

Eigendom van het
Westvlaams Economisch Studieureau
Brugge Reeks / Boek

SVENSKA
HYDROGRAFISK-BIOLOGISKA KOMMISSIONENS
SKRIFTER

Ny serie: Hydrografi XVI.



P. 119

OM TRÖGHETSSVÄNGNINGAR I ÖSTERSJÖN

AV

BÖRJE KULLENBERG och ILMO HELA

131656

**SVENSKA
HYDROGRAFISK-BIOLOGISKA KOMMISSIONENS
SKRIFTER**

Ny serie: Hydrografi XVI.



ÖM TRÖGHETSSVÄNGNINGAR I ÖSTERSJÖN

AV

BÖRJE KULLENBERG och ILMO HELA



TRÖGHETSSVÄNGNINGAR i havet påvisades första gången av T. GUSTAFSON och B. OTTERSTEDT¹⁾ på grundval av strömmätningar i Östersjön år 1931. Deras uppträdande i Östersjön har därefter noggrannare undersökts av T. GUSTAFSON och B. KULLENBERG²⁾ på grundval av under åren 1932 och 1933 företagna mätningar. År 1938 påvisades tröghetssvängningar i Nordatlanten av A. DEFANT³⁾ på »Altairs» ankarstation. Ävenledes i Nordatlanten ha V. W. EKMAN och B. J. HELLAND-HANSEN genom år 1930 utförda strömmätningar upptäckt svängningar, vilka de tyda som tröghetssvängningar,⁴⁾ ehuru med reservation för möjligheten att dessa svängningar utgöra heldagligt tidvatten, i det halva pendeldygnnet på ifrågavarande station uppgår till nära 24 timmar.

F. DEFANT har i sin dissertation⁵⁾ givit en enhetlig teoretisk behandling av tröghetssvängningar i havet och atmosfären samt även påvisat förekomsten av dylika svängningar i atmosfären. Av sin lösning av de hydrodynamiska rörelse-ekvationerna slöt DEFANT, att rörelsebanan vid tröghetssvängningar i havet i det allmänna fallet icke är cirkulär utan elliptisk, d. v. s. hastighetskomponenternas amplituder äro icke varandra lika och deras fasskillnad är icke 90°. V. W. EKMAN har emellertid genom en analys av DEFANTS lösning visat, att detta överraskande resultat icke äger giltighet.⁶⁾ I de fall, en störning över huvud ger upphov till tröghetssvängningar, äro dessa cirkulära.

För ett närmare studium av tröghetssvängningar i havet erbjuder Östersjön speciellt goda möjligheter, vilka främst betingas av följande tvenne omständigheter:

¹⁾ T. GUSTAFSON et B. OTTERSTEDT, Observations de courants dans la Baltique 1931, Svenska hydr.-biol. komm. skrifter, hydrografi XI, Lund 1932.

²⁾ T. GUSTAFSON and B. KULLENBERG, Inertia currents in the Baltic, Nature 131, p. 586, 1933. — Trägheitsströmungen in der Ostsee, Göteborgs Kungl. Vet. och Vitt.-Samh. handl. 5. Ser. B, Bd 3, Nr 6, Göteborg 1933. — Untersuchungen von Trägheitsströmungen in der Ostsee. Svenska hydr.-biolog. komm. skrifter, hydrografi XIII, Lund 1936.

³⁾ A. DEFANT, Die ozeanographischen Verhältnisse während der Ankerstation des »Altair» am Nordrand des Hauptstromstriches des Golfstromes nördlich der Azoren (Aus den wiss. Ergebn. der internat. Golfstromunternehmung 1938) Nov.—Beih. der Annalen d. Hydr. usw 1940.

⁴⁾ V. W. EKMAN and B. J. HELLAND-HANSEN, Measurement of ocean-currents. (Experiments in the North-Atlantic) Kgl. Fysiogr. Sällsk. förh. Lund, Bd 1, Nr 1, 1931. V. W. EKMAN, Ergebnisse und Probleme zur Theorie der Konvektionsströme im Meere, Ergebn. d. kosm. Phys, Bd IV, Leipzig 1939.

⁵⁾ F. DEFANT, Trägheitsschwingungen im Ozean und in der Atmosphäre, Inaugural-Dissertation, Berlin 1940. (Veröff. d. Meteorol. Inst. der Univ. Berlin, Bd IV, Heft 2, 1940).

⁶⁾ V. W. EKMAN, Trägheitsschwingungen und Trägheitsperiode im Meere, Ann. d. Hydr., Bd 69, 238, 1941.

1. Tidvattenströmmarna äro i Östersjön så små, att de icke utgöra någon försvärande faktor vid materialets analys. Detta möjliggör ett säkert påvisande av tröghetsströmmar samt fastställande av deras fas medelst långt kortare observationsserier än eljest varit fallet.

2. Östersjön uppvisar sommartid en utpräglad skiktning med god stabilitet. Det övre, nästan isoterma och isohalina ytskiktet äger i allmänhet en mäktighet på mellan 15 och 25 m. Såsom T. GUSTAFSON visat, är i normala fall turbulensen i det närmaste undertryckt i övergången mellan detta varma och lätta ytlager och underliggande tyngre lager. På grund härav glider ytlagret laminärt och sålunda nästan friktionsfritt över det undre lagret, vilket underlättar utbildningen av tröghetsströmmar i ytlagret. Tidigare hit hörande arbeten i Östersjön ha utöver påvisande av svängningarnas karaktär av tröghetssvängningar bl. a. åsyftat att genom samtida mätningar på olika punkter söka fastställa, huruvida tröghetsströmmarna bilda ett enda sammanhängande system. I ovan citerade arbete av T. GUSTAFSON och B. KULLENBERG (1936) ha författarna konstaterat, huru fasskillnaden mellan tvenne avlägsna punkter kan undergå stora förskjutningar, uppgående till nära 1/3 period, och draga därav den slutsatsen, att tröghetssvängningarna blott bilda lokala system. Det är av intresse att få denna fråga närmare utredd, bl. a. spørsmålet om huru stor utbredning dessa lokala system kunna erhålla. I samma arbete, liksom även i ovan citerade arbete av T. GUSTAFSON och B. OTTERSTEDT har konstaterats, att det vid kusterna uppmätta vattenståndet icke uppvisar variationer med pendeldagens period. Härav kan man draga den slutsatsen, att tröghetssvängningarna *asymptotiskt* upphöra, innan de nå kustlinjen.

Under sommaren 1939 anordnades av institut i Finland, Lettland, Sverige och Tyskland en gemensam expedition, vars huvudsyfte var ett studium av Östersjöns värmeinhåll. I samband därmed anordnades även strömmätningar, inriktade på ovan berörda frågor, alltså:

- 1) tröghetsströmmarnas horisontella utbredning
 - 2) tröghetsströmmarnas avtagande i riktning mot kusten
- Samtidigt ägnades någon uppmärksamhet åt:
- 3) tröghetsströmmarnas uppträdande under språngskiktet.

Tillfället var väl ägnat för ett studium av de båda förstnämnda frågorna, i det fyra fartyg stodo till förfogande, varjämte det svenska fartyget kunde förankra tvenne registrerande strömmätare, vilket åvägabragte en femte observationspunkt.

De i expeditionen deltagande fartygen voro:
finska undersökningsfartyget »Aranda», ledare Fil. d:r G. Granqvist, Helsingfors,

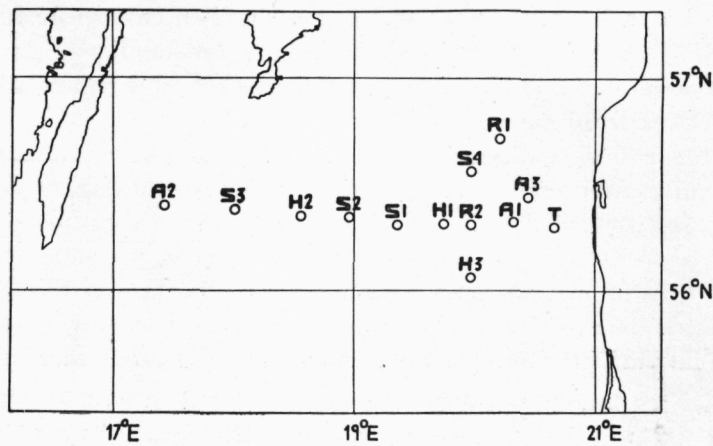
lettiska undersökningsfartyget »Hydrografs», ledare Direktor P. Stackle, Riga,
 svenska undersökningsfartyget »Skagerak», ledare Prof. H. Pettersson, Göteborg,
 tyska undersökningsfartyget »Triton», ledare Direktor O. v. Schubert, Hamburg.

Expeditionen strömmätningar utfördes i stort sett efter följande program. Observationer utfördes på 15 och 30 m djup (de förankrade, registrerande strömmätarna arbetade på 12 och 15 m djup och Tritons mätningar utfördes på 10 m djup), därtill i någon utsträckning med strömkors i ytan. Enär de tidigare undersökningarna visat, att fasvariationerna längs en vertikal inom ytlagret äro obetydliga, kunna mätningarna på 15 m djup anses representativa för hela ytlagret. De fem observationspunkterna bildade först under 48 timmar en ost-västgående linje, som ungefär anslöt sig till parallellen 56° 20' och sträckte sig från en punkt 10 distansminuter utanför den lettiska kusten 80 distansminuter västerut. Det tyska expeditionsfartyget avbröt mätningarna efter detta moments avslutande. Efter ett 30 timmar långt uppehåll i strömmätningarna förlängdes sagda linje ytterligare 115 distansminuter åt väster, så att dess västligaste punkt låg icke fullt 30 distansminuter öster om Öland; detta moment omfattade 56 timmar. Härvid voro avståndet mellan de enskilda observationspunkterna betydligt större än under det första momentet, nämligen i genomsnitt 29 distansminuter mot tidigare 11. Därför lämnade mot slutet av detta moment det svenska fartyget sin station och intog två mellan de övriga stationerna inskjutna lägen, där dock mätserier av vardera blott 3 timmars längd utfördes. Under ett avslutande tredje moment av 20 timmars längd grupperade sig fartygen kring de förankrade, registrerande strömmätarna, vilka hela tiden bibehållit samma position, med ett fartyg 15 distansminuter norr därom, ett lika långt söder därom och ett 17 distansminuter ostnordost därom. Innan de ovan beskrivna, gemensamma strömmätningarna tagit sin början, lågo de svenska registrerande strömmätarna under 284 timmar förankrade på en något nordligare position än senare.

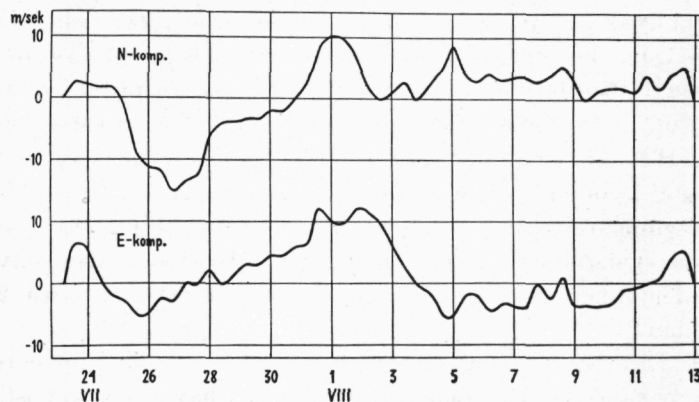
Positionerna av de stationer, på vilka mätningarna utfördes, angivas dels i tabell 1 och dels å kartan, fig. 1.

Tabell 1. Ankarstationernas positioner.

