

ROYAUME DE BELGIQUE
—
MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉCONOMIQUES
ADMINISTRATION DES MINES - SERVICE GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE
—
13, rue Jenner - 1040 Bruxelles
—

JELBARTISEN - TROLLTUNGA

Dronning Maud Land - Antarctica

RADIO-GLACIOLOGISCHE OPNAME

RADIO-GLACIOLOGICAL SURVEY

DATA REPORT

1969 BELGIAN ANTARCTIC EXPEDITION

by

T. VAN AUTENBOER and H. DECLEIR

PROFESSIONAL PAPER 1975 N° 1

*Deponie .
S.G.B. 1976*

ROYAUME DE BELGIQUE
—
MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉCONOMIQUES
ADMINISTRATION DES MINES – SERVICE GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE
—
13, rue Jenner – 1040 Bruxelles
—

JELBARTISEN - TROLLTUNGA

Dronning Maud Land - Antarctica

RADIO-GLACIOLOGISCHE OPNAME

RADIO-GLACIOLOGICAL SURVEY

DATA REPORT

1969 BELGIAN ANTARCTIC EXPEDITION

by

T. VAN AUTENBOER and H. DECLEIR

PROFESSIONAL PAPER 1975 N° 1

J E L B A R T I S E N - T R O L L T U N G A ,

D R O N N I N G M A U D L A N D ,

A N T A R C T I C A

R A D I O - G L A C I O L O G I S C H E O P N A M E

R A D I O - G L A C I O L O G I C A L S U R V E Y

Data Report
1969 Belgian Antarctic Expedition

*T. Van Autenboer^{**} and H. Decler^{**}*

INHOUD

- Summary - Resumé.
1. Inleiding en dankwoord.
 2. Radio echo peiling.
 - 2.1. Instrumentatie en gebruik.
 - 2.2. Navigatie.
 - 2.3. Snelheidsmetingen.
 3. IJsdiktemetingen.
 4. Lijnen van gelijke ijsdikte.
 5. Verdere interpretatie.
 6. Bibliografie.

(*) Instituut voor Aardwetenschappen, Universiteit te Leuven
Redingenstraat 16 bis, B 3000 Leuven Belgium and
Exantar, 1 rue de Louvain, B 1000 Brussels.

(**) Observatory of the Gent State University,
Krijgslaan 271, B 9000 Gent.

SUMMARY

During the 1969 Belgian Antarctic Expedition, organized in logistic collaboration with the S.A. National Antarctic Expedition, a detailed radio-glaciological survey was made of Fimbulisen, of the western margin of the Trolltunga-Jutulstraumen ice stream, of the Blåskimen ice rise and the eastern part of Jelbartisen. To the south the survey reached the first nunataks (Krylen, Fig.1).

The reduced data from this survey are presented here in the form of three 1:100,000 maps of ice thickness profiles and one 1:150,000 map of ice thickness contours.

The expedition used a 35 MHz SPRI MK II echo sounder (Fig.2) (EVANS and SMITH, 1969) an experimental unit consisting of :

- a pulse modulated 35 MHz transmitter (pulse duration : 0.3 μ sec, pulse repetition interval 64 μ sec, peak power 500 watts),
- a receiver with RF gain blanking during transmission.
- a recording and monitoring system consisting of two oscilloscopes, the first with A modulation for visual control, the second with Z modulation. The latter is fitted with a 35 mm recording camera with continuous film movement.
- a timing unit (first an electric clock, later a quartz oscillator) which provides time marks (at one minute intervals) for the horizontal scale of the records. The calibration marks for the vertical or ice depth scale are also recorded during this interval.

The radio echo sounder was first installed in a DH3 Otter, later in a Cessna 180.

Navigation was reduced to the compass setting and ground speed obtained over three base lines of known azimuth and length. The ends of the lines were well marked and simultaneously visible from the air. For the computation of the records a value of

175m μsec^{-1} (based on wide-angle velocity measurements at the base camp) was adopted for the propagation velocity of electromagnetic waves in ice. The records were scaled using a photographic enlarger (one reading every three seconds of flying time). Ice thickness profiles were constructed on a scale of 1:50,000 using the 175m μsec^{-1} propagation velocity measured at Sanae and the specific ground speed for each flight. Deconvolution of the records (HARRISON, 1971) was not required. The different profiles are assembled and reproduced here in three 1:100,000 maps which also show the coastline in February 1969. Reproduction at this scale is considered useful for the interpretation of additional geophysical and glaciological data. An indication of the relative accuracy of the survey is given by the differences in ice thickness at the junctions of the east-west and north-south flights where identical ice thicknesses should be obtained. In approximately 70 % of the intersections the differences are less than 10m while another 15 % indicate 10 to 20m differences ; only 4 intersections give differences of 30-40 and 40-50m. These occur in areas of rapidly varying ice thickness, highly sensitive to navigational errors. One difference of 100m is due to a faulty interpretation. A map (scale 1:150,000) showing ice thickness contours constructed from the ice thickness profiles is included. Some subjective interpretation was required in this construction owing to some discontinuities in the recorded reflections and the differences at the junctions. Major errors were however avoided by using contour intervals of 50m, although for parts of the grid the interval could have been reduced to 25m. The limits of the grounded areas on this map are a general indication. A more accurate limit based on a reexamination of the reflection characteristics of the lower interface is given in the map of the subglacial relief by VAN AUTENBOER and DECLEIR (1972). Other preliminary discussions can be found in VAN AUTENBOER and DECLEIR (1969) ; VAN AUTENBOER and DECLEIR (1970). A complete report including the discussion of the results and a detailed description of the equipment and methods is being prepared for publication by the same authors.

