

INFRARÖDTEKNIK I HYDROLOGISK TILLÄMPNING:
VÄRMEBILDER SOM HJÄLPMEDEL I RECIPIENTUNDERSÖKNINGAR

av

U. Karström

SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT

Notiser och preliminära rapporter

Serie HYDROLOGI. Nr 3

Stockholm 1966

INFRARÖDTEKNIK I HYDROLOGISK TILLÄMPNING:
VÄRMEBILDER SOM HJÄLPMEDEL I RECIPIENTUNDERSÖKNINGAR

av

U. Karström

SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT

Notiser och preliminära rapporter

Serie HYDROLOGI. Nr 3

Stockholm 1966

THESE DOCUMENTS SONT
DEPOSES A LA BIBLIOTHEQUE

DE LA

LE 15 JANVIER 1971

PAR LE SERVICE DES ARCHIVES

DE LA MAIRIE DE MONTREAL

Infrarödteknik i hydrologisk tillämpning:

Värmebilder som hjälpmedel i recipientundersökningar

Sammanfattning:

Kortfattad presentation av teori och felkällor. Praktiska försök redovisas med bildmaterial och diskussion. Resultaten belyser värmebildteknikens självklara fördelar vid vissa typer av recipientundersökningar. Kortfattat redovisas även erfarenheter av prov med strålningstermometer. Lista över litteratur rörande IR-teknik i hydrologisk tillämpning bifogas.

Innehåll:

p 2	Strålningstermometri och värmebildalstring
p 5	Angående bearbetning av bildmaterialet
p 7	Diskussion av bildmaterialet
p 9	Allmänna synpunkter på värmebilder i recipientundersökningar
p 11	SMHI:s strålningstermometer
bilaga 1	Litteraturlista
bilaga 2:1-2	Figurer
bilaga 3:1-6	Värmebilder

THE HISTORY OF THE
REPUBLIC OF THE UNITED STATES OF AMERICA

BY J. H. HARRIS

THE HISTORY OF THE
REPUBLIC OF THE UNITED STATES OF AMERICA
BY J. H. HARRIS
THE HISTORY OF THE
REPUBLIC OF THE UNITED STATES OF AMERICA
BY J. H. HARRIS

1877

THE HISTORY OF THE
REPUBLIC OF THE UNITED STATES OF AMERICA
BY J. H. HARRIS

THE HISTORY OF THE
REPUBLIC OF THE UNITED STATES OF AMERICA
BY J. H. HARRIS

Strålningstermometri och värmebildalstring

Strålningstermometri utgör ett alternativ till kontakttermometri. Som resultat av satellitteknik och diverse militär teknik har på senare år olika fjärrkännande termometriska utrustningar funnit allt vidare användning inom geovetenskaperna. Ett uppdrag för HBF har varit att undersöka strålningstermometrins användbarhet inom ytvattenhydrologin - i första hand för undersökningar av varmt spillvattens spridning i recipienter.

Temperaturstrålningsspektrum för en "absolut svart kropp" följer Plancks lag som i fig. 1 visas i grafisk form för 35°C och -2°C (de naturliga gränserna för vattentemperatur). Som synes har utstrålad effekt intensitetsmaximum i området kring $10\ \mu$.

Atmosfären har i IR-området många "fönster" (våglängdsområden med god transmission). Däremellan är transmissionen mycket dålig, i första hand p.g.a. selektiv absorption hos H_2O och CO_2 . Ett sådant "fönster" finns mellan 8 och $13\ \mu$ (se fig. 2).

Det ovan nämnda visar att våglängdsområdet $8-13\ \mu$ är det naturliga för strålningsmätning som syftar till fjärrmätning av temperatur.^{x)} Ett ytterligare skäl för detta våglängdsområde är att de flesta naturliga terrängföremål där verkligen är i det närmaste "absolut svarta".^{xx)}

Om man i sin strålningstermometer har en strålningsdetektor som är tillräckligt snabb och ett optiskt system som har mycket liten öppningsvinkel kan man i princip åstadkomma en termisk bild genom att "scanna över", d.v.s. systematiskt söka av, motivet och låta signalen styra intensiteten hos en ljusfläck som "scannar" enligt samma system över en oscilloskopskärm med efterlysning eller över

-
- x) Obs. att transmissionen även i "fönstren" varierar med t.ex. atmosfärens aktuella H_2O -innehåll och kan reduceras radikalt genom förekomst av droppar eller partiklar (rök, dis, dimma, moln)
- xx) Om en kropp inte är "absolut svart" - d.v.s. inte har emissionskoefficient $\epsilon=1$ - så sänder den ut mindre strålning och uppfattas därför av en strålningstermometer som kallare än den är. Om t.ex. $\epsilon=0,5$ och kroppens temperatur $=-2^{\circ}\text{C}$ (271°K) så är strålningen ekvivalent med den som skulle komma från en kropp med $\epsilon=1$ och temperaturen $=(271 \sqrt[4]{0,5}) = 228^{\circ}\text{K}$ d.v.s. -45°C .

[illegible]

Year	Number of cases
1990	~10,000
1991	~80,000
1992	~10,000
1993	~15,000
1994	~20,000
1995	~25,000
1996	~30,000
1997	~35,000
1998	~40,000
1999	~45,000

en fotografisk film. Sådan värmebildfotografering^{x)} benämnes ibland oegentligt för IR-fotografering. (Gränsen mot det röda för konventionell kamerateknik ligger f.n. vid ca 1μ (10000 Å). Den sätts av en med ökande våglängd sviktande filmkänslighet och tilltagande absorption i linserna. Inga naturliga terrängföremål är så varma att de emitterar mätbar strålning i detta "fotografiska IR"-område, jfr fig. 1.)

På FOA arbetar man på utveckling av apparatur för sådan värmebildalstring. I samarbete har FOA och SMHI under sensommaren och hösten 1965 provat en flygburen utrustning mot vissa hydrologiskt intressanta mål. SMHI:s insats har bestått i att mäta ytvattentemperaturer i samband med flygfotograferingen och att söka syntetisera temperaturmätningarnas och fotografiernas information. Utrustningens princip och prestanda redovisas översiktligt i fig. 3.

