

Eigendom: Westvlac.
Westvlac. Economisch Stadsbureau
Brugge Reeks / Boek

SVENSKA
HYDROGRAFISK-BIOLOGISKA KOMMISSIONENS
SKRIFTER

Ny serie: Hydrografi XV.



ÖSTERSJÖNS VÄRMEEKONOMI

AV

NILS G. JOHNSON

131657

**SVENSKA
HYDROGRAFISK-BIOLOGISKA KOMMISSIONENS
SKRIFTER**

Ny serie: Hydrografi XV.



ÖSTERSJÖNS VÄRMEEKONOMI

AV

NILS G. JOHNSON



R klimatisk synpunkt är kännedomen om det Baltiska Havets värmeförhållanden av stort värde. Dess välbekanta roll som klimatisk faktor för omgivande landområden är ej enbart temperaturutjämnande utan även temperaturhöjande. Den livliga cirkulationen i de övre vattenlagren möjliggör under sommarhalvåret en betydande ansamling av värme, vilket under vintern avgives och delvis, via atmosfären, kommer kustområdena till del. Denna värmelagring uppgår till närmare $\frac{1}{2}$ miljon kgkal/m², en kvantitet, som är mer än 20 gånger större än den värmemängd, som jordytan vid våra breddgrader normalt magasinerar [22].

Värmeutbytet vid en större vattenyta, vilket bestäms av ett flertal processer, har såväl för oceaner som sjöar studerats å skilda håll, främst i syfte att beräkna avdunstningen. En överskådlig framställning av detta tillvägagångssätt — en av huvudmetoderna för beräkning av avdunstningen — har för sjön Vassijaure givits av A. ÅNGSTRÖM [30]. Under förutsättning att vattenbäckenet kan betraktas som en kalorimeter, har man i stort sett att taga hänsyn till följande processer, genom vilka energi föres till och från vattenytan:

- å ena sidan: Instrålning av värmeenergi från sol och himmel
- Konvektiv värmeförsel från atmosfären
- å andra sidan: Utstrålning
- Avdunstning
- Vattenuppvärmning

I såväl in- som utstrålning äro härvid reflexionsförluster i vattenytan beaktade.

Det är klart, att det Baltiska Havet — ett slutet vatten-system med endast ringa tillflöde av oceanvatten — erbjuder goda möjligheter för ett framgångsrikt studium av värmeutbytet. Då Svenska hydrografisk-biologiska kommissionen år 1923 igångsatte en med moderna tekniska resurser arbetande fyrskeppsundersökning [34] var det även med det målet för ögonen att skaffa ett observationsmaterial, på vilket en behandling av Östersjöns värmeekonomi kunde grundas. Ett första led i vår strävan att utnyttja detta material var en statistisk bearbetning av DANIEL WALLERIUS, vilken utmynnade i en uppsats över Östersjöns värmeinnehåll, publicerad i Fyrskeppsredogörelsen 1932 [25]. Han gör här en beräkning av Östersjöns uppvärmning ned till djupet 50 meter under den egentliga uppvärmningssången april—juli, baserad på temperaturobservationer under tioårsperioden 1923—32 från de svenska fyrskeppen »Sydostbrotten», »Grundkallen» och »Ölandsrev» samt från det finska fyrskeppet »Äransgrund» [34, 36]. Med användning av instrålningsvärdet för Stockholm och utstrålnings-

värdet för sjön Vassijaure finner WALLERIUS i balansräkningen över värmeinkomster och utgifter en kraftig diskrepans, i det att det beräknade beloppet av tillfört värme understiger beloppet av värmeförluster plus vattenuppvärmningen med så mycket som 125 000 kgkal/m² — detta under förutsättning, att konvektivt värme försummas. Nu kan man, för att ge en förklaring till denna diskrepans, ifrågasätta, om fyrskeppens temperaturobservationer äro representativa för Östersjön i dess helhet, vidare kan det berättigade i att använda de nämnda strålningsvärdena som gällande för havet ifrågasättas. I denna senare fråga har ÅNGSTRÖM framhållit svårigheterna av att utsträcka erfarenheter av strålningsförhållanden över fastland eller insjöar att gälla ifråga om en havsyta, varest inga mätningar företagits [25].

År 1937 igångsatte Kommissionen speciella undersökningar av Östersjöns temperaturförhållanden, i första hand i syfte att få klarhet i de svävande frågor, som väckts genom WALLERIUS' arbete, men även för att studera Östersjöns klimatiska inverkan, särskilt med hänsyn till de temperaturanomalier i lufttemperaturen, som uppträda vid svenska ostkusten [32]. Under våra undersökningar i Östersjön 1937 och 38 hade vi fördelen av ett samarbete med Statens Meteorologisk-Hydrografiska Anstalt representerad genom nuvarande byrådirektören ANDERS ÅNGSTRÖM, som deltagit i flera expeditioner och med vilken jag haft förmånen att diskutera de strålningsteoretiska problemen.

De undersökningar, som bedrevos 1937, voro av mera preliminär natur och omfattade temperaturobservationer, dels i maj från fyrskeppet »Ölandsrev», dels i maj och augusti från undersökningsfartyget »Skagerak» i vattnen söder och öster om Gotland. År 1938 fortsattes arbetet i större omfattning. Avsikten var då främst att genom täta observationer inom egentliga Östersjön finna ett tillförlitligt värde på uppvärmningen. Det bör kanske tillfogas, att tidigare beräkningar av Östersjöns värmeomsättning av andra voro resultat av lokala undersökningar. Fördenskull företogs under 1938 två expeditioner med »Skagerak», varvid temperaturobservationer utfördes vid stationer utlagda på cirka 30 distansminuters (= c:a 55 km) inbördes avstånd i en rektangel runt Gotland, dels i maj, då under inverkan av den tilltagande instrålningen ökningen i Östersjöns värmeinnehåll sker hastigast, dels ock i augusti, under vilken månad värmeinnehållet är nära sitt årliga maximum. Under sommaren 1938 gjordes också försök att bestämma en annan fundamental faktor i värmebalansen, nämligen instrålningen. En solskensautograf placerades vid Hoburg på Gotland, vilken registrerade antalet solskenstimmar under hela tiden maj—augusti.¹⁾

¹⁾ Instrålningen kan lätt beräknas ur antalet solskenstimmar.

Det är givetvis mest fördelaktigt att bestämma värmeinnehållet vid dess minimi- och maximi-värden, då en mindre förskjutning i tid är betydelselös. För de fortsatta undersökningarna under 1939 var därför planen att med största möjliga noggrannhet bestämma östersjövattnets värmeinnehåll i dess »vändpunkter»; enligt vad man finner ur fryskeppsobservationerna för »Ölandsrev» är lägsta värdet vanligen förhanden i mitten av mars, högsta värdet i mitten av september, allt under förutsättning att man sammanräknar värmeinnehållet i en vattenpelare av minst 50 m djup. Marsexpeditionen 1939 utfördes programenligt med temperaturopbservationer i de centrala delarna av Östersjön. I mars är den lokala variationen i värmeinnehåll ganska obetydlig beroende på att vattnets temperatur då är så gott som likformig genom hela det av nära konstant salthalt utmärkta ytlagret alltså ned till 50 à 70 m. »Skageraks» mätningar i mars 1939 gävo därför — trots att de voro utsträckta över 2 veckor — ett minimi värde, vilket får anses tillräckligt noggrant som gällande för Östersjön. Något annorlunda ligger saken till, då de övre vattenlagren äro starkt uppvärmda och skilda från underliggande vatten genom ett övergångslager, som karakteriseras av ett kraftigt temperatursprång. »Språngskiktets» läge och därmed värmeinnehållet blir då i hög grad påverkat av den horisontella och vertikala vattentransporten. Sålunda kan långvarig och stark vind driva stora mängder varmt ytvatten från en del av havet till en annan, vilken senare därmed gynnas i värmeinhäende. Med hänsyn till en eventuell ojämn fördelning av värmets i Östersjön under sensommaren — denna kan ha andra orsaker än de nämnda t. ex. ojämn insolation — äro samtidigt utförda observationer från flera olika fartyg arbetande i var sitt område önskvärda, med andra ord man eftersträvar mätningar, som kunna ge en ögonblicksbild av värmeinnehållet. Denna önskan kunde i bästa mening uppfyllas under den internationella expeditionen i Östersjön i juli 1939, då fyra länder, som tidigare varit intresserade i det Baltiska havets värmeproblem, på svenskt initiativ förenade sig till ett hydrografiskt samarbete i Östersjön. [3]. De fyra deltagande fartygen voro: det finska »Aranda» under ledning av dr G. GRANQVIST, det lettiska »Hidrografs» under ledning av direktor P. STAKLE, det tyska »Triton» under ledning av dr O. VON SCHUBERT och det svenska »Skagerak» under ledning av professor H. PETTERSSON. I den tidigare del av programmet, som avsåg att undersöka Östersjöns värmeinnehåll — deltog ej det tyska fartyget. Enligt en på förhand uppgjord plan utfördes observationer över vattnets temperatur från ytan ned till botten vid ett stort antal stationer utlagda i ett nät med cirka 30 distansminuters inbördes avstånd mellan Åland och Finska Viken i norr och Bornholm samt tyska kusten i söder. Undersökningarna bedrevs i snabbast möjliga tempo under de sista dagarna i juli. Det finska fartyget startade från Åland och arbetade norr om Gotland, det lettiska utgick från lettiska kusten och observerade i huvudsak öster om Gotland, det svenska fartyget slutligen hade södra Östersjön på sin lott.

Innan vi diskutera de faktorer, som ha betydelse vid värmeutbytet, vill jag nämna några ord om processen för vattnets uppvärmning genom instrålad energi samt i korthet

behandla de faktorer, som bestämma den horisontella och vertikala temperaturfördelningen i Östersjön. Våra undersökningsresultat komplettera den tidigare kännedomen om dessa problem.

Uppvärmningsprocessen.

Den långvågiga delen av dagsljusets energispektrum absorberas mycket snabbt i vatten och har redan på 1 dm djup i havet ringa intensitet. Ansamlingen av värme sker därför övervägande i en grund ytzon, varifrån värmets transporteras nedåt. För studium av uppvärmningsprocessen böra observationerna göras från ett fartyg, som driver med strömmen men ej vinddrives, så att man hela tiden mäter i ett och samma vattenblock. Även om dessa villkor äro uppfyllda, kan den vertikala temperaturbilden förvanskas, ifall strömolikheter äro förhanden i de övre lagren. Den bästa chansen att studera värmeabsorptionen har man i vind- och strömstiltje, men då är å andra sidan värmetransporten nedåt ej så väl utbildad. Fig. 1 visar två temperaturskurvor, som äro resultat av en ingående undersökning av vattentemperaturen ned till 15 m den 23 maj 1937, då vädret var klart och lugnt, och strömmen befanns vara så gott som ingen. Kl. 7 är vattnet ganska homotermt, kl. 15 har däremot en kraftig temperaturgradient utbildats i den översta halva metern, varefter temperaturen mera långsamt avtar nedåt. I själva ytan är temperaturstegringen $0^{\circ},9$, men uppvärmningen, som under de åtta timmarna uppgår till c:a 1 900 kgkal/m², sträcker sig endast ned till 5 m, emedan värmetransporten nedåt sker i långsamt tempo.

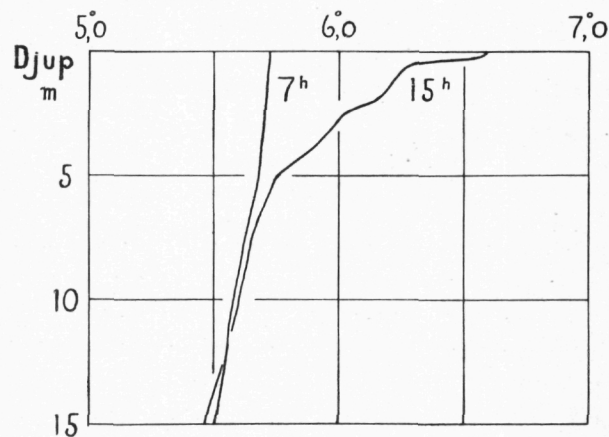


Fig. 1. Vattenuppvärmning den 23/5 1937 vid »Ölandsrev».

Den vertikala och horisontella temperaturfördelningen.

Speciellt vid lugnt väder under de varma månaderna kan man i Östersjön finna stora temperaturgradienter i det homalina skiktet. Fig. 2 visar en situation, då efter en period av lugnt och klart väder en tämligen konstant gradient uppträdde från ytan ända ned till 50 m.

Värmetransporten nedåt sker huvudsakligen genom rörelser hos vattnet, genom konvektion. Ledning av värme är en alltför långsam process för att ha någon betydelse [26]. De övre vattenlagren i Östersjön är vanligen föremål för en

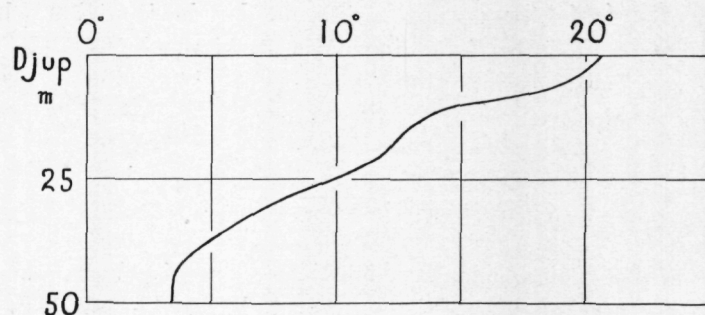


Fig. 2. Temperaturkurva den 12/8 1938 vid 56°43' N; 20°42' E.

livlig inre blandning genom virvlande vattenrörelser, s. k. turbulens och genom vertikal vattentransport. Den senare är främst betingad av täthetsskillnader: genom utstrålning och konvektion avkyles ytvattnet och sjunker — dylik vatten-cirkulation underlättar den höstliga avkylningen — eller en horisontell ytström pressas nedåt vid möte med lättare vatten, varvid strömmen blir verksam i vertikal led. Täthets-cirkulationer av mindre betydelse äro dels den, som förekommer tidigt på våren i mars eller april, om ytvatten av mindre än $+2^{\circ},5$ temperatur värmes och sjunker (Östersjövattnets täthetsmaximum ligger vid cirka $+2^{\circ},5$), dels den cirkulation, som avdunstningen i vattenytan kan ge upphov till. Genom turbulens mellan vattenskiikt, som ha olika hastighet, uppstår även ett vattenutbyte i vertikal riktning, varigenom värme transporteras nedåt; i första hand äro de horisontella strömmarna härvid verksamma. Likaledes har vågrörelsen med åtföljande turbulens en starkt blandande verkan på havets ytlager. Vid värmespridningen nedåt minskas emellertid täthetsdifferenser och turbulens med djupet och slutligen kunna de ej övervinna den inre friktionen mellan vattenlagren: värmetransporten hejdas och ett språngskikt i temperaturen utbildas. En ökad tillförsel av värme kan endast öka temperaturgradienten men ej ändra språngskiktets läge (J. GEHRKE [2]). Denna anordning med ett varmare och lättare skikt ovanpå ett kallare och tyngre är stabil i den mening att vattenutbytet mellan de bägge skikten är förhållandevis obetydligt. Enligt WALLERIUS' undersökningar ackumuleras värmets till $\frac{3}{4}$ i vattenpelaren ned till 25 m; språngskiktet ligger normalt vid 20 à 25 m. Studiet av tröghetsströmmarna i Östersjön har också visat [5], att det övre sommarvarma skiktet ovan språngskiktet, om detta visar ett stort täthetssprång, rör sig som en vattenkropp friktionsfritt ovanpå det undre tyngre skiktet.

