

VATTEN- OCH MATERIALTRANSPORTER MELLAN
BOTTNISKA VIKEN OCH ÖSTERSJÖN

av Cecilia Ambjörn och Lars Gidhagen

SMHI Rapporter

HYDROLOGI OCH OCEANOGRAFI

Nr RHO 19 (1979)

SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT





VATTEN- OCH MATERIALTRANSPORTER MELLAN
BOTTNISKA VIKEN OCH ÖSTERSJÖN

av Cecilia Ambjörn och Lars Gidhagen

SMHI Rapporter

HYDROLOGI OCH OCEANOGRAPHI

Nr RHO 19 (1979)

WATER AND MATERIAL TRANSPORTS BETWEEN
THE GULF OF BOTHNIA AND THE BALTIC PROPER

ISSN 0347-7827

SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT

Norrköping 1979

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid
SUMMARY.....	I
SAMMANFATTNING.....	II
INLEDNING.....	1
TOPOGRAFISKA FÖRHÅLLANDEN.....	3
ÅLANDS HAV.....	3
SKÄRGÅRDHAVET.....	4
HYDROGRAFISKA FÖRHÅLLANDEN I ÅLANDS HAV.....	5
TEMPERATUR.....	5
SALTHALT.....	7
TOTALFOSFOR.....	8
TOTALKVÄVE.....	10
STRÖM, ÅLANDS HAV.....	11
DRIVKRAFTER.....	11
STRÖMKARAKTÄRISTIK.....	21
STRÖM, SKÄRGÅRDHAVET.....	26
VATTENTRANSPORTER.....	28
ÅLANDS HAV.....	29
SKÄRGÅRDHAVET.....	31
VATTENBALANS FÖR BOTTNISKA VIKEN.....	33
MATERIALTRANSPORTER.....	43
TRANSPORT AV SALT.....	43
TRANSPORT AV TOTALFOSFOR.....	45
TRANSPORT AV TOTALKVÄVE.....	47
VÄRMETRANSPORTER.....	49
REFERENSFÖRTECKNING.....	52
BILAGOR.....	
1:1-6 Tekniska data, mätmetoder.....	
2 Temperatur i vertikal T2, 1974.....	
3 Val av representativa värden vid skalning.....	
4 Ingångsvärden för modellen.....	
5:1-2 Jämförelse beräknad - uppmätt strömhastighet...	
6:1-3 Funktionsdiagram, automatiskt registrerande instrument i Ålands hav 1974-77.....	
7 Funktionsdiagram. automatiskt registrerande strömmätare i Skärgårdshavet 1977.....	
8:1-2 Transportberäkningar i Ålands hav, metod.....	
9 Transportberäkningar i Skärgårdshavet, metod...	
10 Utvikningsbilaga med kartor och snitt.....	
11 Figur- och tabelltexter på engelska.....	

Ett stort tack till alla dem som på olika sätt bidragit till denna slutrapport. Mona Englund har gjort alla ritningar samt hela arbetet med maskinskrivning. Många arbetskamrater har bidragit med sina kunskaper och erfarenheter. Ulf Ehlin och Leif Nyberg har läst konceptet och lämnat synpunkter. Leif har dessutom hjälpt till med den slutliga finslipningen. SMHI:s tryckeri har gjort ett fint arbete med alla färgbilder och övrig tryckning.

Cecilia och Lars

SUMMARY

Within the framework of the Swedish-Finnish Joint Committee on the Gulf of Bothnia, investigations have been carried out in the Åland Sea and in the Finnish Archipelago Sea in order to study water exchange and transports of heat and nutrients between the Gulf of Bothnia and the Baltic proper. The work has been a cooperation between the Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) and the Finnish Institute of Marine Research. Measurements have been performed by SMHI during the periods June-December 1973, July-December 1974, August 1975-May 1976 and June-August 1977, most intensively in 1974 and 1977. The following parameters have been measured: current speed and direction, water temperature, salinity, oxygen, total phosphorus and total nitrogen.

The current patterns in the northern part of the Åland Sea are described. An expansion of the north-south current components into empirical orthogonal functions shows the main characteristics of the current systems. The mean circulation during thermally stratified conditions shows southgoing currents in the upper layer and northgoing in the lower. A simple numerical model shows that the main driving force on the net current, when the vertical stratification is weak, is the surface slope along the channel. Local acceleration and bottom friction are also important.

Water transports have been calculated from the current measurements. The water exchange is most probably largest during the autumn. In the summer of 1977 measurements were made on both sides of Åland. The net transport was southgoing in the Åland Sea ($46-95 \text{ km}^3 \cdot \text{month}^{-1}$ to the north and $78-236$ to the south) and northgoing in the Archipelago Sea ($28-44 \text{ km}^3 \cdot \text{month}^{-1}$ to the north and $14-31$ to the south). Comparing the net exchange between the central Baltic and the Gulf of Bothnia with the volume changes in the latter, determined from water level records, gives a difference that probably depends on the choice of representative areas for the current meters. Calculations of transports of total phosphorus, total nitrogen and heat have also been made.

English translations of captions to figures and tables are found in appendix 11 (the last pages of this report).

SAMMANFATTNING

Ett forskningsprojekt finansierat av SNV:s forskningsnämnd startade 1973 i norra Ålands hav. Dess syfte var att beräkna vatten-, värme- och materialtransporter mellan Bottniska Viken och Östersjön. Mätningar har utförts huvudsakligen i tröskelområdet i norra Ålands hav på linjen Understen-Märket. Samtidiga mätningar i Skärgårdshavet öster om Åland har endast utförts under 1977. Resultaten visar hur stort utbytet är mellan bassängerna och var det äger rum.

Fem årliga delrapporter speglar de löpande resultaten. Den nu föreliggande slutrapporten innehåller en övergripande sammanställning.

För att kartlägga vattenutbytet mellan Bottniska viken och Östersjön behöver man veta dels hur stora mängder vatten som förs till och från respektive bassäng, dels vilken sorts vatten som transporteras. Härvid är t ex vattnets salthalt, näringsinnehåll och föroreningsgrad intressant. Erforderliga data erhålls genom att mäta med både horisontell och vertikal upplösning tvärs de kanaler som binder samman de båda bassängerna. Nästa steg är att ta fram en budget för hur stora mängder av intressanta ämnen som förs in eller ut. Härigenom speglas hur väl ventilerad Bottniska viken är, dvs i vilken utsträckning de föroreningar som tillförs Bottniska viken stannar där.

Inom detta projekt har en kartläggning utförts över vattenutbytets struktur och storlek i Ålands hav och i begränsad omfattning även i Skärgårdshavet. Denna kan ligga till grund för ytterligare beräkningar av transporter av olika ämnen. En god kännedom har erhållits om strömförhållandena samt om hur de olika delarna av tröskelområdet fungerar ur utbytessynpunkt. Kunskaperna om detta var tidigare mycket begränsade.

Materialet rymmer naturligtvis stora möjligheter till ytterligare studier. Ett nästa steg som ter sig angeläget är att fortsätta arbetet på en dynamisk modell för Ålands hav, samt att koppla samman vattenutbytet med de meteorologiska förhållandena.

Sommartid finns den största temperaturförändringen mellan 10 och 40 m djup. Ett svagt salthaltssprångskikt som bildas under denna period ligger inom samma djupintervall. Övriga årstider ökar salthalten ganska jämnt med djupet. Under sommarperioden är ytskiktet varmare, och oftast även sötare, i den västra delen av tröskelområdet.

I Bottniska Viken är medelströmmen i ytskiktet riktad moturs runt bassängerna. Sötvattentillskottet från floderna bidrar till sydgående ytström genom Ålands hav, främst under våren och sommaren. På större djup är strömmen oftast nordgående genom Ålands hav. Under hösten drivs nettoströmmen genom Ålands hav till största delen av tryckskillnaden längs bassängen, vilken ger strömning med samma riktning på alla nivåer. Friktionseffekterna inverkar också på nettoströmmen medan den lokala vinden är ganska betydelslös. Strömbilden uppvisar stora och snabba variationer och kan inte betraktas som stationär.

De strömmätningar som utförts under 1973-77 visar följande allmänna resultat:

Ålands hav: Hastigheterna är högst i västra delen av området. där upp till 100 cm/s uppmätts nära ytan och på 80 m djup. Under hösten är strömhastigheterna högre än under sommaren. Sommartid är ytströmmen utefter hela tröskeln ofta riktad söderut. I östra delen är den nästan enbart sydgående medan riktningarna växlar i den västra delen. Skärgårdshavet: Under sommaren 1977 uppmättes en maximi-hastighet om 90 cm/s på 20 meters djup. I ytskiktet var nord- och sydgående ström i stort sett lika vanliga. Ström mot norr dominerade under 15 meters djup. Motsatt riktning vid ytan och botten rådde under knappt halva mätperioden.

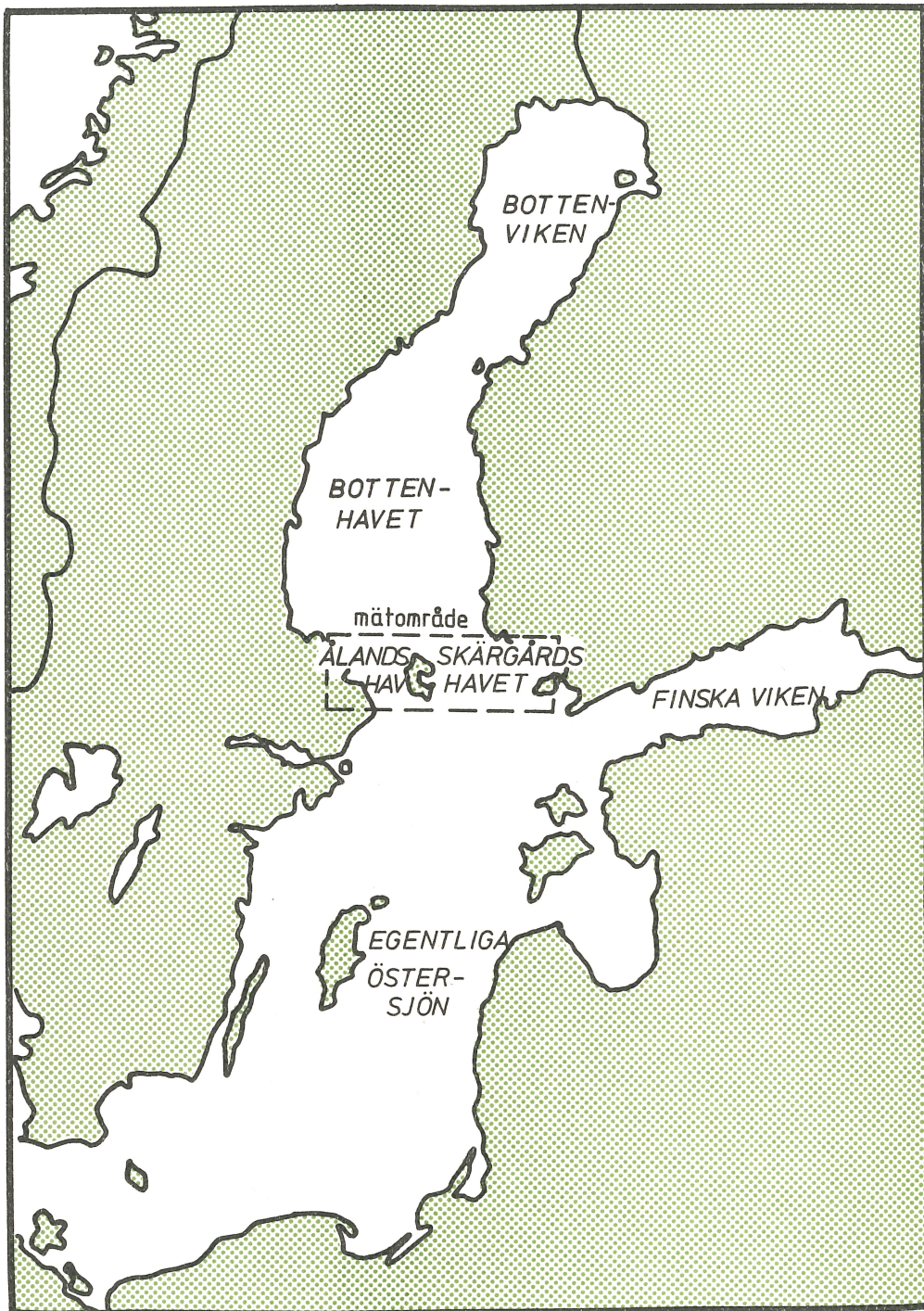
Sommartid går ytvattnet genom Ålands hav i medeltal söderut och vattnet under termoklinen norrut. Under hösten gäller i stort samma fördelning, men nordgående transport i ytskiktet är då mera vanlig än under sommaren.

Genom Skärgårdshavet går mellan ytan och 15 meters djup något mer vatten norrut än söderut. Under 15 meters djup går vattnet oftast mot norr .

Under termiskt skiktad tid går ca 90 km^3 vatten per månad norrut och drygt 100 km^3 söderut. Detta gäller för Ålands hav och Skärgårdshavet tillsammans. Vissa justeringar har gjorts för att anpassa mängderna till de verkliga volymsförändringarna i Bottniska Viken. Transporterna blir större under hösten. Detta resultat har stor likhet med I Helas arbete från 1973, där 83 respektive $122 \text{ km}^3/\text{månad}$ erhöles.

Beräkningen av materialtransporter ger en nettotransport mot söder genom Ålands hav av både totalfosfor och totalkväve. De erhållna storleksordningarna är 1000 ton totalfosfor och 20.000 ton totalkväve per månad. Stora årstidsvariationer förekommer. Nettotransporten genom Skärgårdshavet måste vara nordgående.

Värmetransporten till Bottenhavet kan medföra att avkylningen under hösten kan försenas med någon eller några veckor inom delar av bassängen. Den totala värmetillförseln är relativt liten, jämfört med värmeflödet till atmosfären.



INLEDNING

Under våren 1973 påbörjade SMHI ett forskningsprojekt i norra Ålands hav. Syftet var att studera vattenutbytet mellan Bottniska viken och Östersjön och beräkna vatten-, värme- och närsaltutbytet mellan dessa bassänger. Projektet har genomförts i samarbete med finska Havsforskningsinstitutet (HFI) i Helsingfors. Det ligger inom ramen för det finsk-svenska samarbetsavtalet rörande Bottniska vikens föroreningsförhållanden.

Naturvårdsverkets forskningsnämnd har finansierat den största delen av projektet. Sjöfartsverket har ställt båtar med personal till SMHIs förfogande, samt bidragit ekonomiskt. Kustbevakningens besättningar har hjälpt till med provtagningar och mätningar. SMHI har även satsat egna medel i projektet under det senaste året.

Första årets insatser bestod i en pilotundersökning med det huvudsakliga syftet att få erfarenheter av teknisk materiel och mätmetoder i ett så utsatt havsområde som Ålands hav. Undersökningen skulle också ligga till grund för planeringen av fortsatt mätprogram, främst vad gäller mätstationernas lägen och erforderlig mätintensitet. Den största insatsen gjordes under 1974. Hösten-vintern 1975-76 utfördes mätningar i färre punkter, med syftet att öka kännedomen om vinterförhållandena. Slutligen, under 1977, kompletterades mätningarna i Ålands hav med samtidiga mätinsatser av Havsforskningsinstitutet i finska Skärgårdshavet.

Varje år har delrapporter givits ut vilka ingående beskriver olika studier och resultat. Sammanlagt finns fem stycken (se ref 1-5). Föreliggande slutrapport tar upp de resultat i de tidigare rapporterna som är av övergripande intresse samt redovisar vissa nya beräkningar och bearbetningar.

Informationen i denna rapport om vattentransporterna under vinter och vår är begränsad; här hänvisas till tidigare rapporter, ref 4 sid 22-25 och ref 5 sid 28-29.

Förutom de i referensförteckningen upptagna rapporterna finns ytterligare föredrag och uppsatser med anknytning till projektet. Följande publikationer bör nämnas:

Ambjörn C, 1974. Strömmätningar i Ålands hav. Svenska Havsforskningsföreningen, medd. 9: 39-52.

Ambjörn C, 1976. Transportstudier i Ålands hav. Vannet i Norden 1-1976.

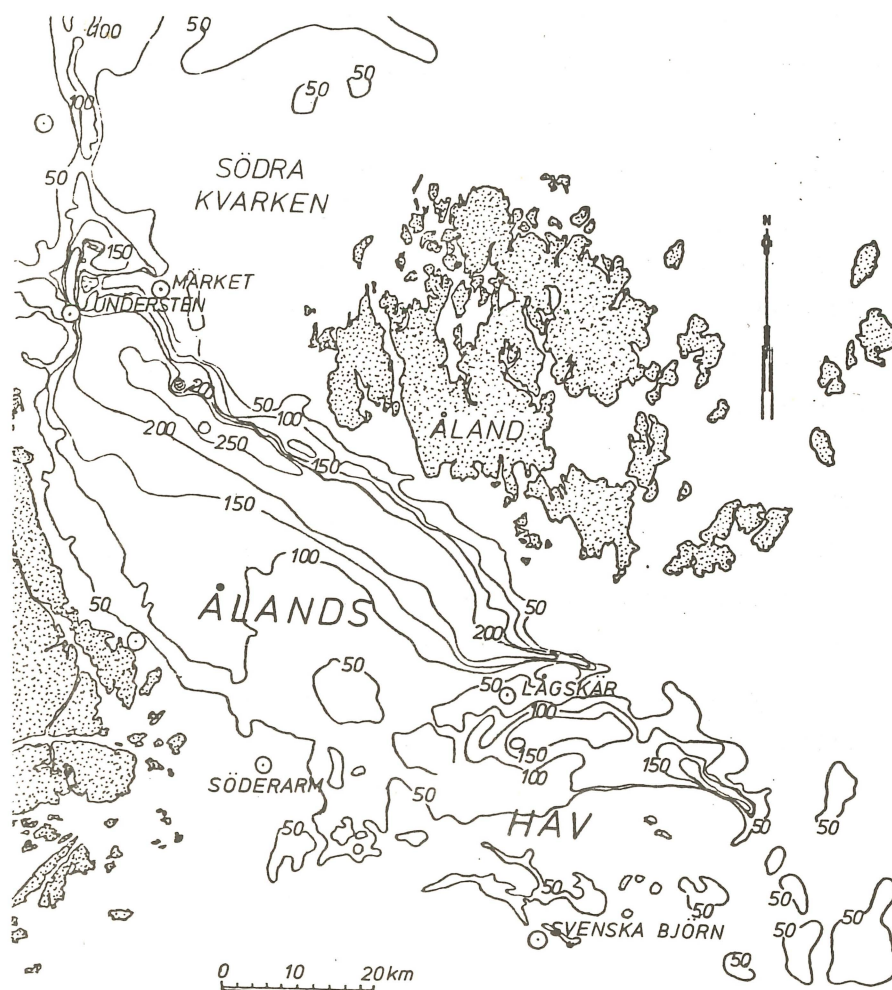
Ehlin U & Ambjörn C, 1977. Water transport through the Åland Sea. 3 rd Soviet-Swedish symposium on the pollution of the Baltic, Ambio special report no. 5, p. 117-125.

Hillgren R & Lindh H, 1977. Erfarenheter av I-p system i Ålands hav 1977 SMHI, HBO, PM nr 224.

Ambjörn C, 1978. The Åland Sea: Currents and water transports. Proceedings of the XI conference of Baltic oceanographers, Rostock 24-27 April 1978, paper no. 35.

Gidhagen L, 1978. Varför strömmar det i Ålands hav? SMHI, HBO, PM nr 231.

TOPOGRAFISKA FÖRHÅLLANDEN



Figur 1. Djupkarta, Ålands hav.

ÅLANDS HAV

Ålands hav består av två bassänger: norra och södra Ålands hav, även kallat Lågskärddjupet. Dessa båda åtskiljs av en tröskel mellan Söderarm och Lågskär samt grundområdena på ömse sidor. Största vattenutbytet äger rum på västra sidan om Lågskär. Medeldjupet för hela Ålands hav är 75 m och det största djupet är 301 m. Dess yta är ca 5 500 km² (ref 6).

Avgränsningen mot norra Östersjön utgöres av en rygg, som går över Svenska Björns fyr mot Utö på den finska sidan och upp mot Åland. Tröskelns medeldjup är 40 m. En smal ränna skär genom tröskelns östra del. Denna ränna är mestadels 150 - 225 m djup, medan dess öppning på tröskelns sydsida är 70 m djup.

Grundområdet mellan Bottenhavet och norra Ålands hav benämnes Södra Kvarken. Där har SMHIs mätningar ägt rum. Tröskeln sträcker sig mellan Understen och Märket, och på ömse sidor finns relativt vidsträckta skärgårdsområden, som utbreder sig in till Singö vid den svenska kusten och mot Eckerö på den åländska sidan. Strax öster om Understen skär en mycket smal djupränna som är över 200 m djup genom tröskeln. Denna är en förlängning av rännan i östra Ålands hav, vilken även där är över 200 m djup. Den fortsätter också på norra sidan om tröskeln in i Bottenhavet nord- och nordostvärt. Ungefär mitt på tröskeln finns ytterligare en ränna, vars djup är omkring 100 m. Tröskeln är för övrigt omkring 10 - 30 m djup.

SKÄRGÅRDHAVET

Skärgårdsområdet öster om Åland är grunt med ett medeldjup på 19 m och det är fyllt av tusentals öar. I nord-sydlig riktning sträcker sig tre 30 - 40 m djupa kanaler genom vilka de största vattentransporterna sker. Skärgårdshavet har en volym som är mindre än hälften av Ålands havs volym, och har en havsyta som är ca $8\,900\text{ km}^2$, dvs nästan dubbelt så stor som Ålands havs yta (se ref 6).

HYDROGRAFISKA FÖRHÅLLANDEN I ÅLANDS HAV

Beskrivningen avser tröskelområdet i norra Ålands hav där strömmätningarna utförts. De hydrografiska förhållandena i mätområdet präglas av dess karaktär som gränsområde mellan Bottenhavet och egentliga Östersjön. Nordgående ström ger förhållanden påverkade av vatten från Östersjön och sydgående ström ger förhållanden påverkade av vatten från Bottenhavet.

TEMPERATUR

Data har erhållits från en registrerande temperaturmätare med givare på elva nivåer i vertikal T2 under 1974, från de registrerande strömmätarnas temperaturgivare 1974-77 samt från Kustbevakningens månadsvisa mätningar i vertikalen "Ålands hav". (Se karta, bilaga 10).

Under försommaren, i regel maj månad, bildas ett temperatur-språngskikt. Språngskiktet ligger under sommaren på 10-40 meters djup med betydligt varmare vatten ovanför gränsytan. Temperaturförändringen i vertikal led genom detta skikt är av storleksordningen 0.5°C per meter. Ett samband tycks finnas mellan språngskiktets djupläge och starka vindar. Hårda nordliga vindar höjer språngskiktet medan sydliga sänker det (se ref 3, sid 9). I samband med avkylningen under hösten, med början i september, råder under en tid samma temperatur från ytan till botten. Hur temperaturutvecklingen framskred under 1974 framgår av bilaga 2. Vintertid är skiktningen omvänd, dvs vattnet är något kallare vid ytan än vid botten.

I fortsättningen kommer det att i vissa beskrivningar skiljas på två säsonger. Dessa är:

- termiskt skiktad period = sommarperiod = ungefär maj-september
- termiskt oskiktad period = höst-vinterperiod = ungefär oktober-april.

Statistik över temperaturen vid vertikal S3, som representerar de västligare delarna av Ålands hav, presenteras i tabellerna 1, 2 och 3.

	1977			1975-76							
	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR
8 m	9.2*	11.7	13.9*	-	9.1*	7.4	4.1	2.6*	-	-	-
40 m	2.5*	4.2	5.0*	6.2	7.3	7.3	5.4	3.7	2.8	2.0	1.5
80 m	1.8*	2.3	2.8*	-	5.7*	6.3	5.5	4.5*	-	-	-

Tabell 1. Månadsmedeltemperaturer ($^{\circ}\text{C}$), vert S3. * = ej hel månad, men mer än halv.

	1977			1975-76							
	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR
8 m	10.7*	13.7	15.4*	-	9.8*	8.7	8.6	4.2*	-	-	-
40 m	4.2*	9.1	7.6*	10.2	10.8	8.3	6.5	5.1	4.1	3.1	2.2
80 m	3.3*	4.0	3.2*	-	7.3*	7.5	6.3	5.2*	-	-	-

Tabell 2. Högsta uppmätta temperaturer ($^{\circ}\text{C}$), vert S3. * = ej hel månad, men mer än halv.

	1977			1975-76							
	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR
8 m	6.4*	9.3	12.5*	-	8.1*	5.3	2.2	0.9*	-	-	-
40 m	1.8*	2.0	3.5*	4.9	5.6	5.5	3.5	0.6	0.3	0.3	0.6
80 m	1.6*	1.9	2.5*	-	5.1*	5.3	5.5	3.6*	-	-	-

Tabell 3. Lägsta uppmätta temperaturer ($^{\circ}\text{C}$), vert S3. * = ej hel månad, men mer än halv.

För att få en uppfattning om horisontella skillnader i temperatur har en jämförelse mellan S3 (8 m) och S7 (8 m) gjorts. Under juni - augusti 1977 var månadsmedeltemperaturen vid S3 0.8 - 2.7 grader varmare jämfört med S7 på 8 m djup. Under juni - augusti 1974 var skillnaden dock bara några tiondelar. Senare under hösten var medeltemperaturen under en månad upp till 1.2 grader lägre vid S3 jämfört med S7.

SALTHALT

Salthaltsgivare har funnits på de registrerande strömmätarna under 1977 och 1975-76. Kustbevakningen mäter regelbundet salthalten 1 gång/månaden i vertikalen "Ålands hav".

Det mest uttalade salthaltssprångskiktet utbildas sommartid på 10 - 40 meter och sammanfaller med temperatursprångskiktet. Under resten av året är salthalten mera likformigt växande med djupet.

1977				1975-76							
	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR
8 m	5.5*	5.4	5.6*	-	6.8*	6.1	6.3	-	-	-	-
40 m	7.1*	7.0	7.0*	7.0	7.0	7.0	6.8	6.7*	7.0**	6.8**	6.7**
80 m	7.4*	7.4	7.5*	-	7.5*	7.3	7.2	7.1*	-	-	-

Tabell 4. Månadsmedel, salthalt (‰), vert S3. * = ej hel månad.

** = djup 46 - 48 m.

1977				1975-76							
	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR
8 m	7.1*	6.0	5.8*	-	7.1*	6.7	6.9	-	-	-	-
40 m	7.4*	7.4	7.2*	7.3	7.5	7.6	7.5	7.1*	7.7**	7.2**	7.1**
80 m	7.6*	7.7	7.6*	-	7.6*	7.6	7.7	7.4*	-	-	-

Tabell 5. Månadsmaximum, salthalt (‰), vert S3. * = ej hel månad.

** = djup 46 - 48 m.

1977				1975-76							
	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR
8 m	5.0*	5.2	5.3*	-	5.9*	5.7	5.8	-	-	-	-
40 m	6.5*	5.7	5.9*	6.3	5.9	6.2	6.0	6.0*	5.6**	5.6**	5.8**
80 m	7.0*	7.1	7.4*	-	7.3*	6.8	6.9	6.7*	-	-	-

Tabell 6. Månadsminimum, salthalt (‰), vert S3. * = ej hel månad.

** = djup 46 - 48 m.

Under juni - augusti 1977 var månadsmedelvärdet av salthalten på 8 meter 0.2 - 0.4 %. högre i östra delen av mätområdet jämfört med förhållandet i västra delen. Någon jämförelse för övriga årstider eller år går ej att göra då data saknas.

