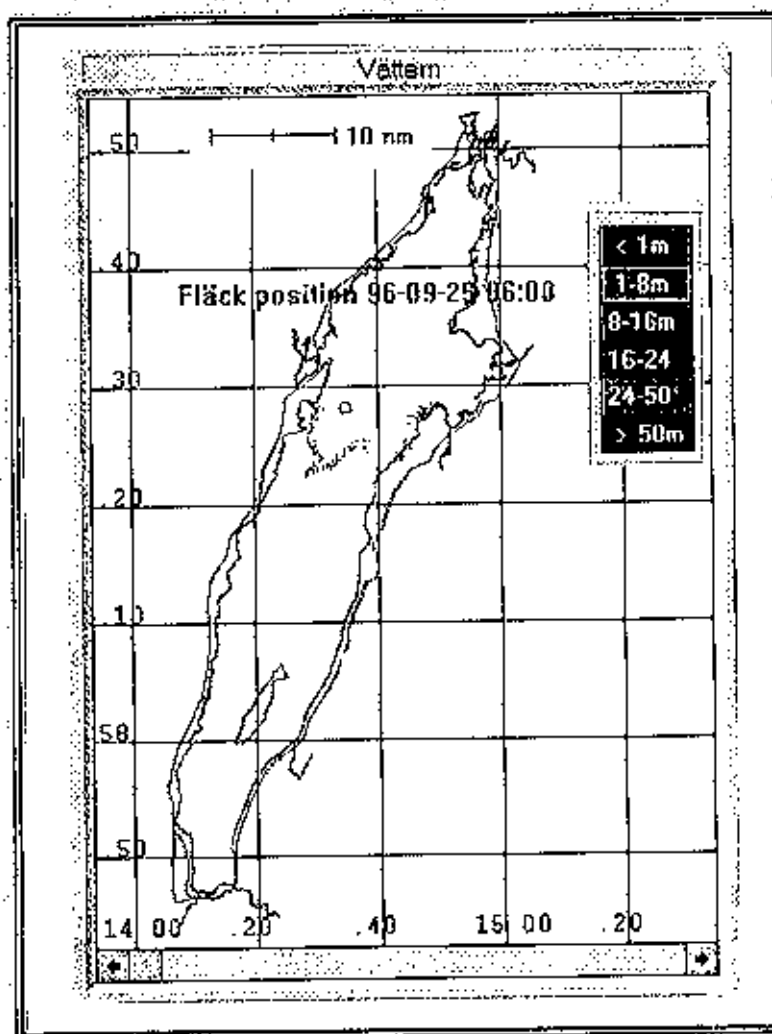


Vätternvårdsförbundet

PERSONDATORBASERAD SPRIDNINGSMODELL FÖR VÄTTERN



Cecilia Ambjörn
SMHI

Rapport nr 41
från Vätternvårdsförbundet 1996

Persondatorbaserad spridningsmodell för Vättern

Rapport nr 41 från Vätternvårdsförbundet *

Rapporten har utarbetats av Cecilia Ambjörn, SMHI, på uppdrag av Vätternvårdsförbundet. Uppdraget har finansierats av kommunerna runt sjön och Skaraborgsvatten i samarbete med Naturvårdsverket, Kustbevakningen och SAMVA (Samverkansgruppen för vattenkvalitet och vattenförsörjning, Livsmedelsverket).

Föreliggande rapport utgör en beskrivning av modellen och hur den är uppbyggd. I följande rapport, nr 42, återfinns en användarhandledning till dialog- och presentationsprogrammet Vättern.

Omslagets figur är ett exempel på ett modellerat påhittat utsläpp och den utskriftsmöjlighet som medger en illustration av hur utsläppet förflyttats och spridits i Vättern under en given tidsperiod.

*

Rapporterna 1 - 29 utgavs av Kommittén för Vätterns vattenvård
Kommittén ombildades 1989 till Vätternvårdsförbundet som
fortsätter rapportserien f o m Rapport 30.

Vätternvårdsförbundet
Länsstyrelsen i Jönköpings län
551 86 Jönköping
Tel 036 - 157092, 157083 Fax 036/167183

ISSN 1102 - 3791

Innehåll

	Sid
1. <i>Sammanfattning</i>	<i>1</i>
2. <i>Syftet</i>	<i>2</i>
3. <i>Systemets uppbyggnad</i>	<i>2</i>
4. <i>Teori för intern Kelvinvåg</i>	<i>2</i>
5. <i>Stående ytor</i>	<i>3</i>
6. <i>Utförda strömberäkningar med den numeriska modellen PHOENICS</i>	<i>4</i>
7. <i>Spridningsberäkningar</i>	<i>5</i>
8. <i>Kalibrering och validering av ström och spridning mot olika typer av mätningar</i>	<i>6</i>
9. <i>Inmatning av data</i>	<i>10</i>
10. <i>Referenser</i>	<i>10</i>

1. Sammanfattning

Rapporten är avsiktligt teoretisk och dokumenterande, därför ges en övergripande beskrivning av de mer allmänna delarna i denna sammanfattning.

För att kunna möta katastrofartade utsläpp med snabba insatser, har ett prognosystem för spridning av olika ämnen utvecklats. Systemet ska dels fungera som en snabb operationell beräkning vid ett katastrofläge, dels användas som planeringsinstrument.

Systemet består av

- ett antal strömfält beräknade med en **numerisk modell**
- ett **spridningsprogram** som behandlar olika ämnen på lämpliga sätt
- ett Windowsbaserat **dialogprogram med ett kalkylark**, där man bestämmer vilka indata som ska styra beräkningen.

Ett fenomen i Vättern är interna Kelvinvågor, som kan förekomma sommartid, när vi har temperaturskiktning. Vågorna är betydelsefulla för främst kustnära processer, då de avtar successivt med ökande avstånd från stranden.

För att få en realistisk beskrivning av strömmarna i Vättern och samtidigt kunna lagra denna information i en PC, så måste ett lämpligt val av strömsituationer göras, som speglar de förhållanden som kan förekomma. En tre-dimensionell numerisk strömmodell, Phoenix, har anpassats till Vättern. Beräkningarna är utförda för åtta olika vindriktningar, nord, nordost, ost o.s.v. för homogen vattenmassa (vinterförhållanden 15 september - 15 juni) och för temperaturskiktad vattenmassa (sommartidförhållanden 15 juni - 15 september). Dessutom finns ett fall med is där hela Vättern betraktas som istäckt, vilket innebär att strömmarna endast drivs av flodtillrinningen.

Vid en prognos väljs ett nytt strömmönster bland dessa 17 strömfält var 3:e timme. Valet av vind styr valet av strömmönster. Vinden kan varieras mellan 1 m/s och 20 m/s, och hastigheterna sätts i spridningsberäkningen.

Det ämne, vars spridning och förflyttning ska beräknas, betraktas som ett stort antal partiklar där varje partikel får motsvara en viss mängd av det aktuella ämnet. Mängden är beroende av hur mycket som släpps ut. Programmet tar hänsyn till vindar och strömmar. Om det är olja som är aktuellt tas hänsyn till varje oljetyps speciella karaktär. De hastigheter som bidrar till varje partikels förflyttning är ström, turbulens, vinddrift och oljans initiala spridning.

Även andra ämnen än olja kan beräknas. Spridning av passiva/ lösliga ämnen, flytande ämnen och föremål som driver på ytan kan beräknas. Beräkningar bakåt i tiden kan också utföras.

När man utför en beräkning kommer ett kalkylark upp på skärmen, där de indata som krävs för en beräkning kan fyllas in. Här är de informationer ifyllda, som kan vara gemensamma för alla beräkningar eller har kunnats fyllas i utifrån en databas.

De resultat som en driftsberäkning ger måste jämföras med mätningar. Valideringar har utförts mot fritt drivande strömkors, mot strömmätningar i ett antal punkter samt mot temperaturmätningar där ett stort antal sensorer funnits i samma vertikal. Valideringen med strömkors visar att modellen lyckas beskriva drivbanorna hos oljan / föremålet väl.

Under 1977 och 1979 gjordes en stor mängd strömmätningar i Vättern med automatiskt registrerande mätare. En jämförelse mellan strömmens och vindens hastighet visar en samvariation; högre vindhastigheter ger högre strömhastigheter. Spektralanalys har också utförts över strömdata från några av mätpunkterna. Man ser ett maxima vid cirka 7 dygn, vilket är en typisk period för en intern Kelvinvåg i Vättern. Temperaturmätningarnas största värde ligger i att de genom den stora vertikala upplösningen, väl täcker alla de olika svängningar i temperatursprångskiktet som äger rum. I det här fallet är det Kelvinvågen vi intresserar oss för. Under mätningarna 1977 var det möjligt att följa Kelvinvågens rörelse runt Vättern.

2. Syftet

Runt Vättern finns ett flertal hårt belastade trafikleder i sjöns omedelbara närhet. Vid en olycka med exempelvis farligt gods eller vid en olycka med oljeutsläpp som följd kan dessa föroreningar snabbt spridas till Vättern. För att kunna möta katastrofartade utsläpp med snabba insatser, har ett prognosystem för spridning av olika ämnen utvecklats. Systemet ska såväl kunna ge prognoser som andra beräkningsresultat. Det ska vara så lätthanterligt och självinstruerande att man kan utföra beräkningar utan stora förberedelser. En beräkning får inte ta lång tid och resultatet ska inom några minuter kunna tas ut på en pappersbild.

Systemet ska dels fungera som en snabb operationell beräkning vid ett katastrofläge, dels användas som planeringsinstrument.

Modellen är främst avsedd för något mer 'storskaliga' förhållanden, vilket innebär att man inte kan erhålla beskrivningar av strandnära, lokalt topografiskt styrda förlopp. Modellen har för låg rumsupplösning för dessa. För södra Vättern har en modell med högre rumsupplösning utvecklats på uppdrag av Jönköpings kommun.

Karta över Vättern finns i figur 1.

3. Systemets uppbyggnad

Systemet består av

- 33 strömfält beräknade med en numerisk modell
- spridningsprogram som behandlar olika ämnen på lämpliga sätt
- Windowsbaserat dialogprogram med ett kalkylark, där man bestämmer vilka indata som ska styra beräkningen.

4. Teori för intern Kelvinvåg

Ett viktigt och även intressant fenomen i Vättern är interna Kelvinvågor. Dessa är betydelsefulla för kustnära processer och avtar successivt med ökande avstånd från stranden. Vågorna påverkar de kustparallella strömmarna. Eftersom spridning och blandning nära land är viktigt i detta projekt har vi valt att utveckla beräkningsmetoder för Kelvinvågen. Det finns stor erfarenhet av detta i såväl de stora sjöarna i USA, ref(1), som i Vättern. Omfattande mätningar har utförts i Vättern 1977 och 1979, ref(2) och ref(3), bl.a. i syfte att studera

Kelvinvågen är en kustbunden våg. Att det är en intern våg innebär att den ligger i temperatursprångskiktet och det är således språngsskiktets rörelser som utgör vågen. Det betyder att vågen bara existerar under juni - september när temperaturskiktning förekommer. Vågen rör sig alltid moturs, vilket innebär att vågtoppen i södra Vättern går norrut utmed den östra stranden samtidigt som vågdalen i norra Vättern går söderut utmed den västra stranden. Vågens amplitud avtar exponentiellt ut från stranden, så att den har högst utslag närmast kusten och några kilometer ut har amplituden avtagit så mycket att vågen är försumbar. Cirka 6 km från stranden återstår 10 % av våghöjden. Vågen startas av att en varaktig vind pressar ytvattnet t. ex. norrut i Vättern, varvid termoklinen stiger i södra Vättern och kallt bottenvattnet kommer upp mot ytan där. I norra Vättern sjunker termoklinen och ytskiktet här blir mäktigt, det för med sig att temperaturen stiger på de djup där det tidigare fanns kallare djupvattnet. När en snedställning av termoklinen skapats och vinden avtar så kan en intern Kelvinvåg uppkomma. Sedan kan även kraftiga vindimpulser snabbt bryta ner vågen igen. Figur 2 visar en bild av den interna Kelvinvågens egen riktning och strömriktningar.

Allmänt, när man betraktar olika temperaturer och termoklindjup så finns vågens mellan 2 km och 6 km ut i Vättern. Det hastighetstillskott hos strömmen som Kelvinvågen ger upphov till har sitt högsta värde nära stranden. Beräkning av maximala strömhastigheter ger storleken 0.4 m/s, vilket innebär att de strömmar som erhålls varierar mellan 0 m/s och 0.4 m/s parallellt med stranden och byter riktning efter 1/2 vågperiod. Strömhastigheten motsvarar en amplitud på 20 meter, vilket betyder att vågen då når upp till ytan. Kelvinvågen genererar inga strömmar vinkelrätt mot stranden.

Vågen kan gå runt Vättern mer än ett varv. Tiden för att gå runt, dvs vågens period, är 6 - 8 dygn.