Medan FOA:s folk i en DC3 flög över och tog en bild gällde det alltså för SMHI:s folk att mäta ytvattentemperaturen i området så att bildernas gråtonskala "blev temperaturkalibrerad". Vad är ytvattentemperatur i denna mening? Ja, vattnets absorption för strålning i $8-14\mu$ -registret är så stor (se fig. 4) att hela 98 % av sådan strålning från vatten emanerar från det översta 0,1 mm tjocka skiktet. Ett så tunt skikts temperatur kan självfallet inte mätas med kontakttermometri. För att få acceptabel enhetlighet i avståndet vattenyta-måtnivå vid mätning från båt på en mängd olika platser måste detta avstånd sättas till minst 1 dm. Hur representativ är då temperaturen på 1 dm djup för "strålningsytvattentemperaturen"? Undersökningar som utförts på andra håll i världen visar, att ΔT (se fig. 5) under optimerade betingelser (molnfri dag, kall torr luft i rörelse över en stilla yta av varmt vatten) kan uppgå till 1 à 2°C (ref. 6 §22, ref. 13). Under mer normala betingelser (vind och stilla yta är ju t.ex. en ovanlig kombination i verkligheten) överstiger ΔT sällan $0,6^{\circ}\text{C}$ (ref. 4). Det sannolikaste är lyckligtvis att temperaturfördelningen är sådan som antyds av streckad kurva i fig. 5 (att praktiskt taget hela ΔT överbryggas

x) "Värmebild" har etablerats som svenskt fackuttryck svarande mot engelskans "infrared imagery". "Temperaturbild" vore mer riktigt och "radiansbild för långvågig strålning" vore helt korrekt.

redan i ett mindre än millimetertjockt ytlager - det "termiska gränsskiktet"). Därför saknar det betydelse om man felar med några cm när man försöker mäta på 1 dm-nivån. I de här undersökningarna befanns det t.o.m. praktiskt att gå så tillväga att en hink fylldes med ytvatten och att temperaturen sedan mättes i hinken med Hg-termometer under omröring.

Att detta termiska gränsskikt är så tunt - det sammanfaller i stort sett med det effektivt strålande skiktet - innebär att det snabbt återbildas om det förstörs av t.ex. brottet på en våg. Det är en fråga om någon sekund. Lokalens mikroklimat är alltså ensamt bestämmande för storleken av ΔT . Om mikroklimatet varierar väsentligt mellan olika delar av ett vattenområde, kan man vid överflygning notera variationer i strålnings-temperatur, även om ytvattentemperaturen i konventionell mening är konstant över hela vattenområdet. Väsentliga skillnader i mikroklimat mellan närbelägna lokaler är emellertid ovanliga. Det torde i vart fall vara sällsynt att ΔT varierar mer än några få tiondels grader inom så begränsade vattenområden som de i föreliggande redogörelse behandlade. I ref. 12 (p 311) redovisas ett fall där längs ett 10 miles långt snitt ut från kusten ΔT -variationerna understeg $0,1$.

En annan "felkälla": Vatten är näst intill men inte helt en "absolut svart strålare" i det här aktuella våglängdsavsnittet. $\epsilon=0,985$ (ref. 3) vilket betyder

dels att vattenytan spontanemitterar 1,5 % mindre effekt än om ϵ varit = 1,0

dels att 1,5 % av den strålning i detta våglängdsavsnitt som faller in mot en vattenyta kommer att reflekteras.

Det förra spelar mindre roll eftersom det naturliga alltid är att kalibrera strålningstermometrar mot vatten, men det senare måste man se upp med: Om man tänker sig två fall som skiljer sig endast däri att i det ena fallet långvågiga instrålningen är noll (vilket den praktiskt taget är vid molnfri himmel) och i det andra fallet långvågig instrålning föreligger från ett tätt molntäcke med samma temperatur som vattnets, skiljer

sig vattenytans apparenta strålningstemperatur^{x)} så, att den är 1,1 högre i det senare fallet.^{xx)}

I fråga om ϵ skall slutligen tilläggas att värdet 0,985 endast gäller i riktning längs vattenytans normal. I andra riktningar är värdet lägre - i riktning 60° från normalen exempelvis endast ca 0,965 (ref. 14). Om man vid strålningstermometri mot vatten siktar med strykande infallsvinkel, svarar, i fall med molnfri himmel, denna effekt för att den uppmätta temperaturen kan bli 1 till 2° för låg. När vågor och krusningar är för handen och olika delar av vattenytan alltså bildar olika vinklar med horisontalplanet antar ϵ någon sorts medelvärde.

En strålningstermometer som riktas rätt mot en i lugn vattenyta speglad sol ger givetvis en våldsamt felvisning för vattentemperaturen, ty spegelbilden "avger" 1,5 % av den långvågiga strålning som solen själv ger och det räcker för att ge spegelbilden en ekvivalent strålningstemperatur av storleksordningen 1500°C . Härav förstår man att solglitter - som ju består av fragment av solens spegelbild - i vissa fall kan innebära en allvarlig störning.

Angående bearbetning av bildmaterialet

Den 17/8 1966 fotograferades fyra områden i nordöstra Svealand, nämligen de inre delarna av Norrtäljeviken och Bråviken samt vattenområdena utanför Pappers bruket i Hallstavik och Järnverket i Oxelösund.

Bildmaterialet från detta tillfälle redovisas i bil. 3:1-5. Obs. att bilderna i reproduktionen förlorat mycket i kontraster och tydlighet jämfört med originalen. Från varje plats föreligger bilder från såväl låg höjd, 450 m, som från högre höjd, 900 eller 1800 m. Som nämnts (i fig. 3) föreligger en skal-

x) Med apparent strålningstemperatur menas temperaturen hos en "absolut svart" kropp som i frånvaro av atmosfärisk absorption ger samma strålning som den, som i ett aktuellt fall träffar detektorn. Såväl spontanemitterad som reflekterad strålning lämnar bidrag till apparenta strålningstemperaturer.

xx) Om man bortser från atmosfärisk absorption följer ur den s.k. "T⁴-lagen" att skillnaden mellan apparent och verklig temperatur $= \frac{\epsilon - 1}{4} \cdot 300$ så länge ϵ är nära 1. För $\epsilon = 0,985$ erhålles värdet 1,1.

1. The first part of the paper is devoted to the study of the properties of the function $f(x)$ defined by the equation $f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n x^n$, where $a_n = \frac{1}{n!}$. It is shown that $f(x)$ is a continuous function on the interval $[0, 1]$ and that it is differentiable at $x=0$. The derivative of $f(x)$ at $x=0$ is equal to 1.

distorsion hos bilderna från lägsta höjd. I dessa bilder är också störningar som orsakats av smärre rollrörelser hos flygplanet - raka linjer blir till båglinjer - särskilt påtagliga. Orsaken till att låghöjdsbilder trots detta tagits är en strävan efter bästa detaljupplösning.

