



UTBYGGNAD VID MALMÖ HAMN; EFFEKTER FÖR LOMMABUKTENS VATTENUTBYTE

Av Cecilia Ambjörn

1986-01-31

SVERIGES METEOROLOGISKA
OCH HYDROLOGISKA INSTITUT

86. 09. 22

BIBLIOTEKET

UTBYGGNAD VID MALMÖ HAMN;
EFFEKTER FÖR LOMMABUKTENS
VATTENUTBYTE

Av Cecilia Ambjörn

Januari 1986

	Sid
1. Bakgrund	1
2. Allmänt	3
2.1 Topografiska förhållanden	3
2.2 Meteorologiska förhållanden	4
2.3 Strömförhållanden	5
2.4 Salthalts- och temperaturförhållanden	7
3. Resultat	9
3.1 Automatiskt registrerande ströminstrument	9
3.2 Strömmätningar i Lommabukten	15
3.3 Numerisk modell; uppbyggnad, resultat och verifieringar	24
4. Sammanfattning	50
5. Referenser	51

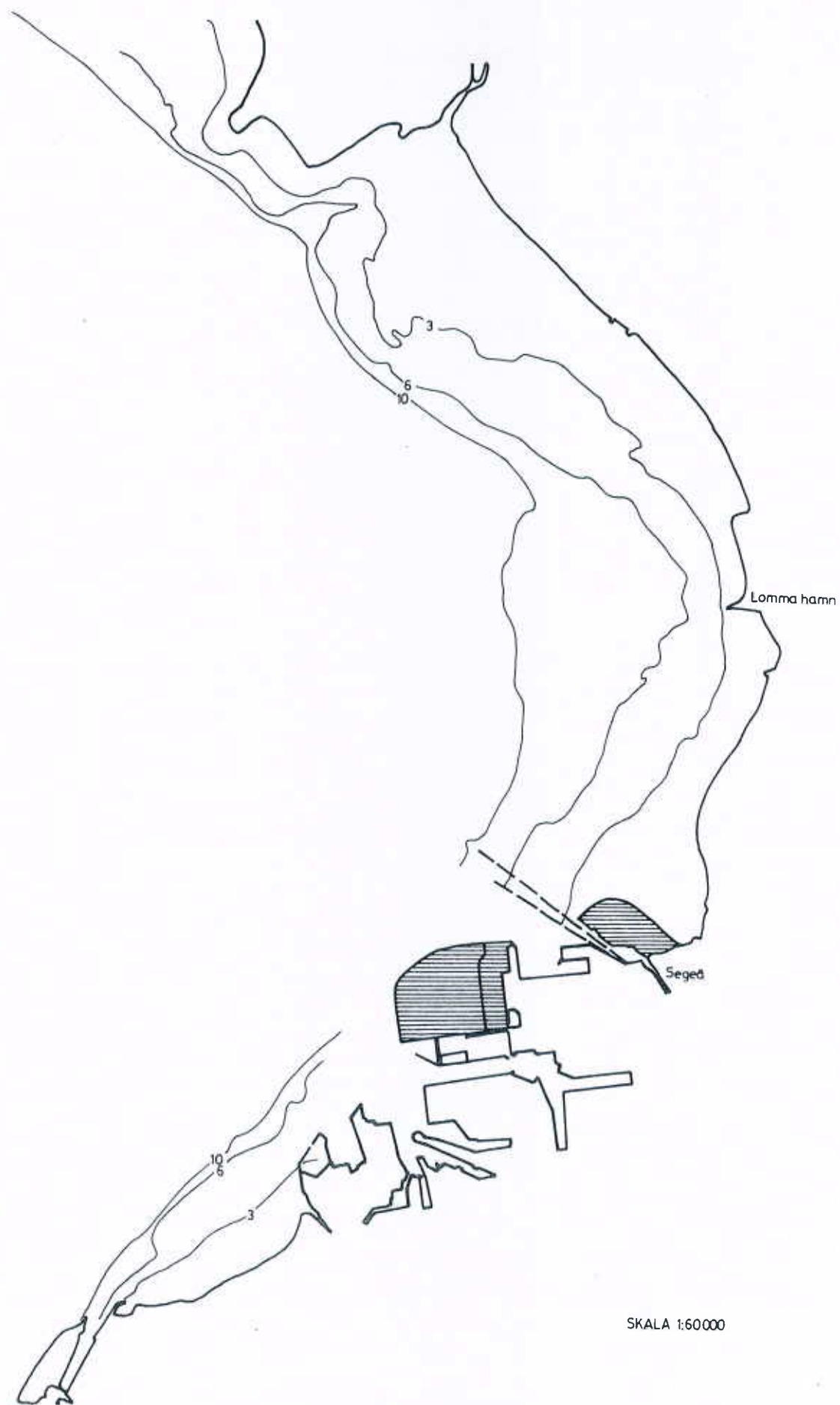
Arbetet med PHOENICS-modellen har utförts i samråd
med Leif Nyberg.

1. BAKGRUND

SMHI har av Växjö tingsrätt, vattendomstolen, förordnats att såsom vattendomstolens sakkunnige avge skriftligt utlåtande angående verkningarna av utfyllnaden av vattenområdet väster om oljehamnen i Malmö allmänna hamn. Utredningen ska ha följande inriktning,

- att belysa virvelbildningens omfattning i Lommabukten i nuvarande situation med tippning till 3 m djup norr om hamnen
- att belysa kommunala avloppsvattnets spridning med hänsyn till nuvarande virvelbildning och utsläppspunkt
- att ge förutsägelser om strömbildens och virvelns förändring genom utfyllnad samt om förändrad spridning av avloppsvattnet
- att belysa effekten av möjliga justeringsåtgärder om så erfordras. Möjliga åtgärder är anläggning av strömdelare, förlängning av avloppstuber, förändrad utformning av utfyllnad.

Malmö hamns planerade utfyllnad enligt etapp 1 och 2 framgår av figur 1. Etapp 1 innebär att ett 3 m djupt och 33 hektar stort havsområde norr om hamnen fylls igen. Detta ingrepp bedöms inte ha någon effekt på vattenomsättningen i närliggande områden. Uppdraget innebär att utreda konsekvenserna av etapp 2. Den sammanlagda ytan av etapp 1 och 2 är 130 hektar. SMHI avser även, efter samråd med Malmö Hamn och SYSAV, att studera effekterna av SYSAVs (Sydvästra Skånes Avfallsaktiebolag) utfyllnad vid Spillepeng i Lommabuktens södra del, se figur 1. Det finns risk att planerade utfyllnader kan förändra Lommabuktens vattenutbyte genom att virvelsystemen förändras eller täcker större områden. En ökad ansamling av föroreningar kan då bli följden från utsläpp av kommunalt avloppsvatten norr om oljehamnen.



Figur 1 Planerade utfyllnader väster om oljehamnen och vid Spillepeng i södra Lommabukten samt avloppsledningarnas läge

2. ALLMÄNT

2.1 Topografiska förhållanden

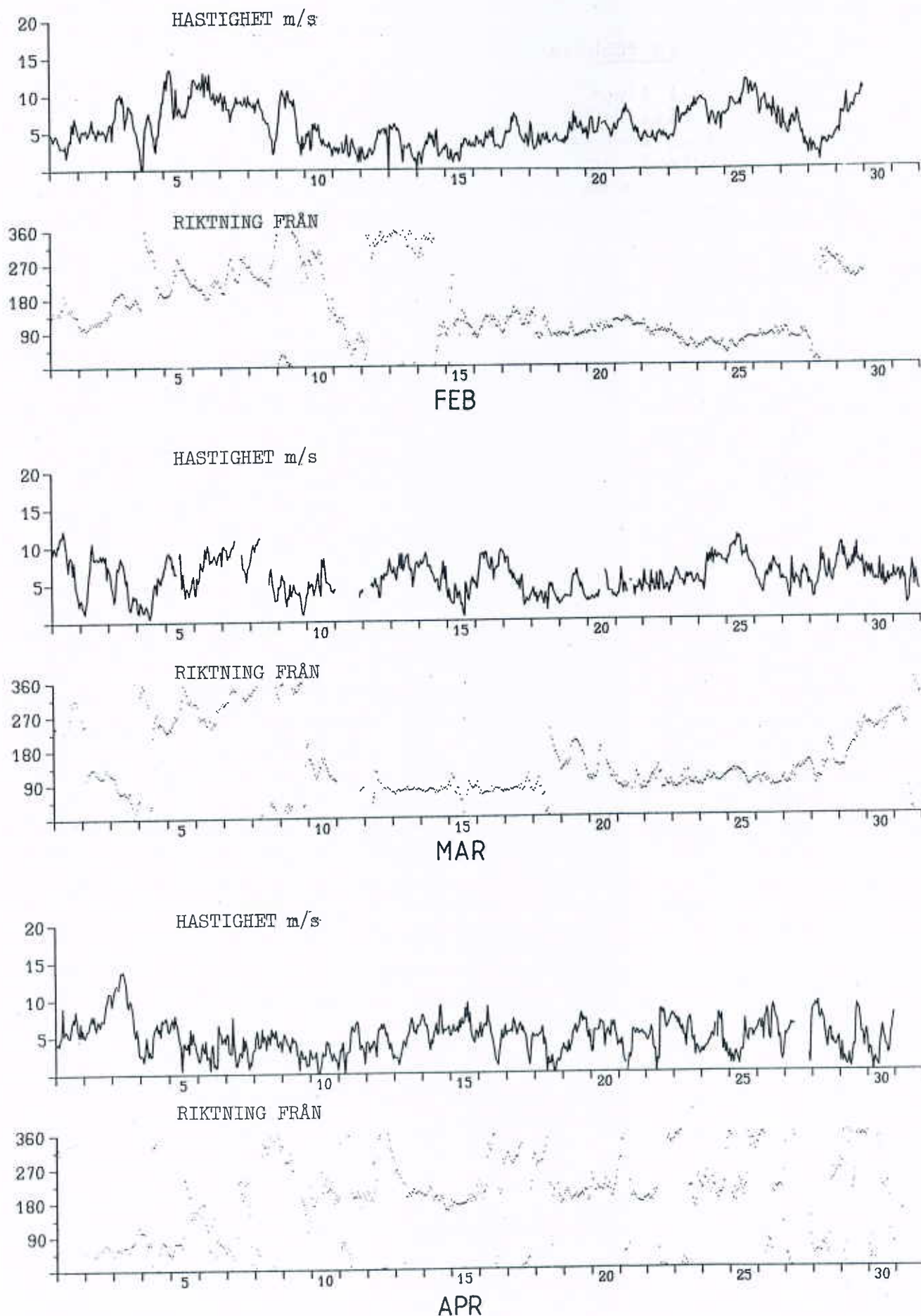
Öresund är 10 mil långt. Bredden minskar från Öresunds norra gräns (Kullen) till 5-6 km vid Helsingborg-Helsingör, varefter den ökar succesivt sydvart till 50 km vid den södra gränsen (Falsterbo), se figur 2. Medeldjupet är cirka 12 m och oregelbunden topografi ger stora lokala djupvariationer. Utanför Helsingborg finns ett djup som är 42 m, vilket minskar norrut till ett tröskeldjup på 26 m. Tröskeldjupet mot söder är 5 m i Flintrännan och 8 m vid Drogden. Största djupet benämns Landskrona-djupet och är 53 meter. Ref, Jacobsen T.S. och Nielsen P.B., 1978.



Figur 2. Karta över Öresund

2.2 Meteorologiska förhållanden

Vindens hastighet och riktning vid Oskarsgrundet är uppritade i figur 3, för februari - april 1984.



Figur 3. Vindförhållanden vid Oskarsgrundet februari, mars och april 1984

2.3 Strömförhållanden

Förutom sötvattenöverskottet från Östersjön styrs strömförhållandena i Öresund av vind- och lufttrycksförhållandena i havsområdet Skagerrak-Östersjön. Andra faktorer som spelar in är Öresunds morfometri, den lokala vindens inverkan, tidvattnet och jordrotationen, vilken pressar vatten mot höger i förhållande till rörelseriktningen. Strömhastigheterna i ytlagret vid Oskarsgrundet är mestadels 20-80 cm/s vid nordgående ström och 20-60 cm/s vid sydgående. Tidvattnet är också av betydelse och hastigheterna utanför Malmö är oftast mindre än 10 cm/s. Även då vattnet från ytan till botten strömmar åt samma håll finns ofta en tydlig hastighetsskillnad mellan ytvattnet och djupvattnet. Skiktgränsen mellan lagren ligger normalt mellan 10 och 15 meter.

Vid nordgående ström som är vanligast, utbildas ibland en medurs riktad virvel i Lommabuktens södra delar. Även vid sydgående ström förekommer virvelbildningar. Dessa är moturs riktade och har normalt sin tyngdpunkt i norra Lommabukten.

Strömmen i Öresund har, av topografiska skäl, endast två riktningar, antingen sydgående in i Östersjön eller nordgående in i Kattegatt. Dietrich G., 1951, har bearbetat strömmätningar vid bl.a Lappegrund, Svinbådan, Drogden och Oskarsgrundet, se figur 2 och visat dels på kopplingar till vinden över havsområdet Kattegatt - södra Östersjön dels på några samband mellan mätpunkterna.

Sydgående ytström förekom vid tre av de ovan nämnda mätplatserna (ej Svinbådan) vid västlig vind; från vindriktningar i intervallet 200-330°. Vid dessa vindriktningar sänks vattenståndet i södra Östersjön och stiger i Kattegatt varvid ett tryckfall i Öresunds vattenyta mot söder erhålls. Denna vindriktning innebär även lägre lufttryck över Sverige-Östersjön och högre över Danmark-Nordsjön, vilket gör att Östersjöns vattenyta ges utrymme att stiga.

Vid nordlig vind 4-5 m/s var ytströmmen nordgående, ty vattenståndet i södra Östersjön höjs, och det utbildas ett tryckfall i Öresund mot norr som är tillräckligt starkt för att övervinna den nordliga vindens uppstuvningseffekter i Kattegatt. Även vid nordlig vind 11-13 m/s erhöles nordgående ytström i Öresund samt i östra delen av Kattegatt, medan ytströmmen blev sydgående i sydvästra Kattegatt och Bälten. Det beror på att vatten stuvats upp i sydvästra hörnet som en följd av vinden och corioliseffekt.

Ostlig vind gav nordgående ytström enligt motsvarande resonemang som fördes för västlig vind.

Sydlig vind medförde nordgående ytströmmar hos alla de ovan nämnda fyra mätpunkterna.

Dietrich har även utfört en beräkning av sambandet mellan ström och vind vid Drogden, båda i form av dygnsmedelvärden. Beräkningarna baserade sig på ett års mätningar.

Tabell 1. Sambandet mellan vind och ström vid Drogden enligt Dietrich.

Vind rikt från	Vind styrka m/s	Ström rikt mot	Ström hast cm/s	Samtidig- het; vind-ström %
N	4-5	NE	30	92
N	11-13	NE	60	87
E	4-5	NE	50	84
E	11-13	NE	80	100
S	4-5	NE	40	89
S	11-13	NE	70	80
W	4-5	SW	30	74
W	11-13	SW	150	89

Vid nordlig vind 4-5 m/s erhöjls ström mot nordost under 92 procent av tiden. Under resterande 8 procent var strömmen antingen nära noll eller sydvästgående. Tabellen visar att sambandet mellan vind och ström vid Drogden var stort. Det framgår även att de starkaste strömmarna förekom vid ostliga och starka västliga vindar. Dessutom reagerade strömshastigheterna vid sydgående ström mera på höga vindstyrkor än hastigheterna vid nordgående ström.

Medelfrekvensen av nord- och sydgående ytström är beräknad för perioden 1901-30 vid Lappegrund och Drogden, A. Nielsen, 1976, se tabell 2 nedan.

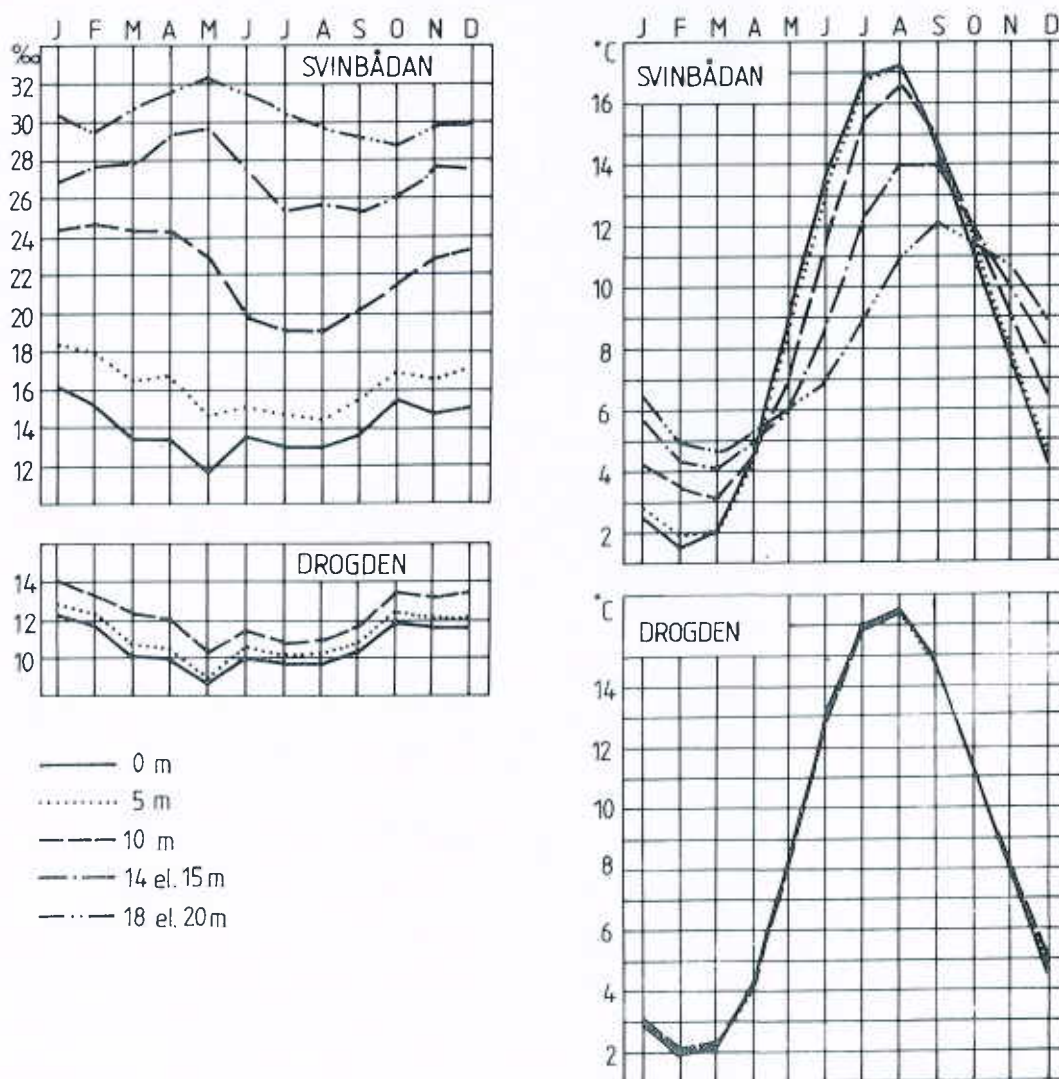
Tabell 2. Förekomst av olika ytströmriktningar angivet i procent.