Vid hög sjö underlättas värmetransporten nedåt i ovan-skiktet, och de faktorer, som medverka till vattenblandning äro ofta så starkt verksamma, att vattnet blir homotermt ned till språngskiktet, som då är skarpt markerat. I Bornholmsdjupet var t. ex. i augusti 1938 efter en hård vind från NNE homotermi rådande ända ned till 35 m (Fig. 3).

Det är klart, att språngskiktets läge förutom av turbulensen även och i hög grad bestämmes av den horisontella vattentransporten i de olika vattenskiikten. Vi ämna här ej gå in på en allmän diskussion av de hydrografiska faktorer, som påverka språngskiktets läge, vilket starkt inverkar på det lokala värmeinnehållet. Här skall endast ges en kort översikt av temperaturförhållandena i Östersjön under uppvärmningssäsongen mars—augusti och i sammanhang därmed an-

föras en del extremfall av temperaturvariationer i tid och rum.

Efter höstens och vinterns avkylning nedgår östersjövattnets värmeinnehåll vanligen i mitten av mars i ett minimum. Vattnet är ofta homotermt genom hela det homohalina skiktet (ned till 50 à 70 m) och har en temperatur av mellan 0° och $+2,5^{\circ}$ med lägre temperatur i norra, än i södra Östersjön (Jfr även B. SCHULZ' karta över vinterns ytttemperatur-isotemer [23]). I mars varierar värmeinnehållet absolut sett obetydligt från plats till plats.

I april börjar den instrålade energin överväga gentemot värmeförlusten genom utstrålning och avdunstning, en vattenuppvärmning blir följden, vilken försiggår i snabb takt under maj. Språngskiktet, som börjar utbildas i maj eller början av juni, ligger i genomsnitt vid omkring 25 m men kan gå så långt ned som till 40 m. I brist på effektiv omrörning bli ofta temperaturolikheter i ytzone, betingade av t. ex. olika instrålning över olika delar av Östersjön, ej utjämnade, och den horisontella temperaturfördelningen blir i följd härav under maj ganska ojämn. Vid en observationspunkt kunna snabba temperaturvariationer förekomma genom hela det övre vattenskiiktet, dock ej så markerat under 25 m djup. Man kan också finna, att en »näsa» i den vertikala temperaturkurvan bildas i ett mera begränsat vattenskiikt genom i horisontell led tillfört vatten vid detta djup. Fig. 4 visar ett något extremt fall, då inom en halvtimme ett nytt vattenblock av högre temperatur ned till 20 m anlät till observationspunkten, varigenom värmeinnehållet ned till sagda djup stigit med 10 %! Resultaten av ett mera fortlöpande studium av temperaturvariationerna i den övre vattenzonen äro återgivna å Plansch 1. Dessa observationer utfördes av trälmästare AUGUST NILSSON från fyrskeppet »Ölandsrev» under tiden 8—24 maj 1937, vilken period karakteriserades av sällsynt hög instrålning — liksom hela maj månad: instrålningen i maj översteg det normala med nära 9 000 kgkal/m² — med ty åtföljande snabb vattenuppvärmning. Temperaturserierna togos på 0, 2,5, 5 m o. s. v. ned till 20 m djup, vanligen kl. 2, 8, 14, och 19 varje dag. De temperaturkurvor, som å Plansch 1 tecknats på basis av dessa mätningar, äro åtföljda av uppgift på vind och på ström i 0 och 10 m djup vid observationstillfället. Som synes



Fig. 3. Temperaturkurva den 27/8 1938 vid Bornholmsdjupet.

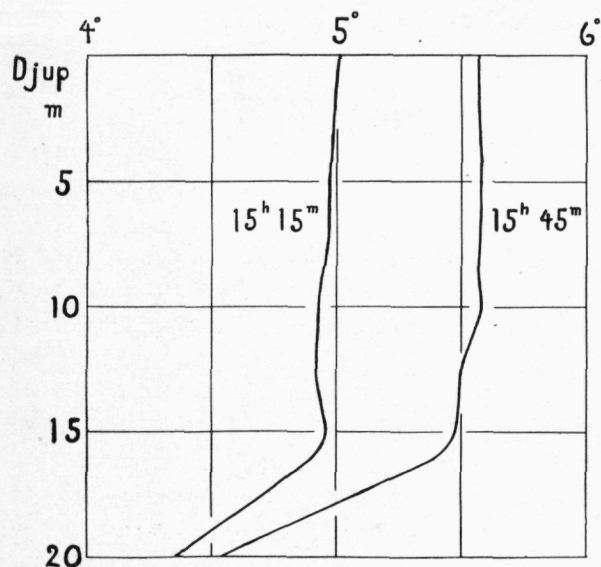


Fig. 4. Temperaturkurvor den 6/5 1937 vid »Ölandsrev».

skiftar kurvans utseende snabbt med tiden och visar prov på praktiskt taget alla former av temperaturskiktning. Om man ur dessa observationer beräknar vattnets värmeinhåll ned till 20 m i kgkal/m^2 (W_{20}) och åskådliggör dess förändringar med tiden (Fig. 5), finner man, att uppvärmningens gång visar tydliga språng. Totalstegringen i värmeinhåll under hela tiden 8—24 maj utgör 50 000 kgkal/m^2 , men värmeinhållat visar starka svajningar, vilka böra ses med hänsyn till motsvarande variationer i det instrålade värmets. Under nämnda tid var nämligen även dagsljuset föremål för observation. En ljuselektrisk cell från B. LANGE, försedd

med ett platinaopalglasfilter var fritt upphängd i horisontellt läge och förbunden med en galvanometer, som avlästes varje dag kl. 8, 11, 14, 17, och 19. Gör man en enkel addering av dessa observationsvärden under dagen får man ett värde, som kan tjäna som ett mått på instrålningen. Dessa relativa instrålningsvärden (I) äro också inprickade i Fig. 5 och punkterna förenade med streckade linjer. Den 10 och den 11 på förmiddagen var vädret klart och »Ölandsrevs» vattenområde erhöill ett stort tillskott av varmt vatten. Perioden mellan den 11 och 14 karakteriserades av regntjocka och liten instrålning, värmeinhållat, som fluktuerade något, tenderade att minskas. På grund av tjockan voro emellertid värmeförluster genom utstrålning och avdunstning starkt reducerade. Därefter följde en tid med hög instrålning och en motsvarande långsam uppvärmning, vilken kulminerade den 20. Då kom i samband med mycket tät tjocka (vilken dock inte kan ha varit djup, eftersom strålningsvärdet ej sjönk i särskilt hög grad) en invasion av kallt vatten i yt-zonen, som dock snabbt avlöstes av varmare vatten.

I juli och augusti äro de övre vattenlagren starkt genomvärmade ned till språngskiktet, där temperatursprånget kan uppgå ända till 15° på ett par meters djupökning. Då huvuddelen av det magasinerade värmets är koncentrerat till vattnet ovan språngskiktet bestämmer dettas djupläge i hög grad det lokala värmeinhållat. Här skall anföras ett fall av ovanligt stor skillnad mellan två temperaturserier vid närbelägna punkter: den 16 aug. 1938 var kl. 22.30 värmeinhållat ned till 50 m vid station $58^\circ 30'$; $20^\circ 47'$ ganska normalt 607 000 kgkal/m^2 (Fig. 6, Kurva II), nästa dag kl. 1.30 funno vi ett värmeinhåll av endast 380 000 kgkal/m^2

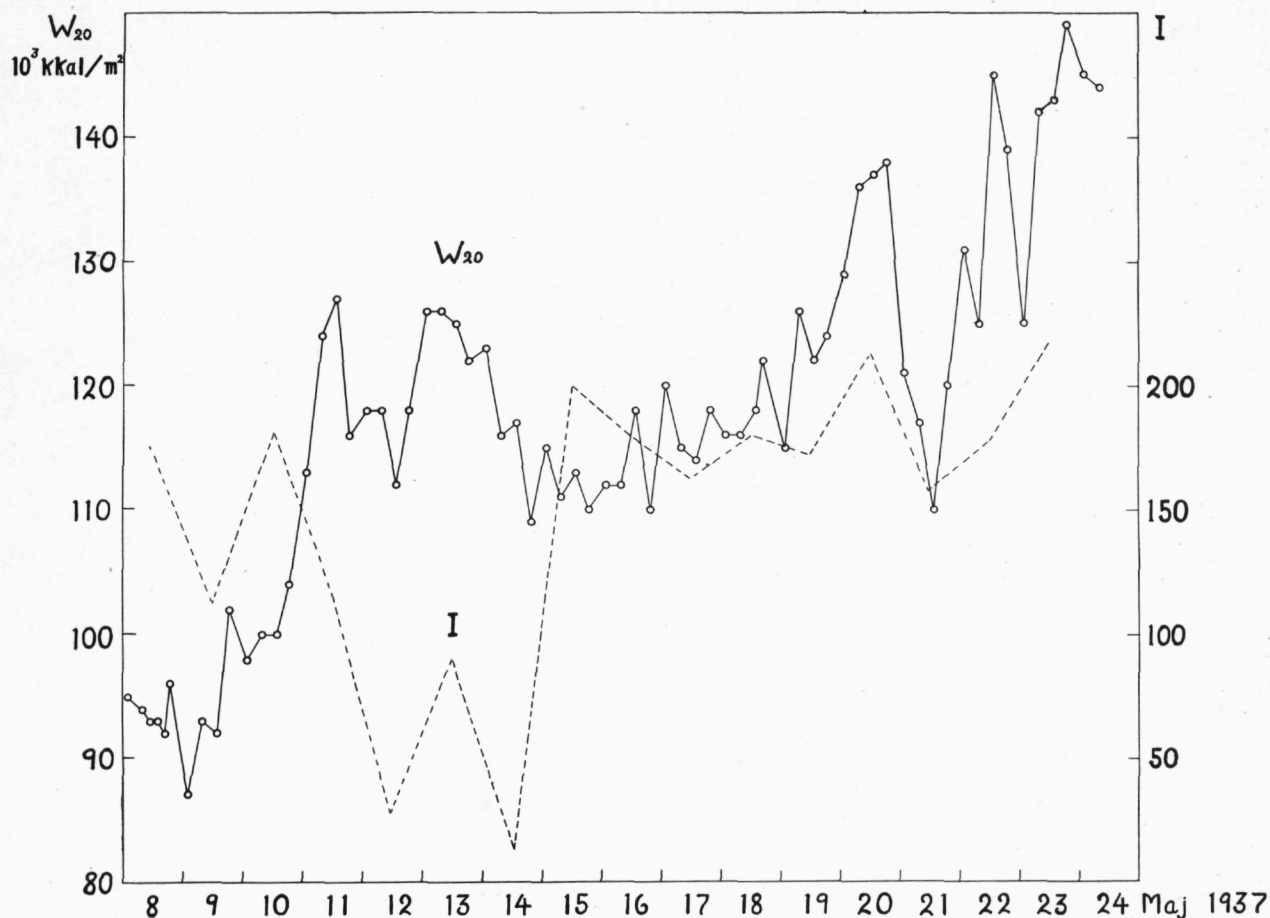


Fig. 5. Värmeinhållat ned till 20 m (W_{20}) och instrålningen (I) i maj 1937 vid »Ölandsrev».

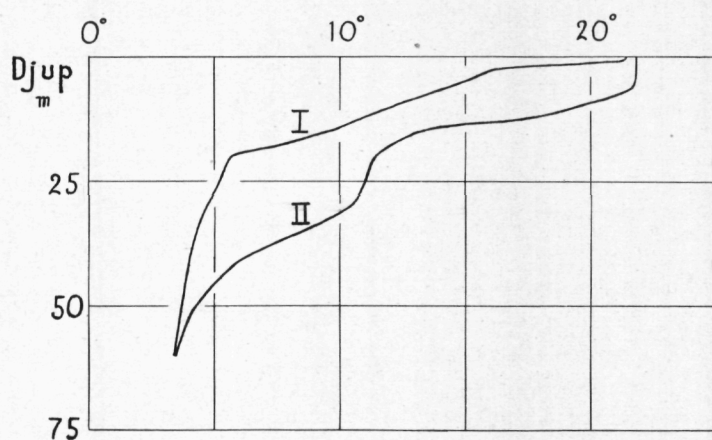


Fig. 6. I. Temperaturkurva den 17/8 1938, 1h 30m vid 58°30'; 21°07'.
II. Temperaturkurva den 18/8 1938, 22h 30m vid 58°30'; 20°47'.

för en station belägen 20' längre österut (Kurva I). Under natten rådde måttlig vind från SSW, varför det inte är osannolikt, att temperaturförhållandena vid den senare stationen påverkats av det grund, som ligger 20' SW från stationen i fråga och W om Ösel.