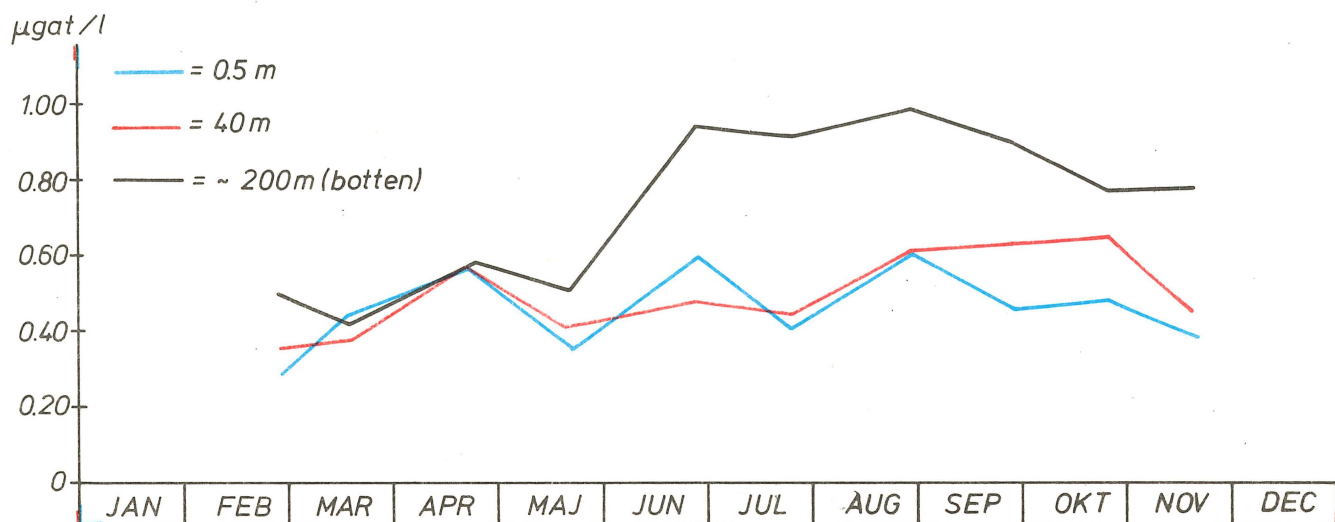
Kustbevakningens manuella mätningar visar att salthalten på 200 meters djup ibland kan vara upp till 0.5 %. högre än på 80 m. Däremot överstiger den inte 7.7 % , ett värde som kan sägas vara maximum för hela vertikalen.

TOTALFOSFOR

Drygt hälften av fosfortillförseln från Sverige till Bottniska viken kommer via floderna. Nordligaste delen av Bottenviken utgör ett undantag, ty där kommer ungefär 70 procent från floderna. Resten härstammar från kommuner och industrier, medan nederbörden står för cirka 10 procent av den totala tillförseln (ref 7 och 8).

Totalfosforhalten i mätområdet är i allmänhet 0.4 - 0.7 $\mu\text{g}/\text{l}$.; som mest har 1.2 $\mu\text{g}/\text{l}$ uppmätts. Normalt växer koncentrationen med djupet. De vertikala skillnaderna är större än de horisontella, exempelvis tvärs Ålands hav. I Bottenviken och Bottenhavet varierar halten mellan i medeltal 0.3 - 0.9 $\mu\text{g}/\text{l}$ (ref 8).

Östersjön innehåller högre koncentrationer av totalfosfor än vad Bottenhavet gör. Speciellt gäller detta för det djupvatten som finns under haloklinen i Östersjön, dvs under 50-60 meters djup, och som vid uppvällningssituationer kan transporteras norrut genom Ålands hav. Detta gör att de högsta koncentrationerna bör återfinnas på större djup i den västra delen av mätområdet i samband med inbrott av salt vatten i Bottniska viken.



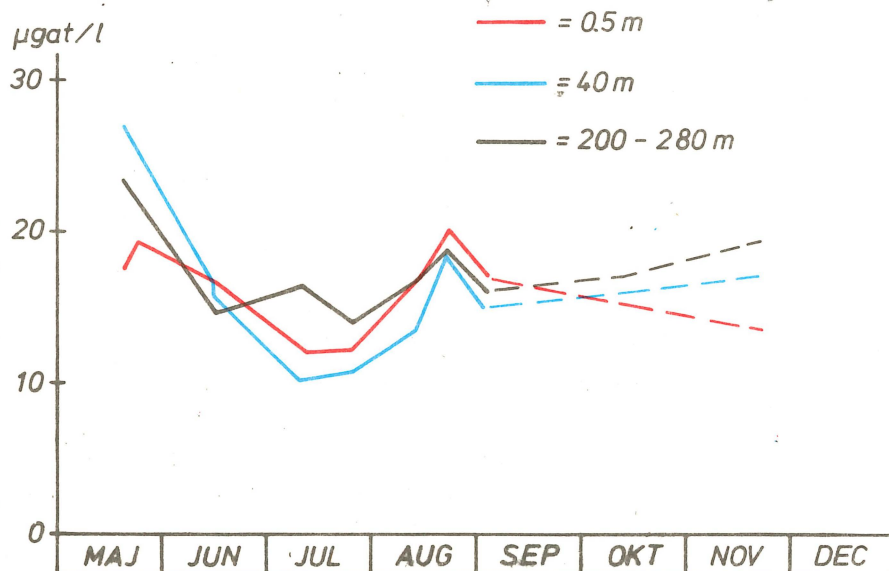
Figur 2. Totalfosfor ($\mu\text{g/l}$), vertikal "Ålands hav" 1974. (Kustbevakningens provtagningar analyserade av Fiskeristyrelsen).

TOTALKVÄVE

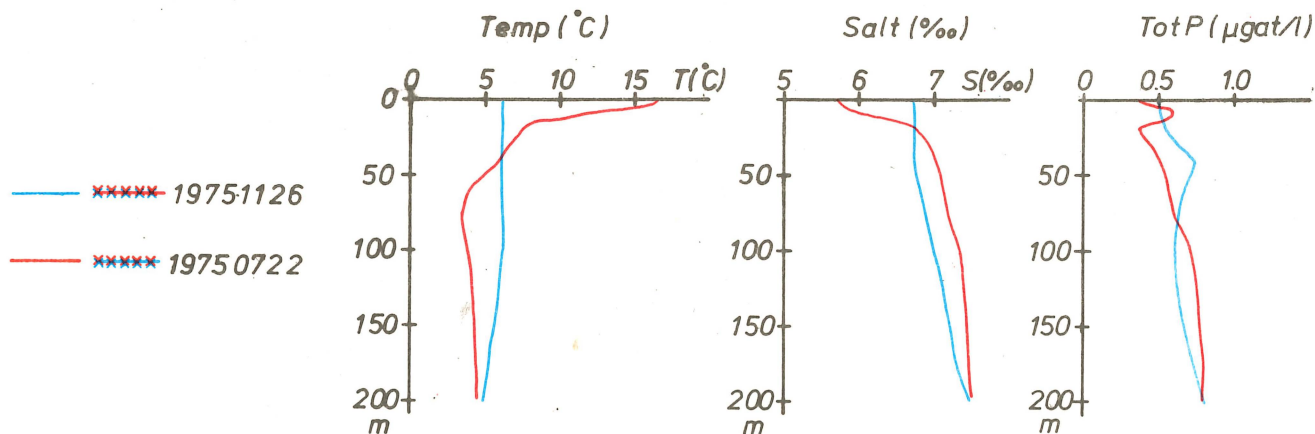
Övervägande delen av tillförseln till Bottniska viken av kväve härrör från flodtillrinningen. Kommuner och industrier står för en ganska liten del. Via nederbörden kommer cirka 20 procent. (Se ref 7 och ref 8).

Typiska värden av totalkväve i Ålands hav är 15 - 20 $\mu\text{gat/l}$, de högsta värdena har legat strax under 30 $\mu\text{gat/l}$. De horisontella variationerna är av samma storleksordning som de vertikala.

Figur 3. Totalkväve ($\mu\text{gat/l}$), vertikal F64, 1974 (HFI:s mätningar).



I figur 4 finns två exempel på hydrografiska förhållanden i Ålands hav. Det första mättillfället infaller under skiktad period, den andra under oskiktad.



Figur 4. Exempel på hydrografiska förhållanden, vertikal "Ålands hav". (Kustbevakningens mätningar).

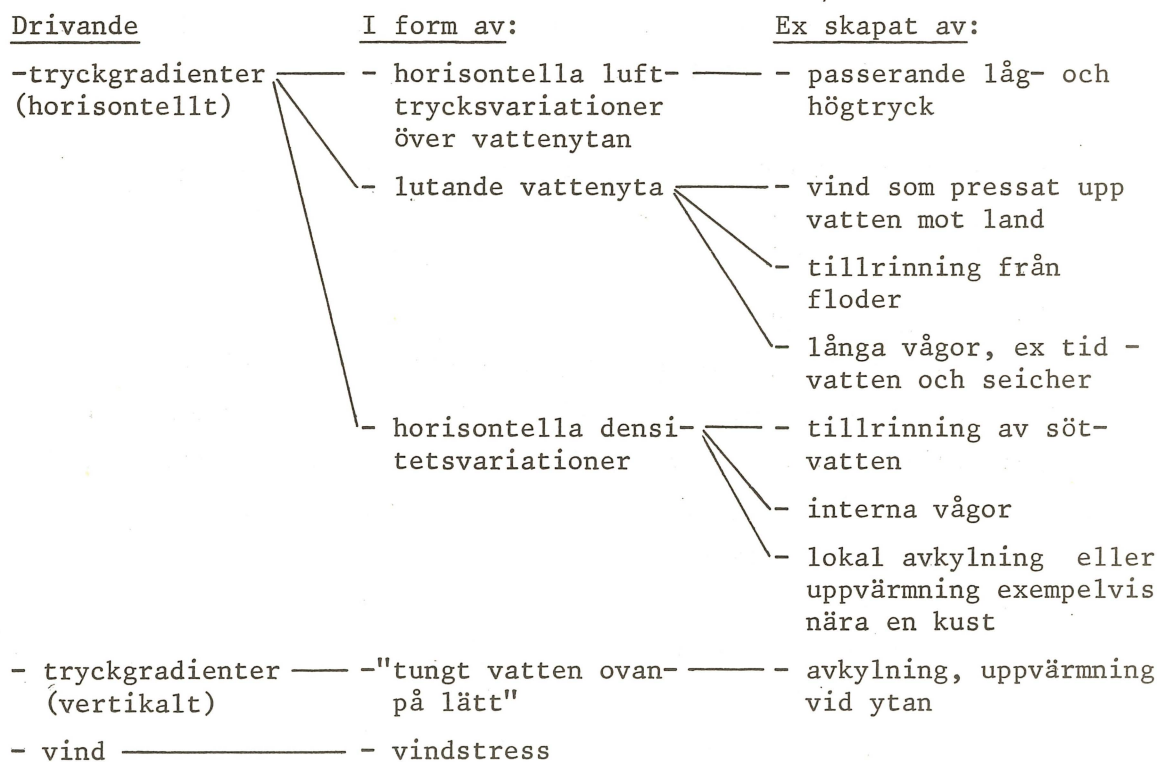
STRÖM, ÅLANDS HAV

Avsikten med detta kapitel är att diskutera varför det strömmar i Ålands hav och att beskriva de egenskaper strömmen har uppvisat under mätperioderna.

DRIVKRAFTER

Ålands hav kan liknas vid en kanal som förbinder Bottenhavet med norra Östersjön.

De krafter och faktorer som styr vattnets rörelse i Ålands hav är antingen drivande eller modifierande. Med det senare menas att en redan uppkommen rörelse förändras, t ex till riktning.

Faktorer som modifierar:

- tröghet
- jordrotationen
- friktion mot botten
- intern friktion
- topografi

Effekt:

- motverkar ändring
- styr
- bromsar
- bromsar
- styr

För att i ett givet ögonblick beräkna strömmen i Ålands hav behöver man alltså veta

- * vattenytans lutning mellan Bottenhavet och norra Östersjön
- * lufttrycksskillnad mellan Bottenhavet och norra Östersjön
- * densitetsskillnader mellan Bottenhavet och norra Östersjön
- * lokal vind över Ålands hav
- * hur de modifierande faktorerna inverkar

Av intresse är att se hur viktiga de olika drivande krafterna är.

I det följande redovisas resultaten av två olika studier. Den ena är ett försök att beskriva strömmen i Ålands hav under homogena ("vinter"-) förhållanden med hjälp av en enkel fysikalisk modell. I den andra studien har strömdata från en skiktad ("sommar"-) period analyserats genom en statistisk uppdelning i oberoende tidsserier. Sommartid, då temperaturskiktningen är utbildad, bör densitetsskillnaderna betyda mer för strömningen än vad de gör under relativt homogena vinterförhållanden.

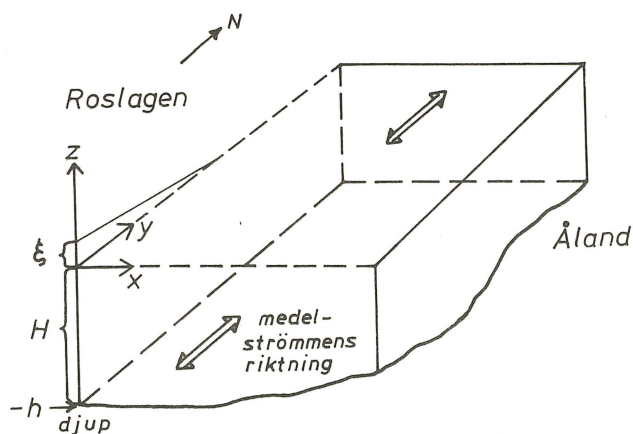
Med skiktad period avses i fortsättningen maj - september och med oskiktad menas oktober - april.

Homogena förhållanden

Under hösten råder nästan homogena förhållanden i Ålands hav. För perioden 18 november - 8 december 1974, totalt 21 dygn, har en jämförelse gjorts mellan uppmätt och beräknad strömhastighet. Den uppmätta strömhastigheten har erhållits genom att dividera

nettotransporten genom

Ålands hav med en representativ tvärsnittyta, $1\,500 \cdot 10^3 \text{ m}^2$. Beräknad strömhastighet har erhållits ur en vertikal- och breddintegrerad momentumekvation där homogena förhållanden antagits. Strömmen går i y-riktning i figur 5.



Figur 5. Koordinatriktningar.

Genom en skalning av ekvationen får man en första uppfattning om hur stora de olika termerna är:

$$\text{Ekvation: } \frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} + f \cdot u = -g \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} + \frac{1}{\rho_0 H} (\tau_{\xi}^y - \tau_{-h}^y)$$

$$\text{Termer: } \frac{V}{T}, \quad \frac{V^2}{L}, \quad f \cdot U, \quad \frac{g \cdot \Delta h}{L}, \quad \frac{\Delta p_a}{\rho_0 L}, \quad \frac{\tau_{\text{vind}}}{\rho_0 D}, \quad \frac{\tau_{\text{botten}}}{\rho_0 D}$$

$$\text{Storlek: } 0.69, \quad 0.03, \quad 0.10, \quad 1.4, \quad 0.29, \quad 0.26, \quad 0.34$$

(10^{-5} m/s^2)

Innebörd: lokal olinjär modifierande vatten- luft- vindstress, botten-
 accele- accele- rande ytans trycks- friktion
 rations- rations- faktor, lutning skill-
 term, term, Coriolis, nader,

v är strömhastigheten i y -led

f är coriolisparametern ($= 1.25 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}$)

u är strömhastigheten i x -led (väsentligen $= 0$)

g är gravitationskonstanten

ξ är vattenståndet i förhållande till nivån $z = 0$

p_a är lufttrycket

ρ_0 är densiteten hos vattnet

H är djupet

τ_{ξ}^y är vindstressen

τ_{-h}^y är bottenfriktionen.

V , T , L , U , D , Δh , Δp_a , τ_{vind} och τ_{botten} är för Ålands hav representativa värden använda vid skalningen. Hur dessa valts framgår av bilaga 3.

En sådan här uppskattning blir naturligtvis ganska grov, varför slutsatserna måste bygga på klara tendenser. T ex är den olinjära accelerationstermen mycket mindre än alla andra termer och kan anses försumbar, liksom Coriolis-accelerationen $f \cdot u$. Vattenytans lutning dominerar och måste troligen balanseras av flera andra termer tillsammans.

I beräkningarna har ekvationen ovan skrivits om till:

$$V_i = V_{i-1} + \Delta t \left(-g \frac{\Delta h}{L} - \frac{\Delta p_a}{\rho_0 L} + \frac{\rho_a \cdot C_d \cdot |W|W}{\rho_0 H} - \frac{r |V_{i-1}| V_{i-1}}{H} \right)$$

V_i är beräknad strömhastighet vid tiden i . Tidssteg (Δt) är en timma, ρ_a är luftens densitet, C_d och r är konstanter och W är vindhastighet. Ingångsvärden har valts enligt bilaga 4.

Strömhastigheten har beräknats för fem olika kombinationer av termer och jämförts med uppmätt strömhastighet. I bil 5:1-2 finns två av dessa jämförelser illustrerade. Det visar sig att den beräknade strömhastigheten är ungefär dubbelt så hög som den uppmätta. Observera att skalorna på y-axeln är olika. Detta tyder på att någon/några av de längd-, bredd- och djupskalor som antagits varit felaktiga. Som exempel kan nämnas att om man förlänger kanalens längd från 70 till 200 km (riktiga avståndet Björn - Landsort) och minskar djupet från 100 till 75 meter så blir beräknade och uppmätta strömhastigheter av samma storleksordning. Någon större förändring av slutsatserna innebär inte en sådan skaländring.

Det är svårt att bestämma en "sann" tvärsnittsyta för Ålands hav och därmed är det också svårt att bestämma en "sann" ström- hastighet utifrån känd transport. Därför har det ansetts viktigare att den beräknade strömmen ligger i fas med och uppför sig som den uppmätta. Ett mått på detta är korrelationskoefficienten (R). De kombinationer av medtagna termer som ger den snabbaste konvergensen mot maximivärdet 0.70 har bestämts med stegvis regression, och framgår av uppställningen nedan.

lutning friktion	lutning friktion acc-term	lutning friktion acc-term lufttryck	lutning friktion acc-term vind	lutning friktion acc-term vind lufttryck
$R = 0.40$	$R = 0.60$	$R = 0.66$	$R = 0.68$	$R = 0.70$

Följande bör kunna sägas om ovanstående termers inbördes betydelse:

- vattenytans lutning är den dominerande drivkraften
- lokala vind- och lufttrycksvariationer har ungefär samma betydelse för drivningen och de är mindre viktiga än vattenytans lutning
- trögheten hos vattnet som speglas av accelerationstermen är viktig då den fördröjer ändringen i strömmen (jämför fasförskjutningen i bilaga 5:1).

Skiktade förhållanden

Under sommarperioden 15 juni - 16 augusti 1977 gjordes strömmätningar i nio punkter. Data från dessa har analyserats statistiskt med hjälp av empiriskt ortogonala funktioner. Man skiljer där ut lika många strömbilder som antal mätare. Strömbilderna är oberoende av varandra och man får också en gradering av de olika strömbildernas inbördes betydelse för den lokala strömmingen. Den utförda analysen innebär i korthet följande:

1. Nord/sydkomponenten av strömmen i varje punkt användes. Medelvärdesbildning görs i varje mätpunkt för drygt 8 000 strömdata. Strömmen $s_i(t)$ i en punkt (i) beskrivs som avvikelser från medelvärdet.
2. Från varje tidsserie $s_i(t)$ sätts de variationer som är tidsberoende samman och de som är tidsberoende skiljs ut. (Variabelseparation). Strömmen i punkt (i) kan alltså istället skrivas:

$$s_i(t) = \sum_{n=1}^9 \beta_n(t) \cdot h_{ni}$$

där n betecknar antalet moder, dvs antalet oberoende tids-serier.

$\beta_n(t)$ = tidsfunktion för mod n

h_{ni} = rumskonstant för mod n, mätpunkt i

3. Nio rumskonstanter h_{ni} , $i = 1, 2, \dots, 9$, beskriver tillsammans en mod, det som ovan benämnts strömbild. Totalt bildas nio oberoende strömbilder, $n = 1, 2, \dots, 9$. Konstanterna h_{ni} är normaliserade så att $\sum_{i=1}^9 h_{ni}^2 = 9$ för alla n.

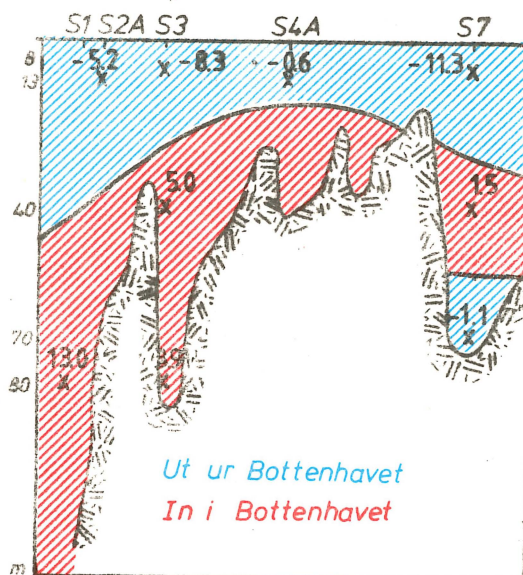
Man kan nu bestämma hur stor del av den totala variansen som varje mod representerar:

$$\frac{1}{9T} \sum_{i=1}^9 \int_0^T s_i^2(t) dt = \frac{1}{T} \sum_{n=1}^9 \int_0^T \beta_n^2(t) dt$$

Till vänster står medelvariansen, till höger står summan av de olika modernas bidrag. Hur mycket varje mod bidrar med kan sedan uttryckas i procent av den totala variansen. För en mer detaljerad beskrivning av metoden hänvisas till ref 9.

Resultatet av analysen med empiriskt ortogonala funktioner redovisas nedan i form av medelbilden plus de fyra viktigaste moderna. Dessa fyra moder förklarar tillsammans 84.1 procent av den totala variansen, dvs drygt fyra femtedelar av strömmens variation kring medelbilden under mätperioden. Ett försök görs att till varje mod koppla olika fysikaliska processer. Nu är definitionsmässigt moderna helt oberoende medan olika fysikaliska fenomen ibland är kopplade. T ex kan en hård vindstöt medföra både en vattenstånds- förändring och en språngskiktsförändring. Därför behöver inte en speciell mod renodlat motsvara en viss fysikalisk process.

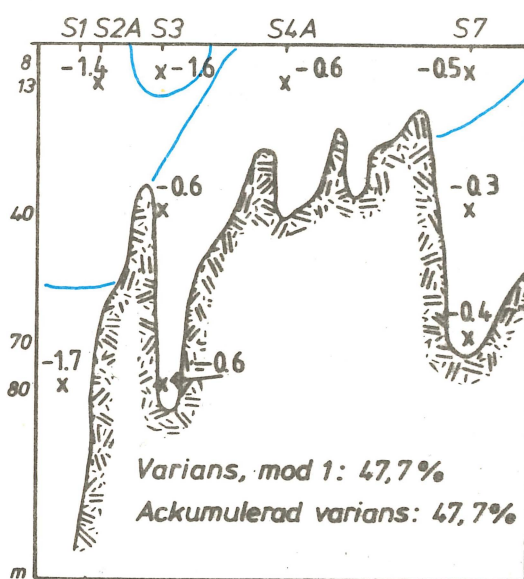
Medelbilden i figur 6 kan tolkas som en tidsberoende estuarie-strömning. Estuarien, i det här fallet Bottniska viken, tillförs sötvatten från älvarna, samt ytvatten från norra Östersjön, sommartid främst genom det grunda Skärgårdshavet. Detta vatten rin- ner sedan, delvis uppblandat, ut genom Ålands hav där det ger upp- hov till en salt reaktionsström norrut. Observera att det endast är medelflödet från älvarna och från Skärgårdshavet som förklaras av denna bild. Lägg också märke till att den här medelbilden är subtraherad från de figurer som illustrerar moderna.



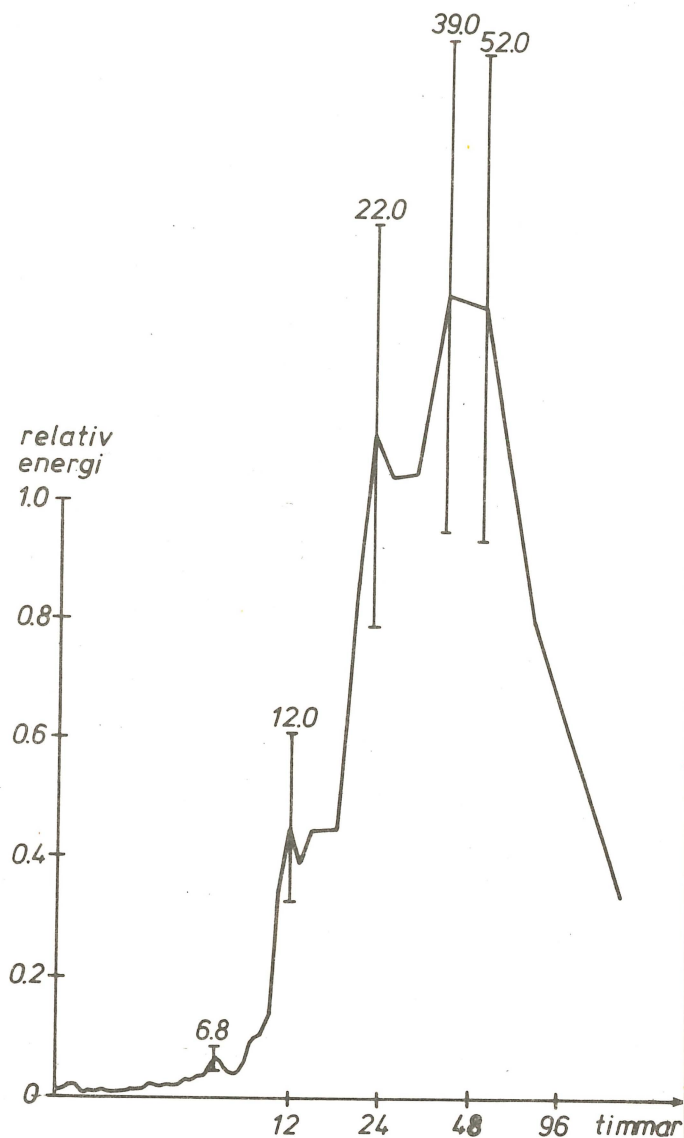
Figur 6. Medelvärden av strömmen i nord/sydlig riktning
770615 - 0816 (cm/s).

Mod 1 ger en strömbild där strömmen i varje ögonblick går åt samma håll, antingen norrut eller söderut (se fig 7). Analysen visar att nästan 50 procent av den totala variansen förklaras av denna första mod.

Multiplicerar man ett h -värde med standardavvikelsen för tidsfunktionen β , får man en för punkten representativ strömhastighet uttryckt i cm/s. (Detta värde bildar övre gräns för 70 procent av de strömhastigheter som moden ger upphov till under mätperioden).



Figur 7. Mod 1 (rumskonstanterna h_{1i})
Standardavvikelse: (β_1) 6.8 cm/s.



Figur 8. Spektralanalys av tidsfunktionen för mod 1. För topparna har ett 80-procentigt konfidsintervall lagts in.