	Lappegrund	Drogden
Nordgående ström	67	59
Sydgående ström	32	36
Andra riktningar	0	1
Strömstiltje	1	4

Det framgår att nordgående ytström är vanligare i norra delen av Öresund än i södra. Strömmätningar utförda samtidigt vid Lappegrund och Drogden var 4:e timme under maj och juni 1914 har sammanställts utgående från riktning och hastighetsintervall vid Drogden, J.P. Jacobsen 1925. Vid Drogden erhöjls samma riktning i hela vattenkolumnen vid varje observation. När strömshastigheten vid Drogden låg mellan 10 cm/s sydgående och 20 cm/s nordgående (171 obs), dvs svaga strömmar, var strömmen vid Lappegrund nordgående 28-94 cm/s på 2,5 m djup och sydgående 10-24 cm/s på 13 m djup. Starkare sydgående och nordgående strömmar vid Drogden gav samma riktningar vid Lappegrund på alla nivåer.

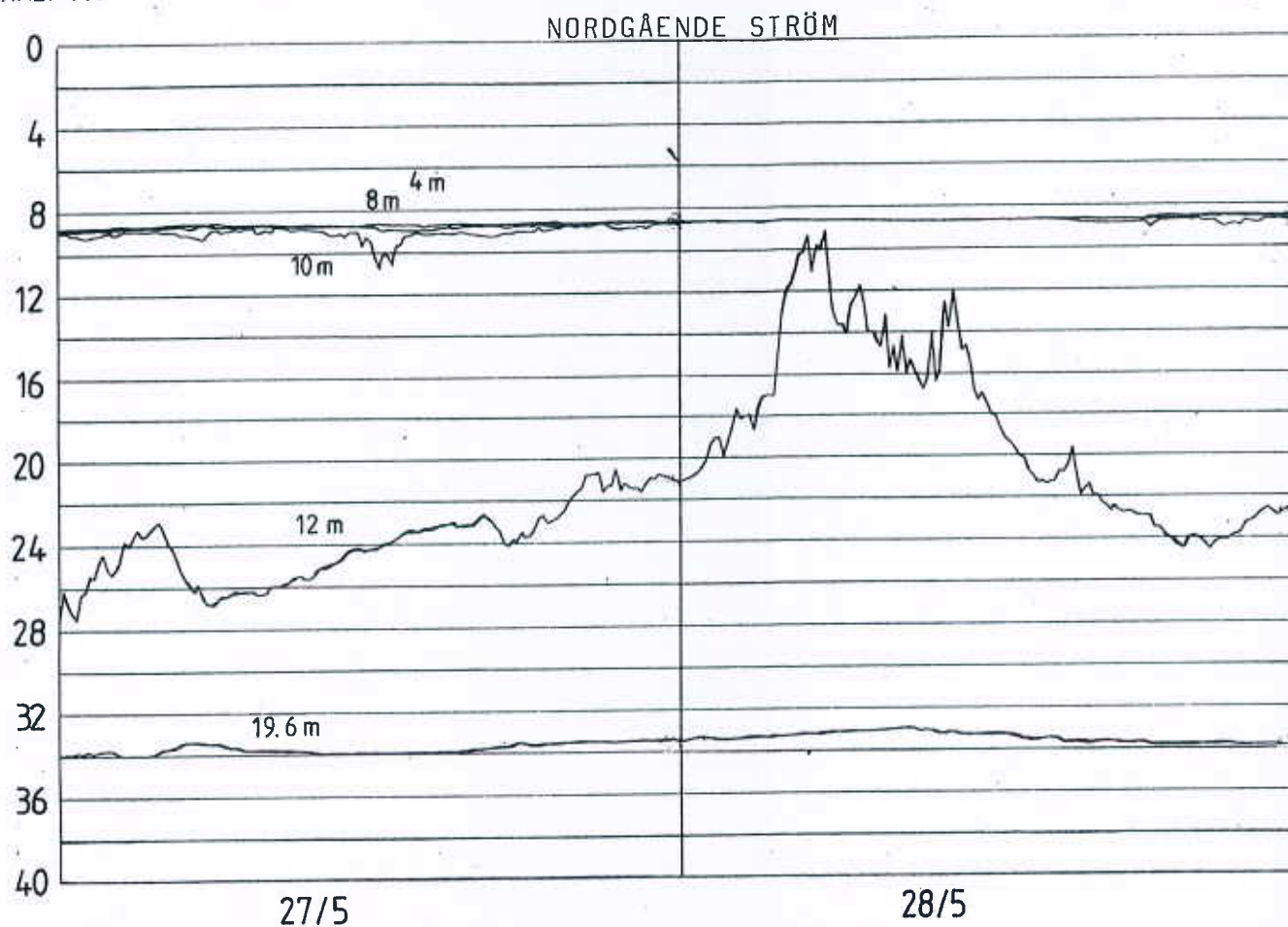
2.4 Salthalts- och temperaturförhållanden

Sötare östersjövatten, 8-10 o/oo, fyller ut det grunda området i södra Öresund ofta i form av en lättare nordgående ytström. Salt kattegattvatten tränger in i Öresund norrifrån som en djupström. Detta vatten kan dels komma från Kattegatts ytskikt 18-24 o/oo och dels från djupare nivåer och har då salthalten 30-35 o/oo. Därför kan Öresund vara starkt densitetsskiktat, men även blandningar av de olika vattenmassorna förekommer. Månadsvisa medelvärden av ytsalthalten för perioden 1923-29 och 1949-52, T. Wändahl och E. Bergstrand 1973, varierade mellan 8-12 o/oo vid Oskarsgrundet och 12-16 o/oo vid Svinbådan. Månadsmedelvärden av salthalt och temperatur i norra och södra Öresund under 1923-(38)39 på olika nivåer visar vilka värden som är representativa samt variationen under året. I figur 4 får Svinbådan och Drogden spegla Öresunds skiktning i form av månadsmedelvärden på olika djup. Figuren är från Brattström H. 1941. Figur 5 visar tidsförloppet hos salthalten utanför Landskrona, dels vid nordgående ström och dels vid sydgående. Ref., Wilmot W. och Svensson J. 1977.

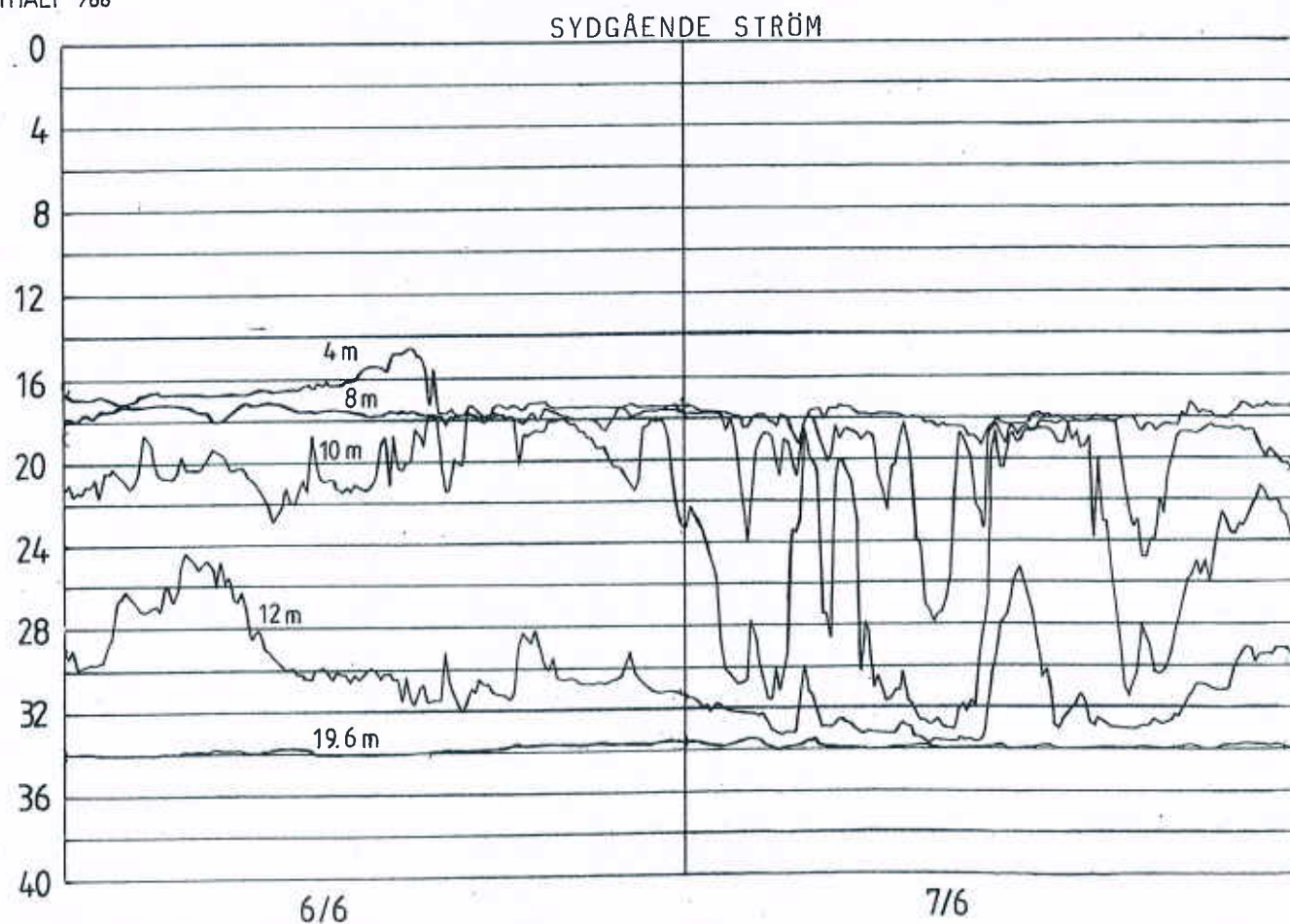


Figur 4. Månadsmedelvärden av salthalt och temperatur vid Svinbådan och Drogden, 1923-(38)39

SALTHALT ‰



SALTHALT ‰



Figur 5. Salthaltens tidsvariation vid nord- och sydgående ström, 27-28 maj och 6-7 juni 1976

3. RESULTAT

3.1 Automatiskt registrerande ströminstrument

Under 1984 utfördes strömmätningar på ett stort antal platser i Öresund, ty flera olika projekt genomfördes samtidigt. Resultaten från dessa har analyserats för de syften som är av intresse i denna rapport. Beräkningar har utförts över hur strömmen i olika mätpunkter samvarierar. Tidvatten har även analyserats på några platser.

Dominerande strömriktningar

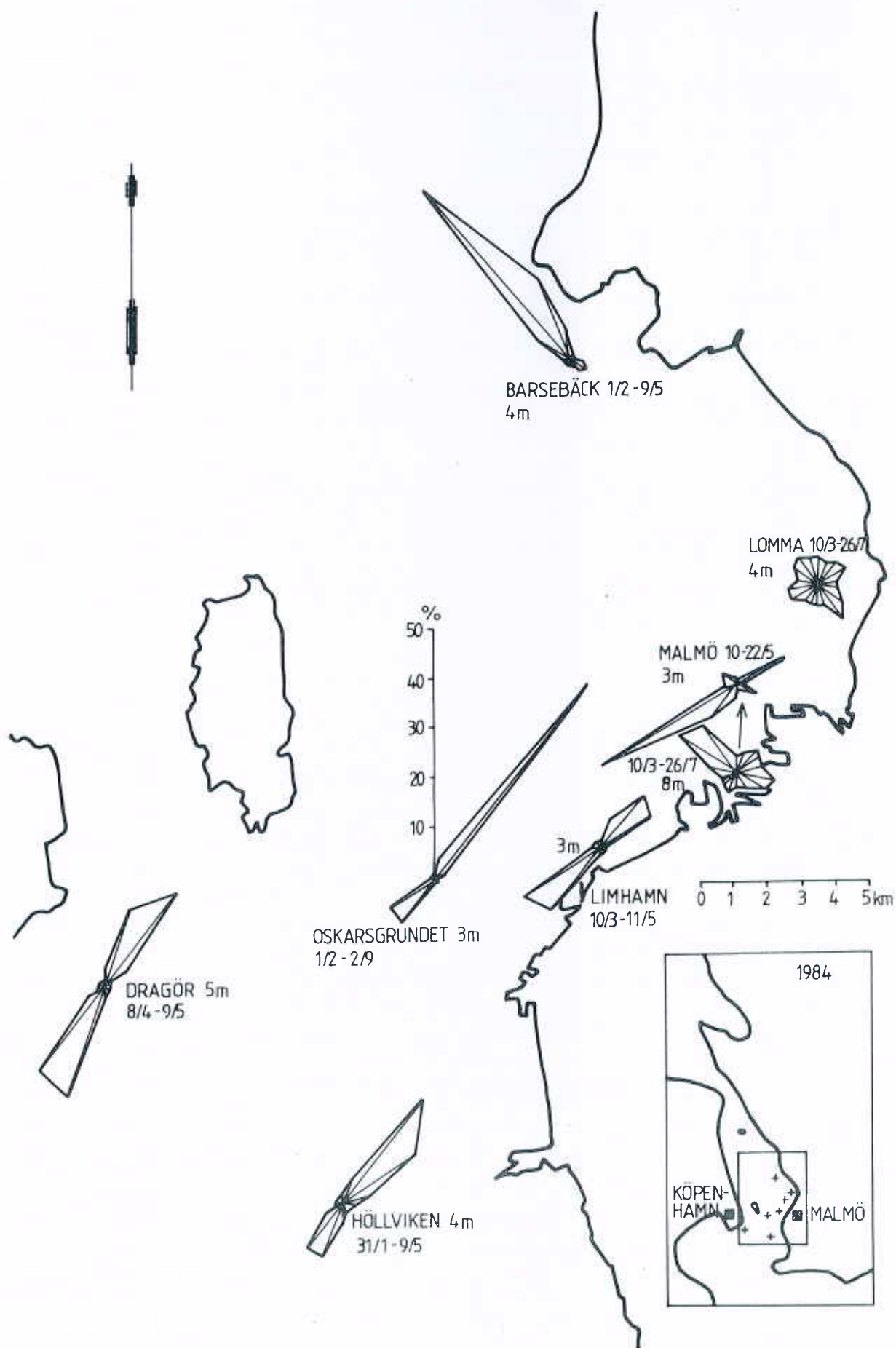
Strömmen registrerades var 20:e minut och mätperiodens längd med användbara data framgår av figur 6, som även visar vilka strömriktningar som erhöles i varje mätpunkt. Antal registreringar i varje 20^o-intervall har beräknats i form av procentuell andel av alla riktningar. Dessa procentvärden har sedan avsatts på en linje radiellt ut från centrum. Ändpunkterna sammanbinds med en yttre kontur. Figuren visar att t ex vid Oskarsgrundet gick strömmen mot nordost 50 procent av tiden och mot sydväst drygt 10 procent av tiden. I Barsebäck förekom övervägande ström mot nordväst. Vid Lomma hamn var alla riktningar ungefär lika vanligt förekommande. Utanför Malmö hamn fanns på 3 m djup en tydlig sydvästriktning samt nordostlig strömning. På 8 m djup erhöles nordväst-ostgående strömmar vilka till stor del var styrda av bottenkonturen.

Samband mellan mätarna

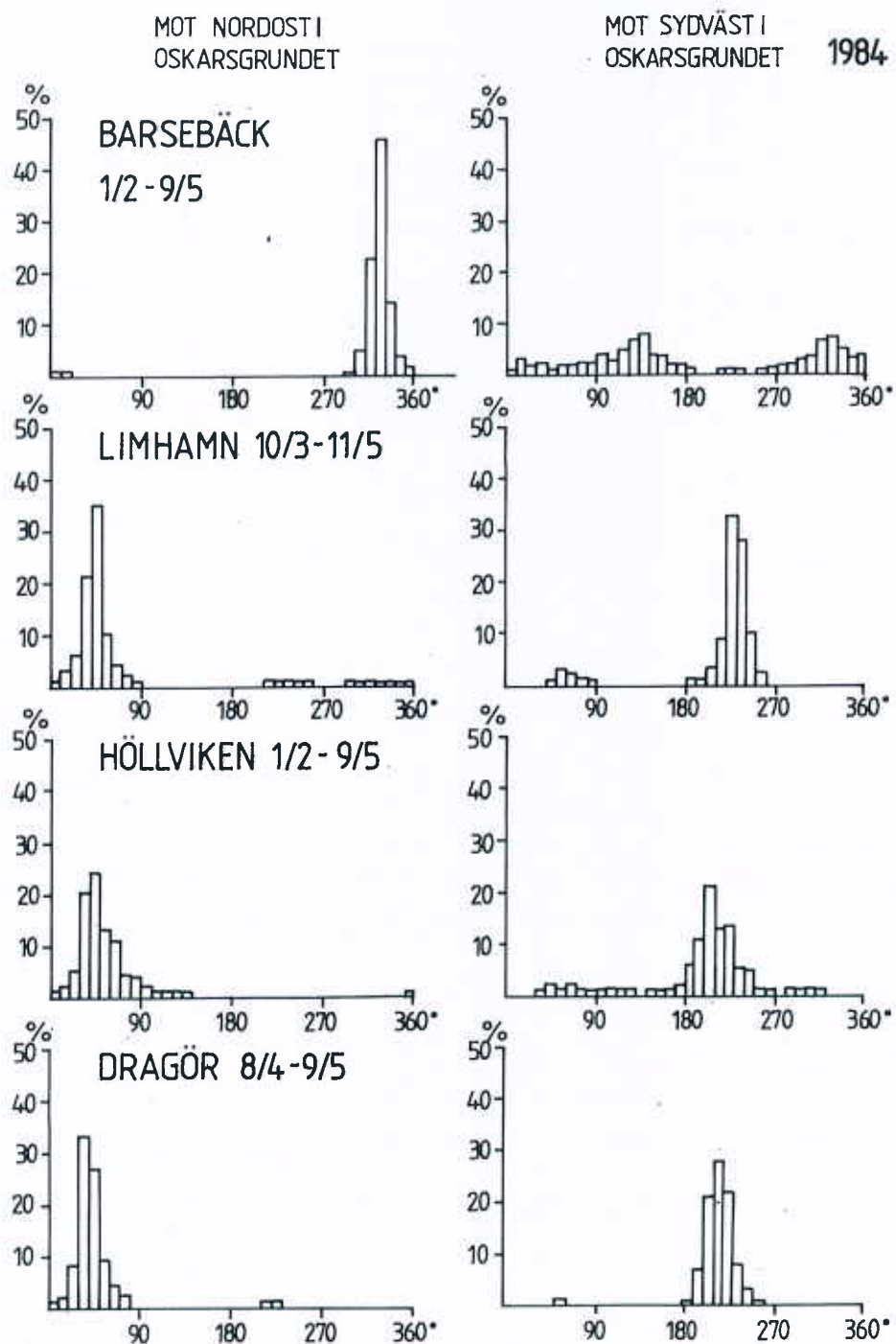
Kopplingen mellan strömriktningen i Oskarsgrundet och strömmarna i några av de övriga mätpunkterna har beräknats. Det rör sig om relativt långa perioder, drygt 3 månader för Barsebäck och Höllviken, drygt 2 månader för Lomma hamn, 2 månader för Limhamn men endast 1 månad för Dragör, här var dock resultaten entydiga.