Fartyg	Station	Position	Djup m	Tid
Triton	T	56° 18' N 20° 39' E	31—34	VIII 4 ^d 7 ^h —6 ^d 16 ^h
Aranda	A 1	56° 19' N 20° 19' E	35—38	VIII 4 ^d 4 ^h —6 ^d 16 ^h
»	A 2	56° 24' N 17° 25' E	54	VIII 8 ^d 6 ^h —10 ^d 12 ^h
»	A 3	56° 26' N 20° 26' E	40	VIII 11 ^d 13 ^h —12 ^d 9 ^h
Hydrografs ...	H 1	56° 19' N 19° 44' E	106	VIII 4 ^d 9 ^h —6 ^d 16 ^h
» ...	H 2	56° 21' N 18° 33' E	80	VIII 8 ^d 4 ^h —10 ^d 7 ^h
» ...	H 3	56° 04' N 19° 58' E	62	VIII 11 ^d 10 ^h —12 ^d 8 ^h
Skagerak	S 1	56° 19' N 19° 21' E	135	VIII 4 ^d 16 ^h —6 ^d 16 ^h , 7 ^d 23 ^h —9 ^d 19 ^h
»	S 2	56° 21' N 18° 57' E	108	VIII 9 ^d 21 ^h —9 ^d 24 ^h
»	S 3	56° 23' N 18° 00' E	37	VIII 10 ^d 4 ^h —10 ^d 7 ^h
»	S 4	56° 34' N 19° 58' E	128	VIII 11 ^d 11 ^h —12 ^d 7 ^h
Förankrade strömmätare	R 1	56° 43' N 20° 12' E	136	VII 23 ^d 11 ^h — VIII 4 ^d 7 ^h
	R 2	56° 19' N 19° 58' E	72	VIII 4 ^d 13 ^h —12 ^d 8 ^h



Figur 1. Ankarstationer.



Figur 2. Vindkomponenter inom arbetsområdet (positivt tecken anger, att vinden blåser mot norr resp. mot öster).

Meteorologisk översikt.

Under tiden 23/7—12/8 1939 överskred vindstyrkan över Östersjön blott vid tvenne tillfällen 10 m/sek, nämligen 25/7 på eftermiddagen till 27/7 på kvällen, då hård nordlig vind blåste, samt 31/7 på middagen till 2/8 på kvällen, då hård sydvästlig vind blåste. Vid båda dessa tillfällen överskred vindstyrkan tidvis 15 m/sek. Natten mellan 4/8 och 5/8 uppmättes på »Skagerak» under några timmar en vindstyrka av 10 m/sek. I övrigt rådde såväl över Östersjön som över hela Nordeuropa svag eller måttlig vind, vilket i synnerhet var fallet under de dagar strömmätningar ägde rum från de förankrade fartygen. Detta var av väsentlig betydelse för strömmätningarnas genomförande från fartygen men mindre viktigt för de förankrade, registrerande strömmätarna, vilka voro i stånd att fungera väl även under dagar med hård vind och grov sjö.

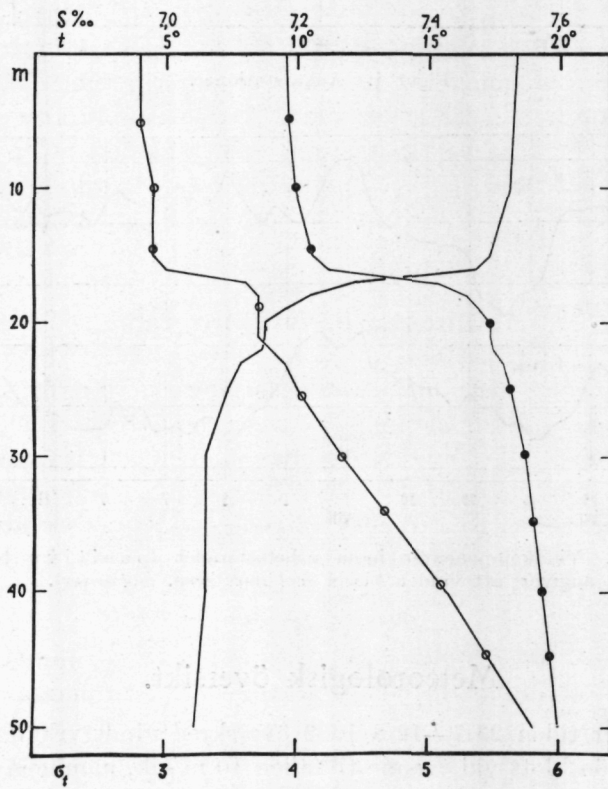
Figur 2 återger ett diagram över vindhastighetens komponenter i det område, där strömmätningarna utfördes, efter sammanställning av observationer från Hoburg, Ölands södra udde, Memel samt ombord å undersökningsfartygen.

Den hydrografiska situationen.

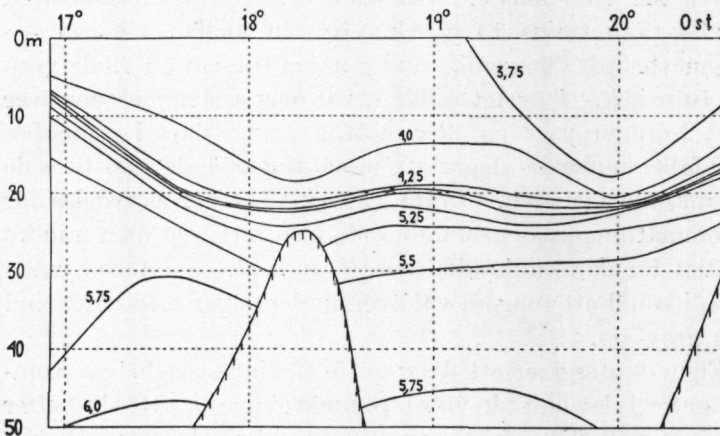
Figur 3 ger en uppfattning om det vid tiden för strömbobservationerna rådande hydrografiska läget. Den återger resultatet av en på Aranda utförd mätningsserie och utvisar, att temperatur- och salthaltsgradienterna båda nå maximal

storlek mellan 16 och 17 m. Täthetsgradienten uppgår till $0,8 \cdot 10^{-5} \text{ g cm}^{-4}$, vilket säkerställer ett fullständigt undertryckande av turbulensen i övergångsskiktet ännu vid en till $0,17 \text{ sek}^{-1}$ uppgående hastighetsgradient.¹⁾

Figur 4 visar täthetsfördelningen längs parallellen $56^\circ 29' \text{ N}$ enligt från Aranda företagna mätningar 10—11 aug. Övergångsskiktet mellan yt- och djupvatten ligger i regel mellan isodenserna för $\sigma_t = 4,25$ och $\sigma_t = 5,0$ och ligger under 15 m djup utom i snittets västligaste del. På Tritons ankarstation, belägen i öster, låg övergångsskiktet dock tidvis över 15 m, varför Tritons strömmätningar förlades till 10 m djup.



Figur 3. —○—○— $S \text{ ‰}$
—●—●— σ_t



Figur 4. Täthetsfördelningen längs lat. $56^\circ 29' \text{ N}$ 10—11 aug. 1939.

Strömmätningar.

Efter strömvektorns uppdelning i (missvisande) nord- och ostkomponenter samt eliminering av den operiodiska restströmmen har varje enskild observationsserie uppdelats i

¹⁾ T. GUSTAFSON och B. KULLENBERG, Loc. cit. (1936).

intervall av 14 timmars längd, vilka harmoniserats. Därvid erhållna fasvärden ha reducerats till den från station till station varierande, teoretiska periodlängden (12 pendeltimmar). På stationerna T, A 1, R 2, H 1, S 1, S 2, S 3, och A 2, som alla ligga i närheten av parallellen $56^\circ 20'$, har dock använts ett gemensamt periodvärde om 14,42 timmar. Tidens nollpunkt har genomgående förlagts till 4 aug 0^h. Analysen visar, att tröghetssvängningar allmänt förekomma.

Där längre observationsserier föreligga, har periodvärdet uträknats med hjälp av fasdiagrammen och därvid har i regel god överensstämmelse med det teoretiska värdet erhållits. Observationerna återgivas i form av diagram å slutplanschen.

Mätningarna på »Aranda».

Observationernas utförande.

Observationerna, vilkas resultat tidigare publicerats,¹⁾ utfördes med två strömmätare av typ Witting på två olika djup, 15 m och 30 m. Mätning av ytströmmen försiggick på vanligt sätt med tillhjälp av ett s. k. strömkors och flytboj. Då »Aranda» kunde förankras med blott ett ankare, ha fartygets rörelser i hög grad inverkat på registreringarna. Härtill kommer egenskapen hos Wittings strömmätare att registrera endast den momentana strömriktningen, vilket lätt ger upphov till en betydande, av skeppsrörelserna ofta starkt influerad spridning av de enskilda riktningvärdena. Vid svag ström kunna därför rena tillfälligheter verka starkt störande. Denna olägenhet kunde emellertid till stor del elimineras vid analysen av strömobservationerna: Mätaren registrerar strömriktningen för vart 20:e varv av propellern, vilket motsvarar en vattenförflyttning av ungefär 13 m. Ehuru således fartygets rörelser i hög grad inverka på de primära observationerna, så elimineras dessa rörelser så gott som fullständigt, om man beräknar vektorsumman av de erhållna värdena för en tid av t. ex. en halv timme, och man erhåller den verkliga vattenförflyttningen. Sådana vektorsummor ha bildats av primärmaterialet, i vilket ingå ända till 40 olika strömregistreringar inom en halv timme.

Station A 1. Observationsserien på 15 m djup omfattar 57 timmar (5^h—62^h). Tröghetssvängningar uppträda från omkring 13^h till seriens slut. Under tiden 31^h—36^h nådde strömmen emellertid icke mätbar styrka. Tvenne intervall, under vilka tröghetssvängningarna äro väl utbildade, ha analyserats, nämligen 20^h—34^h samt 48^h—62^h. Resultatet av analysen återfinnes i tabell 2.

Tabell 2. Tröghetssvängningarnas fas och amplitud å station A 1.

Djup	Intervall	φ_E	A_E	φ_N	A_N
15 m	(1) 20 ^h —34 ^h	97°	7,7	14°	8,3
	(2) 48 ^h —62 ^h	112°	3,1	6°	2,7
	(1)+(2)	101°	5,4	12°	5,5
30 m	6 ^h —20 ^h	295°	11,2	197°	9,2

¹⁾ ILMO HELA und ERKKI LAURILA, Hydr. Beob. a B. von S/S Aranda während der intern. Ostsee-Expedition im Juli und August 1939, II Strombeobachtungen, Merentutk, Julk. Havsforskn. Skr. Nr 131, 1941.

Fasvinklarna för de två analyserade intervallen avvika tämligen obetydligt från varandra. Komponenternas vektoriella medelvärden uppfylla nästan exakt de teoretiska kraven på en tröghetssvängning, i det fasskillnaden mellan ost- och nordkomponenterna uppgår till 89° och förhållandet mellan deras amplituder till 0,98.

I den med strömkors uppmätta ytströmmen kan någon tröghetssvängning icke påvisas, vilket torde bero på att den svaga ytströmmen icke kunde mätas med tillräcklig noggrannhet från det enkelförankrade fartyget.

På 30 m djup föreligger en mätserie av 30 timmars längd (6^h-36^h). Under de första 15 timmarna uppträder en väl utbildad tröghetssvängning, vilken vid ungefär 20^h tvärt upphör. Analysresultatet återfinnes i tabell 2. Strömbanan ansluter sig någorlunda väl till den cirkulära formen, i det fasskillnaden mellan ost- och nordkomponenterna utgör 98° , förhållandet mellan deras amplituder 1,2.

