

GRØNLANDS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE
RAPPORT NR. 4

G E U S

Report file no.

22328

The Geological Survey of Greenland
Report no. 4

JORDTEMPERATURMÅLINGER
I
FREDERIKSHÅB

af

Ole Olesen

med 5 figurer

KØBENHAVN 1965

JORDTEMPERATURMÅLINGER
I FREDERIKSHÅB

af

OLE OLESEN

Statens trykningskontor
Sm 01-449

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
Abstract	2
Indledning	3
Forberedende arbejder samt etablering	3
Måleudstyr	5
Usikkerheder	7
Resultater	8
Konklusion	16
Litteratur	17

Abstract

For two years, 1/9 1961 - 31/8 1963, temperature measurements have been carried out at Frederikshåb (South Greenland) by GGU (Geological Survey of Greenland) and GTO (Technical Organization of Greenland). The measurements were carried out as an extension of the measurements made at Godthåb in the years 1949 - 60 (unpublished). The temperatures were measured with eleven thermistores placed in nearly water saturated fine to coarse silt. The thermistores were placed at ca. 0.5 m depth intervals, starting with a depth of 0.5 m, ending with 5.5 m (see fig. 2). For the entire period readings were taken daily at 12.00. The temperature readings are believed to be correct within $\pm 0.3 - 0.4 \text{ C}^\circ$.

Monthly and yearly means have been calculated (Table II). As yearly means for the years involved were nearly the same, the results have been combined to show a "mean year" (curves fig. 3). The curves show a marked skewness, the temperature in boring no. 11 rising for only three months of the year while going down for nine months. The effect has been reduced to rising temperature for five months, falling for seven months, in boring no. 1. The time lag between the maximum or minimum for the two curves is approx. three months.

The damping of the amplitudes of the curves with increasing depth has been used to calculate the depth at which the temperature range is less than the error of the thermistores. This calculated depth is approx. eight meters.

INDLEDNING

Efter nedlæggelsen af målestationen i Godthåb, som med visse afbrydelser, havde fungeret fra 1949 til 1960, blev det i samråd med GTO besluttet at oprette en ny målestation i Frederikshåb.

Formålet med denne nye målestation var, ligesom i Godthåb, at undersøge den årlige temperaturvariation i forskellige dybder under terrænoverfladen. Disse variationer er af betydning for konstruktionsarbejder i det pågældende område, hvorfor GTO er interesserede i sådanne målinger. Videnskabeligt er det af betydning at få kendskab til temperaturvariationerne, både uden for og inden for permafrostområderne i Grønland, således at dennes udbredelse både vertikalt og horisontalt, kan fastlægges. Til dette formål vil det være nødvendigt at flytte målestationen til nye målesteder, både langs med og vinkelret på den formodede permafrostgrænse.

FORBEREDENDE ARBEJDER SAMT ETABLERING

Arbejdet med oprettelsen af målestationen blev overdraget til statsgeolog J. Bondam og ing. ass. K. Rasmussen, hvoraf sidstnævnte tog sig af den elektriske installation. Den nye station blev oprettet efter samme retningslinier som den nedlagte i Godthåb, dog blev det besluttet (Bondam, Rasmussen, Weidick), at en foring af hullerne til følerne med egetræsrør, som det havde været tilfældet i Godthåb, var unødvendigt, der skulle blot bores huller i jorden, hvori følerne direkte skulle nedsættes.

Forundersøgelsen i Frederikshåb, med henblik på stationens placering, blev udført af ingeniør Dan Buch fra GTO. Til grund for placeringen blev der lagt følgende retningslinier :

1. Forekomst af mindst 5 m jord over fjeld.
2. Udvælgelse af en grund, der i geoteknisk henseende var repræsentativ for byens betydelige, bebyggelige jordarealer.
3. Udvælgelse af en grund, som af hensyn til målestationens betjening, var så nær beliggende telestationen som muligt.
4. Udvælgelse af en grund, der lå uden for de nærmeste års byggearealer. Angående grundens placering i Frederikshåb, se kortskitsen fig. 1.