I Oskarsgrundet förekom ström huvudsakligen mot nordost och sydväst. Vid nordostgående ström framgår det av figur 7 att i Barsebäck var strömmen samtidigt nordvästgående under 95 procent av tiden, i Limhamn nordostgående under 90 procent av tiden, i Höllviken erhöles nordostlig ström 90 procent av tiden och i Dragör sammanföll riktningen hos så gott som varje registrering med den i Oskarsgrundet. Något tydligt samband mellan strömmen vid Oskarsgrundet och Lomma hamn fanns inte.

Sydvästgående ström i Oskarsgrundet gav något oftare nordväst- än sydostgående ström i Barsebäck. Den motriktade strömmen erhöles under cirka 55 procent av tiden och detta innebär någon typ av virvel. I Limhamn erhöles motriktad ström cirka 10 procent av tiden och samma riktning 85 procent. Höllviken hade sydvästlig ström, dvs samma riktning som vid Oskarsgrundet under 95 procent av tiden och Dragör 100 procent av tiden.



Figur 6. Strömriktningar i varje mätpunkt, samt tidsperioderna för mätningarna



Figur 7. Strömriktningsfördelning i Barsebäck, Limhamn, Höllviken och Dragör vid olika huvudriktningar vid Oskarsgrundet

Virvelns förekomst

Ett antal olika jämförelser har gjorts för att med statistiska samband söka ytterligare information om virveln i Lommabukten. Tyvärr finns endast ett 12 dygn långt strömmaterial för att studera virvelns förekomst vid nordgående huvudström. Det är från strömmätaren utanför Malmö hamn. När det resultatet används kan endast information om möjliga samband erhållas.

Vid nordgående ström i centrala Öresund förekom motriktad ström utanför Malmö hamn under 40 procent av tiden och samma huvudriktning 20 procent av tiden. Samtidigt med nordgående ström som var starkare än 80 cm/s, erhöles virvel i södra Lommabukten oftare än vid lägre strömhastigheter. Det förhållandet gällde 10-22 maj 1984 och starka strömmar rådde då 6 procent av tiden. Virvelns varaktighet vid nordgående huvudström undersöktes också för den här perioden. För situationer med virvel förekom 74 procent av dessa kortare tid än 4 timmar och ingen varade längre än 10 timmar.

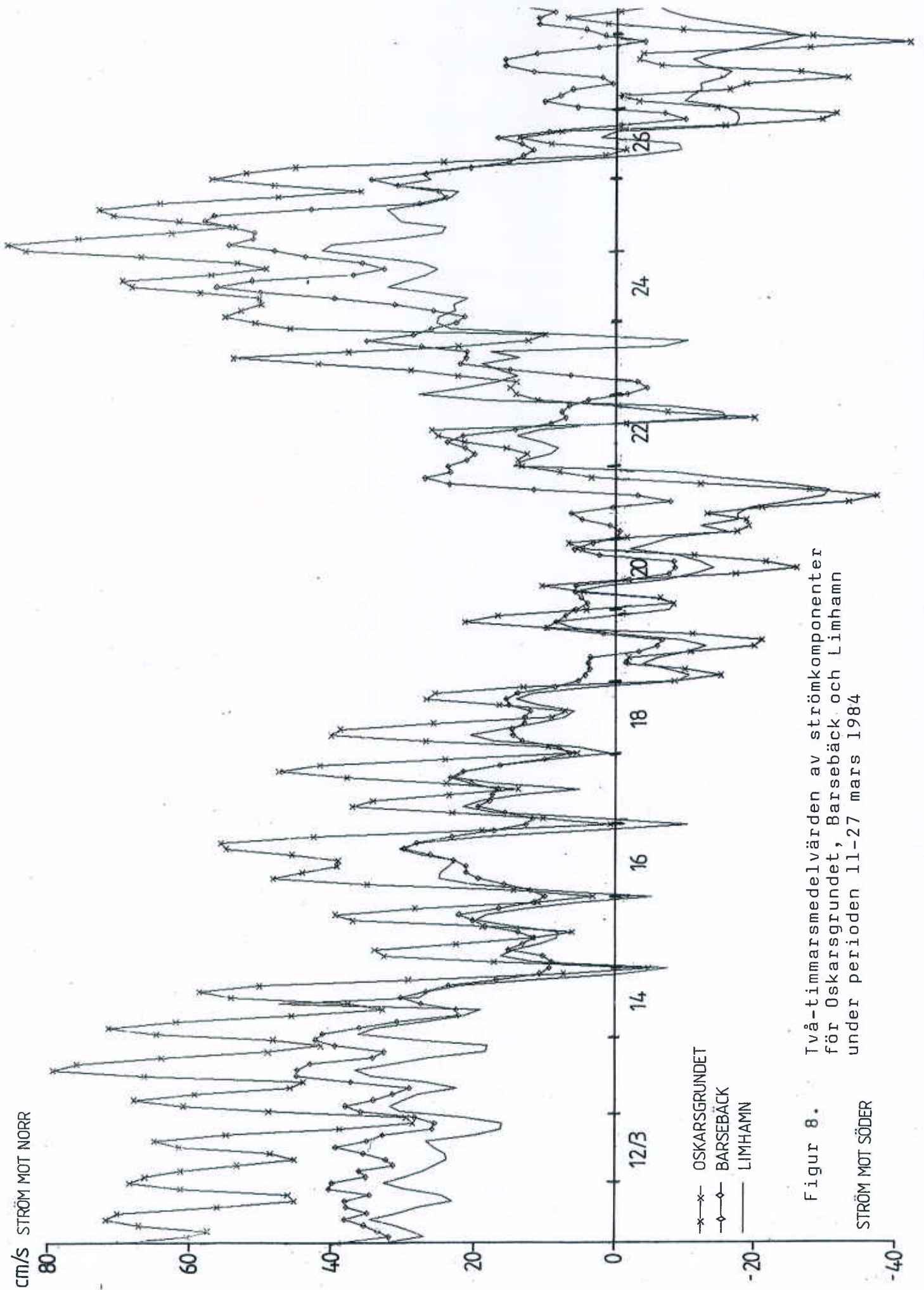
I samband med sydgående ström vid Oskarsgrundet erhöles, som nämnts ovan, virvel i norra Lommabukten under 55 procent av tiden. Den studerade perioden är drygt 3 månader, vilket betraktas som tillräckligt långt för att generella slutsatser ska kunna dras. Virvelns varaktighet var kortare än 4 timmar för 82 procent av tillfällena, mindre än 10 timmar för 96 procent och virveln varade aldrig längre än 18 timmar.

Tidvatten

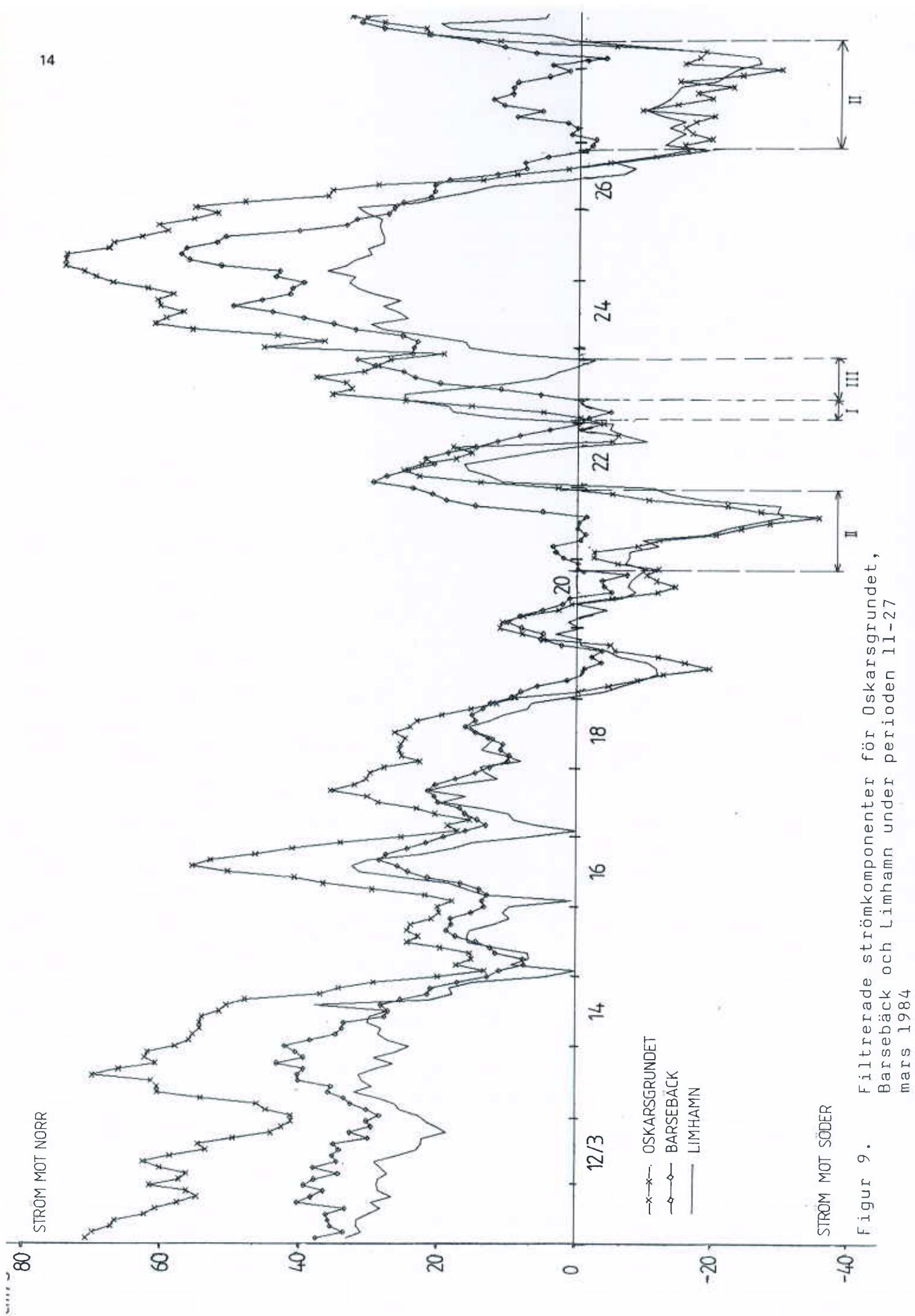
Tidvattnets storlek har beräknats för Oskarsgrundet, Höllviken och Barsebäck. En period på cirka 2 månader har studerats. De mest betydelsefulla komponenterna var heldagligt soltidvatten, O1, med perioden 25,8 timmar och halvdagligt måntidvatten, M2, med perioden 12,4 timmar. I Oskarsgrundet var tidvattnet relativt starkt med amplituden 9-11 cm/s för de nämnda komponenterna. I Limhamn var det 5-6 cm/s medan endast 3-4 cm/s erhöles i Barsebäck. Fassettskillnaden mellan stationerna var cirka 1 timme eller mindre.

Strömmens tidsvariationer

Strömvärdena har projicerats på sina respektive huvudriktningar och dessa komponenter har plottats i form av 2-timmarsmedelvärden för Oskarsgrundet, Barsebäck och Limhamn, se figur 8. Tidvattensvängningarna syns tydligt i figuren. För att erhålla de effektiva strömmarna har tidvattnet till största delen filtrerats bort, se figur 9.



Figur 8. Två-timmarsmedelvärden av strömkomponenter för Oskargrundet, Barsebäck och Limhamn under perioden 11-27 mars 1984



Vi betraktar först kurvorna för Oskarsgrundet och Barsebäck i figur 9. De visar att nordgående ström i Oskarsgrundet normalt sammanföll med nordgående ström i Barsebäck. När strömmen i Oskarsgrundet vände och blev sydgående dröjde det upp till 1/2 dygn, innan den bytte riktning i Barsebäck. Om då åter en vändning skedde i Oskarsgrundet så skapades en situation med nordgående huvudström och sydgående ström i Barsebäck, se markering I i figuren. Detta är en virvel som beror på en fördröjningseffekt i Barsebäck. Sydgående huvudström och nordgående i Barsebäck som var en vanlig kombination, fanns också ett tydligt exempel på, se markering II i figuren. Figuren visar att när huvudströmmen vände och blev sydgående så pendlade den runt noll i Barsebäck, vilket kan tolkas som att virvelns norra vändläge fanns här. När sedan huvudströmmen började avta genom att vattnet bromsades upp i söder, uppstod en kraftig nordgående ström i Barsebäck, vilket bör betraktas som en virvel.

En jämförelse mellan strömmen i Oskarsgrundet och Limhamn visar att riktningarna oftast följdes åt. Ett markant undantag är markerat med III i figuren. Vid det här tillfället var strömmen i Oskarsgrundet ökande och nordgående, samtidigt som strömmen i Limhamn minskade i styrka och vände till sydgående. Detta speglade troligen en virvelbildning i södra Lommabukten den 23 mars.

Sammanfattning

Vid nordgående huvudström i centrala Öresund var strömmen samtidigt nordgående även i norra Lommabukten liksom utanför Limhamn och vid Dragör. Detta gällde för över 90 procent av tiden. I sydligaste delen av Lommabukten utbildas en medursvirvel stor del av tiden, virveln når sällan upp till Lomma hamn.

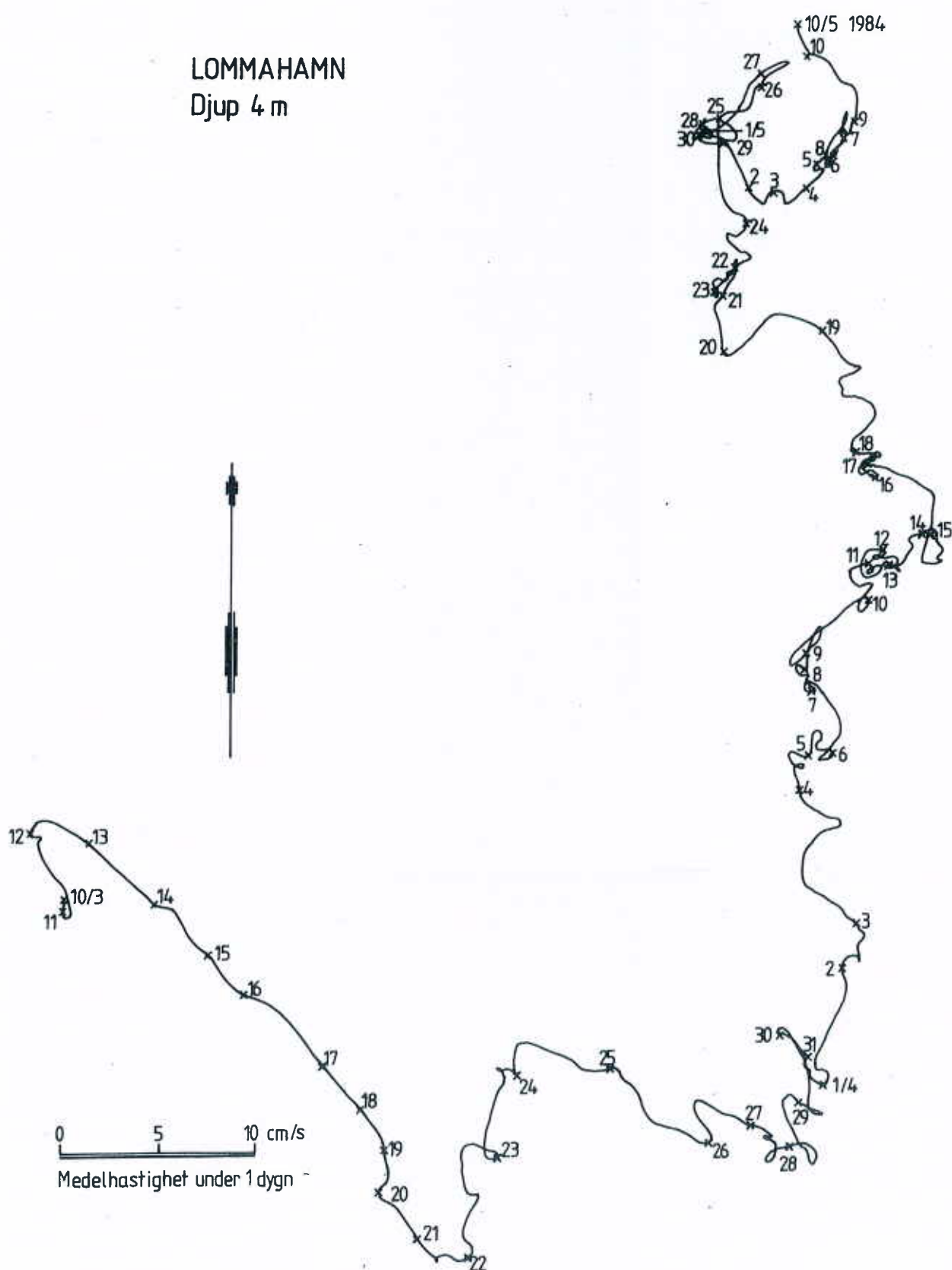
Vid sydgående huvudström i centrala Öresund var strömmen motriktad i norra Lommabukten drygt halva tiden, vilket kan betraktas som en motursvirvel.

3.2 Strömmätningar i Lommabukten

"Det har ikke vaeret muligt at aflure naturen dens hemmeligheder i retning af at bestemme hvilke årsager, der betinger tilstedevaerelsen af en hvirvel i Lommabugten."
Citat från Isotopcentralens rapport, 1963.

Lommabuktens strömningsmönster är sällan stabila system. De ändrar ofta karaktär och de strömmätningar som utförts tidigare har givit komplexa strömbilder både horisontellt och vertikalt. En strömmätare strax utanför Lomma hamn visade för perioden 10 mars - 10 maj 1984 att växlingarna var täta och varierande riktningar förekom, se figur 10, ref Ambjörn C., Wickström K., 1985. Ett intressant undantag utgjordes av 7 dygn 12-18 mars med ihållande, ganska svag östlig vind. Under hela denna period var strömmen nordgående i centrala Öresund och stabilt sydgående utanför Lomma hamn.

LOMMAHAMN
Djup 4 m



Figur 10 Strömtrajektorier från mätpunkten utanför Lomma hamn, 10 mars - 10 maj 1984

För att inom 1-3 timmar erhålla "samtidiga" strömmätningar i hela Lommabukten användes vid en fältinsats den 3-5 september 1985 pendelströmmätare (gelatinpendlar, typ Joel Haamer) och två båtar. Även registrerande mätsystem, Sensordata, sattes ut för att ge information om fluktuationer i totala strömsituationen. Sensordata placerades i punkterna S1 och S2.

