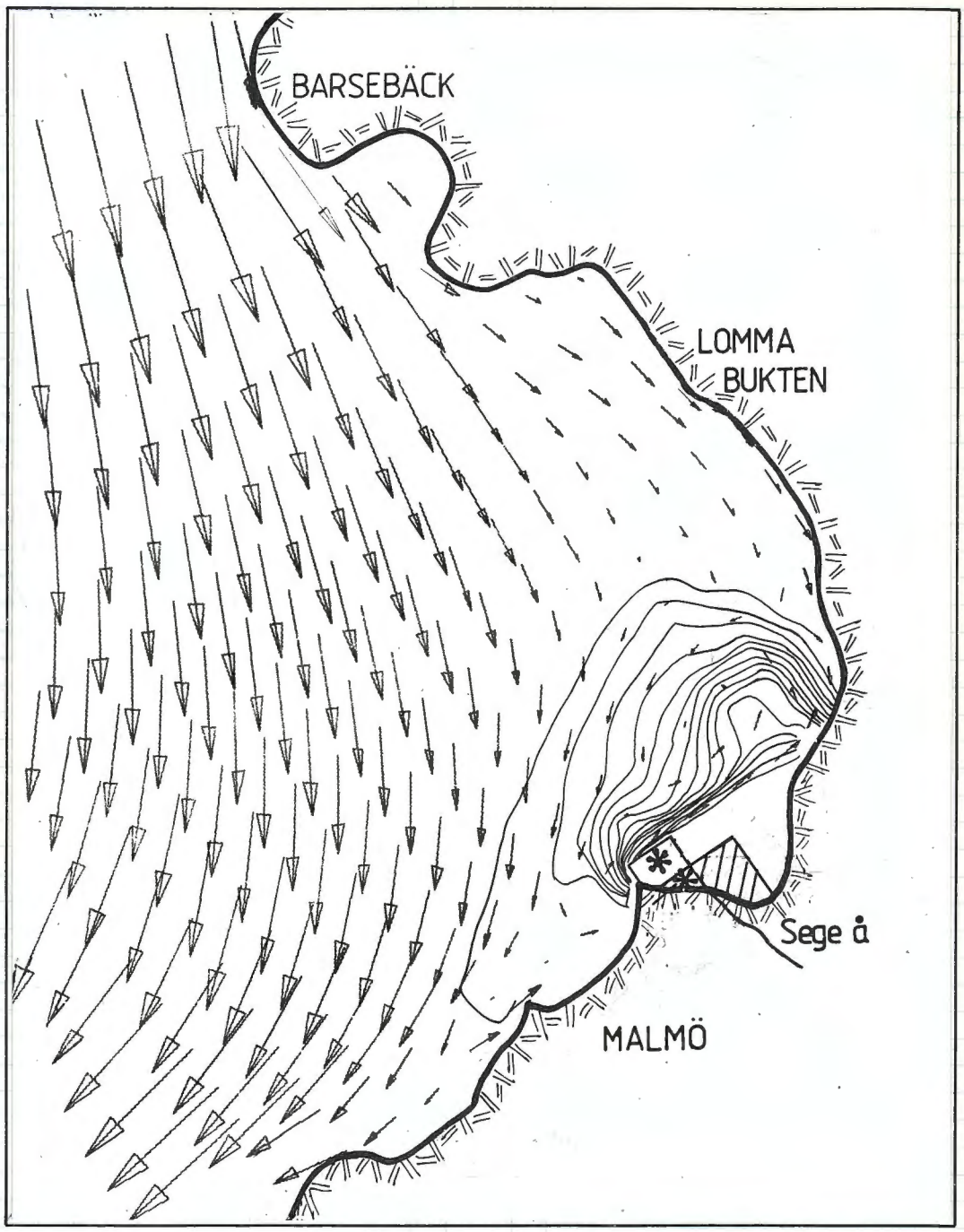
SMHI OCEANOGRAFI
Nr 11, 1987



SPRIDNING AV KYLVATTEN FRÅN ÖRESUNDSVERKET

SMHI OCEANOGRAFI Nr 11, 1987

SPRIDNING AV KYLVATTEN FRÅN ÖRESUNDSVERKET

Cecilia Ambjörn

Februari 1987

		Sid
	Förteckning över figurer	1
1	Bakgrund	3
2	Allmänt	5
3	Utförda beräkningar	6
4	Resultat	12
5	Sammanfattning	15
6	Referenser	17

FÖRTECKNING ÖVER FIGURER

Figur 1 Karta över utsläppslägen för vilka beräkningarna utförs, även planerade utfyllnader är markerade.

Figur 2 Område över vilket strömmodellen applicerats.

Figur 3 Lägen för strömmätningar med registrerande instrument.

Figur 4 Nordgående, svag ström.
Nordlig vind, 5 m/s
Utfyllt Malmö Hamn och Spillepeng.

a) Strömningsmönster; svag nordgående ström.

b) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 3, 30 m^3/s.

c) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 3, 10 m^3/s samt 20 m^3/s i punkt 1.

d) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 1, 30 m^3/s.

e) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 1, 20 m^3/s.

f) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 2, 30 m^3/s.

g) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 4, 30 m^3/s.

Figur 5 Nordgående, stark ström.
Nordlig vind, 5 m/s.
Utfyllt vid Spillepeng.

a) Strömningsmönster; stark nordgående ström

b) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 3, 30 m^3/s.

c) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 3, 10 m^3/s samt 20 m^3/s i punkt 1.

d) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 1, 30 m^3/s.

e) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 1, 20 m^3/s.

f) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 2, 30 m^3/s.

Figur 6 Sydgående, stark ström.
Västlig vind, 5 m/s.
Utfyllt vid Spillepeng.

a) Strömningsmönster; stark sydgående ström.

b) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 3, 30 m^3/s.

c) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 3, 10 m^3/s samt 20 m^3/s i punkt 1.

d) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 1, 30 m^3/s.

e) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 1, 20 m^3/s.

f) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 2, 30 m^3/s.

Figur 7 Sydgående, svag ström.
Västlig vind, 5 m/s.
Utfyllt Malmö Hamn och Spillepeng.

a) Strömningsmönster; svag sydgående ström

b) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 1 Sege å, 30 m^3/s.

c) Isotermer vid kylvattenutsläpp i punkt 2, utanför Sege å, 30 m^3/s.

1 BAKGRUND

SMHI har av Sydkraft AB, fått i uppdrag att studera kylvattenutbredningen från alternativa kylvattenutsläpp från ett utbyggt Öresundsverk.

Fyra olika utsläppslägen studeras:

1 utsläppsläge 1 km uppströms i Sege å

2 det sydvästra hörnet av SYSAV:s planerade utfyllnad vid Spillepeng, Sege ås "nya mynning"

3 invid mynningen av Malmö kommuns avloppstuber

4 strax väster om Malmö Hamns planerade utfyllnad etapp 2

Se karta över lägena, figur 1.

Olika strömsystem och utfyllnadsalternativ har också betraktats.

För vart och ett av utsläppslägena ovan beräknas den horisontella utbredningen i ytskiktet av det uppvärmda vattnet.

Följande utsläppssituationer och kombinationer studeras:

A Kylvattenutsläppet görs ute i Lommabukten, i det läge där kommunens avloppstub mynnar, på ungefär 10 m djup. Rörmynningen riktas snett uppåt så att kylvattnet säkert inlagras vid ytan. På så sätt tas också eventuell jetstråleverkan tillvara. Kylvattenmängden som studeras är 30 m^3/s och vattnets övertemperatur är 10^0C.

B Kylvattenutsläppet görs i samma läge som för A, dvs vid kommunens avloppstub. Utsläppt mängd är 10 m^3/s och dess övertemperatur är 10^0C. Samtidigt leds, som mest, 20 m^3/s ut i Sege å med övertemperaturen 10^0C. Här betraktas två olika lägen, dels nuvarande utsläppsläge, 1 km in från kusten, dels läget vid sydvästra kanten av den planerade utfyllnaden vid Spillepeng.

C Hela kylvattenmängden leds ut till Sege å vid läge 1,alternativt ut till läge 2, med övertemperatur 10 ^{0}C. De mängder som studeras är 20 m^3/s och 30 m^3/s.

D Utsläpp av 30 m^3/s och övertemperatur 10 ^{0}C i ytterligare en punkt betraktas, denna är belägen strax väster om Malmö Hamns planerade utfyllnad, etapp 2.

Speciella beräkningar har även utförts över vilka temperaturer som kylvattnet har när det når ytan i de fall utloppsmynningen ligger på 10 meters djup. Vid stigning mot ytan sker inblandning av omkringliggande svalare vatten, vilket gör att volymen med uppvärmt vatten ökar och övertemperaturen sjunker ganska snabbt i detta initialskede.

Avkylningen av kylvattenutsläppet i Sege å har också beräknats för sommarförhållanden. Hänsyn har tagits till värmeavgång till atmosfären, samt inblandning med åns eget, naturliga flöde. Övertemperaturen i öppningen mot Öresund vid det planerade avfallsupplagets sydvästra hörn, punkt 2 i figur 1, har därvid beräknats.

Möjligheten att hålla Oljehamnen isfri med ett kylvattenflöde, respektive förutsättningarna för att smälta ett befintligt istäcke har också studerats.

Vid utförandet av spridningsberäkningar använder SMHI en numerisk modell, som tidigare applicerats på Öresund med tyngdpunkt på Lommabukten. Modellen sattes ursprungligen upp med syftet att beräkna spridningen av avloppsvattnet från Malmö kommun för olika utfyllnadsalternativ. Arbetet gällde att utreda konsekvenserna av utfyllnaden vid Malmö Hamn etapp 2, och i samband härmed studerades även effekterna av SYSAV:s (Sydöstra Skånes Avfallsaktiebolag) utfyllnad vid Spillepeng, se figur 1. Med denna utformning bedöms modellen lämplig för även detta projekt. Den ger en något grov bild i närområdet där beräkningsrutorna är stora i förhållande till områden med omkring 5-6^0 temperaturförhöjning men tillräckligt noggrann för att ge bra resultat för 2-3^0-isotermer. I modellberäkningarna tas inte hänsyn till värmeutbyte med atmosfären.

2 ALLMÄNT

Strömmätningar utförda vid Oskarsgrundet visar att vid nordgående ström i Öresund är hastigheterna mellan 20 och 80 cm/s. Vid sydgående ström erhålls något lägre hastigheter, nämligen 20-60 cm/s. Tidvattnet ger ett tillskott på upp till 10 cm/s utanför Malmö. Under cirka 60 procent av tiden är strömmen nordgående och sydgående under cirka 30 procent. Resten av tiden råder växlande strömförhållanden.

Vid nordgående huvudström kan en medurs riktad virvel utvecklas främst i södra delen av Lommabukten. Dess livslängd är sannolikt ganska kort, storleksordningen några timmar, vilket gör det är svårt att med manuella mätningar kartlägga strömmarna i Lommabukten.

Vid sydgående huvudström erhålls en moturs riktad virvel i norra delen av Lommabukten under 55 procent av tiden. (Vi har ett mera gediget mätunderlag för virvelbildningen vid sydgående huvudström). Virveln kan även fylla ut hela bukten. Dess varaktighet är normalt kortare än fyra timmar och mycket sällan över tio timmar. Ref (1).

Salthalten i det från Östersjön kommande vattnet är 8-10 o/oo i Öresunds ytskikt. Detta fyller ut de grundare delarna i södra Öresund i form av en lättare ytström. Norrifrån tränger en djupström med salt vatten in från Kattegatt. Denna kan komma från Kattegatts ytskikt med salthalten 18-24 o/oo, eller från djupare nivåer och har då salthalten 30-35 o/oo. Detta gör att Öresund kan vara starkt densitetsskiktat, men även vertikalt homogent inom en del skikt, vilket bland annat hänger samman med strömmens varaktighet.

3 UTFÖRDA BERÄKNINGAR

SMHI har utfört spridningsberäkningar utgående från kylvattenflöden i fyra olika punkter. För dessa beräkningar har tidigare simulerade strömningsmönster legat till grund. En numerisk modell har använts, som är utvecklad vid CHAM, London. Den kallas Phoenics och är en ekvationslösare, där valen av olika fysikaliska villkor och förhållanden anpassas efter det aktuella problemet.

Modellen appliceras på området Köpenhamn-Saltholm-Malmö-Landskrona. Beräkningarna utförs i ett tre-dimensionellt koordinatsystem med fem beräkningspunkter i djupled (2, 5, 7, 10 och 15 m) och 18 x 20 celler i det horisontella planet. Figur 2 visar rutnätets utseende och läge. 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 delar av rutnätet som får representera Malmö Hamns planerade utfyllnad etapp 2 och SYSAV:s planerade utfyllnad är markerade, liksom rutorna som svarar mot de områden där de olika utsläppsalternativen ligger.

Beräkningarna tar hänsyn till den vertikala skiktningen i Öresund och värdena för de vertikala utbyteskoefficienterna är tagna från tidigare mätningar. De är konstanta i tiden. Det lägsta vertikala utbytet finns i salthaltssprångskiktet mellan 6 och 12 meter. Bottenfriktionen tas med i modellen liksom corioliseffekten; jordrotationens avlänkande kraft.

Uppmätta salthalter och flöden i Flintrännan och utanför Landskrona får utgöra den yttre styrningen av strömsystemen utanför Malmö och i Lommabukten. Vid nordgående ström kommer vatten med salthalten 9 promille in på alla nivåer från Östersjön. Normalt är även strömmen utanför Landskrona nordgående mellan 0--12 m djup, när nordgående ström samtidigt råder i Flintrännan. Salthalten i modellens norra gräns vid Landskrona ges av det utströmmande vattnets egenskaper. Här används således de salthaltsvärden som modellen räknar ut. Vid sydgående ström 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 oftast råder här när strömmen vid Landskrona är sydgående. Vinden finns även med som en drivande kraft, vilket främst ger ett tillskott hos strömmen i ytskiktet.

Kylvattenutsläppen läggs in i modellens ytskikt och behandlas som kontinuerliga utflöden. Varje utsläpp har ett eget volymflöde och en ansatt övertemperatur.

Beräkningarna är utförda så att strömningen beskrivs som ett antal typiska situationer, dels med nuvarande djupförhållanden och dels med utfyllda områden. I beräkningarna varierar inte strömmen med tiden utan är konstant. Detta kallas för en stationär beräkning. Metoden ger tillräckligt goda svar på de frågeställningar som är aktuella genom att man väljer strömsituationer som är representativa. Resultaten är jämförda med strömmar i mätpunkterna Limhamn, Lomma hamn, Barsebäck, Oskarsgrundet och Malmö Hamn. Se figur 3. Mätningar har utförts här med registrerande instrument under flera månader.

Följande typiska strömsituationer har beräknats. I beräkningarna har utfyllnaden vid Spillepeng lagts in.

* Nordgående ström, 55 cm/s vid Oskarsgrundet.
* Nordlig vind, 5 m/s.

* Nordgående ström, 15 cm/s vid Oskarsgrundet.
* Nordlig vind, 5 m/s.
* Utfyllt vid Malmö Hamn, etapp 2.

* Sydgående ström, 45 cm/s utanför Landskrona.
* Västlig vind, 5 m/s.

* Sydgående ström, 15cm/s utanför Landskrona.
* Västlig vind, 5 m/s.
* Utfyllt vid Malmö Hamn, etapp 2.

Vindriktningarna för de olika strömsituationerna är valda för att ge de sämsta konsekvenserna av kylvattenutsläppens spridningsförlopp.

Intaget för Öresundsverkets kylvatten är beläget längst in i Industrihamnens bassäng nummer 2, se figur 1. Idag släpps kylvattnet ut i Sege å 1 km innan den mynnar i Lommabukten. Sege ås normala högvattenföring är 13 m^3/s, dess normala medelvattenföring 2,1 m^3/s och dess normala lågvattenföring 0,2 m^3/s.

Följande utsläppsflöden är betraktade:

A Utsläppspunkt 3, vid kommunens avloppstubs mynning, 30 m^3/s.

B Utsläppspunkt 3, vid kommunens avloppstubs mynning, 10 m^3/s samtidigt med utsläppspunkt 1, nuvarande läge i Sege å 1 km uppströms mynningen med 20 m^3/s alternativt utsläppspunkt 2, Sege ås nya mynning med 20 m^3/s.

C Utsläppspunkt 1 vid nuvarande plats i Sege å 1 km uppströms mynningen med 20 m^3/s respektive 30 m^3/s, alternativt utsläppspunkt 2 vid Sege ås nya mynning med 20 m^3/s respektive 30 m^3/s.

D Utsläppspunkt 4, väster om Malmö Hamns planerade utfyllnad etapp 2, med 30 m^3/s.