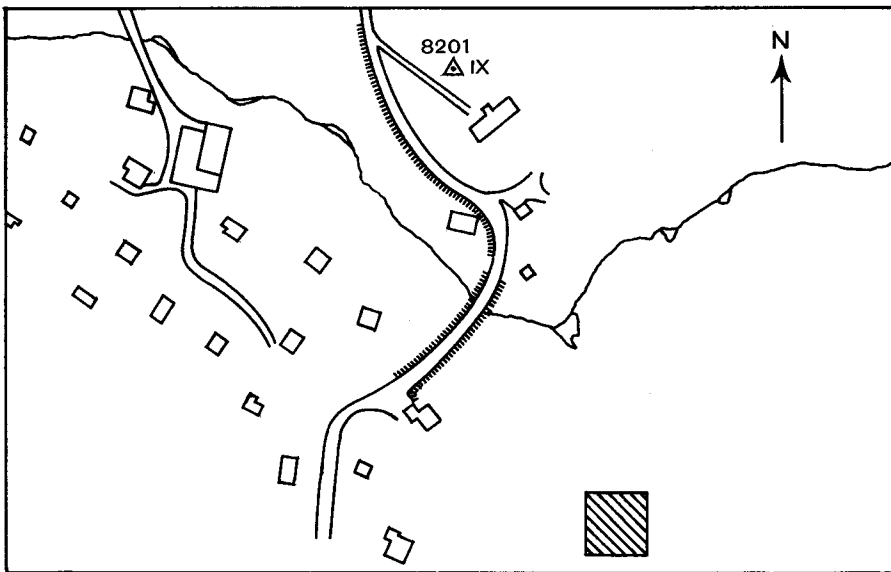


Fig. 1: Kort over målestationens placering i Frederikshåb
Efter bykortet over Frederikshåb BL. 62 V. 1 - i 1 : 2000
Målestationens grund skraveret. Højde over havet 12.5 m

Om selve grunden, hvor målestationen blev placeret, kan følgende fra Dan Buchs rapport citeres : "Den udvalgte stationsgrund er næsten plan og hælder ca. 5‰ mod sydvest. Grunden er dækket af et 30-50 cm tykt isolerende tørvejordslag og må betegnes som vandlidende. Prøveoptagninger og skylleboringer viser, at det aktive lag og underliggende lag overvejende består af stenfattig grov og fin silt. Fra 150 - 200 cm og nedefter under terrænoverfladen er silten meget kompakt. Endnu primo

juli er jordlag af afvekslende mægtighed og beliggende indenfor intervallet "50 - 150 cm efter terrænoverfladen frosset". Fra dette og tidligere års mange jordbundsundersøgelser ved man, at den her beskrevne grundbeskaffenhed er karakteristisk for byens slettearealer".

Da den absolut laveste målte temperatur i måleperioden var $+ 0.2^{\circ}\text{C}$ (boring 11 0.50 m under terræn), må de af Dan Buch nævnte frosne lag sikkert betegnes som reminiscenser fra foregående års strenge vintre (månedlig gennemsnit for februar 1961 - 8.8°C mod $- 6.6^{\circ}\text{C}$ i 1962 og $- 3.2^{\circ}\text{C}$ i 1963). I det pågældende interval, 50 - 150 cm under terræn, nås maximumtemperaturen desuden først i tiden august - september, altså ca. en måned efter forundersøgelsen blev udført.

Etableringen af målestationen skete i samarbejde med GTO, Frederikshåb, idet GTO udpegede stationens beliggenhed, da denne ikke måtte stå i vejen for kommende byggeri i de to år stationen fungerede. GTO udførte ligeledes boringen af hullerne, hvori følerne nedsattes. På grund af forsinkelser vedrørende arbejdet med oprettelsen af stationen, måtte GTO også tage sig af opførelsen af måleskuret samt foretage tilslutningen af kablerne til målebroyen.

MÅLEUDSTYR

Til temperaturmålingerne blev der benyttet apparatur leveret af I/S Jensen Electric. Dette bestod af 12 stk. platinfølermodstande (100Ω ved 0°C), monteret i forniklet messingspids, med 15 m $2 \cdot 1.5^2$ AGB kabel. Følermodstandene var indstøbt i Araldit. Dertil en målebroy (Wheatstones bro) med skalainddeling for direkte temperaturlæsning, samt omskifter til 12 målesteder. Måleområdet var $\pm 10^{\circ}\text{C}$ og skalainddelingen 0.2°C . Apparatet skulle i det pågældende måleområde operere med en usikkerhed på $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$. Af de 12 følermodstande blev kun de 11 sat i jorden, mens den sidste blev holdt i reserve.