Som förut framhållits är språngskiktets lägesvariationer beroende på den horisontella vattentransporten. Vi skola ett ögonblick stanna vid frågan, om de normala strömförhållandena i Östersjön kunna fördela värmets olikformigt över Östersjön. WALLERIUS anmärker, att det finns ett moment i Östersjöns ytcirkulation, som talar för en förskjutning av vattenmassor från de centrala delarna mot periferin. Enligt SANDSTRÖM [20] skall nämligen en cyklonisk cirkulation runt ett avgränsat bäcken innehållande skiktat vatten framkalla en höjning av skiktgränsen i de centrala och en sänkning i de perifera delarna. De talrika temperatursnitt, som företagits från »Skagerak» i egentliga Östersjön somrarna 1937, 1938 och 1939, ha emellertid ej ådagalagt en påtaglig förskjutning av temperaturläget i dylik riktning. Fig. 7 visar 20°, 15°- och 10°-isotermerna för två snitt tvärs över Östersjön från Öland till lettiska kusten, det ena längs latitud 56°43' den 11 och 12 aug. 1938, det andra längs latitud 56°08' den 12 och 13 aug. Dessa dagar karakteriserades av varmt och stilla väder. Yttemperaturen var exceptionellt hög och översteg på de flesta ställen 21°.

Av isotermernas läge att döma kan man här knappast tala om en bestämd tendens till värmeförskjutning; möjligen kan man säga, att ytvattnet är varmare nära Ölandskusten, vilket likväl kan vara landpåverkan. För en mera bindande bevisföring bör man betrakta hela värmeinnehållet ned till 50 m. Som vi senare skola se, ge våra mätningar ej vid handen, att värmeinnehållet i märkbar grad är föränderligt i öst-västlig riktning. Detta är i motsats till en uppfattning av GEHRKE [2], som framhållit, att på grund av de västliga vindarnas förhärskande språngskiktet i Östersjön ligger djupare vid de östra och sydöstra kusterna. Emellertid är vårt material ej tillräckligt omfattande för att avgöra denna fråga.

Det finns dock belägg för uppfattningen, att i vissa fall perifera delar i ett vattenbäcken kunna vara gynnade i fråga om värmeinnehåll på bekostnad av de centrala delarna. I Bottenhavet, där ytans cyklonala cirkulation är väl ut-

bildad [13], var för fryskeppet »Grundkallen» medeltemperaturen i aug. 1930 12°,5 på så stort djup som 35 m, och värmeinnehållet ned till 50 m uppgick enligt WALLERIUS' beräkningar till 698 000 kgkal/m² mot 10-åriga medelvärdet 450 000. I detta fall är det inget tvivel om att den stadigt från NW kommande strömmen fört fram vattenmassor, som värmts vid svenska kusten.

Den inverkan, som vindströmmarna ha på värmefördelningen i Östersjön, är ofta betydlig. E. PALMÉN och E. LAURILA [14] ha visat, hurusom vid en nordostlig storm i Finska Viken i okt. 1936 i huvudsak två fenomen uppträda, dels en uppstigning av kallt vatten längs estniska kusten som följd av jordrotationen, dels en läverkan i det inre av viken, varvid det varma ytvattnet drives bort från kusten. Från vår sida gjordes en iakttagelse av den förra effekten vid Landsortsdjupet 1938: den 17 aug. var yttemperaturen över 20° och värmeinnehållet till 50 m 560 000 kgkal/m², den 21 aug. efter storm från SSW uppgick yttemperaturen till 13° och värmeinnehållet endast till 370 000. En läverkan vid kusten är ganska vanlig likaväl som den motsatta effekten, då pålandsvind driver varmt ytvatten in mot kusten. De genom vindverkan uppkomna anomalierna i värmeinnehåll, vilka äro mest utpräglade, då ytvattnet är varmt, få betraktas som randfenomen och försvinna ganska snabbt, då vinden upphör.

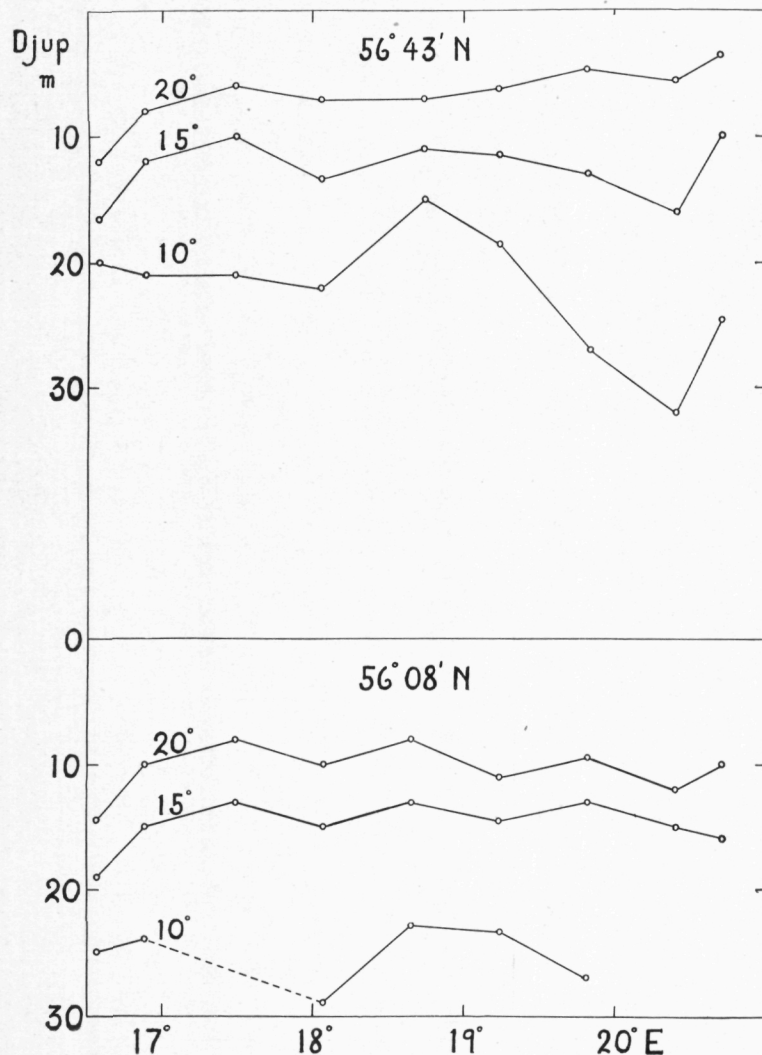


Fig. 7. 20°, 15°- och 10°-isotermerna för två temperatursnitt tvärs över Östersjön den 11-13 aug. 1938.

I yttemperaturen uppträder vid bankar och grund en annan lokal effekt [11], en brännings-effekt, som yttrar sig i ett uppstigande av kallt bottenvatten, då detta av strömmen drives in mot banken. Härvid blandas undre och övre vattenskikt och yttemperaturen blir på banken lägre än i omkringliggande vatten (Se Fig. 8, grundet S om Gotland). Av samma anledning ligger språngskiktet i allmänhet närmare ytan vid kusterna.

Beträffande den horisontella fördelningen av yttemperaturen i Östersjön kan man a priori antaga, att yttemperaturen i södra Östersjön på grund av den högre insolationen är högre än i de norra delarna. Fördelningen bör i normala fall regleras av den cyklonala cirkulationen i Östersjön, vilken vid svenska kusten ger sig till känna som en sydgående

ström av lätt vatten, huvudkällan till den baltiska ytströmmen i Kattegatt och Skagerak, vid tyska kusten som en ganska betydlig vattentransport åt öster. Det borde alltså normalt finnas en tendens till snedställning av isothermerna för yttemperaturen med en favorisering av Östersjöns sydöstra hörn i värmehänseende. Med ledning av våra temperaturopbservationer från »Skagerak» i södra Östersjön och av några mätningar från det lettiska fartyget öster om Gotland under dagarna 24—27 juli 1939 ha i Fig. 8 isotermer för yttemperaturen dragits. Vindförhållandena voro före och under denna period: den 20—22 huvudsakligen ostlig lätt bris, den 23 och 24 sydvästlig frisk bris, den 25—27 nordostlig eller nordlig hård bris till styv kultje. Eftersom den sydvästliga och den nordostliga vinden i huvudsak upphävt varandras verkningar, kan man med en viss rätt antaga, att vindströmmar ej i högre grad påverkat temperaturfördelningen, som väl överensstämmer med ovannämnda uppfattning. I stort sett får en liknande fördelning av värmets i Östersjön anses råda under hela året (Jfr även SCHULTZ [23]). Det är intressant se, att dess inflytande kan spåras också i temperaturanomalierna vid ostkusten. I sin förut omnämnda undersökning av temperaturanomalier 1901—1930 har ÅNGSTRÖM [32] visat, att över den rent maritima verkan, som Östersjön utövar på närliggande kustområden, lagrar sig en verkan av Östersjöns cirkulation. Denna verkan

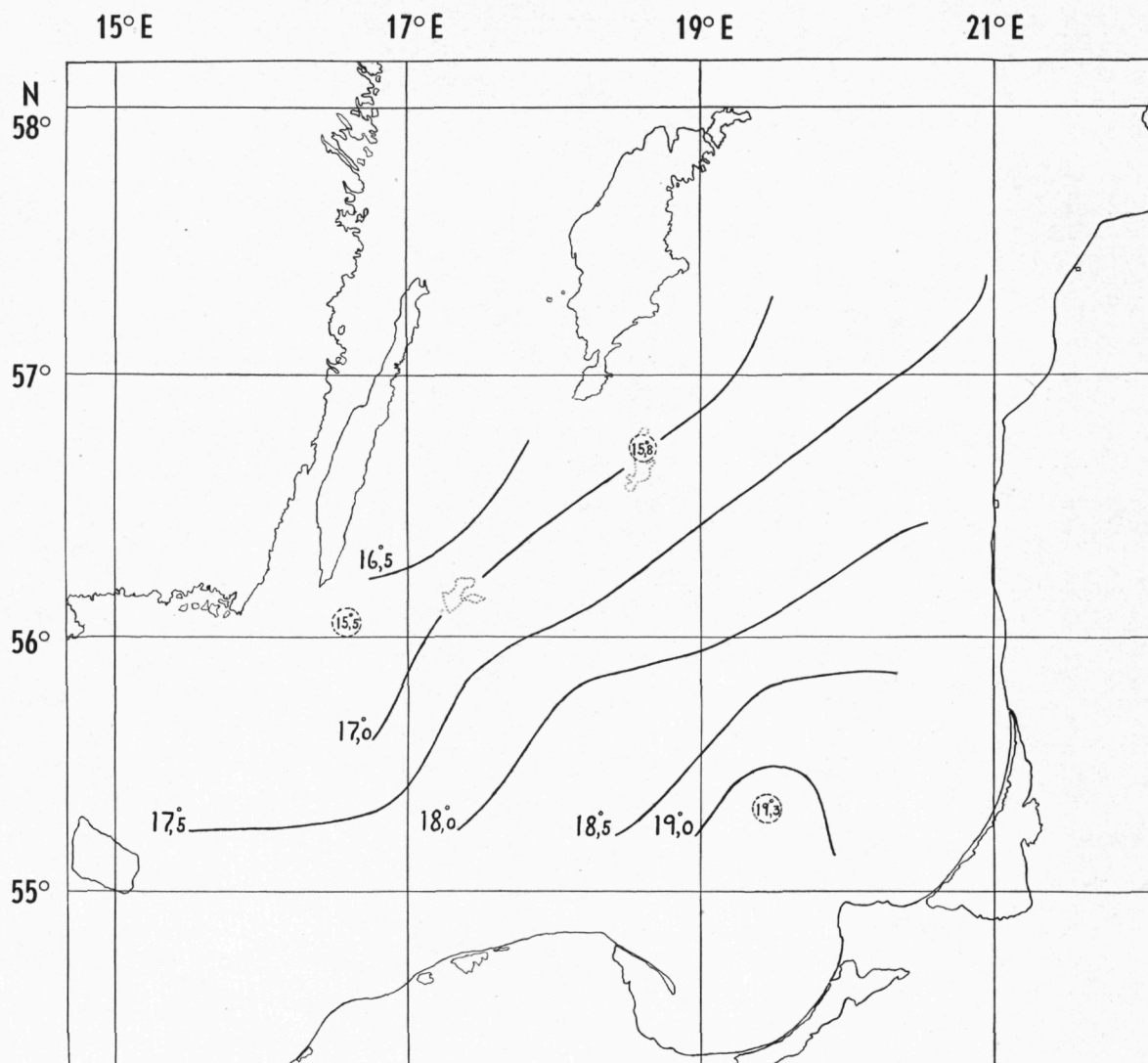


Fig. 8. Isothermer för yttemperaturen den 24—27 juli 1939.

bidrar att utjämna skillnaden i temperatur mellan närliggande trakter med olika latitud och resulterar i ett förstärkande av de positiva vinteranomalierna vid de nordliga kusterna av cirkulationsområdet, i ett försvagande, eller rent av i en omkastning av anomaliens förtecken vid de sydliga kusterna i enlighet med vad anomalikartorna ge vid handen.

För fullständighetens skull bör även omnämnas, att — som vi senare skola se — iso-insolutionskurvorna för området Öland—Gotland äro ordnade på ett sätt, som starkt påminner om den nyss diskuterade bilden för södra Östersjöns isotermer.

Observationer över Östersjöns värmeinhåll.

Observationerna över värmeinhållet ha ej utsträckts utanför egentliga Östersjön. Beträffande Bottniska Havet och Bottenviken kan man enligt R. WITTING [28] anföra, att dessa vattenområden i hydrografiskt avseende få anses vara en enhet, bestämt skild från egentliga Östersjön. Ålands Hav eller snarare dess sydliga del — eftersom den nordliga hydrografiskt står Bottenhavet nära — och Skärgårdshavet, bilda ett övergångsgebit. Ytströmmen i Ålands Hav är i genomsnitt sydlig, kompenserad genom nordgående bottenström — och överför vatten från Bottenhavet till egentliga Östersjön, vars värmeförhållanden därför i någon mån

påverkas av Bottenhavets. Finska Viken utgör i Baltiska Havet ett randområde, som i ganska hög grad är påverkat av landförhållanden: den är under vintern till större delen isbelagd, under sommaren i sin inre del starkt genomvärd i ytlagen. I enlighet med den förutnämnda cyklonala strömningstendensen transporteras östersjövatten in längs Vikens södra kust, under det att vattnet längre mot norr via Skärgårdshavet söker sig in i Bottenhavet. Man får därför anse, att i värmehänseende är Östersjön i ringa grad påverkad av Finska Vikens värmeförhållanden. Såväl för Bottenhavet som för Finska Viken skola vi senare se, om uppvärmningen i någon högre grad skiljer sig från Östersjöns.

Rigabuktens temperaturförhållanden ha helt lämnats å sido. I övergångsområdet Bältsjön och Östersjön söder om Skåne har endast några enstaka mätningar utförts.