Vertikal utspädning av kylvatten som mynnar på 10 meters djup

Vid utsläpp av kylvatten i punkterna 3 och 4, se figur 1, utförs beräkningar av vattnets övertemperatur när det når ytan. Beräkningarna utgår från att det uppvärmda vattnet mynnar på 10 meters djup. Dess övertemperatur är 10^0C i förhållande till det omgivande vattnets temperatur. Detta är korrekt i grova drag, ty intaget av kylvattnet ligger i Industrihamnens nordöstra hörn på cirka 7,5 meters djup, se figur 1. Det förutsätts således att salthalten och temperaturen hos detta vatten är samma som i den punkt där det senare släpps ut.

Vid utsläppspunkten sätts utflödeshastigheten till 1,5 m/s oavsett storleken av flödet självt. De flöden som betraktas är 10 m^3/s och 30 m^3/s. Härigenom erhålls olika "effektiva" diametrar hos mynningen för de båda flödena, nämligen 2,9 meter och 5,0 meter. Såväl nord- som sydgående fall har studerats eftersom densitetsförhållandena skiljer sig åt. I första hand har sommartemperaturer bildat underlag, men även låga temperaturer har studerats.

Det uppvärmda vattnet strömmar i form av en jetstråle ut genom utloppet och blandar sig med omgivande vatten. Detta sker främst genom turbulent inblandning, samtidigt som vattnet ganska snabbt stiger mot ytan eftersom det alltid är lättare än sin omgivning. Volymen hos vatten med övertemperatur ökar härigenom kraftigt som en följd av inblandning av det omkringliggande vattnet. Med kännedom om densiteten hos utsläppet, densiteten hos recipienten, utgångshastighet och flödets storlek, kan utspädningseffekten beräknas. Härigenom erhålls den temperatur i vattenytan som strömmodellen utgår ifrån vid beräkningen av den horisontella spridningen i det ytnära skiktet. Inblandningsmängden skiljer sig inte åt nämnvärt för nord- eller sydgående ström, ej heller för olika temperaturer.

Följande övertemperaturer i ytan gäller för olika storlek på flödet hos det utpumpade kylvattnet.

* Flöde 30 m^3/s ger övertemperaturen 6 ^0C i ytan vid utsläpp på 10 meters djup av kylvatten med 10 ^0C övertemperatur.

* Flöde 10 m^3/s ger övertemperaturen 4 ^0C i ytan vid utsläpp på 10 meters djup av kylvatten med 10 ^0C övertemperatur.

Avkylning hos kylvattenutsläppet 1 km uppströms Sege å

Studier har utförts av hur stora värmemängder som avgår från kylvattenutsläpp i Sege å 1 km från mynningen i Lommabukten, se markering i figur 1. Den övertemperatur kylvattnet har vid punkt 2, Sege ås öppning mot havet

efter utfyllnaden vid Spillepeng har beräknats. Förhållandena under juli månad har betraktats. Hänsyn tas här till värmeavgivningen till atmosfären samt inblandning med Sege ås eget naturliga flöde. Detta har satts till 2 m^3/s vilket är medelflödet i ån. Kylvattenflödena 20 m^3/s och 30 m^3/s har beräknats.

Inblandning med åns eget vatten och värmeförluster till atmosfären på väg ut mot havet, sänker den ursprungliga övertemperaturen från 10 ^0C till cirka 9 ^0C för det större utsläppet och till cirka 8 ^0C för det mindre.

* Temperaturen sänks med 1--2 ^0C från utsläppspunkten 1 km uppströms Sege å tills dess vattnet når den nya öppningen ut mot havet vid SYSAV:s planerade utfyllnad vid Spillepeng, se punkt 2.

Isläggning i Oljehamnen

Överslagsberäkningar har utförts över kylvattenutsläppets kapacitet att smälta ett istäcke i hamnbassängen, samt kylvattnets möjlighet att förhindra isläggning. Utloppet placeras härvid nära ytan i de inre delarna av hamnen. Beräkningar av ett utlopp vid piren har inte utförts då spridningen av kylvattnet från ett sådant läge är helt avhängig det yttre, mer storskaliga strömningsmönstret.

Antag att ett decimetertjockt istäcke bildats i den långsmala delen av bassängen, se figur 1. Dess horisontella yta är cirka 1,8 x 10^5 m^2. Vattentemperaturen sätts till 0 ^0C och utsläppt kylvatten har temperaturen 10 ^0C. Vi har utgått från situationer med nordgående ström och således låg salthalt, ty då har vattnet sitt densitetsmaximum vid cirka +2 ^0C. Vid sydgående ström ligger detta på cirka -0.5 ^0C, vilket ger en större smältningseffekt från kylvattnet innan det sjunker till botten. När 30 m^3/s pumpas ut i ytskiktet tar det 80 minuter att smälta isen om man, orealistiskt, bortser från att värme både avgår till atmosfären och passerar igenom bassängen innan det hinner förbrukas. Värmeavgivningen till atmosfären är liten eftersom isen hindrar denna på en stor del av vattenytan. Den bortses ifrån här, ty om t ex 1/3 av området är isfritt, i form av en vak, betyder det en försumbar värmeförlust. Däremot är den värmemängd stor som passerar igenom bassängen innan värmen hinner nyttjas för att smälta istäcket. Vi bedömer att 10--20 % hinner utnyttjas, vilket innebär att

isen smälts ner på 1/2 dygn. Vid utflöde av 10 m^3/s kylvatten blir motsvarande tidsåtgång 1--2 dygn. Den vertikala nedblandningen av varmvattnet har inte tagits hänsyn till, ty dels är det utsläppta vattnet lättare än befintligt dels är turbulensen dämpad av istäcket. Beräkningarna utgår från att kylvattnet ligger i ytan och får liten initial vertikal inblandning.

* Kylvattenflöde 30 m^3/s med 10^0C övertemperatur smälter istäcket på 1/2 dygn.

* Kylvattenflöde 10 m^3/s med 10^0C övertemperatur smälter istäcket på 1--2 dygn.

Kylvattnets kapacitet att förhindra isläggning har beräknats. Förutsättningarna har givits enligt följande; vattentemperaturen = 0^0C, lufttemperaturen = -20^0C och vindstyrkan = 10 m/s. Kylvattnet släpps ut i hamnens inre delar och har en övertemperatur på 10^0C. Värmeutbytet med atmosfären tar hänsyn till kortvågig solinstrålning, effektiv långvågig utstrålning, ledningsvärme och värmeförlust genom avdunstning. Vi bedömer att endast värmemängden ner till $+2^0C$ kan tas tillvara. Därefter sjunker kylvattnet till botten genom att maximal densitet erhålls när salthalten är cirka 10 o/oo. Om hänsyn endast tas till det vertikala värmeutbytet med atmosfären krävs minst 3 m^3/s för att hålla bassängen isfri. Då är det balans mellan inkommande värme hos kylvattnet och avgivning till atmosfären. Hänsyn måste även tas till genomströmningen, vilken är stor och detta medför att det krävs 15--30 m^3/s.

* Flöde 15--30 m^3/s med 10^0C övertemperatur bör hindra att vattnet i de inre delarna av bassängen fryser till is vid -20^0C lufttemperatur och starka vindar.

Kylvattenutsläpp i punkt 2, belägen vid sydvästra hörnet av den planerade utfyllnaden vid Spillepeng

Här är två olika alternativ aktuella, nämligen 30 m^3/s och 20 m^3/s. Med de beräkningar som vi utför med spridningsmodellen är det tyvärr inte möjligt att skilja på dessa olika flöden. Därför presenteras här endast ett spridningsmönster för flödet 30 m^3/s och övertemperaturen 10^0C.

4 RESULTAT

Beskrivna resultat visar främst de olika utsläppsalternativens inbördes relation vid var och en av de typiska strömsituationerna. De visar även vilka områden som kan komma att bli berörda av det uppvärmda vattnet. Värmeavgivningen till atmosfären finns inte med i modellberäkningarna.

De värderingar som görs i detta avsnitt utgår från att det betraktas som positivt att ytorna med höga övertemperaturer är så små som möjligt. I texten har detta beskrivits som det bästa spridningsförloppet. Andra kriterier kan lika gärna användas på det befintliga resultatet.

De förutsättningar som gäller för varje spridningsförlopp i figurerna anges inte här i texten, ty de finns tydligt dokumenterade på varje figur och i figurförteckningen. Hänvisning görs därför till figurens nummer istället.

Svag, nordgående ström

Den nordgående strömsituationen med svag ström och måttlig nordlig vind framgår av figur 4a. Det syns tydligt att vinden ger upphov till sydostgående strömmar i Lommabuktens grunda strandområden och ända ner mot sydligaste hörnet av bukten. En medurs riktad virvel har utbildats och denna täcker hela Lommabukten. Virveln gör att kylvattnet från läge 1, 2 och 3, se figur 1, inte kan nå in i buktens södra hörn. Dessa utloppslägen kommer dessutom i skärningspunkten mellan de båda utbildade strömsystemen och just här är strömmarna svagare. Av detta följer att det blir en långsammare spridning av kylvattnet än vid nordgående svag ström utan virvelbildning. I mycket grova drag kan man anta att nordgående svag ström med virvel förekommer under 15 procent av tiden och nordgående ström utan virvel lika ofta.

Det framgår från strömningsmönstret i figur 4a att den planerade utfyllnaden vid Malmö Hamn etapp 2, gör att utsläppspunkten som är belägen vid avloppsmynningen blir något sämre än tidigare. Utfyllnaden medför även att skillnaden mellan utspädningseffekten hos lägena 1, 2 och 3 minskar något genom att kylvattnet i större

utsträckning koncentreras till ett begränsat område. Det uppvärmda vattnet från de olika lägena förs in i samma strömningsförlopp. Modellens struktur gör att dess förmåga att beskriva utspädningen inom närområdet är något begränsad. Den horisontella rumsliga upplösningen är i det här området 600 x 840 m^2.

Figurerna visar att ytor med övertemperaturen 4^0C är minst i figurerna 4b och 4e, och lika stora i dessa båda. Näst bäst utspädningsförlopp erhålls i figur 4d. Denna har $4,5^0$-isotermen i samma läge som 4^0-isotermen i figur 4b och 4e. För figur 4f gäller att här ligger 5^0-isotermen i motsvarande positioner som 4^0- och $4,5^0$-isotermerna i nyss nämnda figurer. Figur 4c bedöms vara i samma klass som figur 4f.

Detta innebär att utspädningen blir effektivast i figur 4b och 4e och sämst i figur 4c och 4f. Samma resultat erhålls när $2,0/2,5^0$-isotermerna betraktas i dessa figurer. Man ser även att figur 4b har större yta med övertemperaturen 1^0 än figur 4c, vilket visar på större utspädningseffekt hos figur 4b.

Inte oväntat ger utsläppsläge 4, figur 4g, en effektivare horisontell spridning än de övriga lägena. Vattentransporten förbi denna punkt är så mycket större att utspädningen initialt är kraftig. Ytorna med högre övertemperaturer blir mindre i läge 4 än för de andra lägena.

Sammanfattningsvis innebär dessa resultat att utsläppsläge 4, beläget utanför Malmö Hamns planerade utfyllnad är ojämförligt bäst. Läge 3, nuvarande mynning för Malmö kommuns avloppstuber med flöde 30 m^3/s och läge 1, beläget 1 km in i Sege å med flöde 20 m^3/s ger utspädningseffekter som därefter är bäst. Läge 1 med 30 m^3/s är det alternativ som erhålls som tredje bästa möjlighet. Slutligen erhålls den sammanlagda effekten av utflöde i lägena 1 och 3 som det minst gynnsamma alternativet. Storleken av respektive flöde i dessa är 20 m^3/s och 10 m^3/s. Samma effekt erhålls för läge 2, som är placerad vid sydvästra hörnet av den planerade utfyllnaden vid Spillepeng, med flödet 30 m^3/s.

Stark, nordgående ström

Figur 5a visar förhållandena vid stark nordgående ström. Den nordliga vinden ger även här en ganska kraftig sydostlig strömning i buktens grunda delar. Det är främst här vindens inverkan syns, ty dess friktionseffekt får större resultat vid små vattendjup. En medurs riktad virvel fyller ut hela Lommabukten. Tidigare beräkningar, ref 1, som utförts för nordgående ström utan vind, ger en mindre virvel belägen i sydligaste delen av Lommabukten. Dessa resultat erhölls vid såväl svag som stark ström utan närvaro av vind.

Beräkningarna av spridningen har för det här strömfallet utförts utan utfyllnad vid Malmö Hamn etapp 2. När isotermerna för 4^0C jämföres i dessa resultat framgår att de minsta ytorna erhålls i figur 5b och 5e. Dessa val av läge och mängd kylvatten gav den effektivaste utspädningen initialt. Därefter följer figur 5c, 5d och 5f med ganska små skillnader sinsemellan. Figur 5f är något sämre men isotermerna ligger ganska tätt, så den är inte lika tydlig.

Sammanfattningsvis innebär detta att utsläpp i läge 3 med 30 m^3/s och i läge 1 med 20 m^3/s är bäst. Sämst är kylvattenutsläpp i läge 2 med 30 m^3/s.

Stark, sydgående ström

Figur 6a visar förhållandena vid stark, sydgående ström. Den måttliga västliga vinden bidrar till att skapa en liten moturs riktad virvel i sydligaste delen av Lommabukten. För övrigt syns inga tydliga effekter av den pålagda vinden, vilken är vald för att ge så ogynnsamma effekter som möjligt. Vi har tidigare i texten nämnt att virvel i norra Lommabukten, alternativt i hela bukten förekommer under 55 % av tiden vid sydgående ström. Det här strömningsmönstret med virvel i södra Lommabukten kanske förekommer i 25 procent av alla situationer med sydgående huvudström och resterande 20 procent står för sydgående huvudström utan virvel.

Spridningsbilderna visar att figur 6b ger de minsta ytorna med högre övertemperaturer, här har vi utgått från 4.1^0, 4.5^0 och 4.9^0 isotermerna. Därefter kommer figur 6e följd av 6c. Figur 6d är något sämre, och slutligen ger figur 6f de sämsta förhållandena.

Svag, sydgående ström

Figur 7a visar förhållandena vid svag, sydgående ström. Här är utfyllnaden vid Malmö Hamn, etapp 2 inlagd. En något annorlunda virvel har bildats i södra Lommabukten, jämfört med virveln vid stark ström. Den av vinden drivna ytströmmen går söderut i de grunda områdena i östra Lommabukten och de möter virvelns nordgående ytström strax söder om Lomma Hamn. Detta medför att ytvattnet tvingas ner på större djup. Vinden genererar även starka kustnära ytströmmar mot nordost mellan Limhamn och Malmö.

Spridningsberäkningar är utförda endast för utsläpp i läge 1 och 2. Skillnaden mellan de båda studerade alternativen är inte stor. Den värmemängd som avgår vid kylvattnets väg från punkt 1 till punkt 2 är den enda skillnaden. Man får olika initialtemperaturer och följaktligen även olika stora ytor med övertemperaturer. Alternativet med utsläpp i läge 1 är därför gynnsammare för förhållandena ute i de öppna delarna av Lommabukten. Däremot så erhålls för detta läge stora övertemperaturer i det instängda området mellan läge 1 och läge 2. Med den virvelbildning som ges av det beräknade strömningsmönstret lägger sig det varmaste vattnet i Lommabuktens södra hörn. Vid sydgående ström är det vanligare med virvelbildning i norra än i södra Lommabukten. Under sådana förhållanden förs det uppvärmda vattnet sydvart.

5 SAMMANFATTNING

Ett antal olika spridningsförlopp från alternativa kylvattenutsläpp har beräknats. Resultaten ger information om övertemperaturen i ytskiktet och vilka områden som berörs. Utsläpp har studerats från nuvarande läge, här benämnt läge 1 och som ligger 1 km uppströms Sege å, från läge 2 något utanför Sege ås mynning, från läge 3 vid mynningen av kommunens avlopp och läge 4 strax utanför Malmö Hamns planerade utfyllnad, etapp 2. Volymflödena har varierat mellan 10 och 30 m^3/s och övertemperaturen har initialt varit 10^0C. Fyra olika typiska strömningsmönster har legat till grund för den mer storskaliga transporten av kylvatten. Dessa är nordgående ström(stark och svag) samt sydgående ström(stark och svag). Vid nordgående ström har vind från norr 5 m/s även lagts in i modellberäkningarna för att ge effekterna vid ogynnsamma yttre omständigheter. Vid sydgående

ström har vind från väster tagits med. Den planerade utfyllnaden vid Spillepeng är inlagd i alla beräkningarna. Däremot är Malmö Hamns planerade utfyllnad, etapp 2, endast inlagd vid ett av de fyra olika strömningsalternativen.

Beräkningar har även utförts av möjligheten hålla Oljehamnen isfri liksom beräkningar av initiell avkylning och inblandning av kylvattnet för de aktuella utsläppsalternativen.