Fasskillnaden mellan 15 och 30 m djup uppgår till 190° , d. v. s. det råder praktiskt taget motsatt fas på de båda djupen. Det är dock att märka, att de jämförda fasvärdena icke tillhöra samma tidsintervall. Anmärkningsvärt är att amplituden på 30 m är större än på 15 m.

Station A 2. Mätningarna på 15 m djup omfatta icke fullt fyra 14-timmars intervall. Resultatet av den harmoniska analysen återgives i tabell 3.

Tabell 3. Tröghetssvängningarnas fas och amplitud å station A 2.

Djup	Intervall	φ_E	A_E	φ_N	A_N
0 m	103^h—145^h	71°	3,2	337°	2,2
15 m	103 ^h —117 ^h	50°	5,4	330°	8,1
	117 ^h —131 ^h	56°	8,3	331°	6,1
	131 ^h —145 ^h	45°	7,7	320°	9,5
	144 ^h —158 ^h	17°	4,6	336°	5,9
30 m	103^h—145^h	51°	7,1	326°	7,8
	104 ^h —118 ^h	274°	4,5	177°	4,0
	118 ^h —132 ^h	290°	5,7	181°	3,9
	132 ^h —146 ^h	285°	3,2	219°	2,0
	104^h—146^h	283°	4,5	187°	3,2

Fasvinklarna uppvisa här blott obetydlig spridning; en tämligen stor avvikelse från medelvärdet föreligger dock i det fjärde intervallens ostkomponent. I de för hela mätserien gällande elementen uppgår fasskillnaden mellan ost- och nordkomponenterna till blott 73° , förhållandet mellan amplituderna till 0,91. Strömbanan är sålunda tämligen starkt elliptisk. Detta vållas av det fjärde intervall, vars värden äro abnorma, i det fasskillnaden mellan komponenterna utgör 41° . Om detta intervall icke medräknas, erhållas värden på komponenterna, som väl motsvara en tröghetssvängning, i det fasskillnaden mellan komponenterna uppgår till 85° och förhållandet mellan amplituderna till 0,91.

Enahanda analys av ytströmmen, omfattande hela materialet, ger som värde för ost- och nordkomponenternas fasvinklar 71° resp. 337° och för deras amplituder 3,2 resp. 2,2 cm/sek. Fasskillnaden mellan komponenterna utgör 94° och, ehuru amplituderna äro anmärkningsvärt små, förelig-

ger sålunda en väl utbildad tröghetssvängning. Denna uppvisar gentemot svängningarna på 15 m djup en fasskillnad på 16° .

På 30 m djup föreligger en mätserie av 48 timmars längd. En väl utbildad tröghetssvängning uppträder, vilken dock avklingar mot mätseriens slut. Analysresultatet återgives i tabell 3. Fasskillnaden mellan ost- och nordkomponenterna utgör 96° , förhållandet mellan amplituderna uppgår till 1,4 och avviker alltså mycket starkt från 1. Fasskillnaden mellan 15 och 30 m djup uppgår till 133° , mellan ytan och 30 m till 149° .

Station A 3. Mätserien omfattar 19 timmar. Tröghetssvängningar kunna icke påvisas i ytskiktet, sålunda vare sig på 15 m djup eller i själva ytan. Däremot uppträder på 35 m djup en högervidande ström, som sannolikt är en tröghetsström. Dess fas och amplitud utgöra 57° och 308° samt 9,4 och 7,6 cm/sek för resp. ost- och nordkomponenterna.

Mätningar på »Hydrografs».

Observationernas utförande. Mätningarna företogs med en Ekmans strömmätare. Fartyget förankrades med blott ett ankare, vilket mycket ogynnsamt inverdade på mätningarna å stationerna H 2 och H 3, som uppvisa betydande avvikelser mellan på varandra följande enskilda observationer, medan det icke menligt påverkade mätningarnas kvalitet å station H 1.

Station H 1. Mätseriens första 29 timmar uppvisa ett flertal avbrott, varför vi icke ansett oss böra tillmäta denna del av materialet någon vikt, isynnerhet som de återstående 26 timmarna uppvisa en obruten serie av uppenbart goda observationer. Från 15 m djup föreligga två mätningar per timme. Två 14-timmars intervall (som med 2 timmar gripa in i varandra) jämte deras medelvärde ha var för sig analyserats. Analysresultatet återgives i tabell 4.

Tabell 4. Tröghetssvängningarnas fas och amplitud å station H 1.

Djup	Intervall	φ_E	A_E	φ_N	A_N
15 m	38 ^h —52 ^h	83°	20,4	2°	20,0
	50 ^h —64 ^h	83°	18,2	346°	19,4
	38^h—64^h	83°	19,3	354°	19,6

Fasskillnaden mellan komponenterna uppgår till 89° , förhållandet mellan deras amplituder till 0,99, strömningsformen är alltså med utomordentlig noggrannhet cirkulär.

Station H 2. Observationsserien omfattar 50 timmar. I ytan var strömhastigheten under större delen av tiden för låg att kunna mätas; de fåtaliga mätningar, som föreligga, bilda intet användbart underlag för en analys. Ehuru mätningarna på 15 m djup äro i hög grad störda av fartygsrörelserna framträda väl utbildade tröghetssvängningar. Analysresultatet återgives i tabell 5.

Tabell 5. Tröghetssvängningarnas fas och amplitud å station H 2.

Djup	Intervall	φ_E	A_E	φ_N	A_N
15 m	100 ^h —114 ^h	144°	4,7	43°	9,3
	114 ^h —128 ^h	87°	8,3	22°	3,2
	128 ^h —142 ^h	114°	6,0	19°	9,7
	137 ^h —151 ^h	87°	7,0	24°	6,5
	100^h—151^h	103°	6,1	28°	7,1
30 m	125 ^h —139 ^h	313°	4,4	297°	5,9

På 30 m djup omfatta mätningarna blott 22 timmar. Mätningarna äro starkt influerade av fartygsrörelserna men efter utjämning kan under de sista 15 timmarna urskiljas en svängning av omkring 14 timmars period, vilken hos nordkomponenten är mycket regelbunden. Då emellertid fasskillnaden mellan komponenterna blott uppgår till 16° (tabell 5) synes det här icke vara fråga om någon tröghetssvängning.

Station H 3. Observationsserien omfattar 16 timmar. Ytströmmen har icke observerats och observationerna på 30 m djup uppvisa flera luckor. Tröghetssvängningar kunna icke påvisas på vare sig 15 eller 30 m djup.

Mätningar på »Triton».

Station T. Då fartyget ej kunde ankra på större djup, måste dess ankarstation förläggas nära land, på 10 distansminuters avstånd från lettiska kusten. Mätningarna utfördes med två Rauschelbachs strömmätare, varav en arbetade på 10 m djup (detta emedan det för de övriga fartygen gemensamma standarddjupet 15 m här föll inom övergångsskiktet) och en på 30 m djup.

På 10 m djup kunna tröghetssvängningar icke påvisas. En harmonisk analys med periodvärdet 14,42 timmar ger en fasskillnad på nära 180° mellan ost- och nordkomponenterna, vilket visar, att tröghetssvängning ej föreligger.

På 30 m djup uppvisar den 28 timmar långa observationsserien en svängning av omkring 14 timmars längd, vilken dock avbrytes 7 timmar före seriens slut. En analys (med utslutande av de sista 7 timmarna) ger

$$v_E = 5,2 \cos \left(360^\circ \frac{t}{14,42} - 159^\circ \right)$$

$$v_N = 4,7 \cos \left(360^\circ \frac{t}{14,42} - 106^\circ \right)$$

Strömmen är alltså högervridande, men då fasskillnaden mellan komponenterna blott uppgår till 53°, är det tvivelaktigt, huruvida tröghetssvängning föreligger.

Mätningar på »Skagerak».

De svenska strömmätningarna utfördes dels på »Skagerak» med EKMANS strömmätare samt med strömkors, dels med 2 st OTTO PETERSSONS fotografiskt registrerande strömmätare, upphängda i en förankrad boj.

Fartyget var i regel förankrat med två ankare. Undantag härifrån gjordes vid två tillfällen, nämligen 4/8 22^h 25^m—5/8 8^h 45^m, varunder fartygets bäring varierade med upp

till $\pm 23^\circ$ utan att dock ankarvarpets riktning påvisbart ändrades, samt 8/8 21^h 45^m—9/8 1^h 05^m, varunder fartygets bäring var konstant inom $\pm 1^\circ$.

De registrerande strömmätarna voro anbragta på 12 resp. 15 m djup. Det är genom tidigare undersökningar känt att tröghetsströmmens fas i regel är oberoende av djupet i Östersjöns 15—20 m tjocka ytskikt och det kunde därför varit lämpligare att anbringa en av de registrerande strömmätarna under språngskiktet, t. ex. på 30 m djup. Att detta likväl icke skedde föranleddes av risken att någöndera av strömmätarna icke skulle fungera tillfredsställande, varför det ansågs lämpligast att äga dubbel säkerhet i det för den föreliggande undersökningen viktigaste vattenskiktet, nämligen ytskiktet. Emellertid arbetade båda strömmätarna i det närmaste felfritt, varför nu tvenne mätserier föreligga från ytskiktet. Blott under två kortare tidsintervall har registrering på 15 m djup icke ägt rum, nämligen 1/8 15^h—19^h samt 2/8 10^h—16^h. Enstaka riktningregistreringar ha icke kunnat avläsas och i sådana fall har interpolation tillgripits.

De registrerande strömmätarna angiva medelvärden av strömmens hastighet under 30 minuters intervall samt momentanvärden av strömmens riktning var 30:de minut. Denna låga frekvens vid riktningens registrering är visserligen mycket otillfredsställande men olägenheten därav motverkas av att strömmätaren är upphängd i en helt stillaliggande boj, varför någon utjämning av fartygsrörelser icke kommer i fråga.

Station R 1. Observationsserien omfattar 279 timmar (23 juli 16^h—4 aug. 7^h). Fasvinklar och amplituder anföras i tabell 6. Tröghetsperioden är på denna latitud 14,35 timmar, tidens nollpunkt har förlagts till 4 aug. 0^h.

Tabell 6. Tröghetssvängningarnas fas och amplitud å station R 1.