Vid temperaturopobservationerna ha i regel mätningar utförts vid följande djup: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 150 m. Därtill ha extramätningar gjorts i vatten-skikt, där temperaturgradienten varit stor, speciellt i språngskiktet. Ur den vertikala temperaturkurvan har för varje station beräknats värmeinhåll uttryckt i 1 000 kgkal/m² ned till följande djup, så långt stationsdjupet medger: 50, 70, 100, 150 m. Resultaten av dessa beräkningar ha sammanförts i Tab. 1— med angivande av tid och plats för observationerna. Tab. 1 och 2 behandla 1938 års, Tab. 3 och 4 1939 års expeditioner. Stationerna äro ordnade efter stigande latitud, och för stationer belägna mellan samma närliggande hela breddgrader har ett medelvärde för värmeinhåll bildats (dessa medelvärden äro tryckta med fetstil). Som tidigare nämnts inskränka sig 1938 års mätningar till området kring Gotland, under det att 1939 års observationer omspänna hela egentliga Östersjön. De dagliga temperaturopobservationerna vid fyrskeppet »Ölandsrev» ha utnyttjats för beräkning av ett medelvärde av värmeinhåll för den tid respektive expeditioner varat; dylika medelvärden för »Ölandsrev» återfinnas i samtliga tabeller. I 1939 års material äro utom från »Ölandsrev» även observationer från det finska fyrskeppet »Utö»¹⁾ inarbetade. I mars 1939 har »Utö» ensam fått representera norra Östersjön mellan 59° och 60° N. Detta kan vara tillåtet, då det gäller vattenpe-laren ned till 50 m, på större djup däremot äro temperaturförhållandena vid »Utö» ej representativa för norra Östersjön, emedan 100 m djupet vid »Utö» är en håla i botten-topografin liggande på gränsen mellan Skärgårdshavet och Östersjön.

I stationsbeteckningarna för den internationella expeditionen betyder F finländsk, L lettisk och S svensk station. De värmsummor, som grunda sig på lettiska observationer äro mindre noggranna än övriga, emedan letternas tekniska resurser endast tillåto mätningar vid ett mindre antal djup.

Av medelvärdena för värmeinhåll inom olika bredder i tab. 1—4 framgår, att värmeinhåll ned till 50 m av-tager norrut. Denna minskning med högre breddgrad är väl markerad i mars 1939, fullt tydlig i maj och augusti 1938 men ej särdeles påfallande i juli 1939. Någon tendens till värmeförskjutning i östlig eller västlig led kan man däremot ej finna, ett förhållande, som vi tidigare diskuterat.

¹⁾ Enligt uppgifter från Havsforskningsinstitutet, Helsingfors.

Tab. 1. Östersjöns värmeinhåll i maj 1938.

Medelvärden tryckta med fetstil.

Station		Tid	Värmeinhåll i 1000 kg kal/m ²			
N Br	E L		ned till 50 m	ned till 70 m	ned till 100 m	ned till 150 m
55° 21'	15° 39'	maj	6 248	340	477	
55° 21'	15° 39'		25 330	426	591	
55° 44'	16° 07'		6 239	272	383	534
56° 07'	16° 34'	7—23	272			
56° 07'	17° 45'		12 267	338		
56° 07'	17° 45'		24 305			
56° 07'	18° 51'		12 219	300		
56° 07'	18° 55'		24 287	362	494	
56° 07'	20° 07'		12 256			
56° 07'	20° 07'		24 258			
56° 38'	20° 07'		12 235	324	459	737
56° 43'	17° 29'		16 245			
56° 43'	17° 29'		17 251			
56° 43'	17° 29'		23 261	260	331	476
					476	737
57° 22'	17° 46'		16 247	320	441	
57° 33'	20° 08'		15 216	232 296	308 442	442 705
					442	705
58° 00'	18° 02'		15 221	285		
58° 30'	18° 57'		15 219	285	410	629
58° 30'	20° 08'		15 189	243	364	
58° 38'	18° 17'		15 216	211 286	275 412	396 627
					412	628

* Fyrskeppet »Ölandsrev».

Tab. 2. Östersjöns värmeinhåll i augusti 1938.

Station		Tid	Värmeinhåll i 1000 kg kal/m ²			
N Br	E L		ned till 50 m	ned till 70 m	ned till 100 m	ned till 150 m
55° 21'	15° 39'	aug.	11 589	706	871	
55° 44'	16° 06'		11 571	580 682	694	871
56° 07'	16° 34'	7—23	537			
56° 07'	16° 53'		13 587			
56° 07'	18° 03'		13 594			
56° 07'	18° 39'		13 565	645	779	
56° 07'	18° 55'		23 588	669	806	
56° 07'	19° 14'		13 561	640	788	
56° 07'	19° 49'		12 574			
56° 07'	20° 07'		23 580	667	804	1058
56° 38'	20° 07'		23 580	667	804	1058
56° 43'	16° 53'		11 525			
56° 43'	17° 29'		11 549	628		
56° 43'	17° 29'		22 406	485		
56° 43'	18° 04'		12 521			
56° 43'	18° 44'		12 490	564		
56° 43'	19° 14'		12 496	583	744	1038
56° 43'	19° 49'		12 559	635	765	1015
56° 43'	20° 42'		12 517	543	618	784
					784	1042
57° 22'	17° 46'		21 551	627	754	
57° 59'	18° 01'		21 532	542 612	618 740	747 963
					747	963
58° 30'	17° 31'		16 547	621		
58° 30'	18° 14'		16 523	595		
58° 30'	18° 57'		16 495	565	698	918
58° 30'	19° 33'		16 520	592		
58° 30'	20° 09'		16 578	649	772	
58° 30'	20° 47'		16 607	683		
58° 30'	21° 25'		17 380			
58° 38'	18° 17'		21 372	450	577	799
58° 48'	21° 24'		17 594	513	594	682
					682	858

* Fyrskeppet »Ölandsrev».

Tab. 3. Östersjöns värmeinhåll i mars 1939.

Station			Tid	Värmeinhåll i 1000 kg kal/m ²			
Namn	N Br	E L		ned till 50 m	ned till 70 m	ned till 100 m	ned till 150 m
1	55° 17'	14° 34'	mars 23	139			
2	55° 21'	15° 39'	11	160	240	449	
2	55° 21'	15° 39'	22	135	212	334	
3	55° 44'	16° 07'	22	130	141	226	391
»Ölandsrev»	56° 07'	16° 34'	11—23	135			
5	56° 07'	37° 45'	12	148			
6	56° 07'	18° 21'	12	142	214		
7	56° 07'	18° 56'	12	148	227	373	
8	56° 07'	19° 32'	12	144	213		
9	56° 07'	20° 08'	12	125			
11	56° 23'	16° 52'	22	124			
12	56° 28'	16° 45'	13	142			
13	56° 28'	17° 10'	13	148			
14	56° 28'	17° 45'	13	139			
16	56° 28'	18° 56'	13	140	211	345	
17	56° 28'	19° 32'	13	141	208	344	611
18	56° 28'	20° 43'	13	140	203	350	
19	56° 39'	17° 10'	22	124	269		
20	56° 50'	17° 03'	13	139			
21	56° 50'	17° 30'	13	139	212	341	
23	56° 50'	19° 01'	15	136	207	345	604
24	56° 50'	19° 37'	15	139	217	365	633
25	56° 50'	20° 13'	15	137	208	352	629
26	56° 50'	20° 48'	15	115			
27	56° 55'	17° 27'	22	133	137	203	216
						334	350
							619
28	57° 04'	18° 56'	15	138	208		
29	57° 10'	17° 45'	22	132	203	332	
30	57° 21'	19° 09'	16	130			
31	57° 21'	19° 35'	16	137	206	343	
32	57° 21'	20° 07'	16	134	191	314	583
33	57° 21'	20° 39'	15	136	205	349	622
34	57° 21'	21° 07'	15	116			
35	57° 22'	17° 54'	22	120	180	298	
36	57° 41'	17° 59'	21	119	170	284	
37	57° 51'	19° 24'	19	118			
38	57° 51'	19° 56'	19	117	185	323	
39	57° 51'	20° 28'	19	121	181	321	
40	57° 54'	21° 04'	19	122	126	191	192
							321
							603
41	58° 00'	18° 04'	21	115	170	284	
42	58° 18'	21° 04'	19	109	169		
43	58° 19'	18° 10'	21	112	172		
44	58° 20'	20° 42'	19	107	176	315	
45	58° 24'	20° 13'	19	112	173	309	
46	58° 27'	19° 45'	20	118	181	313	546
47	58° 30'	19° 16'	20	124	198		
48	58° 34'	18° 46'	20	118	180	308	528
49	58° 38'	18° 15'	20	111	161	275	497
49	58° 38'	18° 15'	21	108	113	159	174
						280	298
							502
							518
»Utö»	59° 47'	21° 22'	11	100	140	206	
			21	90	95	130	135
						190	198

Tab. 5 innehåller de uträknade värdena på värmeinhåll i djupintervallen 50—70 m och 70—100 m under mars (1939), maj (1938), juli (1939) och aug. (1938). Även här äro medelvärden tryckta med fetstil. Värmeinhåll 70—100 m är i södra Östersjön — huvudsakligen avseende Bornholmsdjupet — något större och mera föränderligt med tiden än i övriga delar av Östersjön. I mellersta och norra Östersjön är däremot innehållet av värme mellan 70 och 100 m underkastat påfallande små förändringar från

Tab. 4. Östersjöns värmeinhåll i juli 1939.

Station			Tid	Värmeinhåll i 1000 kg kal/m ²			
Namn	N Br	E L		ned till 50 m	ned till 70 m	ned till 100 m	ned till 150 m
S 1	55° 20'	15° 39'	juli 22	561	656	826	
S 1	55° 20'	15° 39'	24	512	617	787	
S 2	55° 20'	16° 50'	24	530	620		
S 3	55° 20'	17° 42'	25	512	585		
S 4	55° 20'	18° 34'	25	519	600		
S 5	55° 20'	19° 25'	25	593	679		
S 7	55° 31'	16° 28'	22	533	633		
S 10	55° 48'	16° 50'	26	494			
S 11	55° 48'	17° 42'	26	573			
S 12	55° 48'	18° 34'	25	540	623	757	
S 13	55° 48'	19° 26'	25	545	625		
S 14	55° 48'	20° 17'	25	557			
S 15	55° 53'	18° 04'	22	529	538	626	790
S 16	56° 04'	18° 51'	22	542	618	744	
»Ölandsrev»	56° 07'	16° 34'	23—29	458			
S 17	56° 15'	19° 40'	23	514			
S 18	56° 16'	16° 50'	26	451			
S 19	56° 16'	17° 42'	26	566			
S 20	56° 25'	16° 46'	24	453			
S 22	56° 44'	16° 58'	24	514			
S 23	56° 44'	17° 32'	23	510	603		
S 24	56° 44'	17° 40'	28	576	674		
S 25	56° 44'	18° 25'	23	551			
S 27	56° 44'	19° 19'	23	514	604	747	1020
S 28	56° 44'	19° 24'	27	560	640	776	1031
S 29	56° 44'	20° 12'	23	526	598	730	968
S 29	56° 44'	20° 12'	27	475	515	547	612
						670	731
							908
							982
S 30	57° 10'	17° 40'	28	531	614	746	
L 1	57° 18'	19° 16'	28	476	552		
L 2	57° 18'	19° 40'	28	584	672	804	
L 3	57° 18'	20° 09'	26	512	588	722	979
L 4	57° 18'	20° 40'	26	458	534		
L 6	57° 34'	19° 12'	28	507			
S 31	57° 40'	18° 02'	28	560	646	778	
F 1	57° 46'	18° 10'	28	482	562	701	
L 8	57° 48'	19° 47'	28	558	639	779	1053
L 9	57° 48'	20° 19'	28	475	550	700	
L 10	57° 48'	20° 49'	29	526	609		
L 11	57° 48'	21° 19'	29	499	514	597	747
							1016
L 12	58° 02'	21° 23'	29	514			
F 2	58° 16'	18° 25'	27	578	666	804	1009
L 13	58° 18'	18° 54'	29	513	588	724	971
L 14	58° 18'	19° 25'	29	485	563	700	
L 15	58° 18'	19° 57'	29	546	627	777	
L 16	58° 18'	20° 23'	29	475	550	690	948
L 17	58° 18'	20° 59'	29	491	571	713	
F 3	58° 46'	18° 06'	27	545	638		
F 4	58° 46'	19° 05'	27	498	582	728	
F 5	58° 46'	20° 05'	27	504	515	585	597
						730	733
							976
F 6	59° 16'	19° 12'	27	515			
F 7	59° 16'	20° 06'	26	460			
F 8	59° 16'	21° 00'	26	493	573		
F 9	59° 16'	21° 54'	26	500	576	718	
F 10	59° 16'	22° 48'	26	608	685		
F 11	59° 36'	20° 00'	25	447	531		
F 12	59° 36'	20° 45'	26	475	556		
F 13	59° 36'	21° 46'	26	459			
F 14	59° 36'	22° 48'	26	479			
»Utö»	59° 47'	21° 22'	25	505	494	598	586
						730	724

plats till plats. Detta sammanhänger med inströmningen av havsvatten genom Bälten och Öresund. Enligt GEHRKE

Tab. 5. Östersjöns värmeinhåll under 50 m djup.