Figur 8 visar att större delen av energin i mod 1 ligger i variationer som har perioden 20 timmar - 3 dygn. Huvuddelen av detta flöde orsakas av höjningar och sänkningar av vattenståndet kopplade till den storskaliga lufttrycksfördelningen över Östersjön och Nordsjön. En - säkerligen liten - del härrör från ytseicher med olika perioder. Tidvattnet är mycket obetydligt i Bottniska viken. Halvdagligt tidvatten, M_2 , kan ge upphov till strömhastigheter i Ålands hav på ca 1 cm/s.

Som framgår av figur 9 så drivs denna mod av vattenstånds- och lufttrycksskillnader mellan norra och södra delen av Ålands hav.

Figur 9

— = tidsfunktion
en β_1 för
mod 1 (cm/s)

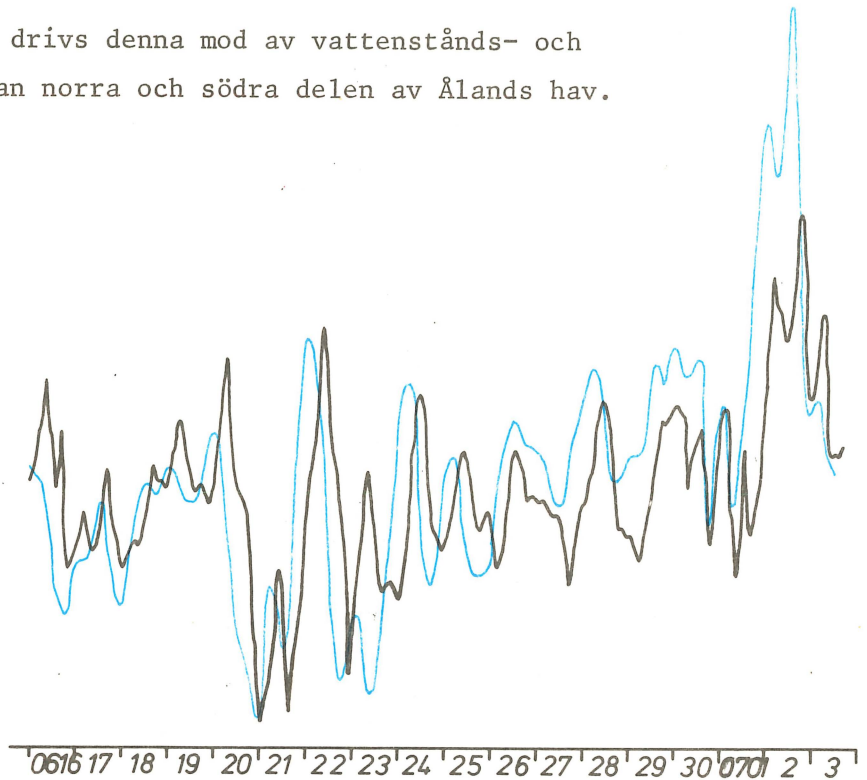
— = variationer i vatten-
ytans lutning
och i lufttrycks-
skillnaden längs
Ålands hav.

Vst-skillnad:
Björn-Landsort.

Lufttrycksskill-
nad:
Örskär-Landsort
omräknat i cm
vatten.

cm/s | cm

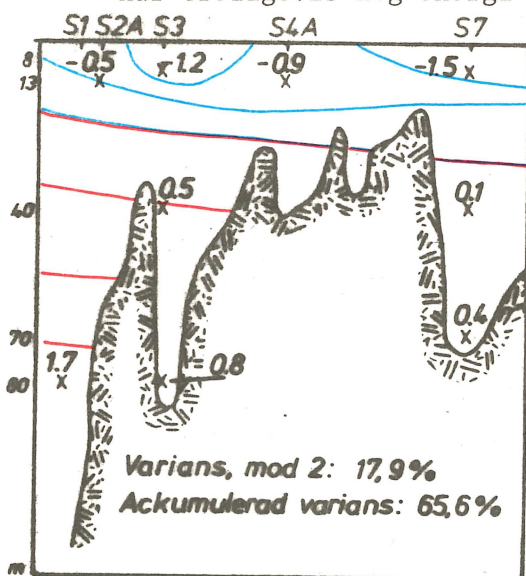
14 50
10
6 45
2
0
-2 40
-6
-10 35
-14
-30



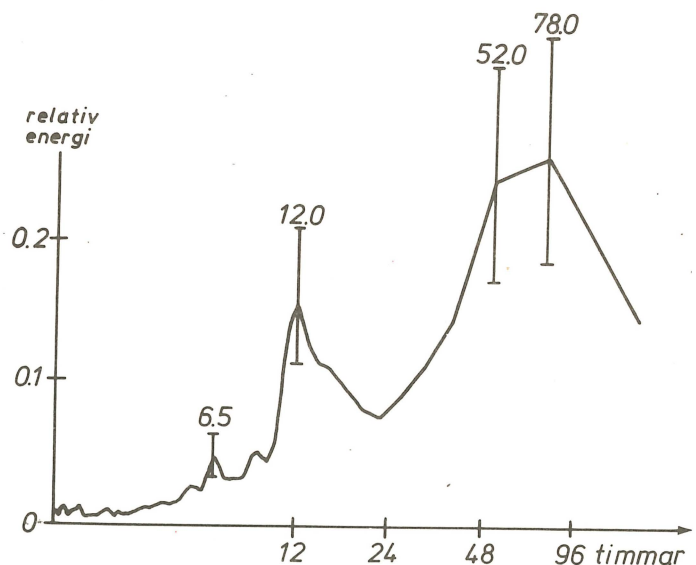
Det framgår att drivningen ligger en bit före modens tidsfunktion

β_1 , som ju beskriver strömningens amplitud.

Mod 2 (fig 10) är en tvålayersströmning, där två olika vattenmassor strömmar åt var sitt håll separerade av ett språngskikt. Moden liknar i huvudsak den medelbild som beskrivits tidigare varför de variationer i tiden som funnits i sötvattentillrinningen samt i flödet från Skärgårdshavet återfinns här. Perioden hos dessa bör vara av storleksordningen dygn och längre. Det baroklina strömningsmönstret har troligtvis hög energi för längre perioder, 7-8 dygn.

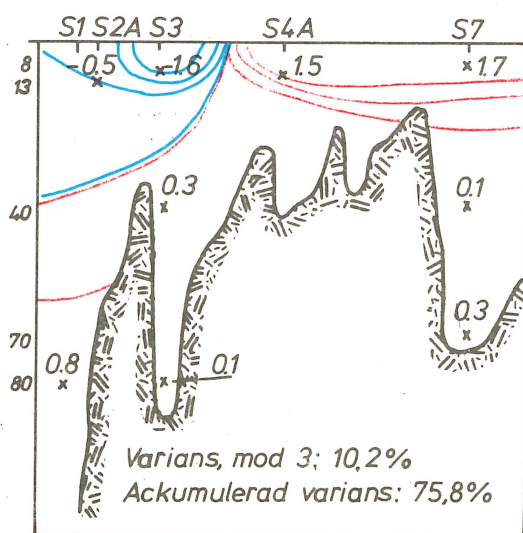


Figur 10. Mod 2 (rumskonstanterna h_{2i}). Standardavvikelse: (β_2) 4.1 cm/s.

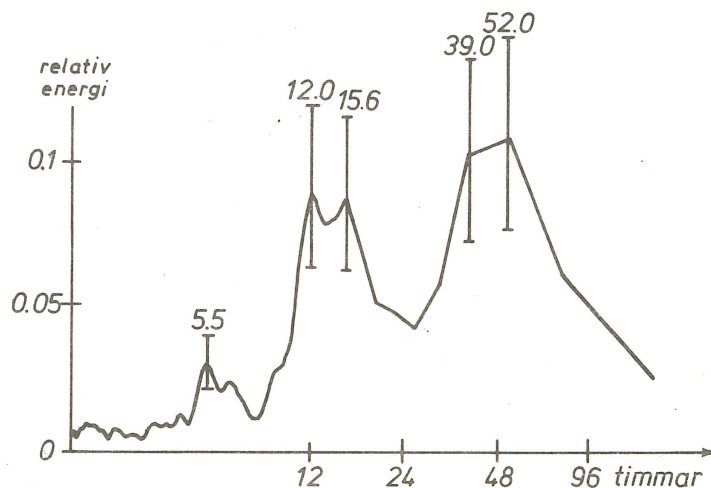


Figur 11. Spektralanalys av tidsfunktionen för mod 2. För topparna har ett 80 procentigt konfidensintervall lagts in.

Höjningar och sänkningar av språngskikt i bassängerna norr och söder om tröskeln, t ex i form av interna vågor, ger upphov till tvålagersströmning. I regel har interna vågrörelser låg frekvens. I samband med en vindstöt kan det emellertid i den centrala delen av en kanal som Ålands hav uppstå mer högfrekventa svängningar i språngskiktet. Dessa s k Poincarévågor kan beskrivas som stående vågor tvärs kanalen och de har svängningsperioder strax under tröghetsperiodens 13.8 timmar. En uninodal sådan våg skulle medföra en strömbild liknande den i mod 2 och kunna förklara den uttalade topp kring 12 timmar som finns i figur 11.



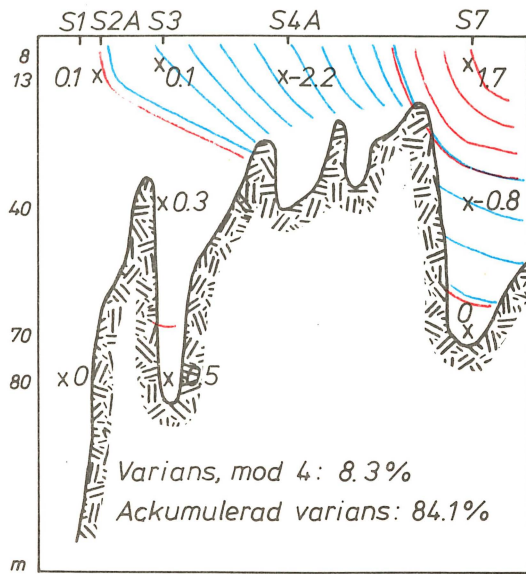
Figur 12. Mod 3 (rumskonstanterna h_{3i}) Standardavvikelse: (β_3) 3.1 cm/s.



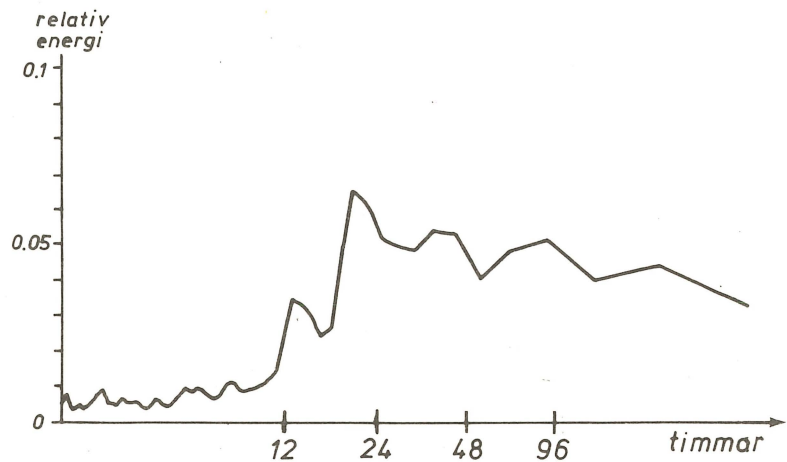
Figur 13. Spektralanalys av tidsfunktionen för mod 3. För topparna har ett 80 procentigt konfidensintervall lagts in.

Mod 3 i figur 12 ger den ost-västliga skillnaden i strömmen, inström vid ena sidan och samtidigt utström vid den andra. Här ligger mer av energin i det högfrekventa området (fig 13). Topparna på 12 timmar och 15.6 timmar är sinsemellan inte signifikanta, däremot kan man se att mycket av modens energi ligger nära tröghetsperioden. En binodal Poincarévåg skulle ge ett strömningsmönster liknande figur 12.

De i mod 2 och 3 omtalade Poincarévågorna har inte kunnat verifieras då mätningar av språngskiktsrörelserna saknas. En teoretiskt beräknad svängningsperiod i norra Ålands hav är för den uninodala vågen 13.3 timmar och för den binodala 12.0 timmar.



Figur 14. Mod 4 (rumskonstan-
terna h_{4i}). Standardavvikelse:
(β_4) 2.8 cm/s.



Figur 15. Spektralanalys av tids-
funktionen för mod 4.

Mod 4 i figur 14 ger nästan enbart ett tillskott i den östra delen av ytskiktet, med motsatt riktning i S4A och S7. Energin i mod 4 finns vid 12 timmar och längre perioder.

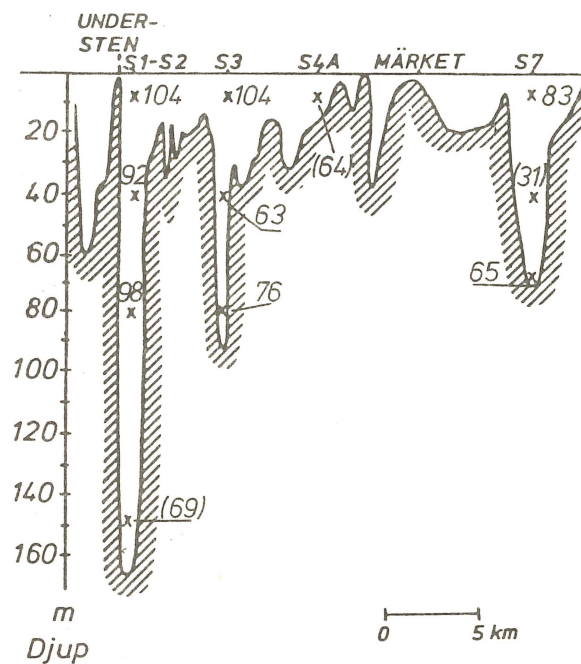
STRÖMKARAKTÄRISTIK

Strömhastighet

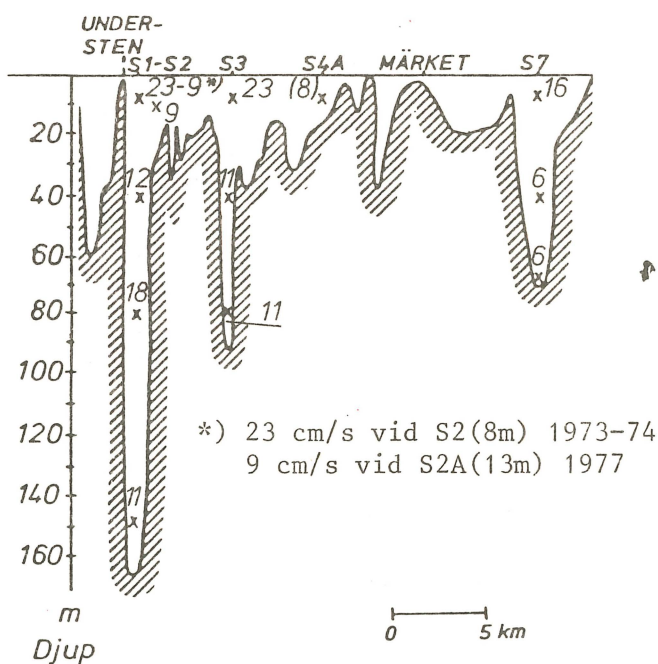
Strömhastigheter på drygt 100 cm/s har uppmätts i det övre skiktet i västra Ålands hav (se fig 16). I djuprännan utanför Understen har uppmätts nästan lika höga hastigheter på 80 meters djup.

De manuella strömmätningar som gjorts nära ytan har inte gett lika höga hastigheter, men mätningarna har inte kunnat utföras vid de vädersituationer då maximala strömhastigheter är att vänta.

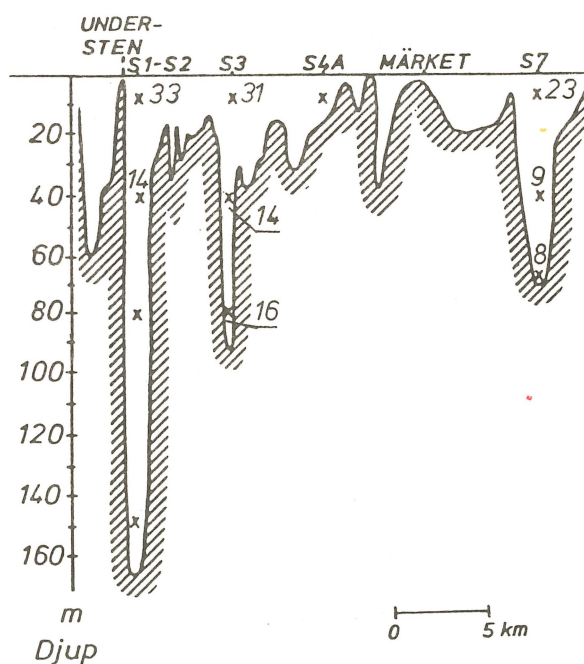
De största hastigheterna förekommer oftast under senhösten i samband med stormar. Dock uppmättes 98 cm/s vid S1 (80 m) i juli månad i samband med ett kraftigt inbrott av salt vattnet i Bottenhavet.



Figur 16. Uppmätta maximihastigheter under 1973-77 (cm/s).
(xx) = begränsat data-underlag.



a) skiktad period



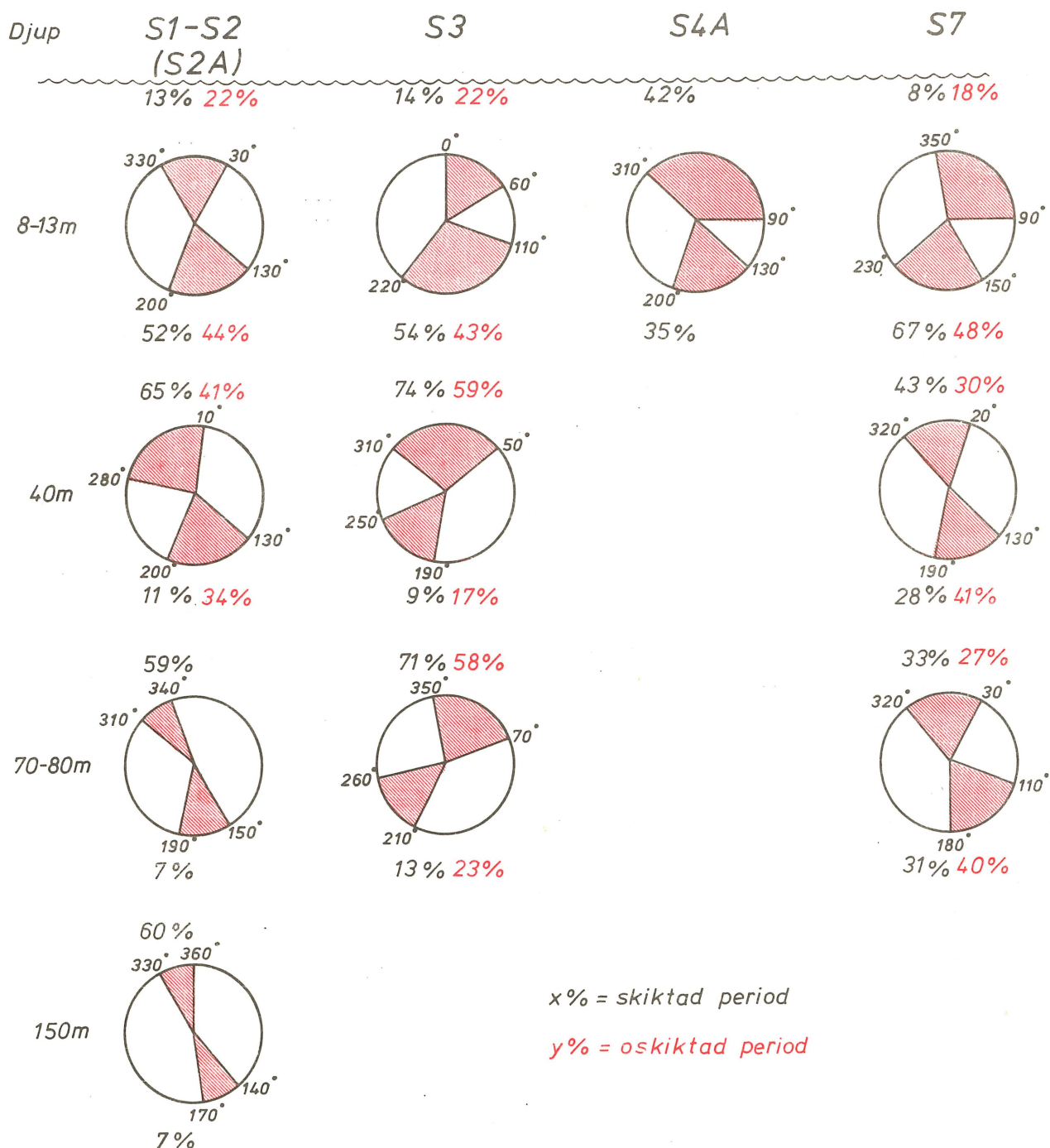
b) oskiktad period

Figur 17. Uppmätta medianhastigheter under 1973-77 (cm/s). (xx) = begränsat data-underlag.

Medianhastigheten är, på alla nivåer, störst i den västra delen av området. De lägsta hastigheterna i det övre skiktet återfinns i det grundare området vid S4A, nära Märkesskallen. Strömshastigheterna är högre under hösten och vintern än under vår och sommar.

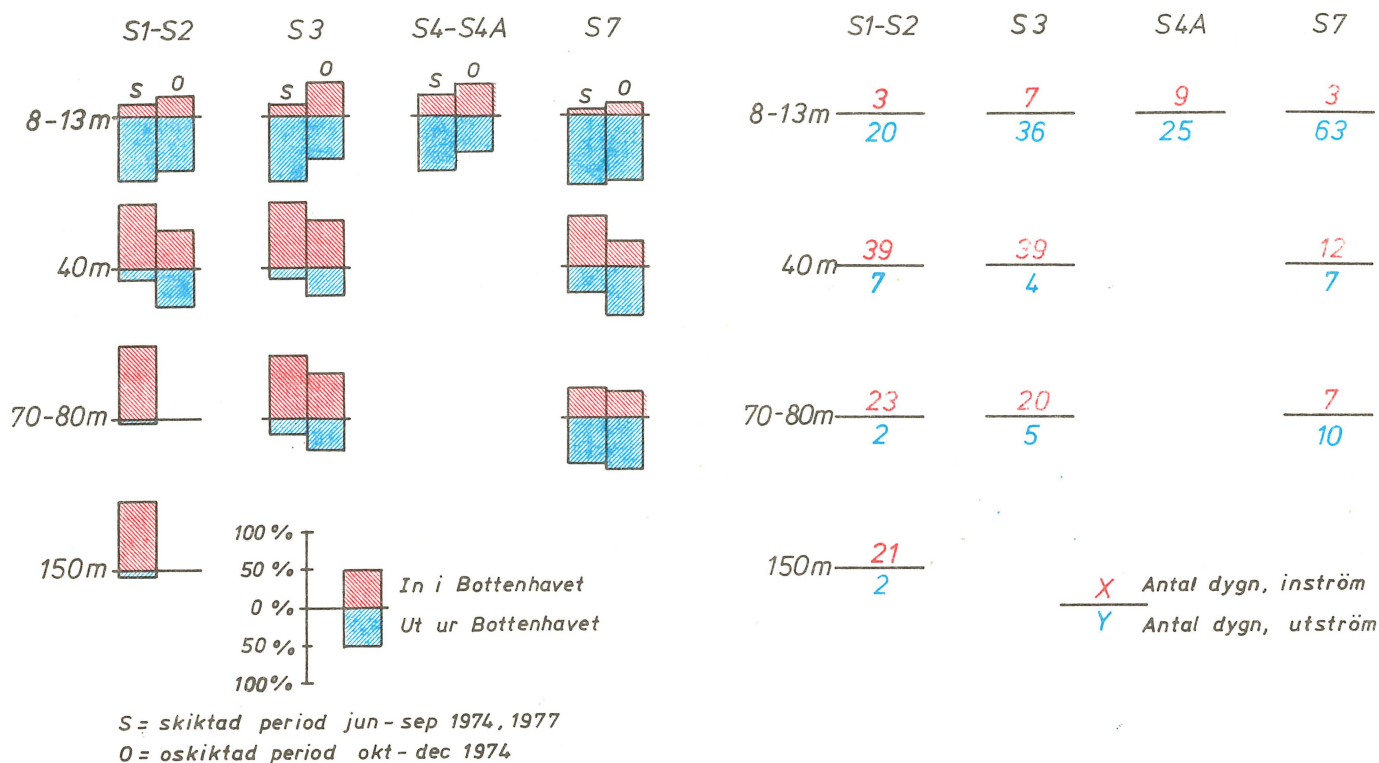
Strömriktning

De huvudriktningar som strömmen uppvisat i de olika mätpunkterna är, speciellt på större djup, beroende av topografin i närområdet. De röda fälten i figur 18 rymmer två tredjedelar eller mer av alla registrerade riktningar mot vilka strömmen gått.



Figur 18. Huvudriktningar av strömmen med procentfördelning. Underlag från 1973-77.

I transportberäkningarna har dygnsmedelvärden av strömmen använts. Det är därför av intresse att se hur fördelningen av inström till respektive utström ur Bottenhavet varit för dessa medelvärden samt hur länge det utan uppehåll strömmat åt samma håll. Figur 19 a visar på en jämnare fördelning av inström/utström under oskiktad period.



a)

b)

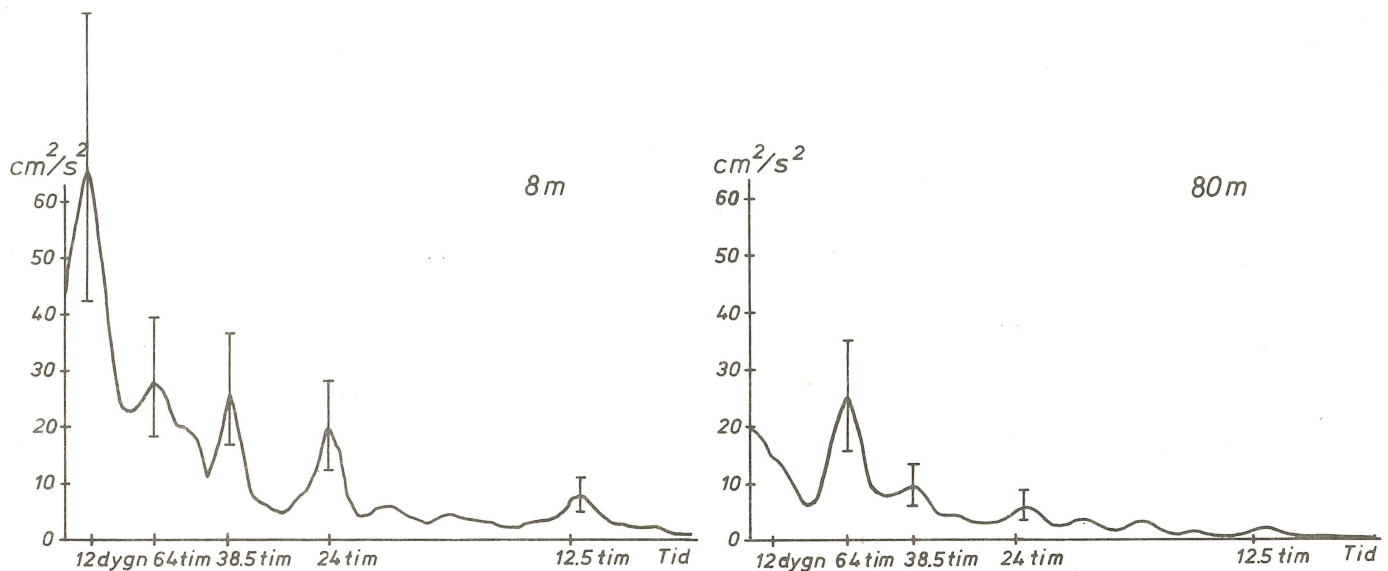
Figur 19. Statistiken bygger på dygnsmedelvärden. För S1 (80 m och 150 m) saknas mätningar under oskiktad period.

a) Procentuell fördelning av inström respektive utström.

b) Maximal varaktighet av inström respektive utström uttryckt i dygn.