Den 3 september var vinden sydlig 7-9 m/s vid Oskarsgrundet. Vid Lernacken rådde stabil, nordgående ström 60-70 cm/s. De yttre betingelserna var alltså ganska oförändrade under den tid som strömmätningarna utfördes. Salthaltssprångskiktet låg mellan 7-9 m djup. Mätarna placerades mycket tätt i hela Lommabukten. Mätdjupen var 1, 3, 7 och 11 m. Figur 11 visar resultaten på 3 m djup. I S1 erhöles under hela mätinsatsen ström mot nordost 30-50 cm/s. Strömmen var nordgående i hela Lommabukten med en liten virveltendens i sydligaste delen. (Detta stämmer väl med de modellberäkningar som utförts, se kap. 3.3). Även på 7 och 11 m djup var strömmen i Lommabukten nordgående och i S1 erhöles väst-nordvästgående ström med hastigheten 20-30 cm/s på 12 m djup, se figur 12. Virveln på 3 m djup nådde ner till 7 m nivå i en av mätpunkterna. Resultaten från det här tillfället ger en bra bild av en situation med nordgående huvudström och en liten medursvirvel i södra Lommabukten.

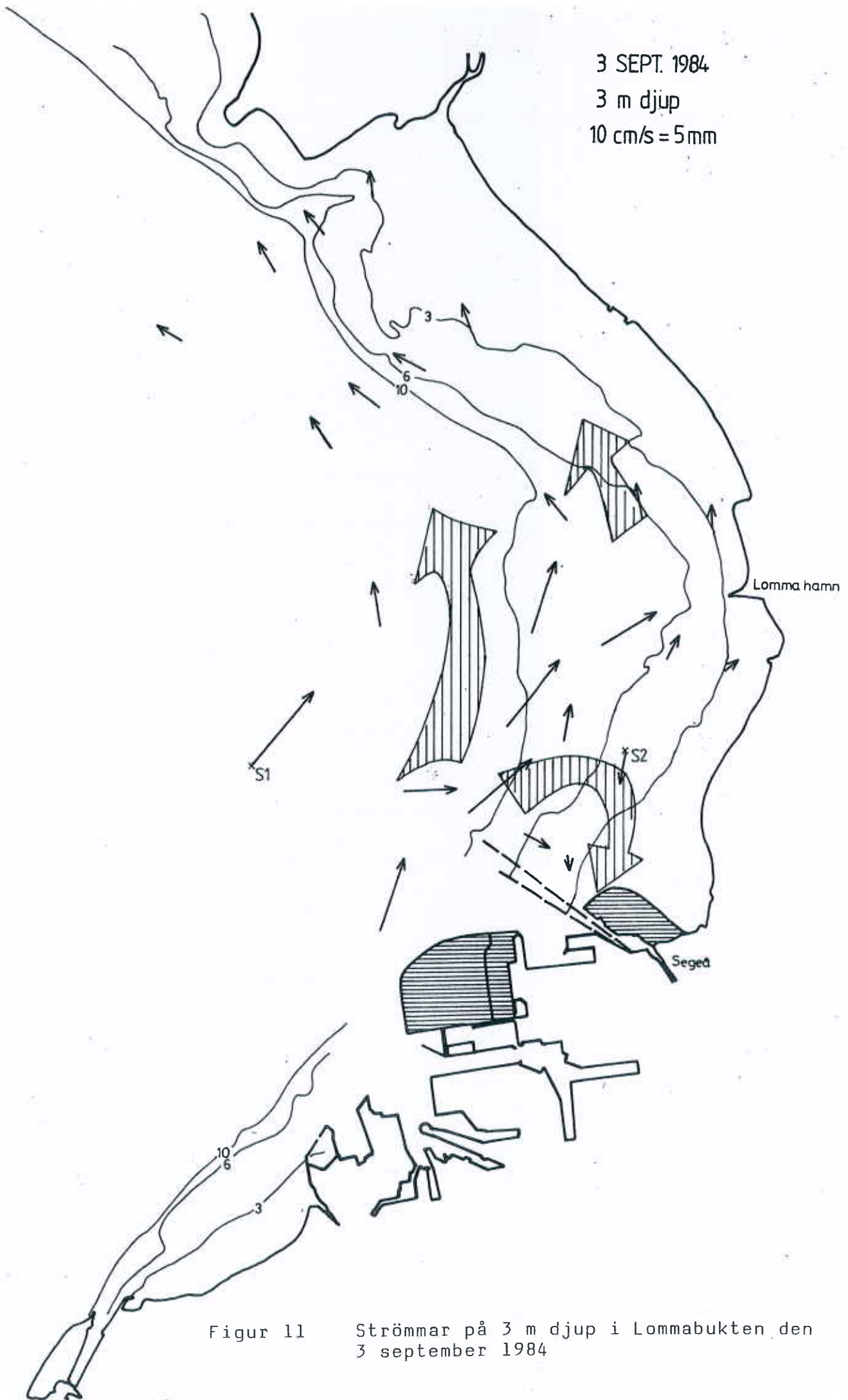
Den 4 september var vinden från västsydväst 10-11 m/s. Strömmen vid Lernacken var stabil och riktad mot sydväst. Huvudströmriktningen var således mot söder i Öresund. Den yttre strömmätaren S1, som registrerade under hela mätperioden, visade ström mot västsydväst 20 cm/s på 3 m djup och den inre S2, visade ström mot nordost 15 cm/s på 3 m djup. Vågorna var 2-3 m höga. I Lommabukten rådde sydgående ström på 3 m djup, se figur 13. En motursriktad virvel erhöles i de inre delarna söder om Lomma hamn. Även på 7 m djup, se figur 14, var strömmen sydgående men här fanns inte virveln, ty den existerade bara i det grundare området. Nordgående ström rådde på 11 m djup. Denna bromsades upp av uppgrundningen mot norr och blev därigenom lokalt så mäktig att den slog igenom upp till både 7 och 3 meters nivå. Detta syns tydligt i figurerna. Längre norrut vände strömmen mot söder på 11 m djup.

Den 5 september var vinden från sydväst - sydsydväst 7 m/s. Huvudströmmen var svag, 1-7 cm/s vid Lernacken, med riktning mot huvudsakligen nordost. Salthaltssprångskiktet var beläget mellan 7 och 9 m. Den yttre mätpunkten, S1, visade 15-20 cm/s mot sydost under hela mätperioden och den inre, S2, nordgående cirka 10 cm/s. På 3 m djup erhöles nordgående ström i hela Lommabukten och en medurs riktad virvel i de norra, inre delarna, se figur 15. På 7 m och 11 m djup var strömningsmönstret detsamma som på 3 m, och virveln syntes endast på 7-metersnivån eftersom den låg så nära kusten, se figur 16. Några mätpunkter i den sydvästra delen av mätområdet väster om oljehamnen visade starka sydgående strömmar. Dessa fanns även på 1 m djup i alla de tre sydliga mätpunkterna. Strömmen vände till nordgående i S1 tre timmar senare, vilket kan tyda på att mätningen ägde rum i samband med en strömkantring från syd- till nordgående, och att strömmen först vände i själva bukten.

3 SEPT. 1984

3 m djup

10 cm/s = 5 mm



Figur 11

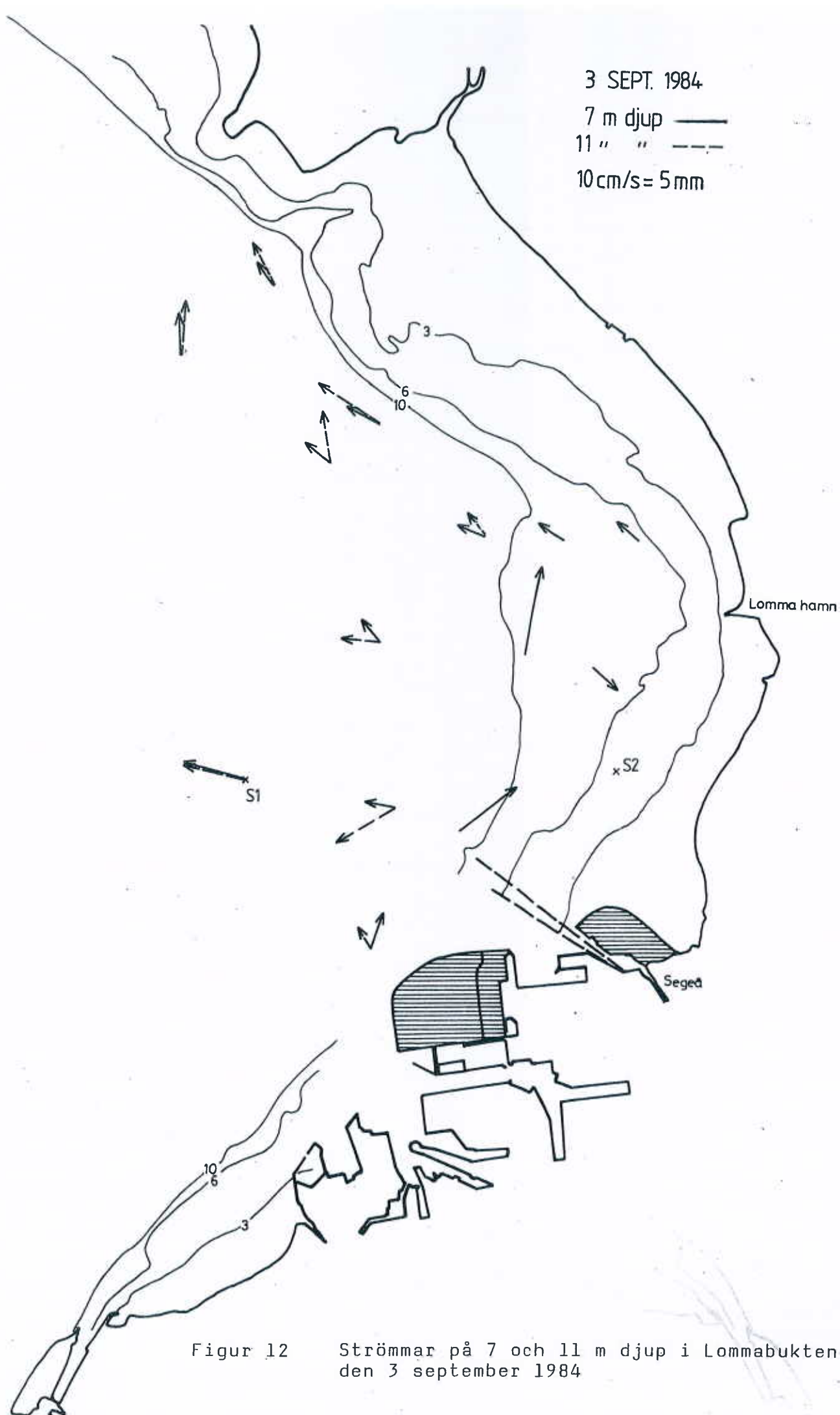
Strömmar på 3 m djup i Lommabukten den
3 september 1984

3 SEPT. 1984

7 m djup ———

11 " " - - -

10 cm/s = 5 mm



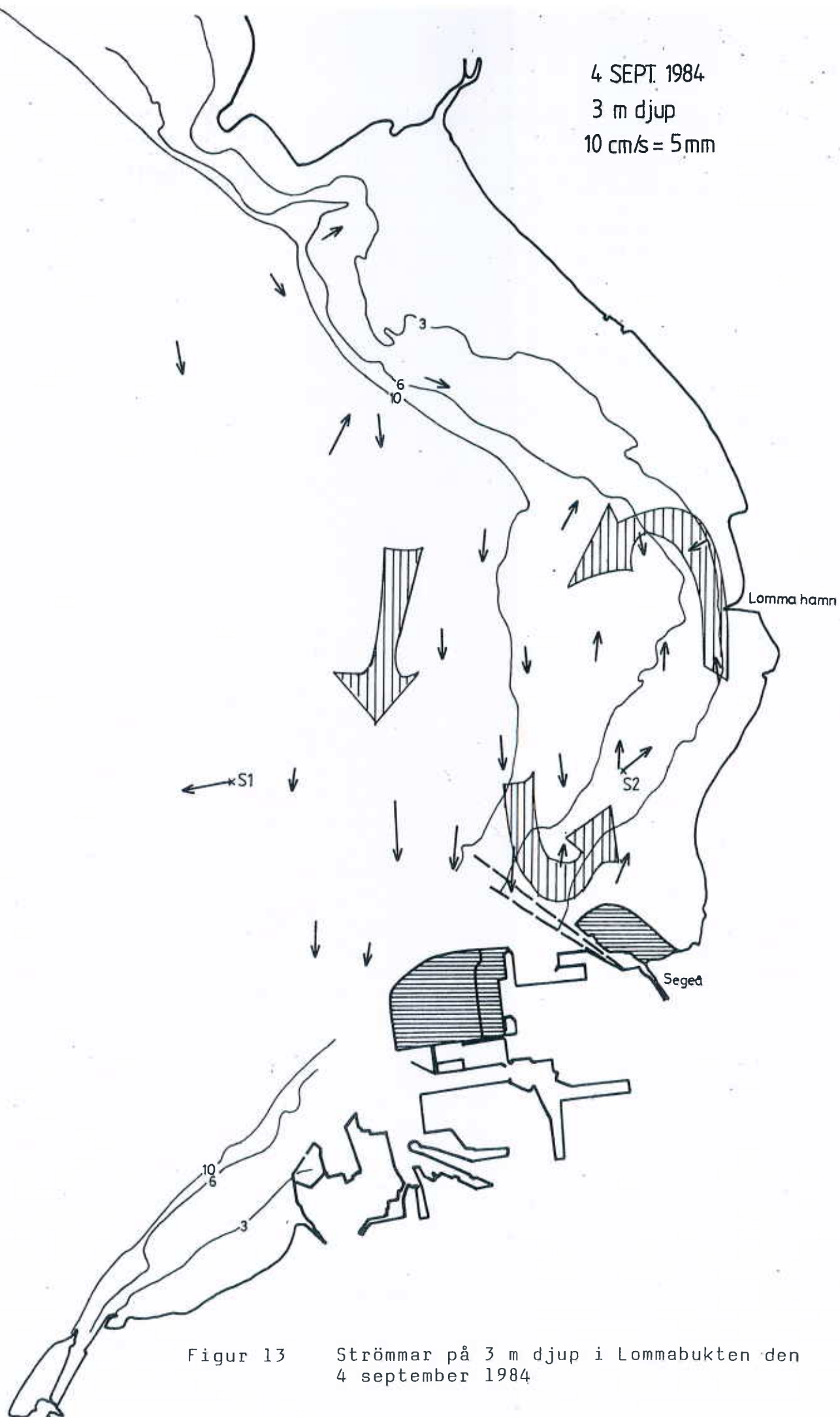
Figur 12

Strömmar på 7 och 11 m djup i Lommabukten
den 3 september 1984

4 SEPT. 1984

3 m djup

10 cm/s = 5 mm



Figur 13

Strömmar på 3 m djup i Lommabukten den
4 september 1984

4 SEPT. 1984

7 m djup —

11 " " - - -

10 cm/s = 5 mm



Figur 14

Strömmar på 7 och 11 m djup i Lommabukten
den 4 september 1984

5 SEPT. 1984

3 m djup

10 cm/s = 5 mm



Figur 15

Strömmar på 3 m djup i Lommabukten
den 5 september 1984

5 SEPT. 1984

7 m djup —

11 " " - - -

10 cm/s = 5 mm



Figur 16

Strömmar på 7 och 11 m djup i Lommabukten
den 5 september 1984

3.3 Numerisk modell; uppbyggnad, resultat och verifieringar

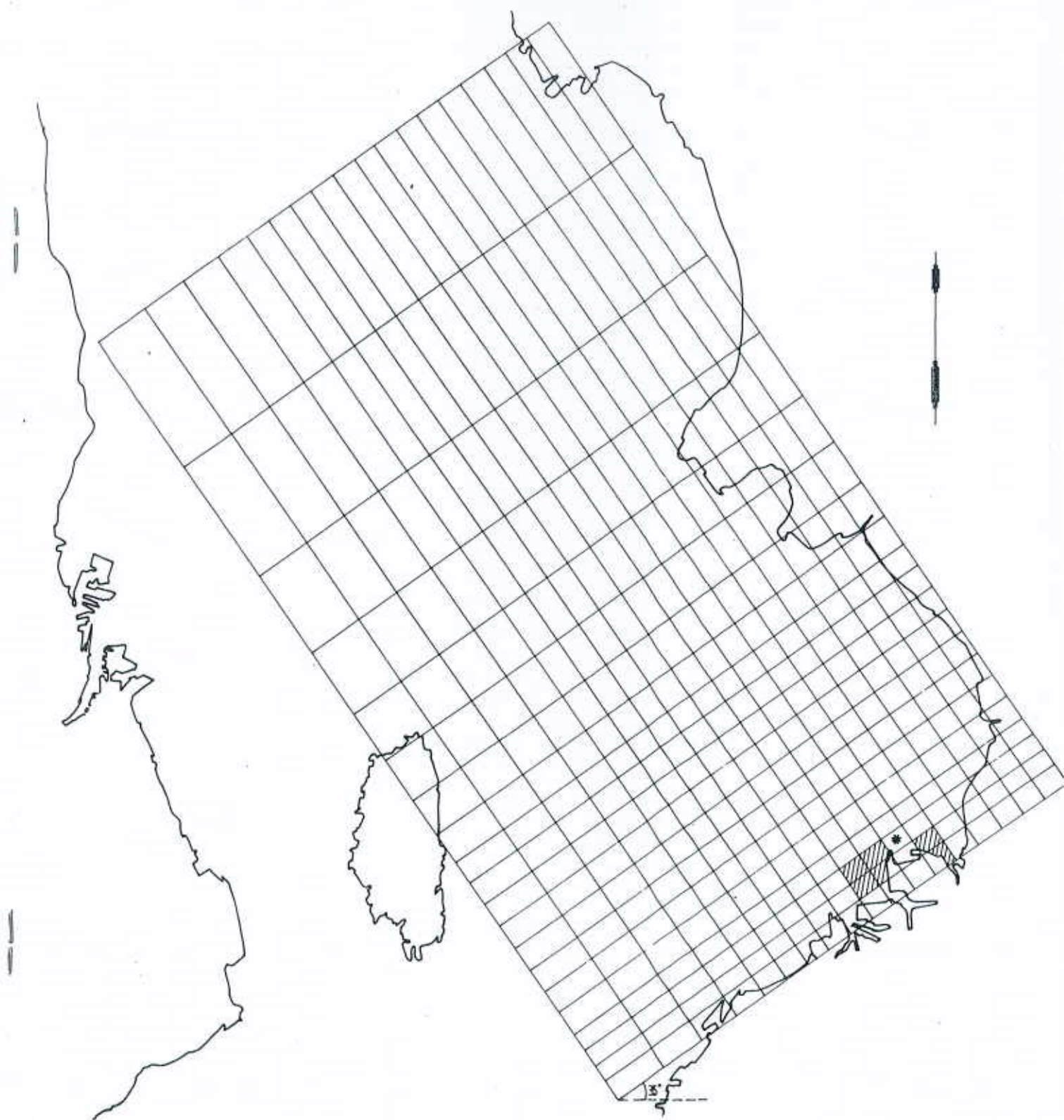
Uppbyggnad

Strömningen i det aktuella området har simulerats med en numerisk modell, benämnd PHOENCIS, utvecklad vid CHAM, London. Detta är en ekvationslösare, där valen av olika fysikaliska villkor och förhållanden anpassas efter det aktuella problemet. Ekvationerna löses med en helt implicit metod, som integrerar över ett stort antal små kontrollvolymer. Iterationlösningar utförs på de resulterande icke-linjära ekvationerna.