RESUME

L'Expédition Antarctique Belge de 1969 a effectué un lever radio-glaciologique aérien systématique dans la partie occidentale du Dronning Maud Land avec un "SPRI MK II radio-echo sounder".

La navigation des vols était calculée par rapport à des vols de référence au dessus de trois lignes de base, d'azimuth et de longueur connues, survolées avant chaque vol glaciologique. Pour le calcul des épaisseurs de glace (représentées sur trois cartes de profils au 1:100.000) la valeur de $175\text{m } \mu\text{sec}^{-1}$ (basée sur des "wide angle reflection measurements" sur l' "ice shelf") a été retenue pour la vitesse des ondes électromagnétiques dans la glace. Une première interprétation des mesures est donnée sous la forme d'une carte au 1:150.000 ; représentant les lignes d'égale épaisseur de la glace. Une interprétation partielle des résultats a déjà été publiée (VAN AUTENBOER and DECLEIR ; 1969, 1970, 1972). Une analyse plus approfondie des résultats ainsi qu'une description détaillée des méthodes et des instruments utilisés est en préparation par la mêmes auteurs.

1. INLEIDING EN DANKWOORD

De Belgische Antarctische Zomerkampagne 1969-70 (*) voerde een radioglaciologische luchtopname uit van het Jelbartisen-Trolltunga gebied. De zending beschikte over twee vliegtuigen : een DH3 Otter en een Cessna 180, die eerst ingeschakeld werden bij het oprichten van een Zuid-Afrikaans bergstation. Ondertussen werd de radio echo peiler klaargemaakt en getest. Na een eerste succesvolle test met de Otter geraakte dit vliegtuig defekt. Herstelling ter plaatse bleek onmogelijk en de peiler werd overgebracht in de Cessna met alle nadelen verbonden aan het gebruik van een kleiner toestel met een eerder beperkte navigatie uitrusting. Met slechts één vliegtuig operationeel kon men voor eventuele reddingsoperaties slechts vertrouwen op de Muskeg tractoren met een beperkte aktieradius. Deze laatste bepaalde en beperkte bijgevolg het gebied dat onderzocht kon worden. Het gekarteerde gebied omvatte de Fimbul "ice shelf" (Fimbulisen), de westrand van de Trolltunga-Jutulstraumen ijsstroom, de "ice rise" van Blåskimen en het oosten van Jelbartisen (Fig.1). In het zuiden bereikte men de eerste nunataks. De resultaten der metingen worden hier voorgesteld als ijsdikte profielen (3 kaarten ; 1:100.000) en onder de vorm van isopachen (1 kaart, 1:150.000).

(*) Deze zending was georganiseerd door het Belgische Antarc-tisch Comité, voorgezeten door G. de Gerlache, in logistieke samenwerking met de Zuid Afrikaanse Antarctische Expedities. Het programma werd uitgewerkt onder de auspiciën van een wetenschappelijke commissie voorgezeten door P. Bourgeois (+). De zending bestond uit 8 leden : T. Van Autenboer (leider) en H. Declair (Glaciologie) ; R. Fagnoul (+) (eerste piloot) ; K. Stelling en J.M. Corbisier (elektronika) ; G. Nicolas en V. Daniels (vliegtuig-technici) en W. Kother (piloot).