Kablerne fra følermodstandene blev monteret i pertinaxrør med en diameter på 30 mm. Dette blev gjort dels for at beskytte kablerne, dels for at være sikker på, at følerne blev anbragt i den foreskrevne dybde. Efter monteringen blev følerne anbragt i borehullerne, som var forede

med 2" jernrør. I den øverste ende blev åbningen mellem pertinaxrør og foringsrør tætnet med twist og beg for at hindre vand i at trænge ovenfra ned i borehullerne.

Fra borehullerne, som lå på linie og med dybeste boring nærmest måleskuret, blev kablerne via en kabelkasse (se fig. 2) ført ind i måleskuret, hvor de blev tilsluttet målebreen. For at formindske insolationen, og dermed variation i kablernes modstand, blev kabelkassen malet hvid.

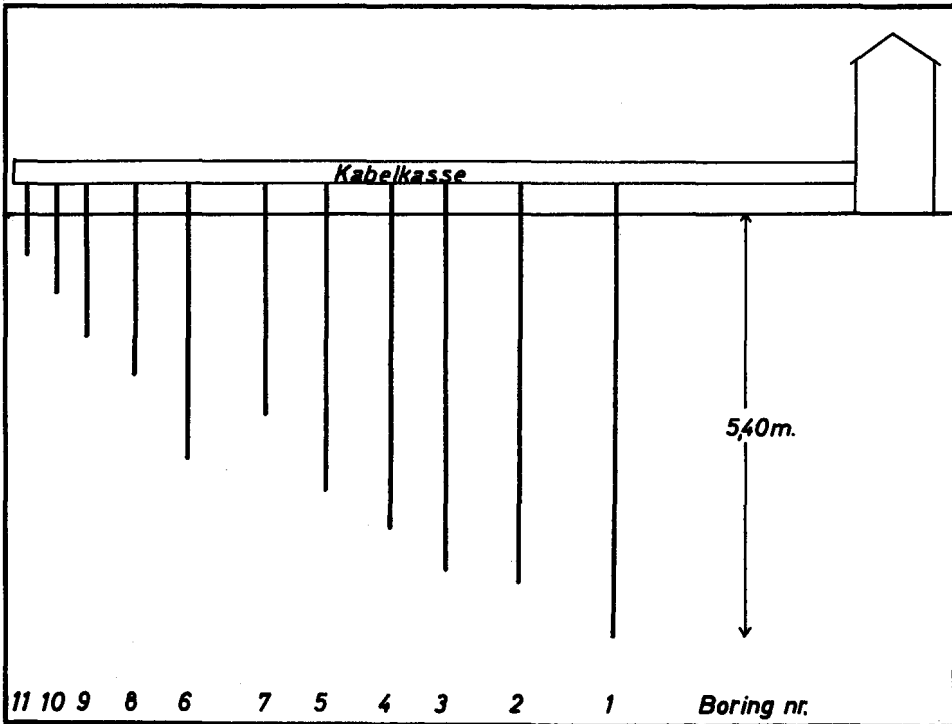


Fig. 2: Skitse over boringernes dybde samt deres placering i forhold til måleskuret

Tabel I : Følernes dybde og afstand fra måleskur

Følér (boring) nr.	Dybde u. terræn	Afstand fra måleskur
1	5.40 m	3.10 m
2	4.70 m	4.20 m
3	4.50 m	5.15 m
4	4.00 m	5.90 m
5	3.50 m	6.75 m
6	3.00 m	8.50 m
7	2.50 m	7.50 m
8	2.00 m	9.20 m
9	1.50 m	9.75 m
10	1.00 m	10.15 m
11	0.50 m	10.45 m

Efter dybde blev følerne nummererede 1 - 11, således at nr. 1 var den dybeste og nr. 11 den laveste. For nærmere detaljer se tabel I, hvor føler nr., dybde under terræn samt afstanden til måleskuret er angivet.

Overflødigt kabel mellem føler og måleskur blev ikke afkortet, således at alle kabler havde samme længde, 15 m, og følgelig ydede samme modstand ved målingerne.

USIKKERHEDER

Da jern har en varmeledningsevne på 0.20 cal/grad. cm. sek, mod sil-tens ca. 0.004, må foringsrørene utvivlsomt influere på målingerne, således at de målte temperaturer om sommeren ligger en smule over og om vinteren en smule under de virkelige temperaturer i de pågældende dybder. Hvor stor differencen er, er det ikke muligt at angive.