Modellen appliceras på området Köpenhamn-Saltholm-Malmö-Landskrona. Beräkningarna utförs i ett tre-dimensionellt koordinatsystem med 5 beräkningspunkter i djupled (2, 5, 7, 10 och 15 m) och 18 x 20 celler i det horisontella planet. Figur 17 visar rutnätets utseende. Nära Malmö hamn och i Lommabukten är beräkningsnoggrannheten störst. För varje ruta är ett representativt djup valt. Till grund för djupen i området väster om oljehamnen ligger resultaten från den djupkartering som utfördes sommaren 1985. De beräkningspunkter som får beteckna etapp 2 och SYSAV:s utfyllnad är markerade, liksom området där Malmös avloppsledningar mynnar. Beräkningarna tar hänsyn till den vertikala skiktningen i Öresund och värdena för de vertikala utbyteskoefficienterna är tagna från tidigare mätningar, ref Wilmot W. och Svensson J. 1977. Dessa är konstanta i tiden och är valda till $\mu = \rho \cdot \nu_r =$ 2.0, 0.8, 0.1, 0.2 och 1.0 kg/s * m för respektive djupskikt räknat uppifrån. Det lägsta vertikala utbytet finns alltså i salthaltssprångskiktet mellan 6-12 meter.

Bottenfriktionen tas med i modellen liksom corioliseffekten, jordrotationens avlänkande kraft. Uppmätta salthalter och flöden i Flintrännen och utanför Landskrona får utgöra den yttre styrningen av strömsystemen utanför Malmö och i Lommabukten. Vid nordgående ström kommer vatten med salthalten 9 o/oo in på alla nivåer genom Flintrännen från Östersjön. I snittet vinkelrätt ut från kusten vid Landskrona kommer djupvatten från Kattegatt med salthalten 32-34 o/oo in i modellen. Normalt är strömmen utanför Landskrona nordgående mellan 0-12 m djup, när nordgående ström råder i Flintrännen. Salthalten i detta skikt ges av det utströmmande vattnets egenskaper. Här används således de salthaltsvärden som modellen räknar ut. Vid sydgående ström däremot är salthalten utanför Landskrona satt till 18, 20, 22, 24 och 34 promille sett från övre skiktet och neråt. I södra gränsen ges salthalten av modellen eftersom utflöde främst råder här när strömmen vid Landskrona är sydgående.

Avloppsutsläppet läggs nära ytan, mellan 0-4 m, och behandlas som ett kontinuerligt utflöde. Detta har inte något absolut koncentrationvärde utan resultaten ger avloppsvattnets relativa fördelning.



Figur 17 Modellens geografiska omfattning

Beräkningarna är utförda så att strömningen beskrivs som ett antal typiska situationer, dels med nuvarande djupförhållanden och dels med utfyllda områden. Modellen drivs av de kända strömförhållandena och salthalterna i ytterändarna. I beräkningarna varierar dessa inte med tiden, utan är konstanta för vart och ett av de olika typfall som betraktas. Detta kallas för en stationär beräkning. Skälen till detta val är flera. Metoden ger tillräckligt goda svar på de frågeställningar som är aktuella, man väljer de strömsituationer som är representativa och kostnaderna för att utveckla modellen för det aktuella området står i en rimlig relation till målsättningen.

Beräkningarna ger inga detaljerade informationer om strömmarna. Till det ändamålet skulle beräkningspunkterna behöva ligga tätare placerade i hela södra Lommabukten och i områdena utanför Malmö hamn. En god beskrivning av de något mer storskaliga förhållandena erhålls med den använda rumsupplösningen. Modellens minsta gridrutor är $600 \text{ m} \times 840 \text{ m} = 50.4$ hektar och de är placerade i de för utfyllnad aktuella områdena. Detta innebär att Malmö hamns planerade utfyllnad etapp 1 och 2 som ska täcka en yta av 130 hektar, får representeras av cirka 2.5 gridrutor. Djupen här är omkring 3 m och djupen i det för SYSAV aktuella området är omkring 2 m. Följande typiska strömsituationer har beräknats.

Nordgående ström vid Oskarsgrundet, 55 cm/s.

- I Ingen utfyllnad.
- II Hamnens utfyllnad, etapp 1 och 2.
- III Hamnens och SYSAV:s utfyllnader.

Nordgående ström vid Oskarsgrundet, 15 cm/s.

- IV Ingen utfyllnad.
- V Hamnens och SYSAV:s utfyllnader.

Sydgående ström utanför Landskrona, 45 cm/s.

- VI Ingen utfyllnad.
- VII Hamnens och SYSAV:s utfyllnader.

Sydgående ström utanför Landskrona, 15 cm/s.

- VIII Ingen utfyllnad.
- IX Hamnens och SYSAV:s utfyllnader.

Resultat och verifieringar

Resultaten presenteras i form av kartor med inritade strömpilar och isolinjer för koncentrationsfördelning av avloppsvattnet.

Stark nordgående ström

Strömsituationen vid stark nordgående ström för ytlagret, 0-4 m framgår av figur 18. Den visar en medurs riktad virvel i sydligaste delen av Lommabukten med relativt begränsad utbredning. I övriga delar är strömmen nordgående och en liten återström erhöles strax norr om Limhamn. Registrerande strömmätare i Limhamn, Lomma hamn och Barsebäck visar motsvarande hastigheter och riktningar. Deras lägen är markerade i figur 18.

Nedanstående tabell visar mätt och beräknad ström på dessa platser under en lång period med stabil nordgående ström vid Oskarsgrundet.

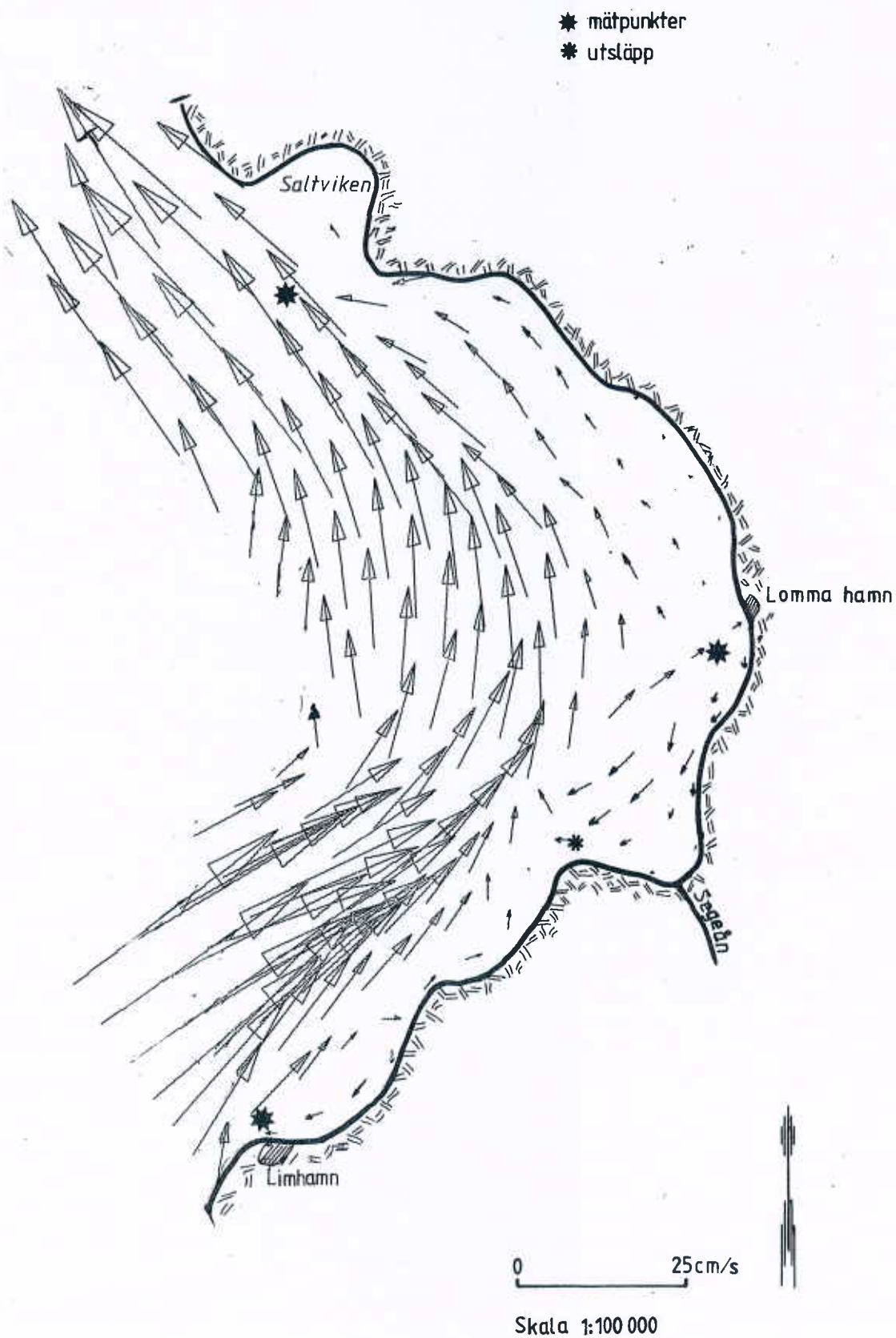
Tabell 3. Stark nordgående ström

10 mars kl 13- 14 mars kl 13	Mätt		Beräknad	
	hast cm/s	riktn mot	hast cm/s	riktn mot
Oskarsgrundet	30-80	NE	55	NE (ingångsvärde)
Limhamn	15-35	NE	15-25	NE alt 5 SW
Lomma hamn	0-10	alla riktn	5	NE(ligger i virvelns vändläge)
Barsebäck	20-45	NW	20-30	NW

Tabellen visar att beräkningarna stämmer väl överens med uppmätta strömmar. Det tycks även som om virvelns läge och storlek simuleras realistiskt av modellen.

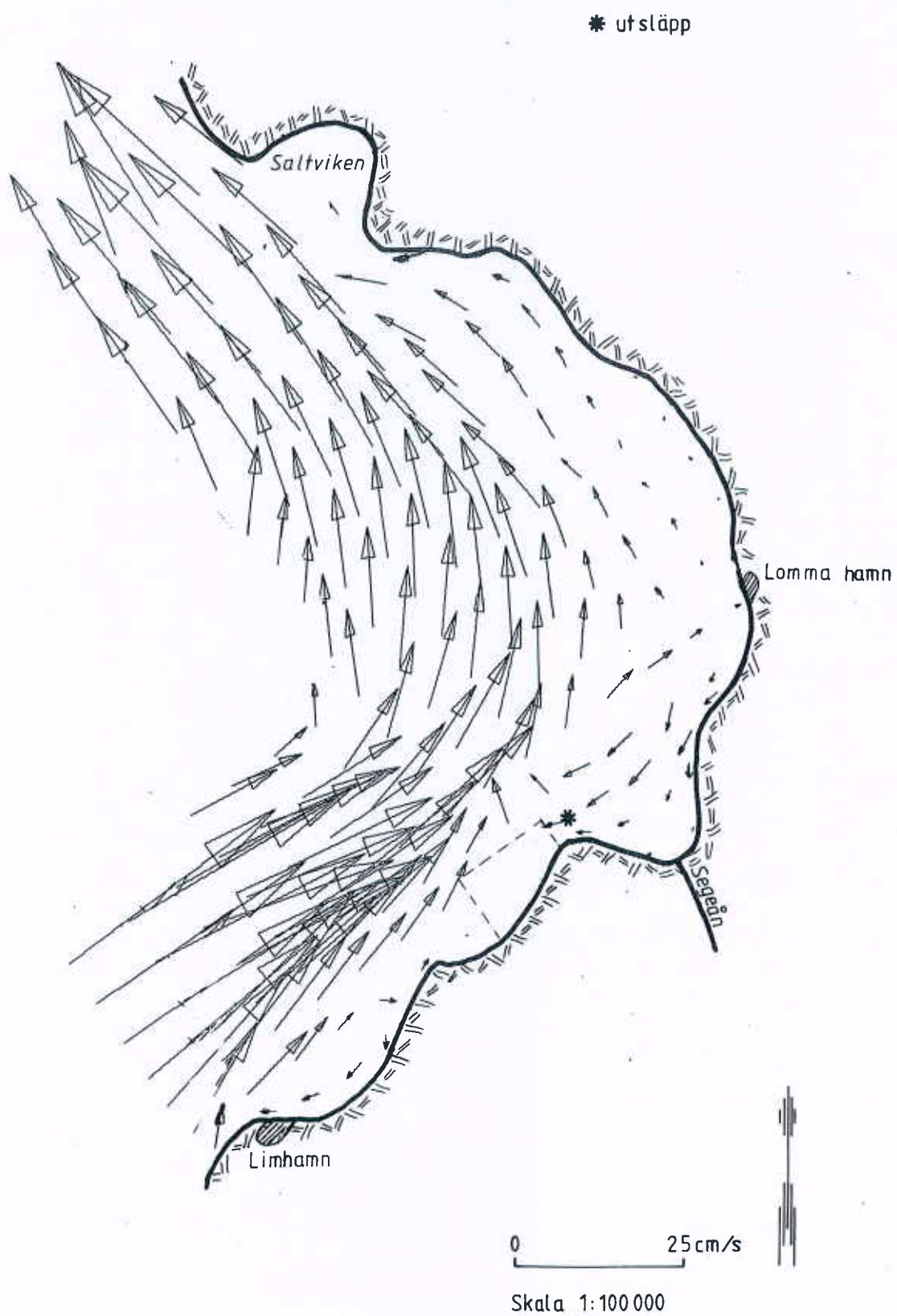
Samma strömsituation för 0-4 m, men med utfyllnad vid Malmö hamn framgår av figur 19. I figur 20 är dessutom SYSAV:s utfyllnad vid Spillepeng införd i modellen. Det framgår av båda dessa figurer att utfyllnaderna endast ger effekter på strömmarna helt nära områdena.

Den horisontella fördelningen av kommunens avloppsvatten i ytskiktet före utfyllnaderna och efter framgår av figur 21. Spridningsmönstret förändras obetydligt.