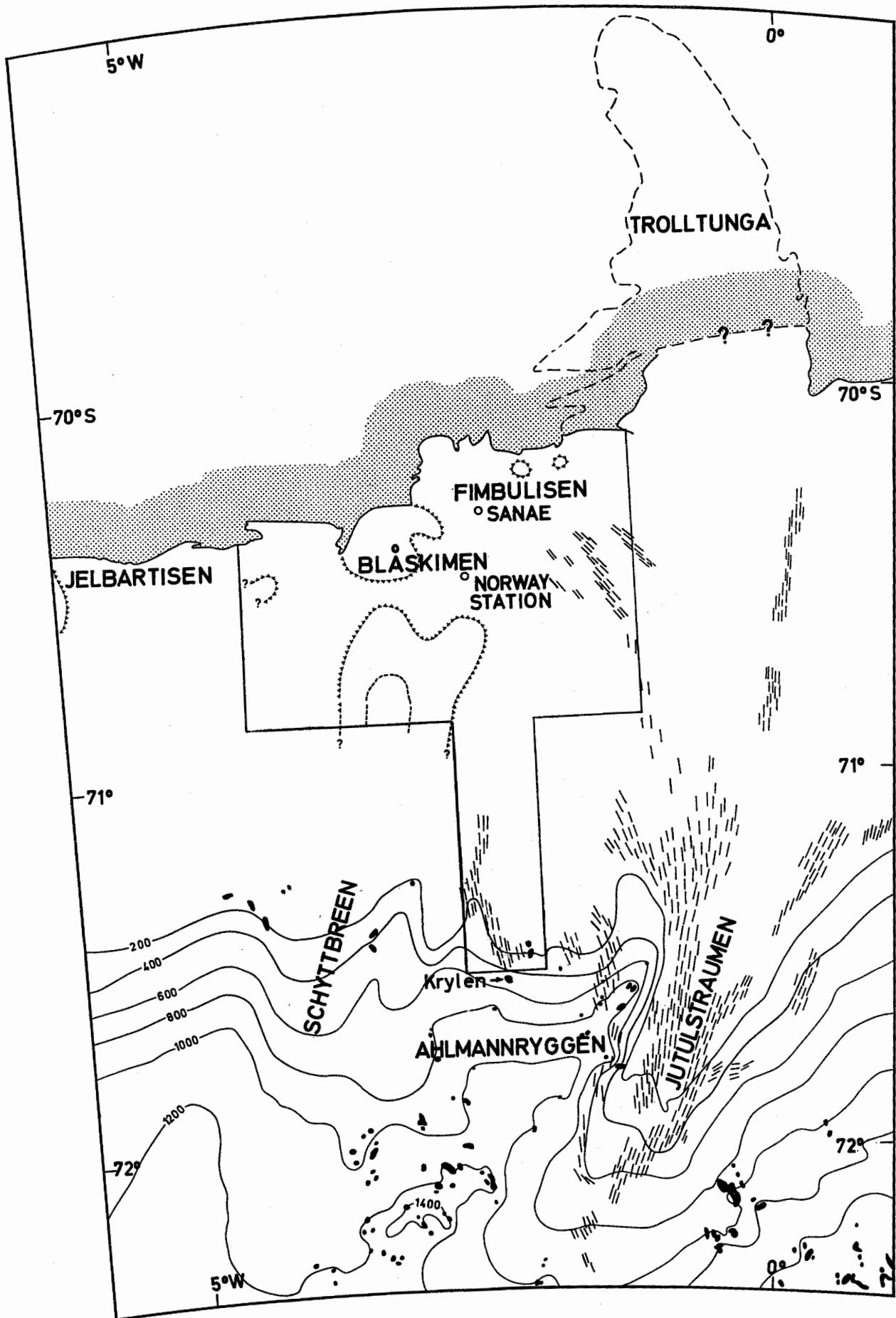


Fig.1. Westelijk deel van Dronning Maud Land naar verschillende bronnen met aanduiding van het radio-glaciologisch opgemeten gebied.
- Western Dronning Maud Land (compiled from different sources) with the surveyed area.

Een gedeeltelijke bespreking der resultaten vindt men bij VAN AUTENBOER en DECLEIR, 1969 ; VAN AUTENBOER en DECLEIR, 1970 ; VAN AUTENBOER en DECLEIR, 1972. Een volledig verslag met een meer gedetailleerde beschrijving der opname-technieken (radio echo peiling, navigatie, snelheidsmetingen, nauwkeurigheid) en de bespreking der verzamelde resultaten is in voorbereiding.

Onze dank gaat naar alle expeditieleden en vooral naar R. Fagnoul (+) en naar C. Stelling en J.M. Corbisier die behulpzaam waren bij het verwerken der gegevens. Op het terrein kon er steeds beroep gedaan worden op onze Zuid-Afrikaanse kollegas. Vermelden we vooral H. Fultun leider van S.A.N.A.E. en de kapitein van m.v.R.S.A. De interesse en steun van Baron G. de Gerlache en Prof. Dr. P. Dingens en Prof. Dr. F. Geukens werd ten zeerste gewaardeerd. Uitdrukkelijk worden hier de raadgevingen en hulp vermeld die we ontvingen gedurende de voorbereiding van de expedities van het Scott Polar Research Institute, University of Cambridge (Dr. S. Evans, Dr. G. de Q. Robin) en van de British Antarctic Survey (Dr. C. Swinbank).