Bilderna har valts ut ur ett större material - upprepade flygningar på samma höjd har gjorts över varje målområde med variation av de två parametrar i kamerautrustningen som bestämmer temperaturnivån för vitt och temperaturomfånget svart-vitt hos bilden. Bildkvalitet har varit ensamt bestämmande vid valen.

Detta utgör en av orsakerna till att samma gråton kan motsvara helt olika temperaturer i olika bilder. Andra orsaker är drift i kamerans elektronik samt att tekniken för framkallning och kopiering inte varit fullständigt standardiserad. (Effekten av det senare syns särskilt tydligt i skarvar mellan olika kopior; se t.ex. nedre delen av bild nr 2 i bil. 3:1.) Om dis eller dimma varit för handen i varierande grad skulle det haft samma verkan - i fall av tät dimma skulle man rent av ha mätt dimmans temperatur och inte alls vattnets. Under den här redovisade undersökningen förekom dock inga problem med dis eller dimma.

Det mönster av isotermer som lagts in i bilderna utgör synteser av bildernas svärtningsmönster och resultaten från de temperaturmätningar som gjorts från båt i samband med fotograferingen.

Om man har som målsättning att maximalt utnyttja den information som utrustningens temperaturupplösning ger möjlighet till - d.v.s att dra isotermer för halva grader - så är erfarenheten av denna undersökning att bearbetningen ofta är en svår och tidskrävande uppgift. Den svårighet att detaljorientera sig i bilderna som blir följden av deras distorsion tillsammans med finstruktur i vattenytans temperaturfördelning samt finstrukturens föränderlighet gör, att även om man har ett mycket stort antal mätpunkter, väl ortangivna och mätta inom ett mycket snävt tidsintervall omkring fotograferingstillfället, måste man vid syntetiseringen ägna sig åt en grannläga "viktning" av olika mätpunkter.

I samtliga bilder finns längs ena kanten en felteckning bestående av ljus skugga.

Diskussion av bildmaterialet

Norrtäljeviken (Bild 1-3 i bil. 3:1-2)

När undersökningen planerades fanns anledning hoppas att Norrtäljeån^{x)} vid själva måttillfället skulle komma att avbörda vatten med märkbar övertemperatur relativt vikens vatten. Vi ville söka fånga mönstret för hur denna övertemperatur avklingade i ytan efter inträde i viken. Någon sådan övertemperatur förekom tyvärr inte den 17/8 så bilderna är mindre intressanta än vi hade hoppats. Norrtäljeån avbördade ca 1,5 m³/s som var 15,7° C kl. 07.30 och 16,7° kl. 14.00. Under den föregående natten torde Norrtäljeåns vatten ha varit kallare. Vid tiden för mätningarna (09.25-09.45 då lufttemperaturen var 17°) hade det under morgontimmarna uppvärmda åvattnet nått fram till i höjd med båtvarvet^{xx)} på höger strand - där man på bilderna ser en "varmfront". En liknande varmfront som är ännu mer utpräglad syns i bild 2 utanför Broströmmens mynning.^{xxx)} Den avbördade ca 1 m³/s av okänd temperatur. (Som jämförelse se bild 3 tagen dagen innan, den 16/8 kl. 13.30, där situationen av outredd anledning är en helt annan. Tyvärr saknas temperaturdata denna dag. Tidvis stark västlig vind och vattenståndskulmination vid 12-tiden den 16/8 torde utgöra en del av orsakerna.) Utanför Borgmästarholmen^{xxxx)} syns i bild 1 och 2 spår efter Ålandsfärjan som kom in 2½ timme tidigare (kl. 07.00). Förutsättning för att sådant spår skulle bildas förelåg i och med att temperaturgradienten var relativt kraftig i ytnära vatten - på 2 m djup var vattnet ca 2° kallare än i ytan.

Pråviken (Bild 4-5 i bil. 3:3)

Även detta mätområde, där fotografering ägde rum 17/8 omkring kl 15, blev en besvikelse i det att vattnet som avbördades genom Lindö kanal^{xxxxx)} inte hade någon nämnvärd avvikelse i temperatur relativt vikens ytvatten varigenom all information uteblev om termiska spridningsmönstret utanför ett mäktigt avlopp. Kraftig temperaturgradient i ytnära vattenskiikt gjorde emellertid bilderna intressanta i andra avseenden. Ytvattnet var ca 15° ned till 0,5 m djup, men på 1 m djup var temperaturen endast omkring 11°! Lufttemperaturen var 18°. Under det

x) med tillflöde i övre högra hörnet på bilderna

xx) strax under vindpilen i bild 1 och 2

xxx) nere till höger i bild 2 och 3

xxxx) stora ön strax öster om båtvarvet

xxxxx) med mynning överst i bilderna

tunna, varma ytskiktet fanns alltså kallt och visserligen tyngre vatten som emellertid kunde tvingas upp till ytan av en relativt obetydlig störning:

- 1) Spåret efter ett litet fartyg (ca 50 m långt) som passerar området i östlig riktning syns länge eftersom det är markerat av ett kallvattenstråk.
- 2) Trots att vinden var mycket svag (1-2 m/s VNV) syns tydligt vindparallella stråk av sinsemellan olika temperatur - s.k. "slicks" (el. "wind streaks") och på läsidan av öar och uddar har varmvatten blåst bort och kallvattnen blottats - s.k. "up-welling".

Utanför kanalens mynning ser man ett fingersvampsliknande temperaturmönster. Just i detta område hade SMHI:s man på vattnet i uppdrag att mäta en mängd punkter. Hans upplevelser där var ganska förvirrande, ty på några sekunder kunde temperaturen ändra sig ett par grader i en och samma punkt. Detta är ett vackert exempel på områden som aldrig kan bli väl termiskt kartlagda med konventionell mätteknik.

Man ser hur det vatten som avbördas genom kanalen hänger samman i ett "strömstråk" som avlänkas åt höger.

Hallstavik (Bild 6-7 i bil. 3:4)

Till Skeboviken avbördar Hallsta Pappersbruk sitt avloppsvatten. Huvudavloppet lämnade vid fotograferingstillfället den 17/8 omkring kl. 10 ca 0,25 m³/s av temperaturen 26^o. Vikens ytvattentemperatur utanför verkningszonen var ca 17^o. Vinden var svag (1 m/s) och sydlig, lufttemperaturen 17^o.