Bredden på vågen är en funktion av den vertikala temperaturskillnaden över och under termoklinen, ytskiktets tjocklek och det totala djupet. Den 5 augusti 1977 mättes värdena på dessa variabler. T-yta = 14 C, T-djup = 5 C, densitetsskillnad = 0.7 kg/m³, termoklindjupet = 20 m och totala djupet = 60 m. Detta ger att bredden på vågen var cirka 6 km. Vågen existerade således runt hela Vättern mellan stranden och detta avstånd från stranden. Dess våglängd; 200 km får betraktas motsvara Vätterns 'effektiva' omkrets och hastigheten (fashastighet) med vilken vågen går runt sjön blir 0.31 m/s. Den tid det tar att fullborda ett varv blir 7-8 dygn. Detta gäller alltså mätta data och är ett bra exempel på en typisk intern Kelvinvåg.

5. Stående ytvågor

Stående ytvågor förekommer relativt frekvent i Vättern. Detta har undersökts noggrant av Bergsten, ref(4). Med Vätterns speciella form är sjön synnerligen lämpad för analys av dessa nivåvariationer. Figur 3 visar vattenståndet i norra och södra Vättern, som en unimodal stående svängning ger upphov till. Högt vattenstånd i ena änden ger upphov till lågt i den andra och vice versa. Svängningstiden/perioden är cirka 3 timmar. Dessa vågor har ingen betydelse för strömmarna i Vättern, hastigheterna blir lägre än 1 cm/s.

6. Utförda strömberäkningar med den numeriska modellen PHOENICS

För att få en realistisk beskrivning av strömmarna i Vättern och samtidigt kunna lagra denna information i en PC, så måste ett lämpligt val av strömsituationer göras, som speglar de förhållanden som kan förekomma. Här görs olika förenklingar, eftersom detta annars inte är genomförbart.

En tre-dimensionell numerisk strömmodell, Phoenix, anpassas till Vättern. Ett rutnät skapas, som täcker sjön, och dessutom följer strandlinjerna. Nätet ges också en större detaljeringsgrad i de delar där informationen behöver vara noggrannare eller där strandkonturen är mycket varierande. Detta görs genom att rutnätet inte behöver bestå av vinkelräta rutor, utan de kan ha valfri form och storlek. Man optimerar också sina beräkningar utifrån de topografiska förhållandena. Det medför att Vättern är uppdelad i 78 rutor i längdriktningen och 28 rutor på tvären.

I modellen tas hänsyn till friktion mot botten, friktion mot temperatursprångskiktet, jordrotationens högervridande kraft, djup- och kustkonturer och de största flödena till och från Vättern. Drivningen står vinden för.

Beräkningarna är utförda för åtta olika vindriktningar, nord, nordost, ost o.s.v. samt med homogen vattenmassa (vinterförhållanden 15 september - 15 juni) och temperaturskiktad vattenmassa (sommarförhållanden 15 juni - 15 september). Dessutom finns ett fall med is där hela Vättern betraktas som istäckt, vilket innebär att strömmarna endast drivs av flodtullrinningen.

Vinden betraktas som konstant över hela sjön. För varje vindriktning utförs en beräkning som är kvasistationär, det innebär att samma vind får råda, men man bryter beräkningen innan 'steady state' uppstår och får därigenom ett strömmönster som svarar väl mot det som byggs upp i sjön när samma vind blåst ett antal timmar. Slutprodukten är 17 olika strömmönster, ett för varje vindriktning, med och utan termisk skiktning och ett som ger strömmen under islagda förhållanden. Phoenix-modellen har byggts upp av 15 olika djupskikt, där således olika ström erhålls i 15 olika lager.

Vid en prognos väljs ett nytt strömmönster bland dessa 17 strömfält var 3:e timme. Valet av vind styr valet av strömmönster. Vinden kan varieras mellan 1 m/s och 20 m/s, och hastigheterna sätts i kalkylarket.

För att kunna använda modellberäknade strömmar i spridningsprogrammet så kräver programkonstruktionen att alla strömvärden ges i kvadratiska och lika stora beräkningsrutor i hela området. Därför har vi utfört en tredimensionell interpolering av varje modellsimulerat strömfält. Denna är mycket känslig, då det gäller att inte förlora någon information genom utslätning. Detta styrs av hur hårt olika skikt ska tillåtas att interagera i interpoleringen.

Vid interpoleringen skapas 8 nya lager, där de tre översta är 0.5 m vardera, därefter 13.5 m och 10.0 m varefter de tre understa är 30 m vardera. Totalt ger detta djupet 115 m. De nya rutornas storlek är c:a 300 m i väst-östlig riktning och c:a 600 m i nord-sydlig, vilket innebär 200*200 rutor, vilket korresponderar mot de minsta rutorna i det rutnät, som användes vid modellberäkningen. Figur 4 visar en plottning på strömfält med västlig vind före och efter interpolering.

Vid beräkning av Kelvinvågen i Phoenicsmodellen användes en speciell modul, som hindrar vatten i de båda skikten att blandas med varandra; Height Of Liquid - metoden. Härigenom renodlas det dynamiska förloppet. Indata var densitetsskillnad = 0.6 kg/m^3 , termoklindjupet = 15 m och det totala djupet = 60 m. Den beräknade fashastigheten för vågen blir 0.26 m/s, vågens period blir 8 dygn och våglängden 180 km. Bredden hos vågen blir 2.1 km. Valet av styrande indata baseras på något svagare skiktning och grundare termoklin än vad som gällde vid mätningen 5 augusti 1977, som är beskriven i kapitel 4.

Beräkningarna för Kelvinvågen har utförts så att nya strömfält skapats för var 12:e timme. Det innebär 16 olika strömfält, som täcker de 8 dygn det tar för vågen att gå runt Vättern ett varv. Dessa strömdata behandlas på samma sätt som övriga strömfält med tre-dimensionell interpolering och med samma geometriska förutsättningar, se figur 5 och 6. Figurerna visar förhållandena 2 respektive 4 dygn efter att vågens dal (djupt liggande termoklin) fanns i norra Vättern. I figuren visas a) densitetsskillnad på 14 meters djup, b) ytströmshastighet och c) interpolerad ytströmshastighet.

7. Spridningsberäkningar

Det ämne, vars spridning och förflyttning ska beräknas, betraktas som ett stort antal partiklar där varje partikel får motsvara en viss mängd av det aktuella ämnet. Varje partikels mängd ges av total utsläppt mängd dividerad med antal partiklar. Antal partiklar kan lämpligen vara mellan 100 och 500 stycken och varje partikel behandlas separat i beräkningen. Programmet tar hänsyn till vindar och strömmar. Om det är olja som är aktuellt tas hänsyn till varje oljetyps speciella karaktär. Egenskaperna hos de valda oljorna varierar mycket och det var komplicerat att få fram de data som krävdes, såsom ångtryck som funktion av temperatur för varje olja. För olja beräknas den initiella egenspridningen i tre olika faser och samtidigt beräknas horisontell och vertikal dispersion, avdunstning, emulsifiering, strandning och sedimentering. De hastigheter som således bidrar till varje partikels förflyttning är ström, turbulens och vinddrift. Om det är olja som simuleras finns även oljans initiella spridning med. Förflyttningen beräknas var 15:e minut vilket innebär en ny position i koordinatsystemet. Formen på oljans utbredning ändras således utseende med samma tidsintervall.

De 7 olika oljor som beräknas i Vättern-tillämpningen är: bensin 95, bensin 98, eldningsolja miljöklass 3, eldningsolja 3, diesel miljöklass 1 och 2 samt flygfotogen.

Strömmen ges av de Phoenicsberäknade strömfälten.

Horisontell turbulens är ett tillskott som dels är styrt av strömshastigheten dels av ett slumpmässigt hastighetstillskott i någon riktning.

Vertikal turbulens betraktas som bestående av tre olika delar; droppbildning som effekt av brytande vågor, transport av dispergerade droppar och droppar som stiger uppåt mot ytan där stighastigheten beror av droppens storlek och densitet.

Vindströmmen ger för det tunna ytlaget en strömshastighet som är 3 procent av vindhastigheten och strömmen avtar logaritmiskt med ökande djup. Vinden ges ett turbulent tillskott till det givna värdet. Fläcken får också en utsträckt form i vindens riktning.

Oljans egenspridning har tre faser och den största möjliga utbredningen beräknas. Den beror av oljetyp och mängd.

Avdunstning beräknas separat för varje oljetyp. Avdunstningen varierar mycket mellan olika oljor.

Emulsifiering beräknas med ett empiriskt samband och beror av vindhastighet och oljetyp. Olja kan bestå av upp till 80 % vatten och denna blandning är mycket stabil. Man brukar benämna den 'choklad mousse'.

Strandning sker när partiklarna känner av den numeriska modellens kustlinje. Sedimentering äger rum när en partikel når botten djupet på platsen.

Även andra ämnen än olja kan beräknas. Spridning av passiva/ lösliga ämnen, flytande ämnen och föremål som driver på ytan kan beräknas.

Beräkningar bakåt i tiden kan också utföras. En redan utförd beräkning kan också förlängas och man startar då från den sist erhållna positionen. Det innebär att man kan fortsätta en beräkning när man erhåller nya prognoser. Finner man då att positionen behöver justeras genom att man fått nya observationer, så är detta också möjligt.

Exempel på hur beräkningsresultat kan se ut finns i figur 7.

Mer information om programmets olika beräkningsmöjligheter finns i manualen, Vätternvårdsförbundets Rapport nr 42.

8. Kalibrering och validering av ström och spridning mot olika typer av mätningar

De resultat som en driftsberäkning ger måste jämföras med mätningar. Det är viktigt att hitta lämpliga metoder så att jämförelserna blir relevanta. Detta innebär att man kalibrerar modellen, man gör en bedömning över hur bra resultat den ger och det kan leda till att man gör förändringar som ökar överensstämmelsen med mätta data.

Vid en validering, dvs en oberoende jämförelse mellan beräkningar och mätningar, så gäller generellt att om modellen klarar de studerade partierna av ett område så bedöms de övriga delarna av det beräknade området av samma kvalitet.

Vid en driftsprognos, som baseras på en vindprognos finns alltid vindprognosens egen osäkerhet med i beräkningarna.

Valideringar har utförts mot fritt drivande strömkors, mot strömmätningar i ett antal punkter, samt mot temperaturmätningar där ett stort antal sensorer funnits i samma vertikal.

Strömkorsmätningarna utfördes av personal från Jönköpings kommun och ström- och temperaturmätningar utfördes i samband med ett forskningsprojekt som SMHI hade på 70-talet.

Strömkorsmätningar

Under sommaren 1994 utfördes mätningar av hur ett föremål driver, genom att ett antal strömkors lades ut. Vid några tillfällen lades de ut norr om Visingsö tvärs hela sjön och vid några tillfällen söder om Visingsö. Skälet till att strömkors är ett utmärkt sätt att validera modellen på, är att deras drivbana är summan av den ström som modellberäkningen ger, vindpåverkan och spridningen av det aktuella ämnet.

Vid sex tillfällen: 6,16 och 31 maj, 16 juni, 21 juli och 22 augusti 1994 lades strömkors ut i 5 punkter, dels i ytan och dels på 4 meters djup.

Den 6 maj rådde svaga vindar, vindobservationerna vid mätplatsen strax norr om Visingsö visade 1 - 2 m/s. Strömkorsmätningarna gav strömmar mot söder, väster och norr, med

hastigheter 1 - 5 cm/s, d v s mycket låga strömhastigheter. Det gör att jämförelser blir osäkra, men det visar ändå att vi som väntat har svaga, varierande strömmar vid svaga vindar. Med modellen kan man räkna ut hur strömkorsen driver, när de förberäknade strömfälten används. Sambandet mellan vind och ytström är normalt stort i en sjö som Vättern, speciellt under perioder utan termisk skiktning. Jämförelser vid detta tillfälle visade att ett entydigt samband inte erhöles. Det beror på den svaga vinden, som dessutom ger upphov till lokala variationer styrda av främst topografin och strandlinjen. Figur 8 visar beräkningarna i punkt 2 och 5. Där finns ett ganska bra samband i punkt 5, men i punkt 2 skiljer sig riktningen med cirka 90°, dock finns en västgående komponent i båda. Strömmen på 4 m djup var nästan identisk med den på 0.5 m.

Den 16 maj var det lugnt i mätområdet norr om Visingsö. Vid Jönköping rådde nordliga vindar 3 - 5 m/s. Strömmarna nära den västra stranden var starkt sydgående ca 15 cm/s. Längre österut uppmättes 2 - 8 cm/s, men något varierande riktningar och på östra sidan erhöles svagt nordgående ström. På 4 m djup var strömmen densamma som på 0.5 m djup. En perfekt överensstämmelse erhöles på västra sidan av Vättern, liksom i de centrala delarna. Däremot på östra sidan med svaga strömmar visade modellen motsatt riktning. Den enda förklaringen till detta är att vinden vid Jönköpings flygplats inte representerar vindförhållandena här. Se resultat i figur 9.