2. RADIO ECHO PEILING

De recent ontwikkelde techniek van radarpeilingen van het ijs wordt nu algemeen aanvaard als de meest nauwkeurige methode voor ijsdikte metingen en voor bepalingen van het subglaciaal relief. Ten opzichte van de klassieke seismische en gravimetrische methode biedt de radio echo peiling het enorme voordeel van continue luchtopnamen toe te laten. Alhoewel de doorlaatbaarheid van ijs voor radio-golven reeds langer bekend was is het slechts rond het begin der jaren zestig dat WAITE (1962) de eerste experimentele pogingen deed om met een standaard SCR 718 radio-altimeter ijsdikte bepalingen uit te voeren. Onafhankelijk van deze Amerikaanse succesvolle proeven ontwikkelde EVANS (S.P.R.I., Cambridge) het eerste specifieke radarsysteem geschikt voor kon-

tinue opnamen van koude gletsjers (EVANS en SMITH, 1969). Nieuwere generaties van ijsradars en antenna systemen die moeten toelaten ook ijs met hogere energie absorptie te sonderen worden ontwikkeld op het Elektro-magnetics Institute, University of Denmark, Lyngby (P. Gudmandsen), en worden vooral gebruikt bij de studie van de ijskap in Groenland.

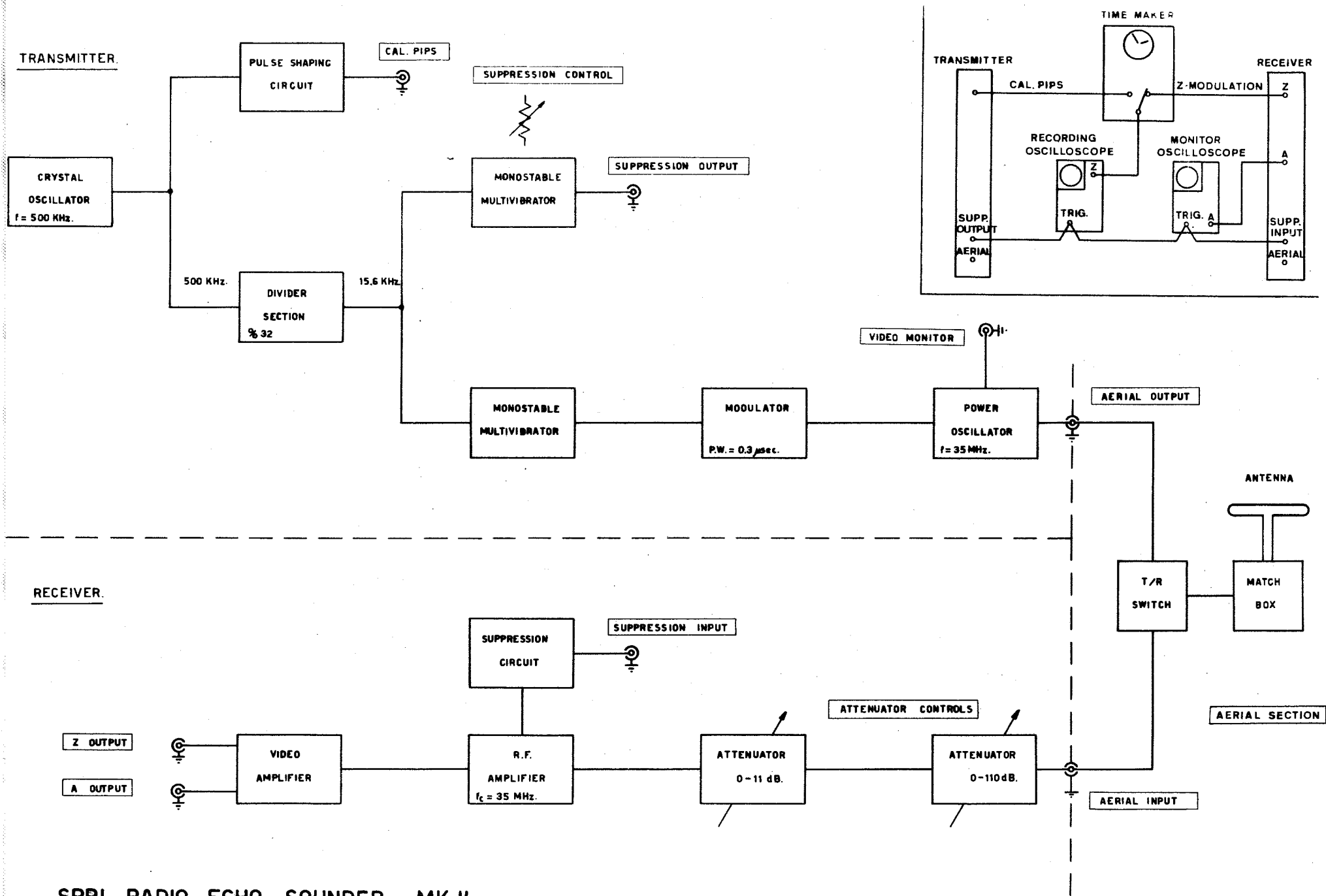
Zeer onlangs werden de eerste succesvolle resultaten van ijsdikte bepalingen op warme gletsjers aangekondigd (WATTS et al, in druk).

