

TEMPERATUROBSERVATIONER

I

MÄLAREN OCH SALTSJÖN VID STOCKHOLM

AF

AXEL HAMBERG.

MED EN TAFLA.

MEDDELAGDT DEN 13 NOVEMBER 1895.

GRANSKADT AF R. RUBENSON OCH B. HASSELBERG.

— • • • —

•

STOCKHOLM 1896.

KUNGL. BOKTRYCKERIET. P. A. NORSTEDT & SÖNER.

Genom F. L. EKMANS utförliga undersökningar¹ öfver salthalten på olika djup inom olika delar af Mälaren och Salt-sjön vid Stockholm hafva strömförhållandena inom detta hydrografiska system i sina hufvuddrag blifvit kända.

Dessa vattendrag bestå af en kedja särskilda bassänger, som genom grunda sund stå i ofullkomlig kommunikation med hvarandra. De vestligaste af dessa bassänger hafva insjökarakter, under det de östligaste visa förhållanden, som på det närmaste öfverensstämma med Östersjöns. De mellanliggande bassängerna bilda i flere afseenden språngvisa öfvergångar mellan ytterlederna. EKMAN indelar hela området i tre stora hufvudafdelningar: 1) Stockholms yttre skärgård, 2) Stockholms inre skärgård och 3) Mälaren.

Den första af dessa afdelningar sträcker sig från hafsbandet till Baggensstaket och sunden vid Vaxholm. Den utmärker sig för en temligen hög salthalt i såväl ytlagren som de djupare lagren. I de djupare lagren uppgår klorhalten till omkring 3,5 ‰ Cl. I ytlagren är den lägre och temligen vexlande.

Den andra afdelningen sträcker sig från de nämnda sunden till Norrström. Under det de djupare lagren här hafva nästan lika hög salthalt (med 2,8—3,0 ‰ Cl.) som vattnet i ytterskärgården, så är deremot ytvattnets salthalt på grund af det utströmmande Mälarevattnet mycket ringa och tyckes äfven variera med varaktigheten och intensiteten af Mälarevattnets utströmning. EKMAN fann i ytvattnet inom denna afdelning år 1874 omkring 1,5 ‰ Cl. SONDÉN fann deremot år 1888 ej mer än 0,2—0,5 ‰ Cl. Ytvattnets salthalt synes dock alltid inom denna afdelning vara mycket mindre än inom den föregående.

¹ Bih. t. K. Vet. Akad. Handl. Bd 4, N:o 12.

Den tredje afdelningen eller Mälaren står genom Norrström och Södertelje kanal i förbindelse med Saltsjön. I allmänhet strömmar vattnet genom dessa farleder från Mälaren mot Saltsjön, men det omvända förhållandet eger rum vid s. k. uppsjö. EKMANS betraktar derför Mälaren ej såsom en insjö utan såsom en gammal hafsvik, »som befinner sig i det sista stadiet af gemenskap med hafvet», »nämligen i ett stadium af blott intermitterande gemenskap dermed». Mälaren består af flere genom grunda sund från hvarandra skilda bassänger. I de djupare delarne af de bassänger, som ej ligga alltför aflägsset från Norrström eller Södertelje kanal, förekomma stundom klorhalter från 0,5 till 2,0 ‰ Cl.

I regeln går genom hela detta system en ytströmning af färskt eller jernförelsevis saltfattigt vatten från Mälaren mot Östersjön. Under denna framgår i skärgården i motsatt riktning en salthaltigare reaktionsström, hvilken åtminstone i Stockholms omedelbara närhet är säkert påvisad. De djupare salthaltigare lagren i bassängerna torde i allmänhet befinna sig i hvilat utom vid uppsjö eller då öfver bottentrösklarne ett vatten uppträder, som är salthaltigare än det, som finnes i den innanför liggande bassängen. I stort sedt kan man emellertid säga, att systemet genomflytes af en saltfattig ytström af östlig riktning och en salthaltigare djupström af vestlig riktning.

Några uppgifter angående temperaturen inom det undersökta vattenområdet lemnade EKMANS ej. En del temperaturobservationer under vintern från åren 1851—1858 hade dock af WEGELIN¹ blifvit utförda såväl i Saltsjön som i Mälaren och i andra svenska vattendrag. Dessa observationer voro emellertid, hvad Mälaren och Saltsjön beträffar, väl fåtaliga och väl litet systematiskt anordnade för att de skulle kunna anses gifva någon egentlig utredning af temperaturförhållandena derstädes. Såsom ett viktigt resultat af WEGELINS undersökningar kan anföras, att han var den förste som påvisade, att djupvattnet i Mälaren och våra insjöar vintertiden ingalunda var + 4°, såsom den tiden antogs, utan hade en vida lägre temperatur. Några observationer under sommaren anfördes icke från Stockholmstrakten.

I slutet af sommaren 1884 kom jag att undersöka temperaturen i olika djup på en punkt i stora segelleden till

¹ Öfvers. af K. Vet. Akad. Förhandl. 1864: 429.

Sandhamn strax utanför Nyvarp på Vermdö, der jag sommartiden vistades. Jag fann då en öfverraskande låg botten-temperatur, hvilket gaf mig anledning att nästa sommar på samma ställe förfölja temperaturens variationer genom att företaga tvenne observationsserier i månaden. Den följande våren utvidgades området för undersökningen, i det temperaturobservationer äfven företogs på tvenne andra punkter, nämligen utanför Beckholmen vid Stockholm samt i Löfstafjärden i Mälaren. Dessa observationer, hvilka icke alla utfördes af mig personligen, företogs med få undantag minst en gång i månaden vid hvarje station ända till hösten 1888, då de upphörde.