Bredd	Värmeinhåll i 1000 kg kal/m ²							
	Mars (1939)		Maj (1938)		Juli (1939)		Augusti (1938)	
	50—70 m	70—100 m	50—70 m	70—100 m	50—70 m	70—100 m	50—70 m	70—100 m
55°—56° N	80	209	92	137	95	170	117	165
	77	122	96	165	105	170	111	
					90			
					73			
					81			
					86			
					100			
					83	134		
	78	166	94	151	80	88	158	114
								165
56°—57° N	72		71		76	126	80	134
	79	146	81		93		81	137
	69		75	132	98		79	148
	71	134	89	135	90	143	87	137
	67	136			80	136	87	137
	63	147			72	132	79	
	145				72	123	79	
	73	129					74	
	71	138					87	161
	78	148					76	130
57°—58° N	71	144						
	70	77	131	139	79	134	83	132
							81	141
	70		73	121	83	132	76	127
	71	129	80	146	76		80	128
	69	137			88	132		
	57	123			76	134		
	69	144			76			
	60	118			86	132		
	51	114			80	139		
58°—59° N	68	138			81	140		
	60	140			75	150		
	69	64	130	76	83	80	137	78
								128
	55	114	64		88	138	74	
	60		66	125	75	136	72	
	60		54	121	78	137	70	137
	69	139	70	126	81	150	72	
	61	136			75	140	71	123
	63	132			80	142	76	
59°—60° N	74				93		78	127
	62	128			84	146		
	50	114			81	145		
	51	60	121	126	64	124	82	142
							73	129
					80			
					76	142		
					78			
					84			
					81			
Medelvärde	70	140	78	137	83	141	87	141

[2] förnyas djupvattnet i Bornholmsdjupet 1 à 2 gånger årligen, under det att vattnet i Gotlandsdjupen och Landsortsdjupet ofta stagnerar i årtal. För Östersjön som helhet visar sig värmeinhåll 70—100 m vara så gott som konstant, nära = 140 000 kgkal/m² under samtliga månader av sommarhalvåret, som undersökningen gäller. Man kan alltså fastslå, att detta vatten ej i nämnvärd mån deltagar i den årliga värmeomsättningen. — Värmeinhåll 50—70

m visar under tiden maj—aug. 1938 en mindre stegring från 78 000 till 87 000 kgkal, likaså under tiden mars—juli 1939 från 70 000 till 83 000. Det homohalina täcksiktet i Östersjön sträcker sig vanligen ned till 50 m. Den starkaste ökningen i salthalt ligger mellan 50 och 70 m och är oftast åtföljd av ett temperaturminimum (se t. ex. Fig. 3). Å dessa djup sättes alltså en ganska effektiv spärr mot vidare vatten- och värmetransport nedåt, och värmeomsättningen är därför i huvudsak lokaliserad till det homohalina täcksiktet. WALLERIUS har visat, att det som underström genom Bälten till Östersjön inströmmande havsvattnet endast i obetydlig grad bidrager till värmeinhållet i det homohalina täcksiktet. Med hänsyn till värmekonstanten mellan 70 och 100 m i Östersjön kunna vi tillägga, att även i detta djupområde är havsvattnets termiska inflytande praktiskt taget att försumma.

Tab. 6. Östersjöns uppvärmning 15 maj—15 augusti 1938.

Bredd	Uppvärmning i 1000 kg kal/m ²		
	ned till 50 m	ned till 70 m	ned till 100 m
55°—56° N	308	311	337
56°—57°	283	287	308
57°—58°	310	310	305
58°—59°	302	319	286
Medelvärde	301	307	309

Tab. 7. Östersjöns uppvärmning 17 mars—26 juli 1939.

Bredd	Uppvärmning i 1000 kg kal/m ²		
	ned till 50 m	ned till 70 m	ned till 100 m
55°—56° N	397	400	399
56°—57°	378	396	381
57°—58°	388	405	426
58°—59°	402	423	435
59°—60°	399		
Medelvärde	393	406	410

Tab. 6 och 7 innehålla de funna värdena på uppvärmningen i olika bredder. I stort sett kan man säga, att uppvärmningen såväl 1938 som 1939 är densamma över hela Östersjön; dock bör man uppmärksamma, att det homohalina skiktet i området 56°—57° i bägge fallen är något mindre varmt än i övriga områden. Medelvärdena för uppvärmningen 0—50, 0—70 och 0—100 m bekräfta det ovan funna förhållandet, att det värme, som under uppvärmningssäsongen ackumuleras i Östersjön, endast till några få % går nedanför 50 m. Som slutresultat ge vi följande värden:

Östersjöns uppvärmning

15 maj—15 aug. 1938: 305 000 kgkal/m²

17 mars—26 juli 1939: 400 000 »

På grundval av temperaturobservationerna vid de svenska fyrskeppen »Grundkallen» och »Sydostbrotten» (med hänsyn till issmältningens värme) samt vid de finländska »Söderskär» och »Someri»¹⁾ kan man beräkna ett ungefärligt värde på uppvärmningen i Bottenhavet resp. Finska Viken. Man finner:

¹⁾ Enligt uppgifter från Havsforskningsinstitutet, Helsingfors.

Uppvärmningen den 15 maj—15 aug. 1938
i Bottenhavet: 285 000 kgkal/m²
i Finska Viken: 320 000 »

Motsvarande siffror för tiden 17 mars—26 juli 1939 äro:

Bottenhavet: 375 000 kgkal/m²
Finska Viken: 405 000 »

I Bottenhavet avtager uppvärmningen norrut, i Finska Viken är den större i de inre än i de yttre delarna. Ovanstående siffror skilja sig inte i någon högre grad från motsvarande värden på Östersjöns uppvärmning. Det är alltså ett intressant faktum, att vattenuppvärmningen under sommarhalvåret i stort sett är densamma över det Baltiska Havets olika delar.

Avdunstningen.

Direkta iakttagelser över Östersjöns avdunstning för någon längre tid föreligga ej. För en överslagsberäkning är det inte motiverat att använda de ganska komplicerade formler för den maritima avdunstningen, som härletts av SVERDRUP [24], ROSSBY, MONTGOMERY [9] m. fl. och som även taga hänsyn till den hydrodynamiska karaktären hos havsytan, emedan det experimentella underlaget för tillämpning av dessa formler är osäkert. Man är sålunda vid beräkningen hänvisad till fuktighetssiffror för landstationer vid Östersjökusten, vilka ej i alltför hög grad kunna anses representativa för sjön.

WITTING [27] har beräknat Östersjöns avdunstning med tillhjälp av den enkla formeln:

$$Q = k \sqrt{w} (1 + at) (e_o - e),$$

där Q är avdunstningen på 24 timmar, W är medelvindhastigheten i m/sek. under månaden, t lufttemperaturen, e_o vattenångans tryck i vattenytan, e ångtrycket i luften. I huvudsak på grundval av mätningar i större insjöar antager WITTING konstanten k till 0,45 och finner följande normala fördelning över året:

jan.	febr.	mars	april	maj	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.	året
55	37	26	14	0	13	56	76	70	74	77	69	566 mm

Ur mätningar av avdunstningen i sjön Vassijaure finner ÅNGSTRÖM [30] vid tillämpning av WITTINGS formel ett medelvärde: $k = 0,43$.

G. WÜST [29] har i sina tidigare beräkningar av Atlantiska oceanens avdunstning för zonen 50°—60° angivit ett värde av 370 mm. Enligt modern uppfattning [24] böra emellertid WÜSTS siffror multipliceras med 1,22, varvid vi komma till ett årligt avdunstningsvärde av runt 450 mm.

H. MOSBY [10] har bestämt världshavets totala medelavdunstning på grundval av beräkningar av in- och utstrålning. Han finner en normal avdunstningshöjd av 100 cm per år, ett resultat, som bekräftats genom nyare undersökningar av WÜST, utförda utan beräkning av värmefaktorer. Enligt MOSBY utgör avdunstningen mellan 55° och 60° N bredd 470 mm — med hänsyn till att konvektivt värmetillförsel får sättas till 10 % av avdunstningsvärmets.

Nu är det mycket sannolikt, att Östersjöns avdunstning

är större än världshavets — en följd av den landpåverkan, man ovillkorligen måste räkna med för Östersjöns del; dels är på grund av landets närhet turbulensen livligare — och därmed avdunstningen större över Östersjön än över de oceana vidder, dels ha torra landvindar en avdunstningsstegrande effekt. Med hänsyn till avdunstningen bör Östersjön tillsynas intaga en mellanställning mellan en större insjö och oceanen. Det synes mig därför motiverat, att för Östersjöns avdunstning välja ett medelvärde av WITTINGS och MOSBYS värden. Detta medelvärde 520 mm betyder i WITTINGS enkla formel ett $k = 0,41$.

Begagna vi observationer av vind och av ytemperatur vid fyrskeppet »Ölandsrev» och fuktighetsmätningar vid Kalmar och Visby erhålla vi med $k = 0,41$ i formeln följande uppskattning av avdunstningen under våra tidsperioder:

Östersjöns avdunstning:

15 maj—15 aug. 1938: 45 000 kgkal/m²
17 mars—26 juli 1939: 65 000 »

Felet i dessa värden torde i varje fall icke uppgå till 20 000 kgkal/m², en osäkerhet, som, med tanke på osäkerheten i strålningssiffrorna saknar betydelse.

Instrålningen.

Man kan naturligtvis ifrågasätta, om de strålningssiffror, som erhållas vid stationer i kustbandet, kunna utsträckas att gälla för Östersjön som helhet. Från senare tid föreligga beräkningar av T. E. AURÉN över den genomsnittliga instrålningen under åren 1928—37 bl. a. för ett antal platser vid svenska ostkusten och på Gotland, vilka beräkningar kunna ge oss vissa riktlinjer för en bedömning av instrålningen över Östersjön. [1].

I fig. 9 visas de av AURÉN tecknade iso-insolationskurvorna för juni månad. Kurvorna äro i juni, liksom i övriga månader av sommarhalvåret, orienterade i riktningen SW—NE vid svenska ostkusten och grupperade så, att insolationen stiger från kusten ut mot havet. För Visby finner AURÉN värden på instrålningen under uppvärmningshalvåret och under hela året, som med 20% överstiga motsvarande Stockholmsvärden. Det årsvärde, som AURÉN anger för Stockholm, understiger emellertid med 6 % det beräknade normalvärde, som anges i Statens Meteorologisk-Hydrografiska Anstalts Årsböcker och som är grundat på registreringar medelst anstaltens pyranometer uppställd vid Stocksund. Byrådirektör A. ÅNGSTRÖM, som godhetsfullt yttrat sig i denna fråga, har som förklaring till diskrepansen i brev till förf. anfört följande:

»Det Aurénska instrumentet ger, enligt min uppfattning, för låga värden. Orsaken härtill ligger till väsentlig grad i att instrumentets känslighet för den diffusa strålningen från den molnfria himlen är mindre än för solstrålningen och rent av så liten att man stundom vid bortskymmande av den direkta solstrålningen icke erhåller något utslag på instrumentet, trots att en relativt betydande himmelsstrålning otvivelaktigt förefinnes. Härtill kommer, att instrumentet sannolikt i någon mån är känsligt även för den mörka utstrålningen, vilken gör sig gällande genom glasväg-

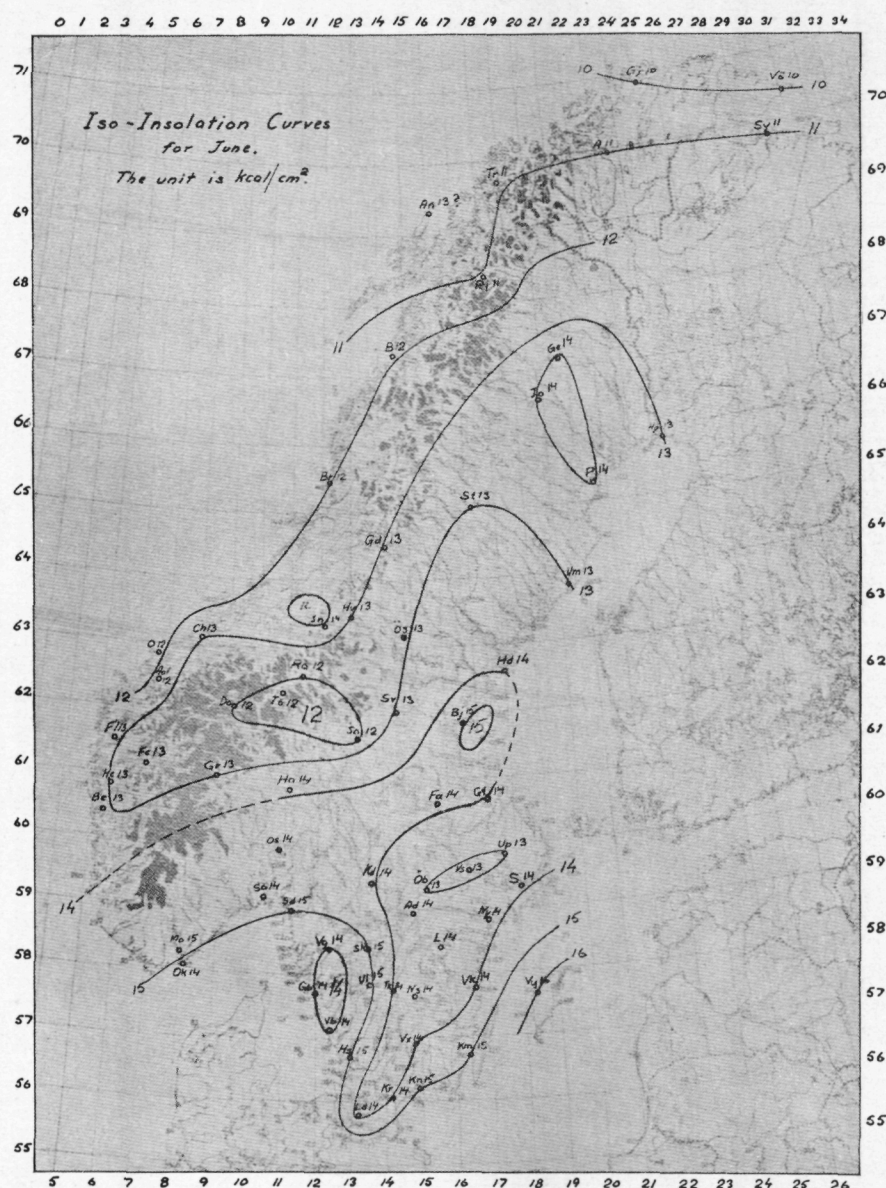


Fig. 9. Iso-insulationskurvor för juni (enl. T. E. AURÉN [1]).

garnas avkylning. Då de båda termoelementen icke, såsom i pyranometern, äro symmetriskt placerade i förhållande till dessa, uppkommer en felkälla, som även den synes verka i riktning att förminska den skenbara instrålningen från sol och himmel. På så sätt blir i det Aurénska instrumentets angivelser tre olika strålningsgrupper, för vilka instrumentet visar helt olika känslighet, sammanförda i ett gemensamt strålningsvärde, trots att instrumentkonstanten är bestämd enbart ur känsligheten för den direkta solstrålningen.

Den förstnämnda av ovan diskuterade felkällor vidlåder i någon mån även pyranometerns angivelser (publicerade i S. M. H. A. årsböcker [35]), så att även de med densamma registrerade strålningssummorna säkert äro något för låga. Då de emellertid trots detta för sommarhalvåret ligga 6 à 7 % högre än de Aurénska värdena, anser jag att dessa senare värden böra höjas med minst 7 och sannolikt c:a 10 % för att giva de under sommarhalvåret verkligt instrålade energimängderna från sol och himmel. Under vinterhalvåret är diskrepansen mellan verkliga och mätta värden hos Auréns instrument att döma av publicerade uppgifter säkert större, men härifrån kan bortses i nuvarande sammanhang.»