De toepassingen op grote schaal van radio echo peiling in Antarctica en Groenland is te danken aan een samenwerking tussen de National Science Foundation (USA), het Scott Polar Research Institute (Cambridge, U.K.), het Electromagnetics Institute (Lyngby, DK), en de US Navy die speciaal uitgeruste Ski C130 vliegtuigen ter beschikking stelt.

2.1. Instrumentatie en Gebruik :

De expeditie gebruikte de S.P.R.I. Mk II radio echo sounder (EVANS en SMITH, 1969), een experimenteel toestel vervaardigd door Randall Electronics (Harpenden, Engeland). Deze radio echo peiler bestaat uit 4 delen (Fig.2) :

- (i) een kristal-gestuurde puls-gemoduleerde 35 MHz zender met een piekvermogen van 500 Watt. De puls met een duur van 0,3 μ sec herhaalt zich om de 64 μ sec.
- (ii) een 35 MHz ontvanger : bij het zenden kan de HF versterking (92 dB) van deze ontvanger gedurende een regelbare tijd onderdrukt worden. Een instelbare verzwakker laat verder toe een optimaal opname niveau te verkrijgen.
- (iii) monitor en registratieeenheid : de ontvanger is verbonden met 2 oscilloskopen (Tektronix 321 A). De eerste snoop (monitor) toont de amplitude van het gedetekteerde signaal en laat toe bij middel van de verzwakker de ontvanger optimaal in te stellen .



SPRI RADIO ECHO SOUNDER MK II

Fig. 2

De tweede koop wordt in intensiteit gemoduleerd en het verkregen beeld doorlopend gefotografeerd bij middel van een omgebouwde 35 mm Shackman kamera, met continue filmtransport.

- (iv) stuur en ijkeenheid : een elektrische klok onderbreekt iedere minuut de ontvangst, waardoor een horizontale schaal op de film verkregen wordt. Gedurende deze onderbreking worden de kristalgestuurde klokpulsen van de zender geregistreerd voor ijking van de verticale schaal van de film. In een later stadium werd de elektrische klok vervangen door een veel nauwkeuriger GIH1 kwarts-oscillator, gekoppeld aan een controleëenheid.

Oorspronkelijk werd de radio echo sounder in de DH3 Otter geïnstalleerd en aangesloten op een additionele batterij. De dipoolantenne, zowel gebruikt voor zenden als ontvangst, werd bevestigd tussen twee 1m lange antennemasten, gemonteerd onderaan de uiteinden der vleugels. Op deze manier werd de antenne ook op een zekere afstand van de metalen massa der vleugels gebracht.

Een 35 mm Shackman kamera werd in de zijkant van het vliegtuig gemonteerd voor schuine luchtfotografie. Deze kamera werd gestuurd door dezelfde controleëenheid als de echo peiler.

De opgenomen filmen van de radio echo sounder werden onmiddellijk ontwikkeld na iedere vlucht in de tent.

Bij dergelijke vluchten bestaat het team ideaal uit 3 personen : een glacioloog-navigator, een radio-technicus voor bediening van de echo peiler en een derde persoon om hulp te bieden, waar nodig, en voor opname der luchtfoto's.

Na het defekt met de Otter werd de echo sounder geïnstalleerd in de veel kleinere Cessna. De antenne diende nu op een vrij geïmproviseerde manier op de Cessna bevestigd te worden, wat een verlies van 15 dB in ontvangststerkte meebracht. Ook konden naast de piloot, slechts 2 personen in het vliegtuig plaats nemen.

De Cessna beschikte daarenboven slechts over een zeer een-

voudig kompas. Vooral dit gebrek aan goede navigatie-apparatuur werd sterk aan gevoeld. Immers de Otter beschikte ook nog over een gyro-synchroon kompas, een radio-altimeter, een flight-recorder en een optische driftmeter als navigatiehulp.