Sedan mina observationer började, hafva tvenne vigtiga arbeten angående de hydrografiska förhållandena inom det här ifrågavarande området blifvit utförda och offentliggjorda, nämligen af R. LUNDBERG¹ och af K. SONDÉN.² LUNDBERGS afhandling innehåller en temligen fullständig undersökning öfver temperatur- och salthaltsförhållandena inom skärgården. Flertalet af hans observationspunkter undersöktes trenne olika tider på året. LUNDBERG fann liksom jag botten-temperaturen sommartiden anmärkningsvärdt låg. SONDÉNS arbete, som hade ett praktiskt ändamål och som icke innehåller temperaturobservationer, är af stor vikt för den hydrografiska indelningen af Mälaren och kompletterar i detta hänseende EKMANS grundläggande arbete.

Som flere af de resultat jag kommit till återfunnos i LUNDBERGS afhandling, blefvo mina temperaturobservationer icke publicerade. Som de dock innehålla mycket, som icke framgår af LUNDBERGS undersökning, har jag emellertid ansett dem värda att offentliggöras, hvartill jag för öfrigt af Prof. O. PETTERSSON uppmanats, genom hvilken sistlidne vinter studiet af Mälarens vattenområde återupptagits.

Mina observationspunkter voro så valda, att jag skulle hafva EKMANS tre stora hufvudafdelningar Mälaren, Stockholms inre skärgård och Stockholms yttre skärgård repre-

¹ Meddel. rörande Sveriges fiskerier. Häfte 2. 1887.

² Stockholms afloppsvatten och dess inflytande på vattendragen kring staden. Bih. t. Stockholms stads hälsovårdsnämnds årsberättelse 1888.

senterade. Läget af observationspunkterna var närmare bestämdt följande:

Observationspunkten Riddersvik: i Löfstafjärden mellan Riddersvik och Färjestaden på Svartsjölandet vid ett djup af 45 meter till botten.

Observationspunkten Beckholmen: i segelleden vid Stockholm mellan Beckholmen och Danviken vid ett djup af 34 meter till botten.

Observationspunkten Nyvarp: i segelleden Stockholm—Sandhamn på en punkt, der linierna Nyvarps storudde—Hästryggens östra udde samt Viggsö—Lindalen korsa hvarandra. Djupet till botten 60 meter.

Samtliga observationer utfördes intill sept. 1886 med en Miller-Casella-termometer, samt derefter med Negretti & Zambra termometrar, till hvilka omvändningsapparater användes, som säkert vände termometrarne efter 1 meters upphalning.

Alla observationerna äro upptagna i tabellerna 1—3 i afhandlingens slut.

Observationspunkten Riddersvik.

Enligt EKMAN skulle i Löfstafjärden salthalten vara så ringa, att denna fjärd skulle kunna anses vara uppfylld af nästan uteslutande färskvatten. EKMAN uppgifver derifrån följande klorhalter, funna i vattenprof, tagna 17/10 1874.

Djup i meter.	Omr. 1,200 meter NV. om Lambarudden.	Utanför Löfsta.	
0	0,0401	0,0344	gr. Cl. per liter
57	0,0309	0,0280	»
64	0,0301	0,0280	»

I några vattenprof, tagna sommaren 1886 på samma ställe, der temperaturobservationerna gjordes, fann jag ännu lägre klorhalter.

Djup i meter.	1 juni 1886.	4 juli. 1886.	29 aug. 1886.	
0	0,010	0,010	0,010	gr. Cl. per liter.
20	0,010	0,010	0,010	»
40	0,017	0,011	0,010	»

På grund af dessa observationer ansåg jag, att Löfstafjärden med afseende på temperaturens växlingar borde förhålla sig såsom en insjö. Detta visade sig under de trenne årens observationer äfven i hufvudsak vara fallet. Dock förekommo sommaren 1888 förhållanden, som rätt betydligt afveko från dem, som en ren insjö borde visa. Jag gjorde denna sommar inga undersökningar öfver klorhalten, men sådana utfördes just då af SONDÉN vid tre olika tillfällen derstädes. Han fann följande klorhalter per liter:

Djup i meter.	Mellan Vendtholmslandet och Hummel-mora 16 maj 1888.	Vid Hummel-mora 21 juni 1888.	Vid Hummel-mora och Sandvik 12 sept. 1888.	
0	0,103	0,094	0,072	gr. Cl. per liter.
10	—	0,097	—	»
20	0,362	0,174	—	»
30	—	0,413	—	»
40	—	0,524	—	»
43	—	—	0,243	»
50	—	0,525	—	»
52	0,596	—	0,456	»

Dessa klorhalter äro såsom synes mycket högre än dem, som observerades 1874 och 1886, och man måste häraf draga den slutsatsen, att sedan sistnämnda år saltvatten från Saltsjön inträngt i denna del af Mälaren. I synnerhet är salthaltens ökning i de djupare lagren betydlig, och denna ökning är i själfva verket tillräcklig för att inverka väsentligt på den termiska cirkulationen och gifva den en något annan karakter än i en ren insjö.

I allmänhet torde emellertid denna del af Mälaren (Löfstafjärden) — såsom fallet var 1886 och 1887 — visa de temperaturförhållanden, som en insjö af samma djup skulle visa.¹ Såsom en sammanfattning af observationerna (tab. 1) skulle man i få ord kunna karakterisera temperaturförhållandena i denna fjärd på följande sätt:

På våren och sommaren råder en med djupet fallande temperatur. På hösten, i september och oktober, afkylas ytlagren och nedsjunka, tills de träffa lager af lägre temperatur och högre specifikt vikt, hvarigenom ett öfre lager af ända igenom likformig temperatur utbildar sig. Ju längre fram på hösten desto lägre blir denna temperatur och desto tjockare blir detta lager, tills det i november nått botten, då en i det närmaste konstant temperatur af omkring $+6^{\circ}$ till $+7^{\circ}$ är rådande genom hela vattenmassan. Denna temperatur sjunker allt mer, tills hela vattenmassan afkylts till vattnets täthetsmaximum (ungefär $+4^{\circ}$), hvarefter de öfre lagren antaga en lägre temperatur än de undre. På vintern råder därför i motsats till sommartiden en med djupet stigande temperatur. Dervid bibehålla de djupare lagren dock icke $+4^{\circ}$, utan afkylas 1° — 2° under sitt täthetsmaximum, liksom de under sommaren uppvärmas flere grader öfver detsamma. På våren, vid uppvärmningen efter islossningen, inträder åter en period, under hvilken hela vattenmassan — analogt med förhållandet under hösten — har en likformig temperatur ända till dess täthetsmaximum genom alla lager blivit uppnått, då en med djupet fallande temperatur åter utvecklar sig, liksom föregående sommar.