Et dømmе efter pertinaxrørenes udseende ved hjemkomsten, har der kun sjældent stået vand i borehullerne, således at den varmeudveksling, som har fundet sted ved konvektionsstrømme i vandet, kan betragtes som

forsvindende lille.

Alt i alt kan det antages, at usikkerheden på den enkelte måling beløber sig til $\pm 0.3 - 0.4^{\circ}\text{C}$, størst ved de laveste borer, mindst ved de dybeste.

RESULTATER

Alle følerne blev aflæst een gang i døgnet (kl.12.00) i perioden 1.9.1961 - 31.8.1963 af telegrafmester K. Thomsen og resultaterne sendt månedsvis til GGU og GTO.

Af de daglige måleresultater er der beregnet en månedlig samt en årlig middeltemperatur. Disse middeltemperaturer er gengivet i tabel II. Som det ses af denne tabel, er den årlige middeltemperatur for perioden 1.9.1961 - 31.8.1962 meget nær lig med middeltemperaturen for perioden 1.9.1962 - 31.8.1963. Dog er temperaturen i borerne 6 - 11 $0.1 - 0.2^{\circ}\text{C}$ højere i sidste periode end i første. Da forskellen i de årlige middeltemperaturer ikke er større, er resultaterne i tabel II blevet reduceret til at angive temperaturvariationen for et "middel år". Denne variation er tegnet som diagram i fig. 3, hvor hver enkelt boring, efter dybde, er angivet for sig.

Til sammenligning viser fig. 4 luftens årlige temperaturvariation. Denne er beregnet efter den månedlige middeltemperatur for Frederikshåb fra årene 1961, 1962 og 1963. Disse temperaturer er venligst stillet til rådighed af Meteorologisk Institut, Vejrmeldetjenesten for Grønland.

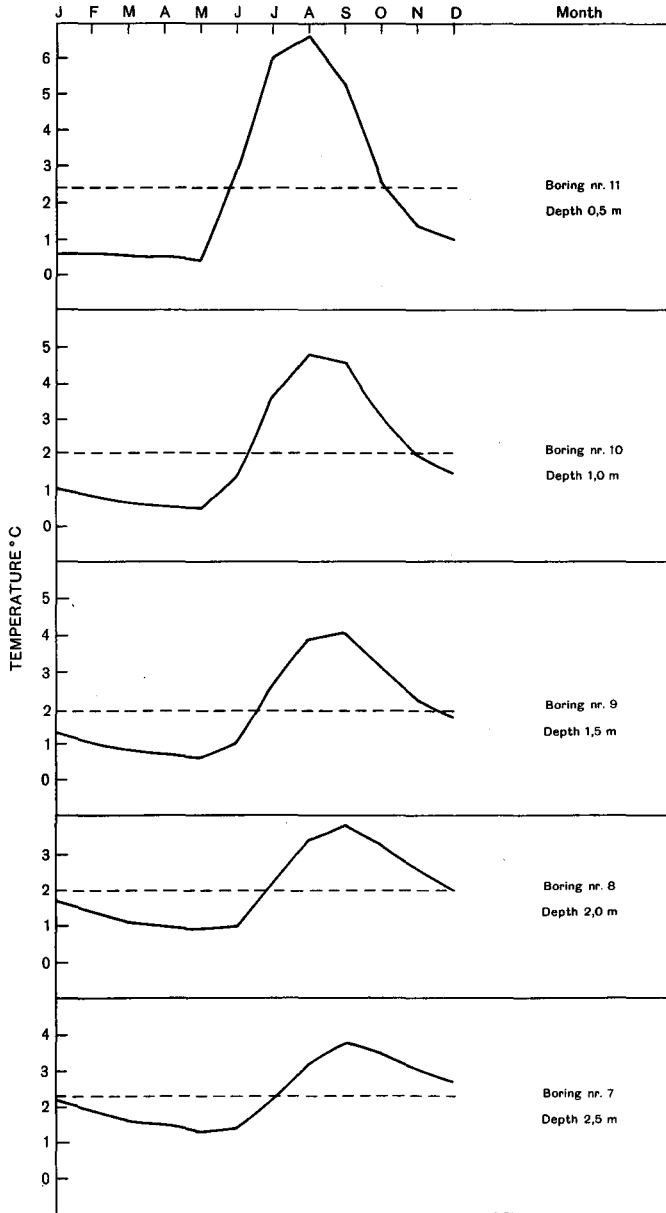
Den årlige temperaturvariation for hele profilet gives i fig.5, hvor måleresultaterne er indtegnet som thermoisoplethkurver.