Interwall	Djup 12 m				Djup 15 m			
	φ_E	A_E	φ_N	A_N	φ_E	A_E	φ_N	A_N
VII 23 ^d 16 ^h —30 ^h	113°	16,0	38°	16,3	114°	14,7	32°	15,7
24 ^d 06 ^h —20 ^h	112°	15,7	35°	16,5	99°	10,7	25°	11,7
24 ^d 20 ^h —34 ^h	121°	15,5	36°	16,5	101°	8,0	22°	10,9
25 ^d 10 ^h —24 ^h	139°	15,4	57°	15,7	109°	11,6	22°	12,6
26 ^d 00 ^h —14 ^h	113°	23,4	32°	13,2	80°	19,4	19°	14,0
26 ^d 14 ^h —28 ^h	153°	12,9	22°	11,7	160°	8,8	10°	14,4
27 ^d 04 ^h —18 ^h	87°	13,6	14°	14,7	80°	14,3	0°	14,5
27 ^d 18 ^h —32 ^h	102°	15,4	4°	14,4	90°	16,6	7°	14,9
28 ^d 08 ^h —22 ^h	106°	18,0	18°	16,2	107°	15,1	12°	15,2
28 ^d 22 ^h —36 ^h	93°	8,5	355°	11,7	80°	10,6	1°	10,1
29 ^d 12 ^h —26 ^h	68°	5,4	4°	14,2	74°	6,4	349°	10,1
30 ^d 02 ^h —16 ^h	59°	3,6	9°	8,9	58°	7,0	3°	6,8
30 ^d 15 ^h —29 ^h	145°	8,0	84°	6,4	85°	5,2	359°	5,3
31 ^d 05 ^h —19 ^h	123°	10,4	26°	9,9	124°	13,8	25°	11,4
31 ^d 19 ^h —33 ^h	40°	4,7	332°	6,5	106°	4,5	19°	1,7
VIII 1 ^d 09 ^h —23 ^h	31°	12,2	314°	14,5				
1 ^d 23 ^h —37 ^h	42°	16,2	335°	11,4 ¹⁾	80°	13,3 ¹⁾	4°	15,6
2 ^d 13 ^h —27 ^h	77°	10,0	350°	13,9 ²⁾	100°	10,1 ²⁾	24°	9,9
3 ^d 03 ^h —17 ^h	72°	8,8	358°	10,9	103°	8,6	30°	7,6
3 ^d 17 ^h —31 ^h	93°	8,3	22°	7,4	106°	4,5	11°	1,5
VII 23 ^d 16 ^h —								
VIII 4 ^d 07 ^h	100°	10,3	15°	11,2	97°	10,1	14°	10,4

¹⁾ Intervallt omfattar VIII 1^d 20^h—VIII 2^d 10^h.

²⁾ Intervallt omfattar VIII 2^d 16^h—VIII 3^d 06^h.

Fasdiagrammen uppvisa mycket stora variationer, nordkomponenten på 12 m djup de största med $\pm 65^\circ$, nordkomponenten på 15 m djup de minsta med $\pm 22^\circ$. Alla fyra diagrammen visa avtagande fasvärden med växande tid. De belopp, $\Delta\varphi$, varmed fasvinklarna ändras under 14 timmar, anföras i tabell 7 jämte de periodvärden, som därur beräknas.

Tabell 7. Station R 1. Fasvinkelns stegring, $\Delta\varphi$, per 14 timmar samt därav beräknat periodvärde T.

Djup m	Komponent	$\Delta\varphi$	T timmar
12.....	ost-	$-3^\circ,9$	14,19
	nord-	$-2^\circ,2$	14,26
15.....	ost-	$-0^\circ,3$	14,34
	nord-	$-0^\circ,4$	14,33
Medelvärde			14,28

Överensstämmelsen med den teoretiska periodlängden, 14,35 timmar, är särskilt på 15 m djup synnerligen god. Beträffande periodlängden må f. ö. framhållas, att denna i händelse av stark restström och med orten varierande fasvinkel kan avvika något från halva pendeldygn. Med en restström uppgående till 4 cm/sek och en variation hos fasvinkeln om 3° per distansminut, vilket t. ex. förekom under de svenska strömmätningarna i Östersjön sommaren 1933, kan tröghetsströmmens period uppvisa en avvikelse från halva pendeldygn på upptill 0,13 timmar. Med denna restström kommer nämligen efter loppet av ett halvt pendeldygn vattenmassor på ett ursprungligt avstånd av 2050 m = 1,1 distansminut att framföras till platsen för strömmätningen, vilket medför en fasförskjutning om intill $3^\circ,3$, i tid motsvarande 0,13 timmar.

Tröghetssvängningarnas genom medelvärdebildning över hela materialet beräknade fas- och amplitudvärden angivas nederst i tabell 6. På såväl 12 som 15 m djup ansluter sig strömbanan väl till den cirkulära formen. På båda djupen råder samma fas, i det fasskillnaden uppgår till blott 2° . Amplituderna äro även praktiskt taget desamma på 12 och 15 m.

Station R 2. De registrerade strömmätarna voro även här anbragta på 12 och 15 m djup. Observationerna omfatta 187 timmar (13^h—200^h). Under de första 130 timmarna uppträda väl utbildade tröghetssvängningar, vilka emellertid därefter snabbt upphöra. Fasvinklar och amplituder under 9 st 14-timmarsintervall anföras i tabell 8.

Tröghetssvängningarnas genom medelvärdebildning över hela materialet uträknade fasvinklar och amplituder anföras nederst i tabell 8. Strömbanan ansluter sig på såväl 12 som 15 m djup väl till den cirkulära formen. I motsats mot vad fallet var på station R 1 råder här en fasskillnad mellan 12 och 15 m, vilken uppgår till 15° . Härvid ilar den roterande strömvektorn på 15 m före samma vektor på 12 m.

Fasdiagrammen, vilka för 15 m djup återgivas i figur 5, uppvisa icke tillnärmelsevis något lineärt förlopp och medge

Tabell 8. Tröghetssvängningarnas fas och amplitud å station R 2.

Intervall	Djup 12 m				Djup 15 m			
	φ^E	A^E	φ^N	A^N	φ^E	A^E	φ^N	A^N
13 ^h —27 ^h	91°	6,2	356°	4,7	61°	8,6	352°	6,3
27 ^h —41 ^h	68°	12,0	355°	10,1	70°	9,9	340°	10,9
41 ^h —55 ^h	85°	13,7	4°	13,4	82°	7,8	356°	8,1
55 ^h —69 ^h	136°	8,9	14°	11,5	114°	5,4	16°	3,7
69 ^h —83 ^h	124°	8,1	31°	8,0	111°	6,1	11°	6,5
83 ^h —97 ^h	117°	10,6	14°	11,5	111°	6,5	33°	5,3
97 ^h —111 ^h	103°	9,3	11°	11,3	81°	5,1	357°	3,1
111 ^h —125 ^h	57°	4,8	318°	4,2	27°	5,0	293°	5,0
125 ^h —139 ^h	17°	5,3	289°	5,2	12°	5,5	321°	4,8
13^h—139^h	103°	7,4	7°	7,8	79°	5,3	352°	5,3

därför icke direkt någon bestämning av perioden. Fasdiagrammens avvikelser från lineariteten synes bero på närvaron av någon svängning med annan period, vilken vi skola uppsöka. Vi beteckna med A och φ tröghetssvängningens genom medelvärdebildning över hela materialet funna amplitud resp. fasvinkel, med A_m och φ_m motsvarande till ett enskilt 14-timmarsintervall (med ordningsnumret m) hörande storheter samt med B och ψ den störande svängningens amplitud och fas, slutligen med T denna svängnings period. Det gäller då:

$$A_m \cos \left(2\pi \frac{t}{14,42} - \varphi_m \right) = A \cos \left(2\pi \frac{t}{14,42} - \varphi \right) + B \cos \left(2\pi \frac{t}{T} - \psi \right)$$

varvid t är mittpunkten av ifrågakvarande 14-timmarsintervall. Denna likhet omskrives i vektoriell form sålunda:

$$A_m e^{i \left(2\pi \frac{t}{14,42} - \varphi_m \right)} = A e^{i \left(2\pi \frac{t}{14,42} - \varphi \right)} + B e^{i \left(2\pi \frac{t}{T} - \psi \right)},$$

varav:

$$B e^{-i\alpha} = A_m e^{-i\varphi_m} - A e^{-i\varphi} \quad (1)$$

$$\alpha = \varphi - 2\pi t \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{14,42} \right)$$

Med hjälp av likhet (1) har genom geometrisk konstruktion vinkeln α bestämts för de 9 st 14-timmarsintervall, som anföras i tabell 8. Härvid erhållna värden återgivas i figur 6, vari tidsintervallen numrerats från 1 till 9.

Vinkeln α uppvisar en visserligen oregelbunden stegring med växande intervallnummer och ansluter sig, isynnerhet vid 15 m, någorlunda väl till en rät linje. Ur vinkelns stegring, $\Delta\alpha$, per 14 timmar beräknas den störande svängningens period

$$T = \frac{360}{349,5 - \Delta\alpha} \cdot 14$$

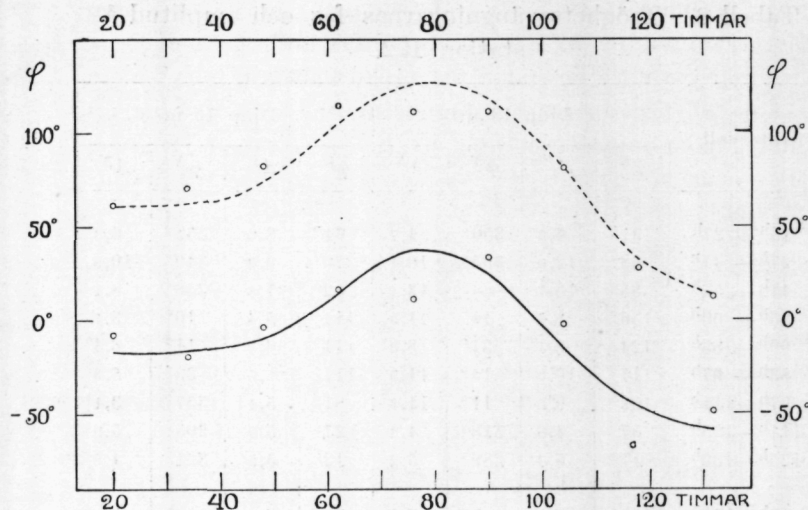


Fig. 5. — Station R 2, fasdiagram för tröghetssvängningarna å 15 m djup. Punkterna återge de fasvärden, som erhöles genom harmonisk analys av enskilda 14-timmars intervall. Kurvorna återge de fasvärden, som erhöles genom sammansättning av följande enkla svängningar:

E-komp. (streckad kurva):

$$1,9 \cos \left(360^\circ \frac{t}{12,42} - 140^\circ \right) + 5,3 \cos \left(360^\circ \frac{t}{14,42} - 68^\circ \right) + 3,4 \cos \left(360^\circ \frac{t}{15,9} - 3^\circ \right)$$

N-komp. (heldragen kurva):

$$1,7 \cos \left(360^\circ \frac{t}{12,42} - 67^\circ \right) + 5,3 \cos \left(360^\circ \frac{t}{14,42} - 342^\circ \right) + 2,7 \cos \left(360^\circ \frac{t}{15,9} - 297^\circ \right)$$

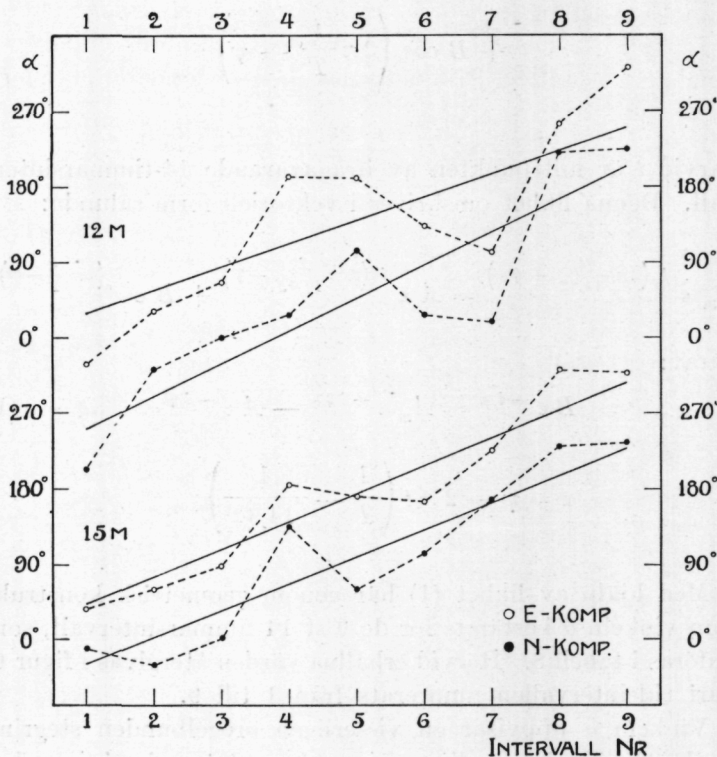


Fig. 6. — Station R 2, fasdiagram för bestämning av störande svängnings period enligt likhet (1).