Våren och sommaren 1888 afveko förhållandena så till vida, att bottenlagren icke uppvärmdes till $+4^{\circ}$ samtidigt med de öfre vattenlagren, utan bibehöllo en lägre temperatur. Detta berodde på att, såsom SONDÉNS iakttagelser visa, hade inträngt i fjärden ett bottenlager af så hög salthalt, att den specifika vigten hos detta lager likväl alltid var högre än de öfverliggande lagrens, äfven om temperaturen ej motsvarade vattnets täthetsmaximum. Som dylika förhållanden icke iakttogos åren 1886 och 1887 och den klorhalt EKMAN år 1874 derstädes fann äfven var mycket ringa, synes det mig, att år 1888 bör betraktas såsom ett undantagsår och att den undersökta fjärden i regeln förhåller sig såsom en insjö.

¹ Jemför F. A. FOREL: Le Léman II: 345. Lausanne 1895.

För att lättare kunna öfverskåda, huru temperaturen i ett och samma djup varierar med årstiden, har jag på taflan utlagt temperaturkurvorna för olika djup vid de olika observationsställena. För Riddersvik återfinnas der kurvorna för 0, 10, 30 och 45 meter. Nederst på taflan är en kurva för lufttemperaturen i Stockholm enligt de af Meteorologiska Centralanstalten publicerade månadsmedia.¹ Vi se, att temperaturen i ytan följer lufttemperaturen temligen, så att maxima och minima hos dessa båda kurvor inträffa vid ungefär samma tid. I 10 meters djup är förhållandet nästan detsamma som i ytan, dock är skillnaden mellan maximum och minimum ej så stor. I 30 meter är denna temperaturvexlingarnes amplitud ännu mindre, men der är äfven läget af maxima och minima något framskjutet. I detta djup observerades de högsta temperaturerna 1 okt. 1886 och 30 sept. 1887, under det att i ytan maximumtemperaturen observerades i juli eller augusti. I 45 meters djup är amplituden ännu mindre, maxima och minima ännu något mera framskjutna.

Beträffande förhållandena under de olika åren, så visa dessa olikheter, som icke allenast föranledts af inträngandet af salthaltigt vatten i de djupare lagren under 1888 utan äfven af olikheten i lufttemperaturerna. Detta gäller äfven de djupare lagren. Så se vi af kurvan för 30 meter, att det sommarmaximum, som följde på den blida vintern 1886—1887, var mycket högre och bredare än maximumet den föregående sommaren, som följde på en mycket strängare vinter.

Observationspunkten Beckholmen.

Denna observationspunkt representerar EKMANS afdelning Stockholms inre skärgård, inom hvilken ytvattnet af det utströmmande färskvattnet från Mälaren blivit i hög grad utspäddt, under det de djupare lagren bibehållit nästan samma salthalt som vattnet vid bottentrösklarne till den yttre skärgården. Nedanstående observationer torde kunna gifva en föreställning om salthalten i olika lager på observationsstället under den tid observationerna utfördes.

¹ Meteorologiska iakttagelser i Sverige 1885—1888.

Djup i meter.	31 juli. 1886.	30 aug. 1886.	30 dec. 1886.	30 maj 1887.	7 jan. 1888.	
0	0,305	0,553	0,661	0,360	0,623	gr. Cl. per liter.
5	1,589	1,582	2,180	0,363	2,348	"
10	2,455	2,451	2,490	2,581	2,412	"
20	2,759	2,725	2,793	2,810	2,745	"
30	2,848	2,788	2,797	2,931	2,827	"

På grund af salthaltens raska stegring med djupet kan här endast i mycket obetydlig mån — i motsats till förhållandet i Mälaren — en termisk konvektion af vattenlagren ega rum. Temperaturen kan derföre hufvudsakligen genom ledning och omblandning af på hvarandra liggande vattenlager fortplanta sig från ytan mot djupet.

Under sommaren råder en med djupet fallande temperatur (se tab. 2). *I de öfversta lagren, der salthaltens stegring är störst, är temperaturfallet högst betydande.* Såsom af tabell 2 synes, uppgår sommartiden skilnaden mellan ytvattnets temperatur och temperaturen i 15 meters djup till omkring 15°. Under 15 meter är temperaturfallet deremot ganska obetydligt. Under hösten utjemnas den stora temperaturdifferensen i de öfre 15 metern högst väsentligt, i det värmets sprider sig något i de djupare lagren under det ytlagren afkylas. Under senhösten (december) afkylas ytlagren så mycket, att ytvattnets temperatur blir lägre än de närmast under liggande lagrens d. v. s. temperaturmaximet ligger icke längre i ytan utan djupare ned. Vid ytan och botten äro minima. Under vintern afkylas ytlagren alltmer, medan de djupare lagren blifva något varmare och maximumtemperaturen uppträder i allt djupare lager. Dock synes temperaturmaximet icke nå bottenlagren. Under våren uppvärmas ytlagren åter och det uppstår i förstone: i ytan ett maximum, derunder ett minimum, ännu djupare det gamla maximet och vid botten det gamla minimet. Det öfversta minimet utplånas dock ganska snart alltefter som ytlagren under våren uppvärmas, och det uppstår en med djupet fallande temperatur genom hela vattenmassan, hvilket förhållande är rådande under sommaren.