2.2. Navigatie.

De lokalisatie van de vluchtlijnen in een niet gekarteerd gebied dat daarenboven geen uitgesproken reliefvormen noch herkenningspunten bevat - vormde een der grootste moeilijkheden bij het uitvoeren van het meetnet en het verwerken der gegevens. Een bevredigende en daarenboven eenvoudige oplossing werd gevonden door gebruik te maken van korte referentie vluchtlijnen tussen punten, waarvan azimuth en afstand gekend waren. Voor iedere meetvlucht werd een der referentielijnen overvlogen op de hoogte en in de richting van de geplande vlucht. Dit liet toe de grondsnelheid te bepalen en, door de kompasmeting te herhalen op de meetvlucht, was de koersrichting gekend, terwijl automatisch voor drift van het vliegtuig gecorrigeerd werd. Voor langere vluchten werd er daarenboven gebruik gemaakt van vooraf op de grond gemerkte punten. Door vanaf te herkennen punten te vertrekken, de terugweg in omgekeerde zin te ondernemen, en bij terugkeer de afwijking ten opzichte van het vertrekpunt te schatten was een bijkomende correctie mogelijk. Op basis van dergelijke opnamen, schuine luchtfoto's, enkele navigatievluchten en een radaropname vanaf het schip van de kustlijn (MC NISH, pers. med.) kon tevens een nieuwe kaart van de kust gemaakt worden.

2.3. Snelheidsmetingen.

Voor een korrekte interpretatie der radioglaciologische opnamen is het noodzakelijk de snelheid der radiogolven in ijs te kennen. De propagatiesnelheid van electromagnetische golven hangt af van de dielectrische eigenschappen van het

medium, die op hun beurt functie zijn van de samenstelling en structuur van het ijs. Daaruit volgt de noodzakelijkheid in situ metingen uit te voeren om deze propagatiesnelheid te bepalen. De snelheid werd bepaald door zgn. "wide angle reflection measurements" en dit op de ice shelf, 500m ten noord-oosten van Sanae. De gebruikte waarde voor de verwerking der gegevens was $V = 175\text{m } \mu\text{sec}^{-1}$.

3. IJSDIKTEMETINGEN

De opgenomen filmen werden met een fotografische vergroter afgelezen, waarbij gepoogd werd een nauwkeurigheid van 1/40ste μsec te bereiken. De aflezingen geschieden alle 3 sec vlucht-tijd (ongeveer 125m op het terrein). Hieruit werden de ijsdikten berekend met behulp van de snelheid der radiogolven in ijs, zoals bepaald op de ice shelf bij Sanae. Voor iedere vlucht werden er vervolgens ijsdikteprofielen gekonstrueerd, met als basis voor de horizontale schaal de overeenkomstige grondsnelheid gemeten op de referentievluucht. Bij deze analyse werd er gepoogd enkel de verticale reflekties van het ijs-rots of ijs-water grensvlak voor te stellen. Het is echter niet onmogelijk dat er lokaal een enkele schuine of interne reflectie als ijsdikte werd geïnterpreteerd. De verschillende profielen werden verzameld op kaarten van 1:50.000 die, na fotografische reductie, herleid werden tot drie - hier bijgevoegde - kaarten op schaal 1:100.000. Hierop werd eveneens de kustlijn voor februari 1969 aangebracht, alsmede een aanduiding van de relatieve nauwkeurigheid der metingen. Deze nauwkeurigheid wordt aangegeven door de verschillen in ijsdikte, gemeten op de kruisingen van de meridiaonale en latitudinale vluchten. Deze verschillen, hoofdzakelijk te verklaren door navigatiefouten, zijn meestal kleiner of gelijk aan 10m (in 70 % der gevallen). Voor 15 % zijn de verschillen begrepen tussen 10 en 20m, terwijl slechts enkele inter-

sekties met grotere verschillen voorkomen. Deze laatsten komen vooral voor in gebieden waar de ijsdikten zeer snel veranderen. Verder vergroot de navigatiefout naar gelang men zich verder van het vertrekpunt van de vlucht verwijderd.