Resultaten visar att Oljehamnen bör kunna hållas isfri vid ett flöde på 15-30 m^3/s och utsläppstemperaturen 10^0C. Denna värmemängd bör även kunna smälta ett måttligt tjockt istäcke.

I stora drag erhålls följande resultat för de olika utsläppslägena med sina respektive kylvattenmängder. De olika alternativen grupperar sig inbördes i stort sett i samma ordning oberoende av aktuellt strömningsmönster. Avgörande är istället utsläppsläge och mängd kylvatten. Utsläppsläge 4, (utanför Malmö Hamns planerade utfyllnad) har mindre än hälften så stora ytor med övertemperaturer som är större än 2^0C jämfört med övriga utsläppslägen. Det är därefter två olika lägen som ger störst initialutspädning, dvs minsta ytorna med de högre övertemperaturerna. Dessa är läge 3 med 30 m^3/s (vid avloppstubernas mynning) och läge 1 (uppströms i Sege å) med 20 m^3/s. Sämst initiell utspädning erhölls för läge 2, (något utanför Sege ås mynning) med 30 m^3/s. Övriga alternativ, där det ena är 20 m^3/s i läge 1 samtidigt med 10 m^3/s i läge 3 och det andra är 30 m^3/s i läge 1, grupperar sig mellan de redan nämnda och har något varierande ordning beroende på strömförhållandena.

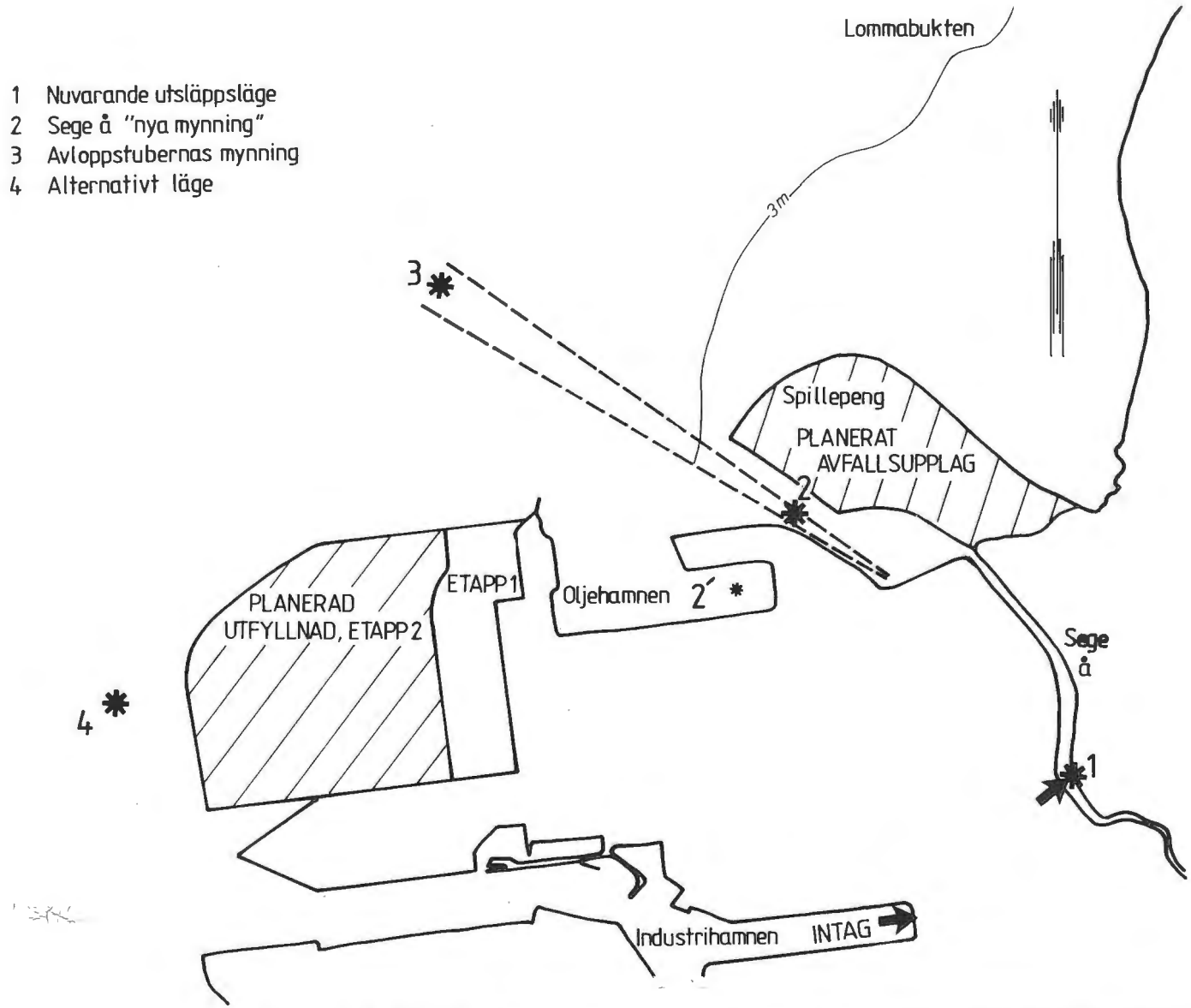
6 REFERENSER

Ref (1) Ambjörn C. 1986. Utbyggnad vid Malmö Hamn; effekter för Lommabuktens vattenutbyte. SMHI Oceanografi nr 3, Norrköping.

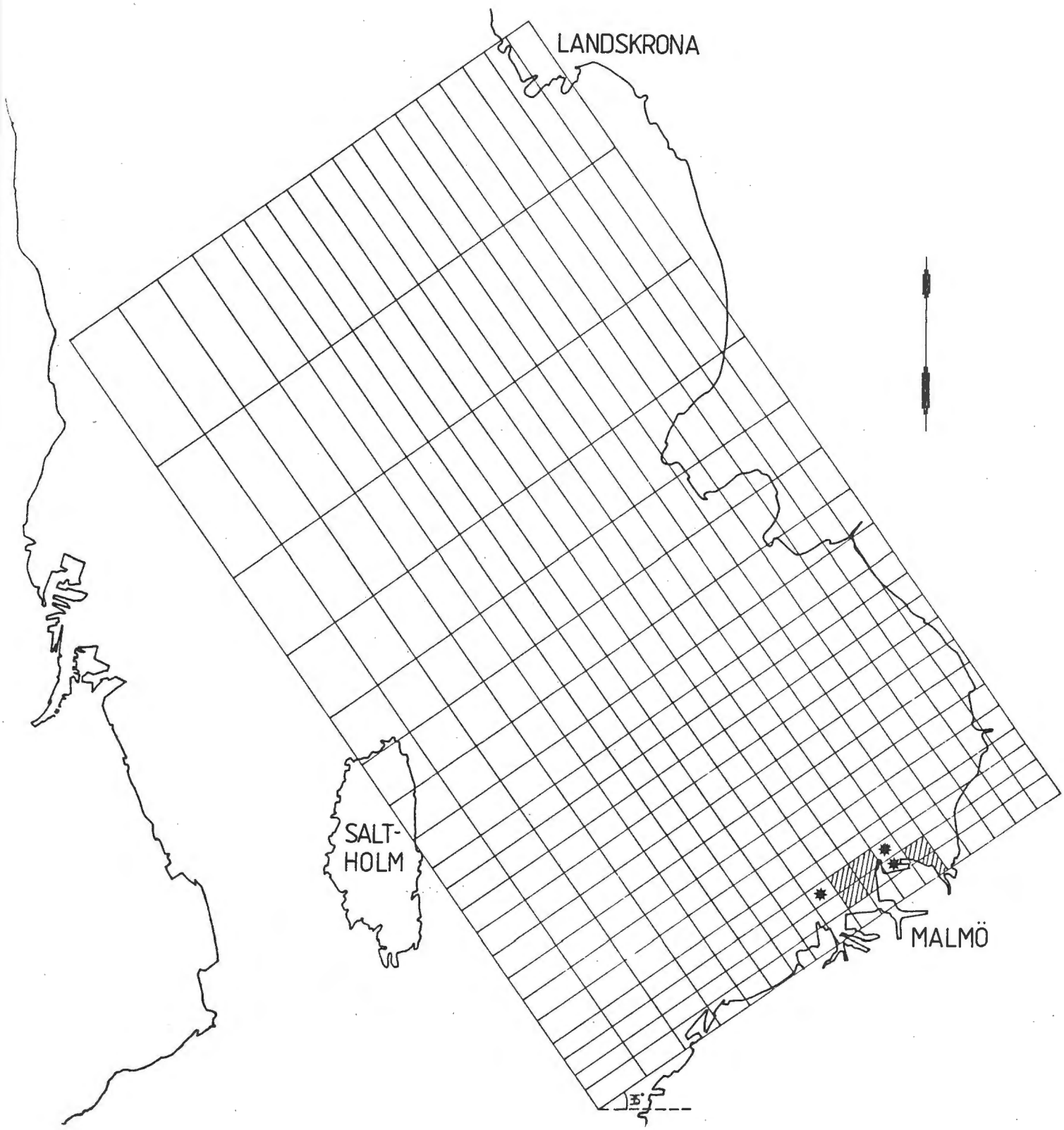
Ref (2) Jacobsen T S och Nielsen P B 1978. Hydrographical observations in Øresund September 1976. A data report. Københavns Universitet, Institut for fysisk oceanografi.

Ref (3) Nielsen A 1976. Fysiske undersøgelser. Baeltprojektet, Miljøstyrelsen.

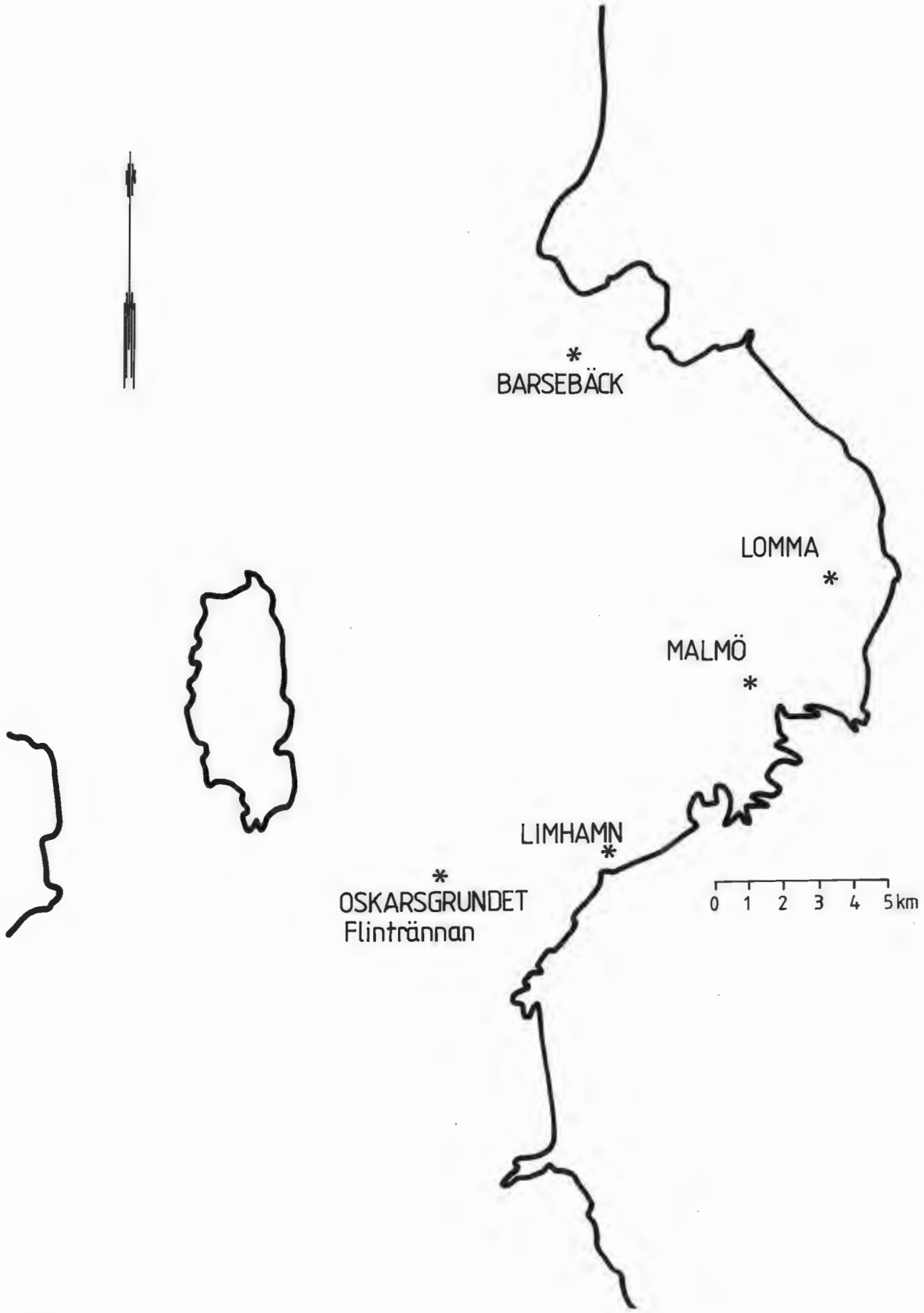
Ref (4) Skoglund P O, Peterson C 1981. Barsebäck - kylvattenutsläpp i havet. Dnr 79/324. SMHI, Norrköping.



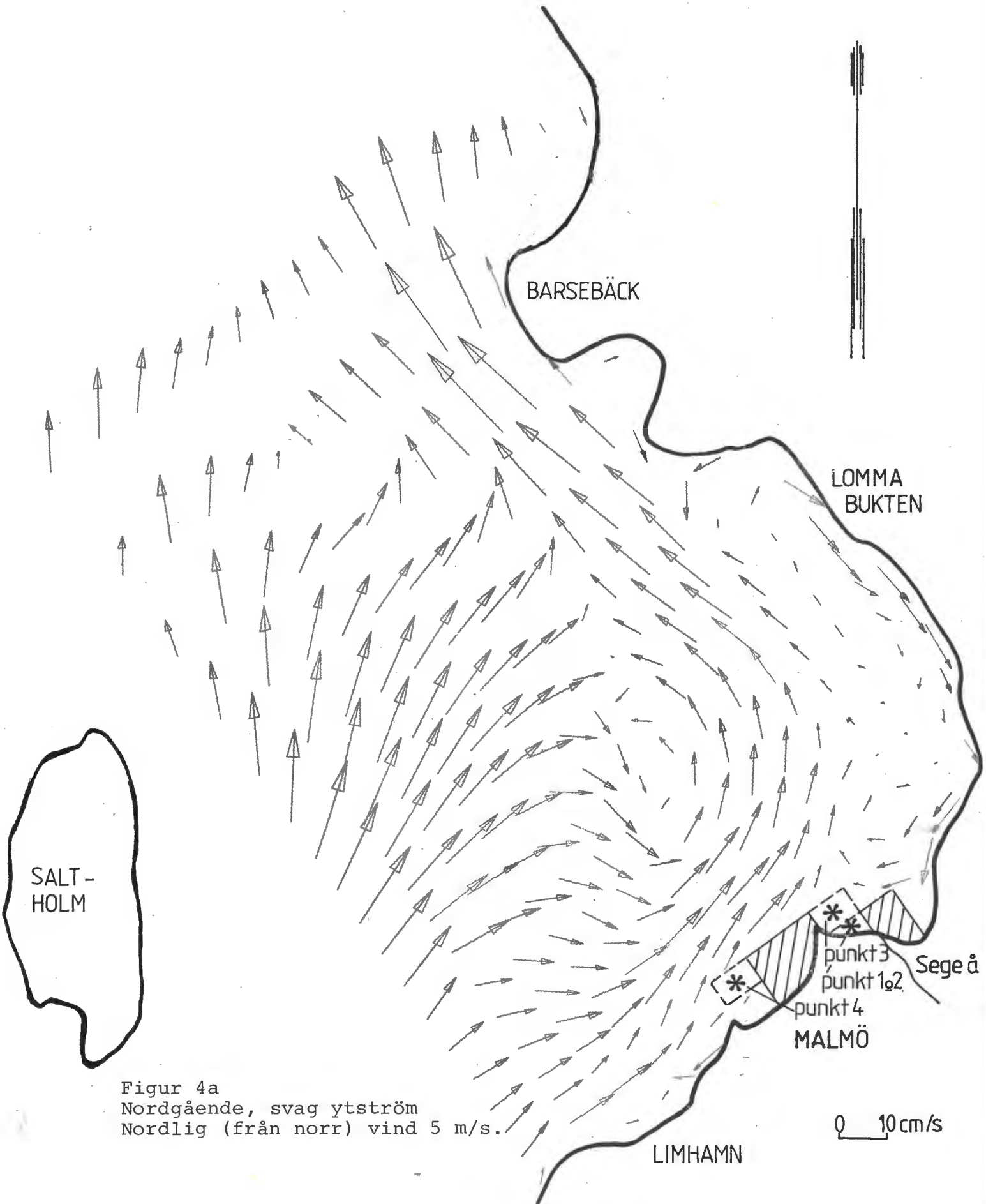
Figur 1 Karta över utsläppslägen för vilka beräkningarna utförs, även planerade utfyllnader är markerade.