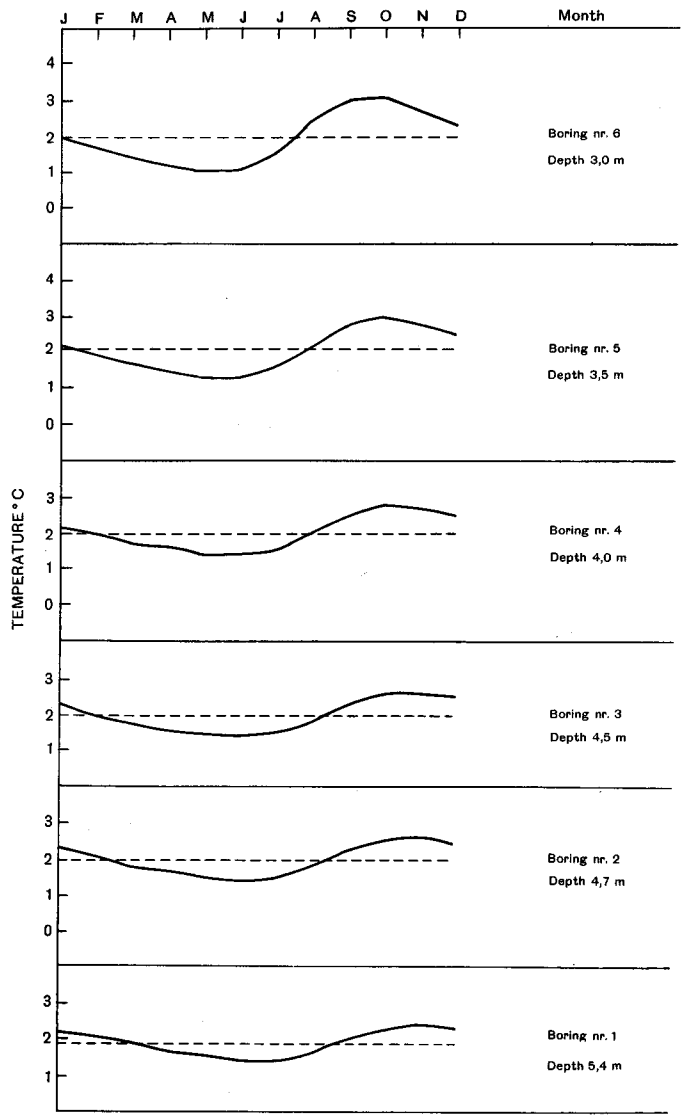
Det fremgår tydeligt af kurverne i fig. 3, at disse er asymmetriske omkring den årlige middeltemperatur. Betragtes f. eks. kurven for boring nr.11 ses det, at temperaturfaldet fra maximum i august til minimum i maj tager 9 måneder, medens stigningen fra minimum til maximum kun tager 3 måneder. Fænomenet er mest udpræget i de laveste borer og fortaber sig efterhånden i de dybere. Selvi den dybeste boring varer temperaturfaldet dog 1 måned længere end stigningen.

Tabel II. Jordtemperaturer (månedlig middel) for Frederikshåb
i perioden 1/9 1961 - 31/8 1963

Boring nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Septbr. 61	2.0	2.3	2.4	2.6	2.9	3.0	3.8	3.8	4.1	4.6	5.2
Oktober	2.4	2.6	2.7	2.9	3.1	3.1	3.6	3.3	3.1	2.9	2.5
November	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.7	3.0	2.6	2.2	2.0	1.5
December	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.2	2.5	2.0	1.6	1.4	0.9
Januar 62	2.2	2.3	2.3	2.2	2.1	1.9	2.1	1.6	1.2	1.0	0.5
Februar	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.6	1.8	1.4	1.0	0.8	0.4
Marts	1.8	1.8	1.8	1.7	1.6	1.3	1.6	1.1	0.7	0.6	0.4
April	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.2	1.4	1.0	0.7	0.5	0.4
Maj	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.0	1.3	0.8	0.6	0.4	0.4
Juni	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.0	1.3	0.9	0.9	1.1	2.4
Juli	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.4	3.5	5.9
August	1.5	1.7	1.7	1.9	2.1	2.4	3.1	3.2	3.8	4.9	6.6
Årlig middel	1.9	2.0	2.0	2.0	2.1	1.9	2.3	2.0	1.9	2.0	2.3
Septbr. 62	1.9	2.1	2.2	2.4	2.7	3.0	3.8	3.7	4.1	4.6	5.3
Oktober	2.1	2.4	2.4	2.7	3.0	3.1	3.5	3.4	3.3	3.2	2.8
November	2.3	2.5	2.6	2.7	2.7	2.7	3.0	2.6	2.2	2.0	1.3
December	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.3	3.2	2.1	1.7	1.5	1.0
Januar 63	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.0	2.3	1.8	1.4	1.2	0.9
Februar	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.7	1.9	1.5	1.1	0.9	0.7
Marts	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.7	1.1	0.9	0.8	0.7
April	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.3	1.5	1.0	0.7	0.7	0.5
Maj	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.1	1.3	1.0	0.6	0.6	0.4
Juni	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.1	1.4	1.2	1.2	1.7	3.1
Juli	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7	1.7	2.3	2.3	2.7	3.7	6.1
August	1.7	1.9	1.9	2.1	2.3	2.6	3.3	3.5	4.0	4.8	6.6
Årlig middel	1.9	2.0	2.0	2.0	2.1	2.0	2.4	2.1	2.0	2.2	2.5