För figur 19 b gäller att alla uppmätta varaktigheter större än 10 dygn inträffat under skiktad period. Lägg också märke till att strömmen i vertikal S4-S4A går norrut relativt ofta.

Under rubriken drivkrafter finns några spektralanalyser som beskriver med vilken periodicitet som vissa strömbilder förekommer. Spektralanalys har även utförts på strömkomponenterna i huvudriktningarna för vissa strömmätare. Fig 20 visar resultaten från S3 (8 m) och S3 (80 m). På 8 meter finns en uttalad topp på 24.0 timmar. Den topp på 38.5 timmar som kan urskiljas både på 8 meter och på 80 meter, och för övrigt även i andra vertikaler än S3 kan bero på egensvängningar i Östersjön. Neumann (se ref 11) har vid numeriska beräkningar



Figur 20. Spektralanalys av timvärden från vertikal S3.

Period. 740724 - 1212.

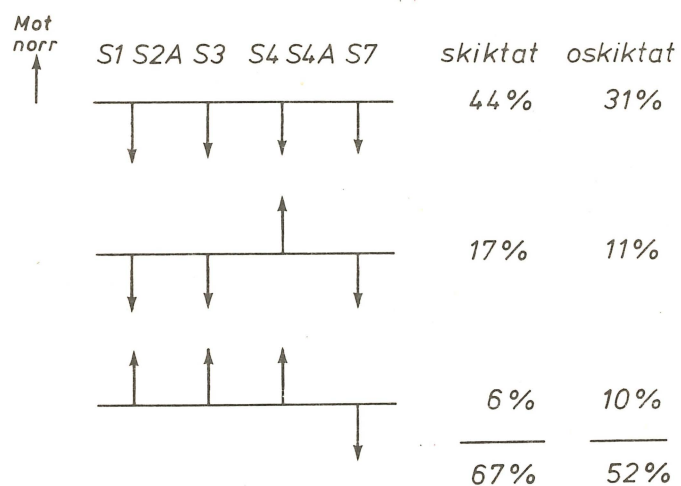
hittat en uninodal seiche mellan Lübeck och Kemi med perioden 39.1 timmar, Krauss och Magaard (se ref 10) fann perioderna 39.4 och 22.5 timmar för den uninodala respektive binodala seichen. Den senare, jämte en uninodal seiche i Bottniska viken, kan förmodas bidra till den nämnda toppen på 24 timmar.

Strömsituationer

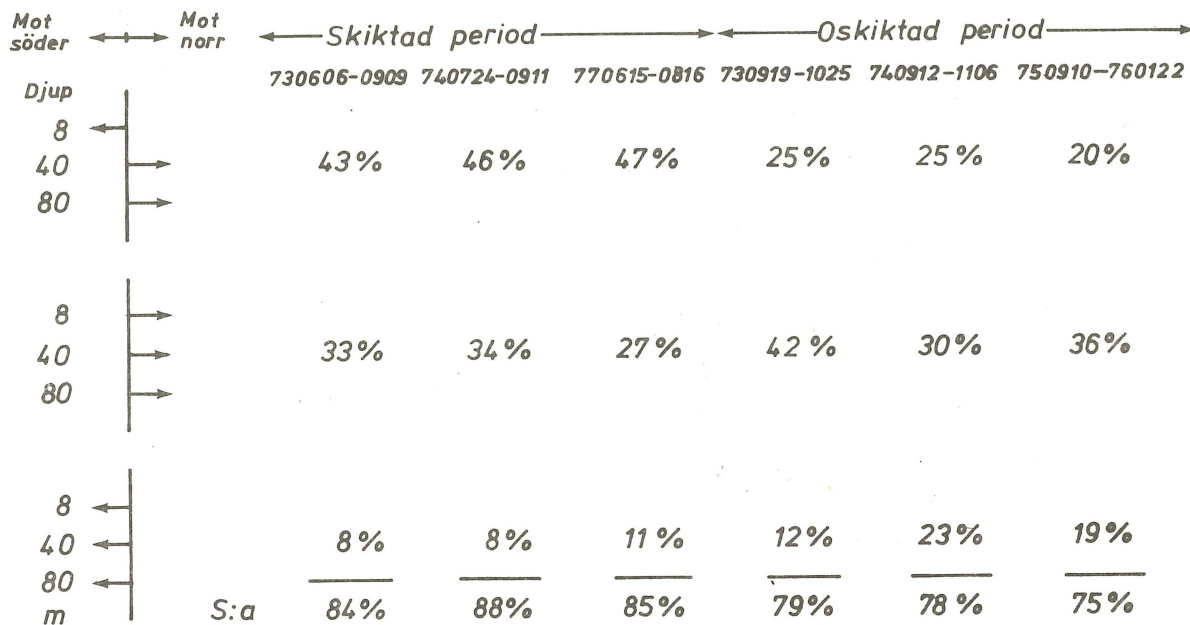
Som framgår av figur 21 så är det på djup runt 10 meter vanligt med sydgående ström utesluter hela tröskelområdet.

Vertikal S4-S4A ligger i ett grundområde där strömhastigheten är lägre och där riktningen är mera växlande än vid övriga vertikaler. Detta område bör därför betyda mindre vad det

gäller transporter till och från Bottenhavet. Bortser man från S4-S4A så har strömmen i hela det övre skiktet varit sydgående under halva eller mer än halva tiden.



Figur 21. Mest förekommande strömsituationer, horisontell led utesluter tröskel-snittet. Djup: 8-13 meter. Perioder: 770724 - 1212, 770615 - 0816.

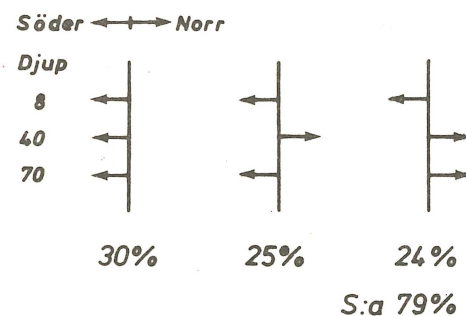


Figur 22. Mest förekommande strömsituationer i vertikal S3.

Hur strömmen vanligen ser ut i vertikal led visas i figurerna 22 och 23. Vertikal S3 beskriver förhållandena i västra Ålands hav. Under skiktad tid är tvålagersströmning med sydgående ytström dubbelt så vanlig som under oskiktad tid. Höst och vinter går strömmen åt samma håll i hela vertikalen under mer än halva tiden.

Figur 23 visar förhållandena under en period med termisk skiktning i östra delen av mätområdet, representerat av vertikal S7. Här är den vertikala profilen inte lika enkel som i vertikal S3.

Under cirka en tredjedel av tiden var strömmen sydgående på alla nivåer. Jämför med S3 där denna profil endast erhöles under ca 10 procent av skiktad tid.



Figur 23. Mest förekommande strömsituationer i vertikal S7. Skiktad period 770615 - 0816.

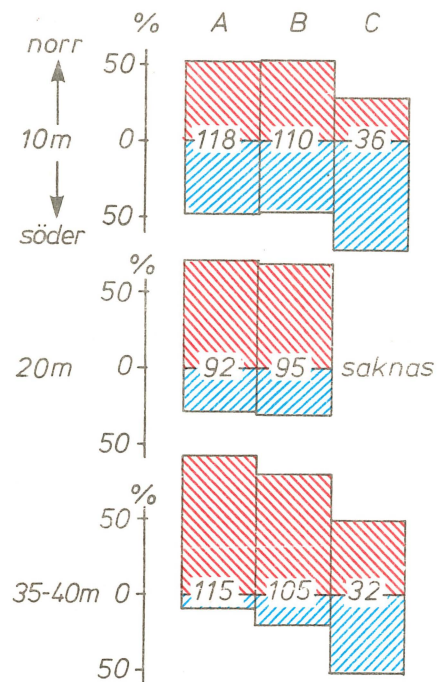
STRÖM, SKÄRGÅRDHAVET

Beskrivningen av strömmen i Skärgårdshavet kompliceras av det begränsade dataunderlaget från vertikal C (se funktionsdiagram bil 7). För mätperioden 25 maj - 20 september 1977 finns för vertikal C bara strömvärden från den första tredjedelen.

Med detta i minnet kan följande sägas:

De största hastigheterna har registrerats i vertikal B. I samband med nordvästlig storm den 15 juli var strömmen vid B (20 m) 91 cm/s nordgående. I vertikal A har som mest 57 cm/s registrerats och i vertikal C 46 cm/s, båda värdena på 10 m djup.

Figur 24. Procentuell fördelning av nord- resp sydgående ström i Skärgårdshavet maj - september 1977. Statistiken bygger på de antal dygnsmedelvärden som anges vid varje mätare.



Det anmärkningsvärda i figur 24 är den stora andelen sydgående ström som finns på 10 m och i vertikal C även på 35 meter. Tidigare antaganden om strömmen i Skärgårdshavet har varit att den är till största delen nordgående på alla nivåer.

Fördelningen i figur 24 antyder också att tvålagerströmning, dvs motriktade strömmar på olika nivåer, förekommer.

Som framgår av tabell 7 så är strömmen på 10 m motriktad den på 35 - 40 m under ungefär halva tiden i vertikaler A och B och under en femtedel av tiden i vertikal C. Observera att statistiken bygger på dygnsmedelvärden eftersom sådana medelvärden används i transportberäkningarna.

	A	B	C
samma riktning	51 %	58 %	79 %
olika riktning	49 %	42 %	21 %
totalt antal dygn	116	88	34

Tabell 7. Jämförelse mellan dygnsmedelvärden av strömmen på 10 m och på 35 - 40 m i Skärgårdshavet 770525 - 0920.

Sammanfattningsvis gäller för perioden att strömmen i de två västra vertikaler A och B är likartad och där finns en stor andel tvålagersströmning. I vertikal B är hastigheterna större. Strömmen i vertikal C har oftare samma riktning vid ytan som vid botten och vertikalen har en större andel sydgående ström än de övriga.

Under en kortare period, då mätarna i de tre vertikaler fungerade samtidigt, förekom i vertikaler A och B tvålagersströmning till ca två tredjedelar, i vertikal C till endast en fjärdedel.

VATTENTRANSPORTER

Beräkningar av vattenutbytet mellan Bottniska viken och egentliga Östersjön redovisas nedan. De baseras på SMHIs strömmätningar i norra Ålands hav under sommaren-senhösten 1974 samt under sommaren 1977. För den senare perioden redovisas även HFIs resultat från strömmätningar i Skärgårdshavet. I föreliggande rapport har delvis nya beräkningsmetoder använts. Hur dessa mätningar och beräkningar utförts finns beskrivet i bilagorna 8 och 9. Kartor med vertikalsplacering finns i bilaga 10. Strömmätarnas funktion framgår av bilagorna 6 och 7.

Strömvärdena är medelvärdesbildade över ett dygn för att filtrera bort effekten av de vattenmassor, som endast pendlar fram och tillbaka utan att dras in i den storskaliga cirkulationen och som därför inte effektivt bidrar till vattenutbytet. Dessa dygnsmedelvärden har sedan multiplicerats med en tvärsnittsytta, som tilldelats varje mätare, varvid transporten har erhållits.

Först redovisas transporten i form av månadssummor av hur mycket vatten som strömmat in i eller ut ur Bottniska viken. Det är också väsentligt att veta var och hur utbytet sker. Därför har utbytet i medeltal under en månad redovisats för varje strömmätare, samt transporten dygn för dygn i varje skikt.

Slutligen har de genom Ålands hav och Skärgårdshavet uppmätta transporter jämförts med volymsvariationer och sötvattentillrinning i Bottniska viken. Positiva värden anger vattentransporter till Bottniska viken, negativa värden anger uttransport.

ÅLANDS HAV

Den del av Bottniska vikens vattenutbyte, som sker väster om Åland redovisas i tabell 8.

Tabell 8. Uppmätta vatten-transporter i Ålands hav ($\text{km}^3/\text{månad}$).

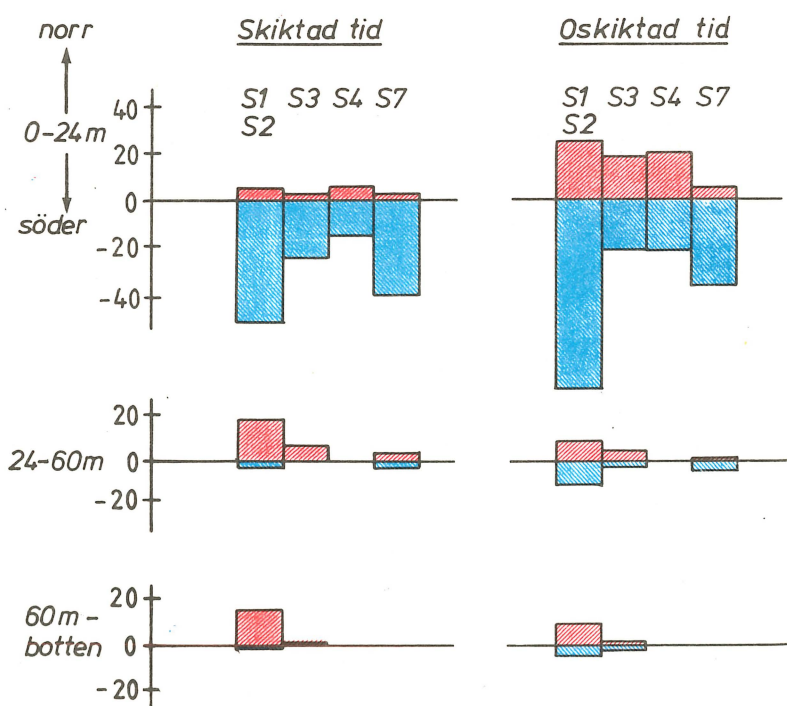
* = endast halv månad uppmätt. Transporten multiplicerad med två.

År	Mån	mot norr	mot söder	netto
1974	aug	76	-215	-139
	sep	75	-102	-27
	okt	95	-236	-141
	nov	70	-160	-90
1977	jun*	63*	-78*	-15*
	jul	49	-136	-87
	aug*	46*	-135*	-89*

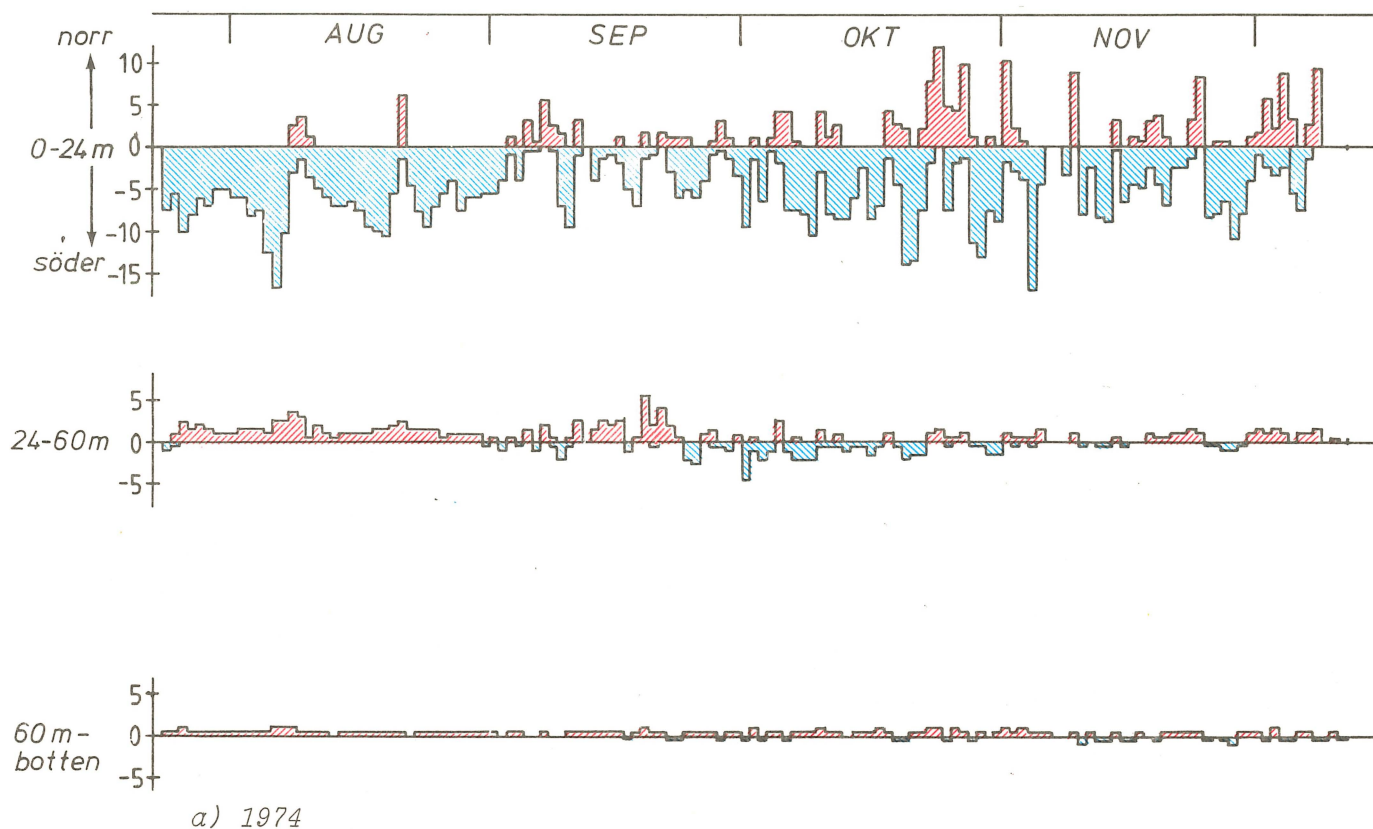
Vattentransporterna genom Ålands hav har för 1977 även beräknats på basis av den statistiska utvecklingen av strömdata i empiriskt ortogonala funktioner. Detta innebär en annan typ av filtrering än ovanstående beräkning baserad på dygnsmedelvärden. Beroende på hur många moder som tas med filtreras mer eller mindre bort av svängningar med låg energi, dvs de moder som inte ger så stor information om strömmen över tröskeln. Transporten t o m fjärde moden mot norr resp söder var ca 2-3 gånger större än i tabell 8. Nettotransporten däremot blev något mindre under var och en av de tre månaderna.

Den genomsnittliga vattentransporten per månad vid varje mätpunkt framgår av figur 25. En uppdelning mellan termiskt skiktad och termiskt homogen period är utförd. Där framgår bl a att under hösten-vintern växer den nordgående transporten i yt-skiktet markant. Samtidigt är den sydgående transporten lika stor eller större, varför utbytet under hösten-vintern kan sägas vara större än under sommaren.

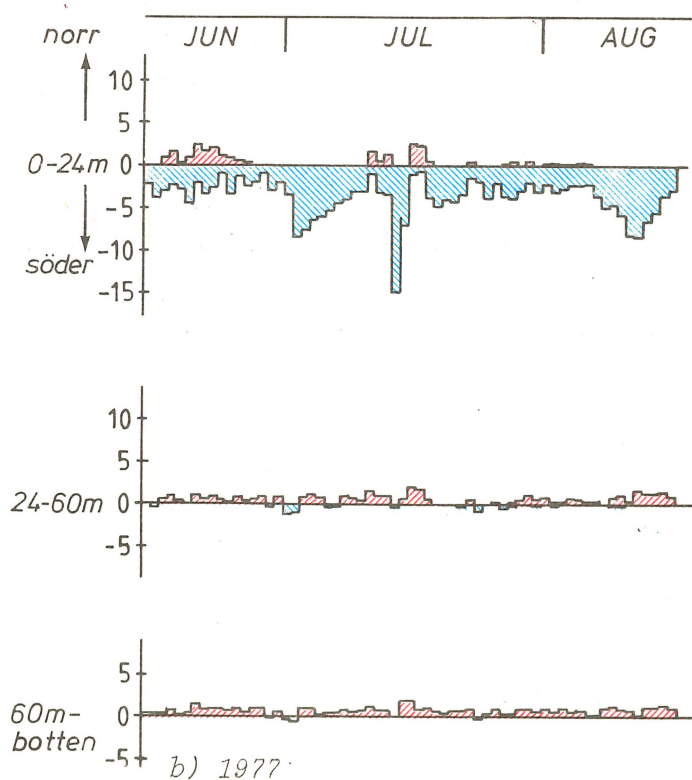
Figur 25. Medelvärden av uppmätta vattentransporter i varje mätpunkt, Ålands hav ($\text{km}^3/\text{månad}$). Skiktad period: 740724-0930, 770615 - 0815. Oskiktad period: 740930-1212.



Figur 26 belyser på vilka nivåer transporterna sker och hur de förändras från dygn till dygn. Transporterna för varje skikt belyses alltså av 3-4 mätare. Detta medför att för varje dygn kan både positiv och negativ transport förekomma samtidigt i ett skikt. Under skiktad tid 1974 så utgör termoklinen gräns mellan de två skikten.



Figur 26. Vattentransporter utefter hela snittet i Ålands hav inom olika skikt (km^3/dygn). a) 1974, b) 1977.



Det stora utbytet sker som synes i ytskiktet ner till 24 meters djup, under skiktad tid ner till termoklinen. Som mest har i ytskiktet uppmätts 17 km^3 sydgående transport inom ett dygn. Under 60 meter är utbytet relativt litet.

En markant årstidsskillnad framträder. Under termiskt skiktad tid förekommer oftast tvålagerströmning med sydgående transporter ovanför termoklinen och nordgående under.

Det är också intressant att notera, att i samband med stora transporter i någon av huvudriktningarna, så är motriktade transporter på samma nivå mycket små.

SKÄRGÅRDHAVET

Kännedom om vattentransporterna genom finska Skärgårdshavet är en förutsättning för att få en fullständig beskrivning av utbytet mellan Bottniska viken och egentliga Östersjön. Under perioden 25 maj - 22 september 1977 genomförde HFI strömmätningar i vertikalerna A, B och C (se bilaga 10). I varje vertikal fanns tre Alexejev-mätare upphängda på olika djup. För en mera detaljerad beskrivning av transportberäkningarna hänvisas till bilaga 9.

Transporten har bara beräknats för tiden 15 juni - 15 augusti, dvs för samma period som SMHIs mätningar i Ålands hav (tabell 9).

Tabell 9. Uppmätta transporter i Skärgårdshavet, HFI ($\text{km}^3/\text{månad}$).

År	Mån	mot norr	mot söder	netto
1977	Jun ^{*)}	28	-31	-3
	Jul	44	-25	19
	Aug ^{*)}	36	-14	22

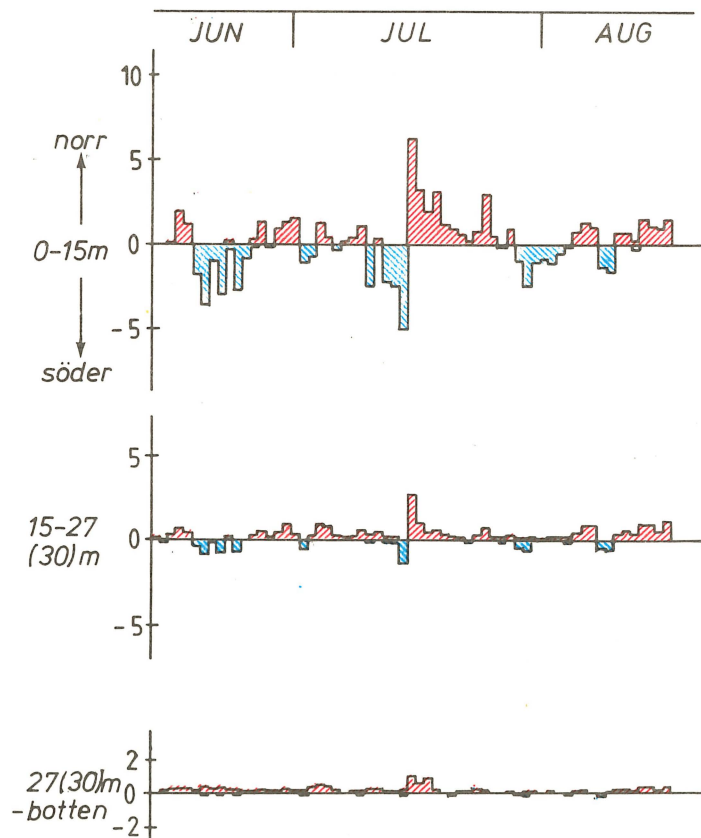
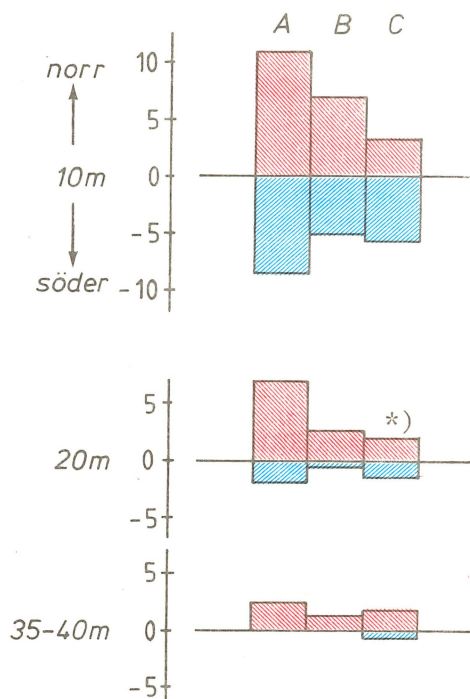
^{*)} Endast en halv månad uppmätt. Transporten multiplicerad med två.

Figur 27 visar var i Skärgårdshavet de största transporterna ägde rum. Vid alla strömmätare utom vid C fanns en övervikt av nordgående transporter. Observera dock att värdena just från vertikal C är osäkrare än de övriga, då de till större delen bygger på korrelations-samband.

Figur 27. Medelvärden av vatten-transporter i varje mätpunkt, Skärgårdshavet ($\text{km}^3/\text{månad}$).

Period: 770615 - 0815.

*) Strömhastigheten interpolerad mellan C (10 m) och C (35 m).



Hur transporten varierat i tiden framgår av figur 28. Oftast är riktningen densamma inom varje nivå, liksom i de två övre skikten. Tvålagerströmning kan förekomma. Eftersom hela skikt med flera mätare betraktas kan motriktade transporter förekomma samtidigt inom varje skikt.