Temperaturens variationer med årstiden på en och samma nivå inses af kurvorna på taflan. Kurvan för ytvattnet har maxima och minima på ungefär samma ställen som lufttemperaturens kurva. I 10 meters djup uppträda maxima deremot 2—3 månader senare. I 30 meters djup äro maxima och minima ännu mera framflyttade. Maximet efter sommaren 1886 inträffade i 30 meters djup ej förr än omkring 1 febr. 1887.

Framflyttningen af maxima och minima i de djupare lagren vid denna station är, såsom ses af kurvorna, *mycket större* än i Mälaren vid Riddersvik. Temperaturvexlingarnes amplitud är deremot i samma djup mycket mindre vid Beckholmen än vid Riddersvik.

Beträffande förhållandena under de olika åren så synas mig minima i 30 meters djup vara af särskildt intresse. Det visar sig, att storleken af dessa står i ett direkt förhållande till intensiteten och långvarigheten af den föregående vinterns köld. Sommaren 1887, som följde på en blid vinter, nedgick temperaturen i 30 meter endast till + 3°,55, sommaren 1886, som föregicks af en kallare vinter, var minimet i detta djup + 2°,3 och sommaren 1888 var motsvarande temperatur endast + 1°,3, men då hade äfven kölden under den föregående vintern varit ovanligt sträng och ihållande.

Observationspunkten Nyvarp.

Denna station representerar EKMANS afdelning Stockholms yttre skärgård. Ytvattnet är inom denna afdelning mycket saltare än i inre skärgården, djupvattnen äro äfven saltare, dock är skilnaden mellan djupvattnen i de båda afdelningsarna ej så stor. Vid Nyvarp fann jag åren 1885 och 1886 nedanstående klorhalter.

Djup i meter.	19 juni 1885.	1 juli 1885.	15 aug. 1885.	2 dec. 1885.	18 april 1886.	2 juli 1886.	
0	1,33	0,94	1,87	1,59	1,89	1,65	gr. Cl. per liter.
5	2,36	2,54	2,57	—	2,62	2,76	»
10	2,87	2,95	2,95	2,83	3,13	3,19	»
15	3,08	3,15	3,12	—	—	—	»
20	3,14	3,18	3,17	2,99	3,14	3,24	»
30	3,22	3,22	—	—	—	—	»
40	3,25	—	—	—	—	—	»
50	3,29	3,31	3,30	3,10	3,39	3,33	»

Vattnet vid Nyvarp har såsom vi se i alla lager en högre salthalt än det vid Beckholmen, men det har äfven genom hela sitt djup en något mera likformig sammansättning. Dock är den specifika viktens ökning med djupet äfven vid Nyvarp tillräcklig för att hindra den termiska konvektionen. De temperaturvariationer, som ega rum i de djupare lagren, måste sålunda komma till stånd genom ledning och omblandning samt genom tillströmning af vatten från längre in eller längre ut belägna delar af skärgården. Temperaturvariationerna (se tab. 3) hafva derföre i stort sedt samma karakter som vid Beckholmen.

Under sommaren råder en med djupet fallande temperatur. Under hösten afkylas ytlagren och det uppstår: ett minimum vid ytan, derunder ett maximum och vid botten ett minimum. Under vintern — åtminstone om den är långvarig — tyckes en med djupet jemnt stigande temperatur kunna utbilda sig. Under våren uppvärms ytan igen och det uppstår sannolikt till att börja med en temperaturanordning: ett maximum i ytan, derunder ett minimum och ännu djupare ett maximum. Det understa maximet försvinner dock snart och det uppstår en med djupet fallande temperatur.

Olikheterna i lufttemperaturerna under de olika åren hafva vid denna station liksom vid de föregående haft ett märkbart inflytande på temperaturerna i de djupare lagren. Liksom vid Beckholmen är minimumtemperaturen i bottenlagren efter vintern 1885—1886 lägre än efter den blidare vintern 1886—1887, och efter den kallaste vintern 1887—1888 var bottenlagrens minimum ännu lägre.

Med afseende på temperaturvexlingarnes storlek intager observationspunkten Nyvarp en mellanställning mellan Riddersvik och Beckholmen. Temperaturvexlingarnes amplituder äro sålunda — om ytvattnen undantagas — för ett och samma djup störst vid Riddersvik, mindre vid Nyvarp och minst vid Beckholmen. Detta inses genom en granskning af kurvorna på taflan samt af nedanstående tabell, der de observerade maximum- och minimumtemperaturerna äro upptagna. För ytvattnen har 0°,0 antagits såsom minimum, äfven om ej precis denna temperatur iakttagits.

Djup i meter.	Riddersvik.		Beckholmen.		Nyvarp.		Tid.
	T e m p e r a t u r .						
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	
0	+18,5	+0,0	+18,2	+0,0	+17,5	+0,0	} april—dec. 1886.
10	17,6	2,6	6,4	3,85	13,4	1,4	
30	8,9	3,4	3,8	2,3	6,7	0,6	
40	7,9	2,9	—	—	6,7	0,8	
0	19,7	0,0	19,2	0,0	15,5	0,0	} 1887.
10	17,4	0,2	10,1	3,6	14,0	1,1	
30	12,5	1,5	5,2	3,55	10,6	1,6	
40	9,3	1,3	—	—	9,2	2,2	
0	16,1	0,0	16,2	0,0	16,8	0,0	} jan.—sept. 1888.
10	16,0	0,2	7,4	1,2	10,2	0,7	
30	5,2	1,3	3,95	1,3	3,2	0,5	
40	3,15	1,5	—	—	1,3	0,4	

Äfven med afseende på förskjutningen af maxima och minima i ett och samma djup intager Nyvarp en mellanställning mellan Riddersvik och Beckholmen. Maximum och minimum i ett visst djup, t. ex. 10 meter, inträffar sålunda (i regeln) först i Löfstafjärden, derefter vid Nyvarp och sist vid Beckholmen. I Löfstafjärden, der vattnet är nästan saltfritt, äro förhållandena något olika mot vid de båda andra stationernas, vid Nyvarp och Beckholmen äro deremot temperaturvexlingarne fullkomligt analoga, och dessa äro olika på de

båda lokalerna hufvudsakligen i det afseende, att de äro mera försenade vid Beckholmen än vid Nyvarp. *Temperaturvexlingarne i ett lager vid Beckholmen förhålla sig sålunda ungefär som i ett djupare lager vid Nyvarp.*

För att kunna förklara dessa egendomligheter måste vi söka klargöra för oss, huru temperaturen fortplantar sig mot djupet från ytan, der vexlingarne hafva sin utgångspunkt.