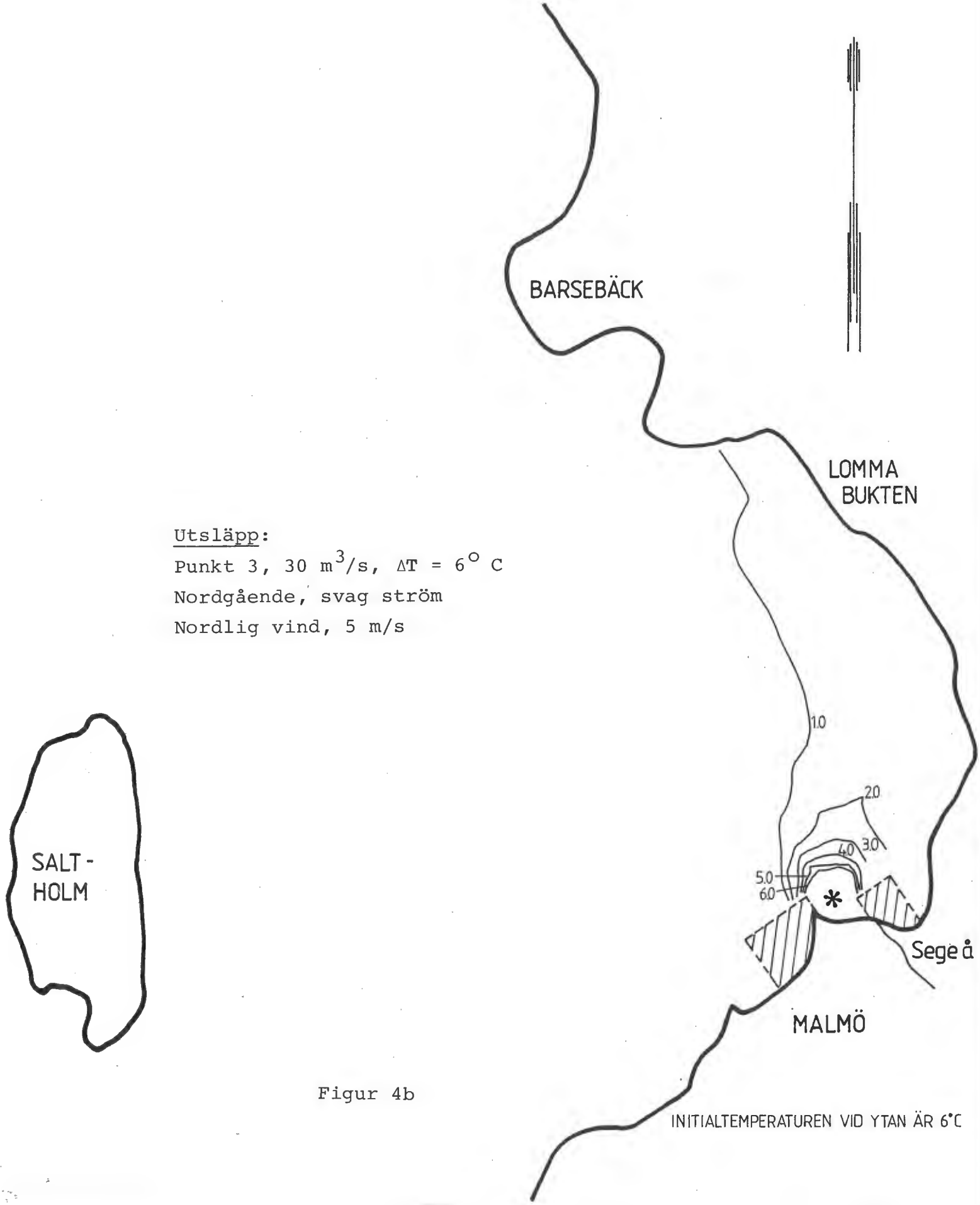
Figur 2 Område över vilket strömmodellen applicerats.



Figur 3 Lägen för strömmätningar med registrerande instrument.

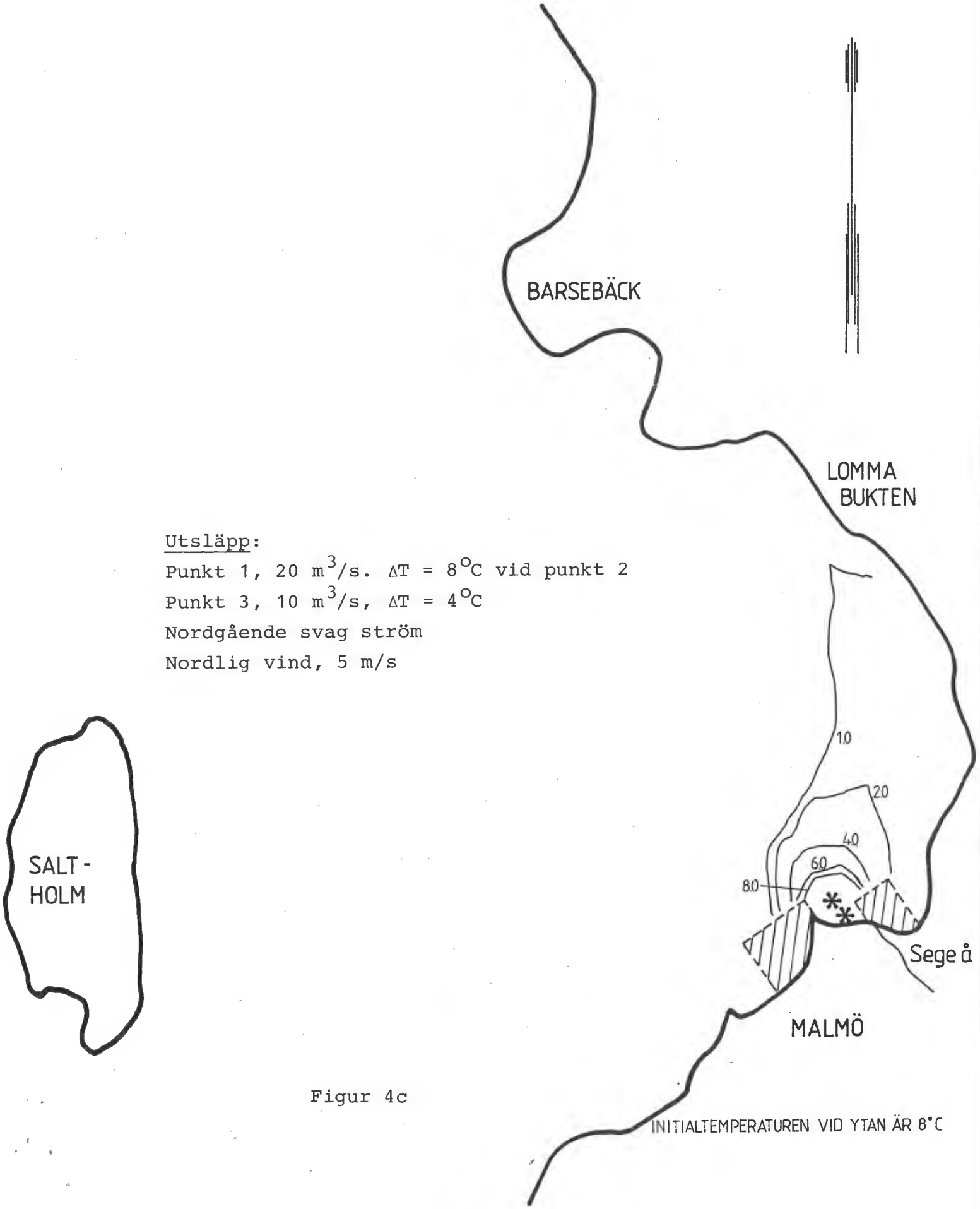


Figur 4a
Nordgående, svag ytström
Nordlig (från norr) vind 5 m/s.



Utsläpp:
Punkt 3, 30 m^3/s, $\Delta T = 6^{\circ}$ C
Nordgående, svag ström
Nordlig vind, 5 m/s

Figur 4b



Utsläpp:

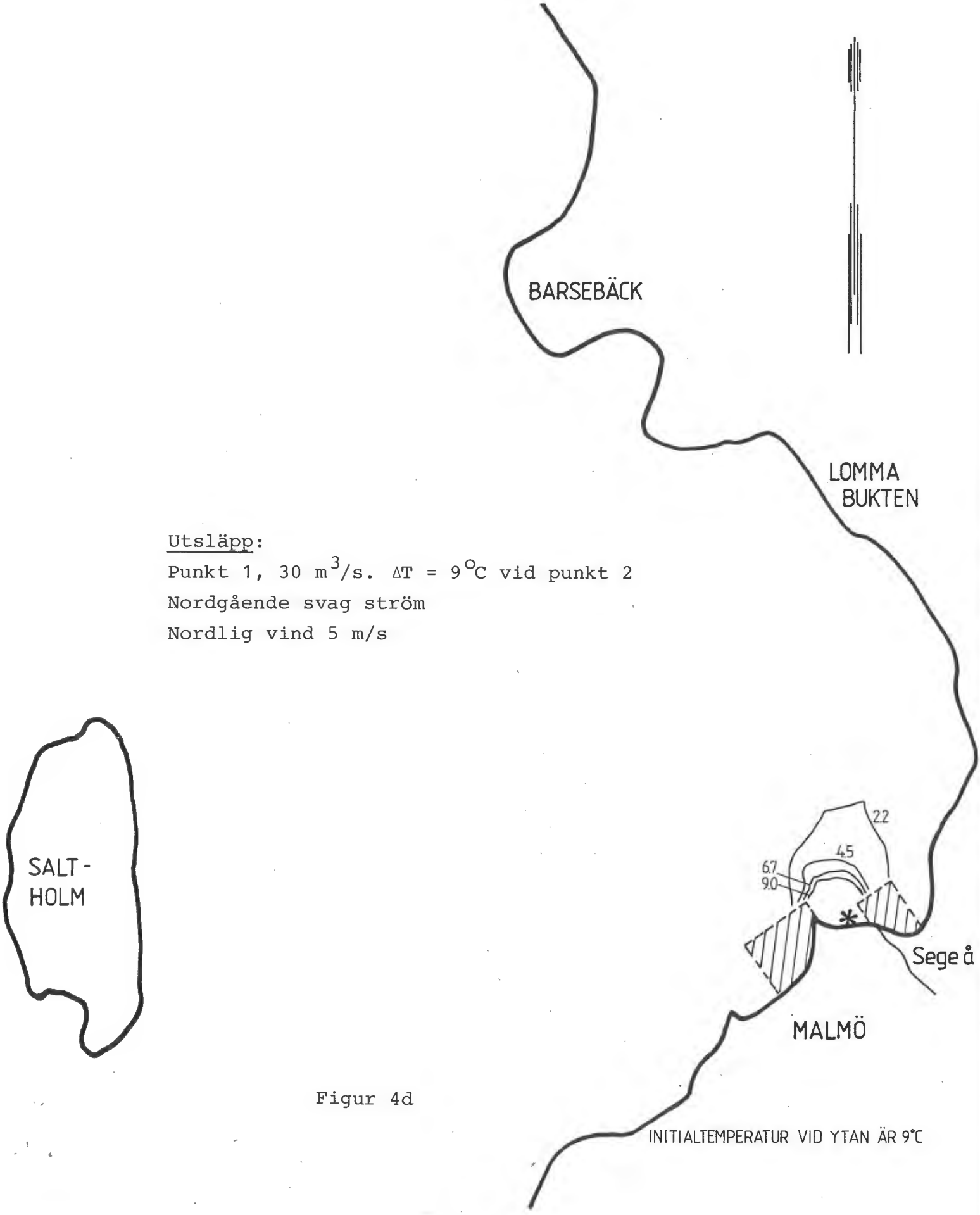
Punkt 1, 20 m^3/s. $\Delta T = 8^oC$ vid punkt 2

Punkt 3, 10 m^3/s, $\Delta T = 4^oC$

Nordgående svag ström

Nordlig vind, 5 m/s

Figur 4c



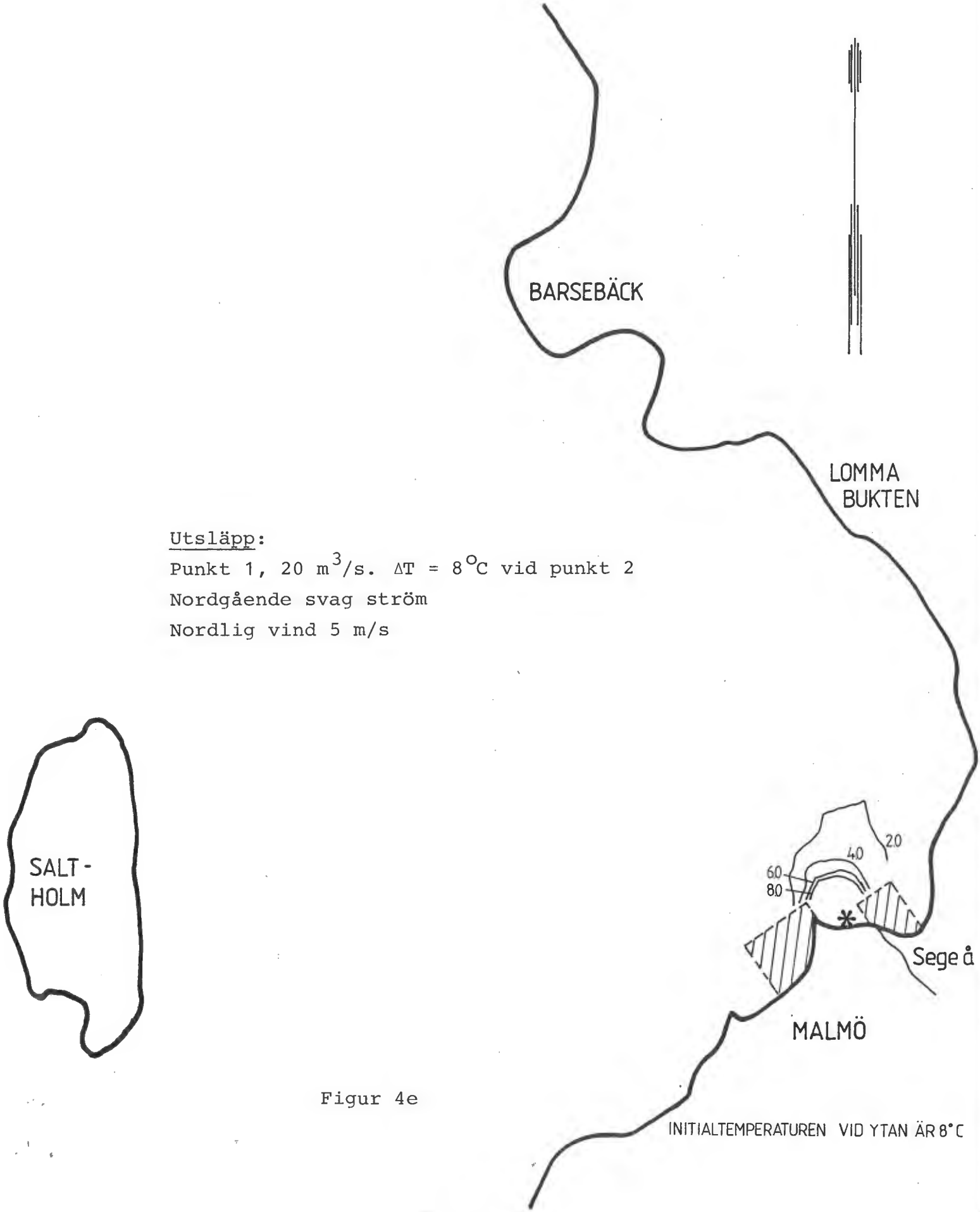
Utsläpp:

Punkt 1, 30 m^3/s. $\Delta T = 9^{o}C$ vid punkt 2

Nordgående svag ström

Nordlig vind 5 m/s

Figur 4d



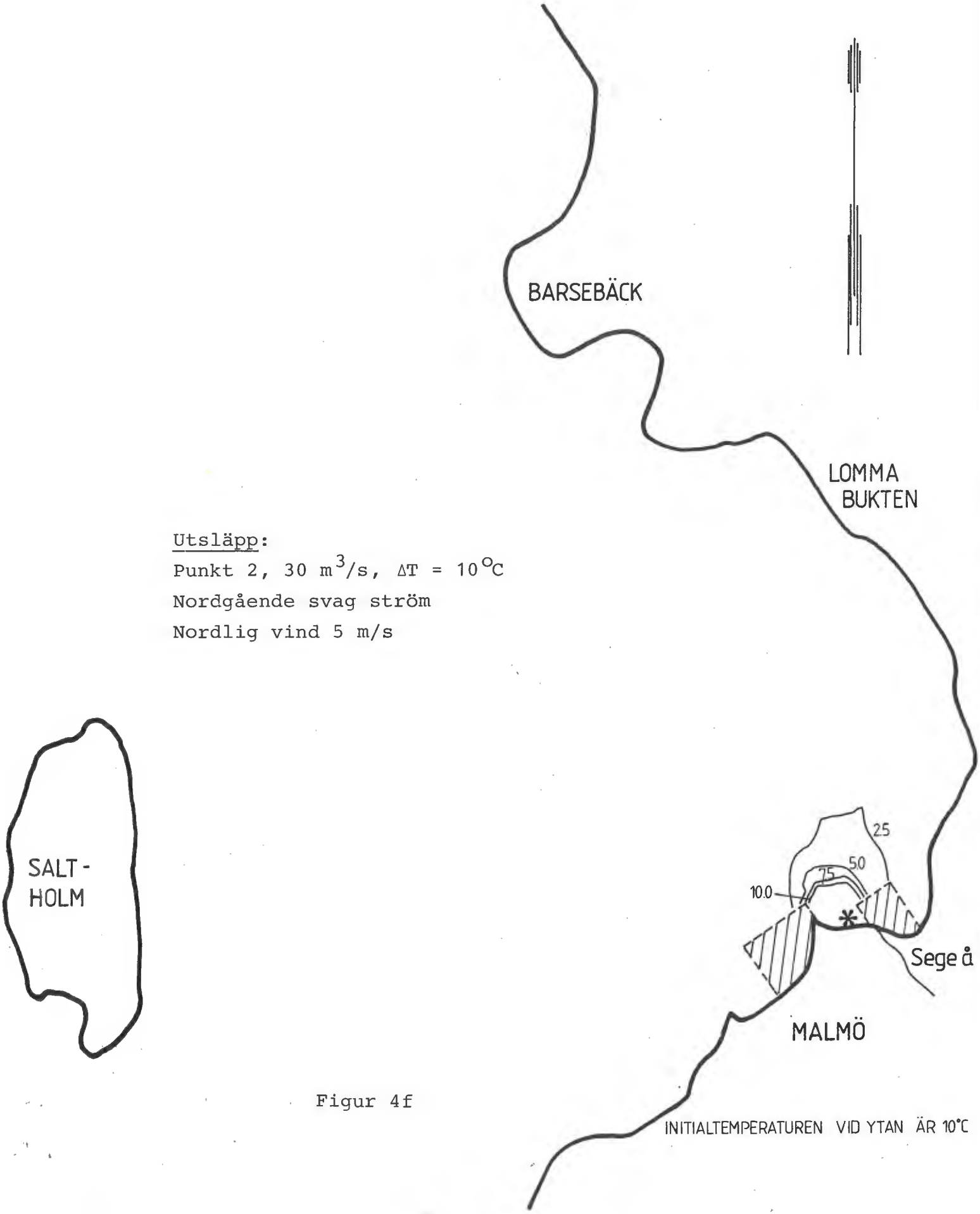
Utsläpp:

Punkt 1, 20 m^3/s. $\Delta T = 8^oC$ vid punkt 2

Nordgående svag ström

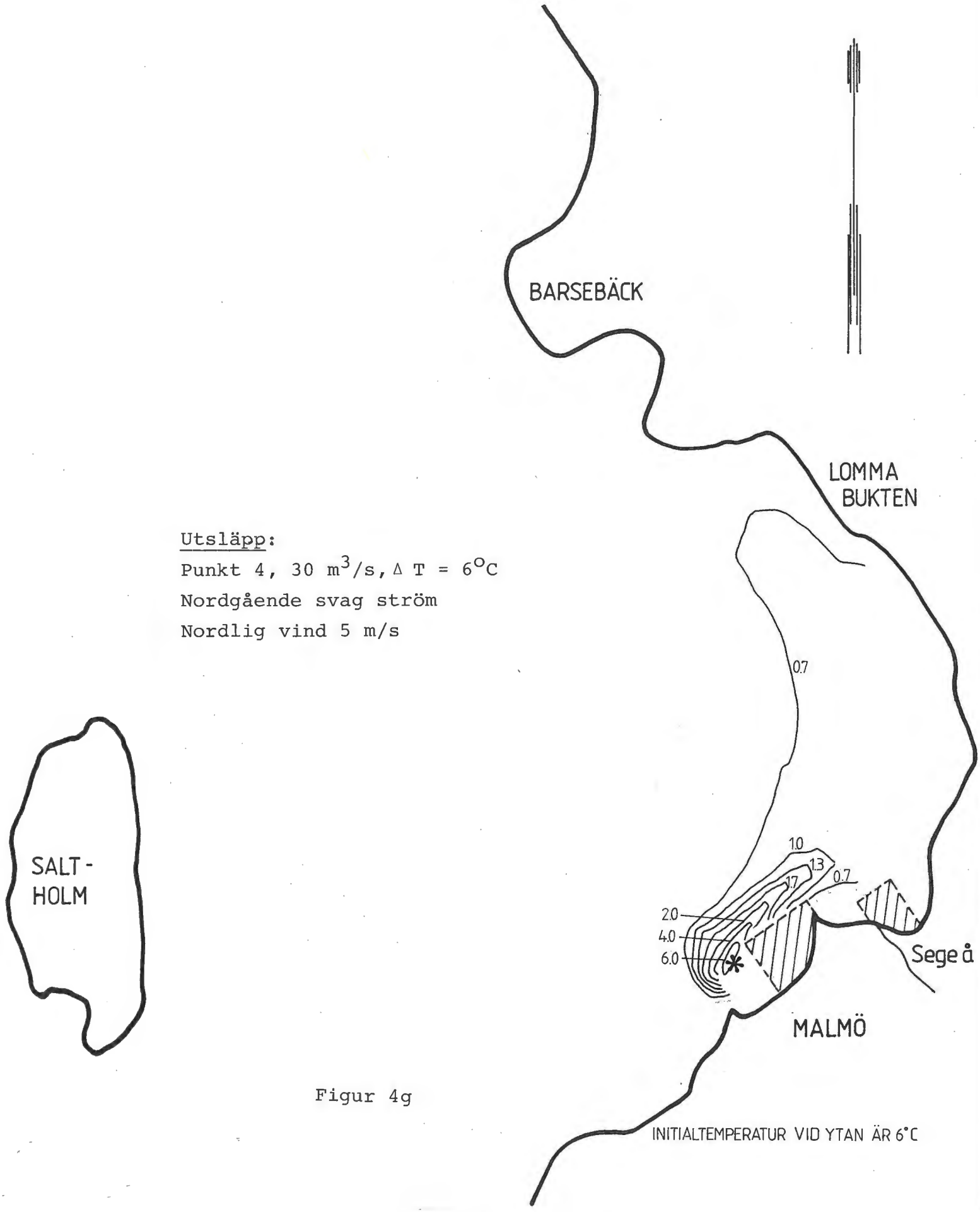
Nordlig vind 5 m/s

Figur 4e



Utsläpp:
Punkt 2, 30 m^3/s, $\Delta T = 10^oC$
Nordgående svag ström
Nordlig vind 5 m/s

Figur 4f



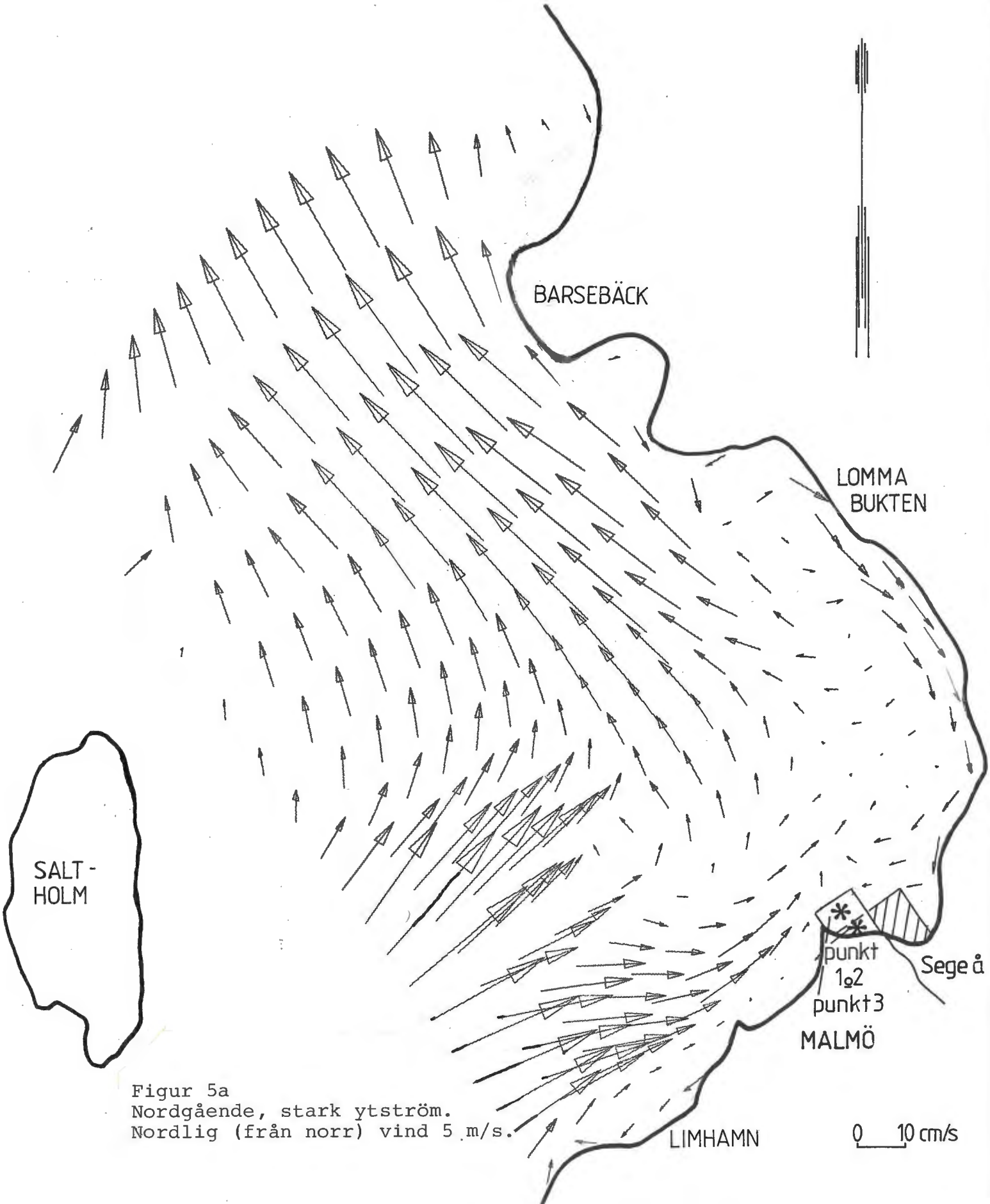
Utsläpp:

Punkt 4, 30 m^3/s, $\Delta T = 6^oC$

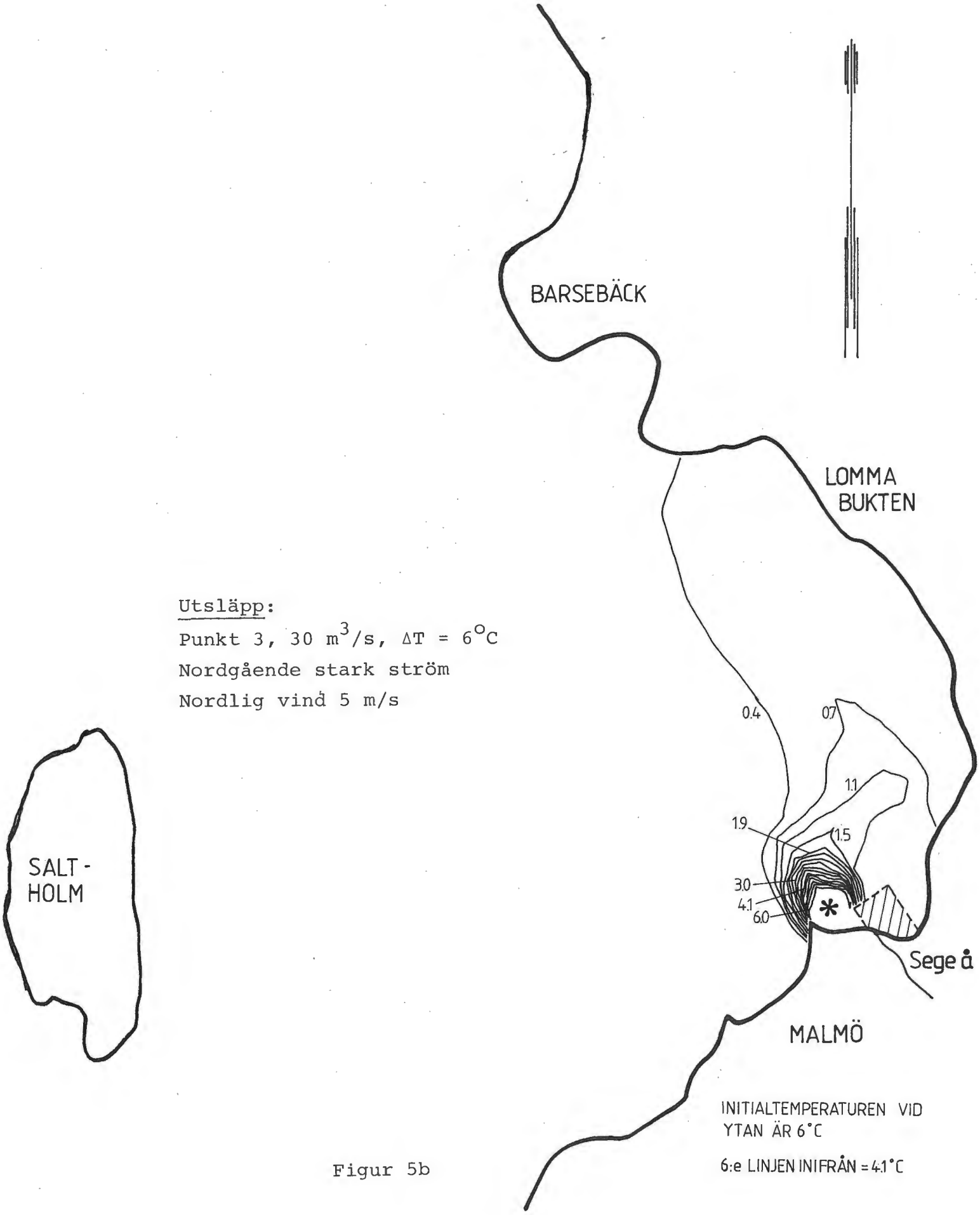
Nordgående svag ström

Nordlig vind 5 m/s

Figur 4g



Figur 5a
Nordgående, stark ytström.
Nordlig (från norr) vind 5 m/s.