Man ser i bild 6 på varmvattenmolnet en utlöpare som sträcker sig norrut i viken.

Längst in i SO-hörnet av hamnbassängen ser man spår av ett kallvattenutsläpp och längs hamnbassängens södra strand ser man ytor med kallare vatten som blottlagts genom "up-welling"-effekt (det varma ytlagret var endast mellan 1 och 2 m tjockt). Man ser också att Skeboån^{x)} avbördar vatten med lägre temperatur än vikens ytvatten.

x) med mynning längs ned på bild 6

I höjd med vikens innersta förträngning syns i bild 6 en tunn ljus skugga. Den är inte betingad av relativt varmt vatten, utan av kamerafel. Den svaga S-formen hos ett mörkt motiv mitt på bilden (som är ett plåttak med raka kanter) har orsakats av rörelse hos flygplanet.

Höghöjdsbilden har delförstorats (bild 7) för att ge så skalriktig och distorsionsfri bild som möjligt för arbetet med arealberäkning på ytor med olika övertemperaturer.

Oxelösund (Bild 8-9 i bil. 3:5)

Från Oxelösunds Järnverk släpps avloppsvatten till Ålöfjärden. Huvudavloppet lämnade vid fotograferingstillfället den 17/8 omkring kl. 14.30 drygt 0,5 m³/s med 24° temperatur. Fjärdens ytvatten utanför verkningszonen höll ca 13° temperatur. Även här var vinden svag (2-3 m/s) och sydlig, lufttemperaturen 18°. I det varma ytvattnet vid huvudavloppet formar en fana som efter att ha passerat udden viker av mot norr innan övertemperaturen förklingar.

De mörka tvärstrecken i bild 8 och den ljusa transversella skuggan i bild 9 har orsakats av kamerafel.

Sundsvallsområdet (Bild 10-12 i bil. 3:6)

Slutligen föreligger några bilder över olika hydrologiskt intressanta mål i Sundsvallsområdet som tagits genom tillmötesgående från FOA utan att SMHI engagerat sig i någon temperaturmätning. Här finns bilder över vattenområdena vid Östrands, Vivstavarvs och Fagerviks fabriker som alla släpper ut varmt processvatten i havet. Fotograferingen ägde rum den 21/9 vid 16-tiden. Avbildningens skala är i storleksordningen 1/15000.

Sedan man väl forcerat svårigheten att orientera sig i bilderna (med hjälp t.ex. av hamnspecialerna i Sjökort 524) kan man i dem utläsa information om olika utsläpps lokalisering, något om deras relativa värmemängder, åt vilket håll avloppsvattnet tar vägen m.m. Ingen bearbetning har gjorts av detta bildmaterial utöver att ytor med i stort sett samma gråton har avgränsats med isolinjer. Bilderna har gjorts mer lätttydda genom att landområdena retuscherats bort.

Allmänna synpunkter på värmebilder i recipientundersökningar

Undersökningen har klart belyst värmebildteknikens överlägsenhet för kvalitativ kartläggning av ytemperaturfördelning (så

som i bild 10-12). För att få absoluta värden på temperaturnivå och -gradienter erfordras alltid en mätinsats nere på vattenytan. (Variationer i atmosfärisk transmission och mikroklimat vid vattenytan m.m. gör att det kravet består även om kamerautrustningen är absolutkalibrerad och fri från drift.) Om denna mätinsats är tillräckligt omfattande kan man uppnå en fullständig och noggrann kvantitativ temperaturkartläggning (på 0,5 när).

Vid sådana hydrologiska undersökningar som rör termiska spridningsproblem är värdet av sådan termisk kartläggning uppenbar. Kring varmvattenutsläpp kan gränser för zoner med olika övertemperatur lätt följas. Det möjliggör bl.a. noggranna värmeutbytesberäkningar. (Exempel: Av materialet från Oxelösund har det kunnat konstateras att värmeutbyte med atmosfären i den aktuella situationen orsakade ca 70 % av temperaturavkylningen - d.v.s. inblandningen av kallare recipientvatten spelade en underordnad roll härvidlag.) Ur isotermmönstret erhålles även upplysningar om systemet för vattenrörelsen i recipienten.

Gränser för och meandrandet hos lokala strömstråk framgår ofta tydligt (Exempel: I bild 5 från Bråviken är det lätt att identifiera stråket av vatten som kommer från kanalmynningen) liksom stora virvlar.

Varma och kalla källor (utlopp) kan snabbt lokaliseras.

Mer speciella användningsområden där värmebildtekniken har förutsättningar att visa sig värdefull är t.ex.

- 1) för studium av oljeleckars förekomst och utbredning. Oljefilm sänker nämligen vattenytans emissivitet i en utsträckning som motsvarar ca 2°C. Liknande effekt har organisk ytfilm (t.ex. utanför avlopp).
- 2) för studium av konvektiva förlopp (t.ex. när nattetid vattnets ytskikt avkyls så att underliggande vatten blir lättare och bryter igenom)
- 3) för studium av "slicks".

Bland teknikens nackdelar är den f.n. största givetvis att kamerautrustningen är så exklusiv. Det torde höra till de verkliga undantagen att FOA kan ta beställningsarbeten för de pro-

totyper man arbetar med. I USA finns en motsvarande utrustning faktiskt kommersiellt tillgänglig för ca 100 000 dollar (HRB Singer) men de amerikanska bilder som man får se t.ex. i (12) tyder inte precis på att man har skaldistorsionsproblem och andra avbildningsfel under kontroll ännu.

Bland rent praktiska problem bör effekten av distorsion understrykas. Det kan i vissa fall visa sig nödvändigt med något utprickningssystem (facklor, stora bojar, båtar) för att göra det möjligt att orientera sig i bilderna.

Den skillnad, ΔT , som föreligger mellan termiska gränsskiktets temperatur och ytvattentemperaturen i konventionell mening (mätt under ytan med kontakttermometer - eng: "bucket temperature") är i och för sig mycket intressant, t.ex. i anslutning till första skedet av isläggning. Beloppet av detta ΔT under olika betingelser skulle kunna studeras med IR-teknik. Vid termisk kartläggning utgör emellertid ΔT och dess fluktuationer en fel- och störningskälla, likaväl som variationer i mängden reflekterad strålning.