Som vattnets värmeledningsförmåga är mycket liten, kan denna ej vara orsaken till temperaturens spridning. Deremot torde orsaken ligga i vindarnes verkan, hvilka kunna förorsaka omblandning af de olika vattenlagren på flere sätt, bland hvilka följande torde vara det viktigaste:

När en vind blåser öfver en vattenyta, förorsakar den en ytström från lä till lovart och en uppdämning af vattenytan i samma riktning. Denna uppdämning förorsakar i de djupare lagren en ström i motsatt riktning mot vinden, hvilket återigen ger anledning till en nedgående ström vid lovarts land och en uppgående vid den strand, som ligger i lä. Att en dylik af vinden förorsakad cirkulation förekommer i vår skärgård, har jag många gånger med termometern konstaterat, i det vid starkare vind under sommaren ytvattnet alltid visat sig kallare vid den strand, från hvilken vinden blåste, än vid den, der vinden låg på.¹

Förutom vindens större eller mindre styrka torde åtskilliga andra omständigheter, såsom vattenytans utsträckning och strändernas lutningsförhållanden, spela en viss roll vid denna cirkulation. Men ännu större inflytande torde den större eller mindre likformigheten i vattenlagrens specifika vikt hafva. Om vattnets specifika vikt och temperatur är lika i alla lager uti en vattenbassäng, så är det tydligt att denna af vinden igångsatta cirkulation icke röner något annat motstånd än det, som den inre friktionen utöfvar. Uti en bassäng med likadant vatten i alla lager torde den sålunda af vinden igångsatta cirkulationen kunna nedtränga till ganska stort djup. Men om den specifika vigten ej är lika i alla lager, så inträder ett annat förhållande. Om den specifika

¹ Dylika fenomen äro äfven påvisade flerstädes i världshafvet. Jemför KRÜMMEL: Handb. d. Ozeanographie II: 300—324.

vigten växer med djupet, såsom t. ex. vid Beckholmen, der ytvattnet har en specifik vikt af omkr. 1,0007 vid 0° och bottenlagren en specifik vikt af ungefär 1,0042 vid samma temperatur, så skulle, om cirkulationen nedträngde till botten, ett lättare vatten nedpressas till botten och ett tyngre upplyftas från botten till ytan. En dylik ström skulle naturligtvis hafva att uträtta icke endast friktionsarbetet utan äfven ett annat arbete, på hvilket skilnaderna i specifik vikt mellan yt- och bottenlagren samt djupet till botten äro ett mått. För att en liter vatten af specifik vikt 1,0042 skall kunna upplyftas till ytan från ett djup af 30 meter, under det att i detta vattens ställe från ytan nedföres en annan liter vatten, som endast har specifik vikt 1,0007, måste ett arbete = 30 . 0,0035 kilogrammeter utvecklas. Om strömmen ej nedgår till så stort djup, blir arbetet mindre, dels derföre att den höjd, till hvilken det tyngre vattnet skall upplyftas, är mindre, dels äfven emedan den specifika vigten vid ett mindre djup är mindre, då salthalten ökas med djupet. Det är klart, att strömmen väljer den väg, som kräfver det minsta arbetet och den håller sig följaktligen till längre upp belägna lager, dock kan den ej gå alltför nära ytan, emedan der friktionsarbetet mot den öfre strömmen blir för stort. Den undre strömmen kommer sålunda att hålla sig på ett visst medeldjup, der arbetet är ett minimum. Detta djup bestämmes såväl af den öfre strömmens hastighet och mäktighet, som af den specifika viktens tillväxt med djupet hos vattenlagren. Det är här af klart, att ju mindre den specifika viktens tillväxt är, till desto större djup kan en omblandning af vattenlagren genom vindarnes verkan ega rum.

Denna teori förklarar mycket väl den egendomliga omständigheten, att värmets fortplantar sig hastigare i Mälaren än i Saltsjön och hastigare i yttre skärgården än i den inre. I yttre skärgården vid Nyvarp är enligt förut anförda klorbestämningar skilnaderna mellan de olika vattenlagrens salthalt ej på långt när så stor som i inre skärgården vid Beckholmen. Vid Riddersvik i Mälaren, der salthalten i alla lager är mycket ringa, utgöres skilnaden i specifik vikt nästan endast af den, som förorsakats af skilnaden i temperatur. Dock inverkar äfven denna lilla skilnad hämmande på cirkulationen, i synnerhet under sommaren, då större temperatur-differenser äro rådande. Vid andra årstider torde deremot

cirkulationen vara jemförelsevis ohämmad af annat än den inre friktionen, emedan då större temperaturskilnader saknas, och skilnaderna mellan specifika viktarna af rena vatten vid temperaturer nära $+4^{\circ}$ äro jemförelsevis obetydliga.

Ett viktigt bevis för teoriens riktighet äro observationerna i Löfstafjärden för sommaren 1888, då salthaltigt vatten inträngt i de djupare lagren af denna fjärd. Såsom af tabell 1 ses, bibehöllo dessa lager vid detta tillfälle sin låga vintertemperatur nästan oförändrad, under det att samma vattenlager de föregående somrarna uppvärmts ganska mycket öfver vattnets täthetsmaximum.