Den 31 maj rådde starka vindar; 8 - 15 m/s uppmättes i mätområdet söder om Visingsö. Vid Jönköpings flygplats var vindarna starkast den 31 maj med upp till 13 m/s västlig vind, medan det var betydligt lugnare 4 - 6 m/s den 1 juni. Vindriktningen vid Jönköping var mestadels västlig. Strömkorsen släpptes på förmiddagen och en notering av deras läge gjordes vid cirka kl 15. Då hade tre strömkors rört sig österut och det västligaste mot norr. Detta stämmer mycket väl med de beräknade drivbanorna. Därefter kunde man inte återfinna något av de 7 utlagda strömkorsen, varav 2 låg på 4 m djup. Den 2 juni på eftermiddagen återfanns alla på olika ställen strandade på östra sidan. Strömkorset från punkt 1 strandade strax söder om Gränna, detta stämmer mycket bra med den beräknade drivbanan, se figur 10. Betraktar man punkt 2 så ser man att strandningen skedde betydligt tidigare än för dem som lades ut längre österut. Vind med mer sydlig riktning började blåsa på kvällen den 1 juni. Dessutom styrs vinden över vattenytan mot vänster på grund av den lägre friktionen, d v s västlig vind blir mer västsydvästlig, och kustkonturens topografi kan också styra upp vinden så att den antar en riktning som är mer parallell med strandlinjen. Drivbanan från punkt 4 har också beräknats. Denna visar på en strandning på kvällen den 31 maj. Härifrån har troligen strömkorset sedan drivit vidare norrut upp mot Ödeshög. Strömkorsen från punkt 3, 4 och 5 drev långt norrut och strandade norr om Visingsö.

Den 16 juni lades 5 strömkors ut i ytan söder om Visingsö och två strömkors på 4 m djup. Alla mätningarna visar en drift mot östra stranden riktad mot nordost, ost och sydost, se figur 11. Vindarna var 2 - 5 m/s, d v s ganska måttliga. Jämförelser mellan modellens drivbanor och strömkorsens drift ger en mycket god överensstämmelse, beräkningar har gjorts för mätpunkt 1 och 4.

Den 21 juli sattes 7 strömkors ut söder om Visingsö i en linje tvärs sjön. Det rådde varierande vindriktningar med måttliga hastigheter. I den västra delen av sjön gick strömkorsen österut/söderut och i den östra delen gick de västerut och mot nordväst. Beräkningar med modellen ger perfekt samband mellan drivbanan i punkt 1 och modellberäkningen. Beträffande mätpunkt 5, som också beräknats, så erhöles motsatta riktningar. Detta kan bero på att vindriktningarna var mycket varierande under mätperioden. Se figur 12.

Den 22 augusti sattes sju strömkors ut norr om Visingsö, men endast tre återfanns. Driften hos dessa tre har simulerats med modellen. Vinden varierade mellan 1 - 5 m/s, och var huvudsakligen från väster. Sambandet mellan verklig drift och beräknad är mycket bra, speciellt för punkt 1 och 3, se figur 13. Strömkorset i punkt 2, som dessutom inte återfanns förrän nästa dag skiljer sig cirka 45° jämfört med den beräknade drivbanan. Här är naturligtvis beräkningen över samma tidsperiod som strömkorsets drivtid. Det tycks således som att hela avvikelserna skett efter kl 15 den 22 augusti, vilket innebär att vinden i mätområdet då vridit mer mot nordostlig, medan den låg kvar vid nordvästlig vid Jönköping. För detta strömkors finns endast två positionsmarkeringar, en vid isättning och en vid upptagning.

Valideringen med strömkors visar att modellen lyckas beskriva drivbanorna hos oljan / föremålet väl.

Strömmätningar med självregistrerande instrument

Under 1977 och 1979 gjordes en stor mängd strömmätningar i Vättern med automatiskt registrerande mätare. Det omfattande strömmaterialet skulle vara mycket värdefullt att utvärdera grundligt och det kan därvid ge en god information om Vätterns dynamik. Under 2 månader 1977 mättes strömmen i en punkt på två olika djup och under 2 månader 1979 i sex olika punkter på två djup i varje punkt.

Flera av de uppmätta strömresultaten har studerats och någon entydig koppling till vinden i Karlsborg har inte syns i resultaten. Den primära orsaken till detta är att strömmen mätts på 8-9 meters djup och sambandet med vinden avtar med ökande djup. Dessutom varierar vinden över Vättern.

För jämförelse med modellberäknade strömmar har ett strömmaterial valts ut från 1979. Strömmen mättes på 9 meters djup var 20:e minut under perioden 14 augusti - 24 oktober i en punkt mellan Vadstena och Omberg (punkt A), se kartan i figur 1. De strömfält som modellen ger bygger på att relativt konstant vind rått i flera timmar och att vinden inte varierat alltför mycket över Vättern. En jämförelse mellan strömmens och vindens hastighet (filterade värden) visar en samvariation; högre vindhastigheter ger högre strömhastigheter. Detta framgår också av figur 13, där hastigheten hos strömmen i punkt A och vinden i Karlsborg för 22 dygn har ritats in.

Spektralanalys har också utförts över strömdata från några av mätpunkterna. Syftet var att få fram perioden för Kelvinvågen och hur mycket energi dess period har. Här har samma station som ovan valts ut. Mätperioden är egentligen för kort, 2 månader, för att man ska kunna få fram en svängning som är 7-8 dygn lång. Perioder längre än denna är därför inte relevanta att analysera vilket innebär att informationen i figur 14 till vänster om det antydda maximum inte kan uttolkas. Man ser ett markant maximum vid cirka 7 dygn, vilket är en typisk period för en intern Kelvinvåg.

Temperaturmätningar med självregistrerande instrument

Temperaturen har mätts på 11 olika djup mellan 5 och 35 meters djup på två olika platser en i östra, punkt O, och en i norra Vättern, punkt N. Se karta i figur 1. Mätperiod var 26 juli - 10 augusti 1977.

Dessutom mättes temperaturen under perioden 21 augusti - 24 oktober 1979 i östra Vättern utanför Ödeshög, punkt T. Elva temperatursensorer var jämt fördelade mellan 6 och 36 meters djup.

Temperaturmätningarnas största värde ligger i att de genom den stora vertikala upplösningen, väl täcker alla de olika svängningar i temperatursprångskiktet som äger rum. I det här fallet är det Kelvinvågen vi intresserar oss för.

Under mätningen 1977 var det möjligt att följa Kelvinvågens rörelse runt Vättern genom att det fanns två olika mätpunkter O och N. Man kan se och kvantifiera fasskillnaden mellan de båda lägena. I figur 15 har temperaturen på tre olika djup; 22.5, 25.0 och 27.5 meter, ritats upp. På den nordliga stationen finns den största amplituden och temperaturen varierar mellan 7 och c:a 11.5 grader på 22.5 meters djup. Vid den låga temperaturen, den 4 - 5 augusti, ligger termoklinen nära ytan och det djupare belägna, kallare vattnet har ersatt det varmare vattnet, som fanns på det här djupet några dagar tidigare. Den 8 augusti erhålls ett temperaturmaximum, vilket innebär att termoklinen ligger djupare och att varmt ytvatten finns här. Den övre bilden från den ostliga stationen visar att Kelvinvågen kommer hit tidigare än till stationen som är belägen längre norrut. Den 6 - 7 augusti är temperaturen högst (= vågdal) i den ostliga stationen (O) och den 7 - 8 augusti finns temperaturmaximum (=vågdal) i den nordligt belägna stationen (N).

Man ser i figur 16, som visar temperaturen på 25 meters djup vid vattenintaget vid Ödeshög, att den 6 - 7 augusti låg termoklinen som djupast vid Ödeshög, ty de högsta temperaturerna uppmättes då. Det stämmer väl mot mätningarna i station O. Temperaturen i vattenintaget varierade mellan 15 och 9 grader och mätningarna visar att Kelvinvågen gick runt Vättern två varv.

Den 9 augusti 1977 utfördes en kartläggning med SMHI:s undersökningsfartyg Sensor över hela Vättern. Man mätte då upp termoklinens avvikelse i djupled i förhållande till ett valt medeldjup. Genom att vågen rör sig relativt långsamt kan man under en dags mätning få en acceptabel samtidighet i karteringen. Resultatet framgår av figur 17, som visar att vid Karlsborg låg termoklinen djupast och vid Gränna ytligast den 9 augusti. Det innebär att vågdalen kommit hit från station N där den var den 7 - 8 augusti. Kartläggningen den 9 augusti visar alltså att vågdalen (dvs högsta temperaturerna i ytskiktet) kommit till Karlsborg cirka 2 dagar efter det att den var i Ödeshög.

Hur såg då strömmen ut? Utanför Hjo låg en strömmätare som visade strömmen på 10 och 30 meters djup. Den 9 - 10 augusti går strömmen på 10 meters djup söderut, se figur 18, vilket beror på att vågdalen kommer från Karlsborg där den var den 9:e och går söderut. För att successivt fylla ut vågdalen under vågens väg sydvart så erhålls en sydlig ström på cirka 5 cm/s.

Således

Den 6 - 7 augusti fanns vågdalen vid Ödeshög enligt figur 15 a) och 16.

Den 7 - 8 augusti fanns vågdalen i norra Vättern enligt figur 15 b).

Den 9 augusti fanns vågdalen vid Karlsborg enligt figur 17.

Mätningarna under 1979 har illustrerats något annorlunda. Här har ett isoterm-mönster ritats upp. Det visar hur temperaturerna varierar under hela mätperioden. Linjer med samma temperatur har ritats in i ett koordinatsystem, där djupet anges på den vertikala axeln och tiden på den horisontella axeln. Figur 19 visar mycket tydligt hur termoklinen, se den tjocka linjen, rör sig 29 augusti - 12 september. Den visar när Kelvinvågen passerar mätpunkten, som är belägen utanför Omberg.

9. Inmatning av data

När man startar en beräkning kommer en sida upp, där de indata som krävs för en beräkning kan föras in. Här är de informationer ifyllda, som kan vara gemensamma för alla beräkningar eller har kunnats fyllas i utifrån en databas. Dessa värden kan naturligtvis ändras. Om man skriver in ett orrealistiskt värde får man en omedelbar varning. Inmatningen av indata är gjord rustik och säker och syftar också mot att skärmen ska vara lättöverskådlig. Därför kommer följdfrågor på vissa val upp först när valet är gjort. De indata som är unika för varje beräkning har givits rödskuggade fält där värdet ska stå. Det är tidpunkter, utsläppsplats och vindinformation. Se information om detta i manualen.

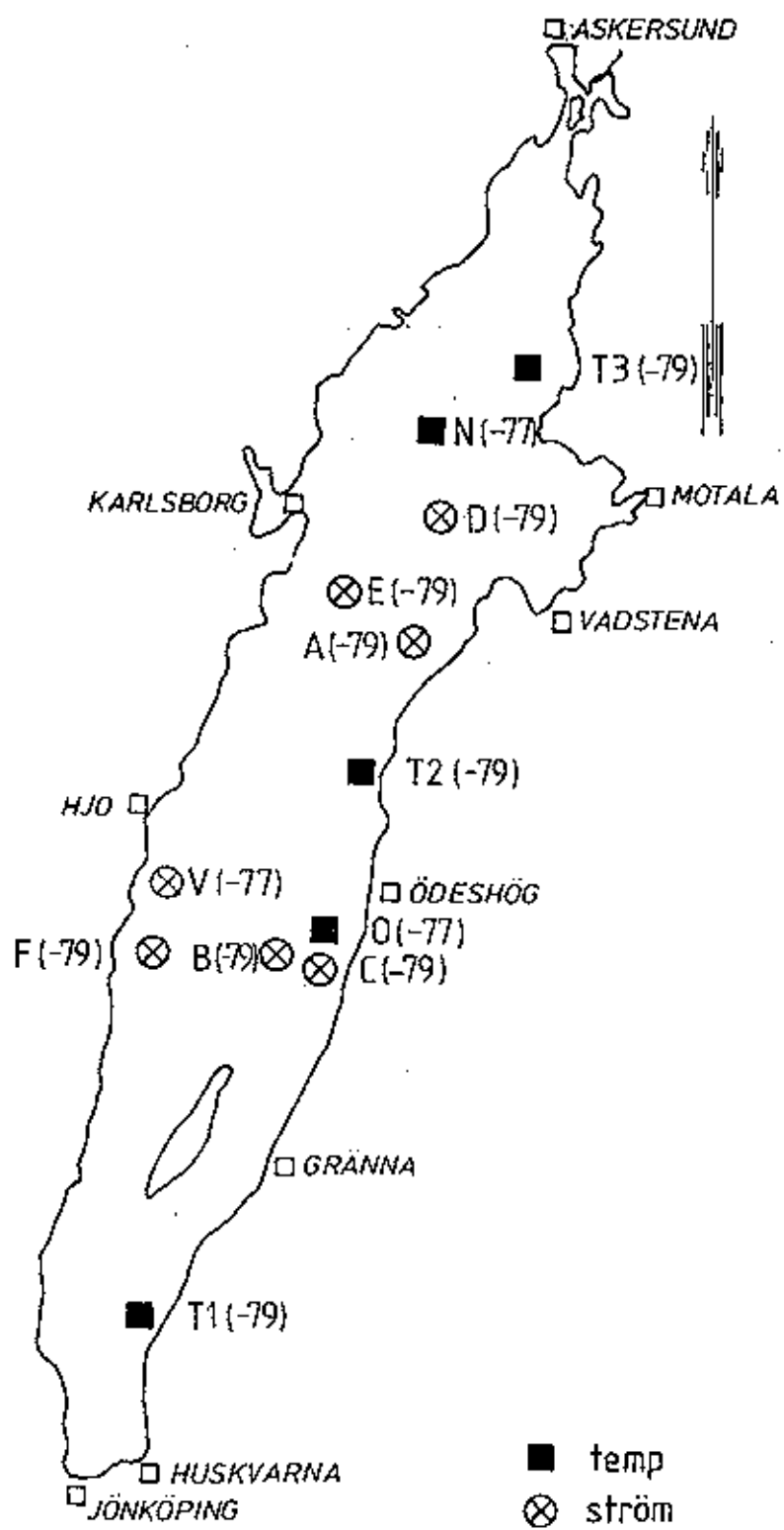
10. Referenser

Ref (1). Mortimer CH, 1974. Lake hydrodynamics. Mitt. Internat. Verein. Limnol. 20, 124-197, Stuttgart.