Storheterna $\Delta \alpha$ och T angivas i tabell 9. Som medelvärde på den störande svängningens period erhöles $T = 15^h, 9$.

Tabell 9. Station R 2. Störande svängnings period.

Djup	Komponent	$\Delta \alpha$	T
12 m	ostkomp.	27,6°	15 ^h ,7
	nord »	39,1°	16 ^h ,2
15 m	ost »	33,0°	15 ^h ,9
	nord »	32,2°	15 ^h ,9
Medelvärde			15 ^h ,9

För bestämning av denna svängnings fas och amplitud ha medelvärden av 8 st 16-timmarsintervall (13^h—141^h) bildats och harmoniserats. Resultatet härav återgives i tabell 10.

Tabell 10. Station R 2. Svängning med perioden 15^h, 9.

Djup	φ_E	A_E	φ_N	A_N
12 m	344°	4,2	237°	3,6
15 m	344°	3,4	265°	2,7

Vinkeln α (figur 6) utför en i alla fyra fallen likartad pendling kring den räta linjen, vilket avslöjar förekomsten av två svängningar under c:a 126 timmar. Detta ger vid handen, att en andra störande svängning förefinnes, vars period ligger i närheten av $\frac{8 \times 16}{10} = 12,8$ timmar. Då det är antagligt, att det här rör sig om halvdagligt tidvatten, ha vi delat materialet å 15 m djup i två hälfter om vardera $7 \times 12,5$ timmar och harmoniserat dem var för sig med insättande av perioden 12,5 timmar. Amplituderna samt de till perioden 12,42 timmar omräknade fasvinklarna utgöra:

Intervall 13^h—100^h Ostkomp. $A = 1,7$ cm/sek, $\varphi = 164^\circ$
 Nordkomp. $A = 1,8$ » $\varphi = 99^\circ$

Intervall 100^h—187^h Ostkomp. $A = 2,4$ cm/sek, $\varphi = 159^\circ$
 Nordkomp. $A = 1,7$ » $\varphi = 71^\circ$

Fasvinkelns avtagande med 5° resp. 28° på 87,5 timmar ger som värde på perioden 12^h, 40 resp. 12^h, 28, varav må slutas, att halvdagligt tidvatten uppträder. Då materialet icke ger tillräckligt underlag för en fullständig separation av M_2 och S_2 , ha vi begränsat oss till en bestämning av M_2 . Dess med utnyttjande av hela materialet beräknade fasvinklar och amplituder anföras i tabell 11. I samma tabell anföras även det halvdagliga tidvattnets fas och amplitud å station R 1. Av heldagligt tidvatten kan intet spår påvisas.

Tabell 11. Halvdagligt tidvatten (M_2).

Station	Djup	Komponent	φ	A cm/sek
R 1	12 m	ostkomp.	192°	2,12
		nord »	118°	1,49
	15 m	ost »	211°	1,63
		nord »	137°	1,05
R 2	12 m	ost »	151°	1,81
		nord »	56°	1,32
	15 m	ost »	151°	1,90
		nord »	75°	1,66

Mellan de två stationerna föreligger en till omkring 60° uppgående fasskillnad (för ostkomp. på 12 m är fasskillnaden 41°). Då avståndet mellan stationerna är 25 distansminuter och djupet omkring 100 m, borde fasskillnaden icke överskrida 12° . Möjligen beror diskrepansen på att fasvärdena förryckas genom den på ingendera stationen helt eliminerade S_2 (materialet omfattar 22 halvdagliga perioder på station R 1, 15 st dylika perioder på station R 2).

En sammansättning av de tre svängningarna med perioderna $12^h, 42, 14^h, 42$ och $15^h, 9$ visar, att de vid den harmoniska analysen av medelvärden över hela materialet erhållna fasvinklarna behöva något modifieras för att god anslutning till i figur 5 återgivna fasdiagram skall uppnås. På 12 m djup måste även ett något högre värde på amplituden för $15,9$ -timmars svängningen insättas. De modifierade fas- och amplitudvärdena anföras i tabell 12, varjämte de vid harmoniseringen funna värdena anföras inom parentes.

Tabell 12. Station R 1. Svängningar med perioderna $12^h, 42, 14^h, 42$ och $15^h, 9$.

Djup	Period	φ_E	A_E	φ_N	A_N
12 m	$12^h, 42$	135° (151°)	1,8	47° (56°)	1,3
	$14^h, 42$	87° (103°)	7,4	351° (351°)	7,8
	$15^h, 9$	0° (344°)	4,2	271° (237°)	4,8 (3,6)
15 m	$12^h, 42$	140° (151°)	1,9	67° (75°)	1,7
	$14^h, 42$	68° (79°)	5,3	342° (352°)	5,3
	$15^h, 9$	3° (344°)	3,4	297° (265°)	2,7

De i figur 5 dragna faskurvorna ha beräknats med användning av de i tabell 12 givna elementen och ansluta sig synnerligen väl till de i tabell 8 anförda fasvinklarna.

I figur 7 återgivas de observerade strömkomponenterna å 15 m efter frändragning av restströmmen samt utjämning

över en timme. Härvid har restströmmen beräknats genom medelvärdebildning av i varandra ingripande intervall om 14 timmar, varefter en starkt utjämnad kurva dragits genom dessa medelvärden. De heldragna linjerna i figur 7 ha erhållits genom sammansättning av de tre i tabell 12 givna svängningarna och ansluta sig synnerligen väl till naturkurvorna.

Station S 1. Mätningarna utfördes på 15 och 30 m djup med Ekmans strömmätare med en frekvens av tre mätningar i timmen på vardera djupet och mätperioder om fem minuter. Ytströmmen loggades en gång i timmen med ett på 5 m djup liggande strömkors. Fartyget var i regel förankrat med två ankaren, ett i fören och ett i aktern. Vid två tillfällen uppnådde vinden sådan styrka, att det aktre ankaret måste för några timmar upptagas. Då fartyget sålunda var enkelförankrat kunde mätning av ytströmmen icke göras med noggrannhet och inställdes därför.

Mätningarna på 5 m djup omfatta i huvudsak tidsintervallen $35^h-64^h, 95^h-117^h$ samt 123^h-139^h ($t_0 = 4$ aug. 0^h). Väl utbildade tröghetssvängningar uppträda, vilkas fas och amplitudvärden återgivas i tabell 13. Fasskillnaden mellan ost- och nordkomponenterna uppgår till omkring 80° , förhållandet mellan deras amplituder varierar mellan 1,11 och 1,25. Tröghetssvängningarna under tiden 95^h-139^h visar gentemot de föregående en fasförskjutning på 52° , vilken inträtt under den tid (64^h-95^h), då mätningarna voro avbrutna. Amplituderna avtaga mot slutet av mätningarna till ungefär hälften av sina begynnelsevärden.

Mätningarna på 15 m djup omfatta tidsintervallen 16^h-64^h samt 95^h-139^h . Även här uppträda väl utbildade tröghetssvängningar, vilkas fasvinklar och amplituder anföras i tabell 13. Fasskillnaden mellan ost- och nordkomponenterna uppgår till 88° , förhållandet mellan deras amplituder

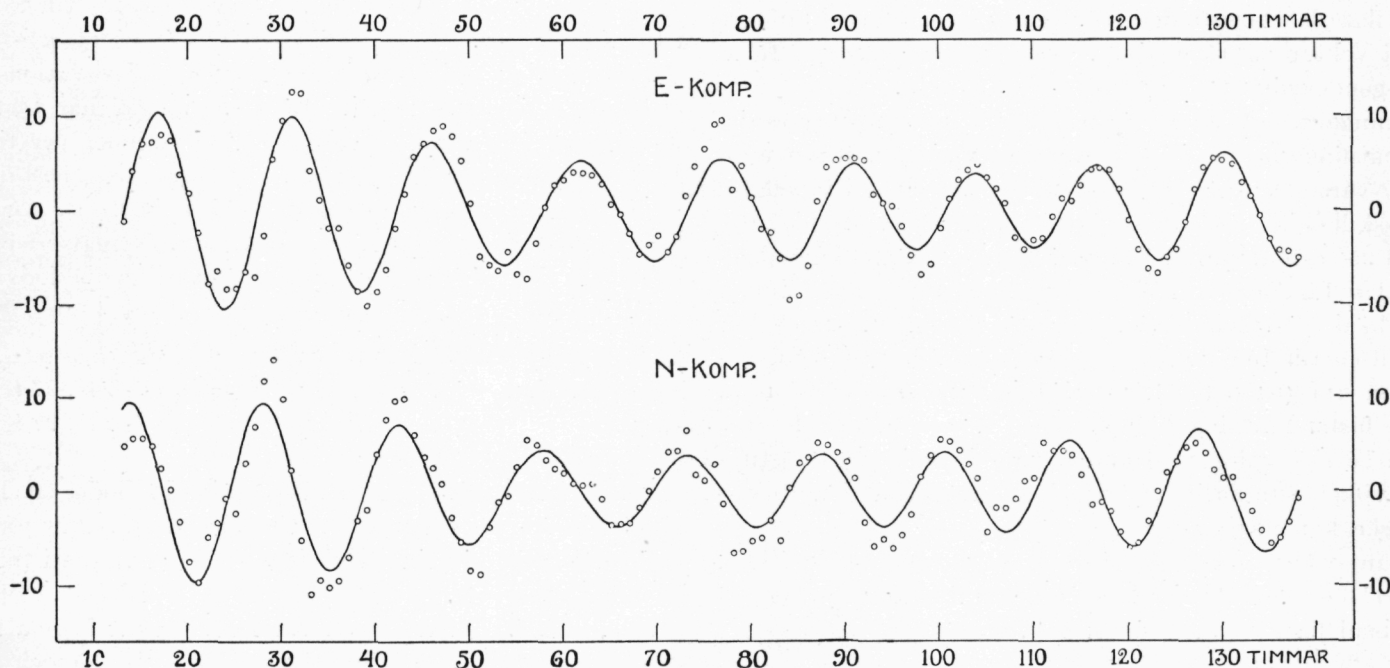


Fig. 7. — Station R 2, strömmens komponenter å 15 m djup. Punkterna återgiva de observerade strömkomponenterna efter frändragning av den aperiodiska restströmmen. Kurvorna äro sammansatta av följande enkla svängningar:

$$E\text{-komp.: } 1,9 \cos \left(360^\circ \frac{t}{12,42} - 140^\circ \right) + 5,3 \cos \left(360^\circ \frac{t}{14,42} - 68^\circ \right) + 3,4 \cos \left(360^\circ \frac{t}{15,9} - 3^\circ \right)$$

$$N\text{-komp.: } 1,7 \cos \left(360^\circ \frac{t}{12,42} - 67^\circ \right) + 5,3 \cos \left(360^\circ \frac{t}{14,42} - 342^\circ \right) + 2,7 \cos \left(360^\circ \frac{t}{15,9} - 297^\circ \right).$$

till 0,93. Fasvinklarna äro tämligen konstanta och variera för ostkomponenten inom $\pm 8^\circ$, för nordkomponenten inom $\pm 11^\circ$. Den fasförskjutning på 52° , som under uppehållet i mätningarna inträdde på 5 m djup, återfinnes icke här. Fasvinklarna uppvisa dock med växande tid svagt avtagande värden, nämligen för ostkomponenten $\Delta\varphi = -0^\circ,4$ samt för nordkomponenten $\Delta\varphi = -1^\circ,6$ per 14 timmar. Detta ger periodvärden om respektive $14^h, 40$ och $14^h, 36$, vilka väl ansluta sig till det teoretiska värdet $14^h, 42$. Amplituderna uppvisa för båda komponenterna ett maximum nära början av observationsserien och avtaga mot slutet till obetydligt mer än hälften av maximalvärdena.