4. LIJNEN VAN GELIJKE IJSDIKTE

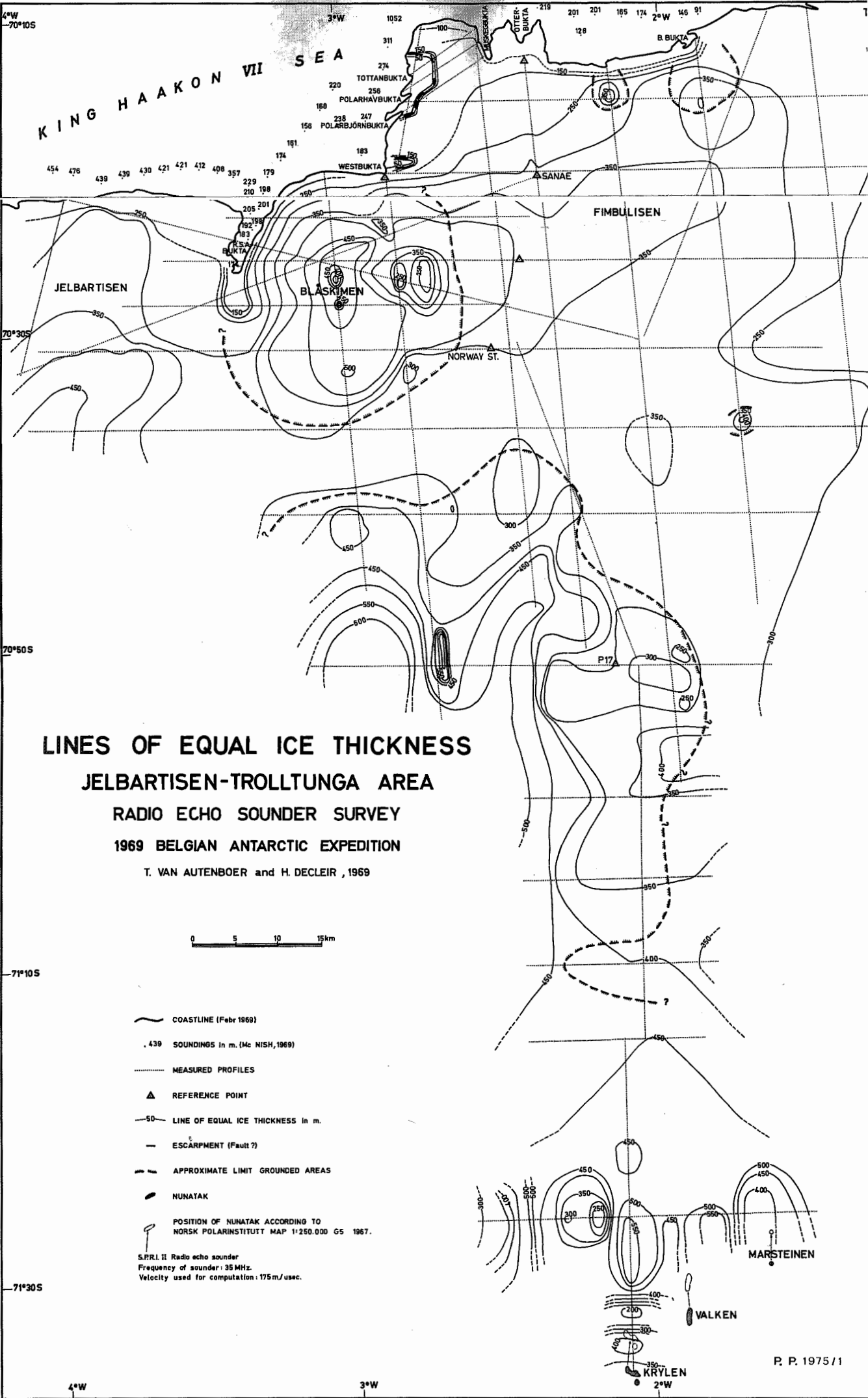
Op basis van de ijsdikteprofielen werd een - hierbij gevoegde - kaart 1:150.000 opgesteld met lijnen van gelijke ijsdikte. Daar op sommige vluchten de reflekties diskontinu zijn en vermits er lokale verschillen bestaan tussen de N-S en E-W vluchten, was een subjektieve interpretatie soms noodzakelijk. Dit werd tot een minimum herleid door het gebruik van lijnen om de 50m, alhoewel, voor het grootste deel van het gekarteerde gebied, een hogere precisie mogelijk was. De limieten van het gegronde ijs, zoals op deze kaart aangeduid, zijn enkel gebaseerd op deze eerste ijsdiktegegevens en werden later lichtjes herzien op basis van de topografische gegevens en reflektiekaracteristieken der signalen. De gemeten ijsdikten werden plaatselijk bevestigd door metingen vanop de grond uitgevoerd in 1972 (VAN ZYL, 1973).

5. VERDERE INTERPRETATIE

In dit rapport is het enkel de bedoeling de gemeten waarden der ijsdikten voor te stellen op de bijgevoegde kaarten. De gekozen schaal moet toelaten aanvullende geofysische gegevens te verwerken. Voor de interpretatie der gegevens wordt verwezen naar reeds eerder verschenen bijdragen (VAN AUTENBOER en DECLEIR, 1969 ; VAN AUTENBOER en DECLEIR, 1970 ; VAN AUTENBOER en DECLEIR, 1972) en naar een volledig rapport dat in voorbereiding is.