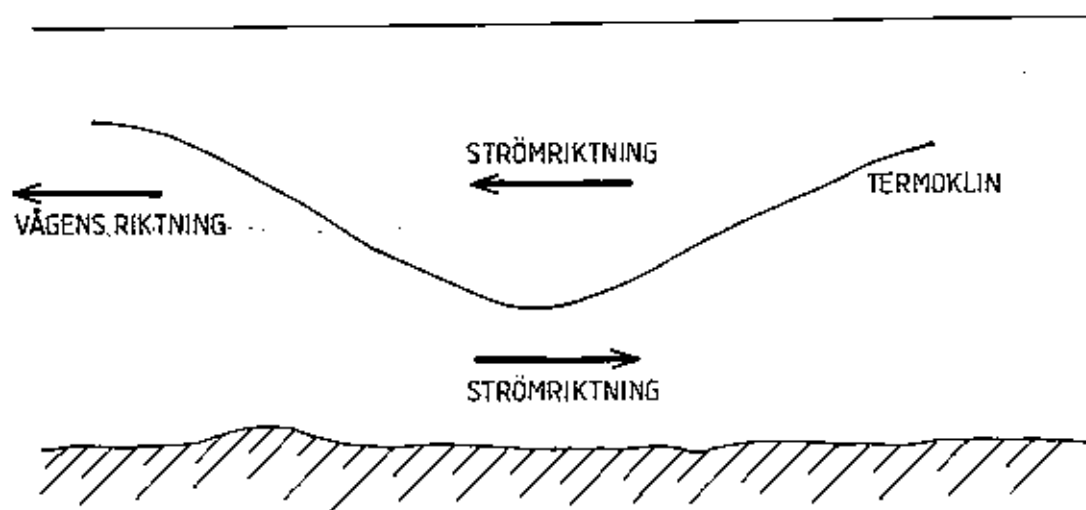
Ref (2). Funkquist L, 1979. En inledande studie i Vätterns dynamik. SMHI Rapporter, RHO 16.

Ref (3). Svensson J, 1988. Observations of internal Kelvin Waves in Lake Vättern. Intern SMHI rapport.

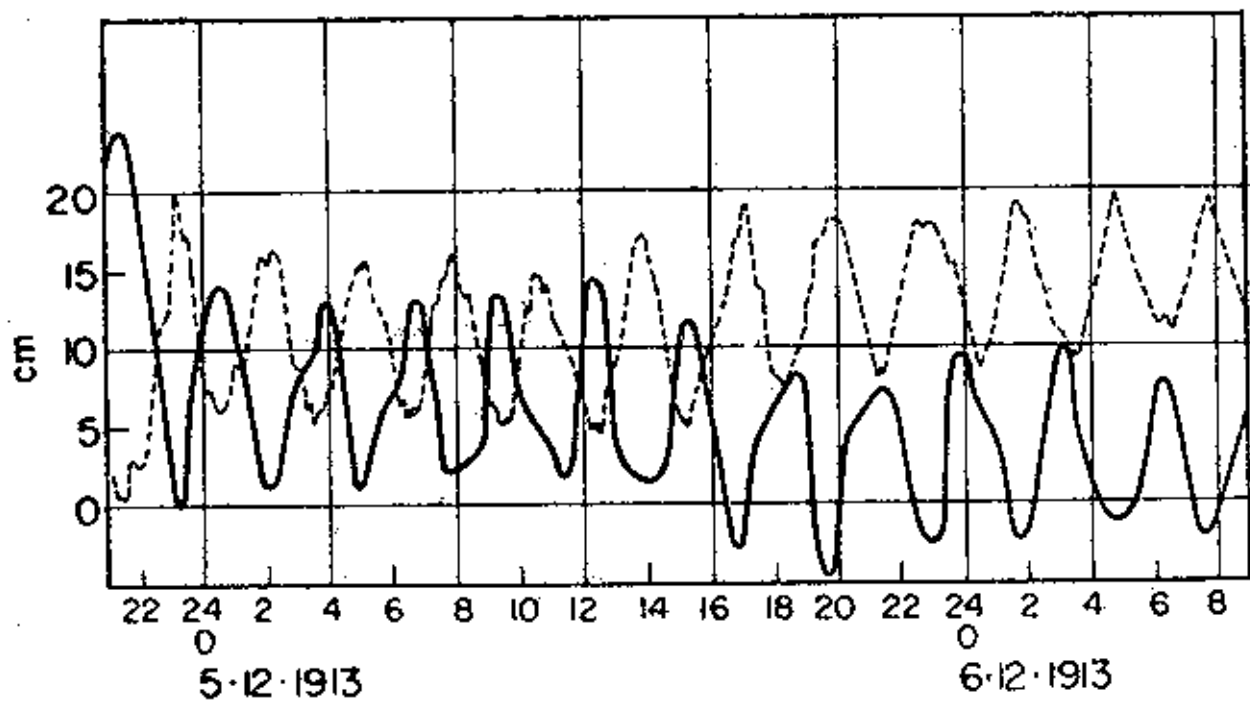
Ref (4). Bergsten F, 1926. The seiches of Lake Vättern. Geogr. Ann. Stockh.8, nos 1,2.



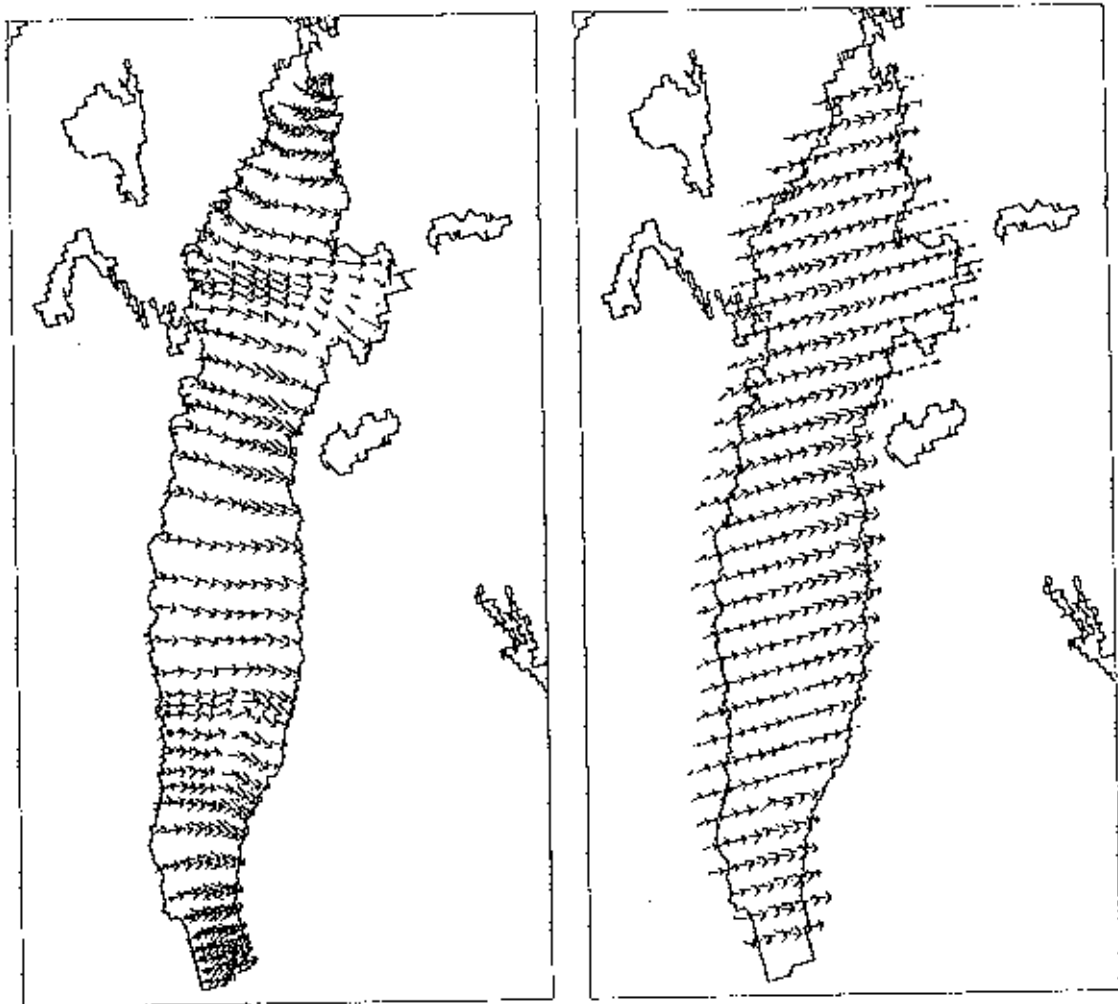
Figur 1. Karta över Vättern



Figur 2. En intern Kelvinvåg med strömhastigheter och vågens egen förflyttning.

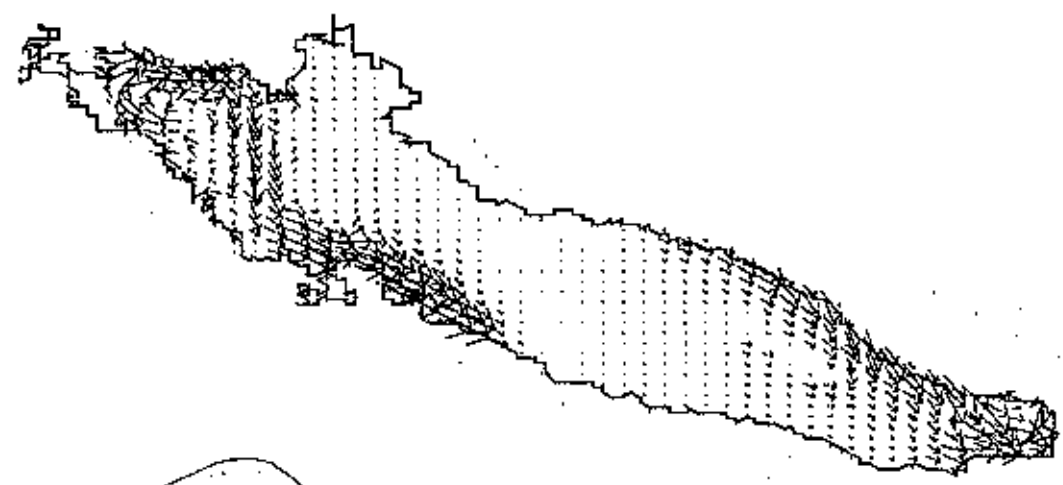


Figur 3. Samtidiga registreringar av en uninodal stående ytvåg (seiche) i Vättern vid Bastedalen och Jönköping.

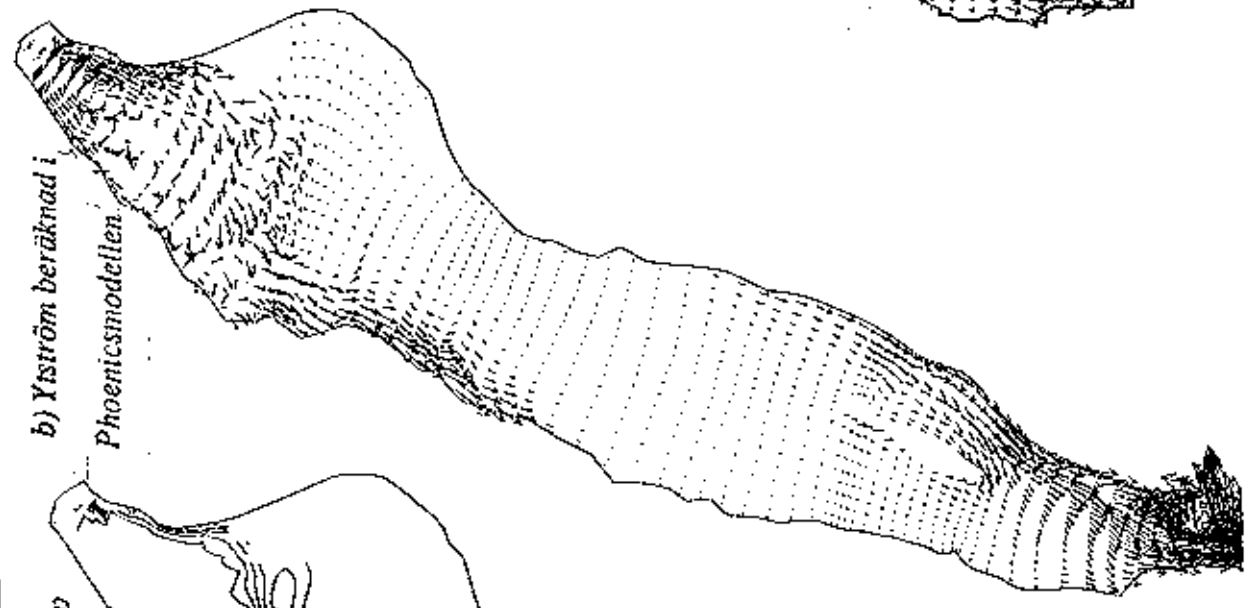


Figur 4. Strömberäkningar för västlig vind med Phoenicsmodellen, före och efter interpolering. Ytskiktet.