Åtskilliga af LUNDBERG påvisade egendomliga temperaturförhållanden inom Stockholms skärgård förklaras äfven mycket väl genom denna teori. Särskildt anmärkningsvärdt är det af LUNDBERG i Myttingeviken påvisade temperatursprånget i 6 famnars djup, hvilket motsvaras af en höjning af salthalten i samma djup. Den ovanligt låga sommartemperaturen i skärgårdens djupare lager i allmänhet torde äfven hufvudsakligen vara att förklara på samma sätt. Såsom LUNDBERG redan framhållit, kan denna låga temperatur icke förklaras genom de strömförhållanden, som det utströmmande Mälarevattnet skulle förorsaka. Den ingående strömmen af salt vatten, hvilken rör sig under och i motsatt riktning mot ytströmmen, måste visserligen hafva ett visst inflytande på temperaturen i de djupare lagren — vare sig denna ström är intermittent eller mera konstant — men det är svårt att förstå, huru den skulle kunna frambringa en sänkning af temperaturen eller en minskning af temperaturvexlingarnes amplitud just i den inre skärgården, då denna saltare underström för att komma dit först måste passera de höga bottenströsklarne vid Vaxholm och Fredriksborg. Det vore väl snarare att vänta, att den derigenom skulle visa mycket större temperaturvexlingar, då den förut befunnit sig så nära ytan.

LUNDBERG anför äfven observationer af KOLMODIN från Ullångersfjärden i Ångermanland, hvilka visa ett liknande förhållande som observationerna från Stockholms skärgård, nemligen att temperaturen på större afstånd från hafvet sommartiden i ett och samma djup är lägre än längre ut. Men för öfrigt tyckes fenomenet ej vara uppmärksamadt, ehuru det naturligtvis äfven skall visa sig förekomma på

andra ställen i våra skärgårdar och i allmänhet, der liknande salthalts- och orografiska förhållanden äro rådande.

I efterföljande tabeller betyder:

MC	att observationen är gjord med en Miller-Casella-termometer,
NZ	» » » » » Negretti & Zambra-termometer,
H	» » » » af författaren,
C, S eller L	» » » » en af författaren instruerad person.

Tabell 1.

Temperaturobservationer

Djup i meter.	1 juni 1886 1 e. m.	4 juli 1886 1 e. m.	1 aug. 1886 3 e. m.	29 aug. 1886 1 e. m.	1 okt. 1886 11 f. m.	31 okt. 1886 11 f. m.
0	+12,8	+15,8	+18,5	+17,6	+12,5	+9,0
5	11,3	15,0	18,2	17,6	11,8	8,8
10	10,9	15,0	15,9	17,6	11,75	8,7
15	8,8	11,5	11,4	14,6	11,75	8,7
20	8,0	9,2	9,1	9,0	11,7	8,7
30	6,2	7,4	7,6	8,0	8,9	8,6
40	5,0	6,3	6,7	6,6	7,25	7,9
45	5,0	6,1	6,2	—	7,1	7,5
Luften	+15,6	+16,8	+19,5	+16,7	+10,0	+8,1
Termometer	MC	MC	MC	MC	NZ	NZ
Observator	H	H	H	H	H	C

Djup i meter.	31 juli 1887 11 f. m.	31 aug. 1887 1 e. m.	30 sept. 1887 1 e. m.	1 nov. 1887 10 f. m.	30 nov. 1887 12 m. d.	31 dec. 1887 12 m. d.
0	+19,7	+16,5	+15,1	+7,3	+3,2	+0,1
5	18,7	15,9	14,6	7,3	3,2	0,2
10	17,4	15,9	12,6	7,3	3,2	0,2
15	14,0	15,3	12,6	7,3	3,3	0,3
20	13,1	14,7	13,4	7,3	3,3	0,5
30	10,5	8,9	12,5	7,5	4,8	1,5
40	7,1	6,9	9,3	7,3	5,5	1,3
45	5,3	5,7	7,5	7,2	6,2	2,1
Luften	+22,8	+20,8	+9,3	+7,0	-2,1	-13,2
Termometer	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ
Observator	H	C	C	C	C	C

vid Riddersvik.

30 nov. 1886 10 f. m.	31 dec. 1886 12 m. d.	31 jan. 1887 11 f. m.	28 febr. 1887 12 m. d.	31 mars 1887 11 f. m.	30 april 1887 11 f. m.	31 maj 1887 2 e. m.	30 juni 1887 11 f. m.
+6,3	0,0	+0,8	+0,9	+1,3	+4,7	+11,6	+15,7
6,3	+1,5	1,7	1,2	1,6	4,6	9,8	13,8
6,2	2,6	2,2	1,7	1,7	4,5	9,7	13,3
6,2	3,1	3,1	2,5	1,7	4,4	9,7	12,7
6,1	3,1	2,9	2,7	1,9	4,5	9,6	12,5
6,1	3,4	2,8	2,9	3,2	4,1	6,9	9,8
6,0	2,9	2,6	2,5	2,9	4,1	3,7	4,5
5,9	2,9	2,6	2,8	3,2	4,0	3,5	4,3
+4,1	-13,9	+1,6	+4,6	+2,0	+6,0	+14,0	+21,3
NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ
C	C	C	C	C	C	C	C

31 jan. 1888 1 e. m.	29 febr. 1888 12 m. d.	31 mars 1888 11 f. m.	30 april 1888 12 m. d.	1 juni 1888 11 f. m.	1 juli 1888 10 f. m.	2 aug. 1888 10 f. m.	1 sept. 1888 10 f. m.
0,05	0,2	+0,6	+1,1	+7,8	+14,6	+16,1	+16,1
+0,4	+0,9	0,7	1,2	7,3	14,1	15,8	16,0
0,2	0,5	0,6	0,7	6,9	13,7	15,4	16,0
0,4	0,5	0,6	0,7	6,7	10,1	11,3	15,5
0,6	0,7	0,65	0,8	4,8	7,45	7,8	8,9
1,3	1,5	1,3	1,4	1,7	4,2	5,0	5,2
1,5	1,7	1,6	1,7	1,9	2,8	2,6	3,15
2,0	2,1	2,2	2,2	2,1	2,2	2,4	2,7
-7,9	-9,0	+4,9	+9,2	+12,5	+12,2	+15,6	+16,4
NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ
C	C	C	C	C	C	C	C

Tabell 2.