Inom ett och samma vattenområde vid ett och samma tillfälle skiljer sig dock apparenta strålningstemperaturen från ytvattentemperaturen (i konventionell mening) med ett relativt konstant belopp om man blott undviker extrema betingelser (som t.ex. när den del av vattenytan som avbildas innehåller solglitter eller spegelbilden av såväl varma moln som bar himmel) och temperaturkartläggning på 0,5 mkr kan göras med relevans för ytvattentemperatur i konventionell mening.

SMHI:s strålningstermometer

I anslutning till denna redogörelse skall också nämnas att SMHI har en strålningstermometer (Barnes IT2-S) - d.v.s. i princip samma utrustning som sitter i FOA:s värmebildkamera men med den väsentliga skillnaden att den inte scannar - inte är bildalstrande. När man siktar med termometern mot vattenytan kan temperaturen avläsas på ett visarinstrument. Det har varit ganska stora problem med att få den i tillfredsställande funktion, men fältförsök som utförts vid Hässelby kraftverk hösten 1965 har visat att den med fördel kan användas t.ex. för att från land göra en grov termisk kartläggning av varmvattenmolnet utanför ett kylvattenutsläpp.

Termometern har inte visat sig ha samma prestanda som de nominella, ty mätvärdenas spridning är 0,5 och det är nödvändigt att göra täta kontroller mot vatten av känd temperatur för att kunna filtrera bort systematiska fel (orsakade av drift i elektroniken), men det som ovan sagts om variationer i ϵ och ΔT visar ju att någon väsentligt bättre mätnoggrannhet hos själva instrumentet inte är särskilt angelägen.

Litteratur rörande IR-teknik i hydrologisk tillämpning

1. McAlister, E.D.
Infrared-optical techniques applied to oceanography:
1 Measurement of total heat flow from the sea surface
Appl. Optics 3 (1964):5 pp 609-612
2. Clark, J.R. & Frank, J.L.
Infrared measurement of sea surface temperature
Undersea Technology 4 (1963):10 pp 20-23
(Mätning med Barnes IRT från flygplan.
MF Bibl.)
3. Dorsey, N.E.
Properties of ordinary water substance
Reinhold Publ. Corp. NY (1940) 657 p
(Bl.a. ang. emissivitet KTH Bibl.)
4. Ewing, G. & McAlister, E.D.
On the thermal boundary layer of the ocean
Science 131 (1960) p 1374
5. FOA
orienterar om infrarödteknik
Stockholm (1964) 23 p
6. Geiger, R.
Das Klima der Boden nahen Luftschicht
Braunschweig (1961)
(Bl.a. ang. termiska gränsskiktet
SMHI Bibl.)
7. Hackforth, H.L.
Infrared radiation
McGraw Hill (1960)
(IR-teknikens teori SMHI Bibl.)
8. Holter, M.R., Nudelman, S., Suits, G.H., Wolfe, W.L. & Zissis, G.J.
Fundamentals of infrared technology
McMillan NY (1962) 442 p
(IR-teknikens teori)

9. Konoski, C.F.
 Water and cloud temperatures measured from U-2 aircraft
 Bull. Am. Meteor. Soc. 45 (1964) p 581-586
 (Mätning med Barnes IRT SMHI Bibl.)

10. Lönnqvist, O.
 Kompendium i strålning
 SMHI (1959) (SMHI Bibl.)

11. Miller, C.D.
 An airborne spectral radiometer
 Proc. Symp. on Remote Sensing of Environments okt 1962.
 Ann Harbor Mich. (1963) p 359
 (Strålningstempmät. från flygplan mot ark-
 tiska snö-, is- och vattenytor
 SMHI Bibl.)

12. Oceanography from space
 Proc. Conf. Woods Hole aug. 1964
 Wood Hole Mass (1965) 469 p
 (Innehåller bl.a. uppsatser ang. IR-teknik
 för oceanografi SMHI Bibl.)

13. Osborne, M.F.M.
 The interpretation of infrared radiation from the sea in terms
 of its boundary layer
 Deutsch. Hydr. Zeitschr. 17 (1964):H3 p 115-136
 (Ang. termiska gränsskiktet)

14. Peloquin, R. & Weiss, M.
 Airborne instrument for precision measurement of sea surface
 using infrared radiation emitted by the sea
 Marine Sciences instrumentation 2 NY (1963)
 (Bl.a. ang. emissivitetens vinkelberoende och
 atmosfärens transmission SMHI Bibl.)

15. Robinove, C.J.
 Infrared photography and imagery in water resources research
 J. Am. Water Works Ass. 57 (1965):7 p 834
 (CTH Bibl.)

16. Smith, W.M. & Frank, J.L.

Low temperature infrared thermometer

1962 Annual Instr. Autom. Conf. and Exhibit okt. 1962

(Mätning med Barnes IRT, bl.a. ang.
inverkan av strykande infall)