Tabell 13. Tröghetssvängningarnas fas och amplitud å station S 1.

Djup	Intervall	φ_E	A_E	φ_N	A_N
5 m	35 ^h —64 ^h	64°	10,1	342°	9,1
	95 ^h —139 ^h	9°	6,5	293°	5,2
15 m	16 ^h —30 ^h	88°	16,3	2°	18,3
	30 ^h —44 ^h	72°	22,2	356°	24,9
	44 ^h —58 ^h	76°	19,9	343°	23,3
	100 ^h —114 ^h	79°	19,0	346°	19,1
	114 ^h —128 ^h	76°	17,8	347°	17,3
	125 ^h —139 ^h	74°	13,9	340°	13,8
30 m	16 ^h —139 ^h	77°	18,0	349°	19,3
	16 ^h —64 ^h	349°	3,1	255°	2,4
	100 ^h —139 ^h	199°	2,5	104°	2,5

Mellan tröghetssvängningarna på 15 och 5 m djup råder under mätningarnas förra avsnitt en fasskillnad på 13° , under deras senare avsnitt en fasskillnad om 59° . I båda fallen ilar den roterande strömvektorn på 5 m djup före samma vektor på 15 m djup. Amplituderna äro på 15 m djup i genomsnitt 2,5 gånger större än på 5 m.

Mätningarna på 30 m djup omfatta samma tidsavsnitt som mätningarna på 15 m. En högervridande ström uppträder, vars fas- och amplitudvärden återgivnas i tabell 13. Då fasskillnaden mellan ost- och nordkomponenterna uppgår till 95° och amplituderna med hänsyn till sina låga absolutvärden tämligen väl överensstämna, torde man kunna räkna med att tröghetssvängning här föreligger. Dock har i så fall en till 150° uppgående fasförskjutning ägt rum under den tid (64^h — 100^h), då mätningarna voro avbrutna. Denna fasförskjutning kan möjligen innebära, att det rör sig om en svängning med annan period (omkring 13,5 timmar), vilket alternativt på grund av avbrottet i mätningarna icke kan med säkerhet uteslutas.

Mellan svängningarna på 15 och 30 m råder under tiden 16^h — 64^h en fasskillnad på 91° , under tiden 100^h — 139^h en fasskillnad på 119° åt motsatt håll.

• Stationerna S 2 och S 3. Därest tröghetsströmmen är större än restströmmen kommer strömriktningen att i stort sett variera lineärt med tiden. Så är i Östersjöns ytskikt vanligen fallet och exempel härför ha givits i flertalet tidigare publikationer. Detta möjliggör en, låt vara icke sär-

deles noggrann, bestämning av fasvärdet genom en helt kort observationsserie, medan för fasbestämning genom harmonisk analys en minst 14 timmar lång mätserie är nödvändig.

Vid station S 1 är tröghetsströmmens amplitud genomgående större än restströmmen och strömriktningen (α) varierar i enlighet härmed linerärt med tiden. Följande uttryck gälla:

- mättningsintervallet
(VIII $4^d 16^h$ —VIII $6^d 15^h 40^m$) $\alpha = 10^\circ + 25^\circ, 32 t$
 - mättningsintervallet
(VIII $7^d 22^h 40^m$ — VIII $9^d 19^h$) $\alpha = -84^\circ + 25^\circ, 83 t$
- Hela materialet $\alpha = 8^\circ + 25^\circ, 07 t$

De periodvärden, som härav kunna uträknas, må även angivas.

- intervallet $T = 14^h, 22$
 - » $T = 13^h, 94$
- Hela materialet $T = 14^h, 36$
Teoretiska periodvärdet $T = 14^h, 42$

Om ovanstående uttryck för strömriktningen omräknas till det teoretiska periodvärdet, vilket kräver en ändring av strömriktningen på $24^\circ, 97$ per timme, erhålles:

- intervallet $\alpha = 24^\circ + 24^\circ, 97 t$
 - » $\alpha = 16^\circ + 24^\circ, 97 t$
- Hela materialet $\alpha = 20^\circ + 24^\circ, 97 t$

Som jämförelse må angivas det uttryck för strömriktningen, som kan uträknas ur de av den harmoniska analysen givna fasvinklarna:

$$\alpha = 12^\circ + 24^\circ, 97 t$$

Skillnaden mellan dessa båda uttryck uppgår till 8° , eller i tid 19 minuter.

Från stationerna S 2 och S 3 föreligga observationsserier av blott 3 timmars längd. Enär mätningar här blott utfördes på 15 m djup, föreligga 6 observationer per timme. Detta möjliggör enligt föregående en ungefärlig bestämning av tröghetsströmmens fasvärde å dessa stationer för jämförelse med de stationer, från vilka långa mätserier föreligga. I det vi räkna med det teoretiska periodvärdet ($14^h, 42$) och förlägga tidens nollpunkt till 4 aug. 0^h , erhålla vi följande uttryck för strömriktningen

- Station S 2 $\alpha = 4^\circ + 24^\circ, 97 t$
» S 3 $\alpha = 36^\circ + 24^\circ, 97 t$

Dessa båda stationer uppvisa sålunda båda en fasförskjutning om 16° relativt S 1, varvid station S 2 är försenad och station S 3 ilar före med denna vinkel, vilken i tid motsvarar 38 minuter.

Station S 4. Ytströmmen var för svag att kunna mätas med noggrannhet. Observationsserierna på 15 och 30 m djup omfatta tiden 179^h — 198^h . Under de första fyra timmarna var dock strömmen på 30 m så svag, att dess riktning tidvis icke kunde bestämmas. På båda djupen uppträda tröghetssvängningar med liten amplitud; fasvinklar och amplituder återgivnas i tabell 14.

Tabell 14. Tröghetssvängningarnas fas och amplitud å station S 4.

Djup	Intervall	φ_E	A_E	φ_N	A_N
15 m	179 ^h —198 ^h	134°	3,4	29°	2,5
30 m	184 ^h —198 ^h	162°	3,1	82°	3,5

Medan tröghetssvängningarna på 15 m djup äga betydligt mindre amplitud än fallet var på station S 1, äro svängningarna på 30 m här något starkare. Därvid är botten-djupet på båda stationerna ungefär lika, omkring 130 m. Fasskillnaden mellan svängningarna på 15 och 30 m är blott 40°, medan den i alla övriga fall överstigit 90°.

Tröghetsströmmarnas horisontala utbredning.

Resultatet av den harmoniska analysen av mätningarna på 15 m djup å samtliga stationer sammanfattas i tabell 15, där tidens nollpunkt förlagts till 4 aug. 0^h (även för station R 1, vars mätserie omfattar tiden 27/7—4/8). Å varje station har använts den för stationens latitud gällande teoretiska periodlängden; dock har för stationerna A 1, R 2, H 1, S 1, S 2, H 2, S 3 och A 2 använts periodlängden 14^h,42, ehuru för vissa av dessa stationer pendeldagen avviker från detta värde med 0,01 timme. De för stationerna S 2 och S 3 givna fasvinklarna ha beräknats på sätt, som tidigare i texten angivits. I tabell 15 angives även den ur fasvärdena beräknade vinkel α , som strömvektorn vid tiden $t = 0$ bildar med meridianen.

Vi jämföra till en början de båda långa, icke samtidiga mätserierna å stationerna R 1 och R 2 och finna mellan dem en fasdifferens om 9° på 12 m djup, 23° å 15 m djup. Denna obetydliga fasskillnad visar, att fasen icke nämnvärt förändrats under en tidrymd omfattande 16 pendeldagar, vilket är avståndet mellan de två här jämförda mätseriernas mittpunkter. Tidigare publicerade mätningar ha givit ytterligare exempel på att tröghetssvängningarna kunna bibehålla samma fasvärde under ett stort antal perioder. Detta tyder på att någon faskonserverande faktor förefinnes. Den periodbildande kraften kan icke utgöra någon sådan faktor, såsom fallet är vid tidvattnet. Om nämligen en kropp, som utför tröghetssvängningar, genom ett störande ingrepp bibringas en ny fas, så bibehåller den i fortsättningen denna nya fas, då intet finnes, som kan föranleda en återgång till den gamla fasen. Därest ett stort vattenblock utför tröghetssvängningar med för hela blocket gemensam fas, så är detta emellertid ägnat att verka faskonserverande genom den stora massa, som är inbegripen i svängningen. Om nämligen en lokal störning åstadkommer en lokal faskörskjutning, så kommer efter störningens upphörande denna lokala faskörskjutning att utjämnas genom att de kringliggande vattenmassorna bibehållit det ursprungliga, för hela vattenblocket gemensamma fasvärdet. Den påfallande konservatism, som tröghetssvängningarnas fas uppvisar, synes alltså tyda på att tämligen stora vattenmassor bilda gemensamt svängande system.

Vi jämföra vidare de längs parallellen 56° 20' liggande stationerna T, A 1, R 2, H 1, S 1, S 2, H 2, S 3 och A 2 (uppräknade från öster till väster), vilka äro fördelade över en sträcka av 200 km (109 distansminuter). Bland dessa uppvisar stationen T, som ligger nära lettiska kusten, icke påvisbara tröghetssvängningar. Hos de övriga varierar tröghetsvektorns vinkel (α) med meridianen vid tiden $t = 0$ mellan -21° och +41°. Noggrannast har vinkeln α kunnat bestämmas å stationerna R 2 och S 1, dels emedan hithörande mätserier äro de längsta, dels emedan de registrerande strömmätarna å station R 2 samt det observerande fartyget å station S 1 voro förankrade med två ankare, vilket icke var fallet med övriga fartyg. Dessa båda stationer uppvisa mycket nära samma fasvärden. Störst osäkerhet vidlåder stationerna S 2 och S 3 på grund av mätseriernas korthet, blott 3 timmar. Den förra stationen ansluter sig dock väl till den närliggande stationen S 1 med blott 8° fasskillnad, den senare till den närliggande stationen A 2 med fasskillnaden noll. Den mellan S 2 och S 3 liggande stationen H 2 uppvisar emellertid ett från dessa stationer starkt avvikande fasvärde, med till resp. 25° och 57° uppgående fasdifferenser.

Tabell 15. Sammanställning av tröghetssvängningarnas fas och amplitud i ytskiktet.

Station	Tid	φ_E	A_E	φ_N	A_N	α
R 1,12 m	23/7—4/8	100°	10,3	15°	11,2	347°
R 1,15 m	23/7—4/8	97°	10,1	14°	10,4	349°
R 2,12 m	4/8—12/8	103°	7,4	7°	8,0	350°
R 2,15 m	4/8—12/8	79°	5,3	352°	5,3	10°
A 1	4/8—6/8	89°	4,7	2°	4,0	0°
H 1	4/8—6/8	83°	19,3	354°	19,5	7°
S 1	4/8—9/8	77°	18,0	349°	19,3	12°
A 2	8/8—10/8	51°	6,7	326°	7,4	36°
H 2	8/8—10/8	103°	6,1	28°	7,1	339°
S 2	9/8	(86°)		(356°)		4°
S 3	10/8	(54°)		(324°)		36°
S 4	11/8—12/8	134°	3,4	29°	2,5	323°

Den östra delen av det undersökta farvattnet uppvisar på 15 m djup med en noggrannhet av $\pm 6^\circ$ ett gemensamt fasvärde med vinkeln $\alpha = 6^\circ$, medan den västra delen av farvattnet, representerat av stationerna S 3 och A 2, även uppvisar ett gemensamt fasvärde med vinkeln $\alpha = 36^\circ$.