c) Interpolerad yström från Phoenicsmodellen



b) Yström beräknad i Phoenicsmodellen



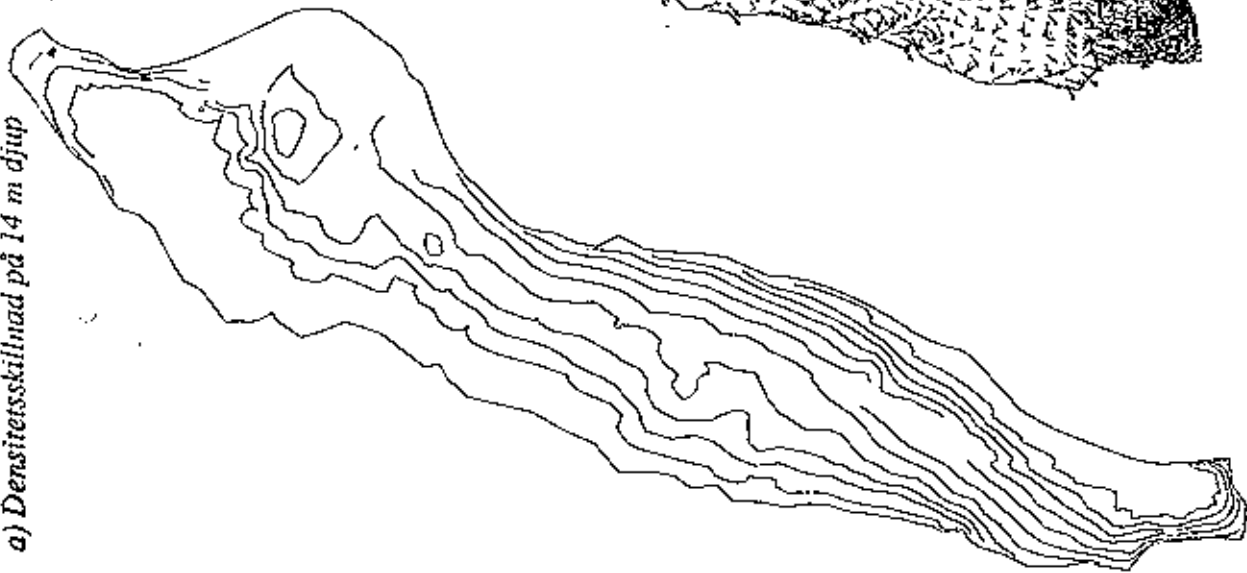
a) Densitetskillnad på 14 m djup



→ 0.30

Figur 5. Strömberäkningar med Phoenicsmodellen, före och efter interpolering, Kelvinvägens yström 2 dygn efter djupt liggande termoklin i norra Vättern.

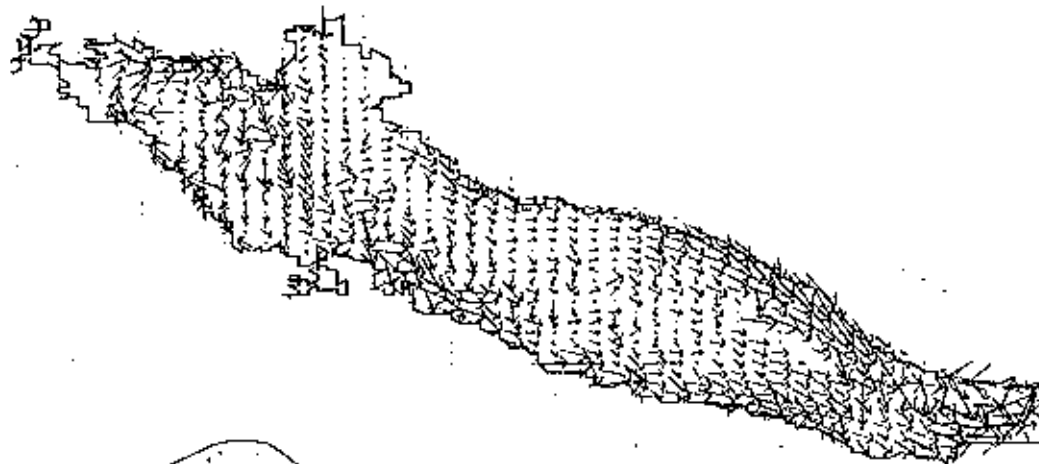
a) Densitetsskillnad på 14 m djup



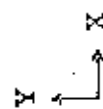
b) Yström beräknad i
Phoenixmodellen



c) Interpolerad yström från Phoenixmodellen

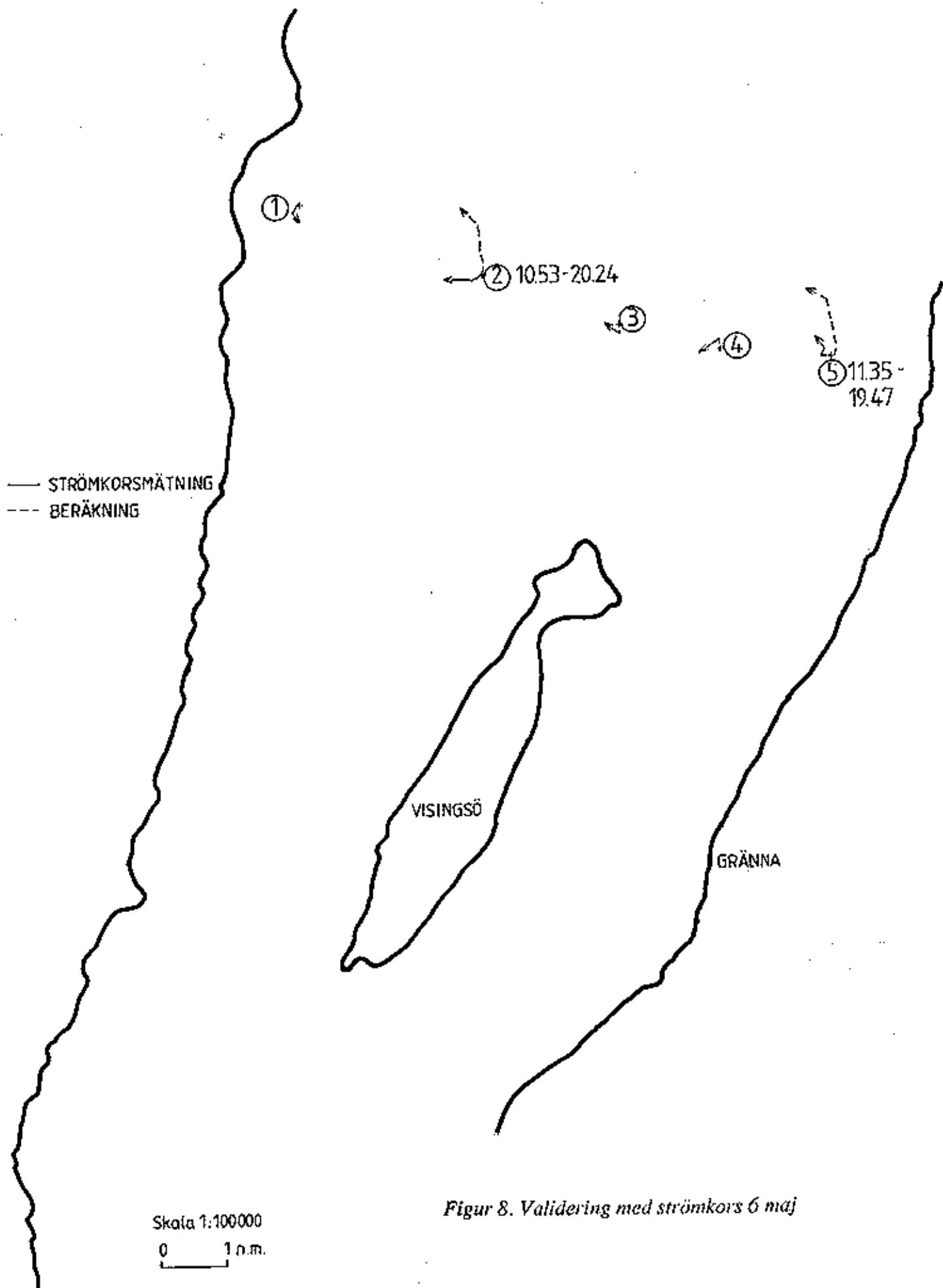


PHOTON



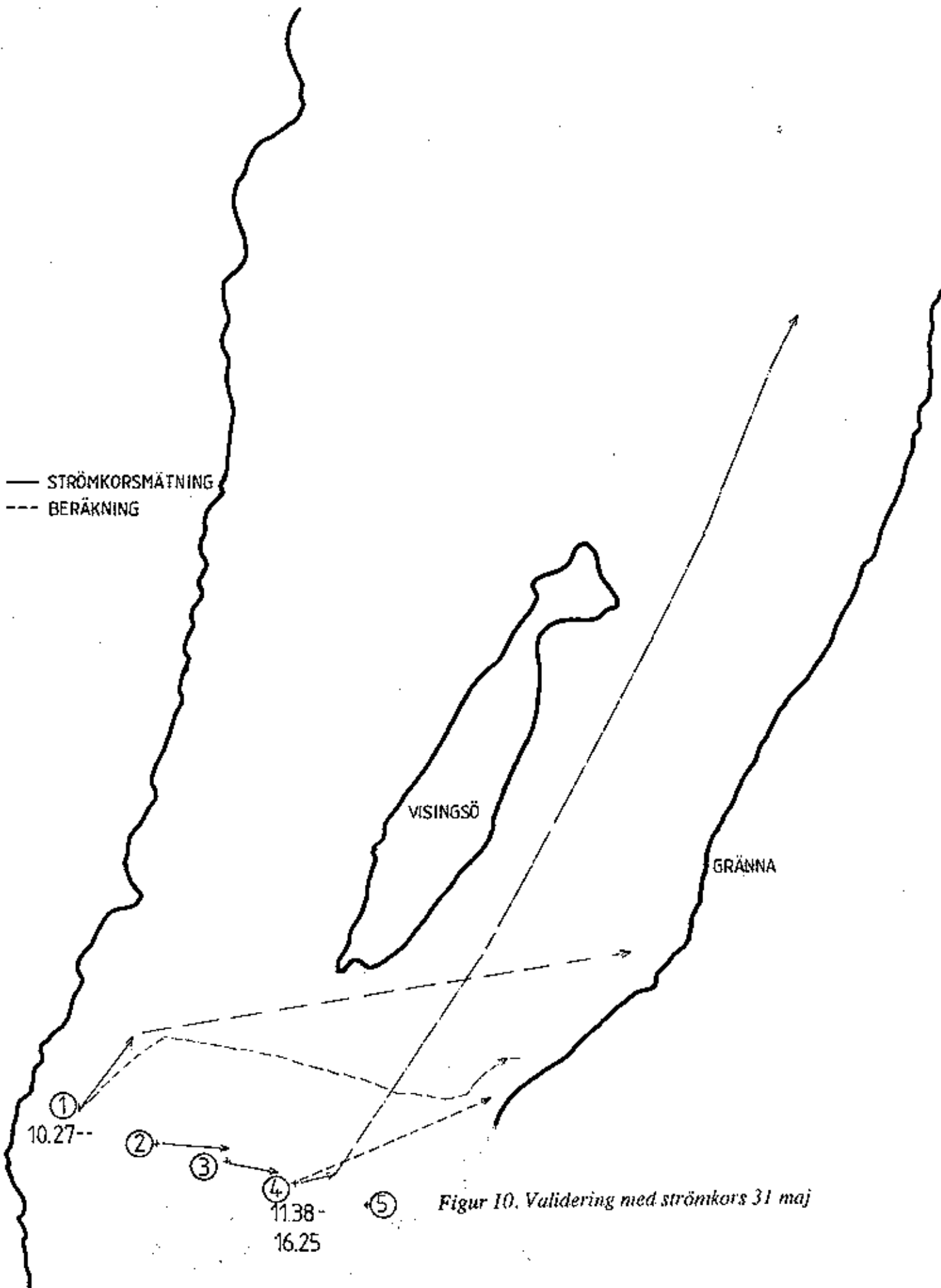
→ 0.30

Figur 6. Strömberäkningar med Phoenixmodellen, före och efter interpolering, Kelvinvägens yström 4 dygn efter djupt liggande termoklin i norra Vättern.