I fortsättningen komma vi att konsekvent öka de av AURÉN funna värdena med 10 %.

Som förut nämnts registrerades antalet sol-skenstimmar vid Hoburg på Gotland under tiden 15 maj—15 augusti 1938. För att härur beräkna instrålningen tillämpa vi ÅNGSTRÖMS formel:

$$Q = Q_0 (0,765 + 0,235 \cdot S)$$

där S är förhållandet mellan den verkliga sol-skenstiden och den maximala och Q_0 betyder instrålningen vid klar himmel. Med AURÉNS korrigerade värden på Q_0 för 57:nde breddgraden ger kalkylen en instrålning under nämnda tid av 445 000 kgkal/m². Å andra sidan kan man räkna sig till den lokala instrålningen med användande av molnighetsobservationer enligt beräkningsgrunder, som utvecklats av AURÉN och ÅNGSTRÖM — detta gå vi inte närmare in på [1,30]. På denna väg finner man för Landsort 450 000 kgkal/m², för Visby 430 000, under det att Gotska Sandön, där strålningsförhållandena kanske äro de för havet mest typiska, visar ett något högre värde på 470 000 kgkal/m². I betraktande av att större delen av Östersjöytan ligger söder om Gotland och med hänsyn till den sannolika fördelning av insolationen, som AURÉN funnit, bör man för nämnda tid kunna fixera ett sannolikt instrålningsvärde av 455 000 kgkal/m², vilket ligger 30 % högre än det observerade Stockholmsvärdet 350 000 kgkal/m².

På samma sätt finner man ur molnighetsobservationer instrålningen under tiden 17 mars—26 juli 1939 för såväl Visby som Landsort 570 000 kgkal/m² (mot normalt för Visby 640 000), för Gotska Sandön åter det betydligt högre värdet av 635 000 kgkal/m². Med hänsyn till att sommaren 1939 i strålningshänseende liknade föregående sommar kunna vi även i detta fall bestämma oss

för ett värde, som med 30 % överstiger Stockholmsvärdet, vilket utgör 465 000 kgkal/m². Slutresultaten bli alltså:

Instrålningen över Östersjön

15 maj—15 aug. 1938: 455 000 kgkal/m²

17 mars—26 juli 1939: 600 000 kgkal/m²

För den inkommande strålningens reflexionsförluster vid vattenytan under sommarhalvåret har W. SCHMIDT [21] givit värdet 4,2 % för 57:nde breddgraden. Enligt ÅNGSTRÖM är detta värde troligen något för lågt, beroende på att den diffusa strålningen å våra breddgrader utgör en ganska stor del av den infallande och att dennas reflexion ej låter sig beräknas på det enkla sätt, SCHMIDT tillämpat. Med hänsyn till att man måste räkna med en något större strålning från de lågt liggande delarna av himlavalvet än från de högt liggande uppskattar ÅNGSTRÖM den genomsnittliga reflexionen av det diffusa ljuset till 10 %. Då den diffusa himmelstrålningen under sommarhalvåret utgör cirka $\frac{1}{3}$ av den totala, bör man alltså höja SCHMIDTS värde till 6 %. Sannolikt kommer härtill någon procent, som ej reflekteras reguljärt vid ytan utan diffust från i vattnet inneslutna luft-

blåsor — särskilt vid bränningsfenomen och »vita gäss» — eller från plankton och föroreningar i vattnet [19]. Man är därmed uppe i 7 % med en osäkerhet, som ej behöver vara större än någon procent. En vågrörelse på ytan synes enligt ÅNGSTRÖMS mätningar ej avsevärt påverka den integrala reflexionen från ett ytelement, som är stort i förhållande till våglängden.

Med utgångspunkt från SCHMIDTS reflexionsvärde under vinterhalvåret 7,6 % kommer man på analogt sätt med hänsyn till att den diffusa strålningen då utgör c:a $\frac{2}{3}$ av den totala till en reflexionsförlust av 10 %.

Reflexionsförluster i instrålningen över Östersjön
under sommarhalvåret: 7 %
under vinterhalvåret: 10 %

Utstrålningen.

Utstrålningen är vid klar himmel en funktion av den strålade ytans temperatur och av luftens innehåll av vattenånga. Sambandet har ÅNGSTRÖM åskådliggjort i en tabell, vars värden bygga på observationer i Algeriet, Kalifornien, Abisko och Uppsala [33]. Den så bestämda effektiva utstrålningen vid klar himmel skall på grund av molnens avskärmande inflytande enligt ASKLÖV multipliceras med faktorn

$$(1 - 0,083 m),$$

där m är molnigheten. Slutligen minskas det resulterande värdet med 6 % på grund av reflexion i havsytan.

En efter detta schema utförd beräkning av utstrålningen med användning av ytvattnets temperatur vid »Ölandsrev», av molnighetsangivelser för Visby och av observationer av luftens innehåll av vattenånga i Kalmar vid östlig vind, i Visby vid övriga vindar — detta för att erhålla havsvindens fuktighet — leder till följande värden:

Utstrålningen
den 15 maj—15 aug. 1938: 95 000 kkal/m²
den 17 mars—26 juli 1939: 135 000 kkal/m²

Genom ett annat tillvägagångssätt kunna vi också skaffa oss en uppfattning av den normala utstrålningen vid två tidpunkter på året. Fördens skull söka vi bestämma de tider på året, då värmeinnehållet i Östersjön uppnår sitt lägsta resp. sitt högsta värde. Eftersom vändpunkterna, speciellt maximum äro flackt utbildade, är det att föredraga — framför att bilda medelvärde av värmesumman under en längre tid t. ex. en dekad — att fixera en bestämd dag för såväl minimum som maximum. En evaluering av de bägge genomsnittsdata för tiden 1928—1937 med tillhjälp av Ölandsrevs temperaturobservationer ger till resultat:

Minimum i Östersjöns värmeinnehåll inträffar den 11 mars, maximum den 14 september.

Vid dessa tidpunkter deltar vattenmassan ej i värmeutbytet; vattnet erhåller och förlorar lika mycket värme, d. v. s. instrålning minus reflexionsförluster väger jämnt mot summan av avdunstningsvärme och utstrålning, under förutsättning att konvektionen försummas, vilket kan vara

tillåtet, då luften och vattnet vid tidpunkterna i fråga ha i det närmaste samma temperatur. Ur AURÉNS material kan man beräkna den för 10-årsperioden 1928—1937 genomsnittliga insolationen för Visby under dessa bägge dagar till 1910 kkal/m² den 11 mars, 2670 den 14 sept. Med WIRTINGS fördelning av medelavdunstningen i Östersjön över årets olika månader men med hans värden reducerade 8 % (se sid. 11) finna vi det normala avdunstningsvärdet den 11 mars uppgå till 500 kkal/m², den 14 sept. till 1290. Om dessa värden dragas från respektive instrålningssiffror minskade med 8 % i reflexionsförluster återstår för utstrålningen:

Utstrålningen
den 11 mars: 1260 kkal/m²
den 14 sept.: 1170 kkal/m²

Enligt denna överläggning kan man alltså räkna med en normal utstrålning av 38 000 kkal/m² i mars, av 35 000 i september. Som jämförelse kan nämnas, att ÅNGSTRÖM beräknar från i Stockholm utförda observationer den normala utstrålningen för Stockholm till 30 000 kkal/m² i mars och 36 000 i september. Då molnigheten i Stockholm i mars och september är 10 resp. 15 % större än på Gotland, kunna dessa sistnämnda värden, ökade med omkring 10 % anses nära överensstämma med de ovan funna värdena.

Den sannolika utstrålningen blir under antagande av en konstant utstrålning av 1215 kkal per dygn för tiden 15 maj—15 aug. 1938 110 000 och för tiden 17 mars—26 juli 1939 155 000 kkal i tämligen god överensstämmelse med de ovan beräknade värdena.

Konvektiv värmeförlust från atmosfären.

Genom att luft, som uppvärmts över Östersjön angränsande landområden, med vinden föres ut över sjön och där avger värme erhåller vattnet ett värmeförlustkott »utifrån». Speciellt är detta fallet vid de sydliga och sydvästliga vindar, som under sommaren förhärskar över Östersjön. För en bedömning av de värmemängder, som på dylikt sätt överförs till vattnet under sommarhalvåret har man ganska få hållpunkter, emedan konvektionen är svår att experimentellt studera. Att den, trots luftens ringa värmekapacitet, spelar en ganska stor roll som faktor i Östersjöns värmebalans har framhållits bl. a. av HJ. MÄE [12].

I maj 1937 hade vi under arbete vid lettiska kusten ett ganska unikt tillfälle att studera en situation, då konvektionen avsevärt torde ha bidragit till vattenuppvärmningen. Vid inlöpandet till Libau den 19 maj 1937 möttes »Skagerak» strax utanför kusten av en starkt uppvärmd luftmassa, varvid lufttemperaturen steg från 8° till 22° på några minuter; de stora temperaturskillnaderna i atmosfären gävo sig på långt håll till känna genom sällsynt vackra hägringsfenomen, varvid staden och hamnen sågos lyfta över horisonten och man ännu på kort avstånd från det i dyningen något sättande »Skagerak» kunde se den jättelika hamnen ömsom försvinna i ömsom dyka upp ur vågorna. Den varma vinden fortsatte att blåsa ut över havet i sydvästlig riktning med måttlig styrka några dagar, varefter den dog ut den 22 maj. Uppvärmningen i vattnen väster om Lettland fram-

går av följande uppställning, som anger värmeinnehållet ned till 15 m, W_{15} .

den $19/5$ $56^{\circ}07'$; $18^{\circ}56'$ $W_{15} =$	85 000	} medelvärde 87 000 kgkal/m ²
$19/5$ 56 07 ; 20 07	86 000	
$19/5$ 56 37 ; 20 07	89 000	
den $22/5$ 56 37 ; 18 56 $W_{15} =$	107 000	} medelvärde 103 000 kgkal/m ²
$22/5$ 57 08 ; 18 56	100 000	
$22/5$ 57 08 ; 20 07	103 000	

De senare stationerna ligga visserligen något nordligare än de förra, men då den horisontella vattentransporten enligt företagna strömmätningar var obetydlig, bör man kunna anse, att uppvärmningen 16 000 kgkal gäller för samtliga stationer. Ur molnighetsuppgifter från Memel — molnigheten var under dagarna 19—22 maj 3,5 — kan instrålningen beräknas till högst 16 000 kgkal eller lika mycket som uppvärmningen. Då avdunstning och utstrålning förbrukat värme, måste man med reservation för siffrornas riktighet anse, att konvektionen är ansvarig för ett icke obetydligt värmetillskott.

Vi skola dröja något vid en överslagsberäkning av konvektionen för vattenområdet mellan fastlandet och Gotland under en godtyckligt vald tidsperiod av uppvärmningssäsongen. Under 10 dagar mellan den 10 maj och 10 juni 1939 var vinden västlig, och lufttemperaturen befanns då i genomsnitt uppgå till $15^{\circ},5$ i Västervik, till $12^{\circ},5$ i Visby, alltså 3° lägre. Vindstyrkan varierade mellan 1 och 12 m/s med 7 m/s som medelvärde. Vid en vind av 7 m/s förnyas luftmassan över vattnet mellan fastlandet och Gotland, ett avstånd på 10 svenska mil, i runt tal 6 gånger per dygn. Med den stabila atmosfäriska skiktning, som förekommer över havet under uppvärmningstiden, då vattnet är kallare än luften, kan man knappast räkna med att turbulensen i lufthavet sträcker sig längre upp än till 50 à 70 m. Om vi antaga, att en luftpelare upp till 60 m över vattnet avkyls 3° , så ger denna beräkning till resultat, då 1 m³ luft vid 3° avkylning avger runt 1 kgkal, att vattnet genom konvektion erhållit ett värmetillskott av cirka 360 kgkal/m² per dygn, ett belopp, som får anses gälla för måttliga vindar. Vid höga vindhastigheter är konvektionen proportionsvis större än vid låga, enär vid ökad vindstyrka turbulensen i lufthavet tilltager, och kontaktytan mellan luft och vatten ökas genom vågrörelse och vågskumning.

Med hänsyn till att konvektionen som värmeförförande faktor är mest verksam under månaderna april, maj och juni, kan man göra följande uppskattningar:

Den konvektiva värmeförförelsen från atmosfären	
15 maj—15 aug. 1938:	20 000 kgkal/m ²
17 mars—26 juli 1939:	35 000 kgkal/m ²

Värmebalansen.

Utom de behandlade värmeinkomsterna genom instrålning och konvektion kan ytterligare en post tillkomma, nämligen tillförsel av värme genom regnvatten och flodvatten. WALLERIUS beräknar detta värmetillskott till mindre än 10 000 kgkal/m², en kvantitet som är av underordnad betydelse.

Med de värden, vi funnit, för de i balansräkningen delta-gande huvudfaktorerna ter sig Östersjöns värmeekonomi somrarna 1938 och 1939:

Den 15 maj—15 aug. 1938.

Instrålning ...	455 000	Utstrålning ...	95 000 kgkal/m ²
Konvektion ...	20 000	Avdunstning	45 000
		Reflexion	30 000
		Vattenupp- värmning ...	305 000
Summa	475 000	Summa	475 000

Den 17 mars—26 juli 1939.

Instrålning ...	600 000	Utstrålning ...	135 000 kgkal/m ²
Konvektion ...	35 000	Avdunstning	65 000
		Reflexion	40 000
		Vattenupp- värmning ...	400 000
Summa	635 000	Summa	640 000

Överensstämmelsen mellan debit och kredit är i bägge balansräkningar synnerligen god, vilket är så mycket mer tillfredsställande, som en osäkerhet givetvis gör sig gällande vid tillämpningen av lokala strålningsvärden från landstationer på de utsträckta vattenytor varom här är fråga och för övrigt även strålningsmätningarna själva måste anses behäftade med en felmarginal av några procent.

Den årliga värmeomsättningen i Östersjön.