Mellan östra och västra delarna av farvattnet finnes sålunda en till 33° uppgående fasskillnad, i tid motsvarande 80 minuter. Det är möjligt, att denna fasskillnad är reell. Den kan även vara blott skenbar, föranledd av en störande svängning med annan period, sådan som påvisats på station R 2. Denna har sannolikt uppträtt även på de station R 2 närliggande stationerna A 1, H 1 och S 1, men där icke kunnat påvisas på grund av observationsseriernas ringa längd. På stationerna H 1 och S 1 har denna störande svängning icke kunnat märkbart förvanska tröghetssvängningens fas på grund av denna sistnämnda svängnings stora amplitud. På stationerna A 2 och H 2 kan fasvärdet emellertid ha blivit mera förvanskat genom en möjligen uppträdande störande svängning (eventuellt genom tidvatten),

enär tröghetssvängningens amplitud här är relativt liten. Ett klarläggande härav hade krävt en längre observationsserie på dessa stationer. Huru härmed än må förhålla sig är fasens växlingar längs den undersökta öst—väst gående linjen mycket ringa, varför i stort sett kan sägas, att det undersökta vattenblocket utför tröghetssvängningar med gemensam fas, ehuru med starkt varierande amplituder.

I själva ytan ha tröghetssvängningar påvisats blott på stationerna A 2 och S 1. På vissa stationer har ytströmmen varit för svag att kunna mätas med tillräcklig noggrannhet, på andra stationer har noggrann mätning försvårats av fartygens enkelförankring. På station A 2 befann sig strömkorset på omkring 1 m djup, på station S 1 på 5 m djup. I tabell 16 gives en sammanställning av amplituder och fasvinklar i ytan och å 15 m djup på dessa båda stationer.

Tabell 16. Tröghetssvängningens amplituder och fasvinklar i ytan och å 15 m djup.

Station	Tidsintervall	Djup 1 resp. 5 m		Djup 15 m	
		A	φ	A	φ
A 2	103 ^h —145 ^h	2,7	339°	7,5	324°
S 1	35 ^h —64 ^h	9,6	338°	22,6	347°
S 1	95 ^h —139 ^h	5,9	286°	16,8	345°

A = medelvärde av A_E och A_N , φ = medelvärde av $\varphi_E - 90^\circ$ och φ_N .

Synnerligen anmärkningsvärt är att amplituden på 15 m djup är mellan 2 och 3 gånger så stor som amplituden i ytan.

Medan i ytskiktet de undersökta svängningarnas karaktär av tröghetssvängningar blivit säkerställd genom noggranna periodbestämningar, utförda på grundval av långa observationsserier, är detta icke fallet med svängningarna under språngskiktet. Det enda kriteriet på att tröghetssvängning här föreligger är den noggrannhet med vilken strömningsformen är cirkulär.

Tabell 17.

Station	$\varphi_E - \varphi_N$	$A_E : A_N$
A 1	98°	1,2
A 2	96°	1,4
S 1	94°	1,3
S 1	95°	1,0
S 4	80°	0,9

En sammanställning härav gives i tabell 17. Fasskillnaden mellan ost- och nordkomponenterna är i de fem anförda fallen nära 90°, medan förhållandet mellan amplituderna i flertalet fall avviker tämligen mycket från 1. Detta senare är dock vid korta observationsserier ofta fallet även på 15 m djup, där dock tröghetssvängningar med säkerhet

föreligga, och behöver därför ej utesluta tröghetssvängning. På station S 1, där tämligen långvariga mätningar företagits på 30 m djup, visar fasdiagrammet ett förlopp, som tyder på en svängning med lägre period, nämligen omkring 13,5 timmar, varför antagandet att tröghetssvängning här föreligger medför att ett till 150° uppgående fassprång måste accepteras. Något dylikt har under lugna meteorologiska förhållanden aldrig iakttagits i ytskiktet och är därför mindre sannolikt. Vi vilja därför icke på grund av föreliggande material anse förekomsten av tröghetssvängningar under språngskiktet som säkerställd utan avvakta tillräckligt långvariga mätningar, lämpligen utförda med förankrade registrerande strömmätare.

Tabell 18. Jämförelse mellan tröghetssvängningar över och under språngskiktet.

Station	h	H	15 m		30 m		$\varphi_{15} - \varphi_{30}$
			$\bar{\varphi}_N$	A	$\bar{\varphi}_N$	A	$\Delta \varphi$
A 1	17	20	12°	5,5	201°	10,2	174° ¹⁾
A 2	17	37	324°	7,5	190°	3,9	134°
S 1	17	118	348°	18,7	257°	2,9	91°
					107°	2,5	241°
S 4	17	111	37°	3,0	77°	3,3	320°

(h: ytskiktets tjocklek, H: underskiktets tjocklek).

¹⁾ Ej helt samtidiga.

Med denna reservation sammanställa vi i tabell 18 fas- och amplitudvärden å 15 och 30 m djup, varvid A anger medelvärdet av komponenternas amplituder och $\bar{\varphi}_N$ anger medelvärdet av φ_N och $\varphi_E - 90^\circ$.

Denna sammanställning ger vid handen, att amplituden på 30 m djup, jämförd med amplituden i ytskiktet, är desto större, ju mindre mäktighet djupskiktet äger. Detta ger stöd åt uppfattningen att tröghetssvängningar i djupskiktet äro kompensationsströmmar, framkallade av tröghetssvängningarna i ytskiktet. Ett undantag utgör station S 4, där mätningarna dock utfördes vid en tidpunkt, då tröghetssvängningarna nästan helt avklingat. Någon lagbundenhet i förhållandet mellan fasvinklarna på 15 och 30 m djup kan icke med säkerhet utläsas ur tabell 18.

Sammanfattning.

Under tiden 4—12 aug. 1939 utfördes strömmätningar i Östersjön i området mellan lettiska kusten och Öland av undersökningsfartygen Aranda (Finland), Hidrografs (Lettland), Skagerak (Sverige) och Triton (Tyskland). Mätningarna avsågo främst att fastställa storleken av de vattenblock, som utföra tröghetssvängningar med gemensam fas, och utfördes huvudsakligen på 15 och 30 m djup. Ankarstationerna voro förlagda längs latituden 56° 20' med den östligaste stationen 10 distansminuter från lettiska kusten och den västligaste 30 distansminuter från Öland. På den

närmast lettiska kusten belägna stationen kunde inga tröghetssvängningar påvisas, medan på 15 m djup dylika uppträdde på alla övriga stationer med amplituder på intill nära 20 cm/sek. Tröghetssvängningarna avklinga således snabbt i riktning mot en kust. Längs den berörda latituden varierade fasvinkeln med $\pm 31^\circ$. Härvid ägde de östligast belägna stationerna (A 1, R 2, H 1, S 1 och S 2; se figur 1) ett gemensamt fasvärde, i det den roterande strömvektorns vinkel med meridianen vid tiden $t = 0$ (4 aug. 0^h) utgjorde $\alpha = 6^\circ \pm 6^\circ$. Vid de därpå följande stationerna H 2, S 3 och A 2 utgjorde denna vinkel 339° (H 2) och 36° (A 2 och S 3). Dessa i och för sig icke starka avvikelser kunna möjligen bero på att fasvärdet vid analysen förvanskats genom någon störande svängning med annan period, vilken på grund av observationsseriens otillräckliga längd ej kunnat elimineras; en dylik störande svängning kunde påvisas på station R 2. Även om så icke skulle vara fallet, kan, med den noggrannhet materialet medgiver, fastställas, att vattenmassorna längs den undersökta latituden utföra tröghetssvängningar med i det närmaste gemensam fas.

På 30 m djup uppträdde på stationerna A 1, A 2, S 1 och S 4 svängningar, vars karaktär av tröghetssvängningar icke kunde med säkerhet fastställas, men som möjligen utgöra sådana. Något samband mellan fasvärdet på 15 och 30 m djup kunde icke påvisas.

På stationen R 2 kunde tack vare observationsseriens större längd påvisas en svängning med perioden 15,9 timmar, vars ursprung t. v. är obekant.

På stationerna R 1 och R 2 kunde även fastställas halv-dagligt tidvatten (M_2), varvid komponenternas amplituder varierade mellan 1,1 och 2,1 cm/sek. Mellan de två stationerna förelåg en till omkring 60° uppgående fasskillnad, vilken dock kan vara föranledd av den icke helt eliminerade S_2 . Heldagligt tidvatten kunde icke påvisas.

Summary.

Between August 4:th and 12:th 1939 current measurements were carried out in the central Baltic between the island of Öland near the Swedish coast and the coast of Lettonia from the research ships the »Aranda», Finland, the »Hidrografs», Lettonia, the »Skagerak», Sweden, and the »Triton», Germany. The main purpose of the investigation was to measure the extent of the mass of water which carries out the rotatory movement responsible for the inertia currents discovered in the Baltic Sea by Swedish oceanographers. Most of the measurements were made between the depths of 15 and 30 metres the ships being anchored along the $56^\circ 20'$ northern parallel, the most easterly station situated 10 nautical miles off the Lettonian coast and the most westerly station being 30 nautical miles due east of Öland. Only at the former station no rotating inertia currents could be observed, whereas at all the other stations in 15 metres depth they were prominent, having an amplitude of nearly 20 cm/sek. Near a coastline the rotatory movement is thus seen to be suppressed. The phase angle at all the stations did not vary by more than $\pm 31^\circ$ from an

average value, its value from the meridian at zero time, August 4:th at 0^h, being $\alpha = 6^\circ \pm 6^\circ$ at the easterly stations A 1, R 2, H 1, S 1 and S 2 (vide figure 1). At the station H 2 $\alpha = 339^\circ$ whereas at A 2 and S 3 $\alpha = 36^\circ$. Possibly these moderate deviations may have been due to disturbances from another rotating current of different period affecting the phase angle, since the relative shortness of the observation series did not allow of eliminating completely any such disturbing effect which was actually found to exist at the station R 2. Apart from this, however, the results leave no doubt, that the water along the latitude in question actually performed rotating inertia movements which were practically all of the same phase.

In 30 metres depth at stations A 1, A 2, S 1 and S 4 a rotatory movement was found which could not well be attributed to inertia currents nor was any relationship found between the phase angle there and in 15 metres. At station R 2, on the other hand, the greater length of the observation series made it possible to ascertain the presence of a current vector of 15,9 hours period, the origin of which remains unknown.

From the analysis of the observations made at R 1 and R 2 the presence of a tidal current of the main lunar semidiurnal period (M_2) was revealed, its amplitude varying between 1,1 and 2,1 cm/sek. A phase difference of about 60° apparent between the two stations may have been due to an imperfect elimination of the solar semidiurnal tide S_2 . No trace of any diurnal component was found.

Zusammenfassung.