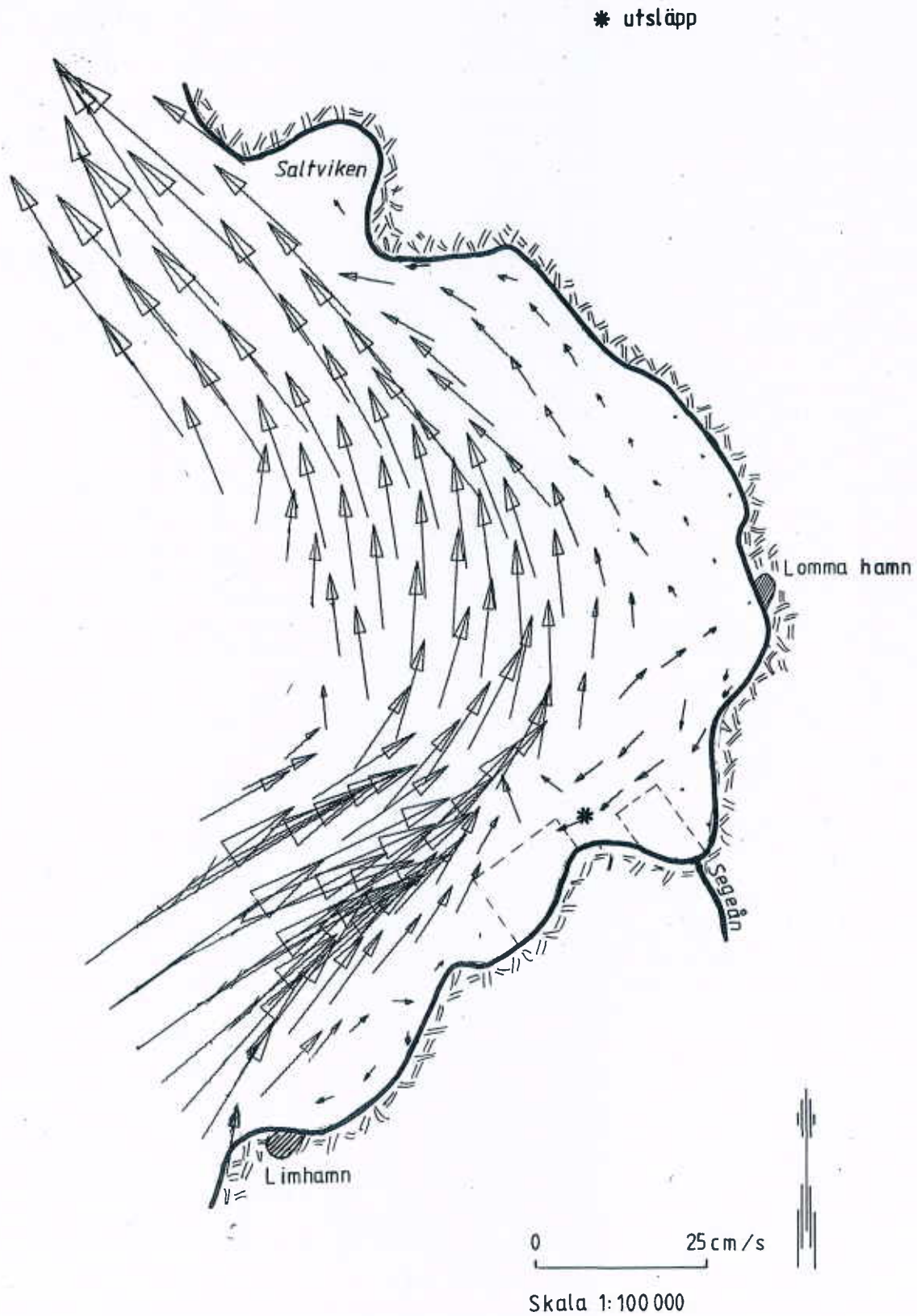
Figur 18

Nordgående ytström vid Oskarsgrundet, 55 cm/s,
nuvarande djupförhållanden

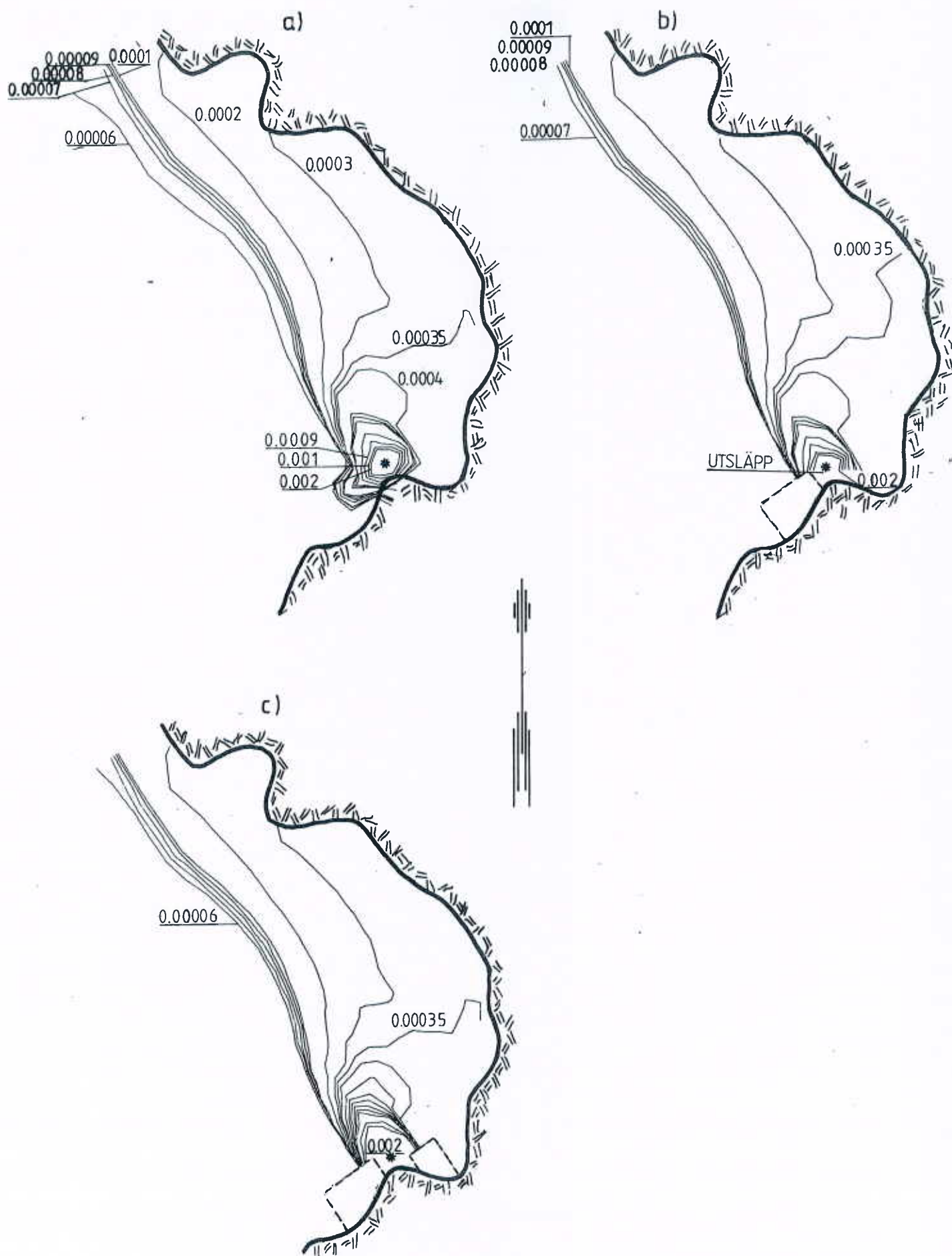


Figur 19

Nordgående ytström vid Oskarsgrundet, 55 cm/s,
och utfyllt vid Malmö hamn



Figur 20 Nordgående ytström vid Oskarsgrundet, 55 cm/s, och utfyllt vid Malmö hamn och Spillepeng



Figur 21 Relativ koncentrationsfördelning av avlopps-
utsläppet vid stark nordgående ström, ytskiktet
a) nuvarande djupförhållanden, b) utfyllt
vid Malmö hamn, c) utfyllt vid Malmö hamn
och Spillepeng

Svag nordgående ström

Resultaten av beräkningarna med lägre nordgående strömhastigheter i ytlagret 0-4 m framgår av figur 22. Strömhastigheter och riktningar i Lommabukten skiljer sig inte mycket från situationen vid stark nordgående ström. Däremot erhålls betydligt svagare nordgående strömmar utanför Lommabukten. Tabell 4 visar mätt och beräknad ström på de platser där mätningar utförts. Två olika perioder med stabil ström vid Oskarsgrundet har valts ut.

Tabell 4. Svag nordgående ström

15 mars, kl 8-14	Mätt		Beräknad	
	hast	riktn	hast	riktn
	cm/s	mot	cm/s	mot
Oskarsgrundet	10-20	NE	15	NE(ingångsvärde)
Limhamn	5-15	NE	10	NE
Lomma hamn		5 SE	5	NE-E
Barsebäck	10-20	NW	10-15	NW

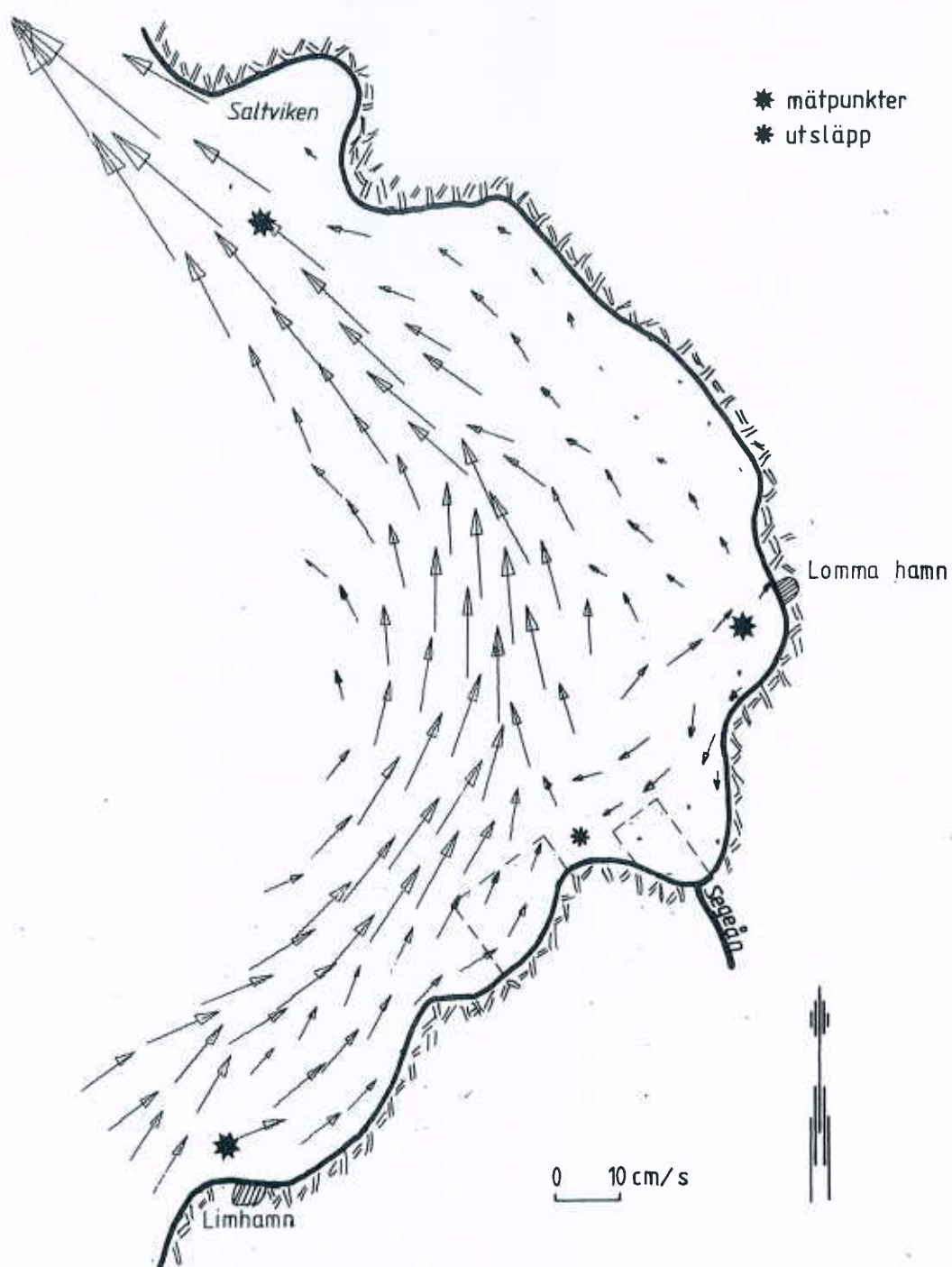
18 mars kl 10-22

Oskarsgrundet	10-20	NE	15	NE(ingångsvärde)
Limhamn	10-15	NE	10	NE
Lomma hamn		5 SE	5	NE-E
Barsebäck	10-15	NW	10-15	NW

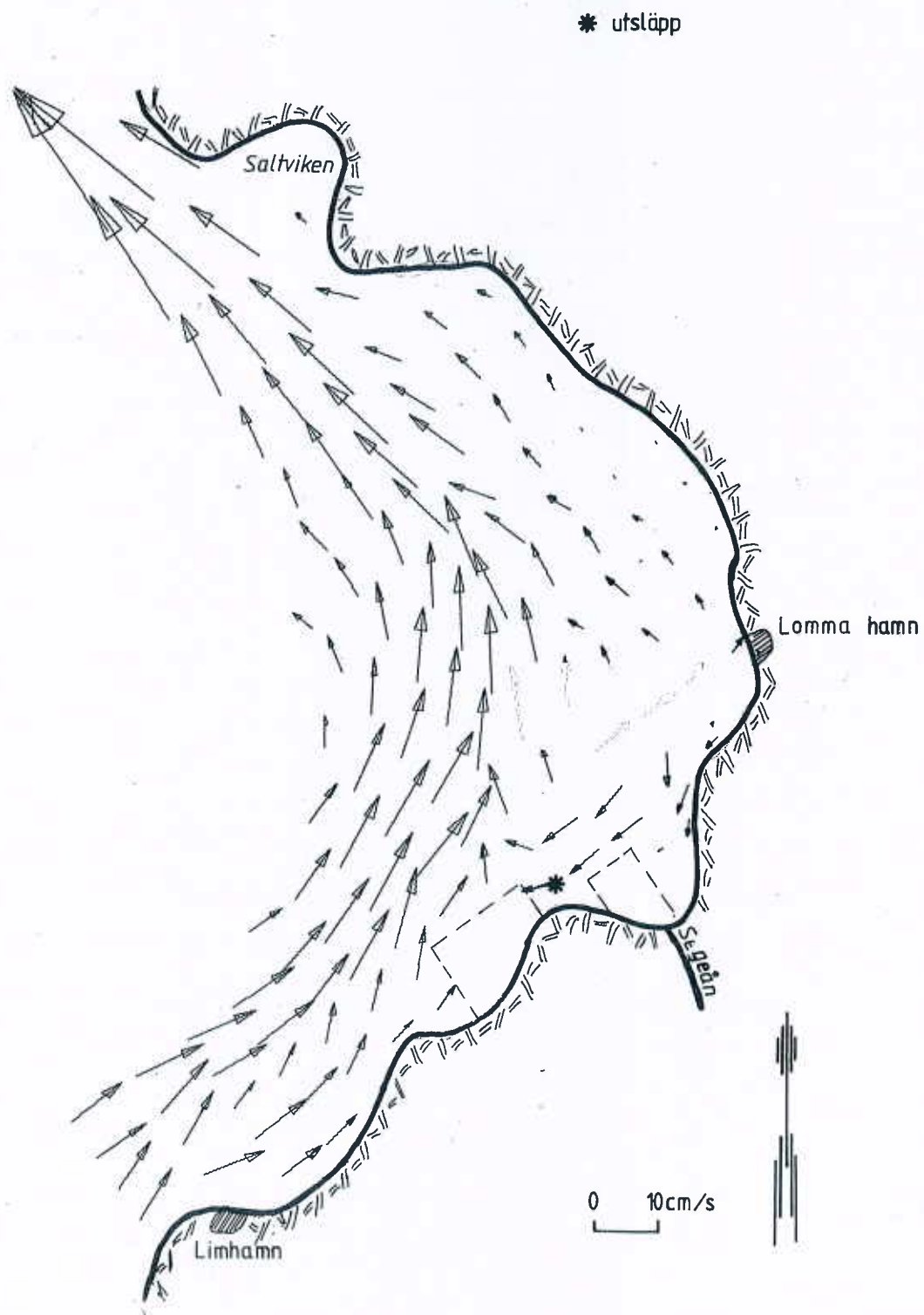
Tabellen visar att strömmen i Limhamn och Barsebäck simuleras mycket bra av beräkningarna. Däremot har virveln i Lommabukten inte fått den rätta utbredningen. Enligt dessa mätningar ska svag nordgående ström ge en större virvel än stark nordgående ström. Modellen däremot ger endast en relativt liten virvel i sydligaste Lommabukten, den skiljer sig inte mycket från den virvel som erhöles vid stark nordgående ström. Man kan anta att virveln borde blivit större vid denna ström-situation.

Figur 23 visar strömmen vid sammanlagda effekterna av båda utfyllnaderna. Skillnaden mellan nuvarande djup och utfyllnad blir liten.

Avloppsvattnets relativa koncentration i ytskiktet för de båda fallen framgår av figur 24. Förändringen är liten och den skulle knappast ha blivit större om en något större virvel erhöles vid simuleringen.

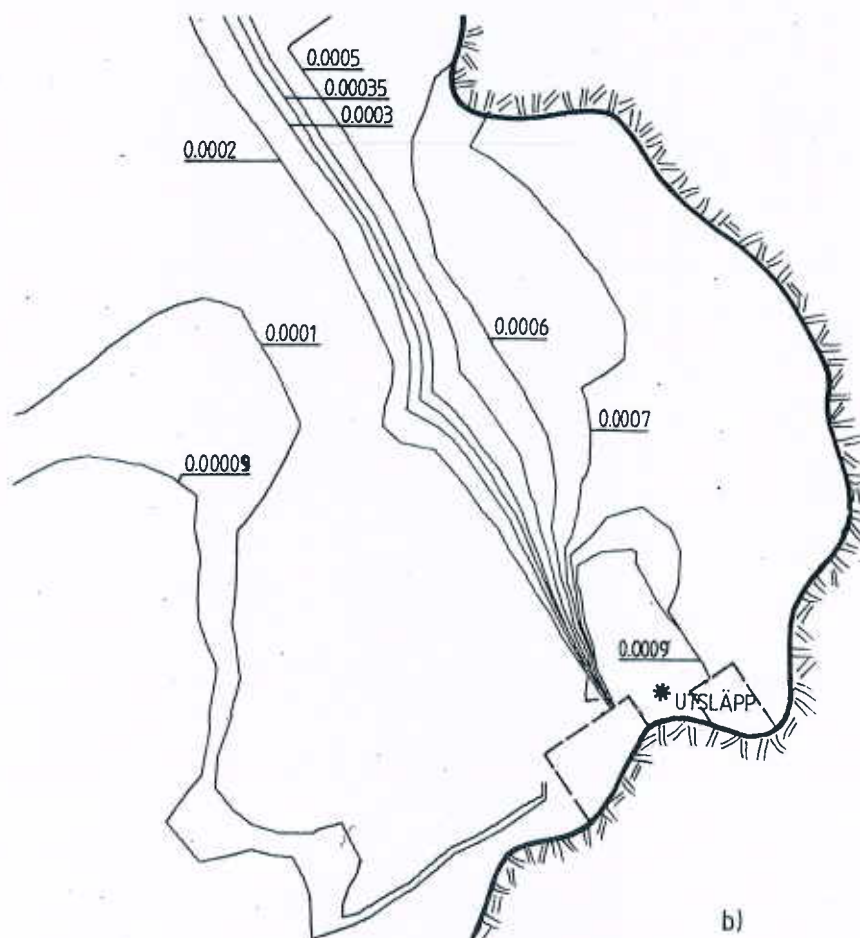
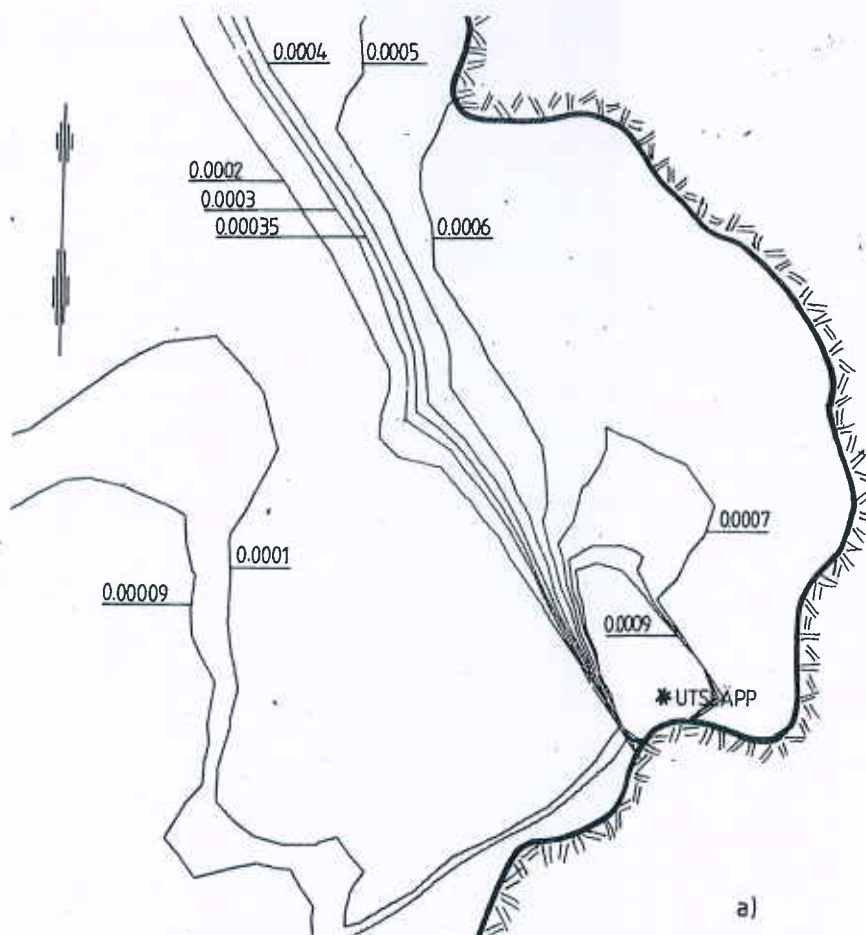


Figur 22 Nordgående ytström vid Oskarsgrundet, 15 cm/s, nuvarande djupförhållanden



Figur 23

Nordgående ytström vid Oskarsgrundet, 15 cm/s,
utfyllt vid Malmö hamn och Spillepeng



Figur 24

Relativ koncentrationsfördelning av avlopps-
utsläppet vid svag nordgående ström, ytskiktet
a) nuvarande djupförhållanden, b) utfyllt
vid Malmö hamn och Spillepeng

Stark sydgående ström

Strömsituationen i ytlagret 0-4 m för stark sydgående ström framgår av figur 25. Utanför Lommabukten råder entydigt sydgående ström. En virvel fyller upp större delen av bukten och virveln är belägen mellan Lomma hamn och Barsebäck. I sydligaste Lommabukten är strömmen kustparallell och sydgående. Virveln sträcker sig söderut så långt att en nordvästgående ström erhålls nära kommunens avloppsutsläpp.

Jämförelser mellan modellens simulerade strömmar och mätningar under en period med samma förhållanden vid Oskarsgrundet är utförd, se tabell 5.