De bägge uppvärmningssäsongerna 1938 och 1939 voro i meteorologiskt avseende — även beträffande strålningsförhållandena — förhållandevis normala, varför vi med en viss rätt kunna använda de funna uppvärmningsvärdena för en beräkning av den normala årliga värmeomsättningen i Östersjön. Då temperaturbilderna vid »Ölandsrev» i mars 38 och i mars 39 äro nästan identiska, kan man räkna med, att minimivärmeinnehållet (W_{50}) i Östersjön är tillnärmelsevis detsamma i bägge fallen, särskilt som minimivärmeinnehållet absolut sett är underkastat små variationer från år till år. Vi kunna därför beräkna den genomsnittliga uppvärmningen i Östersjön under tiden 15 mars—15 maj 1938 ur Tab. 1 och 3 och finna den uppgå till 115 000 kgkal/m².

Vid minimitillfället uppnås lägsta temperaturen ungefär samtidigt vid alla djup ned till 50 m, vattnet är homotermt, däremot inträffar det en kraftig försening med tilltagande djup av den årliga temperaturkurvas maximum. WALLERIUS fann för »Grundkallen», att temperaturen kulminerade i ytan i början av augusti, vid 20 m djup i början av september, vid 50 m djup i mitten av oktober. Den kurva, som åskådliggör värmeinnehållets ändring med tiden, har därför ett flackt utbildat maximum, vilket må belysas med värmeförhållandena vid »Ölandsrev» 1938:

15—31 juli	$W_{50} =$ 443 000 kgkal/m ²
1—15 aug.	547 000
16—31 aug.	548 000
1—15 sept.	555 000
16—30 sept.	515 000

De experimentellt funna uppvärmningsvärdena gälla uppvärmningen fram till den 15 aug. 1938 resp. den 26 juli 1939, vid vilka tidpunkter värmemagasineringen ännu ej avslutats; detta sker normalt i mitten av september (enligt vad vi funnit å sid. 13). De korrektioner, vi ha att anbringa, för att få totaluppvärmningen äro emellertid enligt vad ovan sagts tämligen små. Framför att beräkna dem ur temperaturobservationer från »Ölandsrev» (se nästa kap.) föredraga vi följande kalkyl: Instrålningen är för Visby enligt AURÉNS normalvärden (korrigerade) under tiden 26 juli—15 sept. 188 000 kgkal/m², under tiden 15 aug.—15 sept. 102 000. Efter 8 % avdrag för reflexionsförluster återstå 174 000 resp. 94 000 kgkal. Enligt vad som framgår av vår diskussion över utstrålningen kan summan av utstrålning och avdunstning med stor sannolikhet uppskattas till 75 000 kgkal/m² under såväl augusti som september. Härav följer:

Östersjöns uppvärmning

26 juli—15 sept.: 51 000 kgkal/m²

15 aug.—15 sept.: 19 000

Efter addition av korrektionerna till de experimentellt bestämda uppvärmningsvärdena finna vi för halvåret 15 mars—15 sept. 1938 439 000 och för samma tid 1939 451 000, kgkal/m². Temperaturobservationerna i Östersjön somrarna 1938 och 1939 leda alltså till slutomdömet:

Den årliga värmeomsättningen i Östersjön: 445 000, kgkal/m².

Bland tidigare funna värden på värmeomsättningen kan nämnas J. v. HANNS [6] resultat 505 000 och O. KRÜMMELS [8] 514 000 kgkal/m², båda beräknade ur observationer i södra Östersjön. På grundval av OTTO PETTERSSONS mätningar [18] har J. SCHUBERT [22] funnit 435 000 kgkal i nära överensstämmelse med det resultat, vi nått. WALLERIUS på fyrskeppsstatistik grundade beräkning av uppvärmningen i det Baltiska Havet ger för månaderna april t. o. m. augusti ett värde på 420 000 kgkal, vilket är i god samklang med vårt värde med hänsyn till att Bottenhavet och Bottenviken magasinera värme i något mindre grad än egentliga Östersjön. Vi skola här anknyta till frågan, i vilken mån fyrskeppens temperaturobservationer kunna anses vara representativa för det Baltiska Havet i dess helhet.

Fyrskeppens temperaturobservationer.

Vid »Ölandsrev», det enda svenska fyrskepp, som observerar ned till 50 m i Östersjön, finner man för tiden 15 maj—15 aug. 1938 (Tab. 1 och 2) en uppvärmning av 265 000 kgkal/m² mot 305 000 för hela Östersjön. Motsvarande siffror för sommaren 1939 äro 323 000 och 400 000, alltså i förra fallet ett underskott på 13 %, i senare fallet ett på 19 %. WALLERIUS anger som resultat av sin beräkning av den årliga värmeomsättningen vid »Ölandsrev» grundad på 10-åriga observationsserier 365 000 kgkal eller 18 % lägre än det ovan givna sannolika värdet 445 000 kgkal. Den vid »Ölandsrev» konstaterade vattenvärmningen under sommaren är således konsekvent mindre än den för Östersjön som helhet gällande. Visserligen ha vi funnit, att uppvärmningen

i bredden 56°—57° är något mindre än i övriga vattenområden, men vårt material tyder på att anomalien vid »Ölandsrev» är av mera lokal natur. Den torde vara betingad av strömförhållandena vid »Ölandsrev» — den i regel nordostliga strömmen för kallare vatten från norr och är tidvis ganska stark — i förening med det relativt måttliga totaldjupet och landets närhet. Det har också framhållits, att vid »Ölandsrev» sprängskiktet ligger närmare ytan på grund av kustens närhet, det är här alltså tal om en bränningseffekt. Det förtjänar ytterligare nämnas, att då den höstliga avkylningen sätter in och ytvattnet sjunker, blir ofta temperaturbilden vid »Ölandsrev» onormal. Sålunda var i slutet av september 1939 vattnet genomvärt till 14° å 15° ända ned till botten.

Beträffande »Grundkallen» liggande i södra Bottenhavet nära övergångsgebitet till egentliga Östersjön har redan i ett exempel framhållits, att de värmesummor, som beräknas ur observationer vid »Grundkallen» vid tillfällen måste på grund av strömförhållandena behandlas med en viss försiktighet, i den mån de användas som indikatorer på Bottenhavets värmeinnehåll. I sina ovannämnda beräkningar finner WALLERIUS för »Grundkallen» en värmeomsättning av 490 000 kgkal under förutsättning att vid den kallaste årstiden genomsnittstemperaturen i vattenpelaren ned till 50 m djup är 0°. I själva verket uppgår värmeinnehållet vid »Grundkallen» i mars till normalt 30 000 kgkal/m². Riktigare är alltså värmeomsättningen vid »Grundkallen» 460 000 kgkal, något överstigande normalvärdet för Östersjön 445 000. Över huvud får man räkna med att det lokala värmeinnehållet vid »Grundkallen» i allmänhet ligger i överkant av genomsnittsvärdet för det Baltiska Havet.

Man kan alltså inte komma ifrån det faktum, att »Ölandsrev» och i någon mån »Grundkallen» för ett studium av det Baltiska Havets värmeekonomi ha en kanske mindre lycklig placering. Detta tycks däremot ej gälla för »Sydostbrotten», det tredje av de svenska fyrskepp i Baltiska Havet, som mäta ned till 50 m. »Sydostbrotten», som är beläget förhållandevis långt ute till havs, synes i värmehänseende väl kunna representera Bottenhavet och även Bottenviken. De båda övriga svenska fyrskeppen »Finngrundet» strax norr om »Grundkallen» och »Svenska Björn» utanför Stockholm ligga, det förra på 20 m och det senare på 30 m, på så små djup, att deras temperaturobservationer knappast kunna ha användning för ett studium av värmecirkulationen, vilken ju som bekant går ned till 50 å 70 m.

För ett fortsatt studium av värmeekonomin i egentliga Östersjön äro vi hänvisade till kontinuerliga observationer vid endast en observationspunkt, »Ölandsrev», där uppvärmningen visat sig vara något mindre än genomsnittsvärdet för Östersjön. Det vore att bygga på alltför lösa argument att låta uppvärmningen vid »Ölandsrev» multiplicerad med en lämplig faktor gälla för Östersjön i dess helhet, emedan denna faktor från år till år varierar betydligt. Däremot kan man påstå, och denna undersökning över värmefördelningen i Östersjön utmynnar även i detta: På grundval av observationer från ett fåtal fasta stationer runt Östersjöbäckenet och vid Gotland, belägna på betryggande avstånd från land och grund och på ett djup av minst 50 helst 70 m skulle det vara möjligt att erhålla en tillförlitlig kännedom

om Östersjöns värmeförhållanden. En riktig uppfattning av de gigantiska värmemängder, som årligen omsätts i Östersjön och av värmekonomin från år till år varierande utseende måste i klimatiskt och andra hänseenden vara av stort värde.

Östersjön som klimatisk faktor.

Den normala instrålningen under hela sommarhalvåret 15 mars—15 sept. kunna vi finna genom att använda AURÉNS strålningssiffror för Visby (som vanligt ökade med 10%), eller genom att — som vi gjort för somrarna 1938 och 1939 — öka Stockholmsvärdet (S. M. H. A. Årsböcker [35]) med 30 %, eller slutligen genom att addera instrålningsvärdet, vi använt för sommaren 1939, 600 000 kgkal, och korrektionen för tiden 26 juli—15 sept. 188 000 kgkal. Alla tre beräkningsgrunderna föra till värden, som ligga nära 800 000 kgkal/m².

Om vi vidare som förut begagna utstrålningsvärdet 1215 kgkal/m² per dygn, WITTINGS avdunstningsvärden minskade med 8 % och räkna med 7 % reflexionsförluster i instrålningen, ter sig den normala balansräkningen under sommarhalvåret på följande sätt:

Den 15 mars—15 sept.

Instrålning	800 000	Utstrålning ...	220 000 kgkal/m ²
Konvektion ...	35 000	Avdunstning ...	115 000
		Reflexion	55 000
		Vattenuppvärmning ...	445 000
Summa	835 000	Summa	835 000

Värmeinkomsten på konvektiv väg är här 35 000 kgkal i överensstämmelse med vad vi tidigare uppskattat den till.

En beräkning av instrålningen under vinterhalvåret kan man knappast grunda på AURÉNS värden (se sid. 12) utan man får i detta fall bygga på värdet för Stockholm. På grund av den större molnigheten under vintern är emellertid instrålningen över Östersjön med säkerhet ej så mycket högre än instrålningen i Stockholm som 30 % (den merprocent, vi räknat med för sommaren); vid mulet väder, molnighet 10, kan man under vinterhalvåret i genomsnitt räkna med att instrålningen i Visby är 15 % högre än i Stockholm. Jag tror, att man kommer nära en riktig uppskattning — 5 å 10 % mer eller mindre är här oväsentligt — om man ökar Stockholmsvärdet 133 000 kgkal med 20 %, varvid man kommer till ett värde på 160 000 kgkal/m² för instrålningen över Östersjön under vinterhalvåret. Om utstrålning och avdunstning beräknas som förut och 10 % av instrålningen åtgå till reflexionsförluster blir värmeöversikten för vinterhalvåret:

Den 15 sept—15 mars

Instrålning	160 000	Utstrålning ...	220 000 kgkal/m ²
Vattenavkylning	445 000	Avdunstning ...	200 000
		Reflexion	15 000
		Konvektion ...	170 000
Summa	605 000	Summa	605 000

För att räkningen skall gå ihop måste man alltså antaga, att ur Östersjöns värmemagasin 170 000 kgkal/m² under vintern *avgives* till atmosfären, en värmemängd, som är nära 5 gånger större än den, som under sommaren *tillföres* vattnet från atmosfären. Proportionen mellan dessa bägge kvantiteter är ej osannolik: det är ett känt faktum att värme mera effektivt överföres från vattnet till luften än vice versa. Då den höstliga avkylningen sätter in, och luften blir kallare än vattnet, avlöses sommarens stabila atmosfäriska skiktning av en instabil sådan, turbulensen i lufthavet tilltager, och konvektionen växer. Under vintern bryter ofta en invasion av kallluft in över Östersjön och lyfter den över sjön liggande varmare luften till stor höjd. Östersjön kommer då i kontakt med luftmassor av betydligt lägre temperatur än vattnet, vilka värmas genom luftcirkulation, varvid konvektionen blir enorm. Vi antaga t. ex., att vid en västlig storm på 23 m/s luftmassan över havet mellan fastlandet och Gotland värmes 6° ända upp till 500 m höjd. För denna uppvärmning måste av vattnets magasinerade värme förbrukas i runt tal 20 000 kgkal/m² per dygn, eller 1/8 av det ovannämnda konvektionsvärdet 170 000 kgkal. I ett dylikt extremfall har alltså atmosfären en ganska frisk aptit på Östersjöns värmeförråd. Normalt är givetvis skillnaden mellan lufttemperaturen och ytvattnets temperatur betydligt mindre än i detta exempel. Enligt ÅNGSTRÖMS anomalkartor ligger den mellan 1° och 3° under vintermånaderna.

De slutgiltiga balansräkningarna ge alltså vid handen, att Östersjön genom konvektion under sommaren mottager 35 000 kgkal/m², under vintern avger 170 000, vilket innebär, att Östersjöns klimatiska verkan är dels temperaturutjämnande dels temperaturhöjande: årsnettot genom konvektion avgivet värme utgör så mycket som 135 000 kgkal. Av de ansevärd värmemängder 445 000 kgkal/m², som under uppvärmningshalvåret, i huvudsak genom instrålad solenergi, ackumuleras i Östersjön frigöres under vintern till atmosfären en avsevärd del, 170 000 kgkal eller nära 40 %. Man har därför skäl att tala om Östersjön som en ofantlig värmekälla under den kalla årstiden. Egentliga Östersjön avger då så småningom en värmemängd, som motsvarar förbränningen av 5 miljarder ton stenkol! Delvis komma dessa värmekvantiteter de Östersjön omgivande landområdena till del och äro där orsaken till det välbekanta milda höst- och förvinterklimatet — vi ha alla hört talas om mullbärsträdet i Visby. Enligt ÅNGSTRÖM [32] utgör svenska ostkusten med Gotland ett särskilt temperaturklimatområde i Sverige, det lokalmaritima ostkustområdet, som visar en tydligt framträdande såväl vinter- som sommaranomaly uppgående till maximalt 2° å 3°. Den negativa sommaranomaly är, som man kan vänta, till sitt belopp mindre än den positiva vinteranomaly. Södra Östersjöns svenska kustland visar emellertid ej någon utpräglad maritim karaktär, vilket sammanhänger med att en verkan av Östersjöns cirkulation lagrar sig över den rent maritima verkan (sid. 7). Det maritima bältet är vid svenska kusten smalt och sträcker sig i allmänhet endast några mil in i landet. De centrala delarna av Gotland ha sålunda snarare lokalkontinental än maritim karaktär. På grund av de över Östersjön förhärskande syd- och sydvästliga vindarna är med säkerhet Östersjöns klimatiska verkan på de baltiska kusterna större. Det maritima

bältet får här anses vara djupare än vid den svenska ostkusten.