Temperaturobservationer

Djup i meter.	3 juli 1886 8 e. m.	31 juli 1886 11 f. m.	30 aug. 1886 6 e. m.	30 sept. 1886 8 f. m.	31 okt. 1886 9 f. m.	30 nov. 1886 9 f. m.
0	+17,2	+18,2	+16,4	+9,2	+7,5	+5,2
5	15,4	12,0	14,8	10,9	6,9	6,0
10	5,6	5,0	5,1	5,5	6,4	5,2
15	4,0	3,7	3,6	4,1	4,3	4,4
20	3,4	3,15	3,1	2,9	3,6	3,5
30	2,6	2,3	2,6	2,4	2,75	3,1
Luften	+19,2	+21,0	+15,7	+10,2	+7,0	+5,1
Termometer	MC	MC	MC	NZ	NZ	NZ
Observator	H	H	H	H	H	H

vid Beckholmen.

30 dec. 1886 9 f. m.	31 jan. 1887 12 m. d.	2 mars 1887 11 f. m.	31 mars 1887 11 f. m.	1 maj 1887 12 m. d.	30 maj 1887 12 m. d.	17 juni 1887 6 e. m.	1 aug. 1887 1 e. m.
0,0	+1,3	+2,3	+2,0	+6,4	+10,7	+12,5	+19,2
+2,2	2,0	2,3	1,7	6,2	10,7	12,7	16,2
3,85	4,55	4,45	3,95	3,6	6,0	7,2	6,3
4,6	4,0	4,35	4,25	4,1	3,8	3,8	4,2
4,0	4,2	4,2	4,25	4,2	3,95	3,7	3,9
3,8	4,15	4,2	4,1	3,8	3,55	3,6	3,7
-7,5	+3,0	+6,5	+4,85	+9,2	+9,1	+14,0	+23,4
NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ
H	H	H	H	H	H	H	H

Djup i meter.	1 sept. 1887 6 e. m.	2 okt. 1887 11 f. m.	30 okt. 1887 10 f. m.	27 nov. 1887 12 m. d.	7 jan. 1888 10 f. m.	31 jan. 1888 12 m. d.
0	+16,4	+11,8	+5,9	+3,2	+0,4	0,0
5	11,8	12,2	7,0	4,3	1,1	+0,6
10	6,3	10,1	6,4	6,0	1,2	3,3
15	4,4	4,6	6,4	5,95	4,05	4,8
20	4,1	4,2	6,3	5,5	5,2	3,1
30	3,7	3,9	5,2	5,2	3,95	2,15
Luften	+15,6	+9,6	+6,8	+7,3	+2,2	-8,0
Termometer	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ
Observator	H	H	H	H	H	H

29 febr. 1888 11 f. m.	1 april 1888 10 f. m.	1 maj 1888 11 f. m.	1 juni 1888 5 e. m.	4 juli 1888 5 e. m.	2 aug. 1888 5 e. m.	3 sept. 1888 2 e. m.
0,0	0,0	+2,1	+8,0	+14,0	+15,6	+16,2
+1,0	+1,4	2,5	7,3	14,2	15,5	15,2
4,8	4,0	3,2	3,0	7,4	7,2	7,15
2,6	2,0	1,9	1,95	2,5	3,1	3,2
1,95	1,7	1,4	1,65	2,0	2,3	2,5
1,65	1,4	1,3	1,3	1,5	1,7	1,9
-5,5	-1,2	+12,0	+12,4	+15,6	+18,0	+17,8
NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ
H	H	H	H	H	H	H

Temperaturobservationer

Djup i meter.	22 aug. 1884 11 f. m.	18 sept. 1884	14 maj 1885 1 e. m.	1 juni 1885 6 e. m.	15 juni 1885 6 e. m.	1 juli 1885 11 f. m.	15 juli 1885 11 f. m.
0	+16,7	+15,0	+7,4	+9,0	+11,5	+16,3	+20,7
5	15,8	—	5,0	8,3	8,2	13,0	13,2
10	14,5	—	2,6	4,55	5,8	6,5	6,3
15	11,4	—	—	—	4,8	6,0	5,3
20	8,5	9,2	1,9	2,5	3,5	5,2	5,0
30	4,0	5,4	1,6	2,0	2,2	3,2	3,0
40	3,15	3,2	1,6	1,9	1,9	2,0	1,9
50	2,9	—	—	—	—	—	—
55	2,8	—	—	—	1,8	—	—
60	—	2,8	1,5	1,6	—	1,8	1,8
Luften	+22,0	+15,3	+8,0	—	+11,0	+17,5	+22,2
Termometer	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC
Observator	H	H	H	H	H	H	H

Djup i meter.	16 maj 1886 2 e. m.	3 juni 1886 11 f. m.	15 juni 1886 7 e. m.	2 juli 1886 12 m. d.	15 juli 1886 12 m. d.	30 juli 1886 7 e. m.	15 aug. 1886 8 e. m.
0	+7,8	+10,1	+16,6	+15,8	+14,3	+17,5	+16,7
5	6,0	9,7	11,2	13,1	11,7	16,4	16,1
10	2,5	4,3	4,9	8,0	6,6	11,2	13,4
15	2,1	3,7	4,0	4,8	4,8	6,4	9,2
20	2,0	3,2	3,3	3,2	3,2	4,5	6,9
30	2,0	2,2	2,0	2,2	2,1	2,65	3,1
40	—	2,1	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1
50	—	—	—	1,6	1,6	1,8	1,9
55	1,85	—	1,6	—	—	—	—
60	—	1,9	—	1,5	1,5	1,7	1,8
Luften	+12,2	+8,2	+17,8	+17,0	+16,1	+16,8	+16,9
Termometer	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC
Observator	H	H	H	H	H	H	H

Tabell 3.

vid Nyvarp.