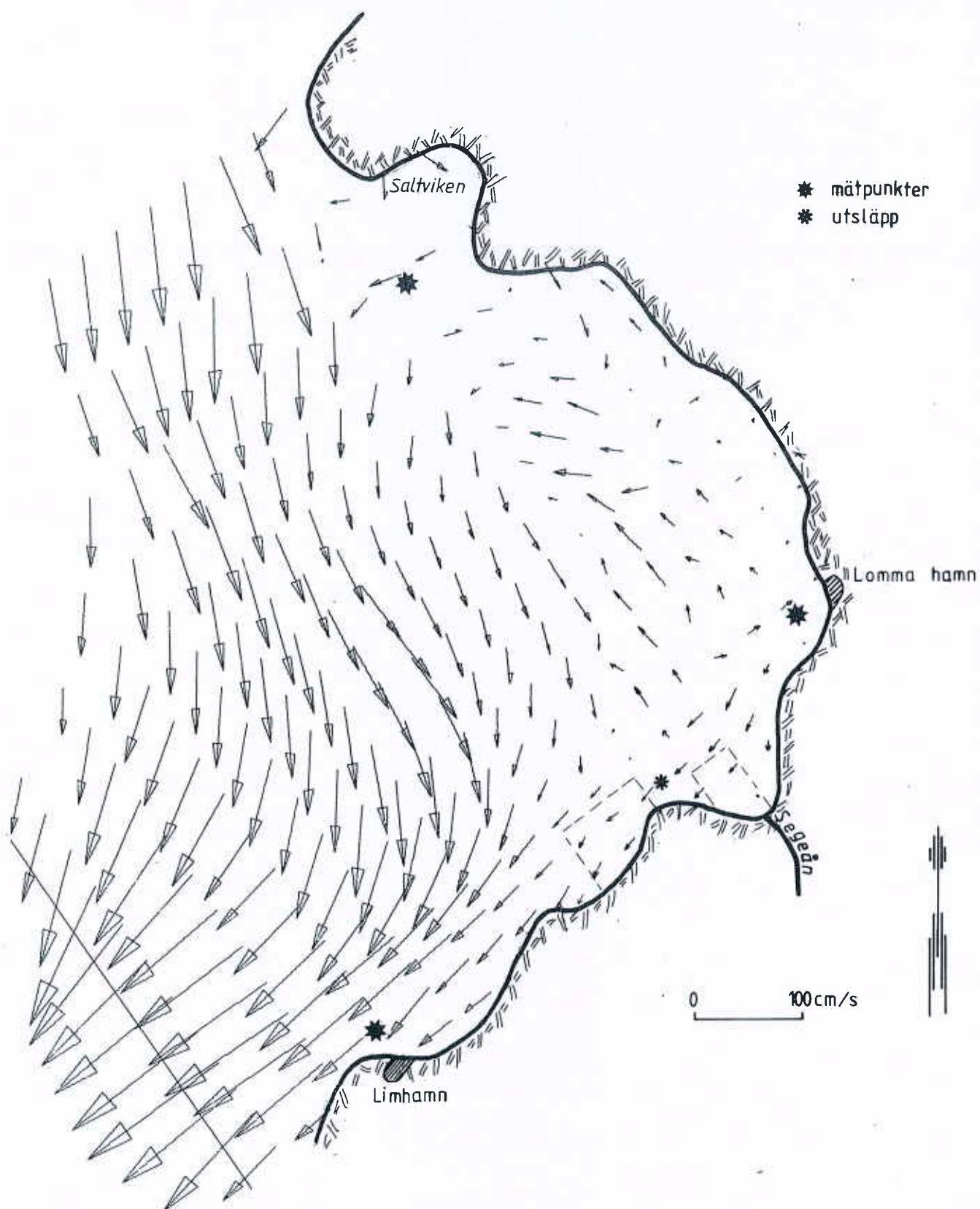
Tabell 5. Stark sydgående ström

12 april kl 16- 13 april kl 2	Mätt		Beräknad	
	hast cm/s	riktn mot	hast cm/s	riktn mot
Oskarsgrundet	50-100	SW	50-100	SW
Limhamn	30-45	SW	50	SW
Lomma hamn	varierande		5-10	NE
Barsebäck	10-30	ESE→WNW	20-40	WSW

Ur tabellen och figur 25 framgår tydligt att virvelns norra vändläge är vid Barsebäck. Beräkningarna ger västsydvästlig strömriktning och i mätresultaten varierar strömmen. Vid Limhamn erhålls ganska stark sydvästström både i beräkningen och mätningarna. Modellen ger nordostlig ström vid Lomma hamn, vilket innebär att virveln drygt når hit. Mätningarna visar varierande ström, vilket kan innebära att virvelns södra begränsning ligger just här.

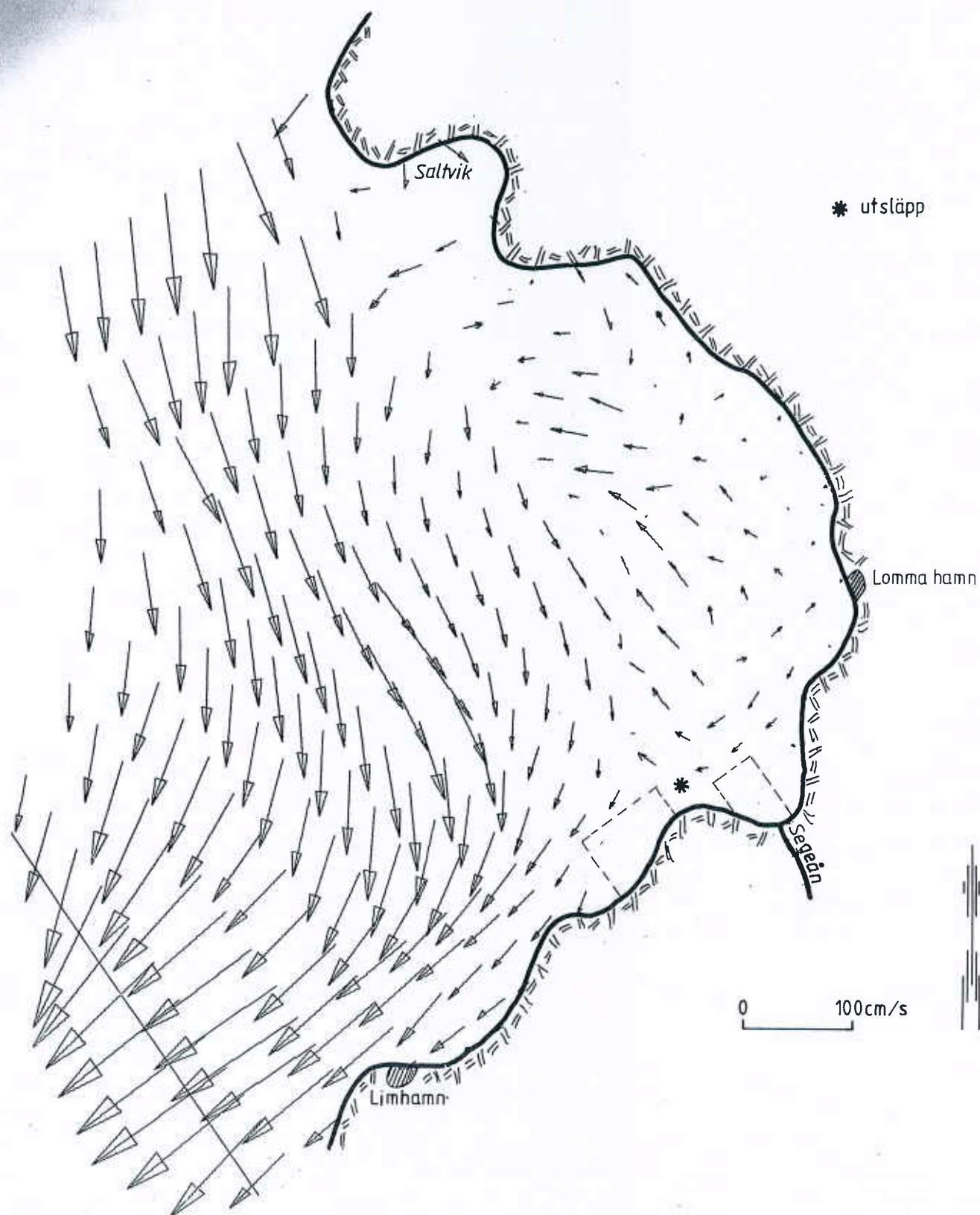
Strömförhållandena i skiktet 0-4 m efter båda utfyllnaderna framgår av figur 26. Den kustparallella sydgående strömmen utanför Malmö hejdas av kommunens utfyllnad och virvelns nordvästgående ström förstärks istället. Vattnet från Lommabuktens sydligaste del förs in i virveln, istället för att fortsätta söderut utefter kusten. Strömmarna påverkas endast i den här delen av området.

Spridningsbilden för skiktet 0-4 m av avloppsutsläppet framgår i figur 27. Här märks en markant förändring efter utfyllnaden vid hamnen. Utsläppspunkten är belägen så att den sydgående strömmen hindras i sin bana strax efter utsläppsläget. Detta vatten förs ut från kusten, och vissa delar fortsätter därefter sydvart och andra följer virvelns strömsystem. Effekten av detta blir att delar av utsläppet förs in i Lommabukten. Så här ser det inte alltid ut vid sydgående ström utan i vissa situationer där virveln inte är belägen här så går strömmen sydvart även längre ut från kusten. Det simulerade resultatet gäller i mindre än hälften av alla tillfällen med sydgående ström, eftersom virveln endast förekommer i cirka hälften av fallen, och vid dessa situationer varierar dess geografiska läge.

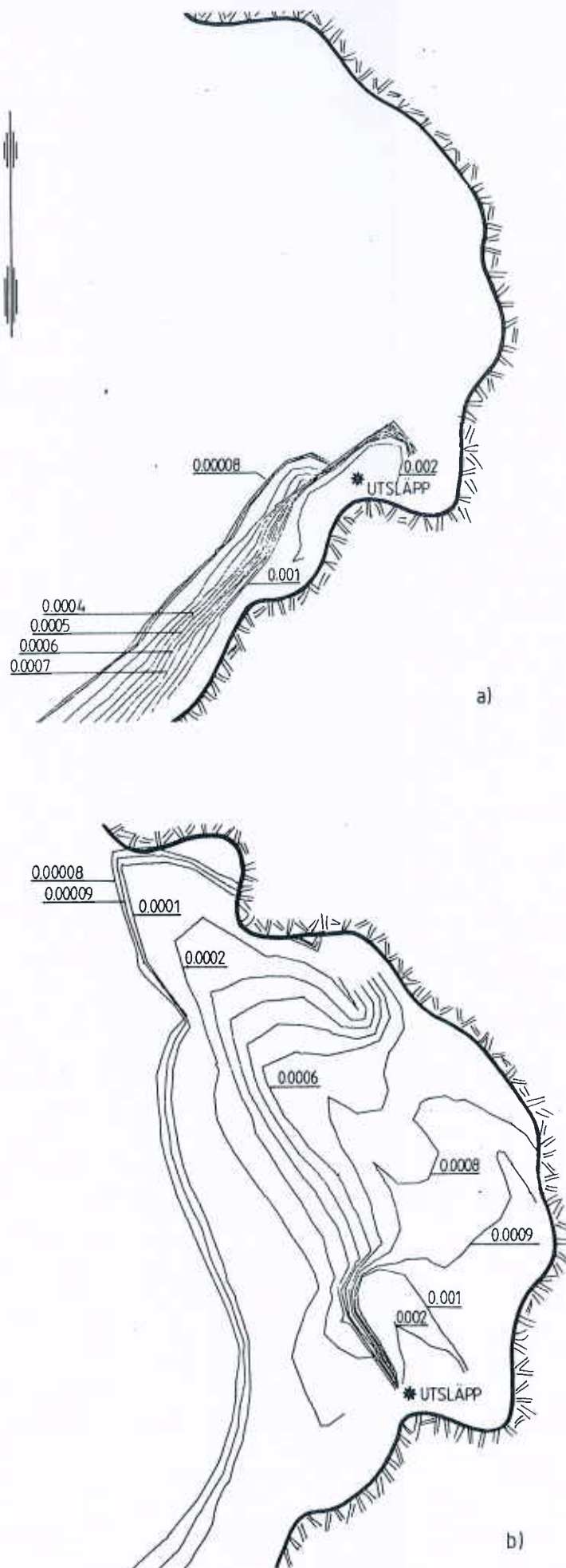


Figur 25

Sydgående ytström utanför Landskrona, 45 cm/s,
nuvarande djupförhållanden



Figur 26 Sydgående ytström utanför Landskrona, 45 cm/s, utfyllt vid Malmö hamn och Spillepeng



Figur 27

Relativ koncentrationsfördelning av avlopps-
utsläppet vid stark sydgående ström, ytskiktet
a) nuvarande djupförhållanden, b) utfyllt
vid Malmö hamn och Spillepeng

Svag sydgående ström

Figur 28 visar beräknade resultat för ytskiktet 0-4 m vid svag sydgående ytström för nuvarande djupförhållanden. Sydgående ström råder i de öppna delarna utanför Lommabukten. Även söder om Lomma hamn är strömmen sydgående. Mellan Lomma hamn och Barsebäck erhöles en motursvirvel som fyller ut hela den norra delen av Lommabukten. Norr om hamnens planerade utfyllnad böjer strömmen av mot nordväst och fortsätter delvis in i Lommabukten. Denna strömriktning har erhållits vid strömmätningar, se Malmö hamn figur 6.

Jämförelser med mätningar visas för två olika tidsperioder i tabell nedan.

Tabell 6. Svag sydgående ström

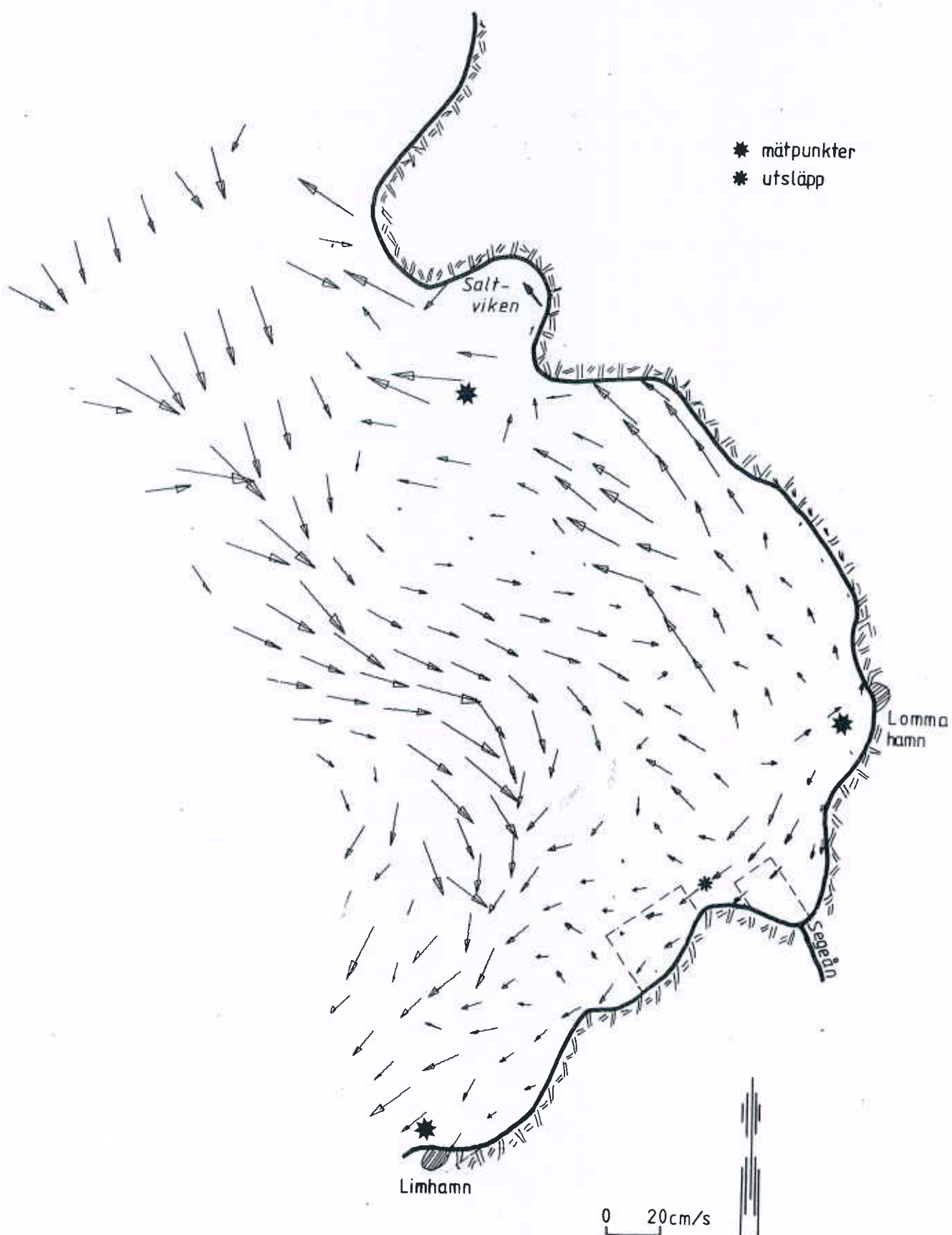
18 mars kl 22-19 mars kl 16	Mätt		Beräknad	
	hast	riktn	hast	riktn
	cm/s	mot	cm/s	mot
Oskarsgrundet	10-20	SW	15	SW
Limhamn	5-15	SW	10-15	SW
Lomma hamn	5	S	5-10	NE
Barsebäck	NW5→SE5-10		15-30	NW

21 mars kl 00-19

Oskarsgrundet	10-20	SW	15	SW
Limhamn	15-35	SW	10-15	SW
Lomma hamn	SE5→NE5		5-10	NE
Barsebäck NE/NW/SE 5→NE/NW	15-20		15-30	NW

Vid det första tillfället visar mätningarna sydgående ström i södra Lommabukten och en virvel fanns i norra delen ungefär halva tidsperioden. Denna upphörde sedan och samma riktning som i övriga mätpunkter erhöles och strömmen blev sydgående i hela Lommabukten. Mätningarna visade alltså både en situation med virvel och en utan och vi vet att det ofta förekommer virvel i norra delen av bukten vid sydgående ström. Modellen gav ett större virvelsystem än mätningarna ty det sträckte sig ner till Lomma hamn.