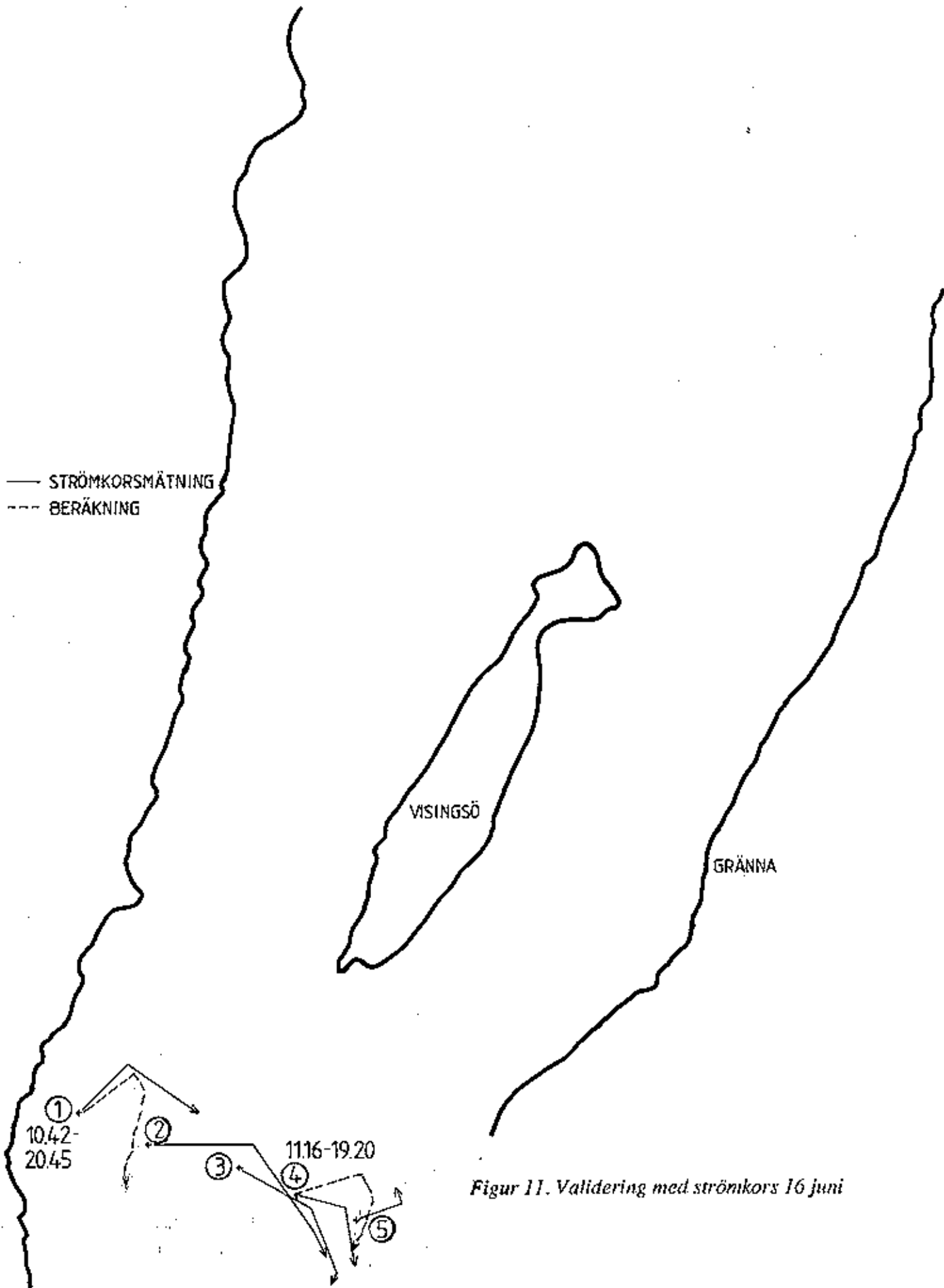
Figur 8. Validering med strömkors 6 maj

— STRÖMKORSMÄTNING
--- BERÄKNING



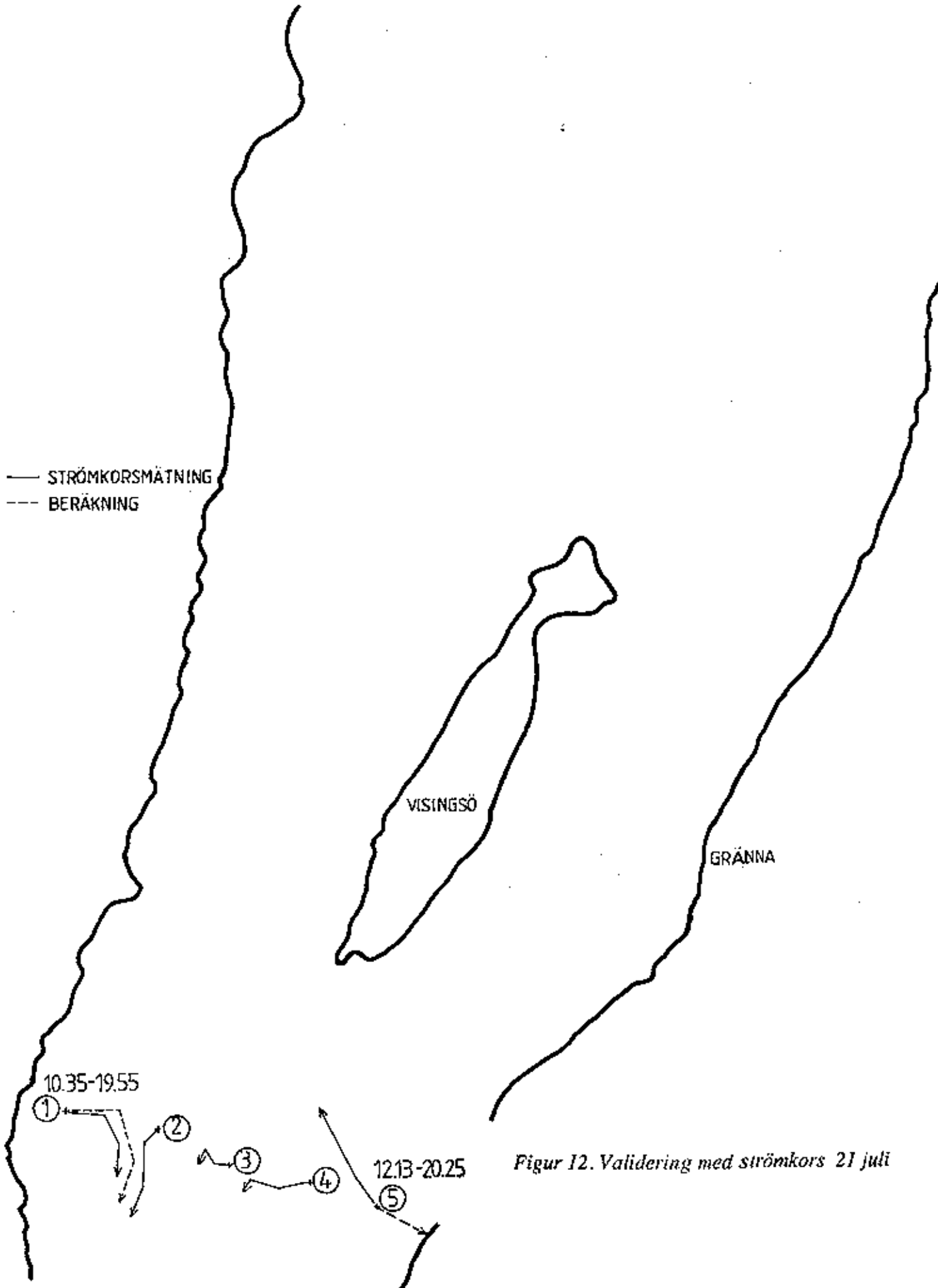
Figur 10. Validering med strömkors 31 maj