1 aug. 1885 5 e. m.	15 aug. 1885 11 f. m.	2 sept. 1885 1 e. m.	15 sept. 1885 12 m. d.	30 sept. 1885 12 m. d.	2 dec. 1885	18 april 1886 2 e. m.	2 maj 1886 1 e. m.
+14,6	+14,0	+12,6	+12,2	+9,9	+2,0	+4,8	+5,6
14,0	14,1	12,5	12,0	10,3	2,5	3,3	3,8
13,2	12,7	12,3	11,8	10,9	4,2	1,4	2,7
11,5	10,8	12,0	11,4	10,7	—	0,9	1,8
8,0	8,0	10,7	10,8	10,5	4,7	0,7	1,3
4,1	3,9	4,6	5,5	5,0	5,0	0,6	0,9
2,5	2,5	3,2	3,6	3,1	5,0	—	0,8
—	—	2,4	2,8	2,9	—	0,5	—
—	—	—	2,7	—	max. 5,0 min. 4,0		0,8
2,0	2,1	2,2	—	2,7	—	—	—
+16,0	+12,1	+11,2	+14,1	+9,6	+1,6	+4,0	+6,0
MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC
H	H	H	H	H	H	H	H

31 aug. 1886 6 e. m.	3 okt. 1886 2 e. m.	1 nov. 1886 11 f. m.	1 dec. 1886 2 e. m.	2 jan. 1887 12 m. d.	1 febr. 1887 2 e. m.	2 mars 1887 10 f. m.	3 april 1887 10 f. m.
+16,0	+8,8	—	+4,8	—	+1,5	+1,35	+1,2
15,0	8,9	+6,4	5,0	+1,5	1,55	1,5	1,35
10,7	8,8	7,2	5,6	3,1	1,8	1,6	1,1
7,9	8,7	7,0	5,9	3,1	1,95	1,85	1,15
5,0	7,6	7,6	5,4	2,9	2,15	2,05	1,35
3,2	6,7	5,8	5,6	3,4	2,2	2,35	1,6
4,5	6,7	5,2	5,4	2,8	2,4	2,5	2,2
4,2	6,1	5,0	5,2	3,0	2,4	2,95	2,5
—	—	—	—	—	—	—	—
4,15	5,2	5,1	5,5	3,4	2,85	3,15	2,85
+16,7	+14,6	+6,7	+5,0	—5,8	+4,8	+6,1	+2,2
MC	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ
H	H	S	S	S	S	S	S

Tabell 3 (forts.)

Djup i meter.	2 maj 1887 12 m.d.	1 juni 1887 10 f. m.	1 juli 1887 10 f. m.	2 aug. 1887 6 e. m.	4 sept. 1887 11 f. m.	13 sept. 1887	2 okt. 1887 9 f. m.
0	+7,6	+10,1	+14,1	+14,4	+15,5	+13,7	+10,8
5	6,05	9,85	12,15	14,8	15,25	13,3	10,8
10	5,6	8,9	10,5	12,3	14,0	11,8	10,9
15	5,7	8,35	9,8	11,2	13,2	10,7	11,0
20	5,1	6,4	8,8	9,8	11,4	9,65	11,5
30	3,5	4,3	7,05	8,4	7,4	9,9	10,6
40	2,7	3,15	6,9	6,3	6,2	9,2	9,1
50	2,15	2,15	5,35	4,7	4,0	7,7	8,5
55	—	—	—	—	—	—	—
60	2,15	2,1	4,35	4,05	3,8	6,3	6,3
Luften	+15,0	+15,0	+19,5	+16,0	+19,0	+16,0	+8,0
Termometer	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ
Observator	S	S	S	H	H	H	L

2 nov. 1887 3 e. m.	5 dec. 1887	3 febr. 1888 12 m.d.	15 mars 1888 11 f. m.	18 april 1888 7 f. m.	20 maj 1888 8 f. m.	3 juni 1888 12 m.d.	2 juli 1888 5 e. m.	7 aug. 1888 12 m.d.
+6,4	+3,3	0,0	+0,2	+1,0	+8,0	+10,1	+14,7	+16,8
6,3	3,2	+0,9	0,7	0,9	6,9	6,9	13,1	15,1
6,4	3,1	0,9	0,7	0,9	3,2	3,15	8,4	10,2
6,5	3,3	0,9	0,7	0,8	1,3	1,65	4,9	9,9
6,9	3,5	0,9	0,8	0,8	1,0	1,1	3,0	6,0
7,0	3,7	1,0	0,9	0,5	0,8	0,7	1,2	3,2
6,9	3,6	1,0	0,9	0,4	0,5	0,5	1,0	1,3
6,7	3,4	1,0	1,0	0,3	0,5	0,4	0,8	1,0
—	—	—	—	—	—	—	—	—
6,2	3,3	0,9	1,0	0,3	0,5	0,35	0,9	1,2
+6,0	+4,0	-1,0	-8,0	+1,5	+6,0	+10,2	+15,5	+19,5
NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ	NZ
L	L	L	L	L	L	H	H	H

Månadsmedia af luft-

Å r.	Januari.	Februari.	Mars.	April.	Maj.
1884	-1,3	-1,0	+0,5	+2,1	+8,0
1885	-4,0	-1,1	-0,7	+3,7	+6,7
1886	-3,2	-3,4	-2,7	+4,5	+9,3
1887	-0,6	-0,2	+0,1	+4,2	+9,3
1888	-3,3	-6,9	-8,1	-0,1	+8,0

temperaturen i Stockholm.

Juni.	Juli.	Augusti.	September.	Oktober.	November.	December.
+12,5	+16,6	+14,2	+13,8	+7,2	-1,0	-1,8
+13,2	+16,7	+12,5	+9,7	+4,6	+0,5	-1,2
+14,3	+16,7	+16,3	+11,9	+6,1	+4,7	-2,2
+13,5	+17,0	+14,9	+11,7	+4,1	+1,0	-2,5
+12,6	+15,1	+14,2	+11,2	+4,2	+0,1	+1,0