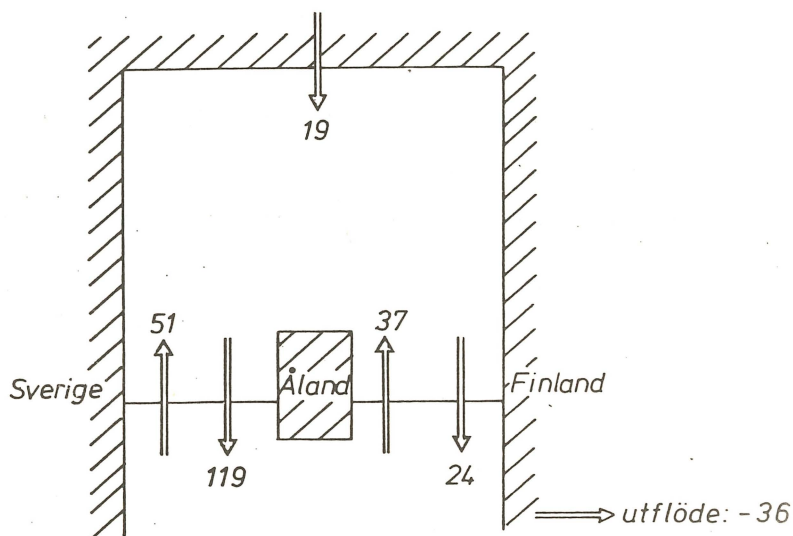
Figur 28. Vattentransporter utefter hela snittet genom Skärgårdshavet inom olika skikt (km^3/dygn), 1977.

VATTENBALANS FÖR BOTTNISKA VIKEN

Förutom transporterna genom Ålands hav och Skärgårdshavet ingår i vattenbalansen flodtillrinning, nederbörd över vattenytan samt avdunstning. Nederbörden och avdunstningen är motriktade transporter. I Bottniska viken är årsmedelvärdet av nederbörden något större än avdunstningen, (50 resp 44 $\text{km}^3/\text{år}$) och denna skillnad är större under sommaren än under vintern (ref 12). Den är dock liten i förhållande till sötvattentillflödet från älvarna. I fortsättningen bortses därför från nederbörd och avdunstning.

Figur 29 visar den uppmätta balansen för Bottniska viken. Älvtentillrinningen har bestämts på grundval av dagliga vattenföringsuppgifter från 20 svenska och 24 finska älvar.

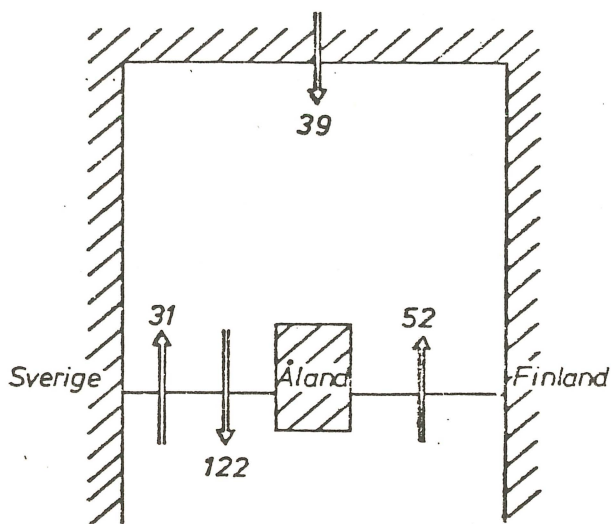
Figur 29. Medelvärden av uppmätta transporter till och från Bottniska viken under perioden 770615 - 0815 ($\text{km}^3/\text{månad}$).



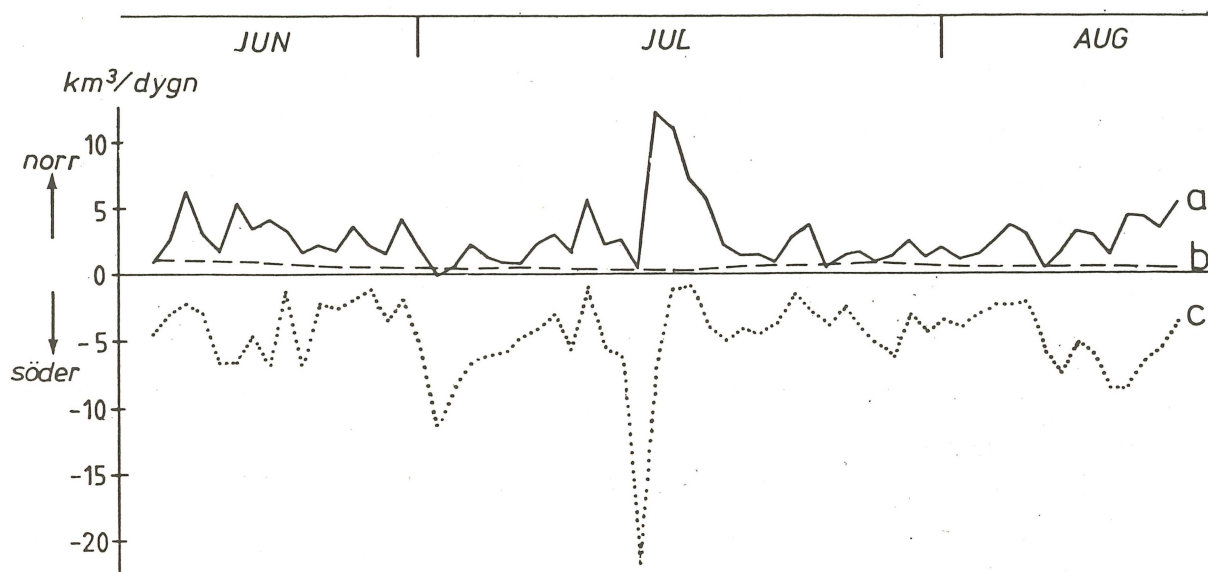
Summering av de olika transporterna ger $-36 \text{ km}^3/\text{månad}$, dvs utflödet är större än tillflödet.

I Hela (se ref 13) har gjort en beräkning av motsvarande transporter. Han har valt två lugna dagar, 20 - 21 juni 1956, då stationära förhållanden antogs. Beräkningarna baserar sig på hydrografiska data. Summan blir naturligtvis noll. Överfört till figur, liknande den ovan och omräknat till $\text{km}^3/\text{månad}$ ger Helas arbete figur 30.

Figur 30. Transporter till och från Bottniska viken beräknade ur hydrografiska mätningar av I Hela, 1973, omräknade till $\text{km}^3/\text{månad}$.



Dygnsvisa variationer av transporter till och från Bottniska viken redovisas i figur 31. Det största utflödet genom Ålands hav och Skärgårdshavet tillsammans uppmättes till $-22 \text{ km}^3/\text{dygn}$ den 14 juli.



Figur 31. Inflöde (a), utflöde (c) genom Ålands hav och Skärgårdshavet samt tillrinning från älvar (b), Bottniska viken 770615 - 0815 (km^3/dygn).

Med hjälp av en i tidigare delrapport (se ref 2) beskriven metod har volymsförändringarna i Bottniska viken bestämts. Dess yta har indelats i 11 delytor, där 5 svenska och 6 finska peglar fått representera dessa delytors rörelser i vertikalled. Summering har sedan gett hela Bottniska vikens volymsförändringar från dygn till dygn.

Den maximala volymsförändringen, som på detta sätt har registrerats inom ett dygn under sommaren-hösten 1974 och sommaren 1977, var en ökning på 43 km^3 som inträffade mellan 1 och 2 oktober 1974. Då den sammanlagda tvärsnittsytan i Ålands hav och i Skärgårdshavet är 1.4 km^2 , så innebär den volymökningen en genomsnittlig nordgående strömhastighet på 36 cm/s . Under detta dygn förändrades Bottniska vikens volym med 0.8% . Eftersom volymsförändringen under hela den tid strömmätningar pågått som mest varit 1.8% , så innebär det, att de stora volymsförändringarna kan ske hastigt, på ett par dygn.

Enligt peglarna har Bottniska vikens volym ökat med i medeltal $2 \text{ km}^3/\text{månad}$ under den aktuella perioden: juni - augusti 1977. Jämför man med den minskning på $36 \text{ km}^3/\text{månad}$ som de uppmätta transporterna (fig 29) pekade på, så erhålls en differens på

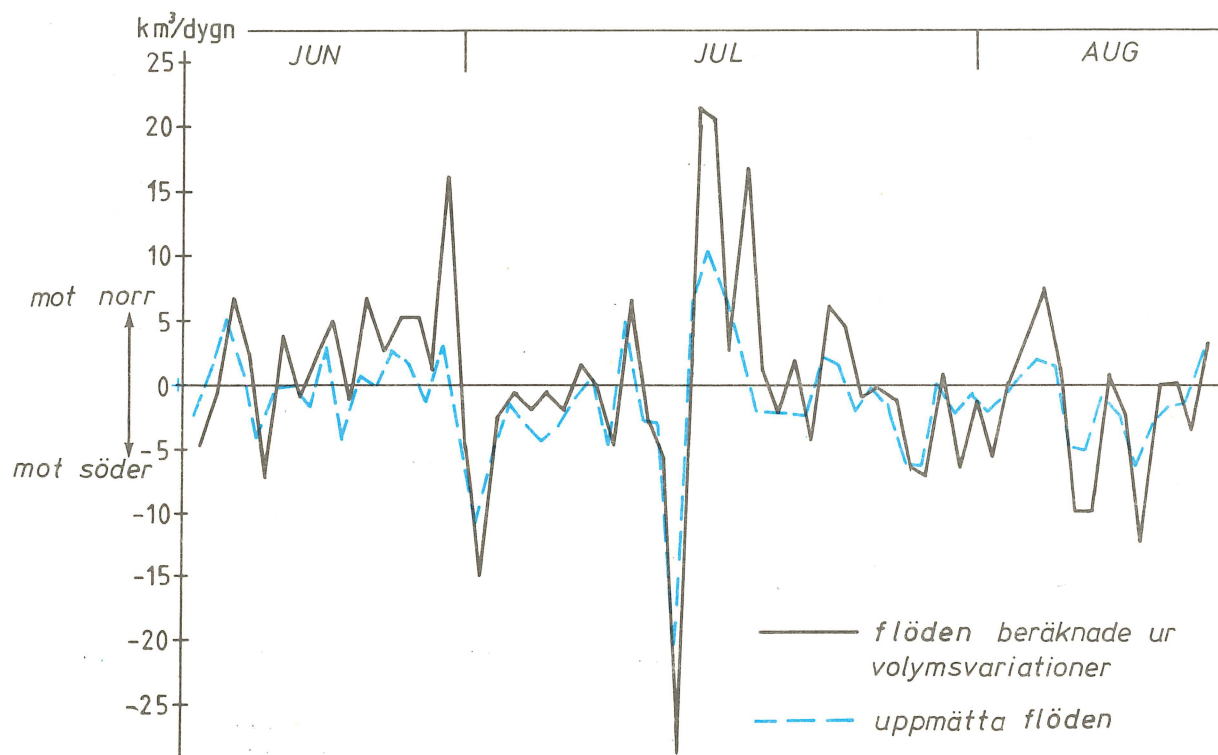
38 km³/månad. Varifrån detta fel härstammar är svårt att säga. Transportmätningarna visar för mycket utflöde alternativt för lite inflöde, eller också är de uppmätta volymförändringarna felaktigt bestämda. Ur följande tabell framgår, att differensen är ojämnt fördelad i tiden. Den är störst i början av perioden och mycket liten i slutet.

Mån	Netto Ålands hav	Netto Skärg.hav.	Till- flöde älvar		Totalt till- flöde		Till- flöde ber fr volym- förändr		Differens
jun [*]	-15	-3	25	=	7	-	79	=	-72
jul	-87	19	17	=	-51	-	-13	=	-38
aug [*]	-89	22	17	=	-50	-	-52	=	2

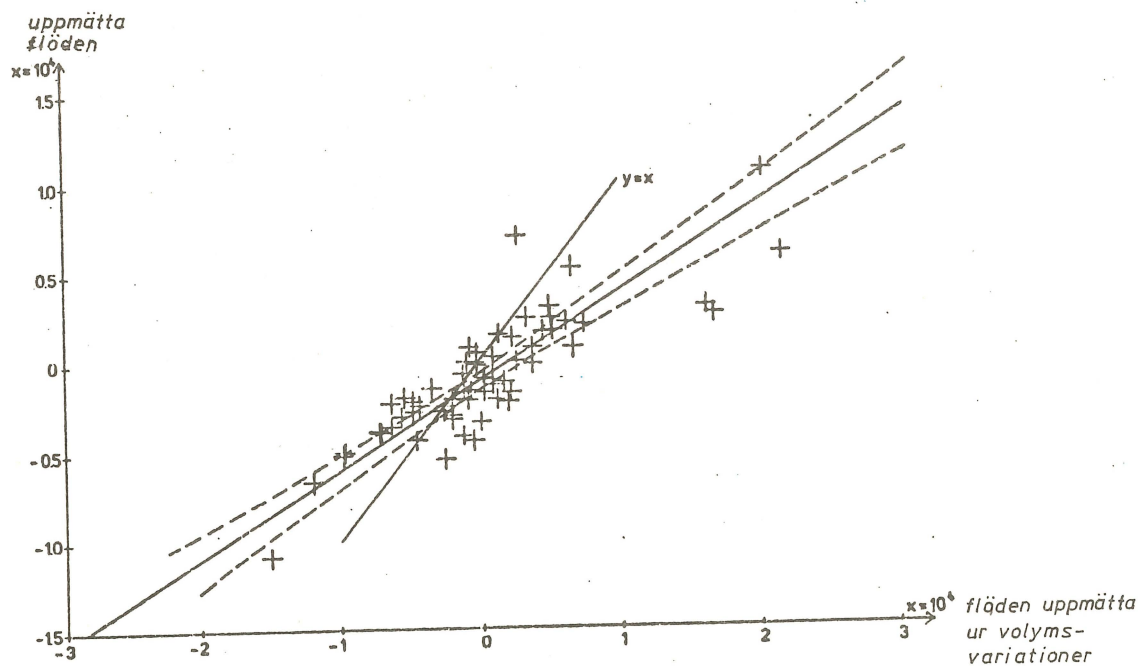
Tabell 10. Jämförelse mellan uppmätta tillflöden och från volymsförändringar beräknade tillflöden till Bottniska viken gällande för perioden 770615 - 0815 (km³/månad).

**) endast halv månad uppmätt, alla värden multiplicerade med två.*

Figur 32 visar att om man dygn för dygn jämför de uppmätta och de från volymförändringarna beräknade flödena, så är tidvis överensstämmelsen god. Det är främst vid större ökning av volymen, som några motsvarande tillflöden ej registrerats. Däremot stämmer de registrerade utflödena bättre med de minskningar av volymen som peglarna visar. Generellt gäller också, att volymförändringarna antyder större transporter än vad som verkligen uppmätts.



Figur 32. Jämförelse mellan uppmätta och ur volymsförändringar beräknade flöden till och från Bottniska viken under perioden 770615 - 0815 (km^3/dygn).



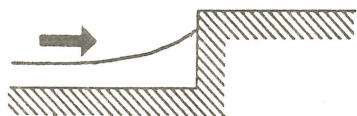
Figur 33. Regressionslinje med 95-procentigt konfidensintervall för uppmätta och ur volymsförändringar beräknade flöden.

Diskussion om differensen:

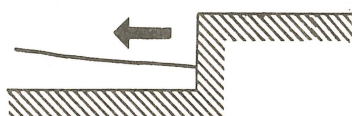
Sett över hela perioden 15 juni - 15 augusti skiljer sig alltså det nettoflöde som strömmätarna visar från det nettoflöde som volymförändringarna ger. Strömmätarna ger ett nettoutflöde på totalt 72 km^3 , vilket svarar mot att vattenytan i Bottniska viken i medeltal skulle ligga ungefär 70 cm lägre i slutet av perioden jämfört med i början. Peglarna visar istället på ett nettoinflöde på 3 km^3 , dvs en vattenståndshöjning på i medeltal 3 cm.

Felet kan ligga i transportberäkningarna eller i volymsberäkningarna eller i båda.

Volymsberäkningarna kan störas något av att peglarna ligger vid kusterna där vinduppstackning av vatten kan ske. Detta kan medföra att vattenytan nära kusten vid pålandsvind ändras mer än vad den gör vid motsvarande frånlandsvind.



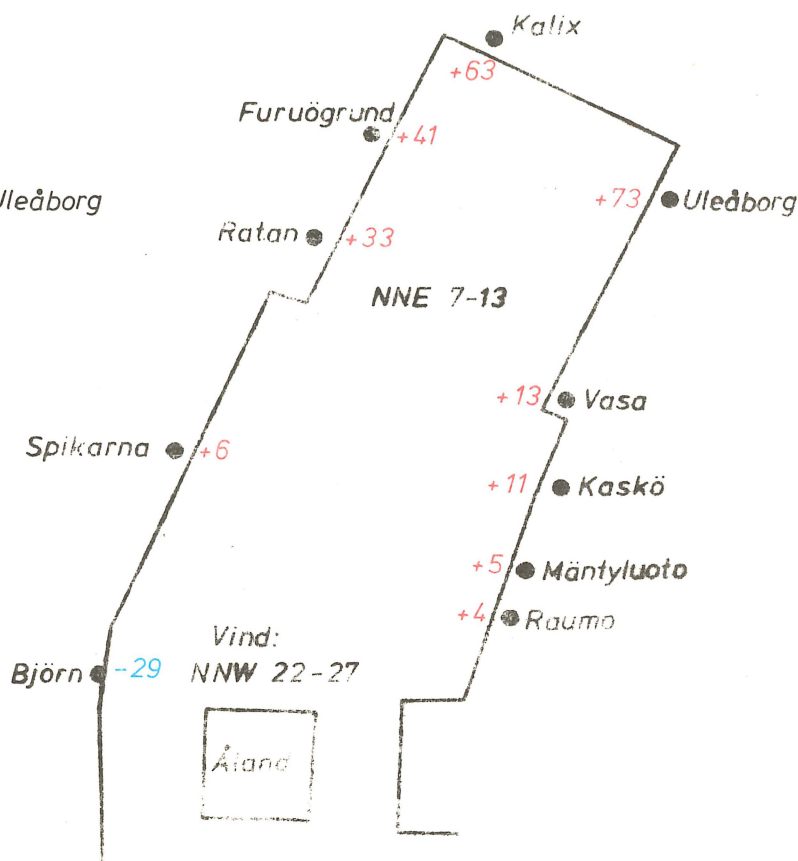
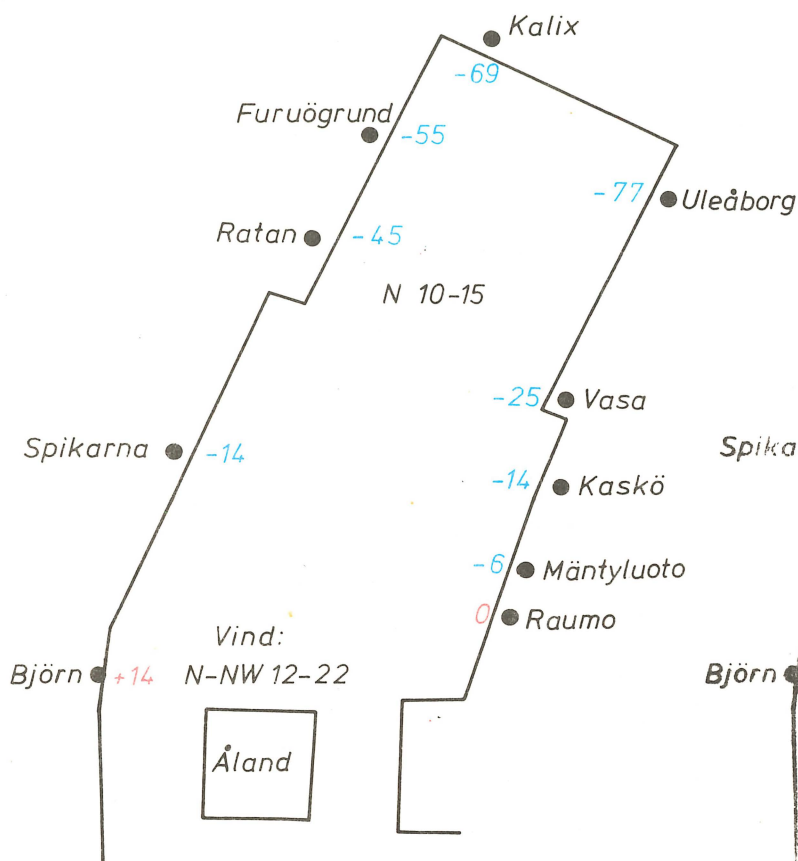
a) pålandsvind



b) frånlandsvind

Fenomenet skulle kunna leda till att de av vinduppstackning orsakade vattenståndsförändringarna inte gäller för de mera öppna vatten ute i Bottniska viken. De beräknade volymförändringarna, och därmed transporterna, ger för höga positiva värden.

Exempel på de stora svängningar som kan förekomma ges av figurerna 34 - 35.



Figur 34. Vattenståndsändring i cm från kl 11.00 den 14 juli till kl 11.00 den 15 juli, 1977.

Figur 35. Vattenståndsändring i cm från kl 11.00 den 15 juli till kl 11 den 16 juli, 1977.

För nettoflödet under en längre tidsperiod är det vattenståndets förändring mellan start- och slutdatum som är av betydelse. Runt 15 juni och 15 augusti skedde inga dramatiska svängningar på något håll. Det finns därför skäl att anta att volymförändringen under hela perioden ges korrekt av peglarna. Det innebär en mycket liten ökning av volymen, ungefär 3 km^3 .

Det av strömmätarna uppmätta flödet ger antingen en för stor uttransport eller en för liten intransport. Differensen 72 km^3 innebär för hela tvärsnittsytan i Ålands hav och Skärgårdshavet en medelhastighet ut ur Bottniska viken på 1 cm/s under de två månaderna. Orsaken till differensen måste vara bristande representativitet hos några av, eller alla, strömmätarna över de delar de tilldelats. Det förefaller mindre troligt att tekniska brister hos instrumenten orsakat fel av den här karaktären.

Osäkerheten om huruvida en strömmätare är representativ över en

delyta ökar med storleken på ytan och om ytan är ojämnt fördelad i förhållande till mätpunkten. Dessutom ger en stor delyta en stor del av den totala transporten, dvs ett mindre fel kan betyda ett stort procentuellt fel i det totala flödet. Mycket talar för att problemen med representativiteten är störst i det övre skiktet. En bidragande orsak till felet kan vara att gränslinjen mellan 8- och 40- metersmätarna är felaktigt vald. Det finns inga temperaturmätningar som visar var termoklinen är belägen från dag till dag. Eftersom den sydgående vattentransporten kan vara för stor och felet är störst i juni och minst i augusti, så skulle detta innebära att 24-metersgränsen låg mycket för lågt i juni och litet för lågt i juli, men var riktig i augusti. Detta kan inte förklara hela differensen, men det har troligen medverkat.

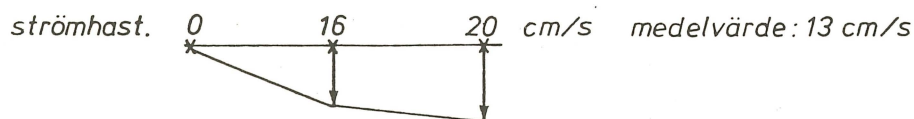
I en tidigare rapport (se ref 5) har studerats hur känsligt resultatet är vid en förändring av tvärsnittsytornas gränser. Under en månad utan termisk skiktning medförde 10 meters höjning respektive sänkning av gränslinjen mellan 8- och 40- metersmätarna en nettoändring på +30 respektive -20 km³/månad.

Att bestämma delytorna i Skärgårdshavet var för de ytligast ligande strömmätarna svårt, då området är så topografiskt besvärligt. Det är troligt att strömmätarna visar en över delytan representativ riktning, medan beloppet på hastigheten är mera osäkert. Om riktningsfördelningen för strömmen i Skärgårdshavet i så fall är korrekt, så skulle ändrade absolutbelopp på transporterna i det övre skiktet inte innebära så mycket eftersom intransport och uttransport är ungefär lika vanliga.

Återstår ytskiktet i Ålands hav. Där visar instrumenten utström under nästan hela perioden vid vertikal S2A (13 m), S3 (8 m) och S7 (8 m). De största ytorna finns vid S2A (13 m) och vid S7 (8 m), där mätarna har antagits representera de grunda och vidsträckta områdena väster och öster om själva mätområdet.

För att minska uttransporten med 72 km³ skulle de hastigheter som uppmätts vid dessa två mätare behöva minskas med ungefär 40 procent. Det betyder att strömhastigheterna nära kusterna

måste vara små. Ett exempel, mycket hypotetiskt:

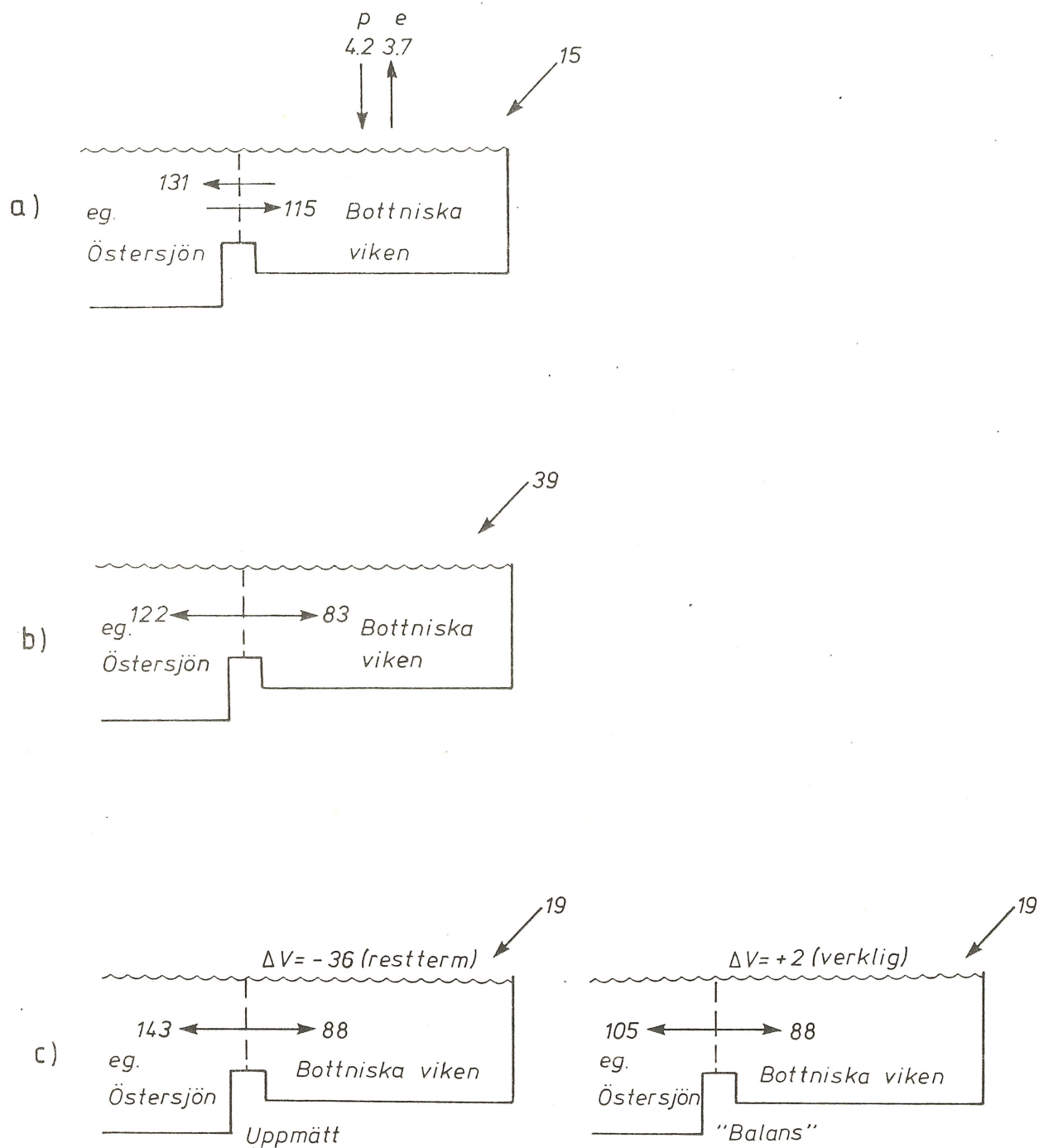


Jämförelser med tidigare uppskattningar

H Dahlin (se ref 14) har med hjälp av Knudsens relationer uppskattat Bottniska vikens vattenbalans. Han har där antagit en utgående vattentransport med salthalten 5.8 ‰ och en ingående med 6.6 ‰. Salthaltsvärdena bygger på provtagningar från juni - oktober 1968-72. Balansen är publicerad i form av årsmedelvärden, men har här räknats om till månadsmedelvärdet för jämförelsens skull.

