seismiske stationer i det egentlige Danmark.

Harboe har gennem avisartikler og artikler i Geografisk Tidsskrift, Gads Danske Magasin og Frems Aarbog søgt at vække interesse for seismologien her i landet. Desuden arbejdede han

flittigt med seismologiske undersøgelser og har foruden de allerede nævnte offentliggjort en del afhandlinger i Gerlands Beiträge zur Geophysik.

Det, som Harboe kæmpede for, Danmarks tilslutning til internationalt seismologisk arbejde og oprettelse af seismiske stationer her i landet og paa Grønland, blev gennemført faa aar efter hans død.

Den 11. april 1924 sluttede paa Danmarks vegne Videnskabernes Selskab sig til den i 1919 oprettede *Internationale Geodætiske og Geofysiske Union*. Den omfatter en *Seismologisk Association* (oprindelig benævnet Sektion). I tilslutning til den valgtes en dansk nationalkomité bestaaende af professorerne N. E. Nørlund og O. B. Bøggild, direktør D. la Cour og afdelings(nu stats-) meteorolog J. Egedal. I 1928 indvalgtes statsgeodæt I. Lehmann, der blev sekretær. Danmark har været repræsenteret paa Associationens møder. I. Lehmann har som medlem af kommissioner og fra 1936 af eksekutivkomitéen deltaget i dens arbejde.

I 1923 blev professor *N. E. Nørlund* direktør for *Den Danske Gradmaaling* og gjorde kort efter skridt til oprettelse af en seismisk station ved København og to paa Grønland, en i Ivigtut og en i Scoresby-Sund. Hertil opnaaedes støtte af Carlsbergfondet.

Stationen ved København indrettedes i to kaponierer paa den nedlagte fæstnings afspærrede terrain lidt nord for Roskilde landevej. De er udmærket egnede til formaalet, idet de ligger paa kalkundergrund og har svære betonmure, der beskytter mod temperatursvingninger inde i rummene. Der er ingen generende færdsel i nærheden.

Stationen blev forsynet med 4 sæt af de bedste og mest følsomme apparater, som dengang fandtes, nemlig Wiechert's 1000 kg horizontalseismograf og 1300 kg vertikalseismograf, 1 vertikal og 2 horizontal Galitzin-Wilip seismografer, 2 Milne-Shaw og 2 Wood-Anderson horizontalseismografer. Der blev anskaffet fine pendulure til tidsbestemmelsen. Indretningen af stationen og opstillingen af apparaterne foregik i 1926. Professor Nørlund ledede arbejdet og deltog personlig i det. J. Johannsen, Aa. Jessen, E. Andersen og I. Lehmann medvirkede. Instrumentmager H. Masing

fra Dorpat foretog selv opstillingen af den Galitzin-Wilip vertikalseismograf, han leverede.

Sent paa efteraaret i 1926 kom nogle af seismograferne i funktion, og fra slutningen af 1927 har Wiechert, Galitzin-Wilip og Milne-Shaw apparaterne uden nævneværdige afbrydelser været i regelmæssig drift. Wood-Anderson seismograferne har periodevis registreret. I 1936 blev der anskaffet en kortperiodisk Benioff vertikalseismograf af ny type, der siden har registreret.

Overofficiant H. Rasmussen har været tilsynsførende siden stationens oprettelse.

Anlægget af stationerne i Scoresby-Sund og Ivigtut krævede store og specielle forarbejder til imødegaaelse af de vanskeligheder, som kunde tænkes at opstaa under arktiske forhold. Professor Nørlund ledede disse forarbejder, der blev gennemført med en saadan forudseenhed og grundighed, at intet glippede.

I Ivigtut ydede *Kryolith Mine- og Handelsselskabet* et værdifuldt bidrag til stationens anlæg ved at lade en naturlig klippehule yderligere udsprænge og deri indrette rum til seismograferne. I sommeren 1927 opstillede *J. Johannsen* her to Wiechert seismografer, en 1000 kg horizontalseismograf og en 1300 kg vertikalseismograf.

Den daglige pasning af stationen udføres af den i Ivigtut ansatte telegrafbestyrer. Fra sommeren 1929 har telegrafbestyrer J. Nielsen udført arbejdet.

I tiden fra sommeren 1927 til sommeren 1928 blev stationsbygningerne i Scoresby-Sund opført under søminemester *Janus Sørensens* ledelse, og apparaterne, 3 Galitzin-Wilip komponenter, opstillet. Stationen var i drift fra januar 1928. I efteraaret 1932 nedbrændte den ene stationsbygning, men de fleste apparater reddedes. En ny bygning blev opført i 1933, og fra december samme aar var seismograferne atter i funktion.

Stationerne i København og Scoresby-Sund er beskrevet i den af Geodætisk Institut i 1930 udsendte publikation »The seismological stations København and Scoresby-Sund«.