Fig. 3 : Jordtemperaturkurver for Frederikshåb boring 11.- 1
 "Middel år" baseret på målinger foretaget 1.9.1961 - 31.8.1963





Sammenlignes temperaturkurven for den laveste boring (nr. 11) med kurven for lufttemperaturen ses det, at denne kun fra midten af april til juni er højere end jordtemperaturen. Følgelig kan luften kun afgive varme til jorden i ca. 1 1/2 måned. Havde varmeledning, luft, jord været den eneste årsag til jordens opvarmning, måtte man forvente at jordtemperaturen kun viste stigende tendens i dette tidsrum. Imidlertid leveres

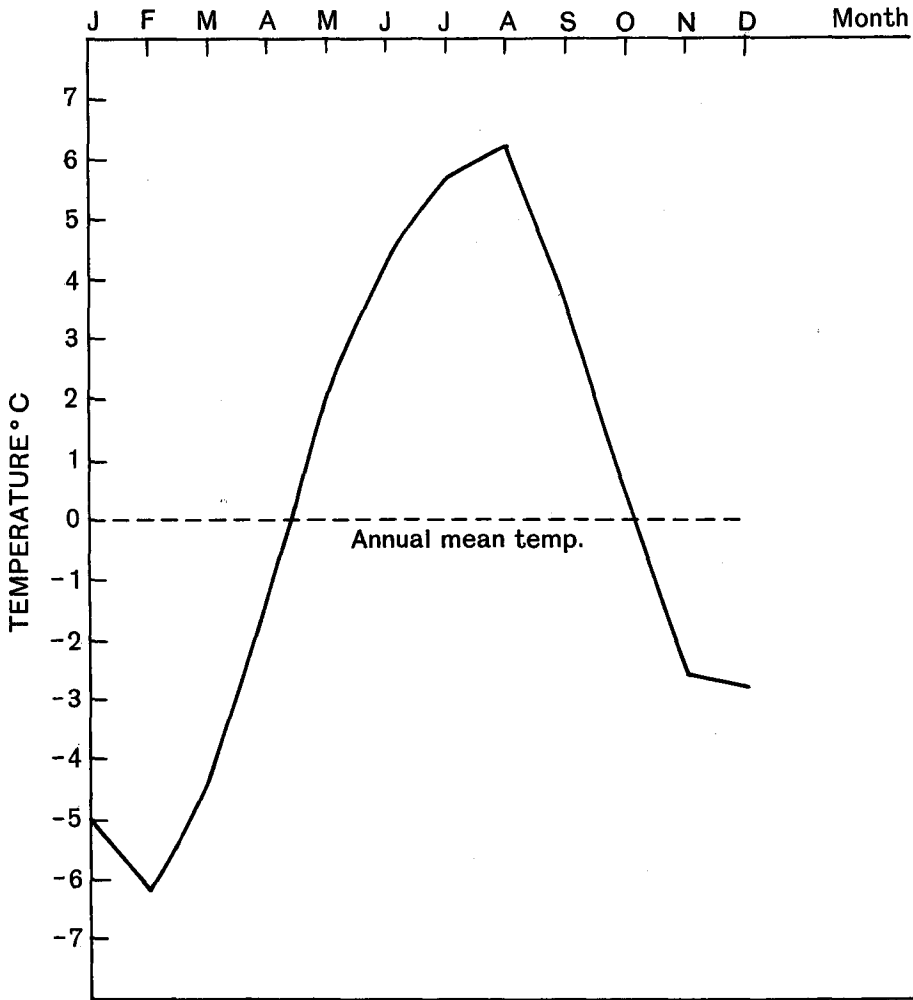


Fig. 4: Lufttemperaturkurve for Frederikshåb, baseret på månedlige middelterperaturer for 1961 - 1962 - 1963