— STRÖMKORSMÄTNING
--- BERÄKNING

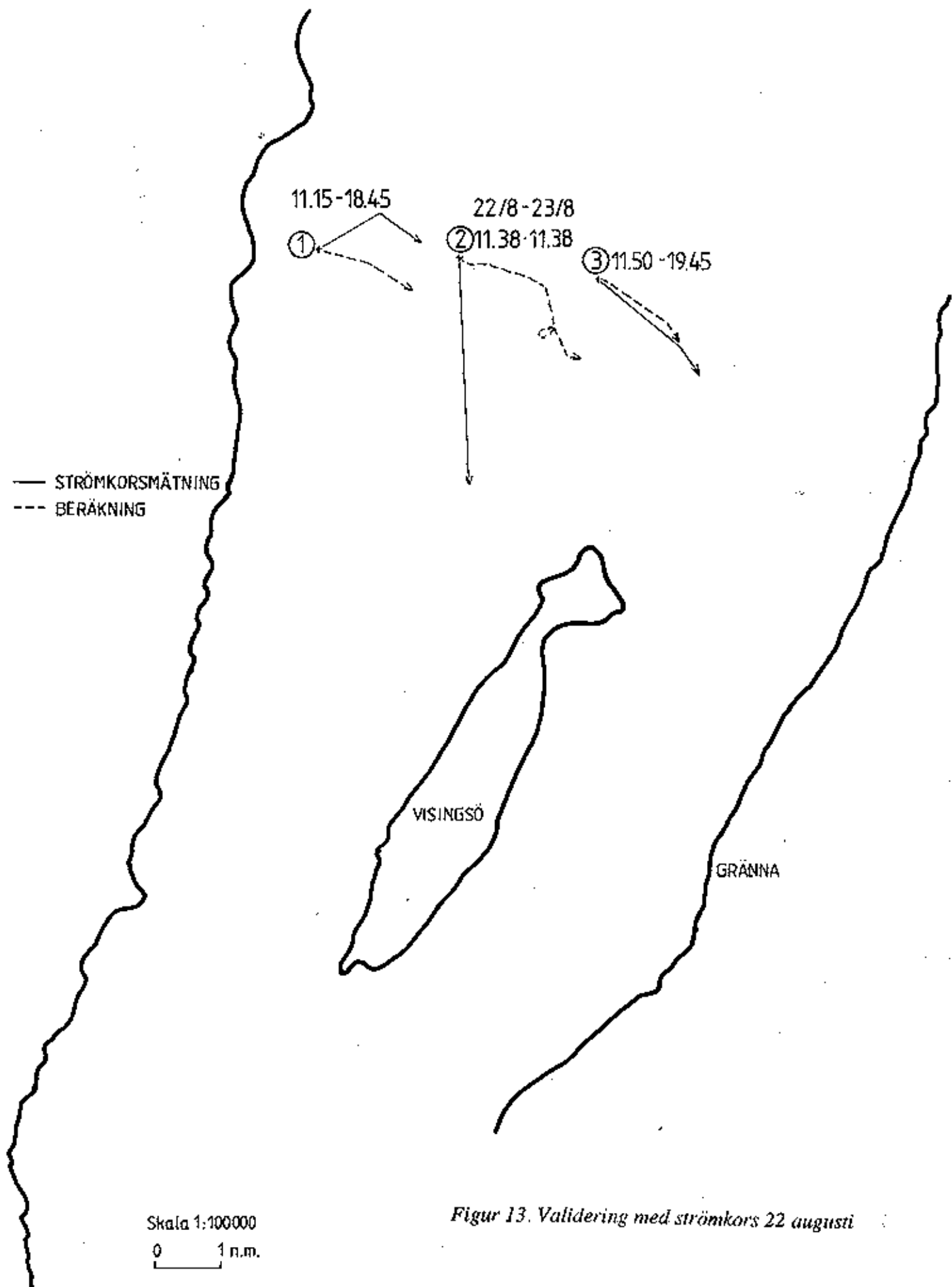


Figur 11. Validering med strömkors 16 juni

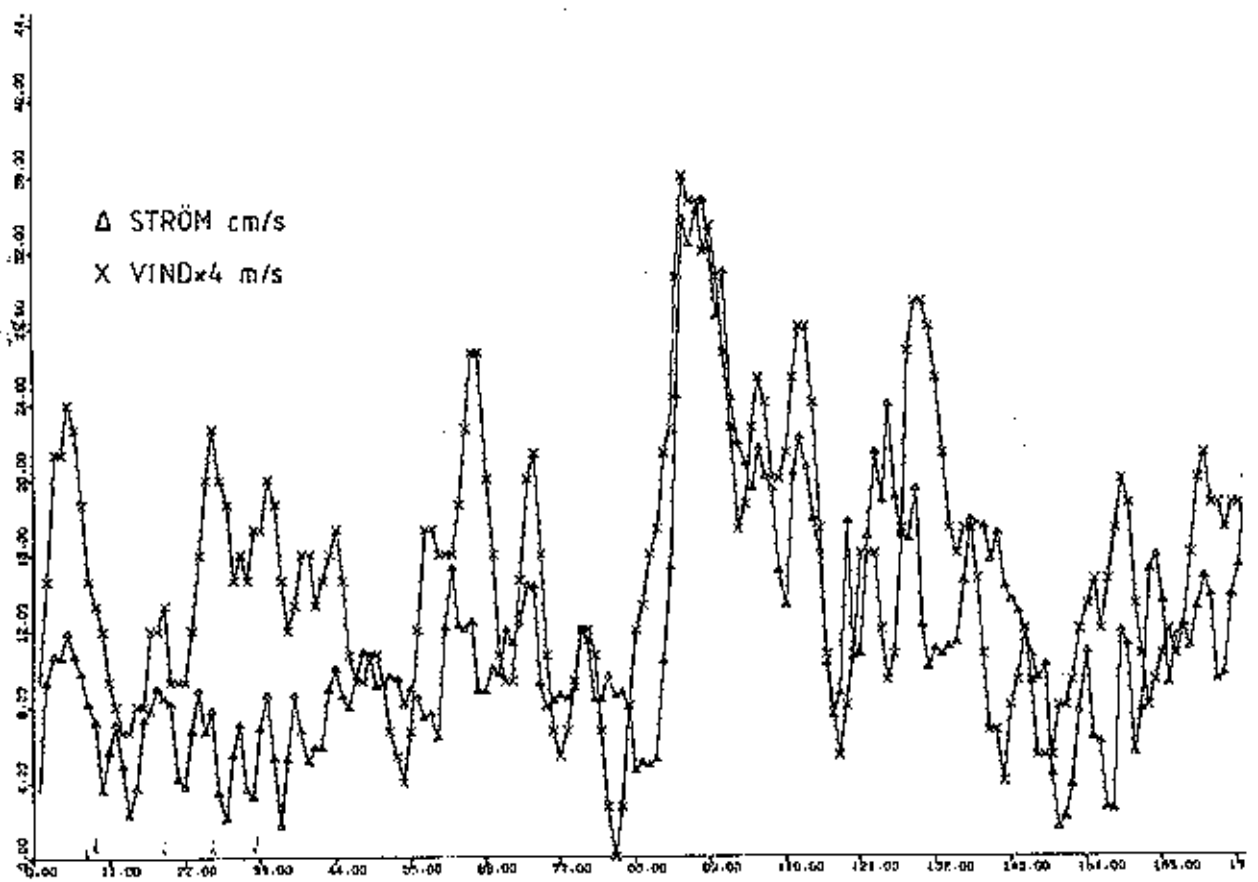
— STRÖMKORSMÄTNING
- - - BERÄKNING



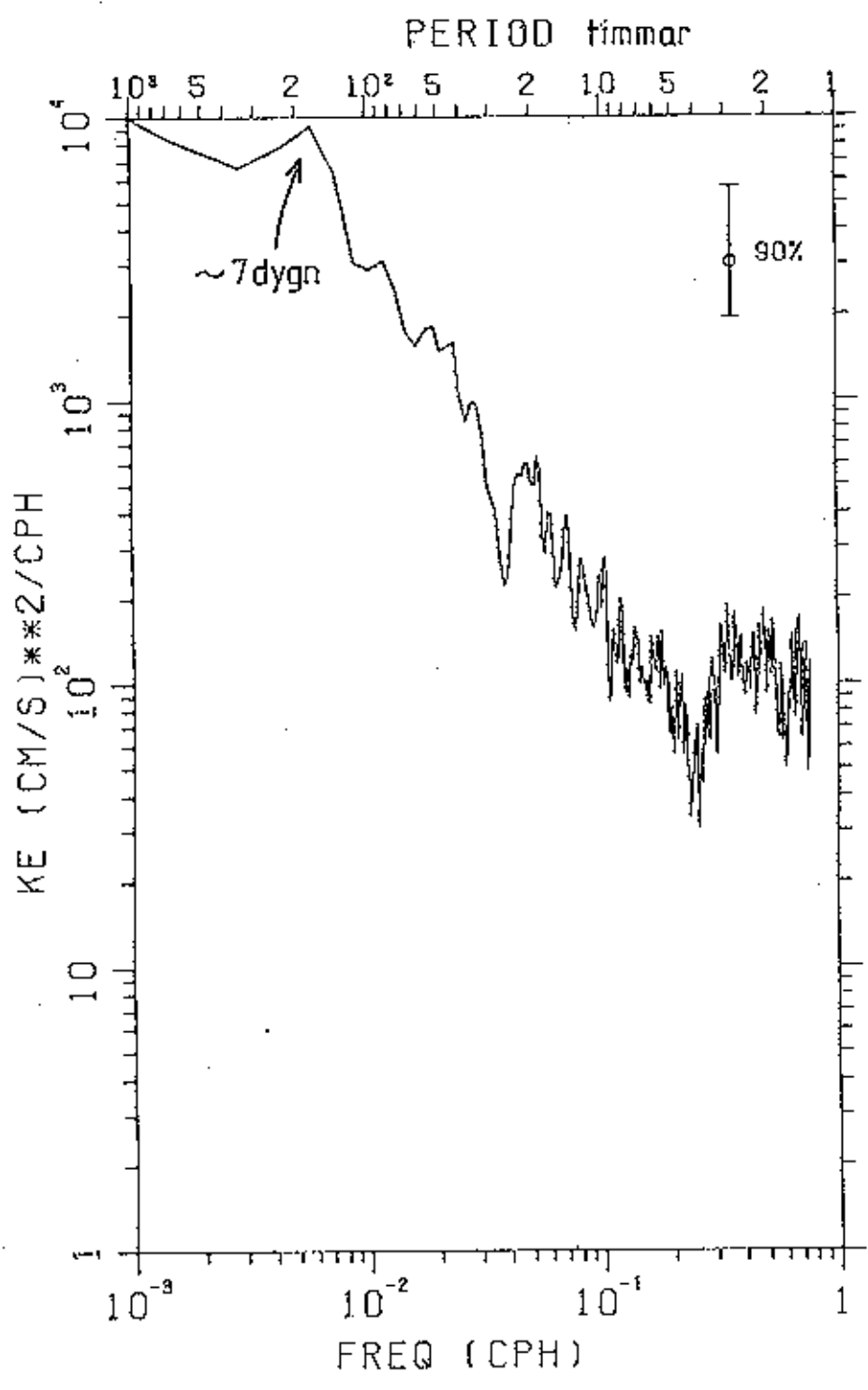
Figur 12. Validering med strömkors 21 juli



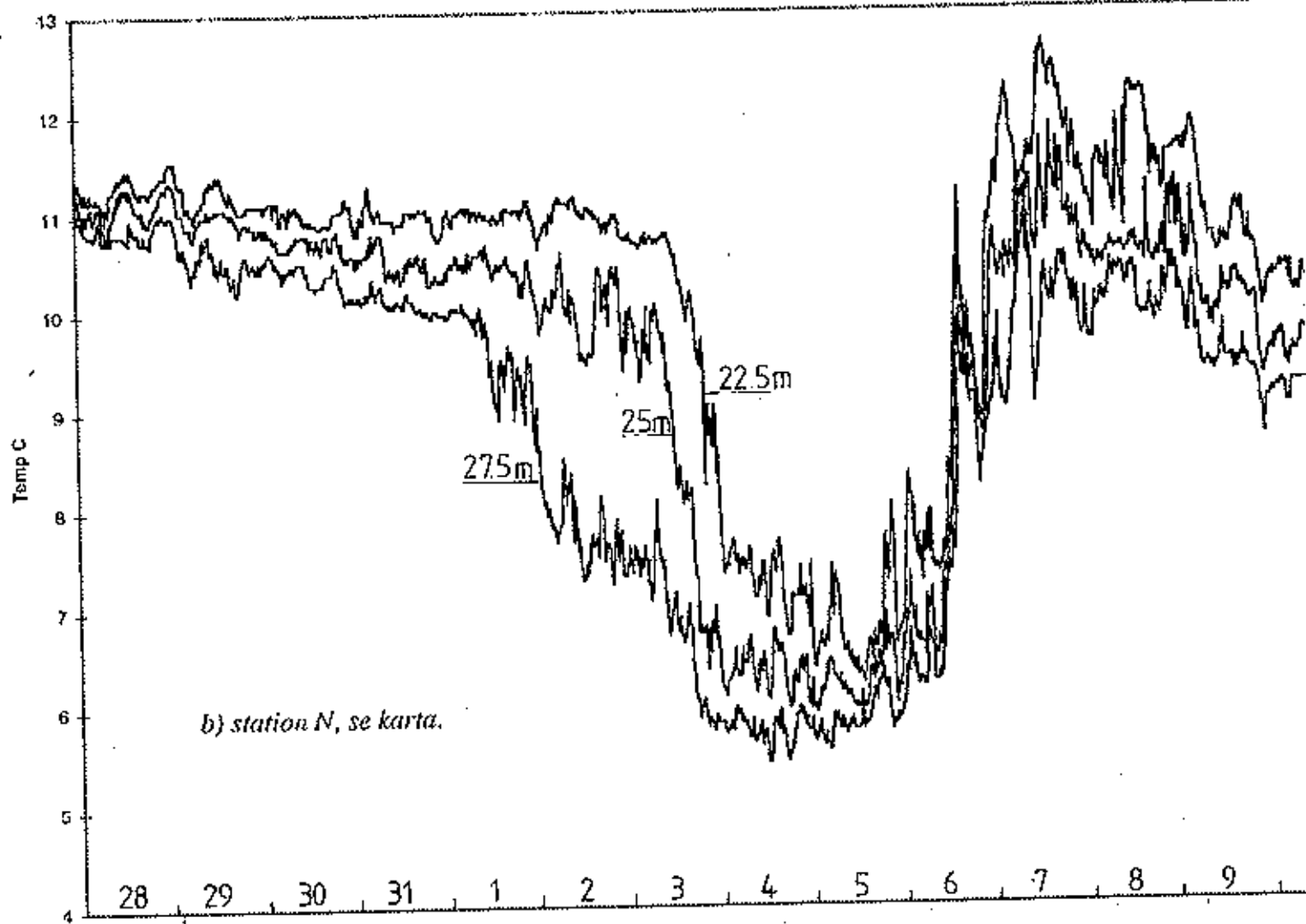
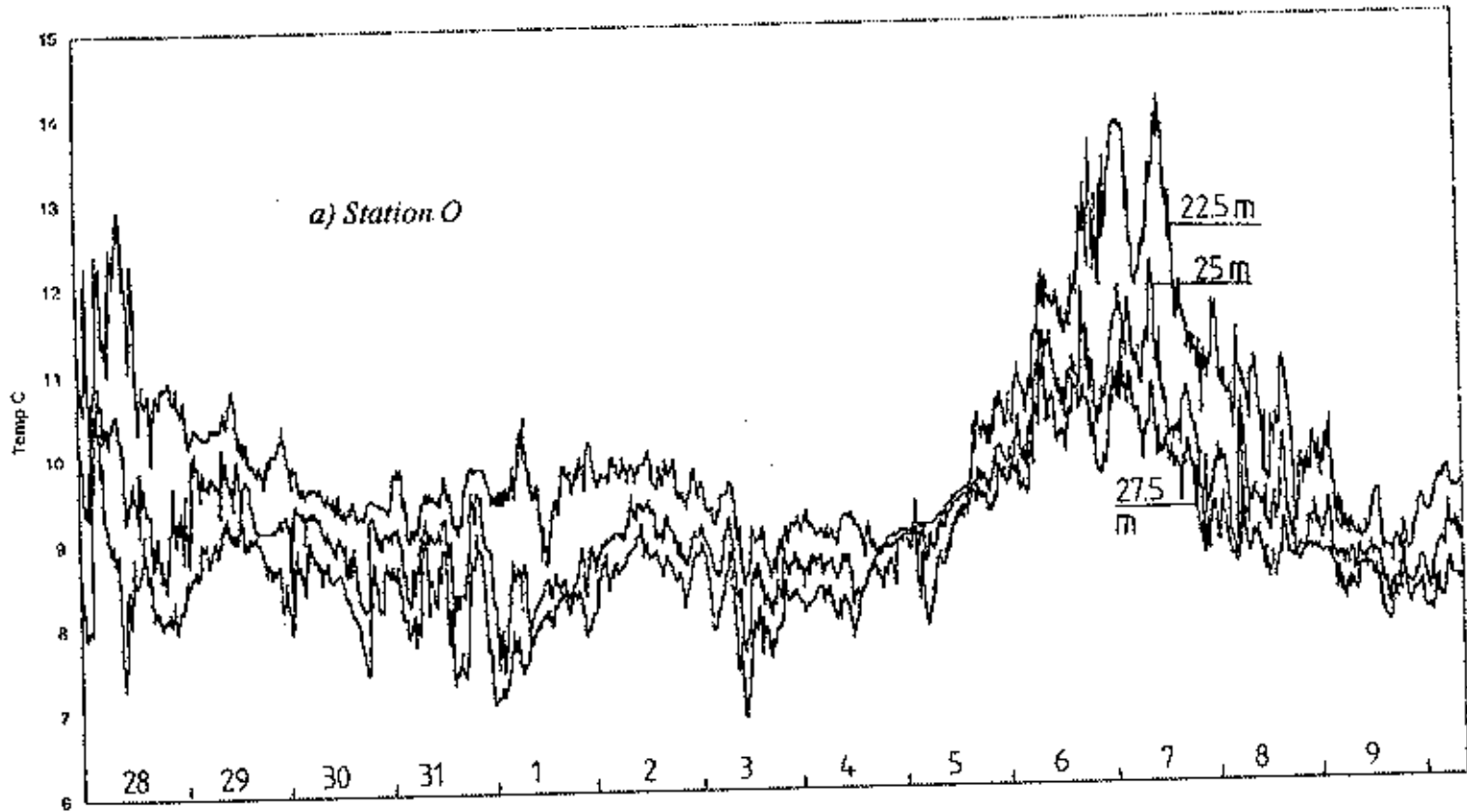
Figur 13. Validering med strömkors 22 augusti