I Helas (ref 13) balans, baserad på hydrografiska mätningar 20 - 21 juni 1956, med antagande om stationära förhållanden framgår nedan.

SMHIs och HFIs balans är baserad på strömmätningar under perioden 15 juni - 15 augusti 1977. Den finns i två versioner: Den första är den från strömvärden och vattenföring framräknade. Här balanserar inte transporterna och volymsförändringarna varandra. Den andra versionen har korrigerats i överensstämmelse med diskussionen ovan, dvs transporten förbi S2A (13 m) och S7 (8 m) har minskats med 40 procent och därmed har "balans" uppnåtts.



Figur 36. Vattenbalans för Bottniska viken ($\text{km}^3/\text{månad}$).

a) Dahlin (m h a Knudsens relationer). Ursprungligen årsmedelvärden, omräknade till månadsmedelvärden. I balansen ingår även nederbörd (p) och avdunstning (e).

b) Hela, balansen baserad på hydrografiska mätningar.

c) SMHI:s och HFIs uppmätta balans. Den vänstra figuren visar vatten-transporterna ur strömmätningarna, den högra visar vattentransporterna korrigerade så att volymsförändringen stämmer med den ur vattenstånd beräknade.

MATERIALTRANSPORTER

TRANSPORT AV SALT

Strömmätarna i Ålands hav har under tiden 15 juni - 16 augusti 1977 varit utrustade med salthaltsgivare. Transporten av salt har därför kunnat beräknas för denna period, förutom för 4 dygn i början av juli då instrumentfel uppstod.

Dessa data är intressanta ur två aspekter:

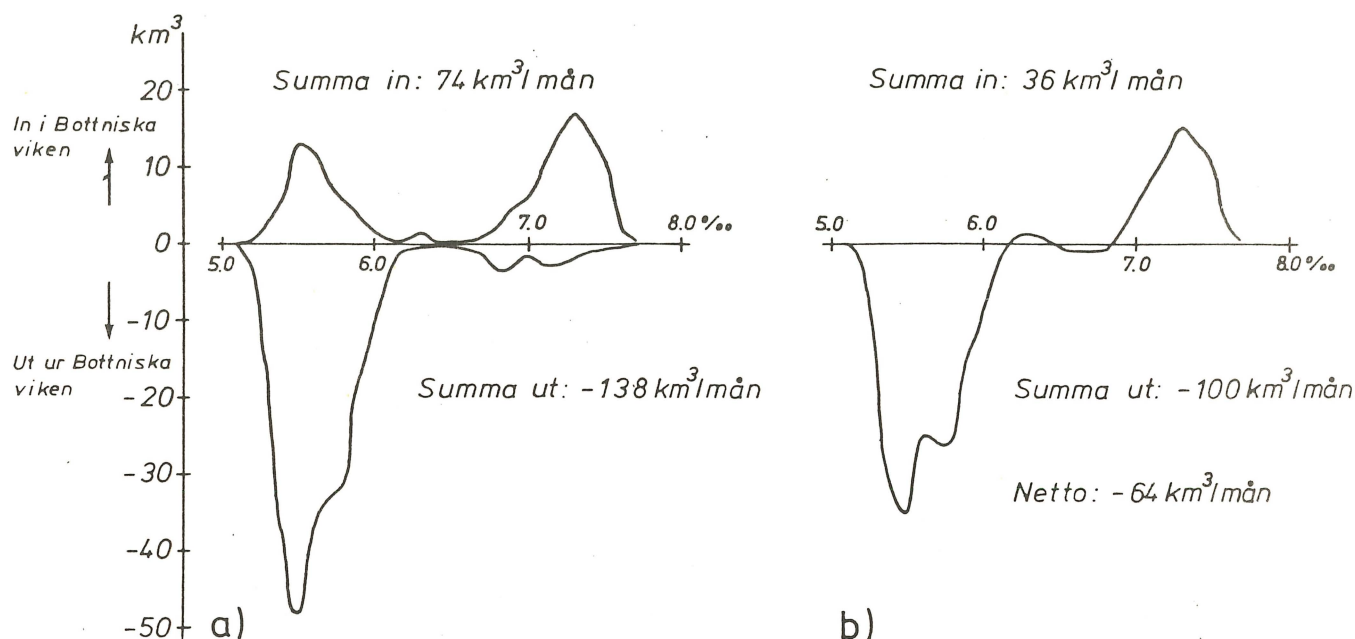
- salthalten beskriver till en del varifrån vattnet kommer. Koncentrationen av en annan, mera svårsmäckt, storhet kan ha ett samband med salthalten. I så fall kan man indirekt beräkna transporten av storheten i fråga.
- eftersom salthalten s a s märker ett visst vatten, kan man få en uppfattning om cirkulationen och blandningen av olika vatten inne i Bottenhavet.

Samband totalfosfor - salthalt

De samtidiga mätningarna av totalfosfor och ström har varit för få, både i tid och rum, för att möjliggöra en noggrann beräkning av fosforflödet mellan Bottniska viken och Östersjön. Däremot finns betydligt fler samtidiga mätningar av totalfosfor och salthalt. En test gjordes därför för att se om något entydigt samband mellan de två sistnämnda storheterna kunde urskiljas. 167 samtidiga mätningar i Ålands hav gav korrelationskoefficienten 0.66 mellan halten totalfosfor och salthalt. Inget klart samband har kunnat påvisas.

Flödet som funktion av salthalten

Figur 37 ger följande bild av cirkulationen i Ålands hav sommartid: Ett sötare vatten med salthalten 5-6 ‰ flödar i medeltal söderut medan saltare vatten med salthalten 7-7.5 ‰ flödar norrut. Eftersom det saltare vattnet är tyngre än det sötare kommer de två vattentyperna att bilda två skikt där det saltare återfinns närmast botten.



Figur 37. Flöde av vatten som funktion av salthalt i Ålands hav ($\text{km}^3 / 0.1 \text{ ‰}$). Period: 770615 - 0816, exklusive 0703 - 0707.

a) In/utflöde summerade var för sig. Mätintervall: 10 min.

b) Nettoflöde.

De i figur 37 a) redovisade totala in- och uttransporterna överstiger de värden på transporter som redovisats i föregående kapitel. Det beror på att där har dygnsmedelvärdena på strömmen använts medan den i figuren ovan angivna transporten bygger på ett strömvärde var 10:e minut. Däremot blir naturligtvis nettotransporterna i figur 37 b) lika stora som de som uträknats med hjälp av dygnsmedelvärden, fränsett den lilla skillnad som orsakas av att fyra dygn i början av juli inte finns med här.

Diskussion om cirkulationen i Bottniska viken

Som utgångspunkt användes kurvan i figur 37 b). Under mätperioderna var volymsförändringarna i Bottniska viken i medeltal noll, vilket var en ren slump. Tillrinningen från land förklarar bara en mindre del av det nettoutflöde som finns i figur 37 b). Detta innebär att nettoströmmen i Skärgårdshavet borde ha varit nordgående.

Skärgårdshavet är ett betydligt grundare område jämfört med Ålands hav. Det är därför osannolikt att det vatten, saltare än 6.8 ‰, som strömmat norrut i Ålands hav kunnat strömma söderut i Skärgårdshavet.

Antagande: Salthaltsfördelningen är konstant i Bottenhavet under mätperioden. (Observera att detta inte har kunnat verifieras då mätningar från Bottenhavet saknas). I så fall uttrycker inflödet i figur 37 b det "effektiva" utbytet, dvs detta vatten måste utblandas till en lägre salthalt innan det flödar tillbaka söderut genom Ålands hav eller Skärgårdshavet. Under skiktade sommarförhållanden är detta vatten det som förnyar bottenvattnet i Bottenhavet.

TRANSPORT AV TOTALFOSFOR

Under perioden 24 juli - 8 december 1974 pågick strömmätningar samtidigt som koncentrationer av totalfosfor uppmättes en gång i månaderna i vertikal "Ålands hav". Totalt blev det fem mättillfällen, alla utförda av Kustbevakningen och analyserade av Fiskeristyrelsen. Det finska Havsforskningsinstitutet, HFI, utförde 1973 och 1974 ett stort antal mätningar av totalfosforinnehållet i Ålands hav. Dessa är bearbetade och använda vid transportberäkningar i delrapport 4 och 5. Vid en interkalibrering på Askö 1974 låg HFIs värden något längre från det gemensamma medelvärde än Fiskeristyrelsens. Därför har i denna rapport Kustbevakningens mätningar använts.

Med ett så litet underlag blir naturligtvis uppskattningen av fosforflödet mycket grov. Ett mycket stort material krävs för att få goda resultat. Det är dock viktigt att ha i minnet att värdena på vattentransporterna varierar från stora positiva tal till stora negativa tal medan närsaltskoncentrationerna varierar litet kring ett medelvärde. Det är alltså felen i vattentransportberäkningarna som är den största osäkerhetsfaktorn när det gäller närsaltstransporten.

Tidigare har framgått:

- Koncentrationen av totalfosfor kan vara olika vid syd- eller nordgående transport.
- De horisontella skillnaderna i totalfosforkoncentrationen är mindre än de vertikala.
- Om man bortser från grundområdet vid vertikal S4A, som är av mindre betydelse för utbytet, så strömmar det oftast åt samma håll i ytskiktet. På större djup sker den största delen av transporten i västra Ålands hav där strömmen i vertikalerna

S1 och S3 oftast har samma riktning.

Månadsmedelflödet av vatten in i respektive ut ur Bottniska viken har bestämts, i tre olika skikt (se tidigare kapitel). Medelvärden för koncentrationen av totalfosfor har bestämts för varje skikt. Ett medelvärde har beräknats för tillfällena då nettoflödet i respektive skikt varit nordgående och ett medelvärde då nettoflödet varit sydgående.

Nivå:	tot-P($\mu\text{g}/\text{l}$)		Flöde($\text{km}^3/\text{månad}$)		Transport av fosfor (ton/månad)	
	in	ut	in	ut	in	ut
0-24	-	0.46	43	-162	613 ^{*)}	-2310
24-60	0.60	0.60	27	-12	502	-223
60-b	0.62	0.75	13	-3	250	-70
				Summa:	1365	-2603

Tabell 11. Medelvärden av totalfosfor-koncentrationer och flöden i Ålands hav 740725 - 1208. Totalfosforkoncentrationerna bygger på Kustbevakningens månadsvisa mätningar vid vertikal "Ålands hav". Transport av totalfosfor (ton/månad) genom Ålands hav.

*) konc vid utflöde använd.

Under denna tid transporteras alltså genom Ålands hav dubbelt så mycket fosfor ut som in. Nettotransporten var ca 1200 ton fosfor/månad från Bottniska viken till norra Östersjön. Om vattentransporten korrigeras enligt metoden som tillämpades för 1977 års material (40-procentig minskning av yttransporten på västra och östra sidan) så minskar den sydgående nettotransporten genom Ålands hav till drygt 800 ton/månad.

Dahlin (se ref 8) har via Knudsens relationer uppskattat fosfortransporten genom Ålands hav och Skärgårdshavet tillsammans. Han erhåller som medelvärden under ett år ett inflöde av 1426 ton fosfor/månad och ett utflöde av 1623 ton fosfor/månad.

Det kan vara av intresse att jämföra dessa resultat med hur stora mängder som förs in i Bottniska viken från kommuner, industrier, floder och via nederbörd. I genomsnitt per månad tillförs 580 ton totalfosfor(se ref 8).

TRANSPORT AV TOTALKVÄVE

Under sommaren och hösten 1974 utförde HFI ett stort antal provtagningar för analys av totalkväve i norra Ålands hav. Det var dock ett mindre antal som gjordes i tröskelområdet och samtidigt med strömmättningsperioden. Därför har ett medelvärde beräknats för vart och ett av de tre skikten representerande förhållandena i hela norra Ålands hav. Medelvärdena bygger alltså på värden från flera olika vertikaler som uppmätts vid olika tidpunkter under sommaren och hösten 1974. Det har således inte varit möjligt att få skilda värden på koncentrationen vid syd- respektive nordgående ström.

Nivå:	tot-N(μ g/l)	Flöde ($\text{km}^3/\text{månad}$)		Transport av kväve (ton/månad)	
		in	ut	in	ut
0-24	15	43	-162	9 030	-34 020
24-60	15	27	-12	5 670	-2 520
60-b	16	13	-3	2 912	-672
			Summa:	17 612	-37 212

Tabell 12. Medelvärden av totalkväve-koncentrationer och flöden i Ålands hav 740725 - 1208. Totalkvävekonzentrationserna bygger på HFIs provtagningar. Transport av totalkväve (ton/månad) genom Ålands hav.

Nettotransporten av kväve genom Ålands hav har alltså uppskattats till knappt 20 000 ton per månad från Bottniska viken till Östersjön. Vid en korrigering av yttransporten enligt ovan minskar nettouttransporten till cirka 14 000 ton per månad.

Dahlin (se ref 8) uppskattar för Ålands hav och Skärgårdshavet tillsammans inflödet till 16 100 ton kväve/månad och utflödet till 20 150 ton kväve/månad.

Det kan vara av intresse att jämföra dessa resultat med hur stora mängder som förs in i Bottniska viken från kommuner, industrier, floder och via nederbörd. I genomsnitt per månad tillförs 8 500 ton totalkväve (se ref 8).

SMHI:s beräkningar av fosfor- och kvävetransporterna är utförda

för Ålands hav enbart. Transporterna genom Skärgårdshavet är alltså inte medtagna, vilket gör att SMHI:s och Dahlins värden inte är direkt jämförbara. Emellertid kan man konstatera, att SMHI:s beräkningar ger större värden på såväl in- som uttransport, vilket främst beror på att de övervägande bygger på material från en höstperiod, då vattenutbytet är störst. Totalt sker otvivelaktigt en nettotransport söderut, av såväl fosfor som kväve, från Bottniska viken till egentliga Östersjön. Storleken på denna nettotransport kan variera betydligt.

VÄRMETRANSPORTER

Uppvärmningen av egentliga Östersjön och Bottniska viken börjar i allmänhet i mitten av mars och avkylningen i augusti. Under uppvärmningsperioden förs värmnet nedåt genom den turbulens som orsakas av vindstressen. Ett språngskikt i temperaturen utbildas, som normalt ligger på 20 - 25 m djup. I Östersjön når endast några få procent av det tillförda värmnet ner under 50 - m nivån.

Värmeinnehållet definieras här som den mängd värme, som måste föras bort från ett system för att temperaturen 0°C skall uppnås. Detta kan uttryckas som $Q = \int_V \rho c t \, dV$, där ρ = densitet, c = specifikt värme, t = temperatur och V = volym. För ytterligare beskrivning av beräkningarna se ref 4.

Värmetransporten genom Södra Kvarken.

Den genom Södra Kvarken uppmätta och beräknade värmetransporten har jämförts med den totala förändringen av värmeinnehållet i Bottniska viken under motsvarande period. Dessa studier har utförts för att man skall få kännedom om hur stor betydelse dessa värmetransporter kan ha för avkylningsprocessen och för isläggningen i Bottniska viken. De meteorologiska förhållandena har naturligtvis det största inflytandet, men utbytet med Östersjön har också en viss betydelse. Det värme, som tillförs via floder och nederbörd, är försumbart.

Kustbevakningen har utfört regelbundna mätningar, dels i sydvästra delen av Bottenviken, dels i nordvästra Bottenhavet. Mätningarna under perioden 29 juli - 2 december 1974 betraktas här och ligger till grund för uppskattningar av det totala värmeinnehållet i Bottniska viken. Värmetransporten genom Södra Kvarken finns registrerad och beräknad från 24 juli - 8 december 1974.

Förändringen av värmeinnehållet i Bottniska viken har beräknats mellan varje mättillfälle. Under den aktuella tidsperioden har elva delperioder betraktats. Under motsvarande tidsperioder har den uppmätta värmemängden, som passerat genom Södra Kvarken, beräknats.

Nedanstående tabell upptar resultat från sex delperioder, som faller inom avkylningsperioden. Tabellen är kompletterad med avkylningen i Bottniska viken fram till mitten av mars. Vid denna tidpunkt utfördes inga temperaturmätningar, utan minimitemperaturer är ansatta.

Värmetransporten genom Skärgårdshavet är även beräknad. Beräkningarna är baserade på temperaturmätningar, som är utförda i Själo under den aktuella perioden av HFI. Själo är belägen ungefär mitt i Skärgårdshavet, men lär ej vara helt representativ. Detta bör ändå bara ha en marginell effekt. Vattentransporten genom Skärgårdshavet har erhållits genom subtraktion av transporten genom Ålands hav från volymsförändringarna i Bottniska viken. Den härigenom erhållna vattentransporten är naturligtvis osäker. Den ger dock en fingervisning om värmetransportens storlek genom Skärgårdshavet. Resultaten framgår av nedanstående tabell.

Antal dagar	9	16	8	14	19	14	80	103	$W \cdot m^{-2}$
Datum	11(12)/9 - 20/9	20/9 - 6(7)/10	6(7) - 14/10	14 - 28 (29)/10	28(29)/10 - 16(18)/11	16(18) - 30/11 (2/12)	11/9 - 30/11	2/12 - 15/3	11/9 15/3
A = total förändring av värmeinnehållet i Bottniska viken, TW	-20	50	-71	-33	-22	-8	-11	-8	-100
B = uppmätt värmetrp genom Södra Kvarken, TW	-1	-2	-2	-1	-1	-1	-1		
C = värmetransport genom Skärgårdshavet, TW	1	2	2	2	2	1	+2		
B + C = värmetrans- port mellan Bott- niska viken och Östersjön, TW	0	0	0	1	1	0	+1		
$\frac{(B + C) \cdot 100}{A} \%$	0	0	0	3	5	0	~10 %		

Tabell 13. Förändringar i värmeinnehållet i Bottniska viken, samt uppmätta och beräknade värmetransporter.

Resultat

Totala avkylningsperioden, under vilken samtidiga mätningar av värmetransporten genom Ålands hav föreligger, är 11 september - 30 november, dvs 2.5 månader. Avkylningen i Bottniska viken under denna period var -11 TW (1 TW = 10^{12} W) och 1 TW transporterades in i Bottniska viken under perioden 14 oktober - 16 november.

Denna transport av värme kan ha bidragit till en försening av isläggningen i bassängerna. Om värmetillförseln antas fördela sig jämnt över hela Bottniska vikens volym, vilket är orealistiskt, erhålles en försening på i genomsnitt cirka 2 dagar.

Den tillförda värmemängden kommer enligt tabellen enbart in genom Skärgårdshavet; genom Ålands hav sker en nettouttransport av vatten, som i genomsnitt är något kallare än det, som transporteras in genom Skärgårdshavet. Detta innebär, att ett visst temperaturöverskott kan väntas förekomma i de östra delarna av Bottenhavet och södra delarna av Bottenviken. Vid mycket blåsiga väderförhållanden under hösten kan naturligtvis en fördelning över hela området vara möjlig. Perioden 14 oktober - 16 november var dock inte extremt blåsig. Palosuo (se ref 17) erhöll för hösten 1970 en försening på två veckor för Bottenvikens sydliga delar - 40 procent av dess totala yta. Med ett motsvarande antagande - att det tillförda värmetillskottet påverkat 40 procent av Bottniska vikens yta - erhålls en möjlig försening om cirka en vecka.

Huruvida detta är ett normalt värde, som kan anses vara inkluderat i den naturliga avkylningsprocessen, är svårt att säga. Naturligtvis är denna transport olika från år till år och kan även anta mer extrema värden. Resultatet tyder på att inom vissa delar av Bottenhavet eller Bottenviken kan en försening av isläggningen, som följd av värmetransporterna i vattnet, på någon eller några veckor förekomma.

REFERENSFÖRTECKNING

- (1) Ehlin U & Ambjörn C, 1974. Oceanografiska undersökningar i Ålands hav. Meddelande nr 1. HB Rapport nr 4 (SMHI).
- (2) Ehlin U & Ambjörn C, 1975. Oceanografiska undersökningar i Ålands hav. Meddelande nr 2. HB Rapport nr 10 (SMHI).
- (3) Ehlin U & Ambjörn C, 1976. Oceanografiska undersökningar i Ålands hav. Meddelande nr 3. HB Rapport nr 17 (SMHI).
- (4) Ehlin U & Ambjörn C, 1977. Oceanografiska undersökningar i Ålands hav. Meddelande nr 4. HB Rapport nr 24 (SMHI).
- (5) Ambjörn C, 1978. Oceanografiska undersökningar i Ålands hav. Meddelande nr 5. HB Rapport nr 30 (SMHI).
- (6) Ehlin U & Mattisson I, 1976. Volymer och areor i Östersjöområdet. Vannet i Norden, nr 1 - 1976.
- (7) Karlgren L, 1978. Närsalternas roll i kustvattnen. Diagnos - Östersjön, rapport från Statens Naturvårdsverk.
- (8) Dahlin H, 1977. Bottniska vikens materialbalans och hydrografi. Svenska Havsforskningsföreningens årsmöte, Umeå 1977.
- (9) Holmström I & Stokes J, 1978. Statistical forecasting of sea level changes in the Baltic. SMHI Rapport Nr RMK 9.
- (10) Krauss W & Magaard L, 1962. Zum System der Eigenschwingungen der Ostsee. Kieler Meeresforschungen 18.
- (11) Neumann G, 1941. Eigenschwingungen der Ostsee. Archiv Dtsch. Seewarte 61:4.
- (12) Falkenmark M, 1976. Östersjöns vattenomsättning - ett sambaliskt IHP-projekt. Vannet i Norden nr 1 - 1976.
- (13) Hela I, 1973. The Åland Sea, its surface topography and stationary currents. Geophysica 13:1.
- (14) Dahlin H, 1976. Hydrokemisk balans för Bottenhavet och Bottenviken. Vannet i Norden nr 1 - 1976.
- (15) Hansen W, 1956. Theorie zur Errechnung des Wasserstandes und der Strömungen in Randmeeren nebst Anwendungen. Tellus 8:3.
- (16) Svansson A & Szaron J, 1975. Sea level computations of the Baltic with a 20-canal model. Tellus 27:6.
- (17) Palosuo E, 1973. Bottenhavet och Bottenviken - två olika bäcken av Bottniska viken. Terra 85:3.

TEKNISKA DATA. MÄTMETODER

Temperatur

har i Ålands hav uppmätts med Aanderaa magnetbandregistrerande temperaturmätare. Den mäter temperaturen var 10:e minut på 11 olika nivåer med hjälp av termistorer, placerade i en oljefylld slang. Temperaturuppgifter har även erhållits från den termistor, som finns på Aanderaa strömmätare. Noggrannheten för dessa termistorer är $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$. Från Skärgårdshavet och från Bottniska viken har manuellt utförda temperaturavläsningar med kvicksilvertermometer använts.

Ström

har i Ålands hav uppmätts med Aanderaa magnetbandsregistrerande och Geodyne filmregistrerande strömmätare.

Aanderaa registrerar med hjälp av en Savonius-rotor ett hastighetsmedelvärde under 10 min. Riktningen ges av en fena och registreras momentant var 10:e min. Starthastigheten är ca 3 cm/s. Geodyne registrerar hastighet och riktning i form av 60-sekunders medelvärden. Den har Savonius-rotor och fritt svängande fena. Registreringsintervall 10 min och starthastighet ca 2.5 cm/s .

I Skärgårdshavet har Alexejev urverksdrivna och helt mekaniska strömmätare använts. Registrering sker med stämplor på en telegrafremsa. Rotorn ger hastighet och en fena ställer in mätaren i strömriktningen. Registreringsintervall 30 min och starthastighet ca 3.5 cm/s.

Som komplement till de automatiska strömmätningarna har manuella strömmätningar utförts med hjälp av gelatinpendel, typ Joel Haamer, och med fritt drivande strömkors.

Salthalt

har i Ålands hav erhållits från de Aanderaa-strömmätare, som varit utrustade med konduktivitetsgivare och temperaturgivare. Dessutom har värden från manuella provtagningar med analys utförd i induktiva laboratoriesalinometrar använts. Osäkerheten i resultaten är av storleksordningen en tiondels promille.

Total fosforkoncentration

har efter provtagningar bestämts på laboratorium hos SMHI, HFI och Fiskeristyrelsen. Metoden innebär persulfatuppslutning och efterföljande fosfatanalys, utarbetad av Murphy-Riley och modifierad av Koroleff.

Total kvävekoncentration

har efter provtagningar bestämts på laboratorium hos SMHI, HFI och Fiskeristyrelsen. Metoden innebär persulfatuppslutning, nitratreduktion och nitratanalys enligt Benschneider-Robinson.

Enpunktsförankrade bojssystem

Normalt användes på SMHI trepunktssystem vid förankring av automatiskt registrerande instrument. Detta system innebär att den flytboj där instrumentet hänger, hålls nere av tre ankare placerade i en triangel på botten.

Då mätningar skulle ske på stora djup, i rännan utanför Understen, där också en livlig båttrafik förekommer, ansågs att ett enpunktssystem borde användas.

Hur ett sådant system byggs upp och vilka erfarenheter som vanns, redovisas nedan.

Materielbeskrivning

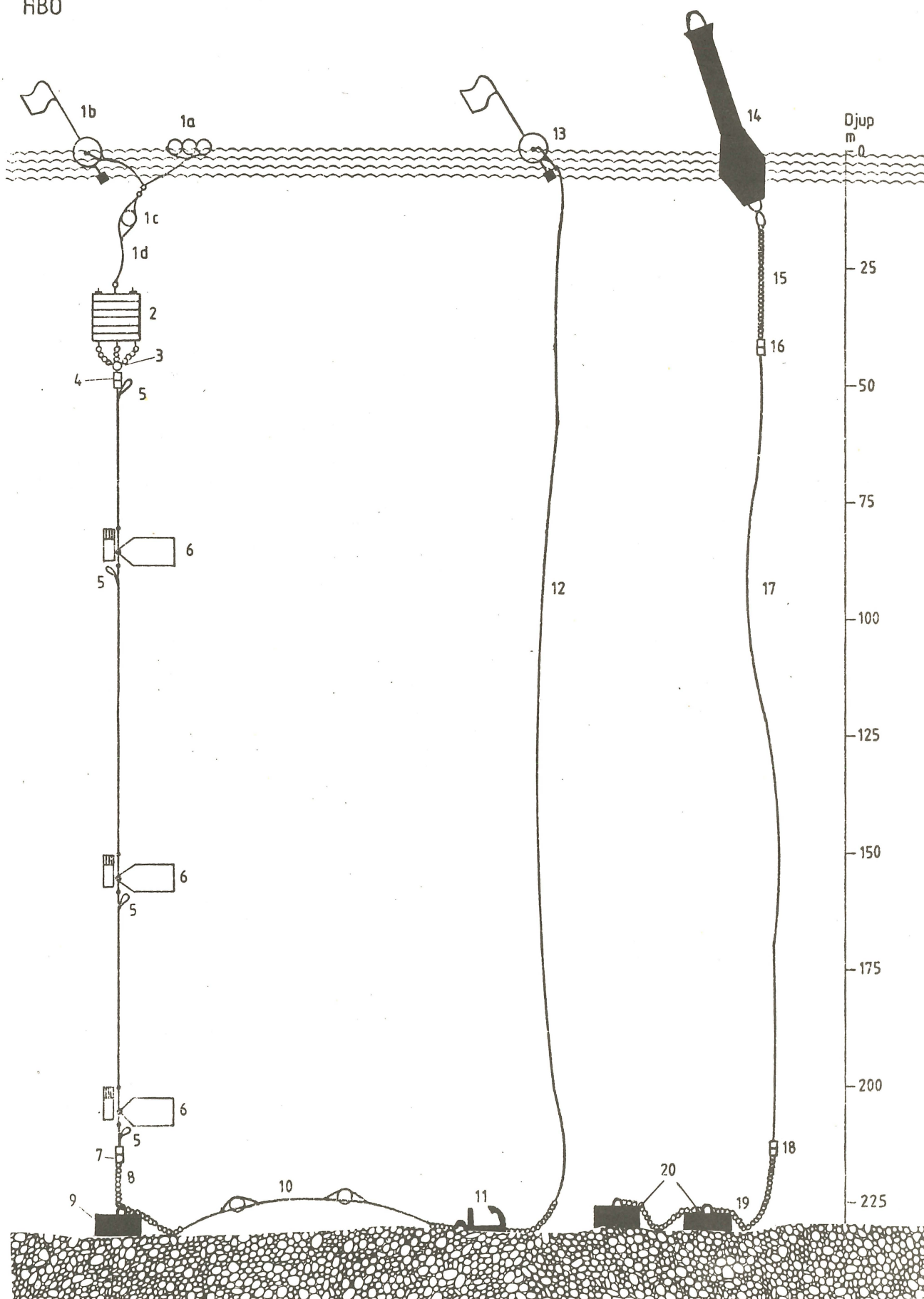
Enpunktssystemet bestod av följande komponenter (se skiss med numrerade detaljer).