6. BIBLIOGRAFIE

- AUTENBOER, T. Van. and H. DECLEIR. 1969. Airborne Radio-Glaciological Investigations during the 1969 Belgian Antarctic Expedition. Bull. Belg. ver. Geol. Paleont. Hydrol. Brussel Vol.78, deel 2, p.87-100.
- AUTENBOER, T. Van. and H. DECLEIR. 1971. Belgian Radio-Glaciological Programme in Antarctica. In : Gudmandsen P. (ed). Proceedings of the International meeting on Radio-Glaciology, Lyngby, 1970. Laboratory of Electromagnetic Theory. Technical University of Denmark, Lyngby. p.103-112.
- AUTENBOER, T. Van. and H. DECLEIR. 1972. Ice thickness and subglacial relief of the Jelbartisen-Trolltunga area, Dronning Maud Land. In : R.J. Adie (ed). Antarctic Geology and Solid earth Geophysics, Universitetsforlaget, Oslo, p.713-722.
- EVANS, S. and B.M.E. SMITH. 1969. A Radio Echo Equipment for Depth Sounding in Polar Ice Sheets. Journal of Scientific Instruments. Series 2, Vol.2, p.131-136.
- HARRISON, C.H. 1971. Reconstruction of Subglacial Relief from Radio Echo-sounding Records. Geophysics. Vol.35, n°6, p.1099-1155.
- WAITE, A.H. 1962. Gross Errors in Height Indication from Pulsed Radar Altimeters operating over thick Ice or Snow. Proceedings of the IRE (USA) Vol.50, n°6, p.1515-1520.
- WATTS, R.D., A.W. ENGLAND, M.F. MEIER and R.S. VICKERS (in press). Radio Echo Sounding of Temperate Glaciers at Frequencies of 1 to 5 MHz. Journal of Glaciology (Paper presented at the symposium on Remote Sensing in Glaciology, Cambridge, UK, Sept. 1974.
- ZIJL, R.B. van 1973. Radio Echo Sounding in western Dronning Maud Land, 1972. South African Journal of Antarctic Research, n°3, p.53-59.



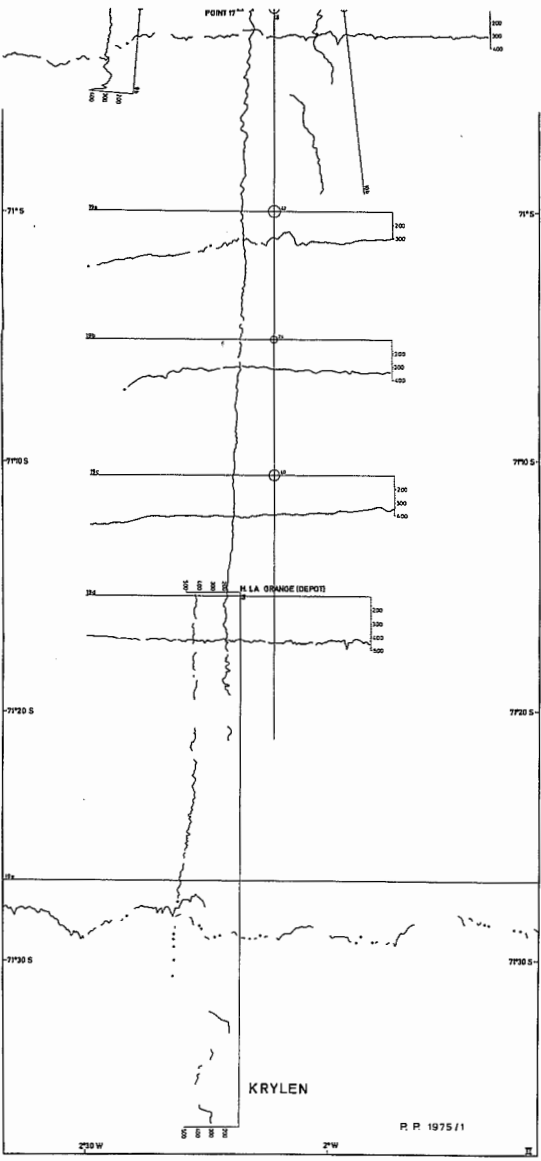
LINES OF EQUAL ICE THICKNESS
JELBARTISEN-TROLLTUNGA AREA
RADIO ECHO SOUNDER SURVEY
1969 BELGIAN ANTARCTIC EXPEDITION

T. VAN AUTENBOER and H. DECLEIR, 1969



- COASTLINE (Febr 1969)
- SOUNDINGS in m. (Mc NISH, 1969)
- MEASURED PROFILES
- REFERENCE POINT
- LINE OF EQUAL ICE THICKNESS in m.
- ESCARPMENT (Fault?)
- APPROXIMATE LIMIT GROUNDED AREAS
- NUNATAK
- POSITION OF NUNATAK ACCORDING TO NORSK POLARINSTITUTT MAP 1:250.000 GS 1967.

S.F.R.L. II Radio echo sounder
 Frequency of sounder: 35 MHz.
 Velocity used for computation: 175 m/sec.



POINT 17

100
200
300
400

71° 5

71° 5

2a

200
300

71° 10 S

71° 10 S

2b

200
300
400

71° 20 S

71° 20 S

2c

200
300
400

2d

0 50 100 150 200

M LA GRANGE (DEPOT)

200
300
400
500

71° 30 S

71° 30 S

2e

KRYLEN

P. R. 1975/1

2° 30 W

0 50 100 150 200

2° W