17. Weiss, M.

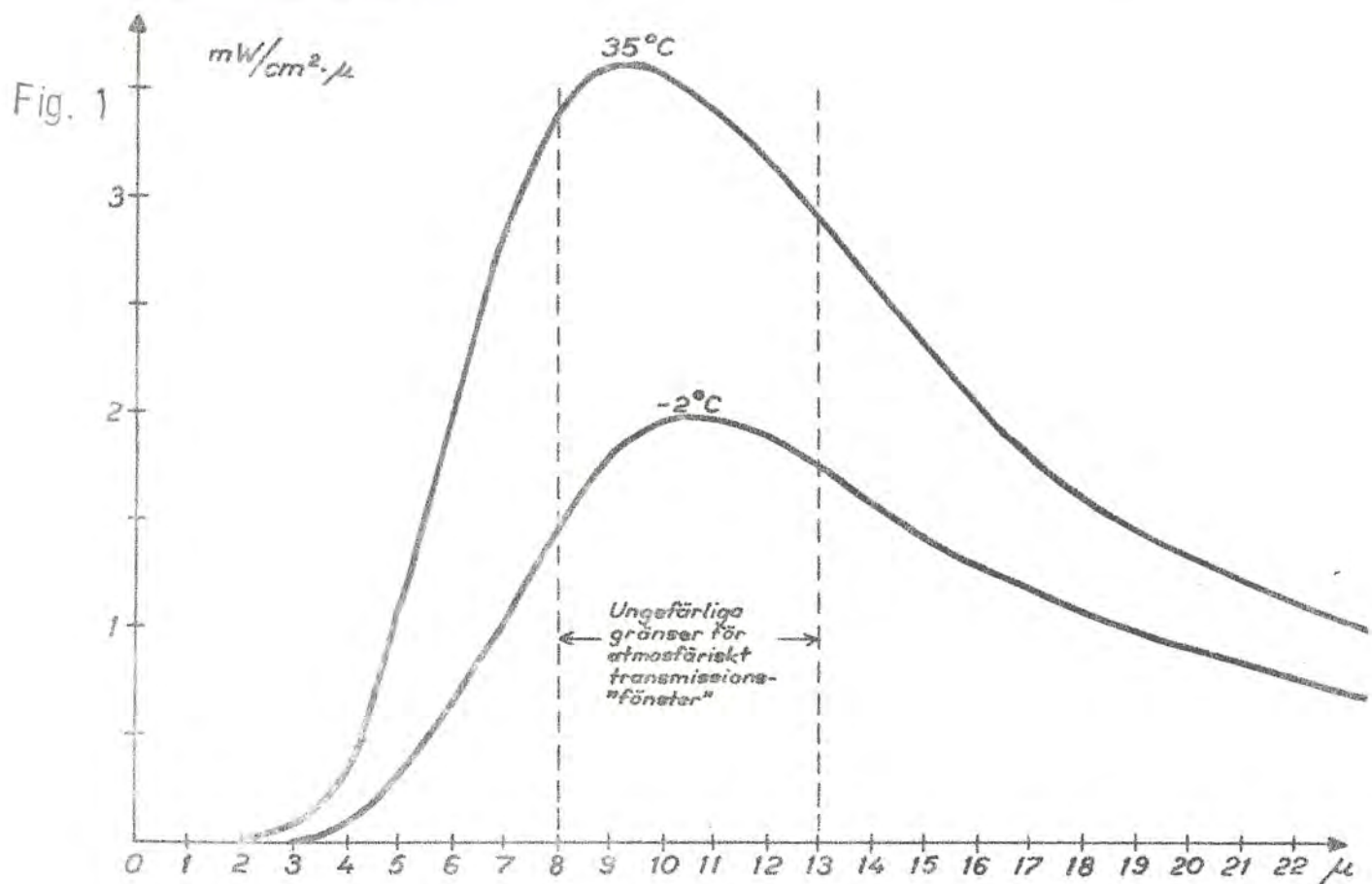
Sea and earth surface temperature measurement using infrared

Proc. Symp. on Remote Sensing of Environments okt. 1962.

Ann Harbor, Mich. (1963) p 343

(Ang. Barnes olika strålningstermometrar
SMHI Bibl.)

PLANCK-STRÅLARE I VATTENTEMPERATUR-
REGISTRET



ATMOSFÄRENS TRANSMISSION

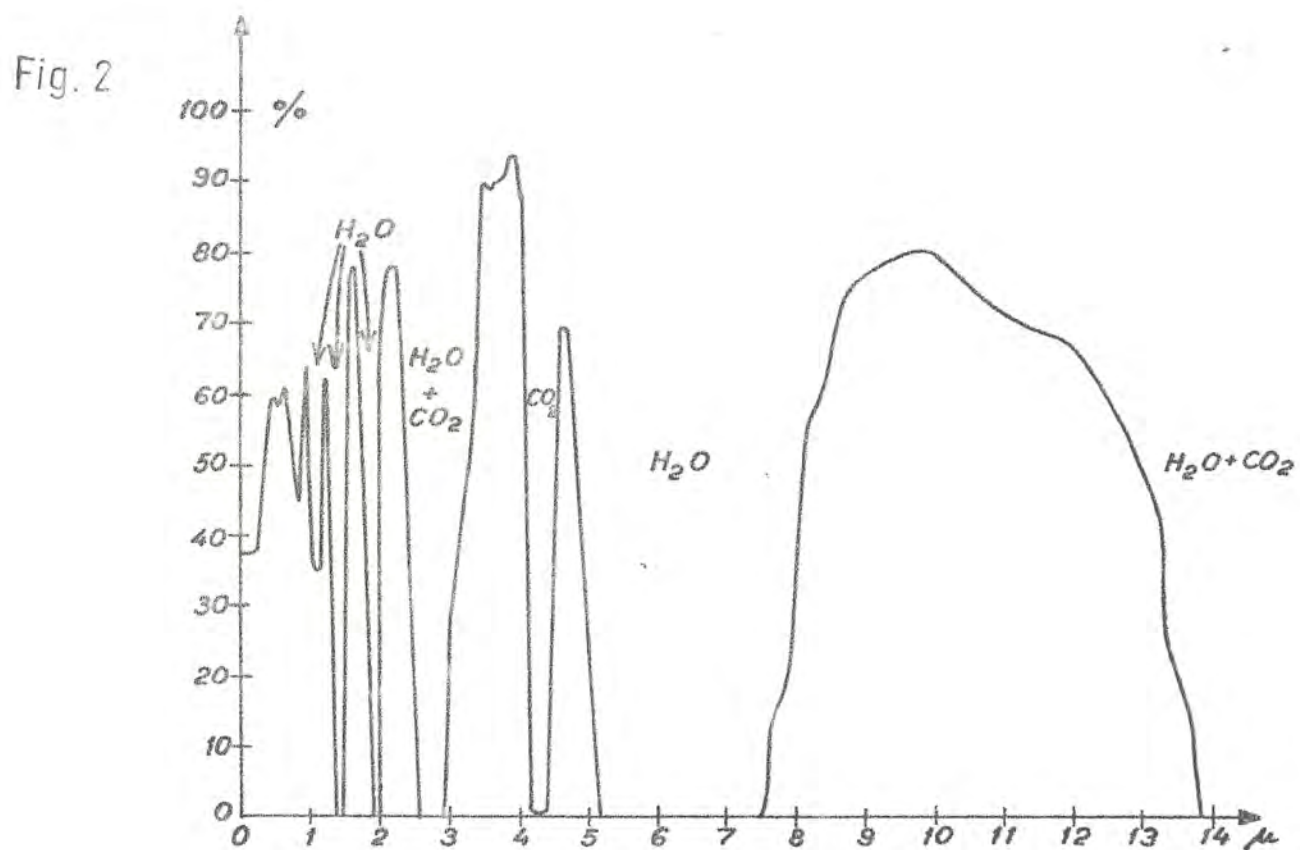
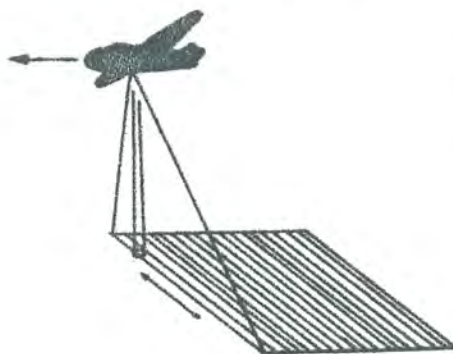