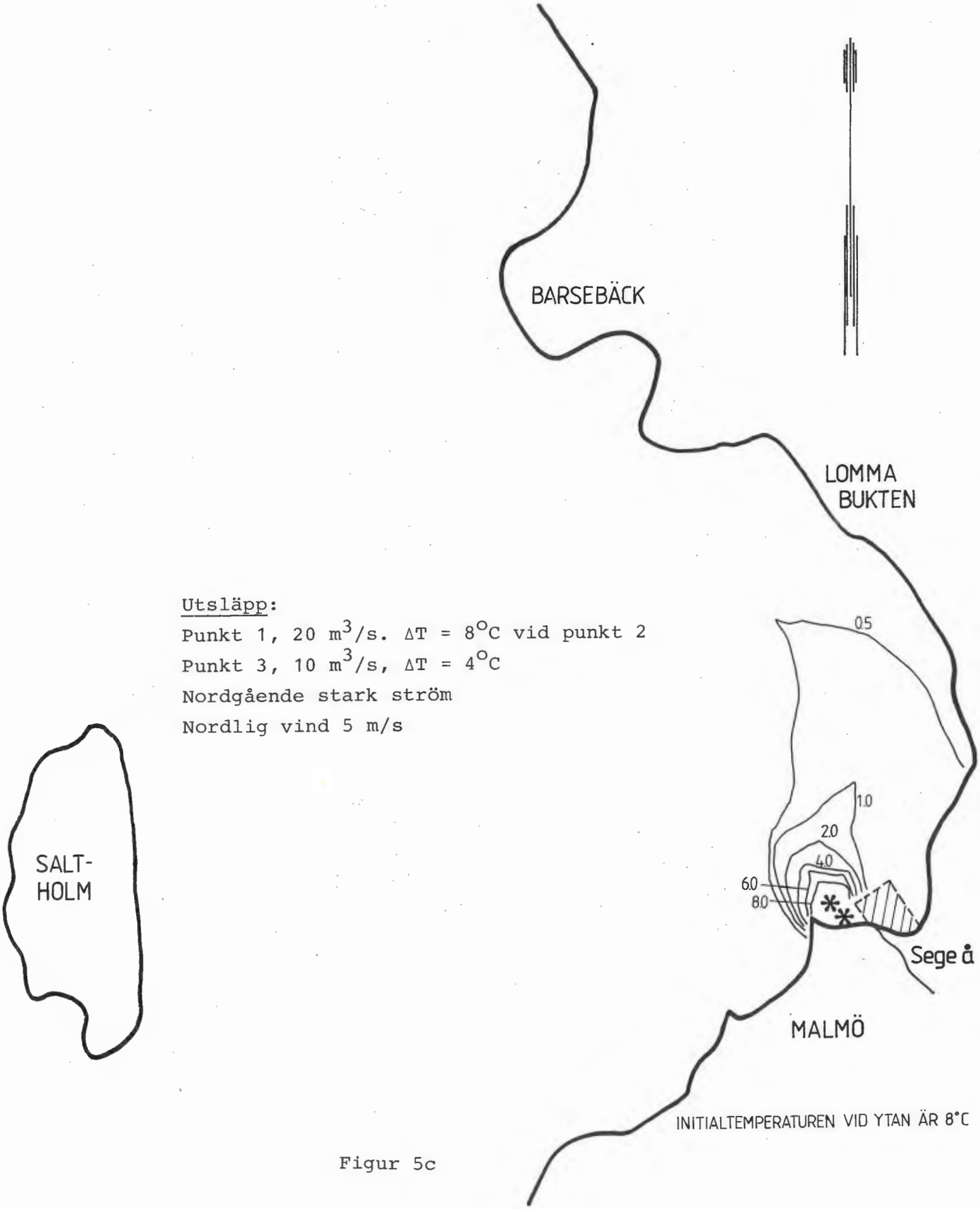
Utsläpp:

Punkt 3, 30 m^3/s, $\Delta T = 6^oC$

Nordgående stark ström

Nordlig vind 5 m/s

Figur 5b



Utsläpp:

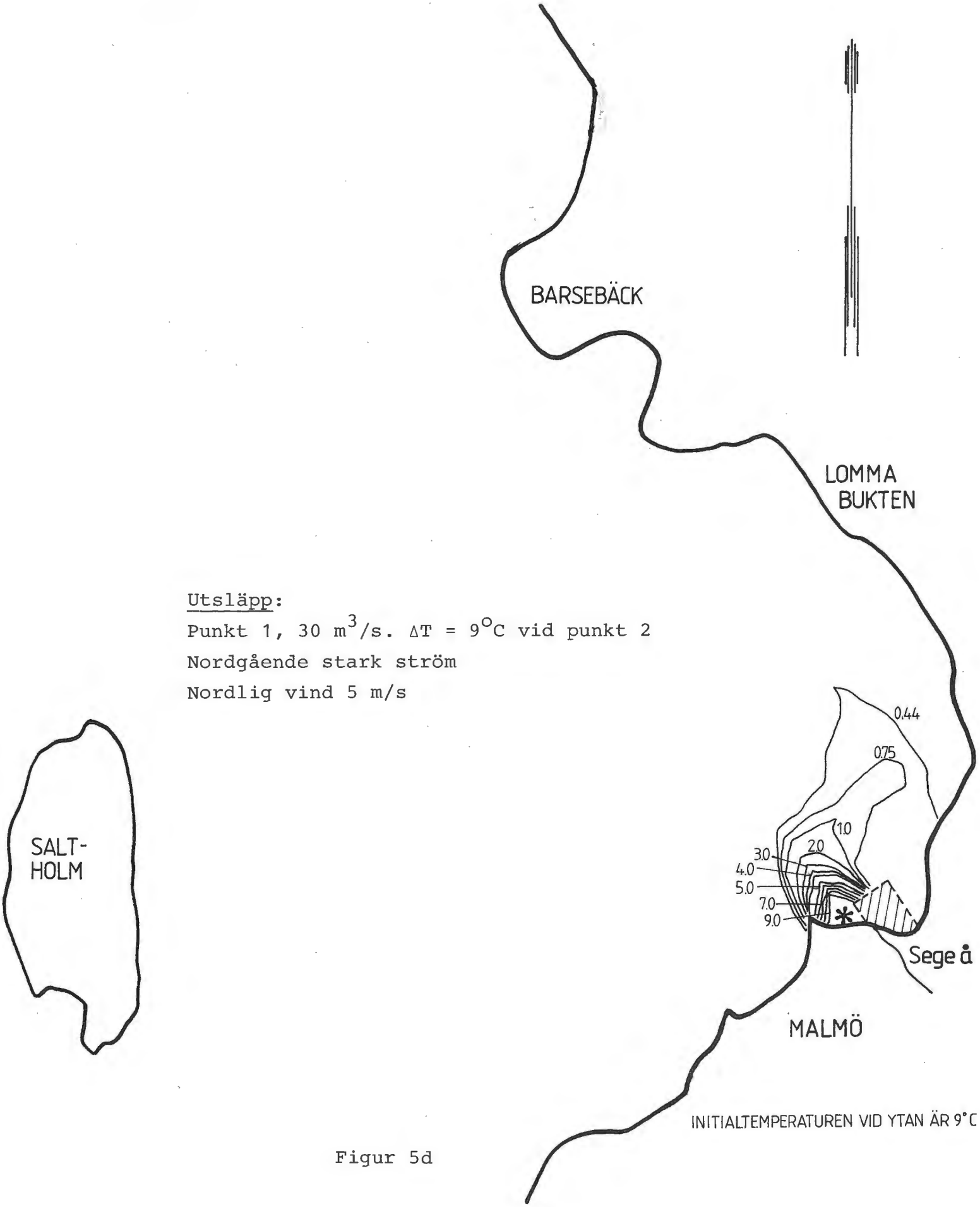
Punkt 1, 20 m^3/s. $\Delta T = 8^oC$ vid punkt 2

Punkt 3, 10 m^3/s, $\Delta T = 4^oC$

Nordgående stark ström

Nordlig vind 5 m/s

Figur 5c



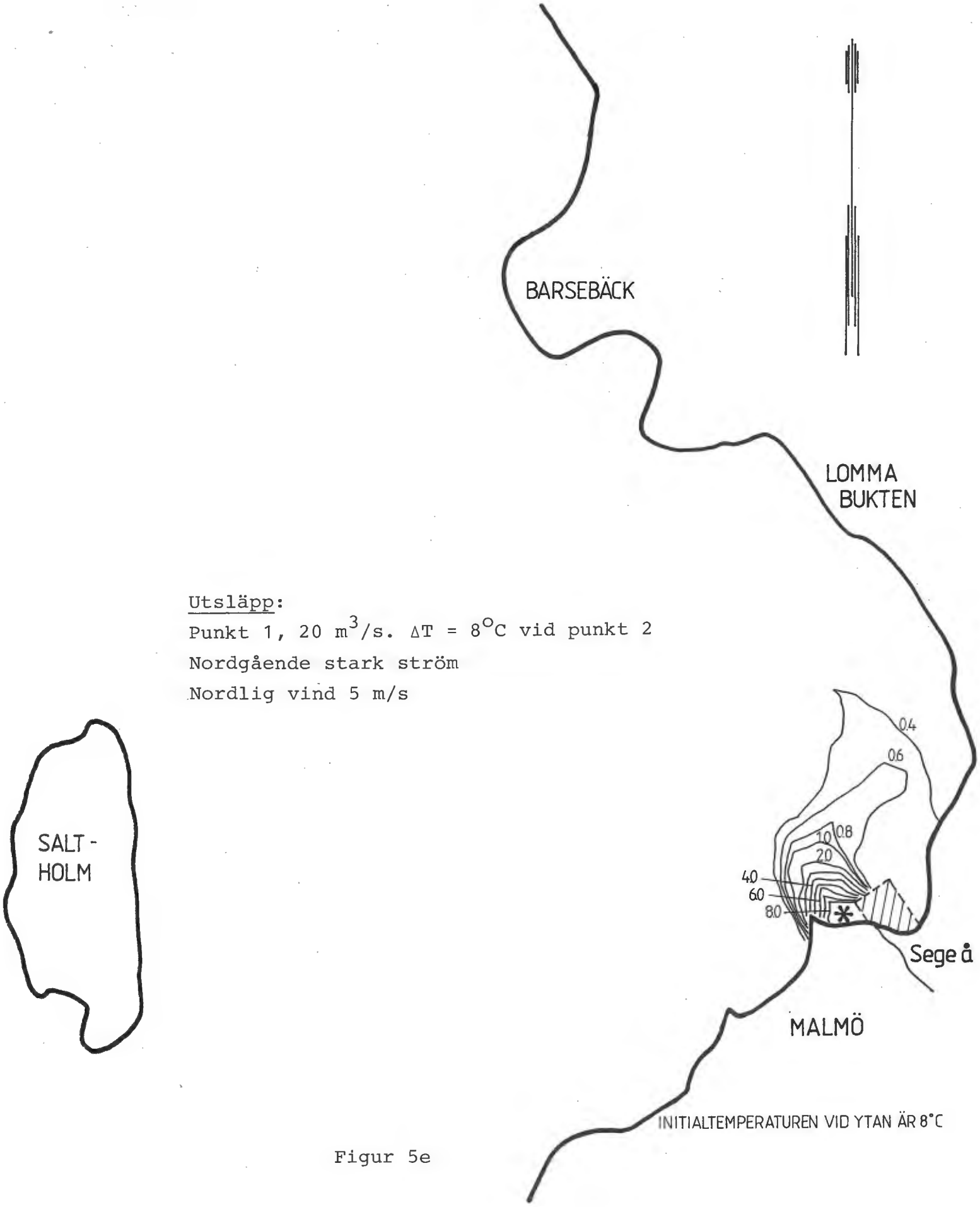
Utsläpp:

Punkt 1, 30 m^3/s. $\Delta T = 9^oC$ vid punkt 2

Nordgående stark ström

Nordlig vind 5 m/s

Figur 5d



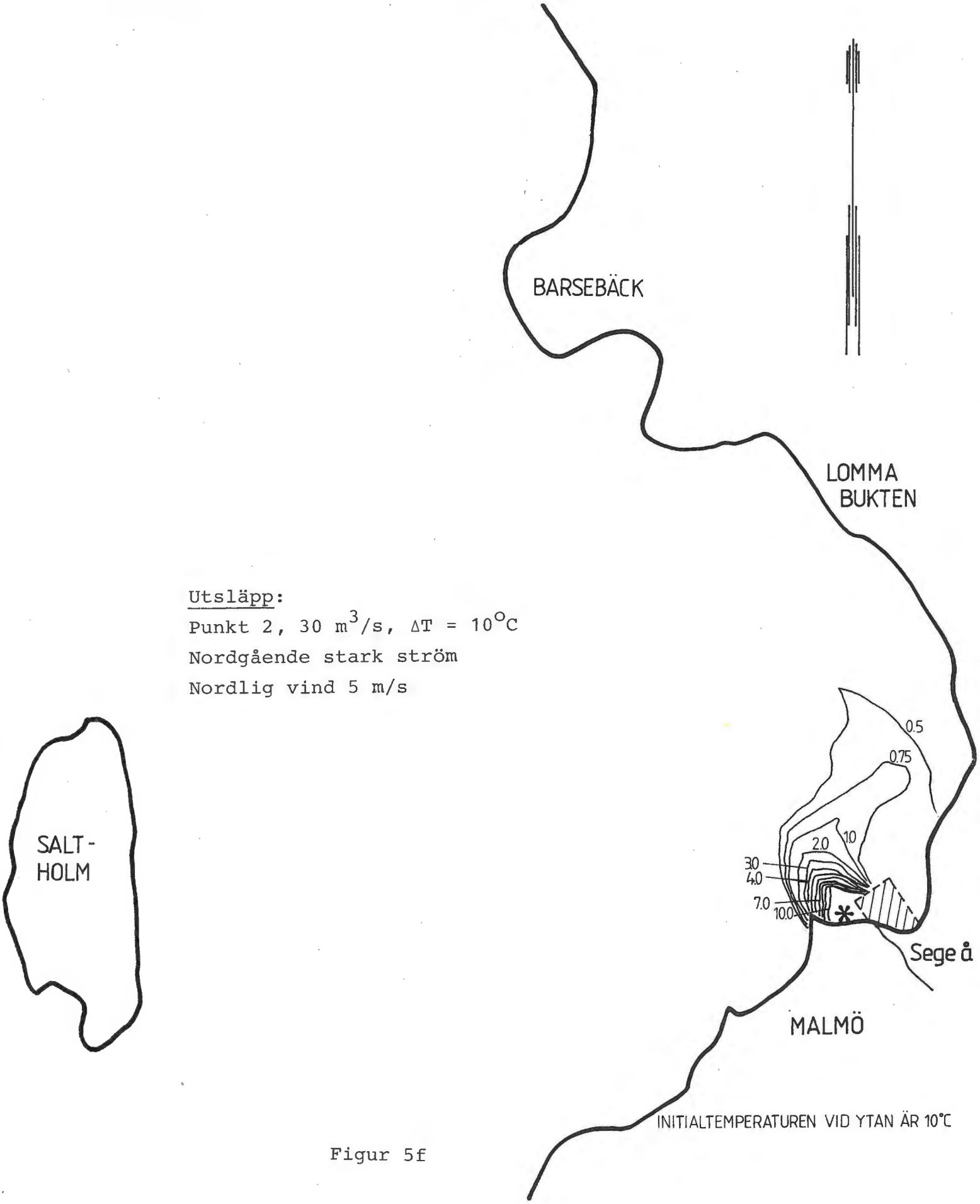
Utsläpp:

Punkt 1, 20 m^3/s. $\Delta T = 8^oC$ vid punkt 2

Nordgående stark ström

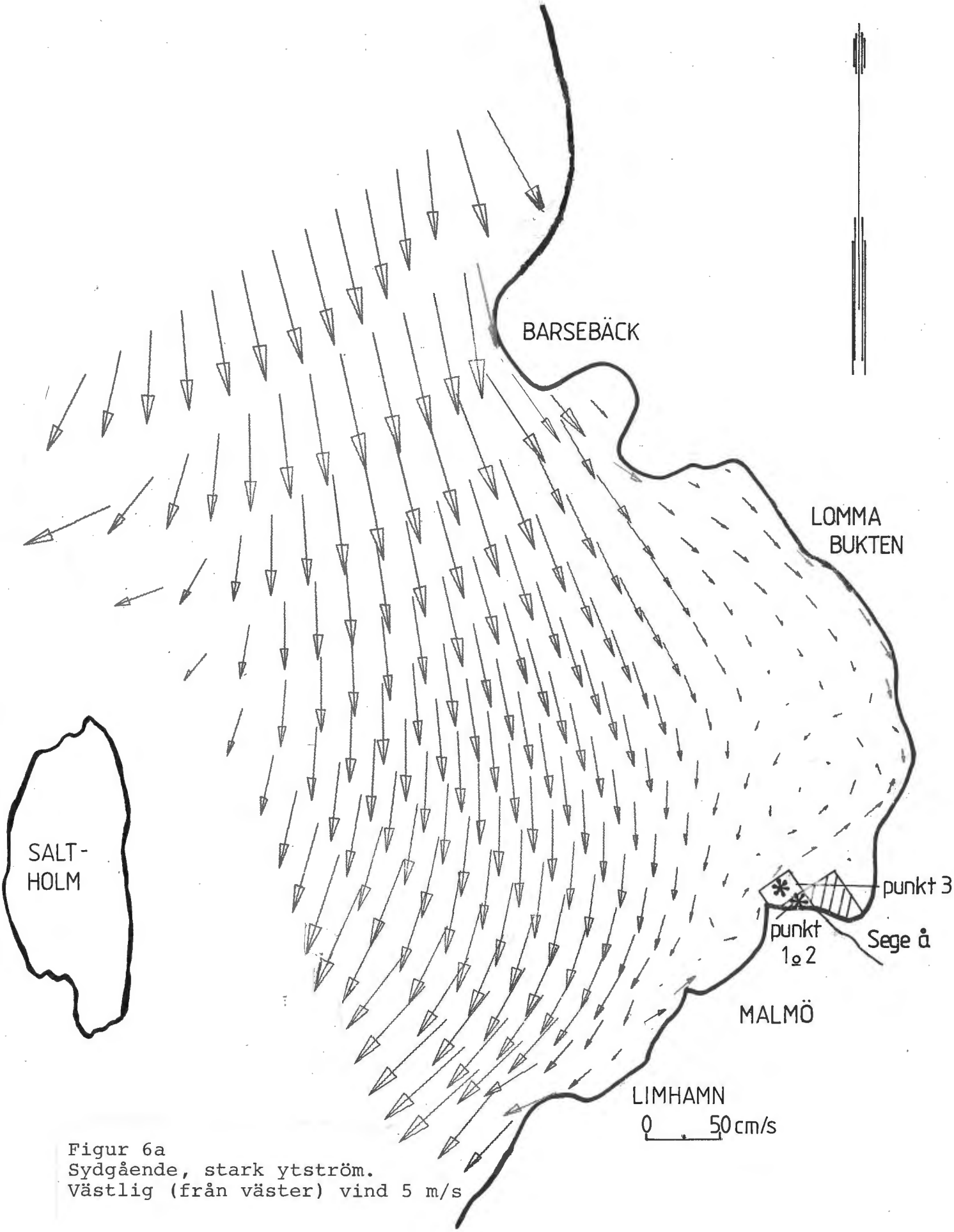
Nordlig vind 5 m/s

Figur 5e

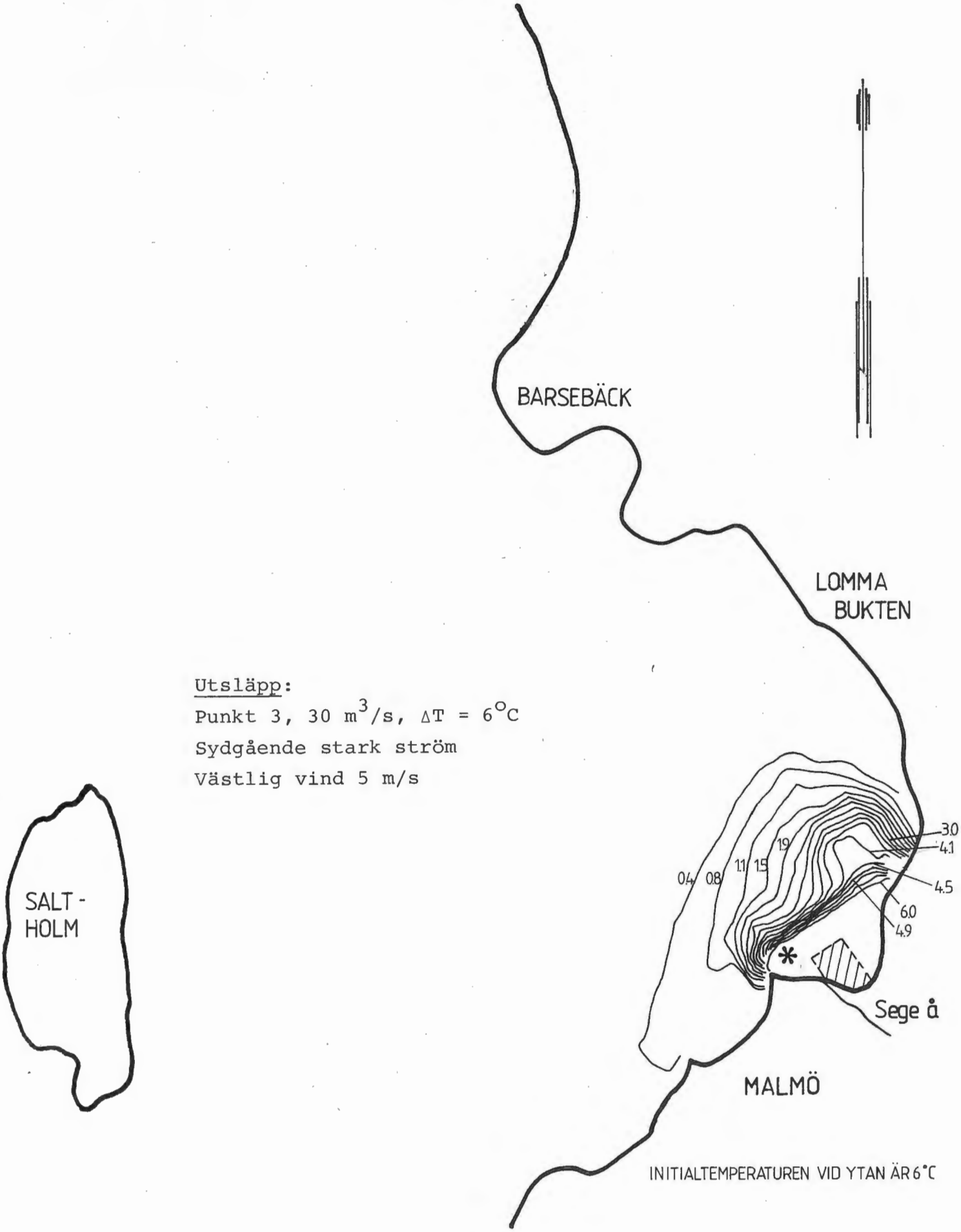


Utsläpp:
Punkt 2, 30 m^3/s, $\Delta T = 10^oC$
Nordgående stark ström
Nordlig vind 5 m/s

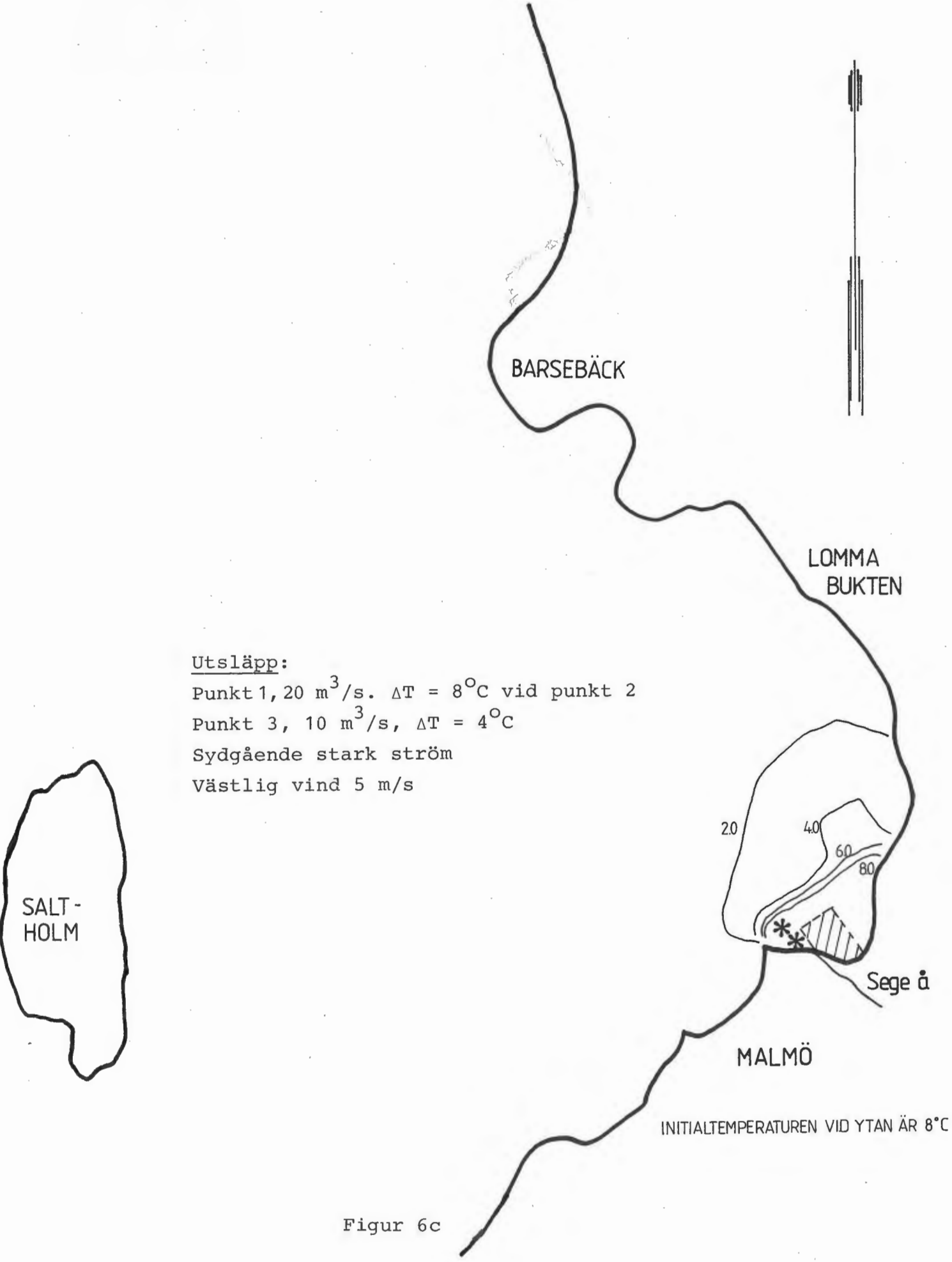
Figur 5f



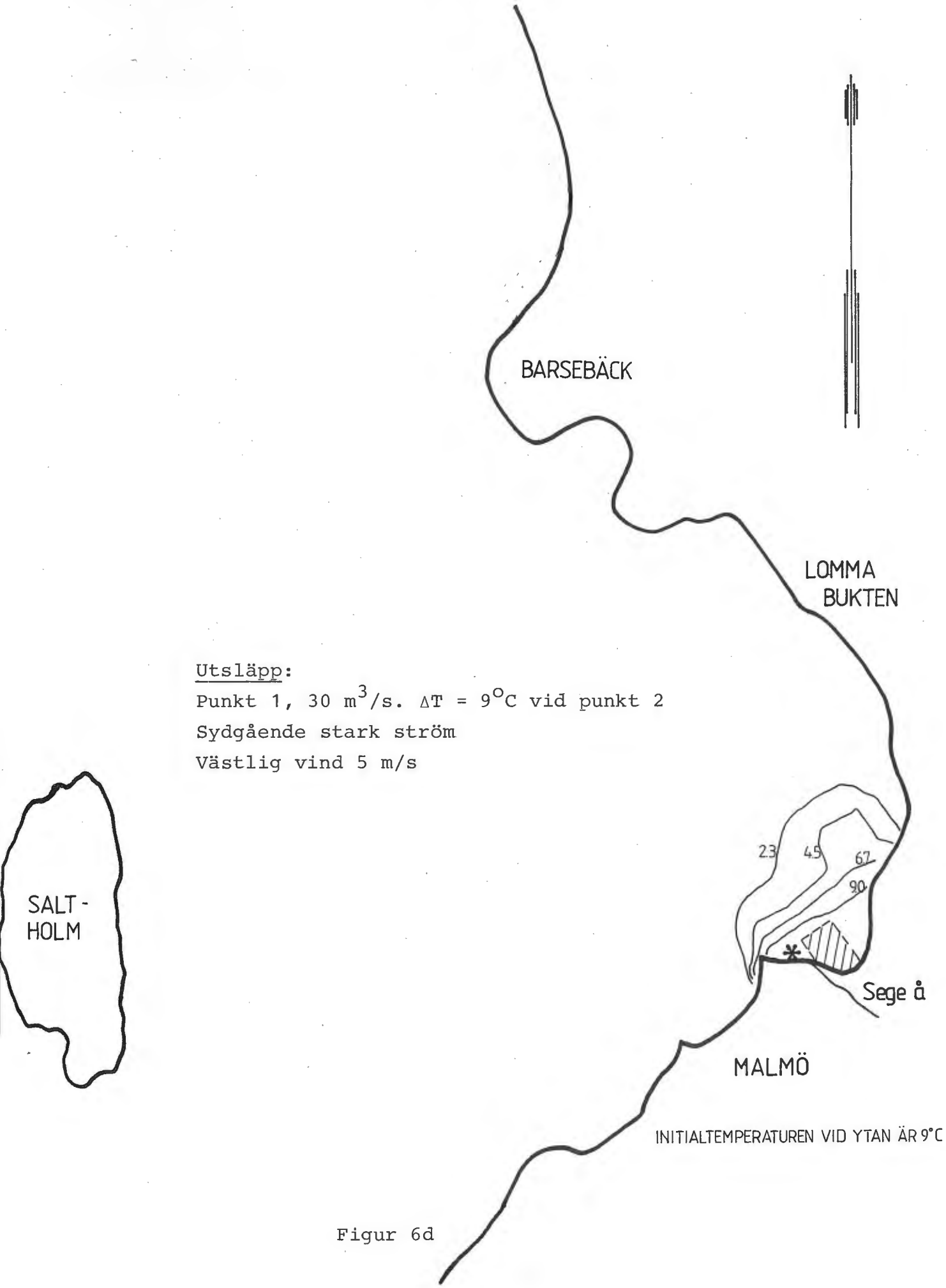
Figur 6a
Sydgående, stark ytström.
Västlig (från väster) vind 5 m/s


BARSEBÄCK
LOMMA
BUKTEN
Utsläpp:
Punkt 3, 30 m³/s, ΔT = 6°C
Sydgående stark ström
Västlig vind 5 m/s
SALT-
HOLM
0.4
0.8
1.1
1.5
1.9
3.0
4.1
4.5
6.0
4.9
Sege å
MALMÖ
INITIALTEMPERATUREN VID YTAN ÄR 6°C

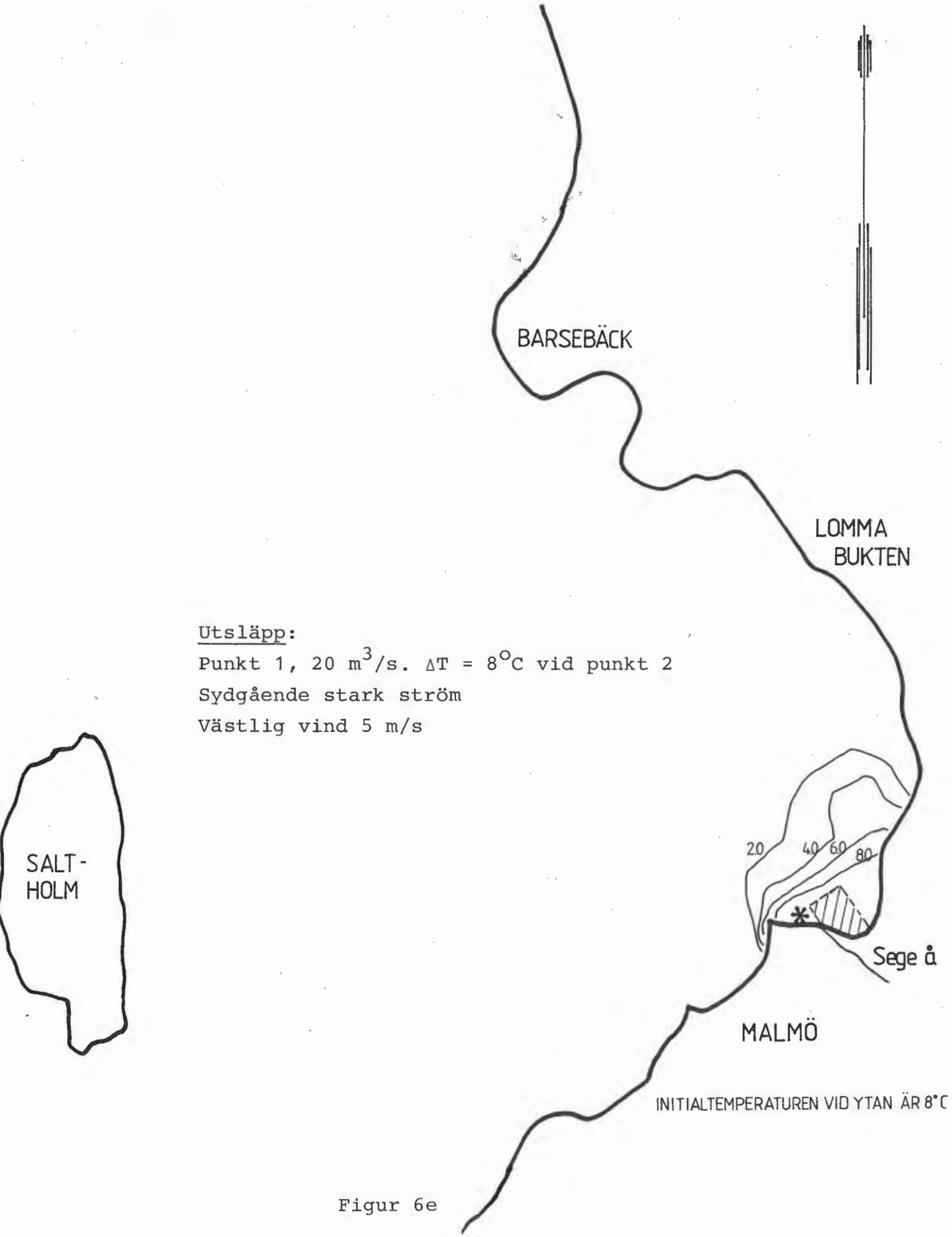
Figur 6b


BARSEBÄCK
LOMMA
BUKTEN
Utsläpp:
Punkt 1, 20 m³/s. ΔT = 8°C vid punkt 2
Punkt 3, 10 m³/s, ΔT = 4°C
Sydgående stark ström
Västlig vind 5 m/s
2.0
4.0
6.0
8.0
SALT-
HOLM
Sege å
MALMÖ
INITIALTEMPERATUREN VID YTAN ÄR 8°C