Det var oprindelig meningen, at stationen i Scoresby-Sund, der er forsynet med apparater, som kræver omhyggelig pasning, skulde betjenes af en videnskabelig uddannet mand. Da Scoresby-

Sund kun kan besejles en kort tid hver sommer, besluttede man sig til at kombinere stationen med en radiostation, og efter faa aars forløb viste det sig nødvendigt at ansætte telegrafister til arbejdet. De er blevet oplært i det seismiske arbejde i København og har i det store og hele passet stationen godt.

I 1928 oprettedes *Geodætisk Institut* med professor *N. E. Nørlund* som direktør. Det fik en seismisk afdeling, hvis chef blev *I. Lehmann*. Under denne kom de tre seismiske stationer til at sortere.

De seismiske registreringer fra alle tre stationer, og for 1927—1932 ogsaa fra den seismiske station i Lund, er blevet aflæst af I. Lehmann. Aflæsningerne publiceres i »Bulletin«er, en serie for hver station. Indtil 1940 blev alle store jordskælv straks rapporteret til centralbureauet i Strasbourg.

I København har Galitzin-Wilip og Wiechert apparater tilsammen frembragt et udmærket fyldestgørende materiale. Galitzin-Wilip seismograferne har en stor forstørring (max. ca. 1000) og giver et stort antal registreringer af jordskælv med fjerne foci. Wiechert apparaternes forstørring er mindre, og de giver derfor mere læselige optegnelser af de største jordskælv. Der er blevet lagt stor vægt paa nøjagtige tidsbestemmelser (urenes stand kendes altid paa 1/10 sec.) og god tidsmarkering. En endnu ikke offentliggjort undersøgelse omfattende aarene 1930—33 har vist, at den nøjagtighed, hvormed et jordskælvs begyndelsestid bestemmes i København, er meget stor. I Europa har kun tre stationer, Stuttgart, Uccle og De Bilt, lidt større nøjagtighed. Efter at Benioff vertikalseismografen i 1936 blev taget i brug, er Københavns nøjagtighed utvivlsomt blevet yderligere forøget.

Scoresby-Sund og Ivigtut har ogsaa leveret godt materiale, og det er paa grund af stationernes beliggenhed af særlig værdi.

Professor *J. Rybner* har beskæftiget sig med Galitzin-Wilip seismografernes teori og har publiceret tre afhandlinger derom (Gerl. Beitr. Geoph. Bd. 31, 51, 55).

I. Lehmann har udført forskellige undersøgelser, der tager sigte paa en nærmere bestemmelse af de seismiske tidskurver, af jordskælvsbølgernes hastighed og diskontinuitetsfladers beliggenhed. De er publiceret i Gerlands Beiträge zur Geophysik (Bd. 23,

26, 28, 36), Verhandlungen der fünften Tagung der Baltischen Geodätischen Kommission, Publications du Bureau Central Séismologique International (A 12, 15), Geophysical Supplement of the Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (Vol. 4), og som Meddelelser fra Geodætisk Institut.

Nogle af arbejderne er samlede bearbejdelser af et større antal stationers registreringer af samme jordskælv. Disse aflæses ensartet og mere detailleret, end det sædvanligvis er tilfældet. Af det materiale, man derved faar, bliver man i stand til at fremdrage detailler og paavise ejendommeligheder ved tidskurverne, som ellers ikke kommer for en dag. Det var paatænkt at foretage saadanne undersøgelser i stor udstrækning og at skabe en samling dertil egnede diagrammer i Geodætisk Institut ved at kopiere registreringer udlaant fra andre stationer. Den Internationale Seismologiske Association var interesseret heri og ydede arbejdet sin støtte. I 1931 deltog G. Plett fra Hamburg med støtte af Rask-Ørsted Fondet i arbejdet. Der indsamledes en del materiale og en bearbejdelse af 3 jordskælv udførtes og publiceredes af G. Plett og I. Lehmann i forening. Senere har der ikke været tilstrækkelig arbejdskraft til raadighed, og kun et mindre antal bearbejdelser af store jordskælv er blevet gennemført.

Den seismiske station ved København er nu og da blevet forevist for studerende og andre interesserede. Iøvrigt har det seismiske arbejde ved Geodætisk Institut ikke haft megen tilknytning til hjemlig videnskabelig forskning. Det har været et led i internationalt arbejde, og de tre stationer har udfyldt deres plads i det net af seismiske stationer, der omspænder jorden.

PRAKTISK GEOFYSIK

Ved

V. LAURSEN og I. LEHMANN

Som det allerede fremgaar af det foregaaende, finder Geofysiken megen praktisk Anvendelse. Et Anvendelsesomraade, som navnlig i den nyeste Tid har faaet stor Betydning, er dog endnu ikke omtalt. Det er Geofysikens Anvendelse til Undersøgelse af de fysiske Forhold i overfladenære Lag, som ikke er tilgængelige for direkte Iagttagelse. Geofysiske Metoder har her vist sig særlig nyttige ved Eftersøgningen af Malmlejer og Olieforekomster.