Vom 4. bis 12. August 1939 wurden in der Ostsee zwischen der lettischen Küste und Öland von den Forschungsschiffen Aranda (Finnland), Skagerak (Schweden), Hidrografs (Lettland) und Triton (Deutschland) Strommessungen ausgeführt. Die Messungen beabsichtigten hauptsächlich, die Grösse der Wasserblöcke festzustellen, die Schwingungen mit einer gemeinsamen Phase ausführen, und wurden hauptsächlich in 15 und 30 m Tiefe vorgenommen. Die Ankerstationen lagen entlang der Latitude $56^\circ 20'$, wobei die östlichste Station 10 Distanzminuten von der lettischen Küste und die westlichste 30 Distanzminuten von Öland entfernt war. Auf der Station, die am nächsten der lettischen Küste belegen war, konnte keine Trägheitsschwingung nachgewiesen werden, während solche auf allen anderen Stationen in 15 m Tiefe auftraten mit Amplituden bis zu 20 cm/sek. Damit war festgestellt, dass die Trägheitsschwingungen gegen eine Küste zu sehr rasch abklingen. Entlang des Schnittes variierte der Phaswinkel mit $\pm 31^\circ$. Dabei hatten die östlichst belegenen Stationen (A 1, R 2, H 1, S 1, und S 2; siehe Figur 1) einen gemeinsamen Phasenwert, wobei der Winkel α , den der rotierende Stromvektor mit dem Meridian zur Zeit $t = 0$ (4 Aug. 0^h) einschliesst, $6^\circ \pm 6^\circ$ betrug. Bei den darauf folgenden Stationen H 2, S 2 und A 2 betrug dieser Winkel 339° (H 2) und 36° (A 2, und S 3). Diese an und für sich nicht starken Abweichungen können möglicherweise darauf beruhen, dass der Phasenwert bei der Analyse durch eine

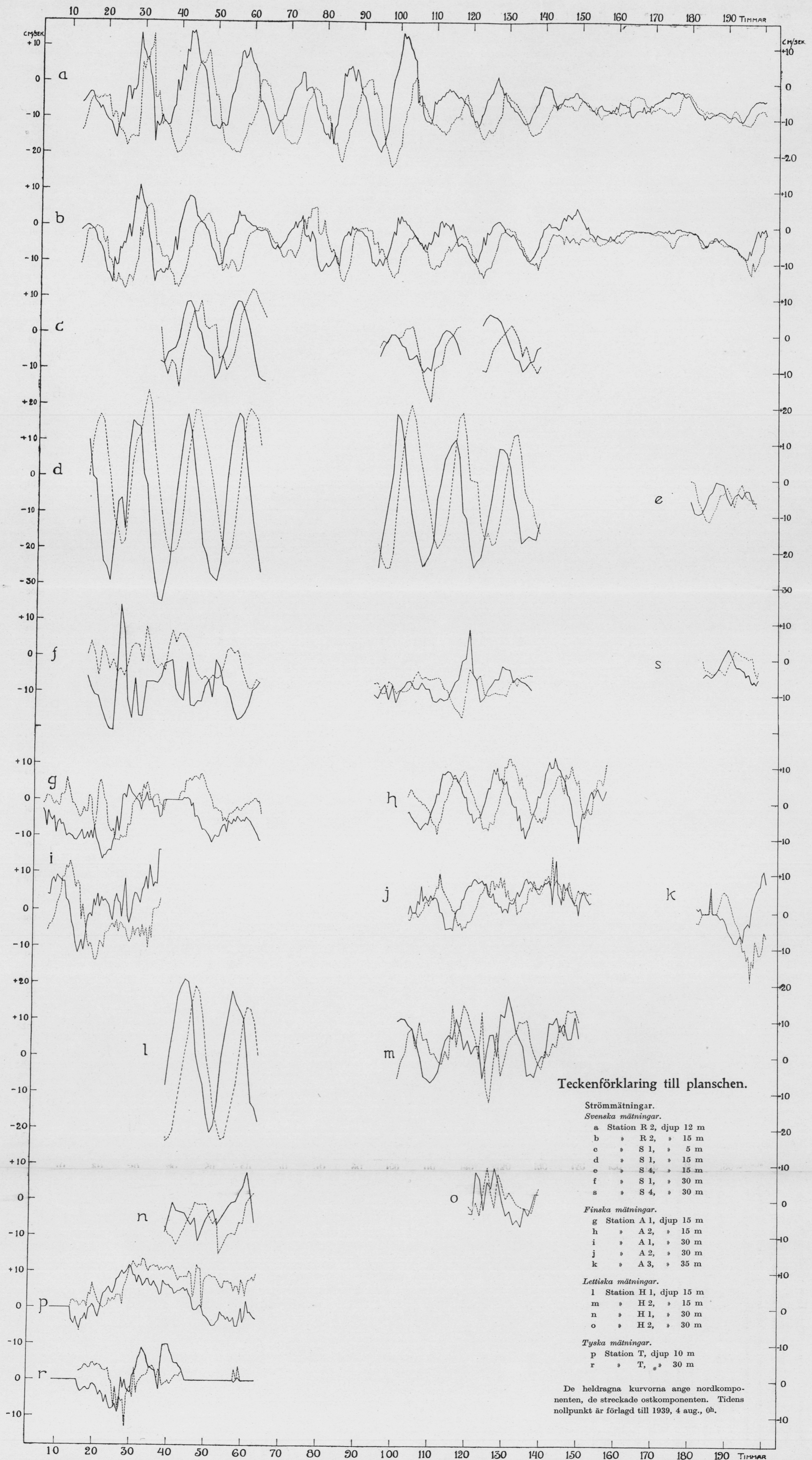
störende Schwingung mit einer anderen Periode verfälscht wurde, was auf Grund der unzureichenden Länge der Beobachtungszeit nicht eliminiert werden konnte. Eine ähnliche störende Schwingung wurde auf der Station R 2 nachgewiesen. Auch wenn das nicht der Fall ist, kann mit der Genauigkeit, die das Material erlaubt, festgestellt werden, dass die Wassermassen entlang der untersuchten Latitude Trägheitsschwingungen mit angenähert gemeinsamer Phase ausführen.

In 30 m Tiefe treten bei den Stationen A 1, A 2, S 1 und S 4 Schwingungen auf, die nicht mit Sicherheit als Trägheitsschwingungen bezeichnet werden können, aber möglicherweise solche sind. Ein Zusammenhang zwischen den

Phaswerten in 15 und 30 m Tiefe konnte nicht nachgewiesen werden.

Auf Station R 2 konnte wegen der grösseren Länge der Beobachtungsserie eine Schwingung mit der Periode von 15,9 Stunden nachgewiesen werden, deren Ursache noch unbekannt ist.

Auf den Stationen R 1 und R 2 konnten auch halbtägige Gezeiten festgestellt werden, wobei die Amplituden der Komponenten zwischen 1,1 und 2,1 cm/sek schwankten. Zwischen den beiden Stationen bestand eine Phasendifferenz bis zu 60° , welche doch von der nicht ganz eliminierten S_2 herrühren kann. Ganztägige Gezeiten konnten nicht nachgewiesen werden.



Teckenförklaring till planschen.

Strömmätningar.

Svenska mätningar.

- a Station R 2, djup 12 m
- b » R 2, » 15 m
- c » S 1, » 5 m
- d » S 1, » 15 m
- e » S 4, » 15 m
- f » S 1, » 30 m
- s » S 4, » 30 m

Finska mätningar.

- g Station A 1, djup 15 m
- h » A 2, » 15 m
- i » A 1, » 30 m
- j » A 2, » 30 m
- k » A 3, » 35 m

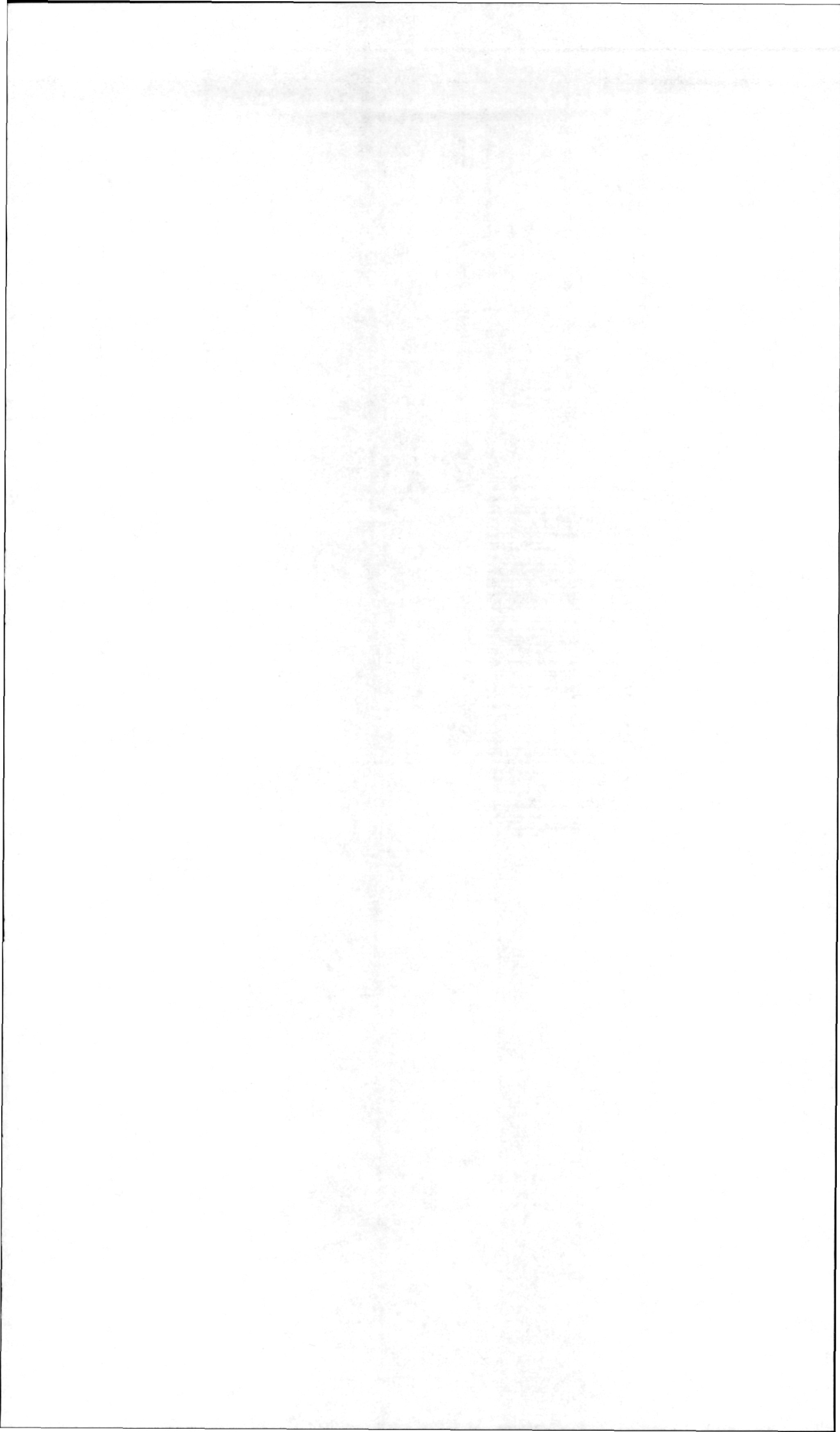
Lettiska mätningar.

- l Station H 1, djup 15 m
- m » H 2, » 15 m
- n » H 1, » 30 m
- o » H 2, » 30 m

Tyska mätningar.

- p Station T, djup 10 m
- r » T, » 30 m

De heldragna kurvorna ange nordkomponenten, de streckade östkomponenten. Tidens nollpunkt är förlagd till 1939, 4 aug., 0h.





BLANDERS BOKTRYCKERI AKTIEBOLAG GÖTEBORG 1942

(11)