Fig. 3



Synfältet omfattar 2 mrad (streck)

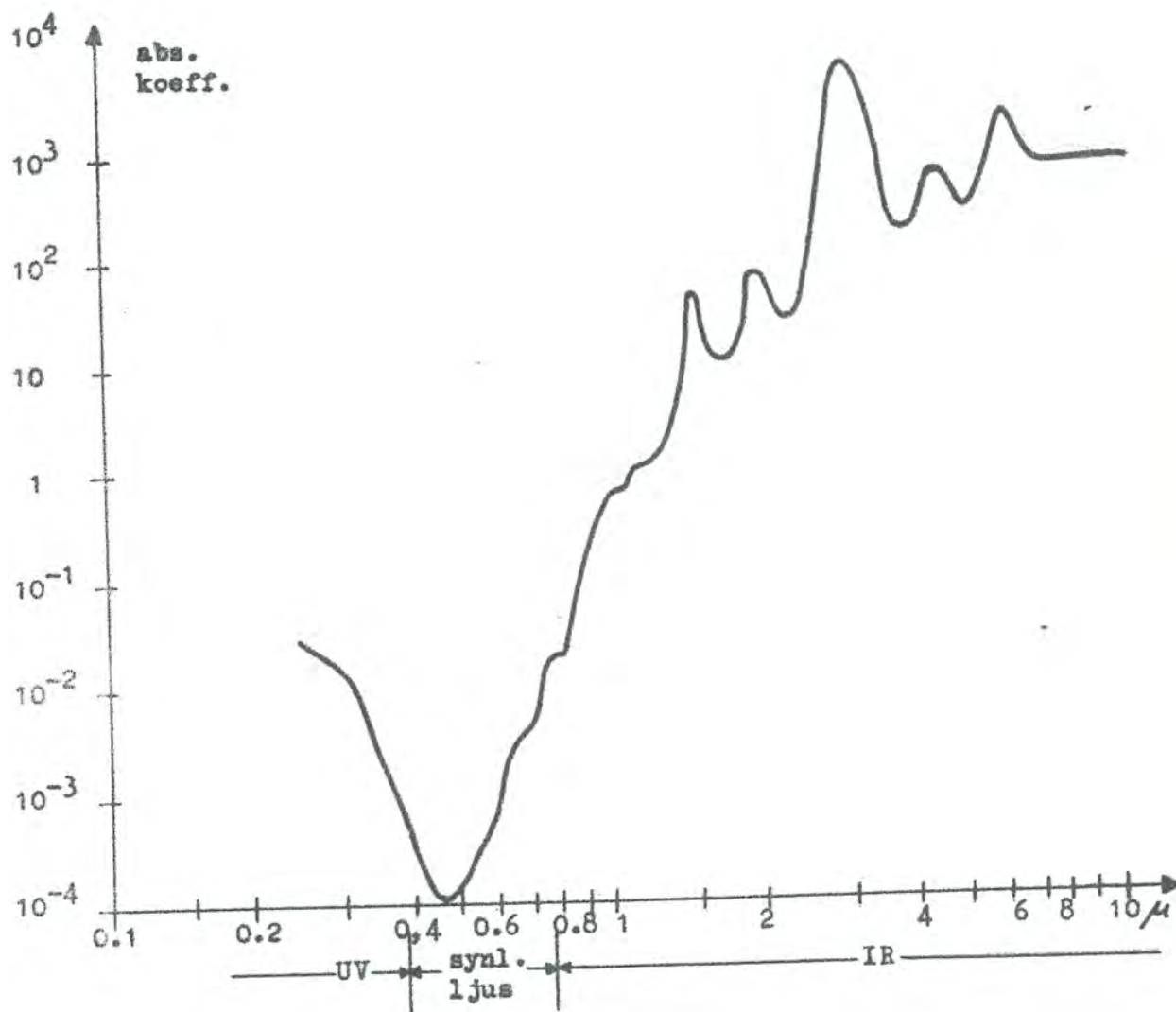
Stråkets bredd = 2 ggr flyghöjden

Våglängdsområde (vid bestyckning med He-kyld Ge-detektor) = 8-14 μ

Vid flygning på <900 m skaldistorsion som innebär att bilden kläms samman i flygriktningen.

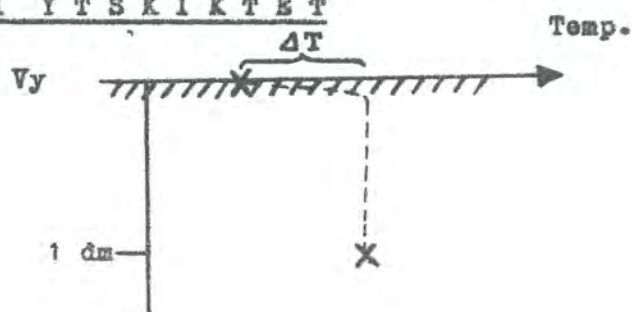
VATTENS SPEKTRALA ABSORPTION

Fig. 4



TEMP.FÖRDELNING I YTSKIKKET

Fig. 5



Handwritten notes in the top left corner, possibly describing a process or experiment.

Handwritten notes in the top right corner.

Handwritten notes in the middle section of the page.