1. Ytmarkeringsdelar
 - a) Tre hoplänkade trålkulor (11 tum) med lekare i övergången till tågverket.
 - b) Flaggrick med flytkropp av divynycell. Bägge ytmarkeringarna förenades i hanfot via en ny lekare till ytmarkeringslinan.
 - c) En trålkula sattes på ytmarkeringslinan, i syfte att hålla den flytande samt minska risken för insnärjning i bärbojen.
 - d) Ytmarkeringslinan av 14 mm polyten.
2. Bärbojen var uppbyggd av divynycellskivor med diametern 700 mm. Stålskivor i var sin ände, förenade med genomgående stål-bultar, höll ihop flytkroppen. Bojens volym ca 310 liter, dess massa 65 kg. Mätinstrumenten, mätwire och kätting hade en tyngd av ca 100 kp. Systemets nettolyftkraft blev då ungefär 145 kp.

Genom centrum drogs en kätting (12 mm) vars övre del anslöts till ytmarkeringslinan. Dess undre del anslöts via en stålring och en lekare till mätarwiren. Anledningen till att kättingen användes i stället för en stång genom bojen, var att vid utsättning ev snedbelastning ej skulle knäcka den. En kätting är lätt att koppla vilket är en fördel och dessutom är den starkare än ringmuttrar vilka tidigare visat sig vara svaga punkter.

SMHI
HBO

ENPUNKTSFÖRANKRAT BOJSYSTEM I ÅLANDS HAV



Bärbojens lyftkraft överfördes via tre enmeters kättingbitar till stålringen.

3. Stålringen förenade alla bojkättingar med: 4 - 13.
4. En rostfri kullagerlekare av typ FLEKKEHAUG SW33S.
5. 10 mm galvaniserad mätwire. En stropp med lyftöga var insplit-sad vid en övre änden för att åstadkomma avhållsmöjlighet.
6. Aanderaa strömmätare på 80, 150 och 200 m djup.
7. Lekare, se punkt 4.
8. 10 m kätting.
9. Betongankare med tyngd motsvarande 500 kp.
10. Sveplina med trålkulor. 300 m 14 mm polyeten.
11. Stockankare med kätting.
12. Pricklina 14 mm polyeten.
13. Flaggprick.
Till lysprickens förankring användes 12 mm galvaniserad wire till största delen istället för kätting. Detta gjordes för att nedbringa tyngden. 13 mm kätting och 12 mm wire väger ca 3 kg/m resp 0.45 kg/m.
14. Stor lysprick.
15. 20 m kätting 30 mm.
16. Lekare, se punkt 4.
17. 170 m wire.
18. Lekare, se punkt 4.
19. 80 m 13 mm + 18 mm kätting.
20. Två betongklumpar à 250 liter vardera.

Trepunktssystemen som användes i de fyra övriga mätvertikalerna var av samma typ som nyttjats senast i Ålands hav 1976. Vissa modifikationer hade dock gjorts. Bärbojens lyftkraft reducerades med 20 %. Vidare hade infästningarna för staglinorna ändrats. En kättingstump ersatte de tidigare ringmuttrarna.

Erfarenheter och förbättringsförslag av enpunktssystemet.

Ytmarkeringarna vid bärbojen försvann. Först flaggpricken och sedan de hoplänkade trålkulorna. Orsak okänd men påsegling kan vara en anledning, även så materialstress beroende på en inte helt optimal konstruktion.

För att undvika detta kan en enklare typ av markering t ex trålkulor på wire användas. Byte bör göras vid varje service-tillfälle, då även ytmarkeringslinan bör bytas.

Flaggprickar (13) har dragits ned av strömmen. Bojkroppen har tryckts ihop och sjunkit till botten. Enligt tillverkaren skall materialet vara tryckbeständigt ned till 95 m.

Detta kan man komma ifrån om pricklinan förses med några flytkroppar på olika avstånd och lindimensionen minskas. En annan typ av prick kan utformas genom att trålkulor (trycktåliga) träs på en stång med flagga.

Den översta delen av mätarwiren har skamfilats och deformerats. Kalven tittade fram. De övriga wirebitarna var i stort sett bra. Denna påverkan beror i första hand på hanteringsslitage.

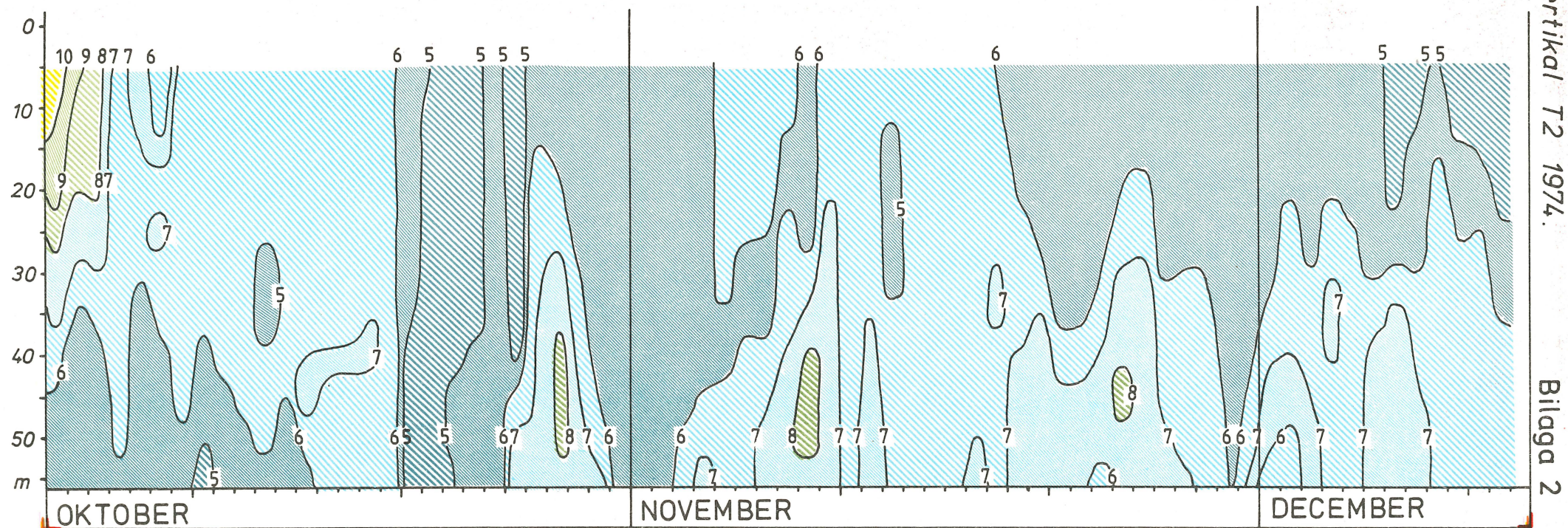
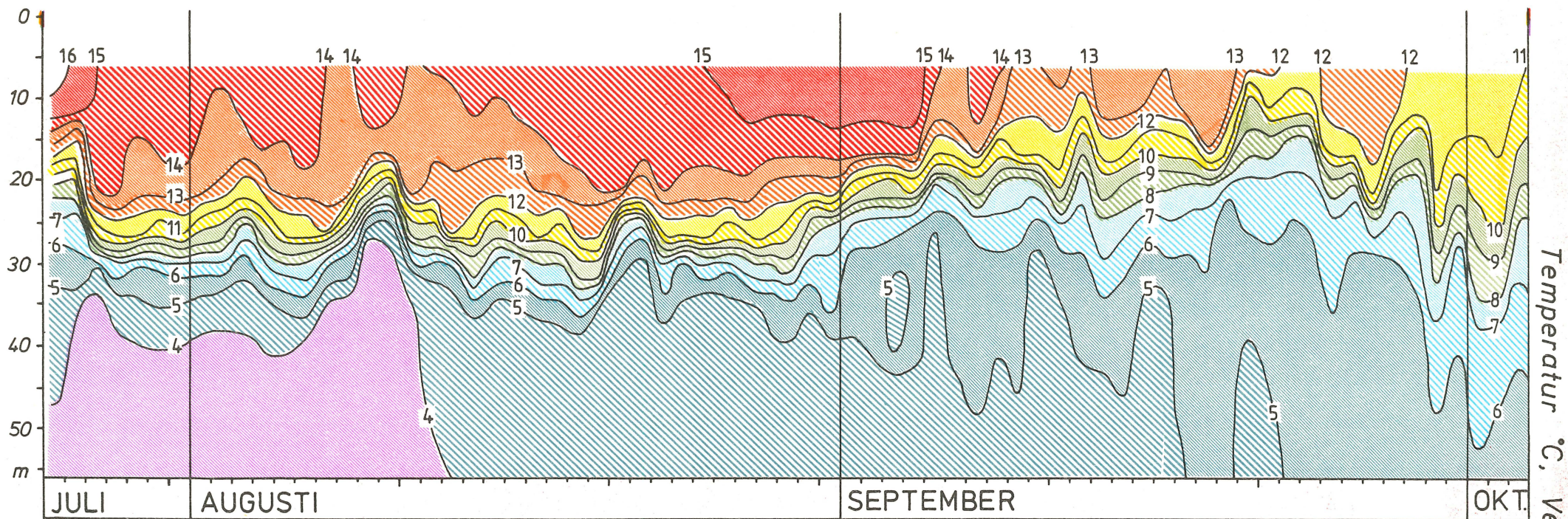
Förslag: Wiren måste inspekteras noga vid varje servicetillfälle. Färdigsplitsade utbytesbitar skall alltid medföras och lyftögestropparna görs 0.5 m längre.

Djuphållning

Enligt tryckmätaren i instrumentet på 80 m har nedsjunkningen vid ett tillfälle varit 3.5 m. Detta tillfälle varade dock endast någon timme. I samband med denna maximala djupändring var nedsjunkningen 2-3 m under en 12 timmars period. Samtidigt registrerades också mätperiodens högsta strömhastigheter, 50 - 60 cm/s.

Vid strömhastigheter på 40 cm/s och lägre har endast smärre och långsamma djupförändringar skett.

Erfarenheterna från detta enpunktssystem är goda. Det kan även med fördel användas i grundare vatten, t ex vid mätningar i farleder med begränsat utrymme. Wiren i mindre system kan då bytas ut mot tågvirke i lämplig dimension.



Temperatur $^{\circ}\text{C}$, Vertikal T2 1974.

Bilaga 2

Val av representativa värden för skalningen:

T	$= 6$ timmar	Tidsskalan är vald så att de uppmätta större strömhastigheterna skall kunna hinna ner till noll.
V	$= 0.15$ m/s	Representativ strömhastighet genom ett snitt med arean $Q = 1\,500\,10^3\text{ m}^2$.
U	$= 0.01$ m/s	Representativ hastighet tvärs Ålands hav.
L	$= 70\,000$ m	Norra Ålands havs längd, dvs från tröskel till tröskel.
Δh	$= 0.10$ m	Vanlig vattenståndsskillnad mellan norra och södra delen av Ålands hav.
$\frac{\Delta p_a}{\rho_0 g}$	$= 0.02$ m	Vanlig lufttrycksskillnad mellan norra och södra delen av Ålands hav.
D	$= 100$ m	Representativt djup i Ålands hav.
g	$= 10$ m/s ²	Gravitationskonstanten
τ_{ξ}^y	$= 0.26$ N/m ²	Vindstress $\tau_{\xi}^y = \rho_a C_d W^2$, där $\rho_a = 1.293$ kg/m ³ $C_d = 0.002$ (konstant)
τ_{-h}^y	$= 0.34$ N/m ²	$W = 10$ m/s (vindhastighet 10 m ö h) Bottenstress $\tau_{-h}^y = \rho_0 r V^2$, där $\rho_0 = 1\,000$ kg/m ³ $r = 0.015$ (friktionskoefficient) $V = 0.15$ m/s (strömhastighet)

Anmärkning

Värdena på r är diskutabla. Hansen (se ref 15) uppger 0.0026, ett värde som Svansson använder bl a i Bälten. För Östersjön använder Svansson ett större värde, 0.015 (se ref 16).

Ingångsvärden för modellen:

$$V_i = V_{i-1} + \Delta t \left(-g \frac{\Delta h}{L} - \frac{\Delta p_a}{\rho_0 L} + \frac{\rho_a C_d |W| W}{\rho_0 H} - \frac{r |V_{i-1}| V_{i-1}}{H} \right)$$

V_i = Beräknad strömhastighet längs Ålands hav vid tiden i .

V_0 = Uppmätt strömhastighet vid $t = 0$.

Δh = Vattenståndsskillnaden mellan norra och södra Ålands hav.
Fås ur data från Björn och Landsort. Det antas att den huvudsakliga lutningen sker där det är smalt, dvs i norra Ålands hav. Avståndet Björn - Landsort är 200 km och längden på den kanal där lutningen sker antas vara 70 km.

Δt = 1 timme. Om avståndet mellan vattenståndsstationerna är Δy så skall $\frac{\Delta y}{\sqrt{gH}} > 1$ timma för att inte en lång våg skall hinna passera utan att registreras. $\Delta y = 200\ 000$ och $H = 100 \rightarrow \frac{\Delta y}{\sqrt{gH}} = 1.8$ timmar.

g = $9.8\ \text{m/s}^2$

L = 70 000 m

Δp_a = Lufttrycksskillnad mellan norra och södra Ålands hav.
Fås ur data (var 4:e timma) från Eggegrund och Landsort.
Den har approximerats till halva skillnaden mellan Eggegrund och Landsort.

ρ_0 = $1\ 000\ \text{kg/m}^3$

ρ_a = $1.293\ \text{kg/m}^3$

C_d = 0.002 (konstant)

W = Vindhastighet vid Grundkallen. Uppgifterna har förenklats till perioder med lugnt, N 10 m/s eller S 10 m/s.

H = 100 m

r = 0.015 (konstant).

Felkällor:

- 1 Uppmätt hastighet. Valet av tvärsnittsarea ej självklart.
- 2 Beräknad hastighet. Val av längd- och djupskala ej självklart.
- 3 Peglarna ligger vid kusten och kan reagera för lokala vindstörningar.
- 4 Fäsfel på någon timma kan förekomma då strömmätarna är centrerade på en halvtimma efter vattenståndsobservationerna.

Period : 18 nov — 8 dec 1974

V uppmätt
cm/s

— V uppmätt

— V beräknad (lutning, bottenfriktion)

$r = 0,015$

↑ In i Bottenhavet
↓ Ut ur Bottenhavet

20
10
0
-10
-20

V beräknad
cm/s

20
0
-20

korr.koeff. = 0,403

Period : 18 nov — 8 dec 1974

V uppmätt
cm/s

— V uppmätt

— V beräknad (acc-term, lutning, lufttryck, vind, bottenfriktion)

$r = 0,015$

↑ In i Bottenhavet
↓ Ut ur Bottenhavet

20

10

0

-10

-20

V beräknad
cm/s

20

0

-20

korr.koeff. = 0,702

SMHI HBO	INSTRUMENTFUNKTION	Bilaga 6:1
		ÅLAND
		24 juli-74 – 9 jan.-75

8m		S2
40m		
80m		
8m		S3
40m		
80m		
8m		S4
40m		
70m		
8m		S7
40m		
70m		
		T2

JULI	AUGUSTI	SEPTEMBER	OKTOBER	NOVEMBER	DECEMBER	JAN.
------	---------	-----------	---------	----------	----------	------

	HELT I FUNKTION
	DELVIS I FUNKTION
	EJ I FUNKTION

SIS 132501-113A4

SMHI
HBO

INSTRUMENTFUNKTION.
VERTIKAL S3

Bilaga 6:2
ÅLAND

75-08-26--76-05-06

DJUPLÄGE FÖR
BOJSYSTEMET

■ >7 m □ 2-3 m
▨ 6-7 m ▤ varierande
▧ 5-6 m djup

8 m

21 m

30 m

40 m

45 m

60 m

80 m

90 m

■ Helt i funktion
▨ Delvis i funktion
□ Ej i funktion

▤ Saltgivare
▧ Djupgivare

JUL

AUG

SEP

OKT

NOV

DEC
1975

JAN
1976

FEB

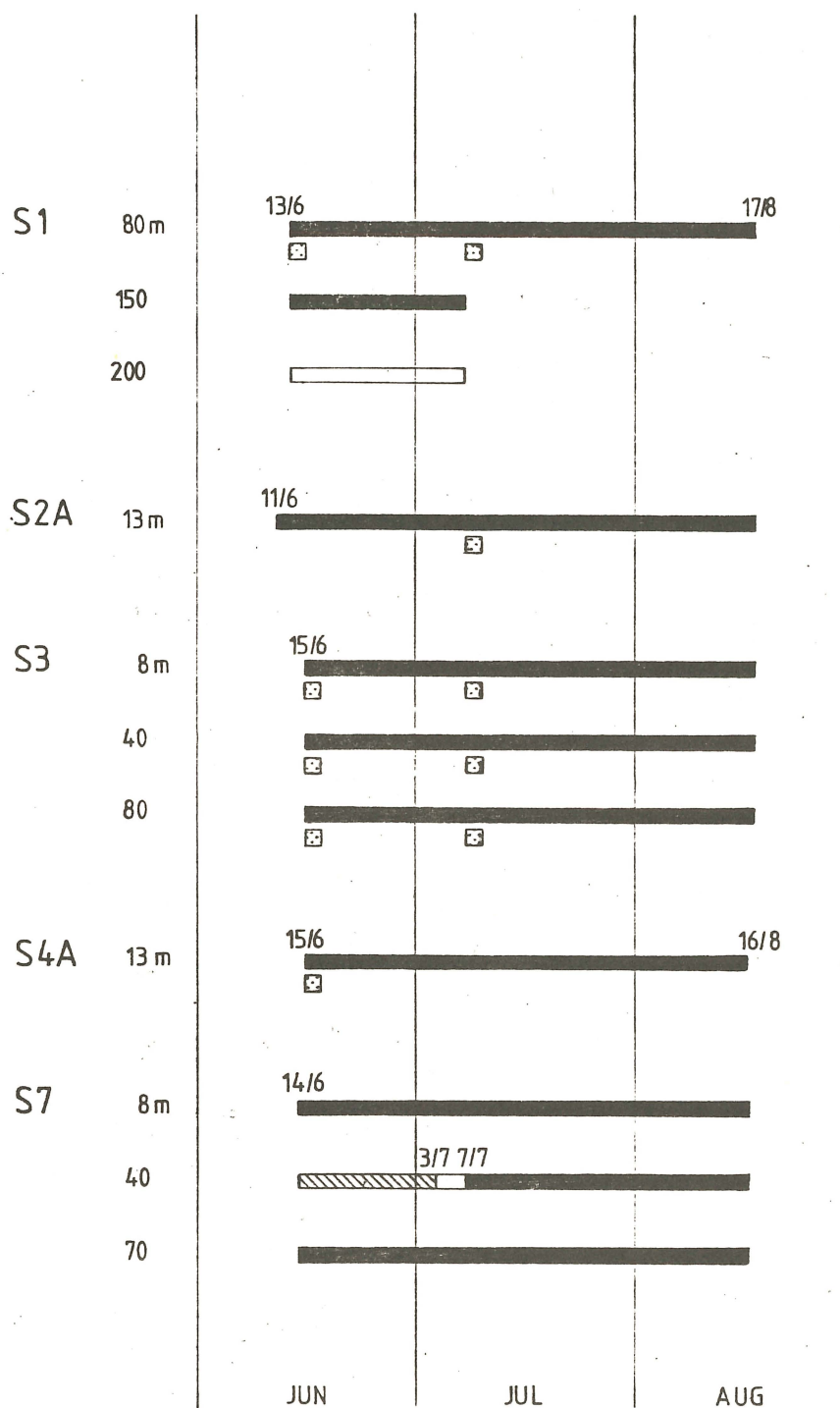
MAR

APR

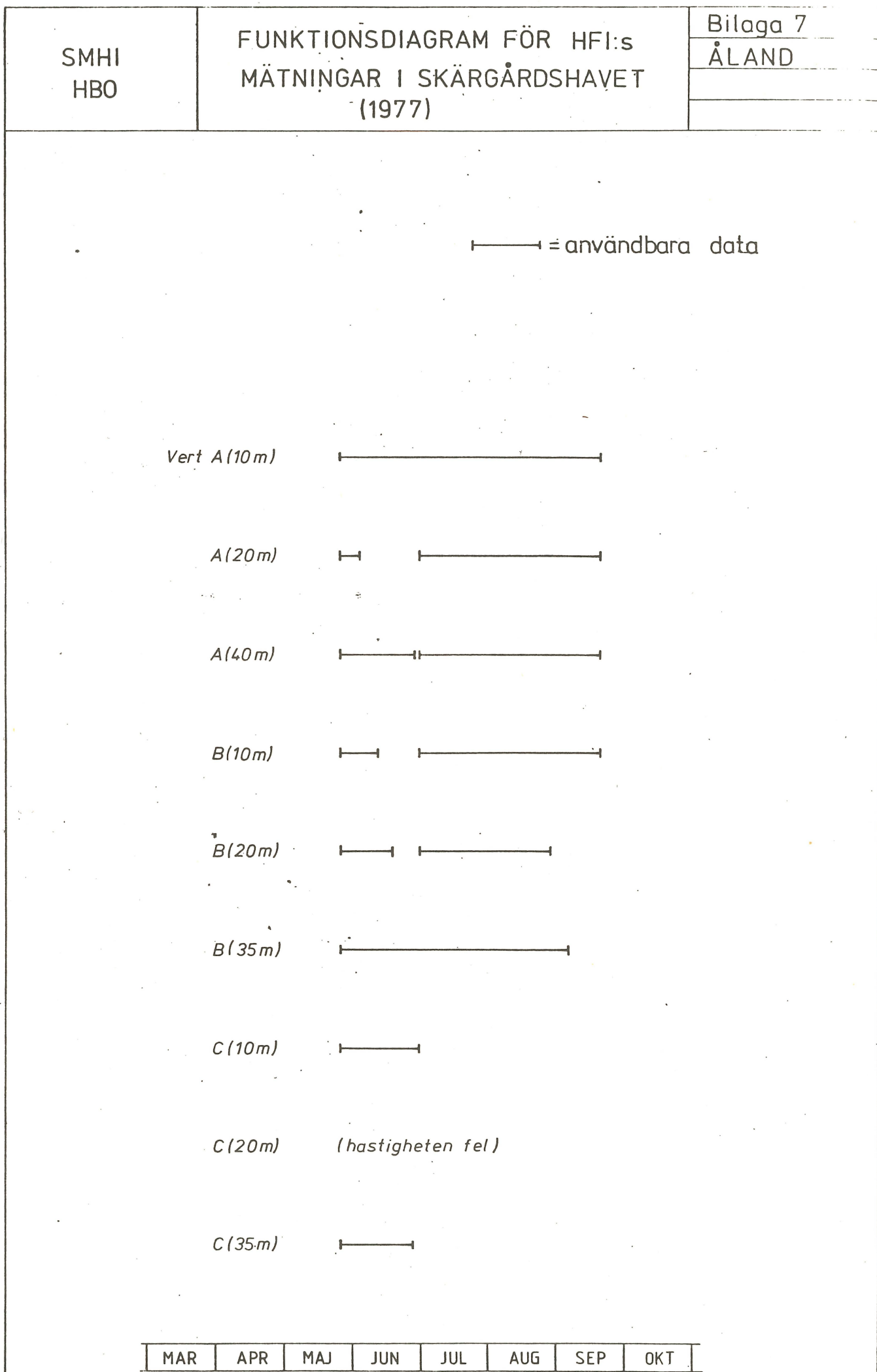
MAJ

JUN

jun - aug 1977

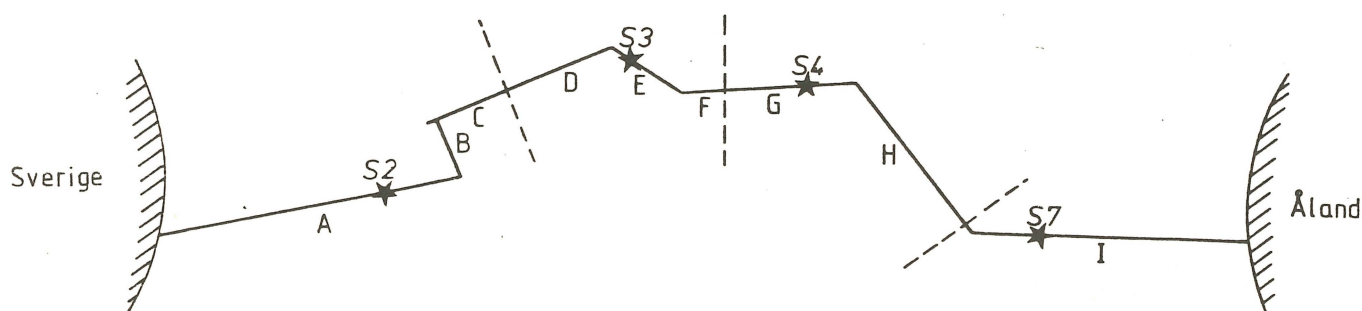


Helt i funktion - 92 %
 Delvis i funktion - 4 %
 Ej i funktion - 4 %
 Djupgivare
 Saltgivare på samtliga instrument.



TRANSPORTBERÄKNINGAR I ÅLANDS HAV

Den transport vi vill mäta är precis den, som sker mellan Bottenhavet och norra Östersjön väster om Åland. Mätsnittet drogs därför på det grundaste stället tvärs södra Kvarken med tanken, att hade vattnet väl passerat där, så skulle det inte stoppas av nya grundområden. Vidare skulle det vara möjligt att med strömmätare bättre täcka de ställen där de största transporterna äger rum. Detta innebär att snittet fick följande utseende:



Tvärssnitt över Södra Kvarkens grundaste områden.