den største varmemængde til jorden gennem direkte og indirekte solstråling. Denne indstråling sker hovedsageligt ved kortbølget stråling, som kun i ringe grad absorberes af atmosfæren. Omkring 40% (Crawford and Legget, 1957) af strålingsenergien fra solen går tabt ved refleksion fra skyerne og ved diffus spredning. Resten med undtagelse af den smule som absorberes af atmosfæren, og som næsten ikke har nogen indflydelse på denne temperatur, når ned til jorden og absorberes i forhold til overfladens albedo. Efterhånden som jorden opvarmes, afgiver den en langbølget varmestråling, som atmosfæren er i stand til at absorbere. Det faktiske forhold bliver altså, at det er jorden som opvarmer luften og ikke omvendt. Dette forhold giver sig ligeledes udslag i, at den årlige middeltemperatur for boring 11 er 2.4°C højere end den tilsvarende for luften.

De før omtalte $1\frac{1}{2}$ måned, hvor lufttemperaturen var højere end jordtemperaturen, kan ikke alene være årsag til jordtemperaturkurvernes asymmetri. Denne må i langt højere grad være bestemt af vintersnedækkets isolerende egenskaber, som bevirker en stærk nedsættelse af jordens udstråling.

Fra begyndelsen af oktober til begyndelsen af april er lufttemperaturen under 0°C , og der er således mulighed for permanent snedække i denne tid. Sammenholdes dette med kurven for boring 11 ses det, at det største temperaturfald finder sted fra september til oktober, altså før sneen lægger sig, medens kurven i oktober, november flader stærkt ud, således at der herfra kun sker et ganske ringe temperaturfald til minimumtemperaturen nås i maj.

Af kurverne fig. 3 ses det tydeligt, at amplituden aftager stærkt med stigende dybde. Amplitudens dæmpning er en funktion af jordens vægtfylde, varmfylde, varmeledningsevne samt af svingningstidens længde. Da vægtfylde, varmfylde og varmeledningsevne ikke er uafhængige af tiden, er det ikke muligt at opstille en ligning, som eksakt angiver amplitudens dæmpning med dybden. Det er dog muligt med tilnærmelse at beregne i hvilken dybde amplituden har en vilkårlig størrelse ved hjælp af følgende udtryk :

$$r_2 = r_1 e^{-(d_2 - d_1) \sqrt{\frac{\pi \rho c}{TK}}}$$

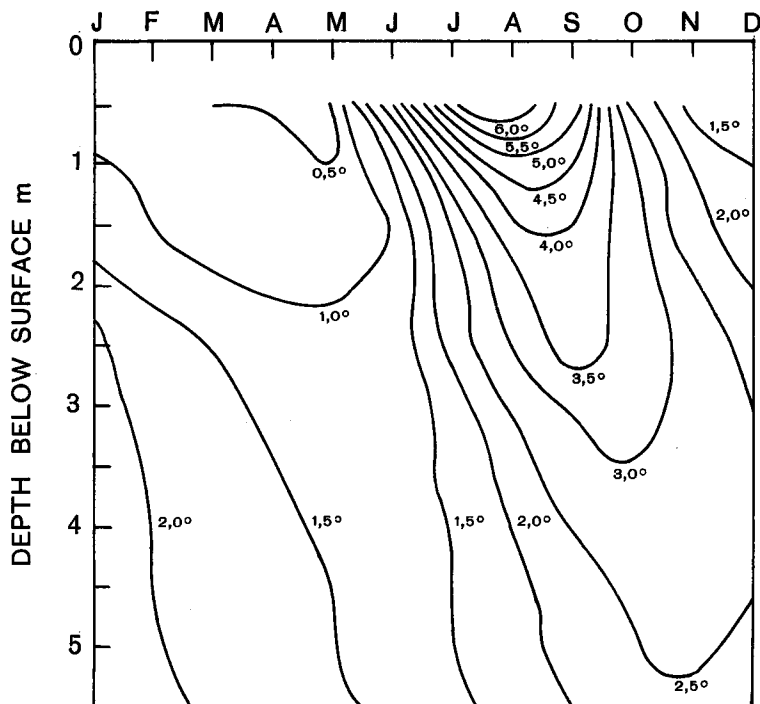


Fig. 5 : Thermoisoplether for Frederikshåb

hvor : d_1, d_2 = to dybder i cm

T = Svingningstiden i sek. af perioden som styrer varmeskiftet.