Jag vill här begagna tillfället att uttala mitt hjärtliga tack till byrådirektören ANDERS ÅNGSTRÖM, vars rika erfarenhet i alla hithörande frågor jag haft att tillgå såväl under den experimentella som den teoretiska utformningen av detta arbete.

Vidare är det mig en glädje att erkänna det värdefulla arbete, som under de inalles 6 expeditionerna med »Skage-

rak» utförts av mina kollegor i den vetenskapliga staben: fil. magistrarna SVANTE LANDBERG, KURT LIDÉN och GÖSTA LILJEQVIST samt fil. lic. LENNART MINNHAGEN.

»Skageraks» befälhavare, Kapten K. L. SUNDE, samt dess officerare och besättning vill jag tacka för ständig beredvilighet och säkerhet i arbetet.

I maj 1937 utfördes under ledning av Trålmästare AUG. NILSSON speciella undersökningar från fyrskeppet »Ölandsrev», varvid fartygets officerare och besättning som vanligt visade stort tillmötesgående och stor hjälpsamhet.

Summary.

The main purpose of the investigation has been to set up a balance-sheet for the heat economy of the central Baltic Ocean and especially to clear up the discrepancy existing between earlier estimates by D. WALLERIUS, based on 10 years of light-ship observations, and the results derived from radiation measurements.

The material of observations used to the above purpose has been obtained partly from cruises with the Swedish research ship the »Skagerak» in 1937, 1938 and 1939, partly from an international cruise during the latter part of July in 1939 in which, besides the »Skagerak», also the Finnish research ship the »Aranda» and the Lettonian ship the »Hidrografs» participated. In addition, hydrographic observation series were repeatedly carried out from the Swedish light-ship the »Ölandsrev». The results were compared with Swedish radiation measurements as revised by A. ÅNGSTRÖM.

A very close agreement between the *credit* and *debet* columns of the balance-sheet was found, from which it follows, that the total amount of heat annually stored and released by a column of water 50 metres deep below each square metre of surface is 445 000 kg.cal., the amount of heat from still deeper layers being practically nil.

The amount of heat transferred during the colder seasons by convection to the atmosphere from the same column of Baltic water is found to be 170 000 kg. cal.

The Baltic influence on the climate of the surrounding countries is discussed.

Zusammenfassung.

Ziel der Untersuchungen war die Aufstellung der Wärmebilanz für die zentrale Ostsee und gleichzeitig die Bereinigung eines bisher bestehenden Widerspruches zwischen den Ergebnissen einer früheren derartigen Berechnung, ausgeführt von D. WALLERIUS auf Grund zehnjähriger Feuer-schiffbeobachtung, und Strahlungsmessungen.

Die Untersuchungen basierten auf Messungsserien, die vom schwedischen Untersuchungsschiff »Skagerak» während mehreren Fahrten in den Jahren 1937, 1938 und 1939 ausgeführt worden waren, wie auf Beobachtungen, die während einer internationalen Ostseefahrt in der zweiten Hälfte Juli 1939 gewonnen worden waren. An dieser nahmen ausser »Skagerak» noch das finnische Untersuchungsschiff »Aranda» und das lettische Schiff »Hidrografs» teil. Ebenso wurden die hydrografischen Messungen, die von schwedischen Feuerschiff »Ölandsrev» durch längere Zeit ausgeführt worden waren, herangezogen. Zum Vergleich dienten schwedische Strahlungsmessungen, die von A. ÅNGSTRÖM revidiert wurden.

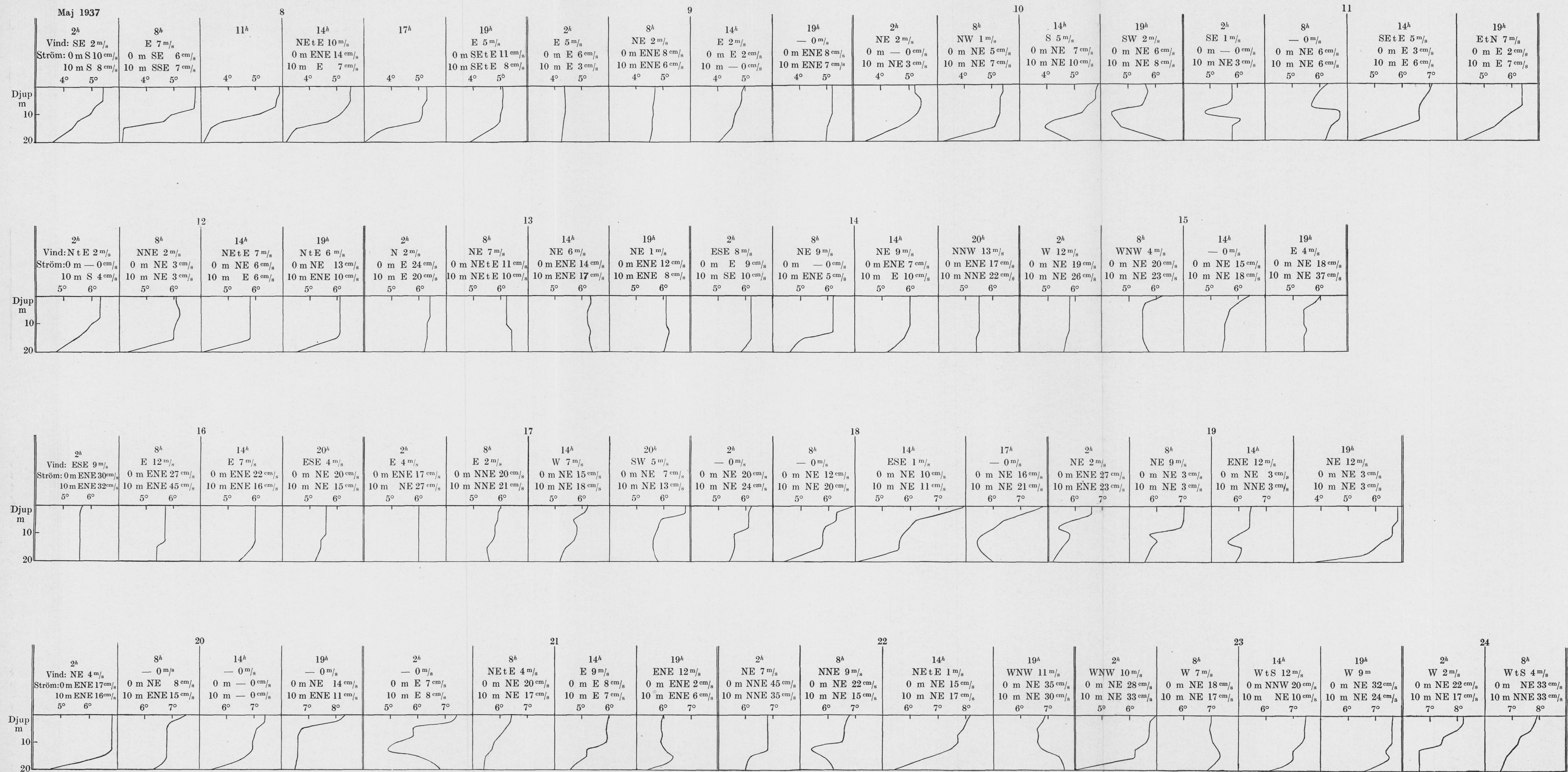
Es ergab sich eine sehr gute Uebereinstimmung zwischen der Kredit- und Debetseite. Daraus konnte geschlossen werden, dass die Gesamtwärmemenge, welche eine Wassersäule von 50 m Tiefe unter jedem m² Oberfläche der zentralen Ostsee jährlich aufspeichert und wieder abgibt, 445 000 kg Kal beträgt. Die tieferliegenden Wasserschichten leisten zum Wärmehaushalt der Ostsee, wie festgestellt wurde, keinen nennenswerten Beitrag. Die durch Konvektion von einer solchen Wassersäule an die Atmosphäre abgegebene Wärmemenge beträgt 170 000 kg Kal im Winterhalbjahre.

Die klimatische Bedeutung der Ostsee für die Küstenstrecken ihrer Umgebung wurde erörtert.

LITTERATURFÖRTECKNING

1. AURÉN, T. E.: »Radiation Climate in Scandinavian Peninsula». Ark. f. Mat., Astr. och Fys., Bd 26 A, N:o 20, 1939.
2. GEHRKE, J.: »Beiträge zur Hydrographie des Ostseebassins.» Publications de Circonstance N:o 52. Kbhvn 1910.
3. GRANQVIST, GUNNAR: »Fyralandsexpeditionen i Östersjön sommaren 1939.» E. S. M. S. a. Terra 52: 1—2, 1940.
4. — — »Zur Kenntnis der Temperatur und des Salzgehaltes des Baltischen Meeres an den Küsten Finnlands.» Havsforskningsinst. Hfors, N:o 122, 1938.
5. GUSTAFSON, T. och KULLENBERG, B.: »Untersuchungen von Trägheitsströmungen in der Ostsee.» Sv. Hydr.-Biol. Kom. Skrifter. Ny serie: Hydrografi XIII.
6. v. HANN, J.: »Handbuch der Klimatologie.» 4:de uppl. Engelhorn. Stuttg. 1932.
7. JURVA, RISTO: »Über die Eisverhältnisse des Baltischen Meeres an den Küsten Finnlands.» Havsforskningsinst. Hfors, N:o 114, 1937.
8. KRÜMMEL, O.: »Handbuch der Ozeanographie.» 2:dra uppl. Engelhorn. Stuttg. 1923.
9. MONTGOMERY, R. B.: »Observations of vertical humidity distribution above the ocean surface and their relation to evaporation.» Pap. in Phys. Oc. and Met., Vol. VII, N:o 4, 1940.
10. MOSBY, HÅKON: »Verdunstung und Strahlung auf dem Meere.» Ann. d. Hydr., Hft VII, 1936.
11. MÅE, HJ.: »Über die Temperatursprünge in der Ostsee.» Sitz. Ber. der Akad. der Wissenschaften in Wien. II a. Bd 137. Hft 1—2 1928.
12. — — »Über den Wärmeaustausch zwischen Luft und Wasser.» Ann. d. Hydr., Jft II, 1929.
13. PALMÉN, E.: »Untersuchungen über die Strömungen in den Finnland umgebenden Meeren.» Soc. Scient. Fennica. Comm. V. 12, 1930.
14. PALMÉN, E. och LAURILA, E.: »Über die Einwirkung eines Sturmes auf den hydrographischen Zustand in nördlichen Ostseegebiet.» Soc. Scient. Fennica. Comm. Phys.-Math. X. 1, 1938.
15. PETTERSSON, HANS: »Internal Movements in Coastal Waters and Meteorological Phenomena.» Geogr. Ann. Hft 1, p. 33, 1920.
16. PETTERSSON, V. I.: »The past cold winter and the possibility of longrange forecasting.» Nature, p. 796, 1929.
17. PETTERSSON, OTTO: »Om möjligheten till väderleksförutsägelser för längre tid.» Lantbr. Akad. XXXV, p. 131, 1896.
18. — — »Über die Beziehungen zwischen hydrographischen und meteorologischen Phänomenen.» Met. Zeitschrift p. 285, 1896.
19. POWELL, W. M. and CLARKE, G. L.: »The Reflection and Absorption of Daylight at the Surface of the Ocean.» J. Opt. Soc. Am. Bd 26, p. 111.
20. SANDSTRÖM, J. W.: »Dynamische Versuche mit Meerwasser.» Ann. d. Hydr. p. 7, 1908.
21. SCHMIDT, WILHELM: »Strahlung und Verdunstung an freien Wasserflächen; ein Betrag zum Wärmehaushalt des Weltmeeres und zum Wasserhaushalt der Erde.» Ann. d. Hydr., Hft III o IV, 1915.
22. SCHUBERT, JOH.: »Der Wärmeaustausch im festen Erdboden, in Gewässern und in der Atmosphäre.» Berlin 1904.
23. SCHULTZ, BRUNO: »Einführung in die Hydrographie der Nord- und Ostsee.» Die Tierwelt der Nord- und Ostsee, Leipzig, 1932.
24. SVERDRUP, H. U.: »On the evaporation from the oceans.» Contr. f. the Scripps Inst. of Oc., New Series N:o 1, 1937—1938.
25. WALLERIUS, DANIEL: »Östersjövattnets värmeinhåll.» Sv. Hydr.-Biol. Kom. Fyrskeppsundersökning 1932.
26. WEGEMANN, G.: »Ursachen der vertikalen Temperaturverteilung im Weltmeere unter besonderer Berücksichtigung der Wärmeleitung.» Ann. d. Hydr., Hft 5, 1905.
27. WITTING, ROLF: »Hafsytan, Geoidytan och Landhöjningen utmed Baltiska hafvet och vid Nordsjön.» Fennia 39 N:o 5, Hfors 1918.
28. — — »Der Bottnische Meerbusen.» Ann. d. Hydr., Hft 8, 9, 1906.
29. WÜST, G.: »Die Verdunstung auf dem Meere.» Ver. d. Inst. f. Meereskunde. A. Geogr.-naturw. Reihe, Hft 6, 1920.
30. ÅNGSTRÖM, ANDERS: »Applications of heat radiation measurements to the problems of the evaporation from lakes and the heat convection at their surfaces.» Geogr. Ann. Hft 3, p. 237, 1920.
31. — — »Studier av Sveriges strålningsklimat.» Ymer Hft 1, p. 1, 1924.
32. — — »Lufttemperatur och temperaturanomalier i Sverige 1901—1930.» Med. fr. Stat. Met.-Hydr. Anst., Bd 7, N:o 2, 1938.
33. — — »Über die Gegenstrahlung der Atmosphäre.» Met. Zeitschrift, Hft 12, 1916.
34. Svenska Hydrografisk-Biologiska Kommissionens Fyrskeppsundersökning 1923—1938.
35. Meteorologisk-Hydrografiska Anstaltens Årsbok 1923—1938.
36. Regelmässige Beobachtungen von Temperatur und Salzgehalt des Meeres. Regular Observations of Temperature and Salinity in the Seas around Finland. Annual Reports. Havsforskningsinstitutet, Hfors.

PLANSCH I:
»ÖLANDSREV».





RLANDERS BOKTRYCKERI AKTIEBOLAG GÖTEBORG 1940