Den praktiske eller eksperimentelle Geofysik, som denne Gren af Geofysiken kaldes, omfatter gravimetriske, magnetiske, elektriske og seismiske Metoder. Saadanne Metoder er i Løbet af den sidste Snes Aar blevet udviklet til stor Fuldkommenhed, navnlig i Amerika, men ogsaa f. Eks. i Sverige, og er blevet anvendt i meget stor Udstrækning.

Her i Landet er der bygget udmærkede Instrumenter til Udførelse af gravimetriske og magnetiske Maalinger. De gravimetriske Instrumenter og deres Anvendelse skal ikke omtales her, da Tyngdemaalinger som Helhed har maattet udelades. De magnetiske Instrumenter er omtalt i Afsnittet om Jordmagnetisme.

De elektriske Metoder finder hovedsagelig Anvendelse ved Opsøgning af Malme og er hidtil ikke blevet anvendt her i Landet. Derimod er disse Metoder blevet anvendt flere Steder i Grønland, senest paa Treaarsekspeditionen til Christian den X's Land 1931—34.

Her skal nu gives en kort Oversigt over de magnetiske og seismiske Arbejder, der er blevet udført i Danmark.

En Undersøgelse af den danske Undergrund ved Hjælp af *magnetiske* Instrumenter blev paabegyndt af Danmarks Geologiske Undersøgelse i Sommeren 1929 og fortsat i de følgende to Aar, idet man med Assistance af den tyske Magnetiker Ebert fra Preuss. Geol. Landesanstalt maalte Vertikalkraften paa 880 Punkter fordelt over Sydjylland og Vestfyn. Resultaterne er publiceret i A. Ebert: Magnetische Messungen im südwestlichen Dänemark. D. G. U. II, 53, 1932. I Sommeren 1933 udførte Meteorologisk Institut med et specielt Magnetometer af dansk Konstruktion en orienterende Opmaaling af Vertikalkraften over et Omraade i Midtjylland. Denne Opmaaling blev foretaget i Tilknytning til Geodætisk Instituts seismiske Undersøgelser, og Resultaterne er publiceret sammen med Resultaterne deraf (se senere).

Under Ledelse af Dr. Victor Madsen blev der i 1934 og følgende Aar udført magnetiske Maalinger paa Østfyn, Lolland, Falster, Møen og Sjælland, og i 1937 tillige i Egnen mellem Aarhus og Silkeborg. Disse Maalinger blev som de tidligere udført med Assistance af Dr. Ebert. Victor Madsen har givet foreløbige Meddelelser om Resultaterne i Medd. D. Geol. For. Bd. 8 og 9.

I 1938 udførte A/B Elektrisk Malmletning, Stockholm, paa Foranledning af Ingeniør F. Ravlin, Danish American Prospecting Co., en Opmaaling af Vertikalkraften over et Omraade i Vendsyssel, og samme Aar begyndte Meteorologisk Institut at iværksætte systematiske Detailopmaalinger af den lodrette Magnetkraft ved Hjælp af de la Cour'ske Vertikalmagnetometre, som er nærmere omtalt i Afsnittet om Jordmagnetisme. — Alle de tidligere omtalte Opmaalinger, udført af udenlandske Magnetikere, er foretaget med Schmidts Lokalvariometer.

De danske Opmaalinger i 1938 omfattede forskellige Omraader i Jylland, og det følgende Aar blev der paa Foranledning af Danish American Prospecting Co. yderligere maalt en Række Profiler i Sønderjylland. I 1941 maaltes i Samarbejde med Danmarks Geologiske Undersøgelse et stort Antal Profiler paa Bornholm, og endelig udførte Institutet i 1943 Detailmaalinger med 1 km Sta-

tionsafstand over en Række mindre Omraader i Midt- og Nordjylland.

Geodætisk Institut lod i Aarene 1932—34 med Støtte af Carlsbergfondet *seismiske* Profilbestemmelser udføre forskellige Steder i Landet. Den tyske Seismolog B. Brockamp udførte herunder det egentlige seismiske Arbejde. Resultaterne af en Del af Arbejdet er publiceret i: N. E. Nørlund og B. Brockamp: Seismische Feldarbeiten in Dänemark. Inst. Géod. de Danemark, Mémoires, III. Serie, II. 1934.

Dr. Victor Madsen satte i 1933 og 1934 seismiske Undersøgelser i Gang ved Sønderborg og ved Kolding. De blev udført af tyske Selskaber. Dr. V. Madsen har givet Meddelelse om Resultaterne i Medd. D. Geol. For. 8, og sammen med H. Ødum og H. Gry i D. G. U.'s Skr. II, 55, 1935.

Geodætisk Institut indledede i December 1937 og atter i September 1938 seismiske Undersøgelser; men de blev opgivet, da Danish American Prospecting Co. gik i Gang dermed. I 1938 lod Ingeniør Ravlin seismiske Undersøgelser udføre i Vendsyssel af Elektrisk Malmletning, Stockholm, og i 1939—40 har Danish American Prospecting Co. selv udført Undersøgelser i Jylland. De blev afbrudt, da den tyske Besættelse skete.