p = vægtfylde (g/cm^3)

c = varmekapacitet (cal/g grad)

k = varmeledningsevne (cal/grad. cm. sek)

r_1, r_2 = spredningen (fra højeste til laveste) af temperaturen i perioden T i dybderne d_1 og d_2 .

I dette tilfælde kan udtrykket bruges til at beregne, i hvilken dybde den årlige temperaturvariation er af samme størrelsesorden som måleusikkerheden.

Af størrelserne under kvadratrodstegnet kendes hverken p , c eller k , men størrelsen af hele kvadratroden kan bestemmes.

Fra tabel II boring nr. 8 og 10 findes :

$$r_2 = 2.9^{\circ}\text{C} \quad r_1 = 4.3^{\circ}\text{C} \quad d_2 = -200\text{cm} \quad d_1 = -100\text{cm}$$

sættes $\sqrt{\frac{\pi \rho c}{T_k}} = x$ og indsættes, fås :

$$2.9 = 4.3e^{-100x}$$

hvilket giver :

$$x = 0.0039\text{cm}^{-1}$$

Indsættes i stedet værdierne fra boring 4 og 6 :

$$r_2 = 1.4^{\circ}\text{C} \quad r_1 = 2.1^{\circ}\text{C} \quad d_2 = -400\text{cm} \quad d_1 = -300\text{cm}$$

findes :

$$x = 0.0041\text{cm}^{-1}$$

Benyttes middelværdien $x = 0.0040\text{cm}^{-1}$ og indsættes værdierne :

$$r_1 = 4.3^{\circ}\text{C} \quad d_1 = -100\text{cm} \quad r_2 = 0.3^{\circ}\text{C} \quad \text{findes } d_2$$

$$0.3 = 4.3e^{0.0040(d_2 + 100)}$$

$$d_2 = -765\text{cm}$$

I en dybde af ca. 8m vil den årlige temperatursvingning altså være af samme størrelsesorden som måleusikkerheden.

KONKLUSION

Som tidligere nævnt får målingerne i Frederikshåb først deres videre betydning, når de kan sættes i forbindelse med lignende målinger andre steder i Grønland, således at de indgår som et led i bestemmelsen af permafrostens udbredelse, horisontalt såvel som vertikalt.

Ved fremtidige målinger vil det være af stor interesse, om målestationen kunne oprettes i nærheden af en meteorologisk station, hvor der blev udført albedomålinger samtidig med de ordinære observationer. Kunne dette lade sig gøre både i og udenfor permafrostområdet, ville en sammenligning af jordtemperaturerne med de meteorologiske observationer, sikkert vise sig overordentlig frugtbar.

Ved oprettelsen af nye målestationer bør der tages prøver ved borerne, således at jordlagets mineralogiske sammensætning, kornstørrelsen samt vandindholdet kan bestemmes, da disse faktorer har betydning for varmestrømmens forløb. Endvidere bør det undgås at bruge foringsrør af jern eller andet stærkt ledende materiale ved borerne, da dette forstyrrer den naturlige varmeudveksling.

LITTERATUR

- Buch, Dan, 1961. Temperaturmålestation, Frederikshåb.
GTO foreløbig rapport. Sag nr. 5142 DB/UL.
- Crawford, C. B. and Legget, R. F., 1957. Ground temperature investigations in Canada.
J. Engineering, vol. 40 no. 3 pp. 1-8 (NRC 4302).
- Landsberg, H. E. and Blanc, M. L., 1958. Interaction of soil and weather.
Soil Science Soc. Amer., vol. 22 no. 6 pp. 491-95.
- Lettau, H., 1954. Improved models of thermal diffusion in the soil.
Trans. Am. Geophys. Union, vol. 35 no. 1 pp. 121-32.
- Weedfall, R. O., 1963. Variations of soil temperatures in Ogotoruk valley, Alaska.
Arctic, vol. 16 no. 3 pp. 181-94.