Figur 6c

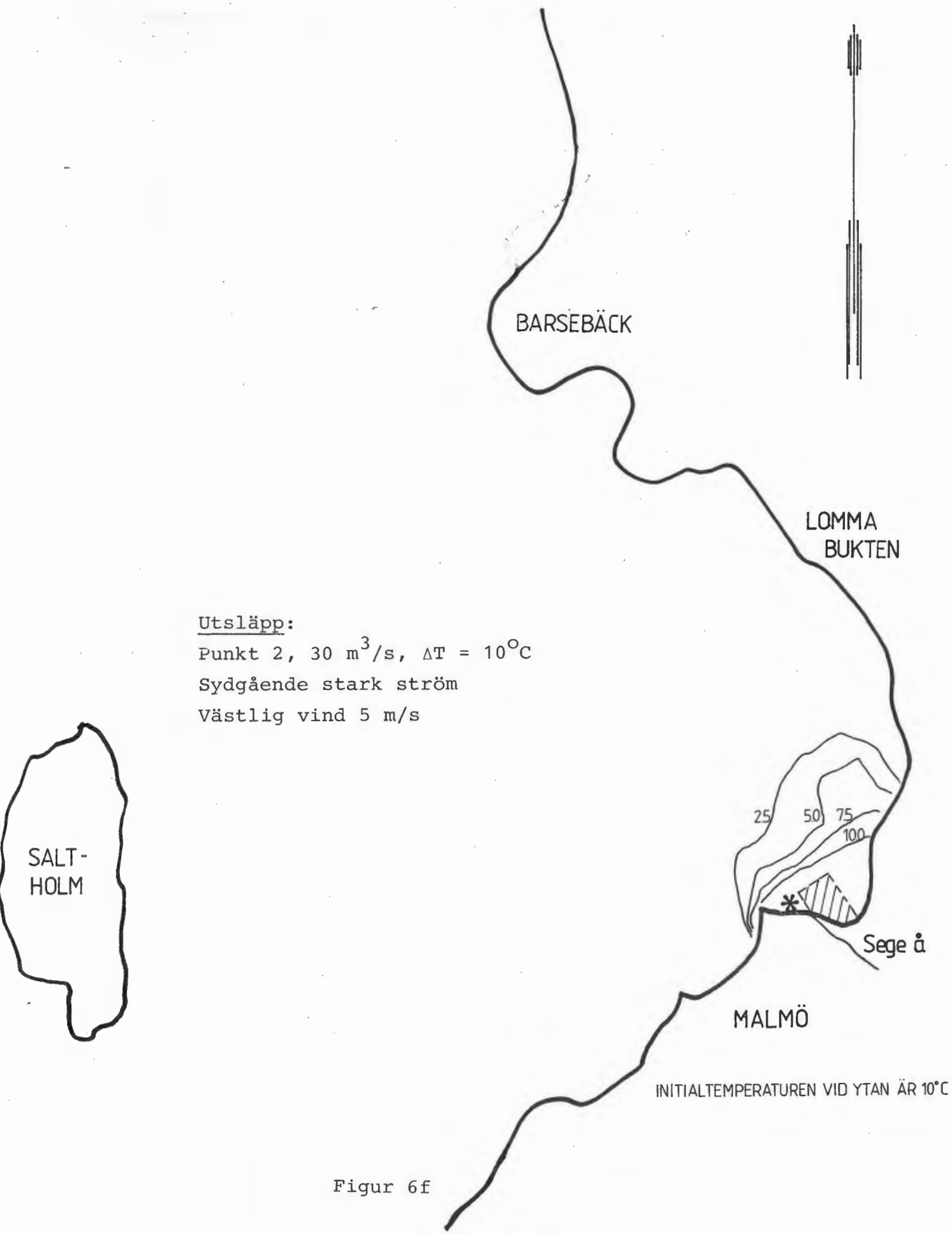

BARSEBÄCK
LOMMA
BUKTEN
Utsläpp:
Punkt 1, 30 m³/s. ΔT = 9°C vid punkt 2
Sydgående stark ström
Västlig vind 5 m/s
SALT-
HOLM
2.3
4.5
6.7
9.0
Sege å
MALMÖ
INITIALTEMPERATUREN VID YTAN ÄR 9°C

Figur 6d



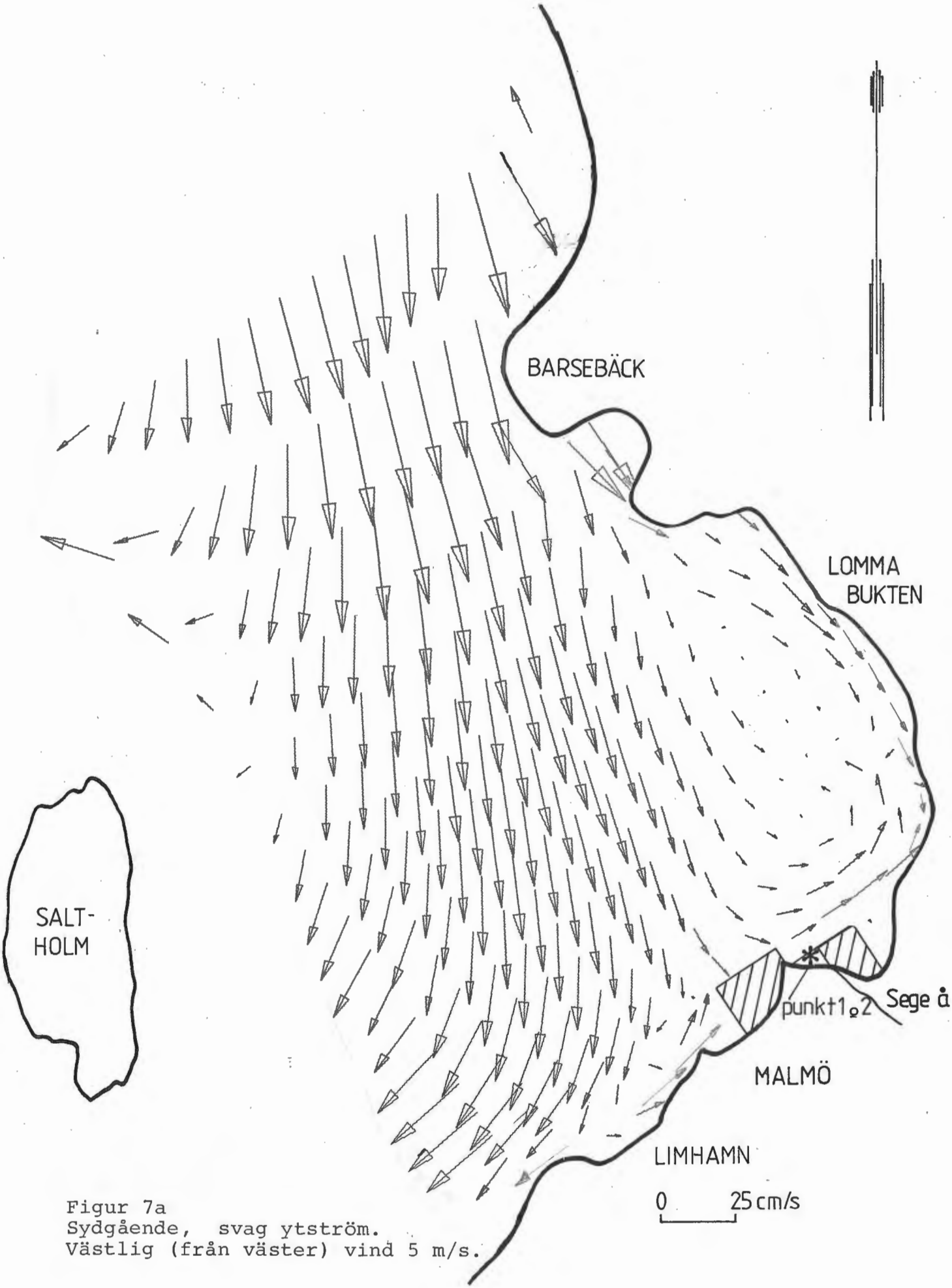
Utsläpp:
Punkt 1, 20 m^3/s. $\Delta T = 8^oC$ vid punkt 2
Sydgående stark ström
Västlig vind 5 m/s

Figur 6e

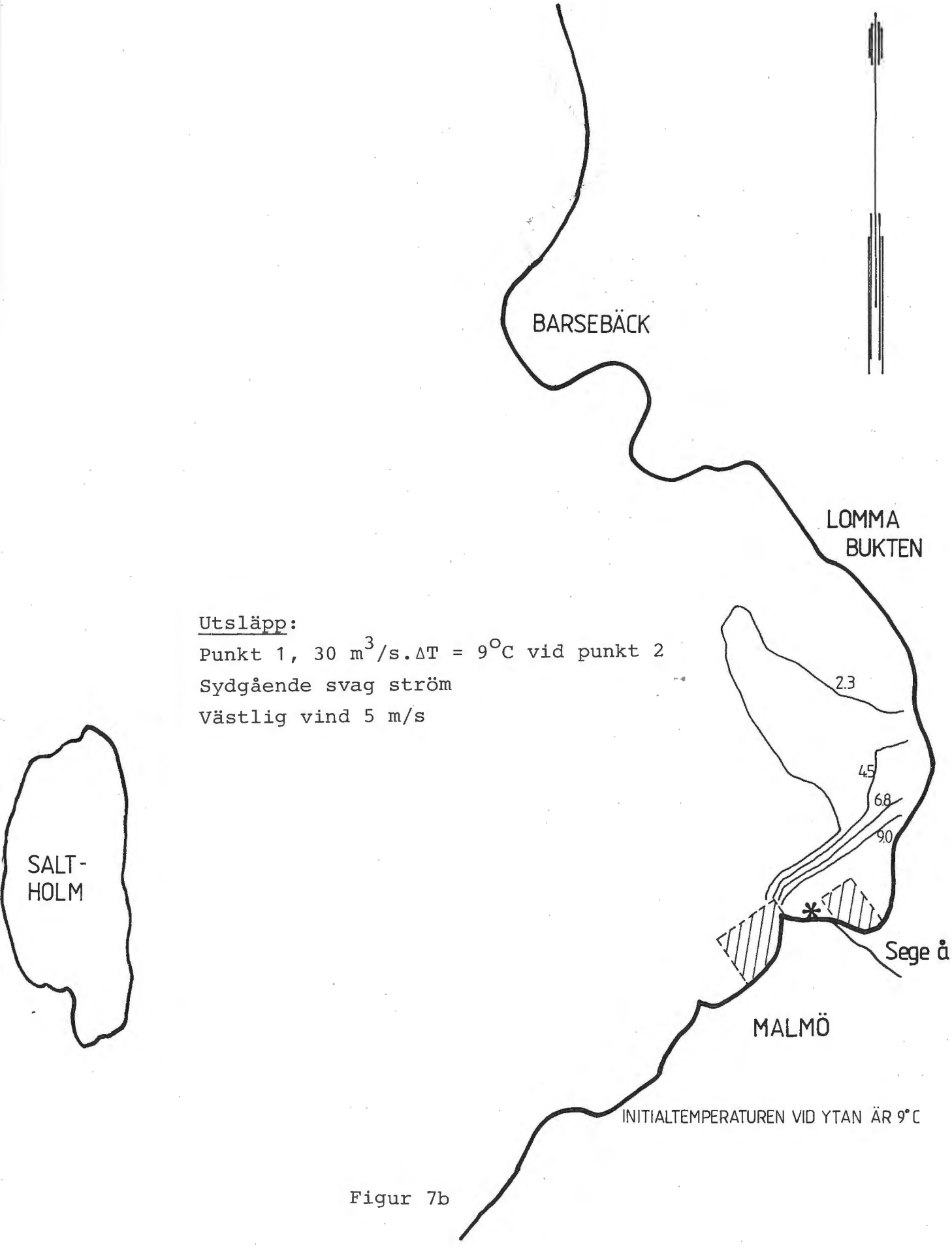


Utsläpp:
Punkt 2, 30 m^3/s, $\Delta T = 10^oC$
Sydgående stark ström
Västlig vind 5 m/s

Figur 6f

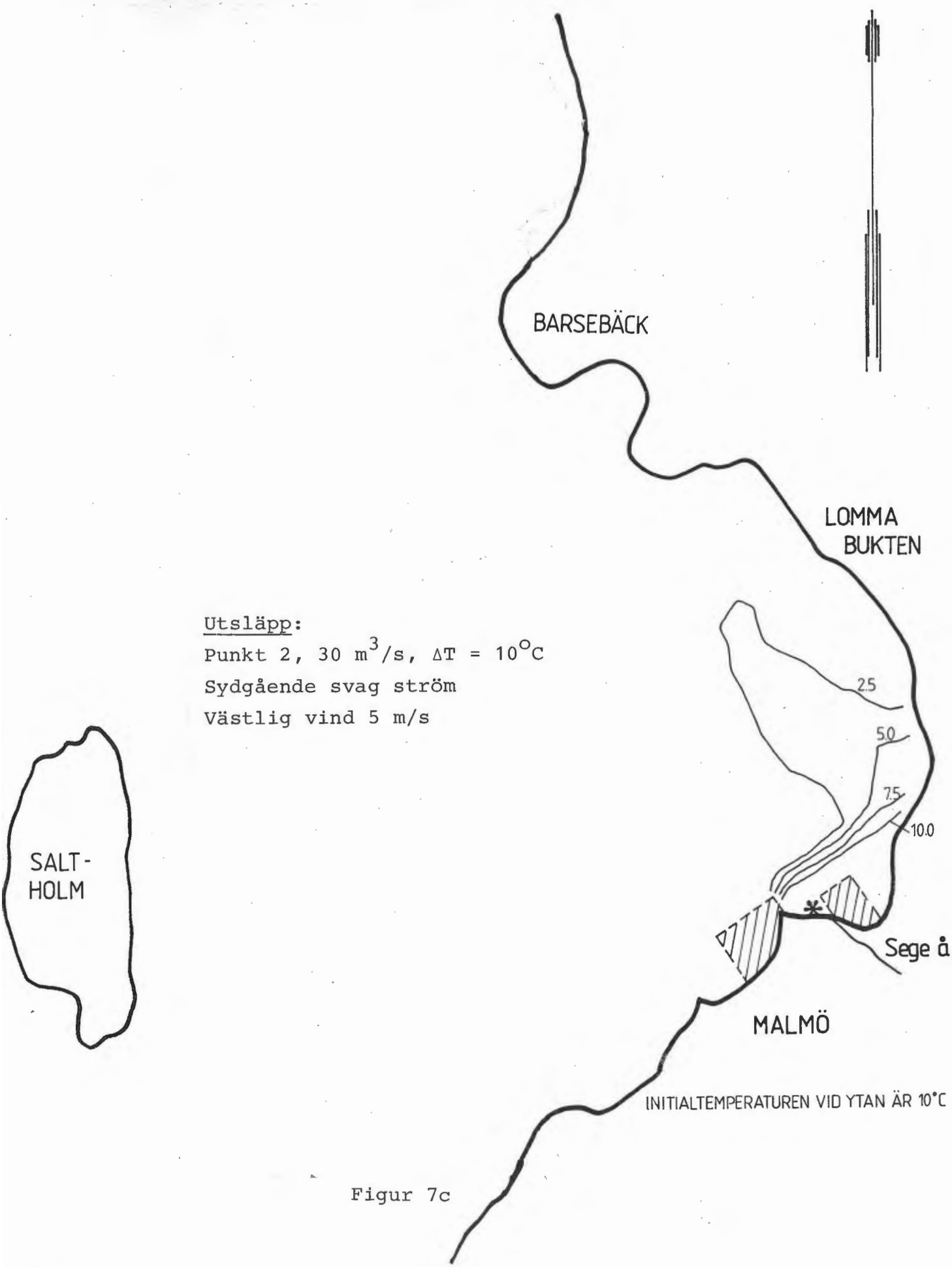


Figur 7a
Sydgående, svag ytström.
Västlig (från väster) vind 5 m/s.



Utsläpp:
Punkt 1, 30 m^3/s. $\Delta T = 9^oC$ vid punkt 2
Sydgående svag ström
Västlig vind 5 m/s

Figur 7b



Utsläpp:
Punkt 2, 30 m^3/s, $\Delta T = 10^oC$
Sydgående svag ström
Västlig vind 5 m/s

Figur 7c