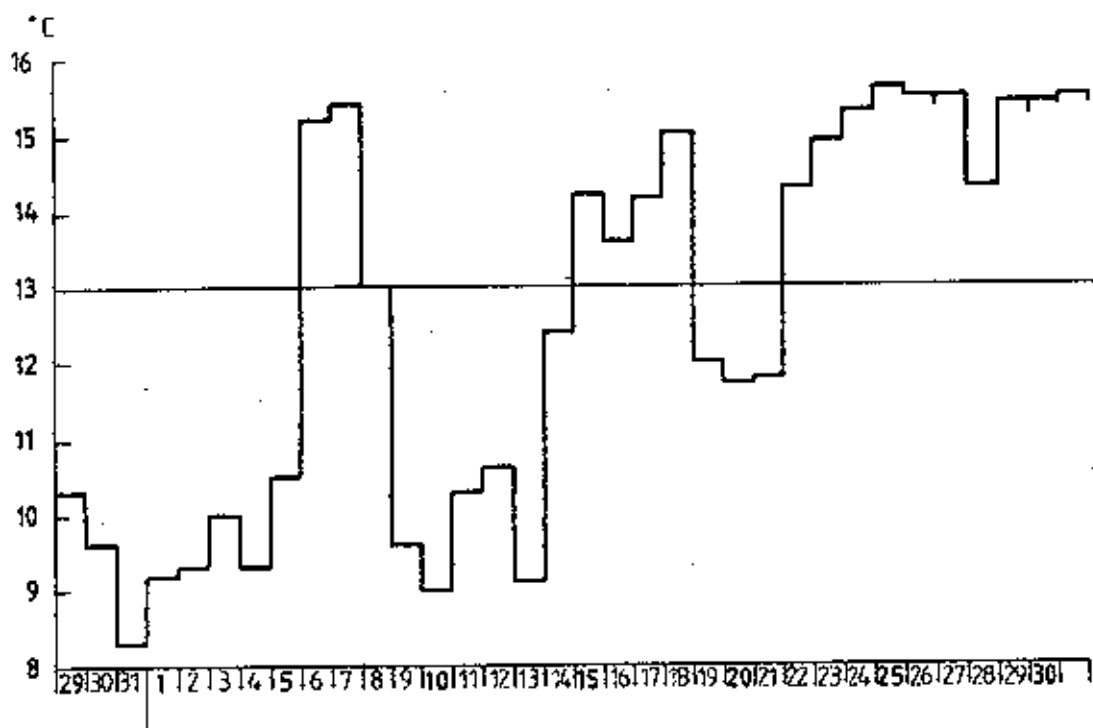
Figur 14. Vind från Karlsborg och ström från mätpunkt A



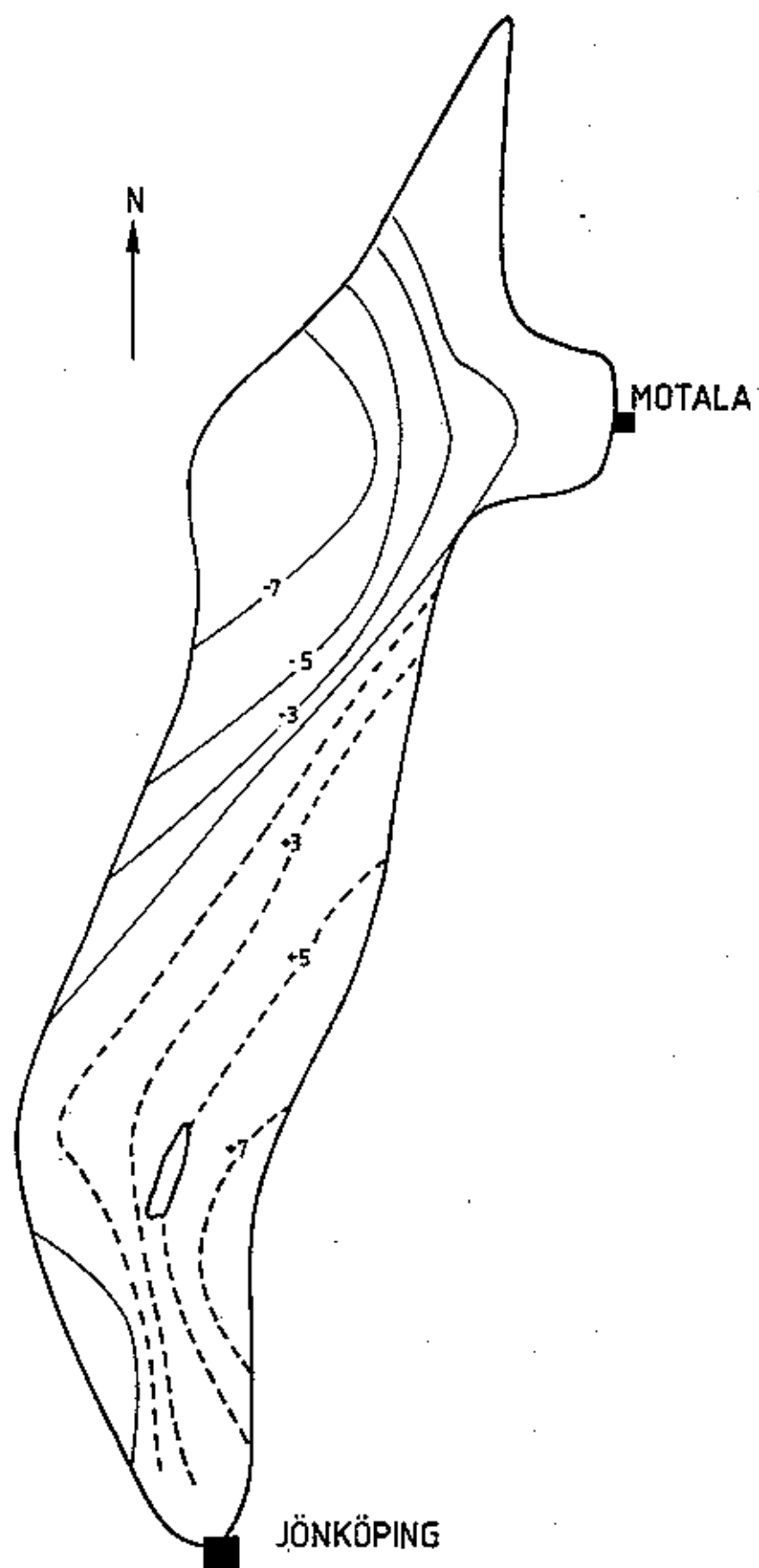
Figur 15. Spektralanalys på strömdata från mätpunkt A, 9 m djup, 14 augusti - 24 oktober 1979



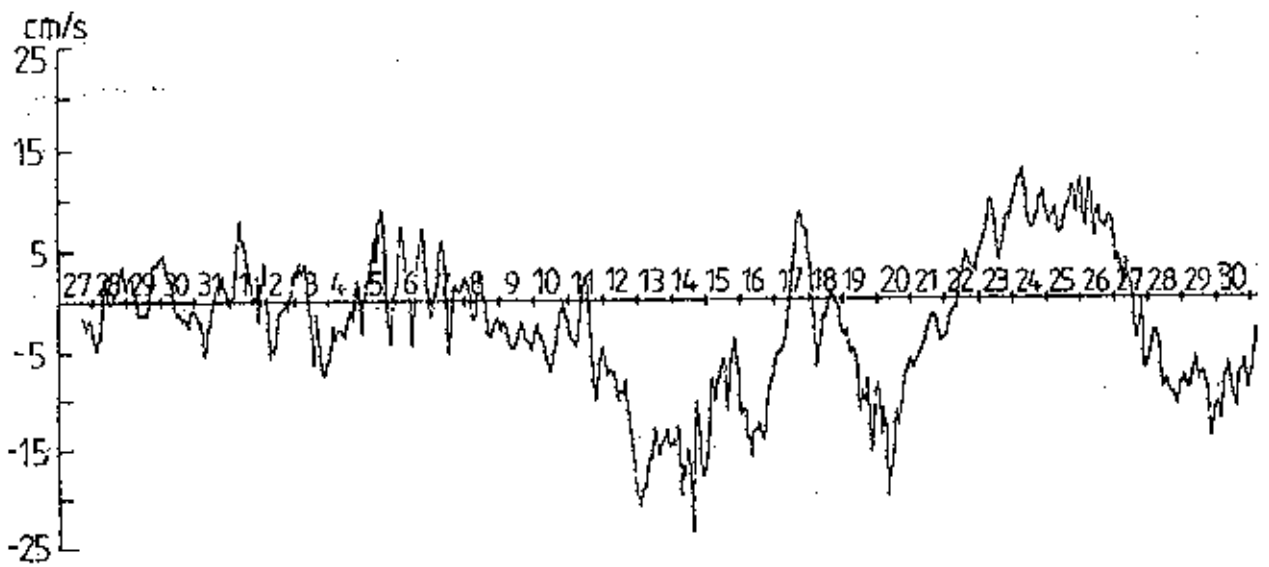
Figur 16. Temperatur på 22.5, 25.0 och 27.5 meter den 28 juli kl.00.00 - 10 augusti kl.9.30 1977.



Figur 17. Temperatur på 25 meters djup vid Ödeshögs vattenintag, 29 juli - 31 augusti 1977.

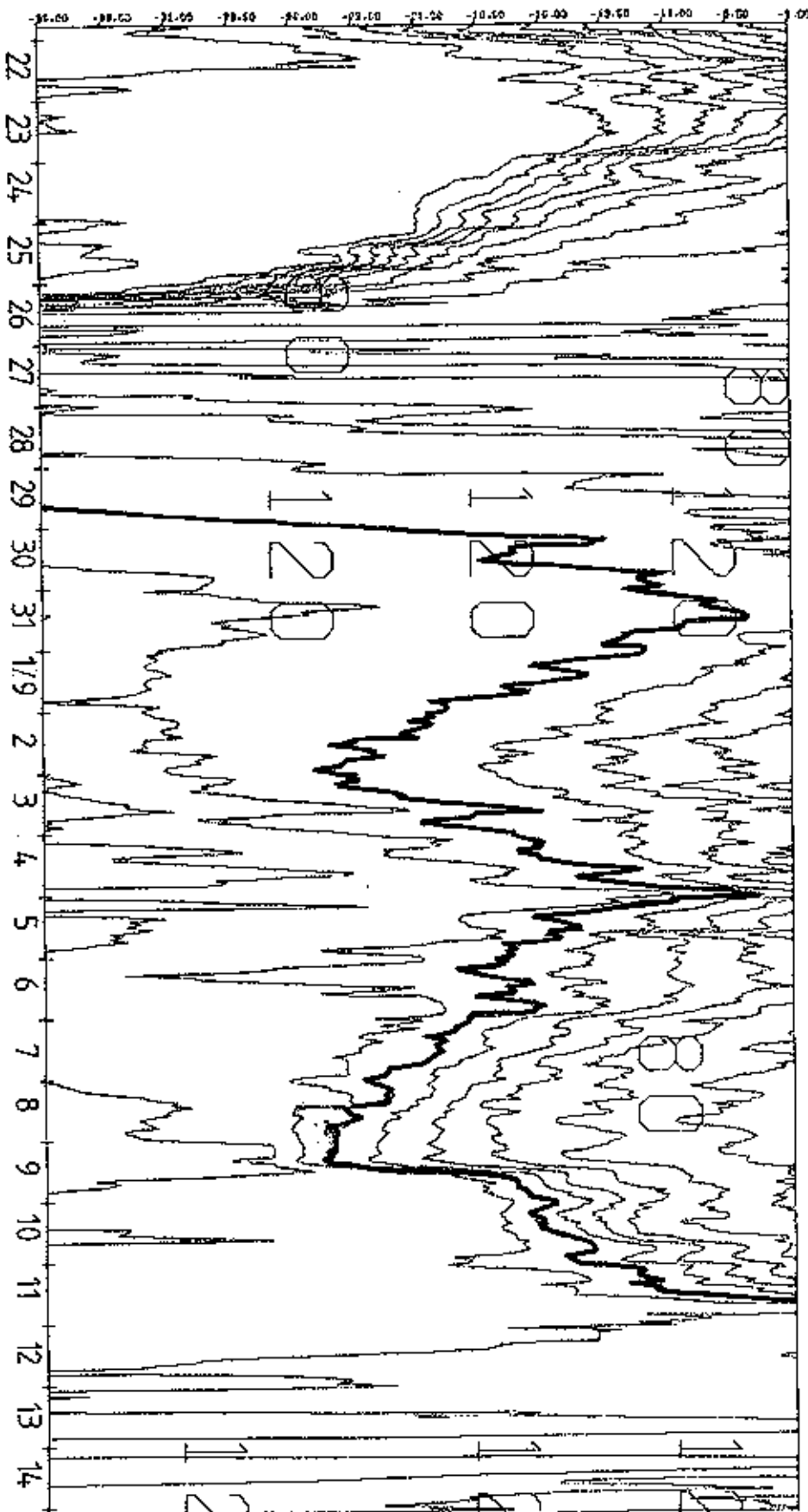


Figur 18. Termoklinens avvikelse i meter från en medelnivå. Kartering den 9 augusti 1977. Minus betyder att termoklinen ligger djupare än medelnivån och plus betyder att den ligger närmre ytan.



Figur 19. Strömmen på 10 meters djup, den 27 juli - 31 augusti 1977. Mätpunkt V, se karta. Positivt tecken visar ström mot norr och negativt mot söder.

DJUP



Figur 20. Linjer med konstanta temperaturer, 22 augusti - 14 september 1979, från mät punkt T2.