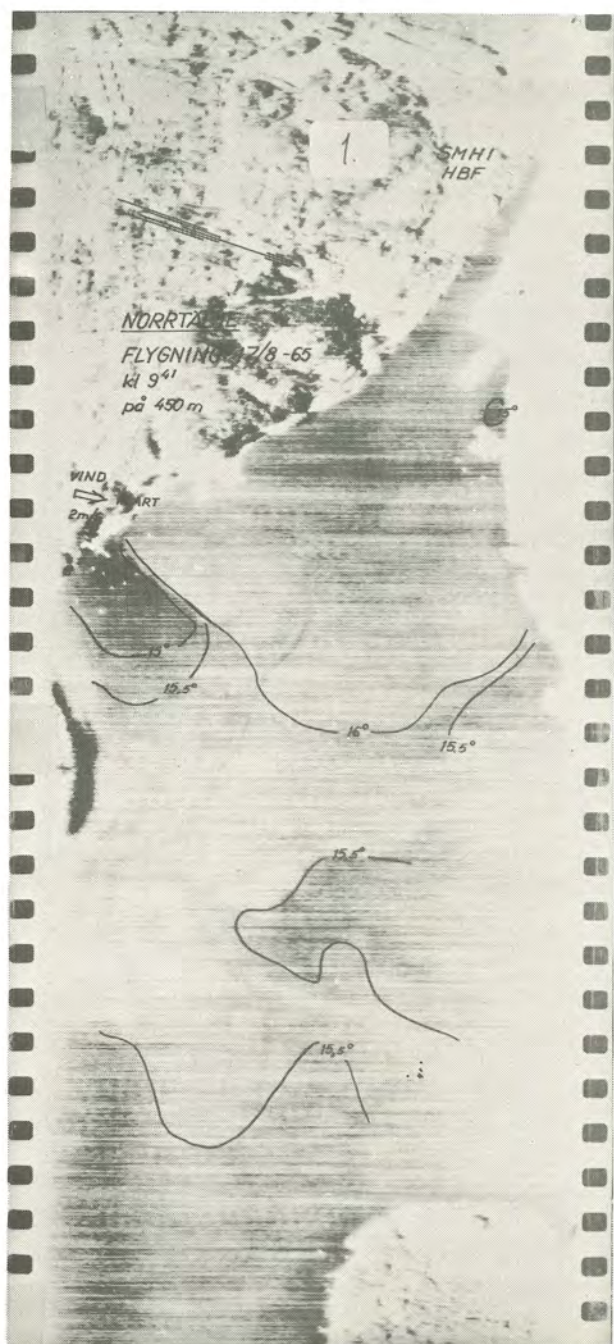


Handwritten notes at the bottom left, below the graph.

Handwritten notes in the bottom middle section.

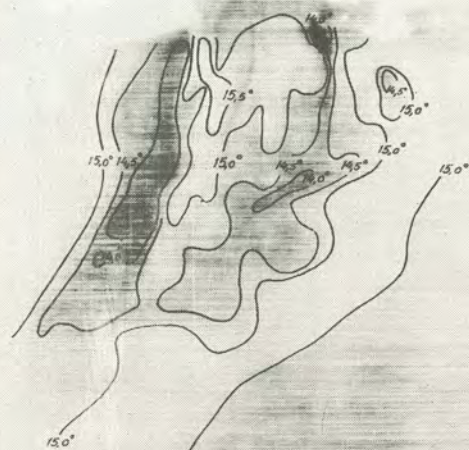
Handwritten notes at the bottom right.

Handwritten notes in the bottom section of the page.



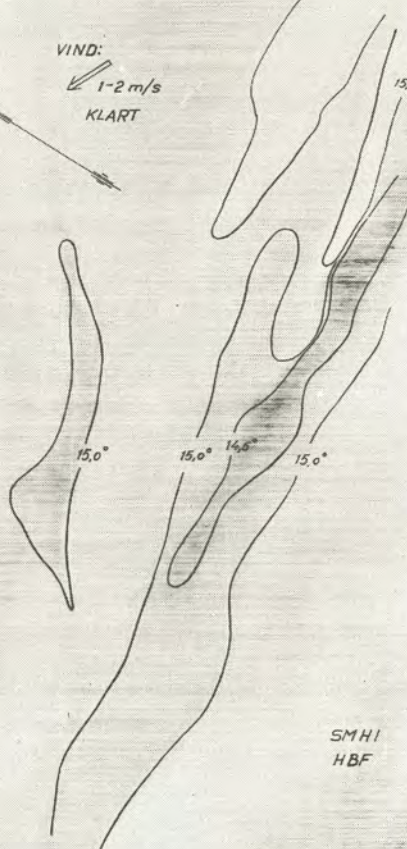


4



BRÅVIKEN
FLYGNING 17/8-65
Kl. 15¹⁷
på 450 m

VIND:
1-2 m/s
KLART

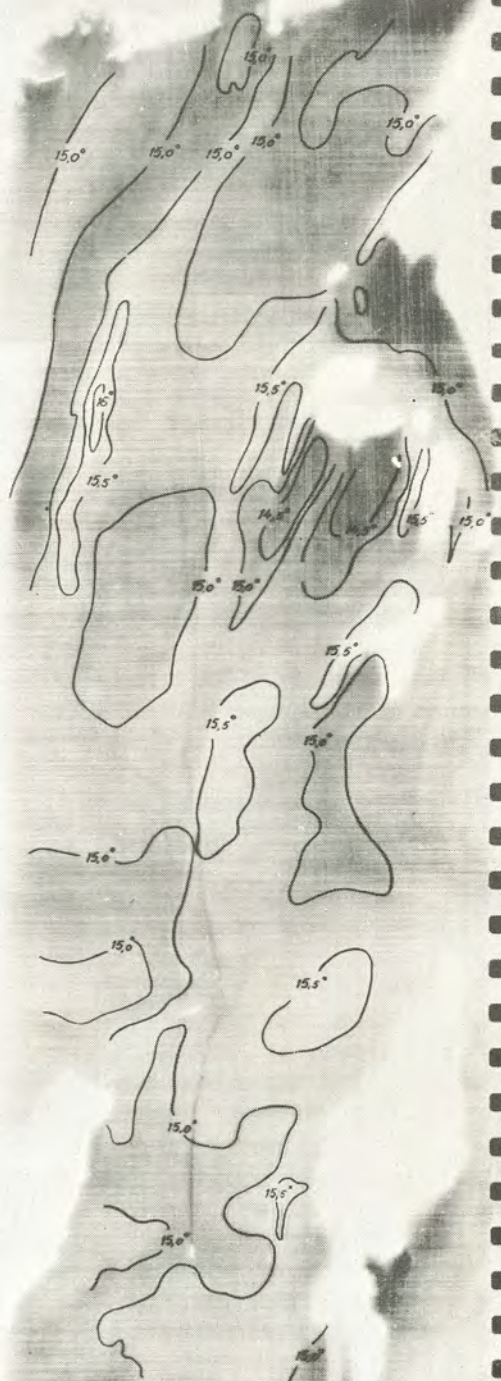


SMHI
HBF

BRÅVIKEN

FLYGNING 17/8-65
Kl. 15⁰¹
på 1800 m

VIND:
1-2 m/s
KLART



SMHI
HBF