Varje strömmätare antages representera strömmen utefter den del av snittet, som är avgränsad med en streckad linje.

För några av de djupare belägna mätarna kan man ur sjökort med stor sannolikhet bestämma en sk huvudriktning. Det gäller de mätare, som legat i raviner eller andra fåror med en mycket uttalad längsriktning (se bilaga 10). Om den uppmätta huvudriktningen ej stämt med den ur sjökort tagna troliga huvudriktningen, så har det antagits, att strömmätaren varit lokalt påverkad. Den uppmätta strömriktningen har i så fall vridits så att den passar den troliga riktningen.

Transporten har beräknats genom att strömkomponenten vinkelrätt mot tvärssnittsytan multiplicerats med denna yta. Alla dessa deltransporter har sedan adderats.

Under mätperioden 1974 fanns vid vertikal T2, invid S2, en temperaturmätare, som registrerade temperaturen vid 11 olika nivåer. Det

visade sig, att temperatursprångskiktet, så länge det fanns utbildat, huvudsakligen var beläget mellan 8 och 40 meters djup. Därför har, för den skiktade perioden under 1974, språngskiktets läge utgjort gräns för hur djupt strömmätaren på 8 m varit representativ. Under 1977 fanns ingen temperaturmätare utplacerad. Därför är den vertikala utbredningen för de olika strömmätarnas representativitet:

<u>Djup, strömmätare</u>	<u>Representerar djup</u>
8 - 13 m	a) Skiktad tid 1974: 0 m - språngskikt b) Oskiktad tid 1974 } Skiktad tid 1977 } : 0 - 24 m
40 m	a) Språngskikt - 60 m (alt botten) b) 24 - 60 m (alt botten)
80 m	60 - 115 m (alt botten)
150 m	115 m - botten

De Aanderaa-mätare som använts, har registrerat strömmens hastighet och riktning var 10:e minut. Det är ganska självklart, att en hel del av de transporter som registrerats, kommer att passera snittet flera gånger fram och tillbaka utan att ha hunnit blanda sig med vattnet i någon av bassängerna norr och söder om mätområdet. Därför måste någon form av "effektiv" transport definieras.

I en tidigare rapport (se ref 5) har en sådan "effektiv" transport framräknats. En förändring av strömriktningen från nord- till sydgående och vice versa har sagts vara "effektiv" först när en förändring av salthalt och/eller temperatur inträffat. Det är ju först då som "nytt" vatten passerar förbi mätaren. När strömmen sedan vänder på nytt är utbytet inte effektivt förrän vattnet med aktuella egenskaper passerat. Härigenom erhålls ett mått på den zon norr och söder om mätarna som vattnet alltid måste komma förbi innan vi räknar med att en verklig transport ägt rum. Den "icke-effektiva" transporten har subtraherats bort. Därefter gjordes en jämförelse mellan dessa "effektiva" transporter och transporter beräknade ur dygnsmedelvärden, centrerade kring kl 23.00. Det befanns, att skill-

naderna var relativt små, varför det bedömdes att dygnsmedelvärdena på strömmen väl filtrerade bort icke effektiva transporter.

För varje strömmätare har dygnstransporter genom de olika ytorna beräknats (se tabell nedan). Underlaget för alla vidare transportberäkningar utgörs sålunda av en för varje dygn och för varje mätare bestämd transport in i eller ut ur Bottniska viken.

<u>Mätare</u>	<u>Delavsnitt</u>	<u>Normal-riktn</u>	<u>Djup (m)</u>	<u>Yta (10^3 m^2)</u>
S1-S2-S2A	A	330°	0 - 24	184
			24 - 60	113
			60 - 115	48
			115 - b	5
- " -	B	230°	0 - 24	26
			24 - 60	33
			60 - b	5
- " -	C	320°	0 - 24	34
			24 - b	6
S3	D	320°	0 - b	34
- " -	E	30°	0 - 24	26
			24 - 60	22
			60 - b	8
- " -	F	350°	0 - 24	36
			24 - b	13
S4-S4A	G	350°	0 - b	82
- " -	H	40°	0 - b	90
S7	I	0°	0 - 24	139
			24 - 60	55
			60 - b	12
Total yta:				971

Tabell. De olika ytornas storlek samt normalriktningar för 1974 och 1977 (under skiktad period 1974 något annorlunda, se text ovan).

TRANSPORTBERÄKNINGAR I SKÄRGÅRDHAVET, METOD

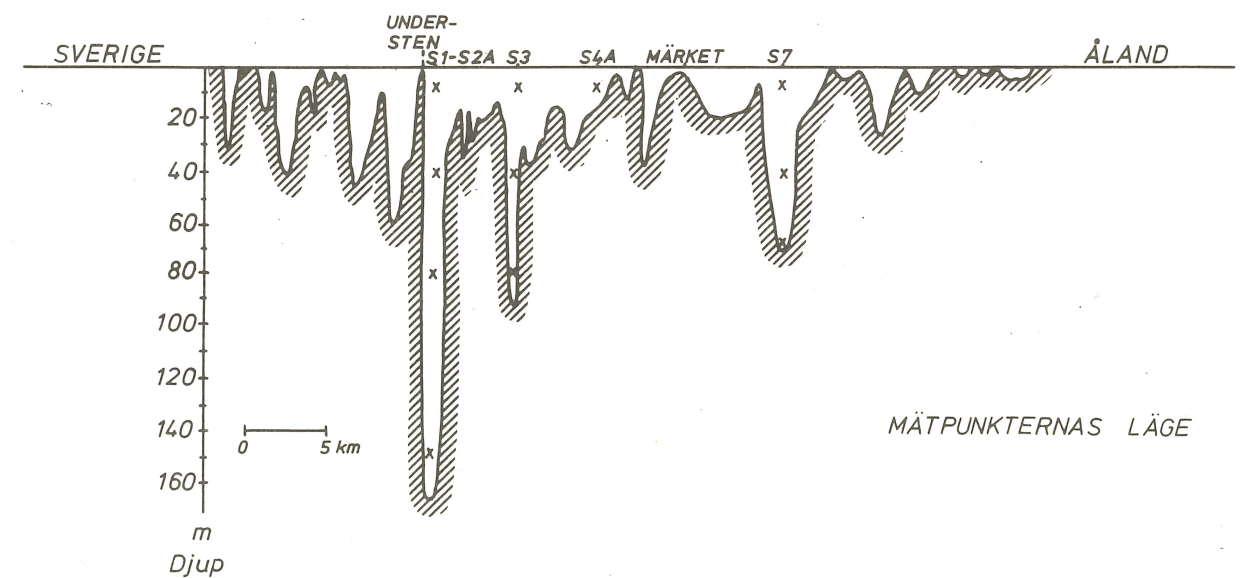
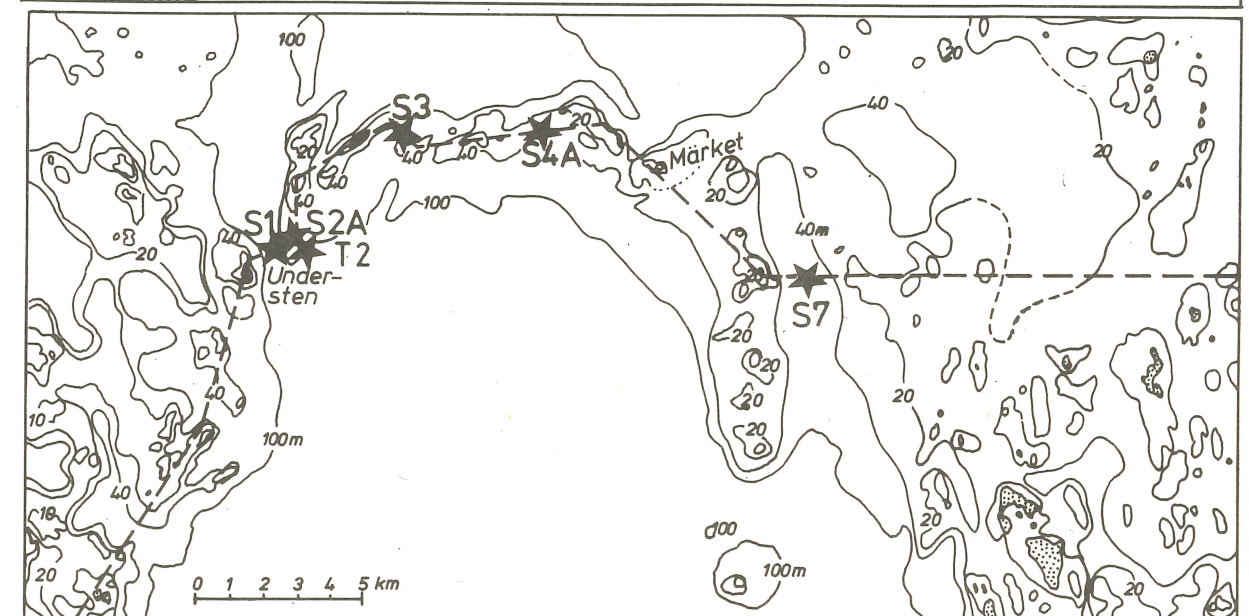
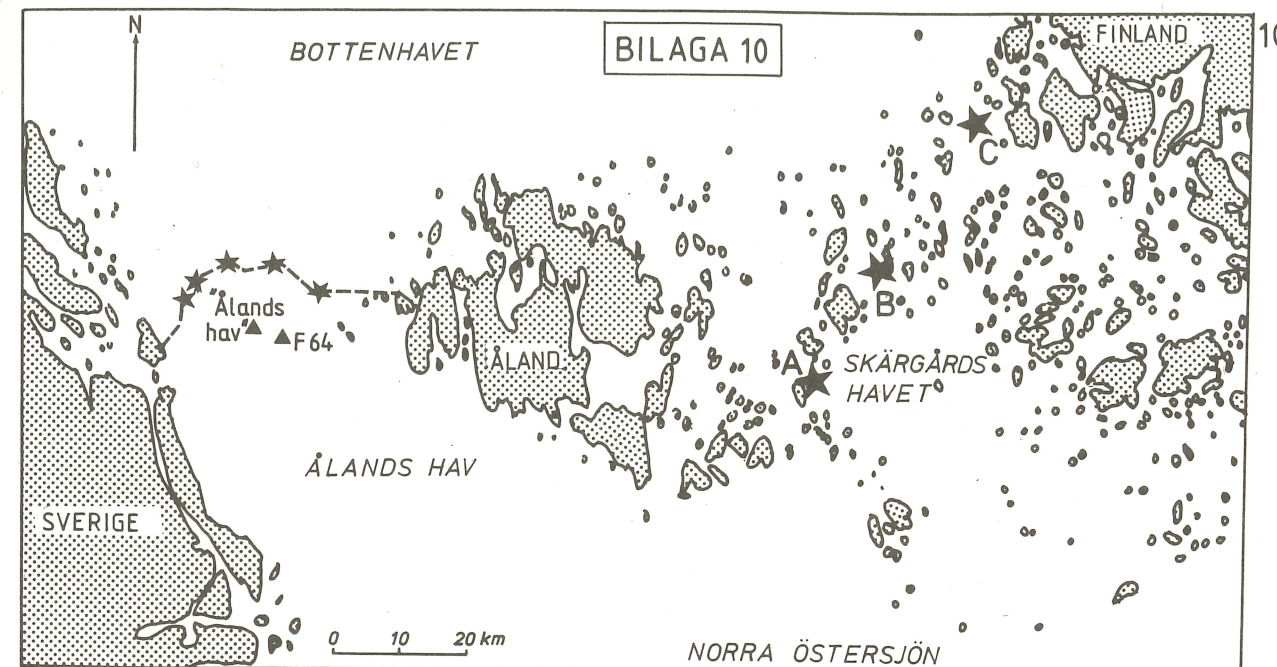
HFI utförde under perioden 25 maj - 22 september 1977 strömmätningar i tre vertikaler, belägna i tre av de djupaste och största kanalerna, som genömlöper Skärgårdshavet (se bilaga 10).

I varje vertikal fanns 3 automatiskt registrerande strömmätare av typ Alexejev, som registrerade strömmen var 30:e minut. Tro-
ligen har tröskelhastigheten för vissa perioder varit högre än
de 3.5 cm/s som angivits i bilaga 1, Tekniska data. Hastigheter,
och därmed transporter, har då underskattats något.

<u>Vertikal</u>	<u>Mätplacering, djup</u>	<u>Bottendjup</u>
A	10, 20, 40 m	45 m
B	10, 20, 35 m	40 m
C	10, 20, 35 m	40 m

För dessa strömmätare har dygnsmedelvärdet av strömkomponenten i
huvudriktningen beräknats. Huvudriktningen har avlästs ur sjökort
och är för vertikal A 335° , vertikal B 345° och för vertikal C 0° .
Under de perioder då mätarna ej fungerat (se bil 6), har korrelations-
samband mellan de olika mätarna utnyttjats. Korrelationskoefficienten
har legat mellan 0.73 - 0.96. Hos strömmätaren vid C (20 m) har inte
hastighetsangivelsen fungerat. Här har strömmens hastighet och rikt-
ning interpolerats fram ur värdena från C (10 m) och C (35 m). Varje
strömmätare har tilldelats en tvärsnittsytta. Dessa utgör inte bara
ytorna i de kanaler som vertikalerne varit placerade i, utan är ämnade
att täcka alla passager av betydelse i Skärgårdshavet. I djupled har
gränserna mellan ytorna varit 15 och 30 m för vertikal A, 15 och 27 m
för vertikalerne B och C. Ytorna är för

A (10 m):	$109 \cdot 10^3 \text{ m}^2$
A (20 m):	65 "
A (40 m):	35 "
B (10 m):	59 "
B (20 m):	12 "
B (35 m):	10 "
C (10 m):	62 "
C (20 m):	26 "
C (35 m):	20 "
Total yta :	$398 \cdot 10^3 \text{ m}^2$



ENGLISH CAPTIONS TO FIGURES AND TABLES.

Page	
3	Fig 1. Bathymetric chart of the Åland Sea.
6	Tab 1. Temperature $^{\circ}\text{C}$, monthly means, Station S3 * = data from less than a full month, but more than one half.
6	Tab 2. Ditto, maximum values.
6	Tab 3. Ditto, minimum values.
7	Tab 4. Salinity (%), monthly means, Station S3. * = data from less than a full month. ** = depth 46 - 48 m.
7	Tab 5. Ditto, maximum values.
7	Tab 6. Ditto, minimum values.
9	Fig 2. Total phosphorus ($\mu\text{g-atoms}\cdot\text{l}^{-1}$), Station "Ålands hav" 1974.
10	Fig 3. Total nitrogen ($\mu\text{g-atoms}\cdot\text{l}^{-1}$), Station F64, 1974.
10	Fig 4. Examples of vertical distribution of temperature, salinity and total -P at Station "Ålands hav".
12	Fig 5. Coordinate system.
16	Fig 6. Mean values of N-S current components, 770615-0816 ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$).
17	Fig 7. Mode 1 (local response functions h_{1i}). Standard deviation for β_1 : $6.8 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$.
17	Fig 8. Spectral analysis of the time function β_1 . Vertical bars show 80 % confidence limits.
18	Fig 9. Time function β_1 for mode 1. Variations in surface slope and N-S air pressure difference (expressed as cm of water). Surface slope: Björn - Landsort, air pressure: Örsjär - Landsort.
18	Fig 10. Mode 2 (local response functions h_{2i}). Standard deviation for β_2 : 4.1 cm s^{-1} .
18	Fig 11. Spectral analysis of the time function β_2 . Vertical bars show 80 % confidence limits.
19	Fig 12. Mode 3 (local response functions h_{3i}). Standard deviation for β_3 : 3.1 cm s^{-1} .
19	Fig 13. Spectral analysis of the time function β_3 . Vertical bars show 80 % confidence limits.
20	Fig 14. Mode 4 (local response functions h_{4i}). Standard deviation for β_4 : 2.8 cm s^{-1} .

Page

- 20 Fig 15. Spectral analysis of the time function β_4 .
- 21 Fig 16. Current speed ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$), maximum values observed during 1973-77. (xx) = small number of measurements.
- 21 Fig 17. Ditto, median values. a) stratified period, b) homogeneous period.
- 22 Fig 18. Principal current directions, with percentage distributions. x = stratified period, y = homogeneous period.
- 23 Fig 19. Statistics on in- and outgoing currents, based on 24-hour means.
a) Percentage distribution of in- (north) and out- (south) going currents. S = stratified period, O = homogeneous period.
- 24 Fig 20. Spectral analysis of hourly values of current component towards 30° . Station S3, depth 8 and 80 m, period 740724 - 1212.
- 24 Fig 21. Most common current patterns in the surface layer. Percentage values for stratified and homogeneous period.
- 25 Fig 22. Most common vertical current patterns, Station S3.
- 25 Fig 23. Ditto, Station S7.
- 26 Fig 24. Statistics on north- and southgoing currents in the Archipelago Sea, May - September 1977. Figures denote the number of 24-hour means.
- 27 Tab 7. Percentage distribution of situations with equal or opposite current directions at 10m and 35/40m. Number of 24 - hour means.
- 29 Tab 8. Measured water transports ($\text{km}^3 \cdot \text{month}^{-1}$) through the section across the Åland Sea. Northgoing, southgoing and net values. * = measurements from half of the month only. Double this transport is entered in the table.
- 29 Fig 25. Means of measured transports ($\text{km}^3 \cdot \text{month}^{-1}$) for different points in the Åland Sea section. Stratified (740724 - 0930, 770615 - 0815) and homogeneous (740930 - 1212) periods.
- 30 Fig 26. Transports (km^3 per 24 hours) through the whole section, for three different layers. a) 1974, b) 1977.
- 31 Tab 9. Same as tab. 8, p. 29, but for the Archipelago Sea.
- 32 Fig 27. Means of measured transports ($\text{km}^3 \cdot \text{month}^{-1}$) for different points in the Archipelago Sea. * = current speed interpolated from values at 10 and 35 m.

Inlandsstationer	Datum				Page
	i går kl 13	i går kl 19	i dag kl 01	i dag kl 07	
	Vind riktn. m/s	Väder	Temperatur °C	Nederbörd mm	
					32 Fig 28. Same as fig. 26 b), p. 30, but for the Archipelago Sea.
					33 Fig 29. Means of measured transports to and from the Gulf of Bothnia ($\text{km}^3 \cdot \text{month}^{-1}$), 770615 - 0815.
					34 Fig 30. Same as fig. 29, based on hydrographical measurements 20 - 21 June 1956 (from I. Hela, ref. 13).
					35 Fig 31. Inflow (a) and outflow (c) through the Åland Sea and the Archipelago Sea, river discharge (b) to the Gulf of Bothnia (km^3 per 24 hours).
					36 Tab 10. Comparison between measured transports and transports calculated from volume changes (according to water level records) to the Gulf of Bothnia, for the period 770615 - 0815. Net transport through the Åland Sea, ditto through the Archipelago Sea, river discharge, total inflow, calculated inflow, and difference. * = measurements from half of the month only. Double this transport is entered in the table.
					37 Fig 32. Comparison between measured transports (broken line) and transports calculated from volume changes (km^3 per 24 hours).
					37 Fig 33. Regression line, with 95 % confidence limits, for the relation between measured (vertical axis) and calculated transports.
					39 Fig 34. Changes in water level (cm) from 1100, 14 July to 1100, 15 July 1977.
					39 Fig 35. Same as fig. 34, but for the following 24 hours.
					42 Fig 36. Water balance for the Gulf of Bothnia ($\text{km}^3 \cdot \text{month}^{-1}$). a) according to Dahlin (ref. 14). Originally yearly means, calculated from Knudsen's theorem. Recalculated as monthly means. b) according to Hela (ref. 13), recalculated as monthly means. c) according to the present study. Left, measured balance. Right, balance corrected (by reduction of surface current speeds in the Åland Sea) to equal the actual volume change.
					44 Fig 37. Water transports through the Åland Sea as function of salinity (km^3 per 0.1 ‰), for the period 770615 - 0816, except 0703 - 0707. a) In- and outflow separated. Measuring interval, 10 minutes. b) Net flow.

IAKTTAGELSER

Datum

Page

- 46 Tab 11. Mean values, for three different layers, of concentrations of total-P for in- and outflow, water transports ($\text{km}^3 \cdot \text{month}^{-1}$) and transport of phosphorus ($\text{tons} \cdot \text{month}^{-1}$), for the period 740725 - 1208. Outgoing transports = negative.
* = outflow concentration used for calculating ingoing transports.
- 47 Tab 12. Same as tab. 11, for total nitrogen. (The same concentration is used for in- and outgoing transports).
- 50 Tab 13. A = change in the total heat content of the Gulf of Bothnia (TW).
B = heat transport through the Åland Sea (TW).
C = heat transport through the Archipelago Sea (TW).
Total transport, TW.
Total transport in per cent of A.
Autumn -winter 1974 - 75.

SMHI Rapporter

HYDROLOGI OCH OCEANOGRAPHI

- Nr RHO 1 Weil, J G
Verification of heated water jet numerical model.
Stockholm 1974
- Nr RHO 2 Svensson, J
Calculation of poison concentrations from a hypothetical
accident off the Swedish coast.
Stockholm 1974
- Nr RHO 3 Vasseur, B
Temperaturförhållanden i svenska kustvatten.
Stockholm 1975
- Nr RHO 4 Svensson, J
Beräkning av effektiv vattentransport genom Sunninge sund.
Stockholm 1975
- Nr RHO 5 Bergström, S & Jönsson, S
The application of the HBV runoff model to the Filefjell
research basin.
Norrköping 1976
- Nr RHO 6 Wilmot, W
A numerical model of the effects of reactor cooling water
on fjord circulation.
Norrköping 1976
- Nr RHO 7 Bergström, S
Development and Appl. of a Conceptual Runoff Model.
Norrköping 1976
- Nr RHO 8 Svensson, J
Seminars at SMHI 1976-03-29—04-01 on Numerical Models
of the Spreading of Cooling-water.
Norrköping 1976
- Nr RHO 9 Simons, J & Funkquist, L & Svensson, J
Application of a numerical model to Lake Vänern.
Norrköping 1977
- Nr RHO 10 Svensson, J
A statistical study for automatic calibration of a conceptual
runoff model.
Norrköping 1977
- Nr RHO 11 Bork, I
Model studies of dispersion of pollutants in Lake Vänern.
Norrköping 1977
- Nr RHO 12 Fremling, S
Sjöisars beroende av väder och vind, snö och vatten.
Norrköping 1977

SMHI Rapporter

HYDROLOGI OCH OCEANOGRAFI

- Nr RHO 13 Fremling, S
Sjöisars bärighet vid trafik.
Norrköping 1977
- Nr RHO 14 Bork, I
Preliminary model studies of sinking plumes.
Norrköping 1978
- Nr RHO 15 Svensson, J & Wilmot, W
A numerical model of the circulation in Öresund. Evaluation
of the effect of a tunnel between Helsingborg and Helsingör.
Norrköping 1978
- Nr RHO 16 Funkquist, L
En inledande studie i Vätterns dynamik.
Norrköping 1979
- Nr RHO 17 Vasseur, B
Modifying a jet model for cooling water outlets.
Norrköping 1979
- Nr RHO 18 Udin, I & Mattisson, I
Havsis- och snöinformation ur datorbearbetade satellitdata
- en metodstudie.
Norrköping 1979
- Nr RHO 19 Ambjörn, C & Gidhagen, L
Vatten- och materialtransporter mellan Bottniska viken
och Östersjön
Norrköping 1979

Notiser och preliminära rapporter

Serie HYDROLOGI

- Nr 1 Sundberg-Falkenmark M
Om isbärighet. Stockholm 1963
- Nr 2 Forsman, A
Snösmältning och avrinning. Stockholm 1963
- Nr 3 Karström, U
Infrarödteknik i hydrologisk tillämpning: Värmebilder som hjälpmedel i recipientundersökningar. Stockholm 1966
- Nr 4 Moberg, A
Svenska sjöisars isläggnings- och islossningstidpunkter 1911/12-1960/61. Del 1. Redovisning av observationsmaterial. Stockholm 1967
- Nr 5 Ehlin, U & Nyberg, L
Hydrografiska undersökningar i Nordmalingsfjärden. Stockholm 1968
- Nr 6 Milanov, T
Avkylningsproblem i recipienter vid utsläpp av kylvatten. Stockholm 1969
- Nr 7 Ehlin, U & Zachrisson, G
Spridningen i Vänerns nordvästra del av suspenderat materiel från skredet i Norsälven i april 1969. Stockholm 1969
- Nr 8 Ehlert, K
Mälarens hydrologi och inverkan på denna av alternativa vattenavledningar från Mälaren. Stockholm 1970
- Nr 9 Ehlin, U & Carlsson, B
Hydrologiska observationer i Vänern 1959-1968 jämte sammanfattande synpunkter. Stockholm 1970
- Nr 10 Ehlin, U & Carlsson, B
Hydrologiska observationern i Vänern 17-21 mars 1969. Stockholm 1970
- Nr 11 Milanov, T
Termisk spridning av kylvattenutsläpp från Karlshamnsverket. Stockholm 1971
- Nr 12 Persson, M
Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område. Rapport I. Stockholm 1971
- Nr 13 Persson, M
Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område. Rapport II. Snömätningar med snörör och snökuddar. Stockholm 1971
- Nr 14 Hedin, L
Hydrologiska undersökningar i Velens representativa område. Beskrivning av området, utförda mätningar samt preliminära resultat. Rapport I. Stockholm 1971

- Nr 15 Forsman, A & Milanov, T
Hydrologiska undersökningar i Velens representativa område.
Markvattenstudier i Velenområdet. Rapport II. Stockholm 1971
- Nr 16 Hedin, L
Hydrologiska undersökningar i Kassjöans representativa område.
Nederbördens höjdberoende samt kortfattad beskrivning av området. Rapport I. Stockholm 1971
- Nr 17 Bergström, S & Ehlert, K
Stochastic Streamflow Syntheses at the Velen representative Basin. Stockholm 1971
- Nr 18 Bergström, S
Snösmältningen i Lappträskets representativa område som funktion av lufttemperaturen. Stockholm 1972
- Nr 19 Holmström, H
Test of two automatic water quality monitors under field conditions. Stockholm 1972
- Nr 20 Wennerberg, G
Yttertemperaturkartering med strålningstermometer från flygplan över Väneren under 1971. Stockholm 1972
- Nr 21 Prych, A
A warm water effluent analyzed as a bouyant surface jet. Stockholm 1972
- Nr 22 Bergström, S
Utveckling och tillämpning av en digital avrinningsmodell. Stockholm 1972
- Nr 23 Melander, O
Beskrivning till jordartskarta över Lappträskets representativa område. Stockholm 1972
- Nr 24 Persson, M
Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område. Rapport III. Avdunstning och vattenomsättning. Stockholm 1972
- Nr 25 Häggström, M
Hydrologiska undersökningar i Velens representativa område. Rapport III. Undersökning av torrperioderna under IHD-åren fram t o m 1971. Stockholm 1972
- Nr 26 Bergström, S
The application of a simple rainfall-runoff model to a catchment with incomplete data coverage. Stockholm 1972
- Nr 27 Wändahl, T & Bergstrand, E
Oceanografiska förhållanden i svenska kustvatten. Stockholm 1973
- Nr 28 Ehlin, U
Kylvattenutsläpp i sjöar och hav. Stockholm 1973
- Nr 29 Andersson, U-M & Waldenström, A
Mark- och grundvattenstudier i Kassjöans representativa område. Stockholm 1973
- Nr 30 Milanov, T
Hydrologiska undersökningar i Kassjöans representativa område. Markvattenstudier i Kassjöans område. Rapport II. Stockholm 1973