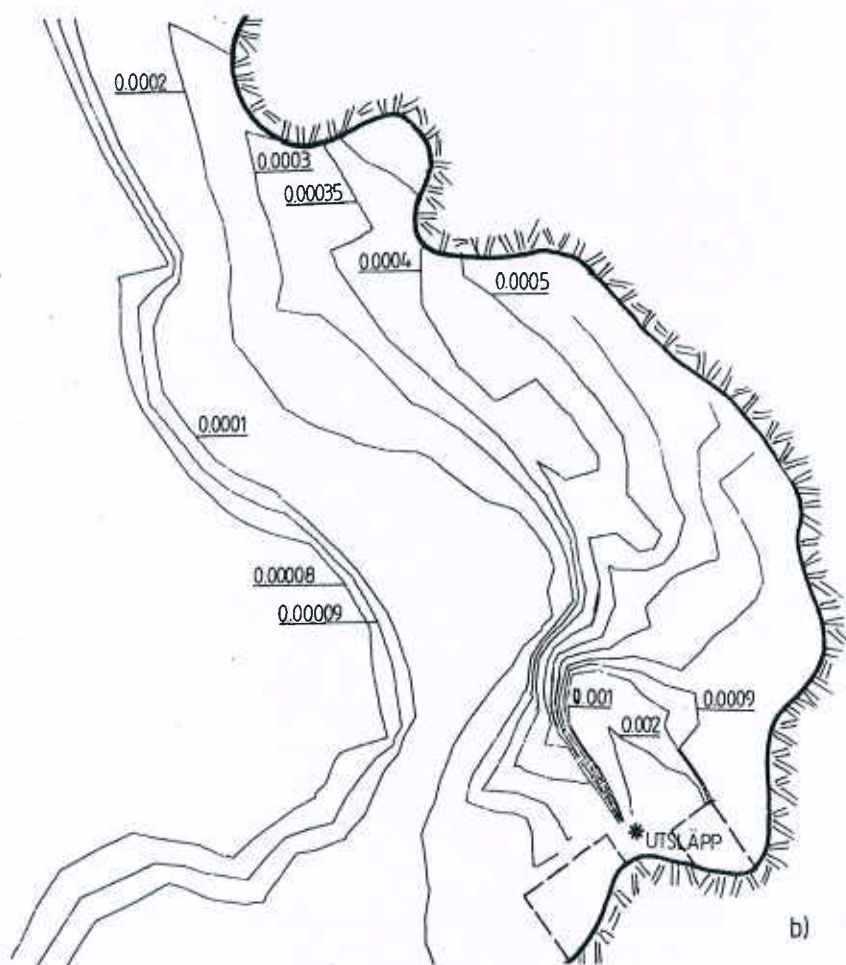
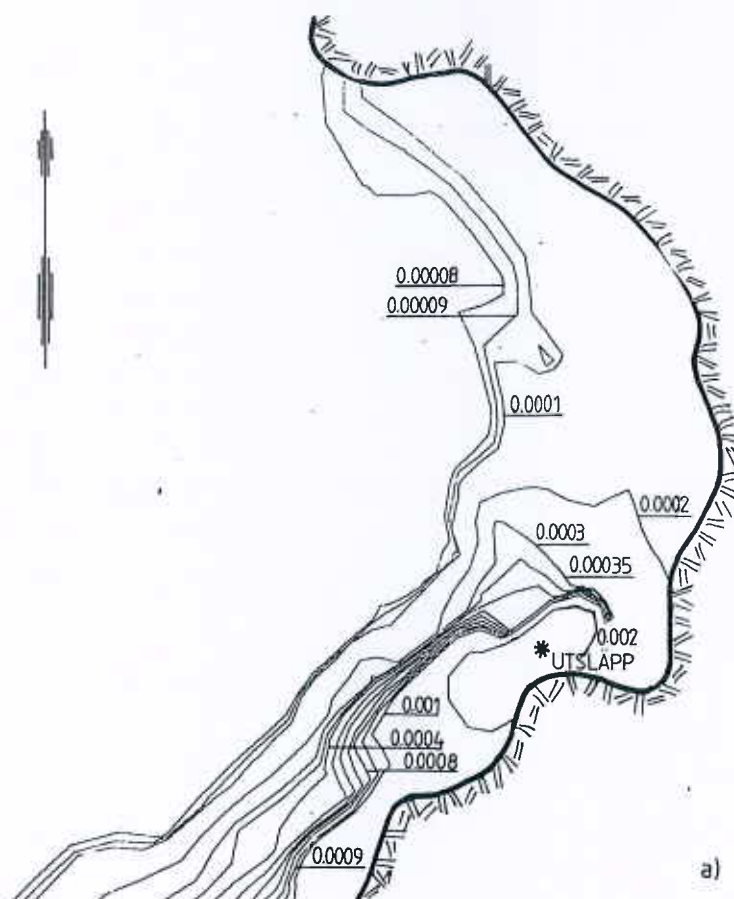
Vid det andra valda tillfället gick virveln ner till Lomma hamn under senare delen av tiden, vilket stämmer väl med beräkningarna. Förhållandena vid Barsebäck varierade till en början, därefter erhöles entydigt virvelmönster även här. Andra delen av den här perioden sammanföll således mätresultat och simulering mycket bra. Simuleringen för svag sydgående ström kan sägas ge en realistisk bild av strömförhållandena, ty den ger det ena av de båda vanligaste alternativen. Virvelns utsträckning söderut varierar och beräkningen visar ett av flera möjliga lägen.



Figur 28 Sydgående ytström utanför Landskrona, 15 cm/s, nuvarande djupförhållanden



Figur 29 Sydgående ytström utanför Landskrona, 15 cm/s, utfyllt vid Malmö hamn och Spillepeng



Figur 30

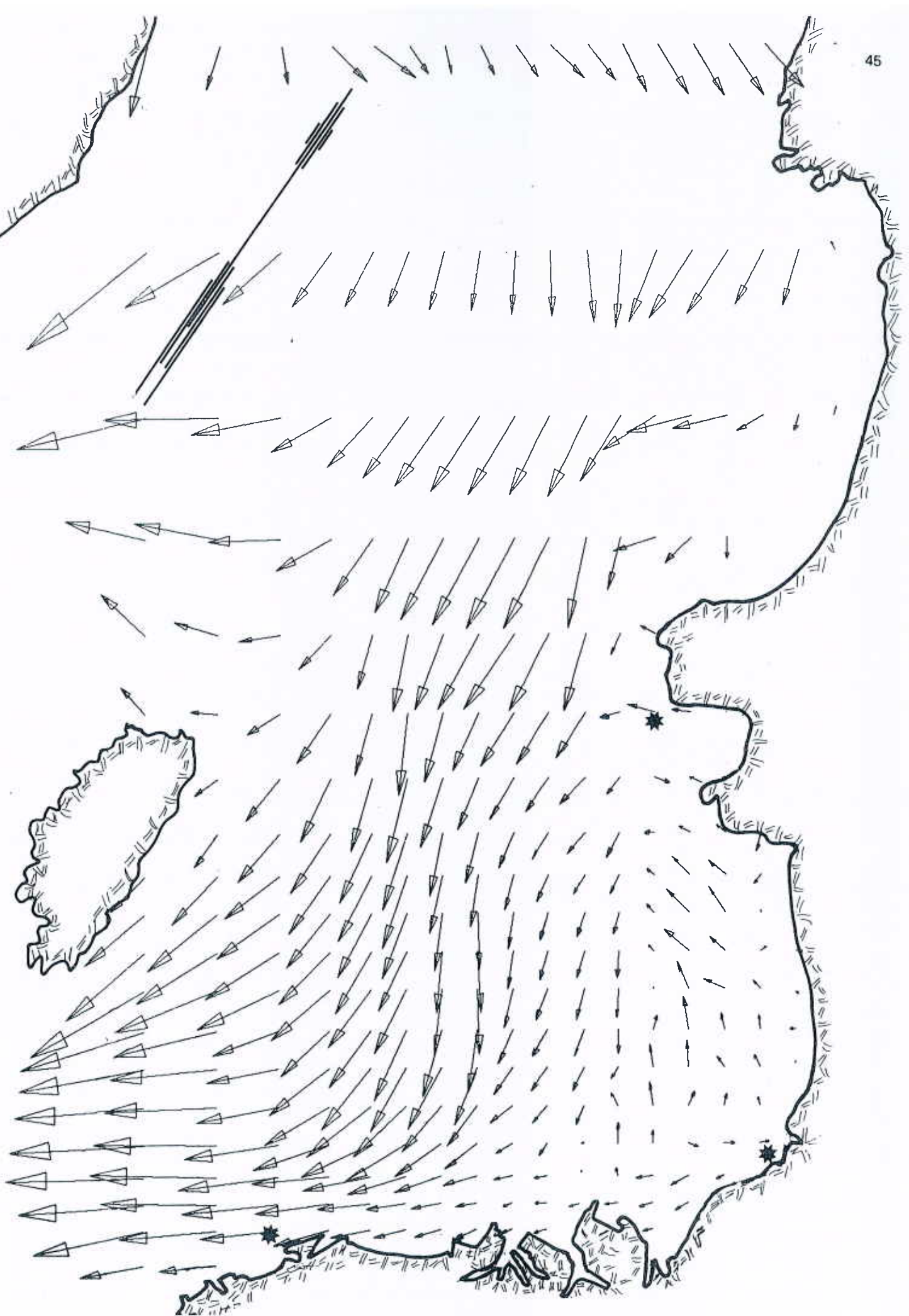
Relativ koncentrationsfördelning av avlopps-
utsläppet vid svag sydgående ström, ytskiktet
a) nuvarande djupförhållanden, b) utfyllt
vid Malmö hamn och Spillepeng

Figur 29 visar effekten av båda utfyllnaderna. En förstärkning av strömmens hastigheter mot nordväst sker strax norr om hamnens utfyllnader. Detta beror på att den kustparallella sydgående ström som rådde här före utfyllnaden, nu bromsas upp och försvinner till stor del och dess vattnet går istället in i den nordvästgående strömmen och förstärker den. Några andra effekter erhålls inte av utfyllnaderna.

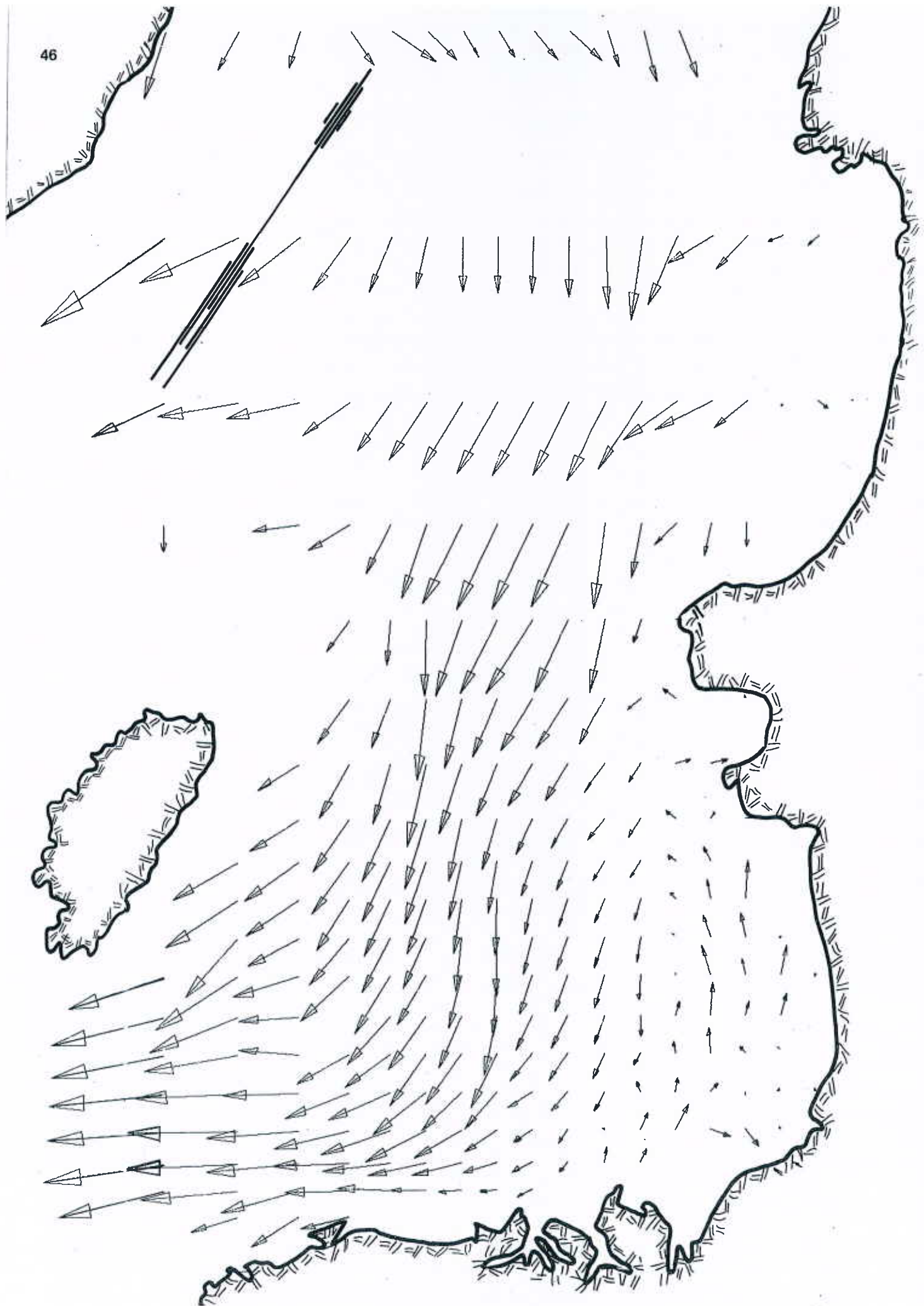
För avloppsutsläppets del får hamnens utfyllnad avgörande effekter, se figur 30. Före utfyllnad fördes avloppsvattnet i skiktet 0-4 m med den kustparallella strömmen söderut. När utfyllnaden gjorts förs det nu istället in i den nordvästgående strömmen varefter det till vissa delar går in i Lomma-bukten. En del försvinner fortfarande söderut men förs först ut något från kusten. Den horisontella utspridningen har i stort sett detta utseende även mellan 4-8 m för de båda olika alternativen. Avloppsutsläppet mynnar alltså precis där den avgörande strömförändringen äger rum i simuleringen. Självklart ligger inte denna front alltid här vid svag sydgående ström. Så exakt är inte modellen. Den erhållna effekten kan dock inträffa vid sydgående ström. Det är ju också just här som en kraftfull styrning av sydgående ström sker till följd av den nya kustkonturen. Nordväst om utfyllnaden (etapp 2) erhöles sydgående ström, om avloppsvattnet istället mynnar där kommer det sannolikt in i det sydgående strömsystemet.



Strömmen i hela modellområdet på de fem olika beräknade djupen; 2, 5, 7, 10 och 15 m presenteras i figurerna 31, 32, 33, 34 och 35. Den valda situationen är stark, sydgående ström. Figurerna visar tydligt den inkommande sydgående strömmen vid Landskrona och utflödet mot söder i Flintrännan. Området med beräknad ström blir mindre för ökande djup eftersom den horisontella ytan minskar. Kustkonturen, som är inlagd i figur 31, är inte helt identisk med plottningens kontur, men den är ändå med för att öka behållningen av strömbilden.



Figur 31 Simulerad ström i hela modellområdet, 2 m



Figur 32 Simulerad ström i hela modellområdet, 5 m



Figur 33 Simulerad ström i hela modellområdet, 7 m



Figur 34 Simulerad ström i hela modellområdet, 10 m



Figur 35 Simulerad ström i hela modellområdet, 15 m

4. SAMMANFATTNING

Resultaten från SMHI:s uppdrag att utreda verkningarna av utfyllnaderna av vattenområdet väster om oljehamnen i Malmö allmänna hamn presenteras kortfattat i detta kapitel. Även effekterna av SYSAV:s planerade utfyllnader vid Spillepeng redovisas.

Omfattande strömmaterial från 1984 och manuella strömmätningar i Lommabukten är de viktigaste mätresultaten som används. Dessa ger en god statistisk och momentan information om virveln i Lommabukten. Vid sydgående ström i Öresund erhålls virvel under drygt hälften av tiden och den har troligen sin tyngdpunkt i norra Lommabukten. Vid nordgående ström förekommer också virvelbildningar och de har sin tyngdpunkt i södra Lommabukten. Virvelns storlek och läge varierar mycket, många olika strömsituationer har erhållits vid manuella kartläggningar. Långvariga, stabila virvelsystem ser ut att vara sällan förekommande. Tidvattnet i Flintrännan är upp till 10 cm/s vilket innebär att en fluktuation med perioden 12 timmar ständigt överlagras grundströmmen.

En numerisk tre-dimensionell modell, PHOENICS, har använts för att simulera strömmarna vid nuvarande djupförhållanden samt efter utfyllnader. Beräkningar av olika typiska strömsituationer har utförts; nordgående stark och svag ström respektive sydgående stark och svag ström. Beräkningarna visar att vid de båda nordgående strömsituationerna utbildas en mindre virvel i södra Lommabukten. Ingen av de båda planerade utfyllnaderna, Malmö hamns och SYSAV:s, har någon större effekt på strömmarna eller spridningen av Malmö kommuns avloppsutsläpp, se figurerna 21 och 24. Resultaten från beräkningarna med sydgående ström ger en ganska stor virvel i Lommabukten och virvelns sydvästra del sträcker sig fram till Malmö planerade utfyllnad och förekommer här som en nordvästlig ström. Strax söder därom samt i södra Lommabukten erhålls en kustparallell sydgående ström. SYSAV:s utfyllnad tycks inte påverka strömmarna, medan däremot Malmö kommuns utfyllnad gör det. Den sydgående kustströmmen hindras av utfyllnaden och förs ut från kusten. Avloppsutsläppets placering gör att transporten av detta vatten drabbas. En del av avloppsvattnet fortsätter söderut utanför utfyllnaden, medan andra delar förs in i Lommabukten genom det virvelsystem som modellberäkningen gett, se figurerna 27 och 30. Förekomsten av denna strömsituation är ej så vanlig. Dels gäller förhållandena vid sydgående ström i Flintrännan och den förekommer i genomsnitt under 30-40 procent av tiden. Vid sydgående huvudström erhöles virvel under cirka halva tiden.

För att undvika att avloppsvattnet vid dylika tillfällen förs in i Lommabukten kan ledningarnas mynningar läggas väster om den i etapp 2 planerade utfyllnaden.

5. REFERENSER

- Ambjörn C. och Wickström K. 1985.
Kontrollundersökningar för muddring och tippning i Öresund. Oceanografiska avd, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut.
- Brattström H. 1941.
Undersökningar över Öresund. Akademisk avhandling, Lund.
- Dietrich G. 1951.
Oberflächungsströmungen im Kattegat, im Sund und in der Beltsee. Deutsche Hydrografische Zeitschrift. Band 4, Heft 4/5/6 1951.
- Isotopcentralen, 1963.
Recipientundersøgelse i Lommabukten med radioaktivt sporstoff. København.
- Jacobsen J. P. 1925.
Die Wasserumsetzung durch den Öresund, den Grossen und den kleinen Belt. Medd. Komm. havunders. serie hydrogr. bd. 2, no. 9. (Ref i Nielsen).
- Jacobsen T. S. och Nielsen P. B. 1978.
Hydrographical observations in Øresund September 1976. A data report. Københavns Universitet, Institut for fysisk oceanografi.
- Nielsen A. 1976.
Fysiske undersøgelser. Baeltprojektet, Miljøstyrelsen.
- Wilmot W. och Svensson J. 1977.
Beräkningar av effekten av en sänktunnel på cirkulationen i Öresund, SMHI juni 1977.
- Wändahl T. och Bergstrand E. 1973.
Oceanografiska förhållanden i svenska kustvatten. Notiser och preliminära rapporter, serie Hydrologi nr 27. Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut.