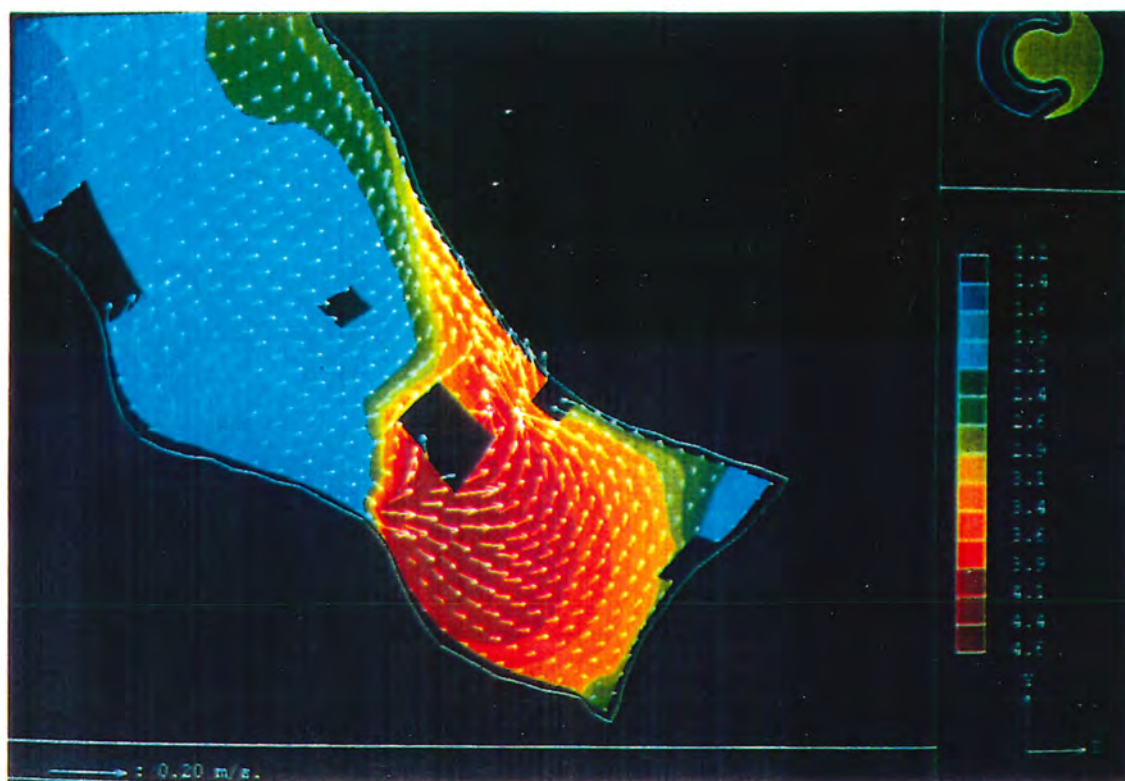




BROFJORDENS KRAFTSTATION

KYLVATTENSPRIDNING I HANNEVIKEN

Oceanografi nr 44, 1990

BROFJORDENS KRAFTSTATION

KYLVATTENSPRIDNING I HANNEVIKEN

Jan Andersson
Björn Becker
Robert Hillgren

Sammanfattning

Vattenfall planerar att lokalisera en restoljeförgasningsanläggning intill Scanraff vid Brofjorden. Anläggningens kylvattenutsläpp beräknas till 7,5 m³/s med en initiell övertemperatur på cirka 10 °C. Alternativa utsläppspunkter är söder om Hanneviksholmen och södra Trommekilen.

En frågeställning är huruvida man genom lämpligt val av utsläppsarrangemang kan få en gynnsam uppvärmning av Hanneviken och därigenom förbättra förutsättningarna för en produktion av växtplankton. Tillgången på växtplankton är en förutsättning för en tänkt ostronodling norr om Hanneviksholmen.

SMHI har fått i uppdrag av Vattenfall Utveckling AB att utreda kylvattensspridningen för två alternativa utsläpp i Hanneviken. Arbetet har omfattat simuleringar av cirkulationsförhållandena och kylvattensspridningen samt fältundersökningar. Fältmätningarna har syftat till dels att verifiera modellens resultat dels att få en uppfattning om hur stor del av året man kan förvänta en gynnsam uppvärmning av Hanneviken.

- Uppvärmningen av Hanneviken är starkt beroende av vindens riktning. För ostlig vind är temperaturhöjningen mindre än 2 °C, medan den är 3 - 5 °C för sydostlig eller sydvästlig vind.
- Uppvärmningen av vattnet längs kusten nordost om Kågarna blir 2 - 3 °C.
- Utsläppsalternativ 1 ger en något högre uppvärmning.
- Vindar från SE över S till W är mest gynnsamma för en inström väster om Hanneviksholmen och därmed en spridning av kylvatten in mot Hanneviken. Andelen av dessa vindar under året uppskattas till cirka 50 %.

Brofjordens kraftstation - cirkulationsförhållanden och kylvattenspridning i Hanneviken och Trommekilen

Vattenfall planerar att lokalisera en restoljeförgasningsanläggning intill Scanraff i Brofjorden. Intag av kylvatten sker i yttre Brofjorden. Kylvattenmängden är cirka 7.5 m³/s och temperaturförhöjningen vid utsläpp cirka 10 °C. Alternativa utsläppspunkter är söder om Hanneviksholmen och södra Trommekilen. Utsläppen sker vid ett djup av cirka 2,5 meter.

Frågeställningen är huruvida man genom lämpligt val av utsläppsarrangemang kan få en gynnsam uppvärmning av Hanneviken. En förhöjd temperatur av Hanneviken gynnar produktionen av växtplankton, vilka utgör föda för de ostron som eventuellt skall odlas norr om Hanneviksholmen.

Strömmarna i Hanneviken är till största delen vinddrivna. Området är mycket grunt och vattenutbytet begränsat. För att bedöma uppvärmningen av Hanneviken är strömmens riktning vid utsläppspunkten av stor betydelse, d v s hur ofta strömmen är riktad in mot Hanneviken.

SMHI har fått i uppdrag av Vattenfall Utveckling AB att utreda cirkulationsförhållandena och kylvattnets spridning i Hanneviken och södra Trommekilen.

Cirkulationsförhållandena har simulerats för fyra olika vindförhållanden. För verifiering har fältmätningar av ström- och vindförhållandena utförts cirka 3 månader under sommaren - 90. Kylvattnets spridning har studerats för två utsläppsalternativ i de fyra vindriktningarna. Ingen hänsyn har tagits till densitetseffekter. Det numeriska modellarbetet har utförts av Urban Svensson, Computer-aided Fluid Engineering AB, Norrköping.

Områdesbeskrivning

Det aktuella undersökningsområdet är den del av Brofjorden som kallas Trommekilen och dess inre del Hanneviken. Området är cirka 2 km långt i NW-SE riktning och cirka 0,5 - 0,7 km brett (se kartan, sid 4). Där Trommekilen övergår i Hanneviken ligger öarna Kågarna och Hanneviksholmen. På ömse sidor är terrängen hög och kuperad med branta stränder.

Trommekilens djupare delar ligger ganska öppet och utgör Brofjordens centrala delar. Djupet varierar mellan 15 och 22 meter. Vattenutbytet domineras av språngskiktets vertikala variationer. Utbytet som följd av tidvatten och interna svängningar är mer begränsat ju längre in i fjordsystemet man befinner sig.

I höjd med Hanneviksholmen övergår Trommekilen i Hanneviken och en markant ändring sker här av bottendjupet, från cirka 10 meter till cirka 1 meter. I den mycket grunda Hanneviken domineras cirkulationen av den lokala vinden.

De oceanografiska förhållandena i undersökningsområdet har tidigare beskrivits i "Oceanografiska förhållanden i Brofjorden i samband med kylvattenutsläpp i Trommekilen" av Cecilia Ambjörn, SMHI Oceanografi nr 32, 1989.

Lysekil

Fältmätningar

Studien av cirkulationsförhållandena och kylvattnets spridning bygger på simulering av olika typfall med hjälp av numerisk modell. För att verifiera och bedöma modellens resultat samt att välja ut dessa fall har vi kompletterat utredningen med fältmätningar av ström- och vindförhållandena. Härvid har det varit av stor betydelse att få en uppfattning om sambandet mellan in- och utström i Hanneviken och den lokala vinden.

Vid positionerna 'SW' och 'NE' har strömmätare, typ Sensordata, varit förankrade under perioden 1990-06-14--09-14. Botten-djupet är 6 meter och mätarna har registrerat strömmens riktning och hastighet på 3 meters djup var 24:e minut under perioden (se figur 1, sid 7).

Service och utbyte av instrument har skett 90-07-13 och 90-08-14. Vid dessa tillfällen har beväxning av mätarna iakttagits.

I samband med mätarservice har kompletterande strömmätningar utförts med fast förankrade pendelströmmätare och drivande strömkors.

Den lokala vinden har under samma period kontinuerligt registrerats genom installation av vindmätare på Kågarna. Cirka 2 månaders vindobservationer har sedan kunnat jämföras med förhållandena vid Måseskär.

Strömförhållandena

Strömhastigheten under de tre sommarmånaderna har vid mätplatserna till övervägande del varit lägre än 5 cm/s - flertalet av dessa under instrumentets tröskelvärde, d v s 2 cm/s. Så svaga strömmar kan möjligen vara normalt för sommarperioden men förmodligen inte för året som helhet. När man ser det cirkulationsmönster som den numeriska modellen ger, kan man förmoda att en placering av strömmätarna en aning närmare strandzonen, skulle kunna ge något högre strömhastigheter - upp till cirka 10 cm/s då och då.

Med det mycket begränsade strömmaterial som därför finns tillgängligt har vi plockat ut samtliga tillfällen med strömhastigheter större än 5 cm/s och kopplat dessa till den samtidigt registrerade lokala vinden. Vi har då fått följande samband mellan vinden och strömmen på ömse sidor om Hanneviksholmen (se sid 7 - 10).

- Vindar mellan SE-W är gynnsamma för en inström till Hanneviken väster om Hanneviksholmen. Vid några tillfällen observerades en motsvarande utström öster om Hanneviksholmen.
- Vid vindar omkring N sker en utström på ömse sidor om Hanneviksholmen, mitt i sunden. Som modellsimuleringarna antyder sker samtidigt en inström på ömse sidor om Hanneviken i ett smalt stråk utmed stränderna.

Resultaten från de simulerade cirkulationsmönstren och fältmätningarna tycks peka åt samma håll, nämligen att vindar mellan SE över S till W är gynnsamma för en inström väster om Hanneviksholmen. Mer om detta längre fram.

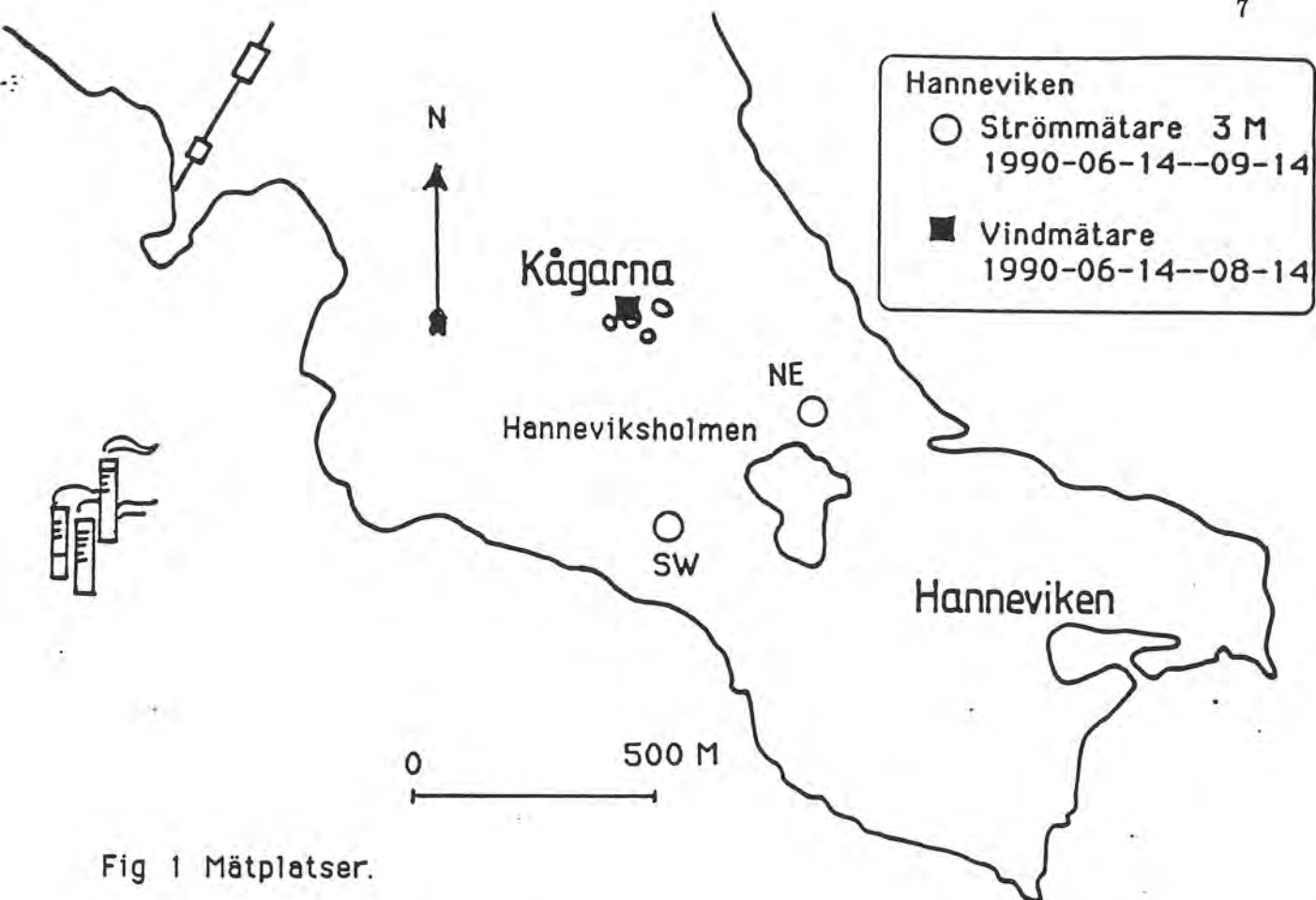


Fig 1 Mätplatser.

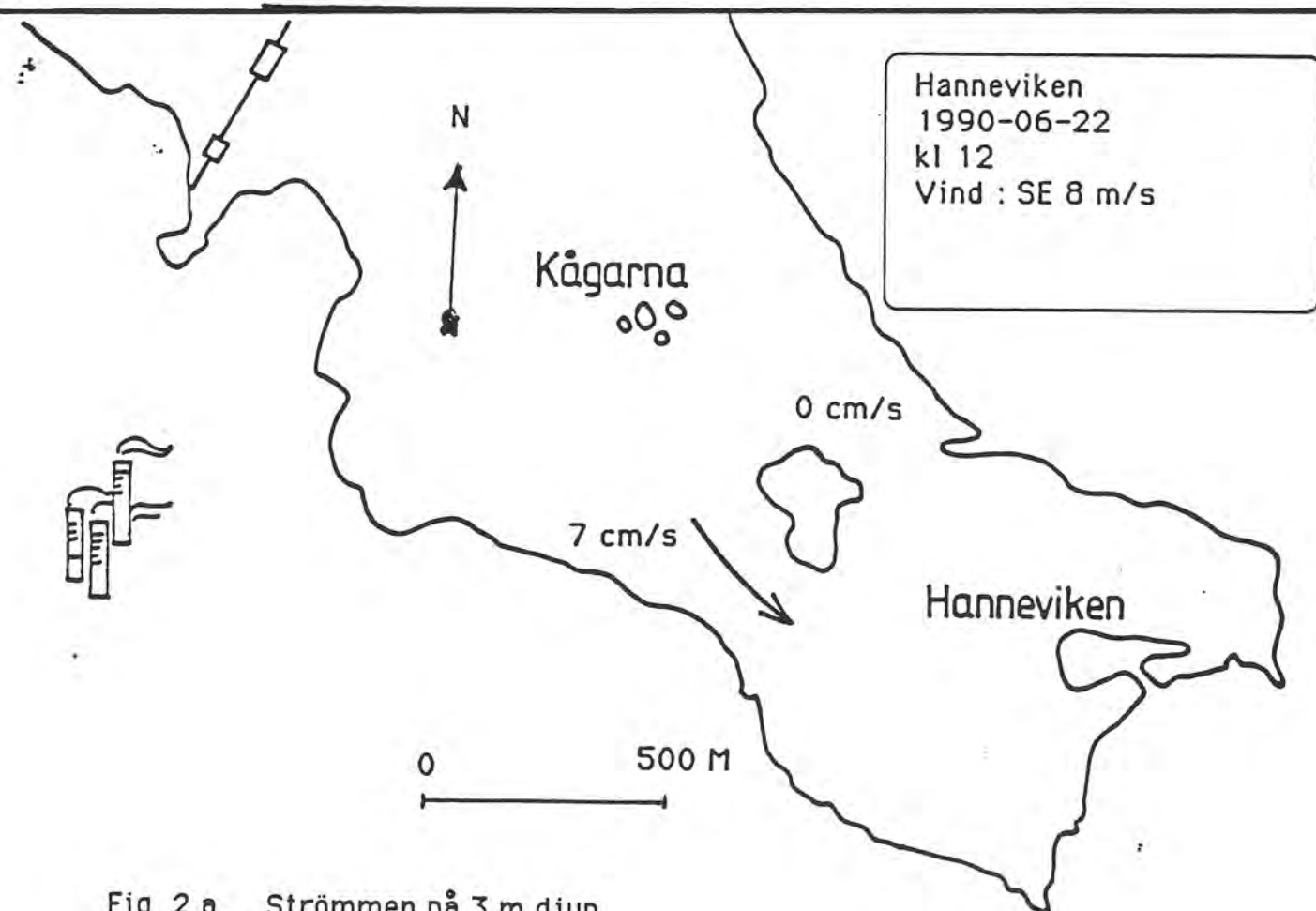


Fig 2 a Strömmen på 3 m djup

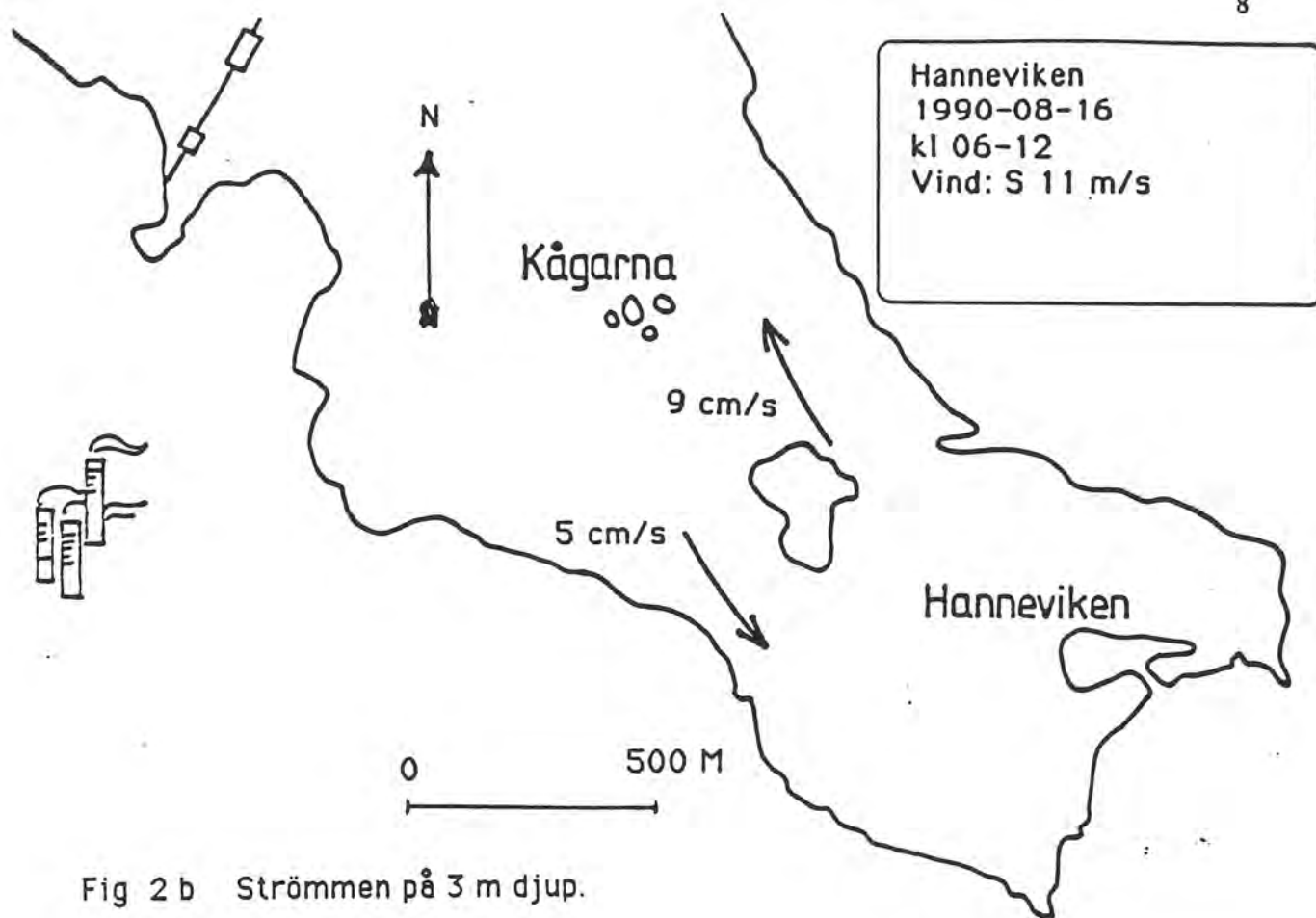


Fig 2 b Strömmen på 3 m djup.

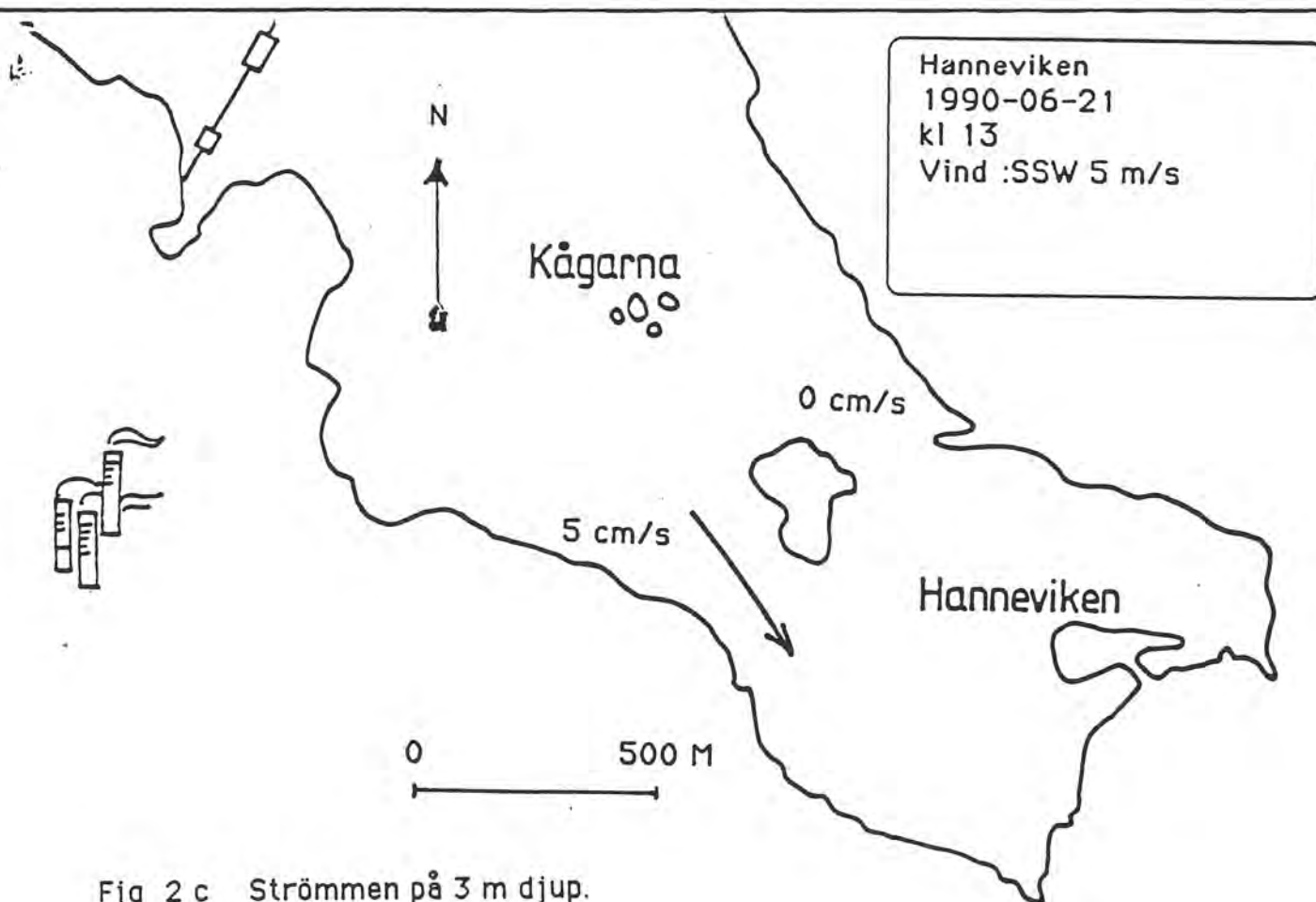


Fig 2 c Strömmen på 3 m djup.

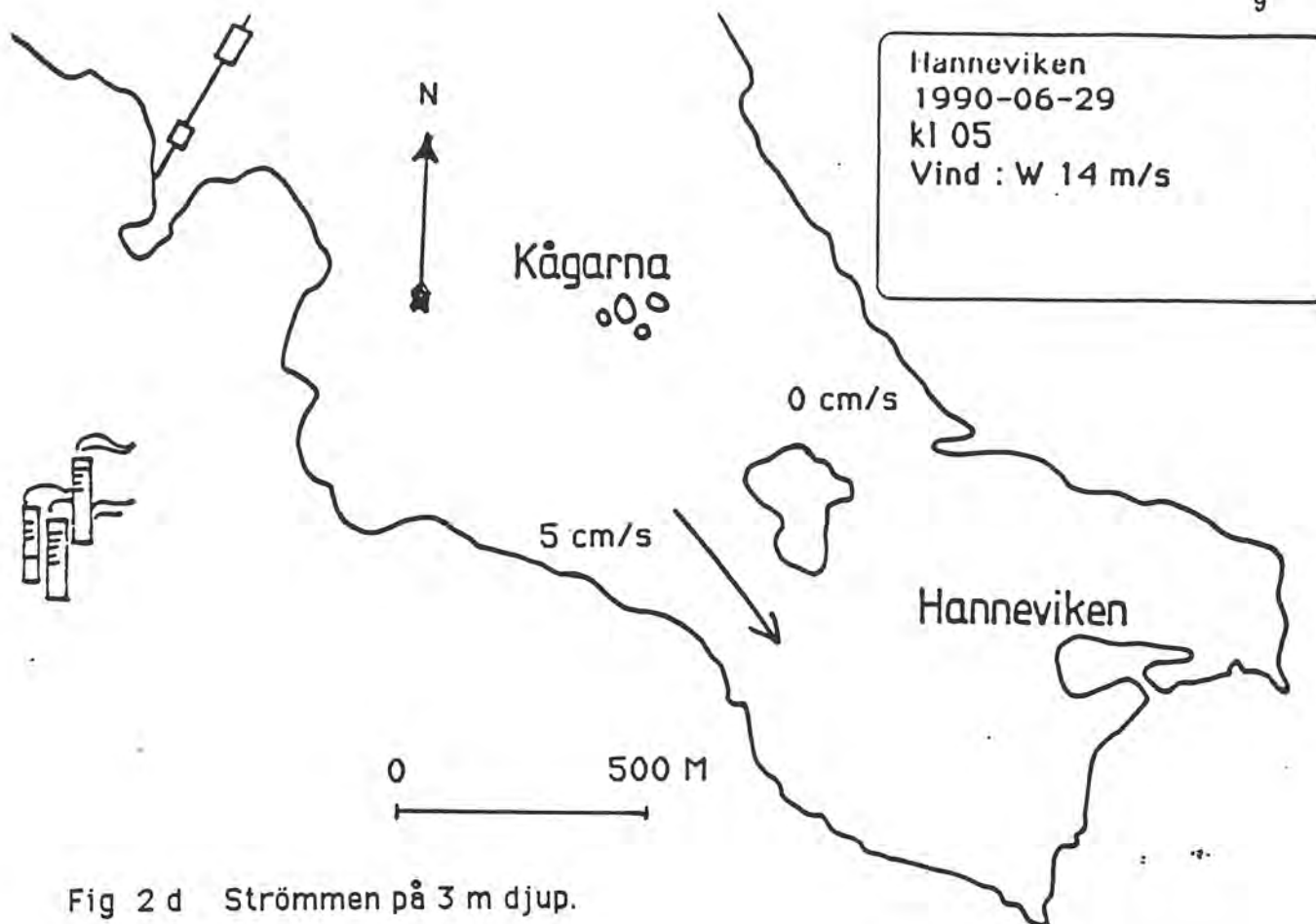


Fig 2 d Strömmen på 3 m djup.

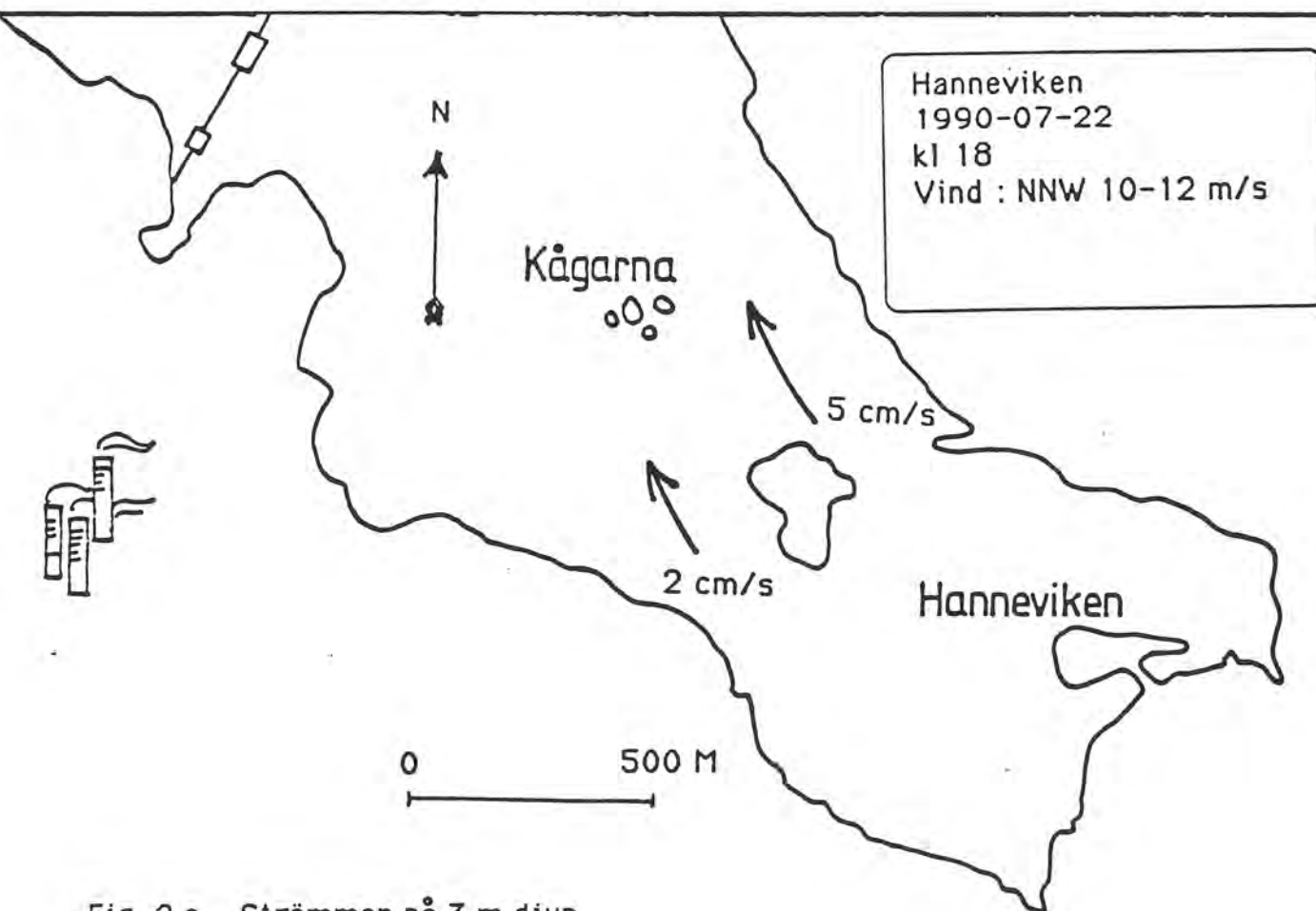


Fig 2 e Strömmen på 3 m djup.

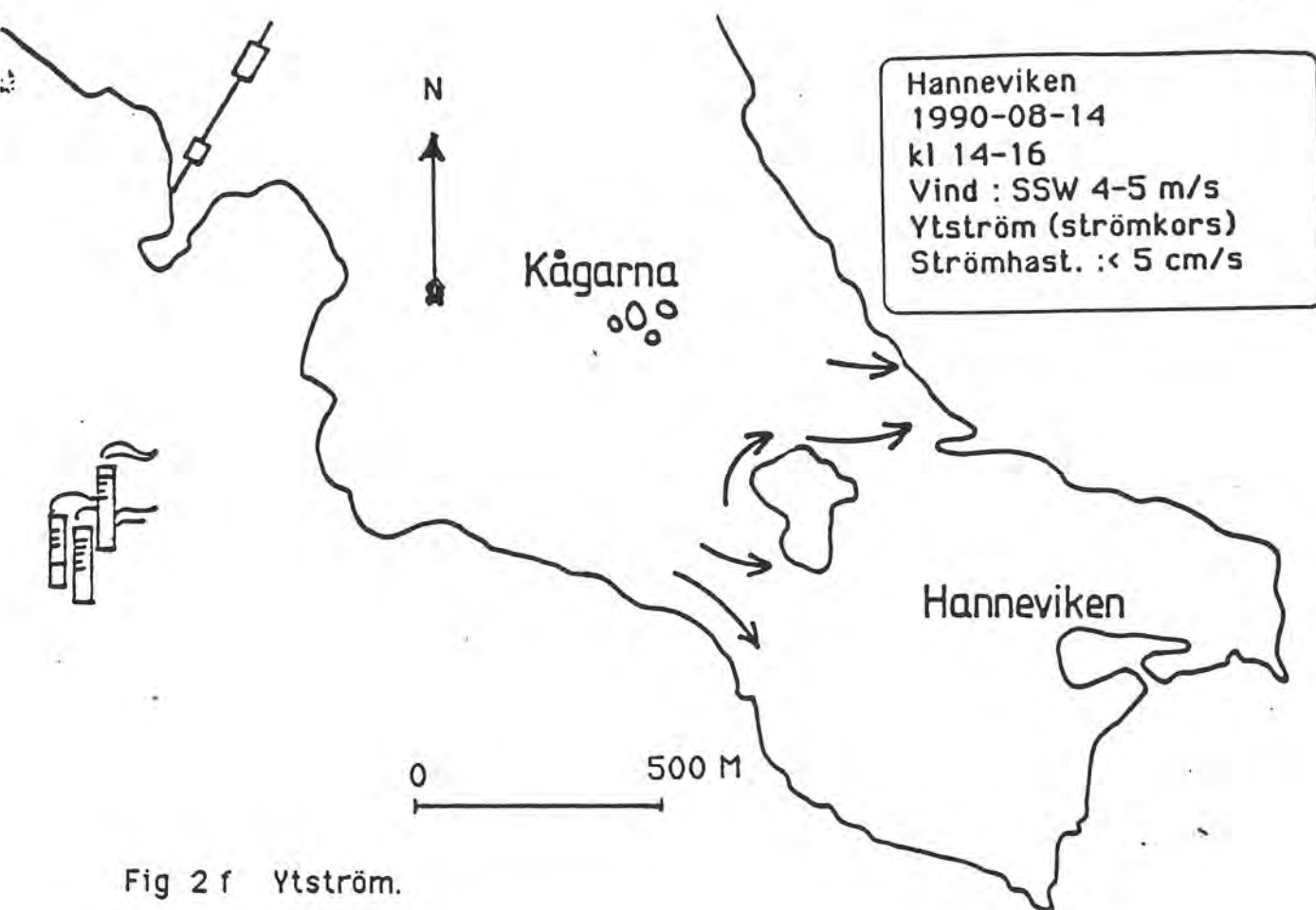


Fig 2 f Ytström.

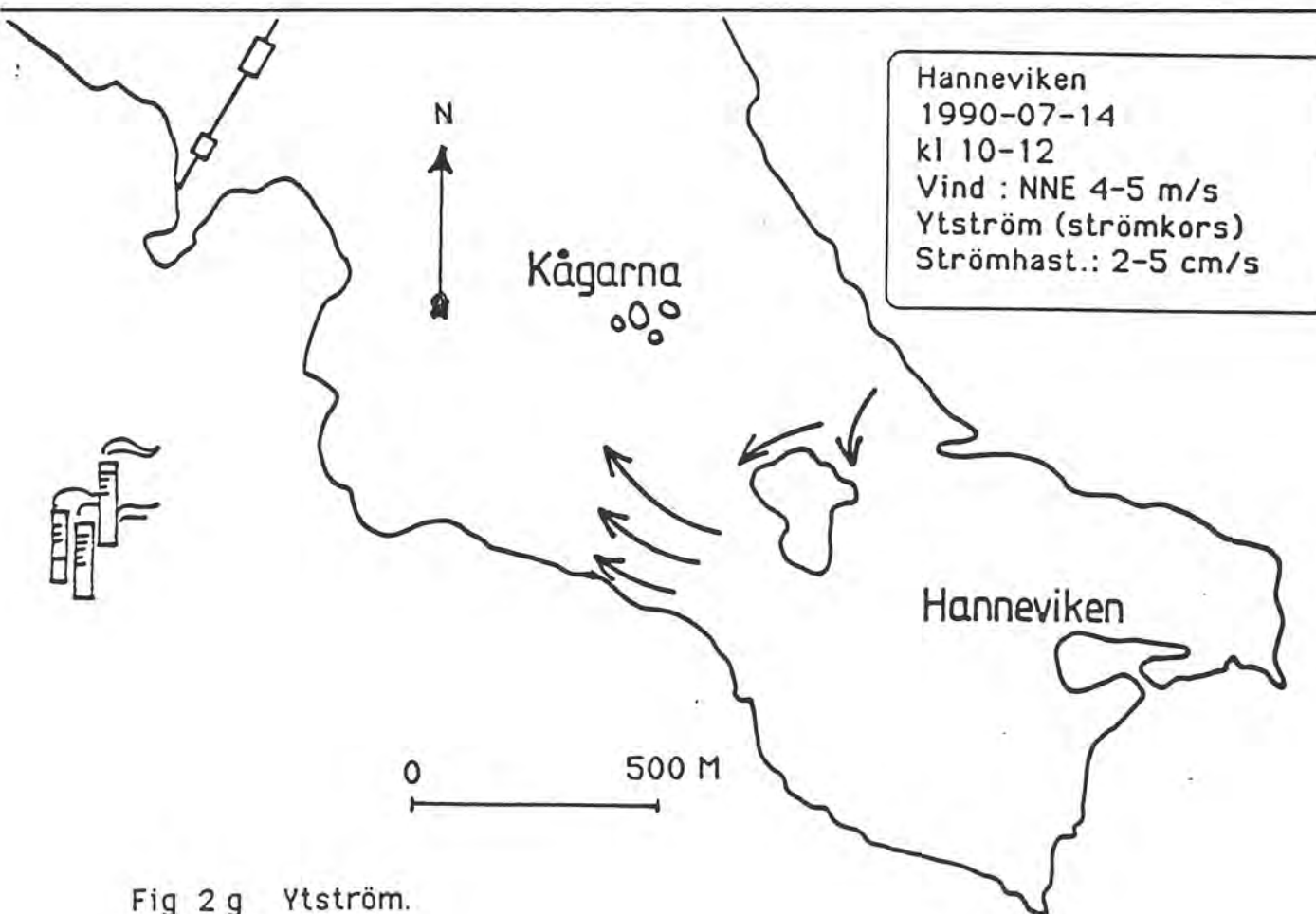


Fig 2 g Ytström.

Vindförhållandena

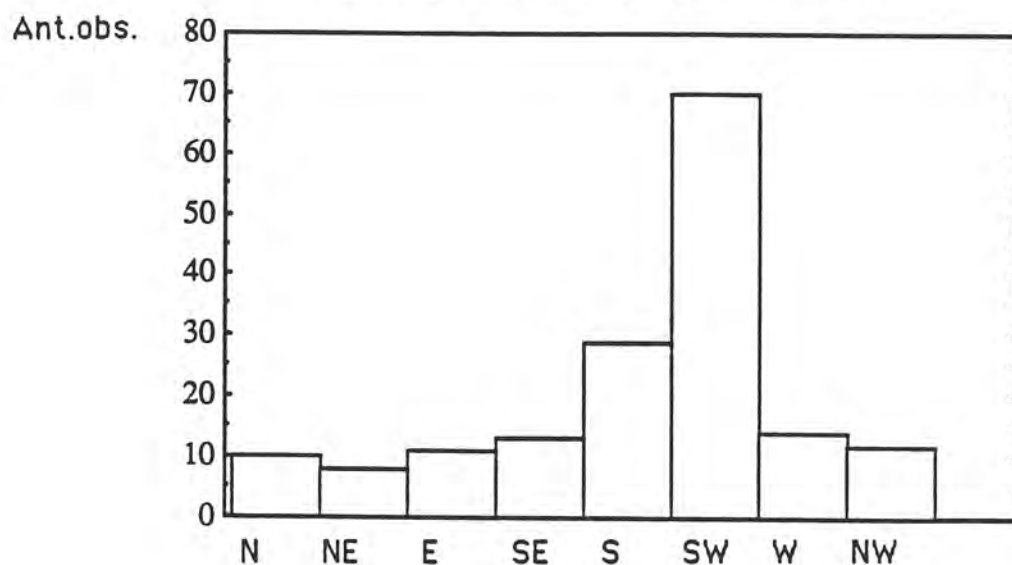
Hur ofta förekommer då dessa vindar som är gynnsamma för en inström i Hanneviken?

Utgångspunkten har varit att finna en acceptabel överensstämmelse mellan vindförhållanden vid Hanneviken och en av SMHI:s närliggande vindstationer för att via statistik få en uppfattning av hur stor del av året dessa 'gynnsamma' vindförhållanden uppträder.

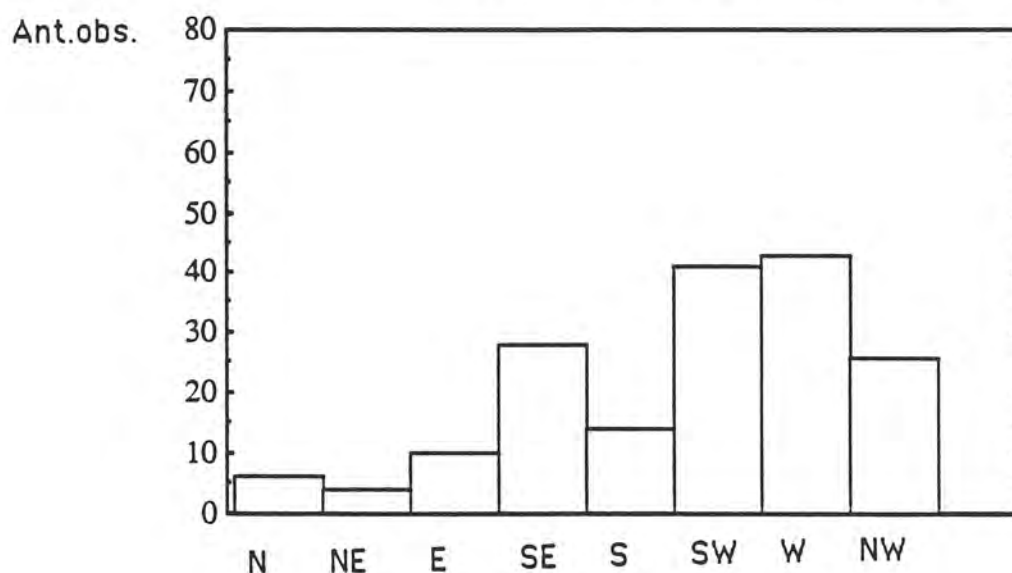
Vi har därför jämfört vindförhållandena vid Hanneviken (Kågarna) under en två-månadsperiod med samtidiga observationer vid Måseskär, varifrån SMHI har en mer än 20-årig vindstatistik.

En korrelationsberäkning för riktning och hastighet på hela jämförelsematerialet ger emellertid inget hopp om framgång - därtill är materialet alltför litet och möjligen vindförhållandena alltför olika. Däremot fann vi relativt god överensstämmelse i vindsektorn SE-NW.

Vi har därför jämfört andelen vindar i sektorn SE-W av hela observationsmaterialet i såväl Hanneviken som Måseskär och funnit att dessa är av samma storleksordning. Den 20-åriga vindstatistiken från Måseskär ger att vindar från sektorn SE-W förekommer cirka 56 % av året. Vi uppskattar därför att ungefär hälften av året utgörs av vindar vid Hanneviken gynnsamma för inström väster om Hanneviksholmen (se figur 3, nästa sida).



Hanneviken vindriktning 900614-900814



Måseskär vindriktning årsmedelvärde 1961-1980

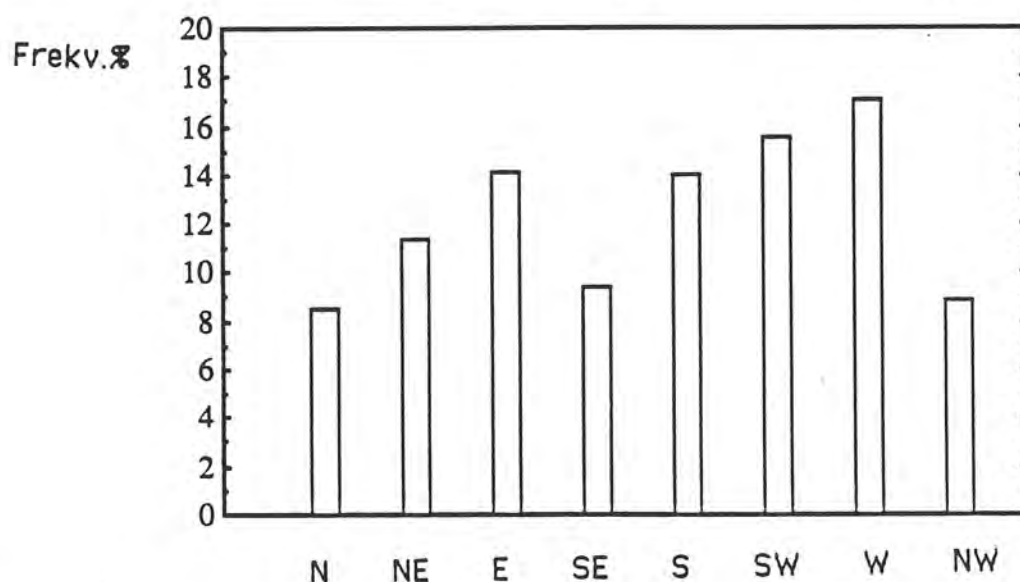


Fig 3 Vindarna vid Hanneviken och Måseskär.

Numeriska simuleringar

Ett antal numeriska simuleringar av cirkulationen i Brofjorden har genomförts. Syftet med beräkningarna är att få en bild av den naturliga vindinducerade cirkulationen samt att se vilken effekt ett kylvattenutsläpp har på cirkulationen. Även temperaturfältet, d v s övertemperaturen på grund av utsläppet, är naturligtvis av intresse och kommer att redovisas.

Simuleringsmodellen baseras på den generella ekvationslösaren PHOENICS, se Spalding (1981) *. Modellen utgår ifrån en uppdelning av beräkningsområdet i mindre kontrollvolymer, s k celler. Konserveringsekvationerna (massa, momentum och energi) tillämpas därefter på varje cell och man får på så sätt ett diskretiserat kopplat system där varje variabel skall lösas för varje cell. Lösningen av detta system kräver datorbaserade lösningsalgoritmer och naturligtvis en kraftfull dator.

Det här använda beräkningsnätet visas i figur 4. Nätet har 16 x 52 celler i horisontalplanet och 8 celler i vertikal led, d v s totalt 6 656 celler. Den vertikala koordinaten anpassas till det lokala djupet så att samtliga celler "ligger i vattnet". Aktuella variabler är: trehastighetskomponenter, tryck, temperatur, turbulent kinetisk energi och dissipation av turbulent kinetisk energi. De två sista variablerna ingår i K- ϵ turbulensmodellen, vilken använts i beräkningarna.

* Spalding, D.B. A general-purpose computer program for multidimensional one- and two-phase flow, *J. Math. and Comput. in Simulation*, 1981, 23, 267 - 276.

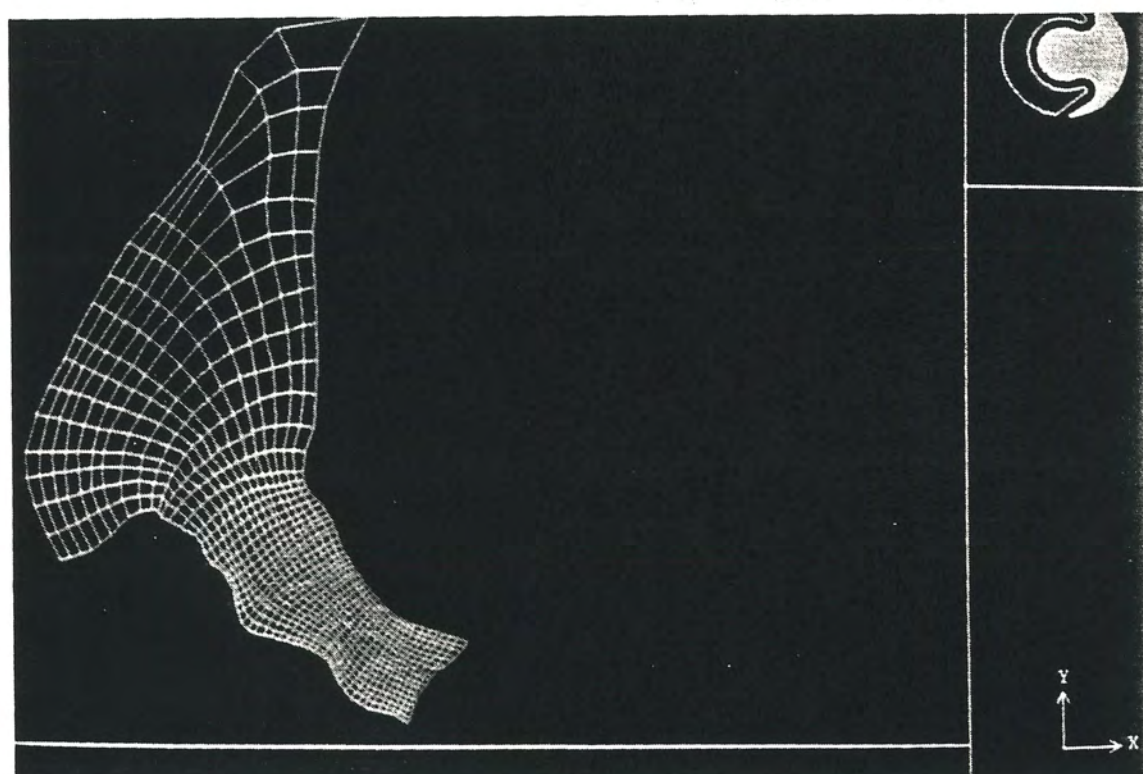
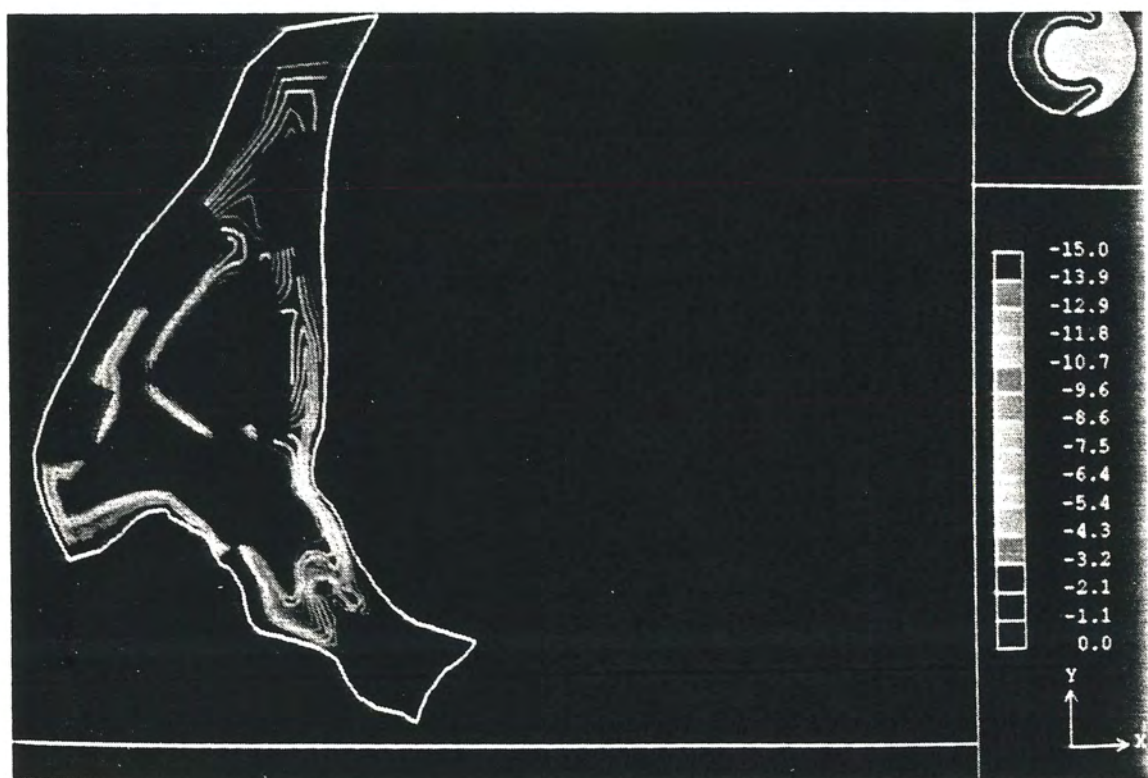
Beräkningsförutsättningar i övrigt kan sammanfattas enligt:

- Fyra vindriktningar (NW, SW, SE, E) studeras. För samtliga vindriktningar ansätts vinden till 5 m/s.
- Saltsprångskiktet simuleras genom en falsk botten på 15 meters djup. På den falska botten sätts bottenfriktionskoefficienten till $1 \cdot 10^{-3}$ medan den sätts till $3 \cdot 10^{-3}$ om djupet är mindre än 15 meter.
- Två alternativa utsläppspunkter studeras. För bägge alternativen gäller att flödet är $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$. och övertemperaturen $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Utströmningshastigheten har antagits vara $0,4 \text{ m/s}$.
- Värmeavgivningen till atmosfären beräknas med hjälp av en värmetransportkoefficient som sätts till $23 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Ingen hänsyn tas till gravitationella krafter i beräkningarna. Om kylvattenintaget placeras vid vattenytan kommer kylvattnet efter uppvärmningen att vara lättare än ytvattnet i Trommekilen och därmed tendera att spridas mer längs vattenytan. Om däremot kylvattenintaget placeras under språngskiktet blir kylvattnets densitet högre än ytvattnets och kylvattnet kommer sannolikt att inlagras alldeles över språngskiktet. Att kylvattnet dyker innebär att värmeförlusterna blir mindre. Hanneviken är dock mycket grund varför densitetseffekterna här troligen är av mindre betydelse.
- Endast stationära lösningar redovisas. Pumpningen av saltvatten ut och in ur området behandlas således inte.

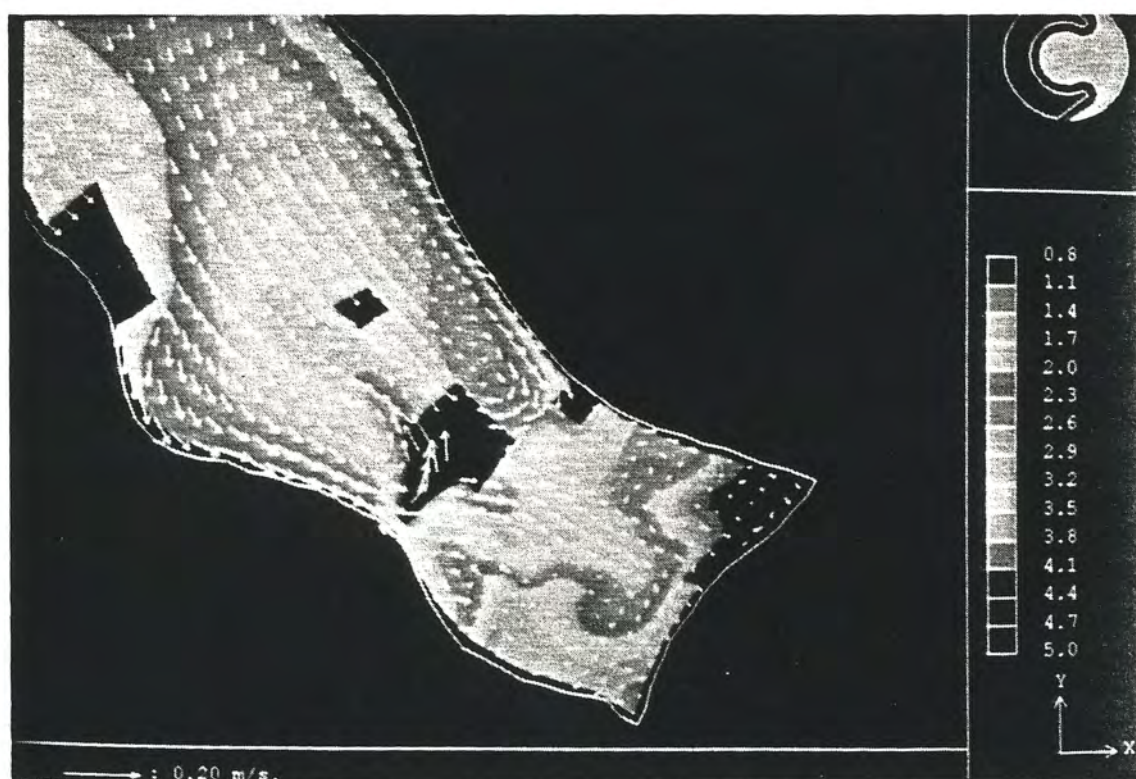
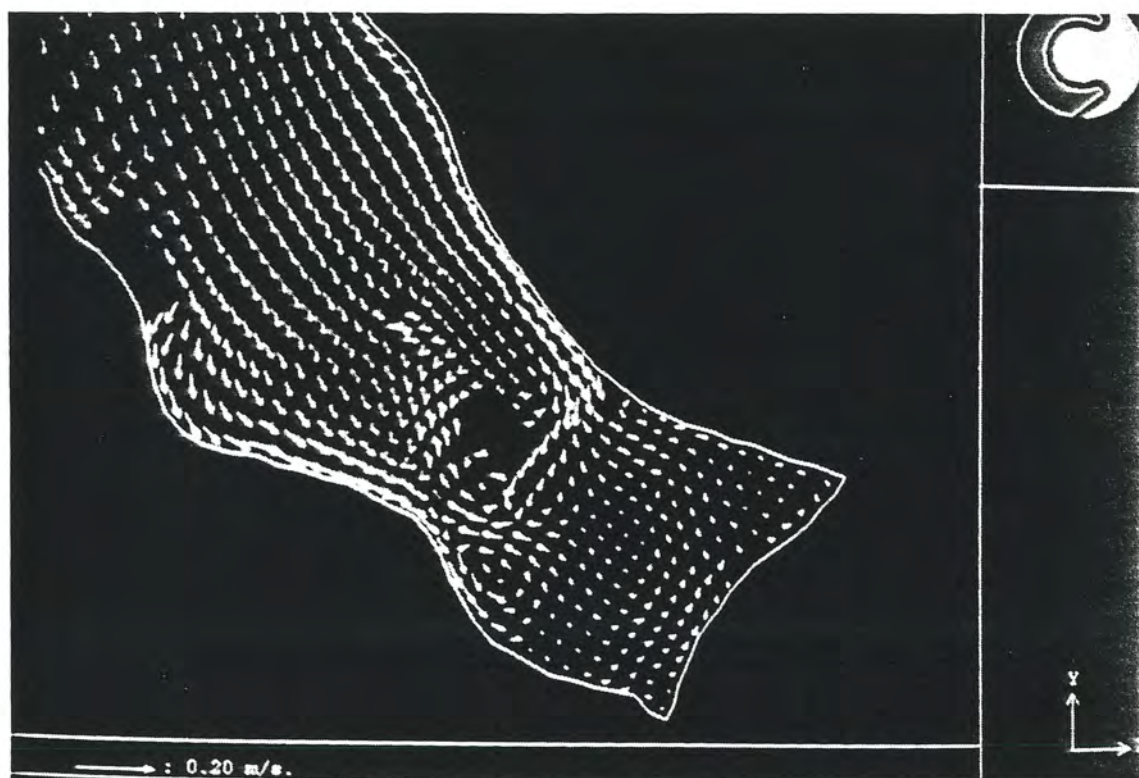
Beräkningsresultaten redovisas i figurerna 5 till 8. I varje figur visas den vindinducerade cirkulationen i ytan (vita pilar) och nära botten (gula pilar) samt cirkulation och övertemperatur vid utsläpp för de två olika alternativen. Följande iakttagelser kan göras från figurerna:

- För en vindhastighet av 5 m/s påverkas den vindinducerade cirkulationen endast inom ett begränsat område (storleksordning 200 meter) av utsläppet. När den vindinducerade cirkulationen är svag, se t ex Hanneviken i figur 5 a, kan dock utsläppet dominera strömbilden.
- Uppvärmningen i Hanneviken är starkt beroende av vindens riktning. För östlig vind är temperaturhöjningen mindre än 2 °C medan den är 3 - 5 °C för sydvästlig eller sydöstlig vind.
- Uppvärmningen av vattnet längs kusten nordost om Kågarna blir 2 - 3 °C. Alternativ 1 ger en något högre uppvärmning.
- För sydöstlig vind och utsläppsalternativ 1 har även en beräkning gjorts med fyra gånger så stor utsläppshastighet (se figur 7 c). Den ökade utsläppshastigheten ger inte högre temperatur i Hanneviken.

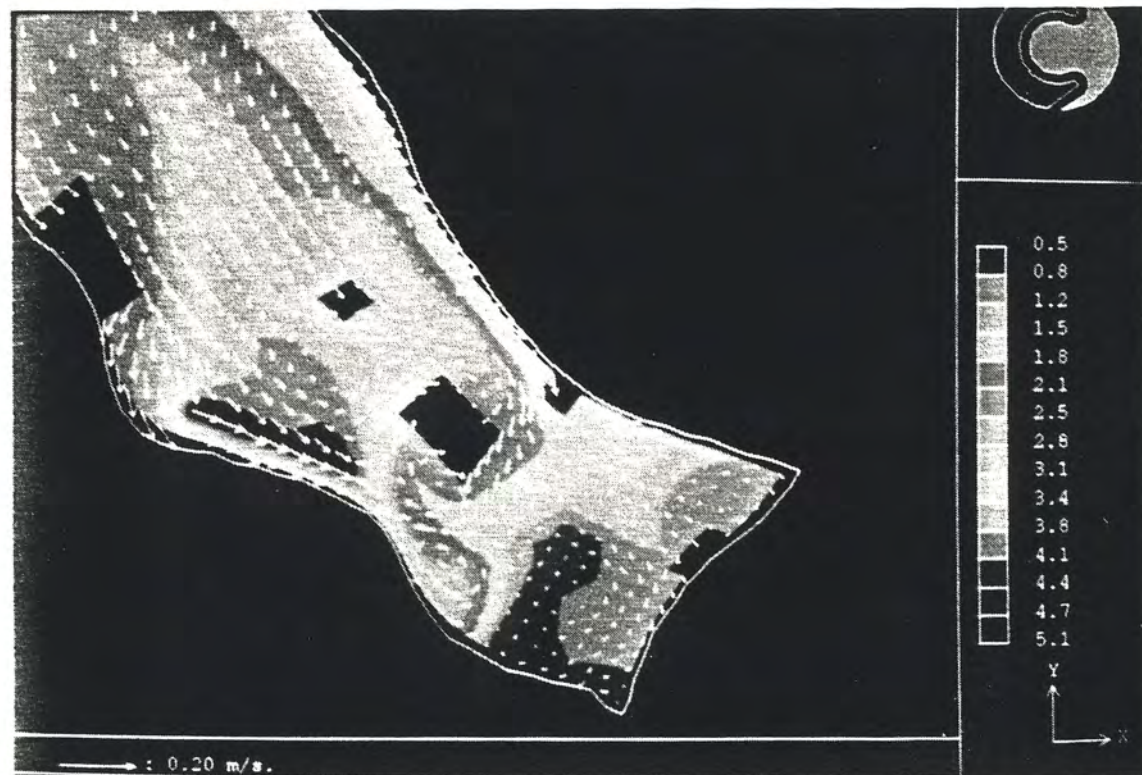
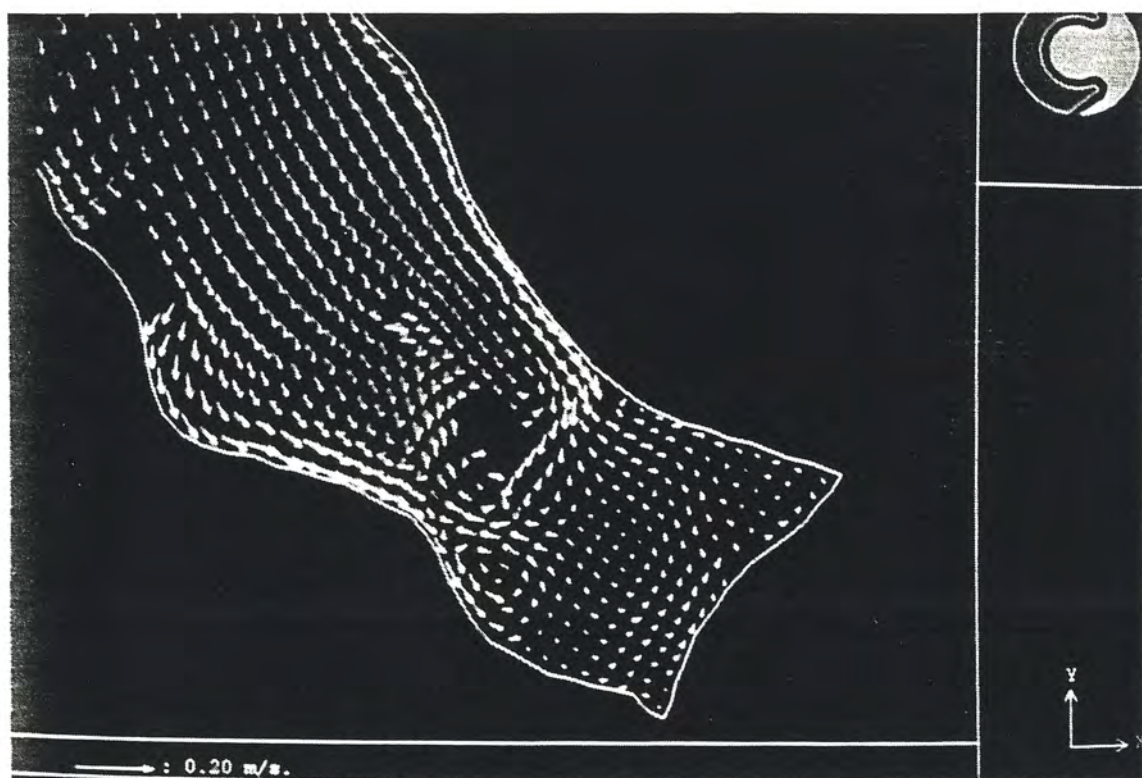
Som nämnts tidigare har inga gravitationella krafter beaktats vid simuleringarna, vilket skall framhållas när realismen i beräkningarna utvärderas. Det skall vidare noteras att det initiella skedet av strålens utbredning inte kan beskrivas korrekt i ett beräkningsnät med en horisontell upplösning på cirka 50 meter. De redovisade beräkningarna bör således ses som preliminära, men bör ändå ge en kvalitativt riktig bild av vilka temperaturhöjningar som kan förväntas i Hanneviken och Trommekilen vid olika vindriktningar.



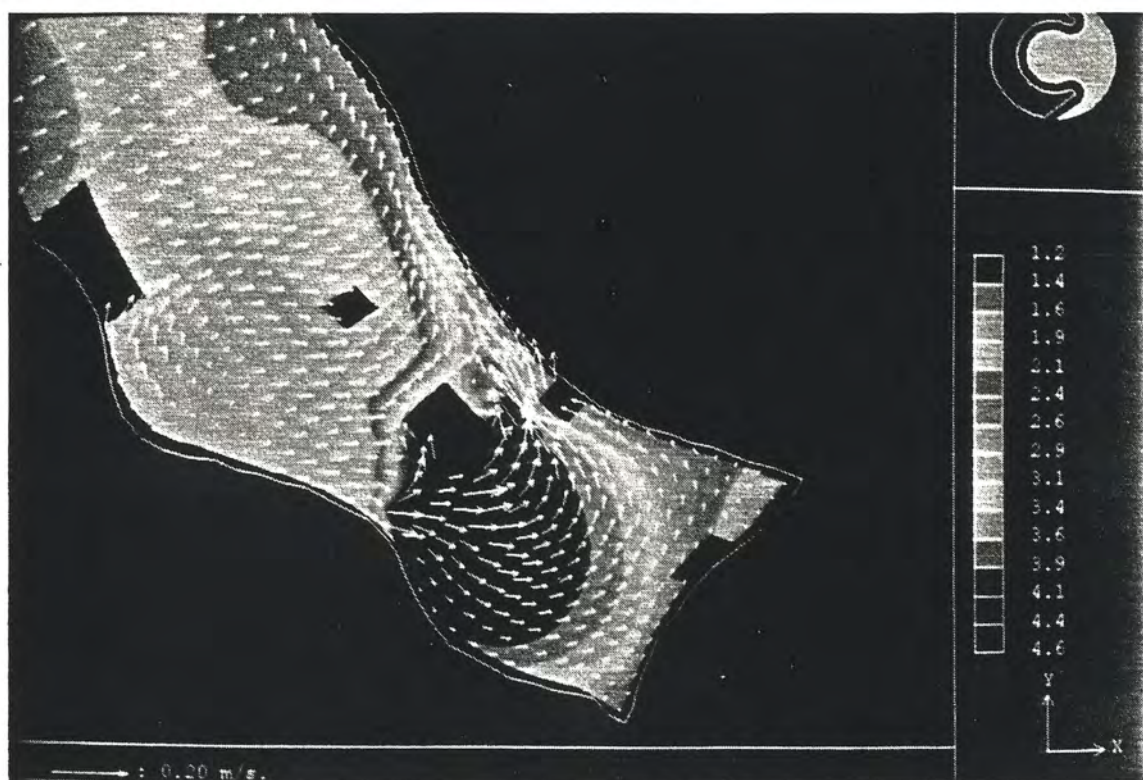
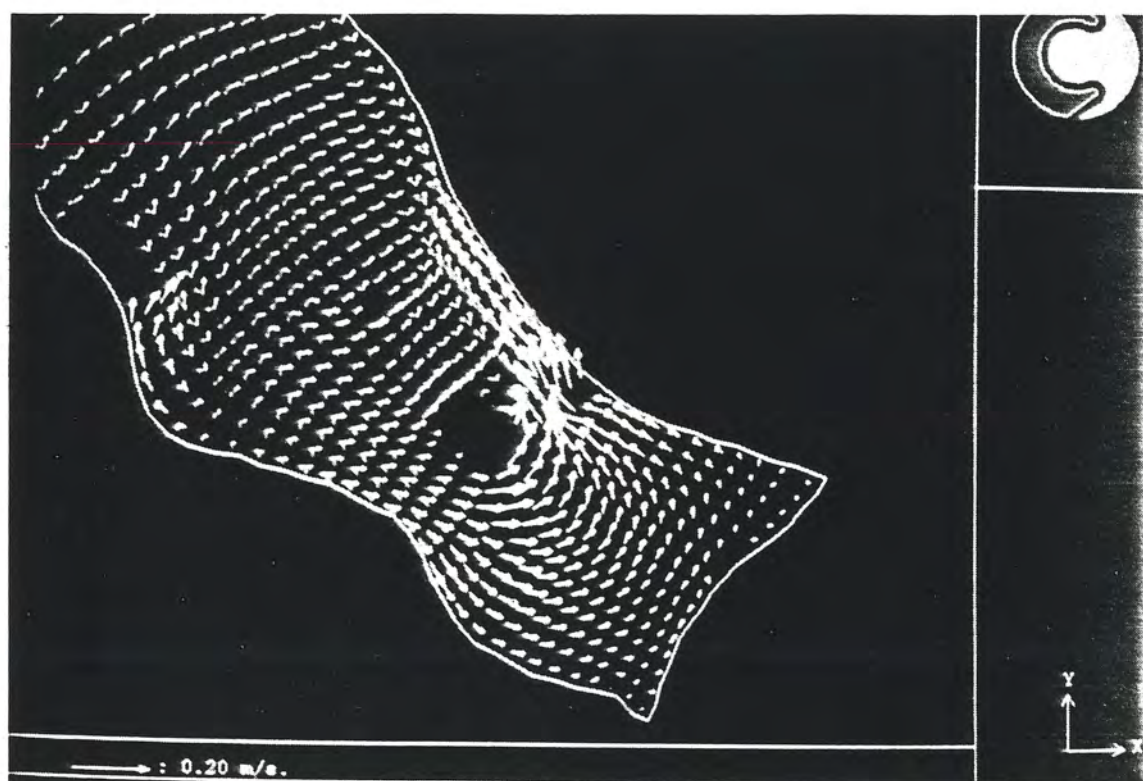
Figur 4 Djupkonturer (överst) och beräkningsnät.



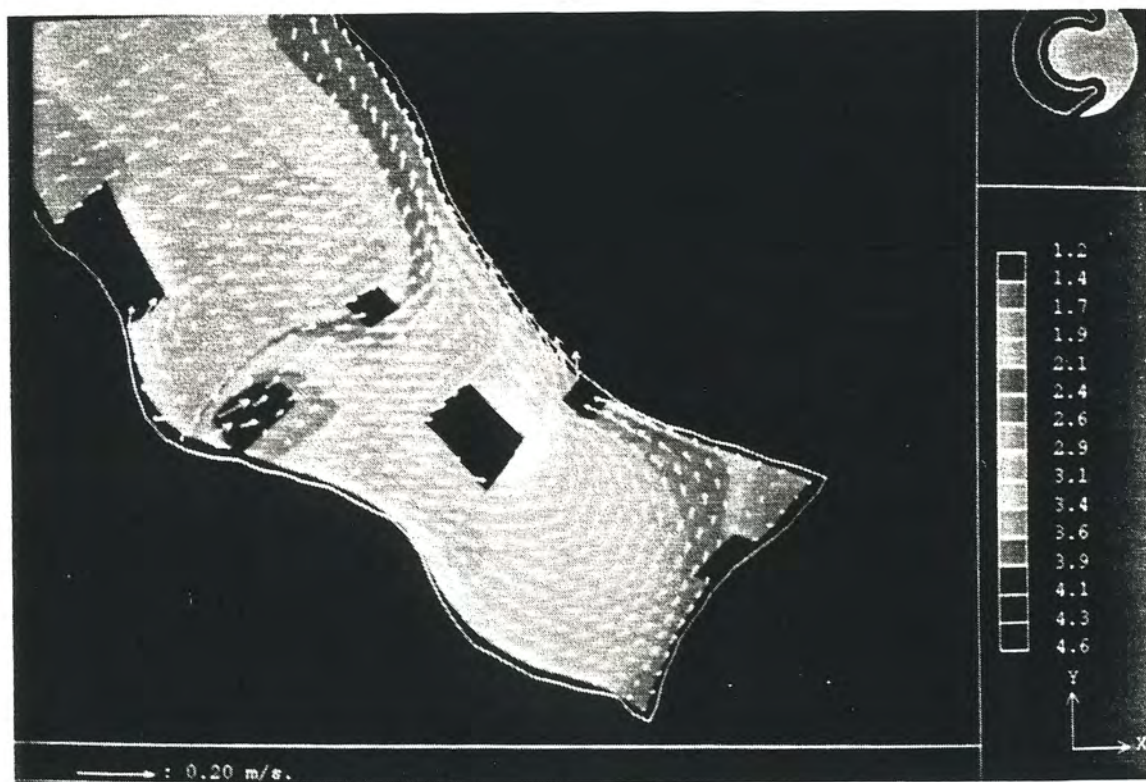
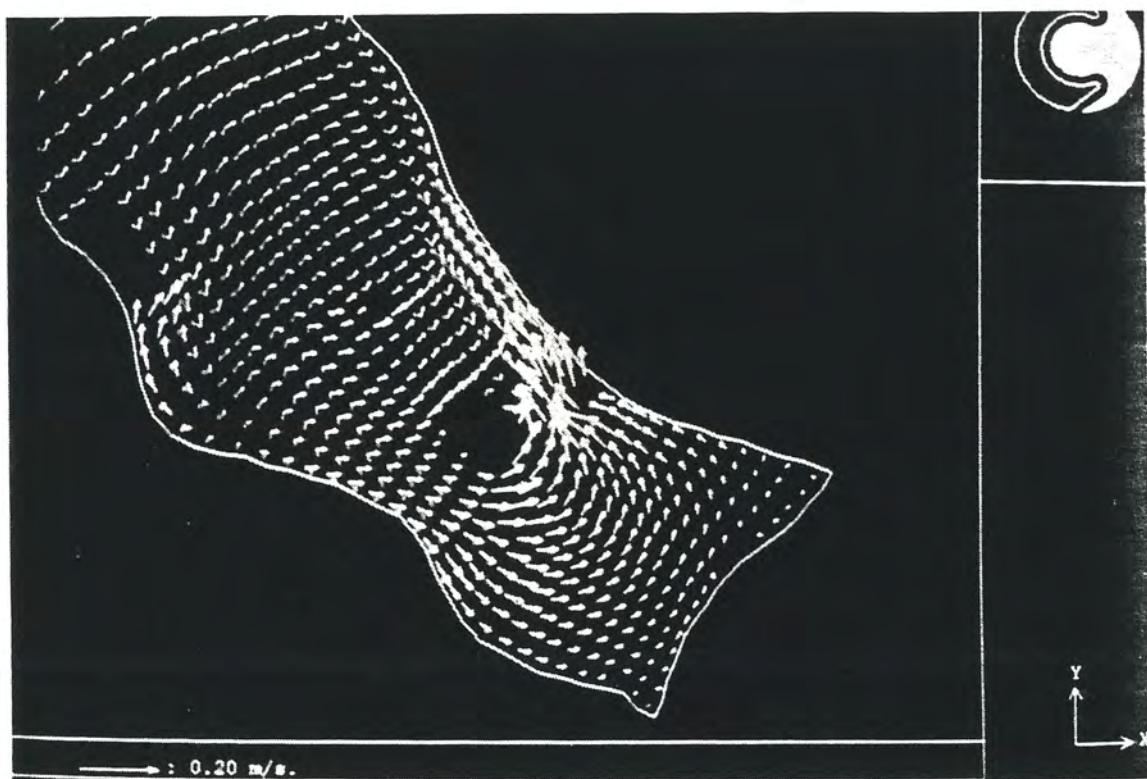
Figur 5 a Naturlig vindinducerad cirkulation (överst) för nordvästlig vind. Vita pilar anger ytström, gula bottenströmmar. Utsläppsalternativ 1 (underst) med ytström och övertemperatur som fyllda ytor.



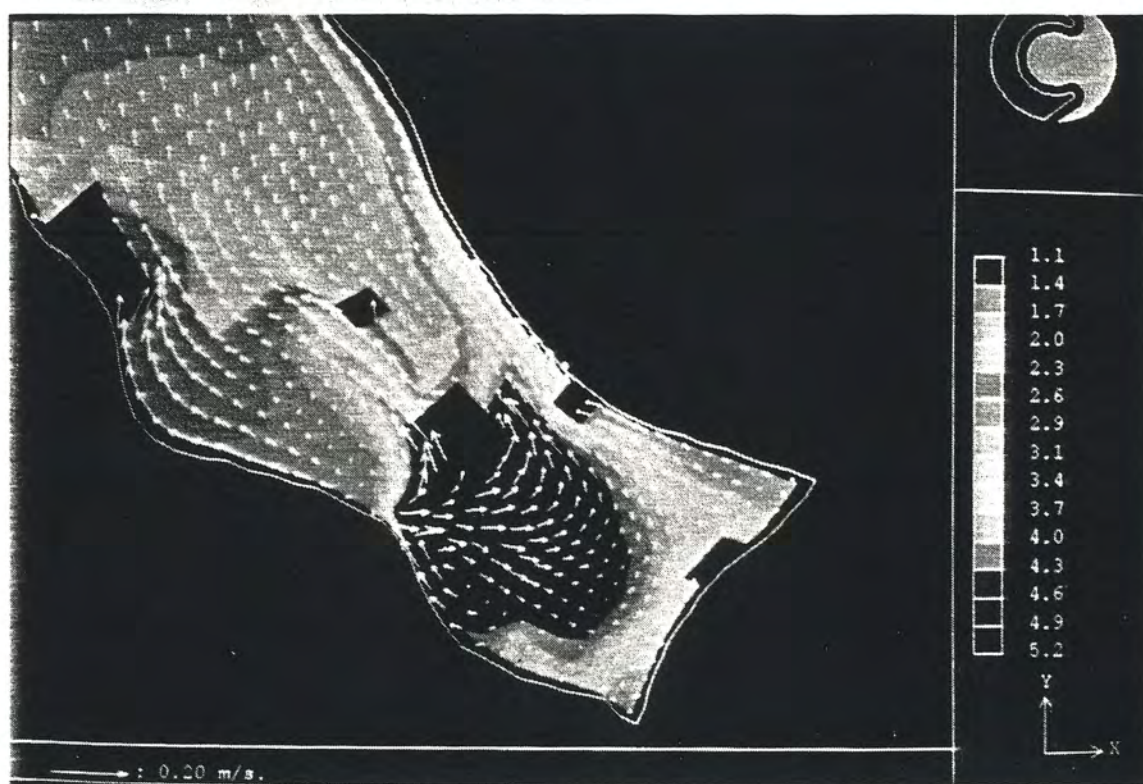
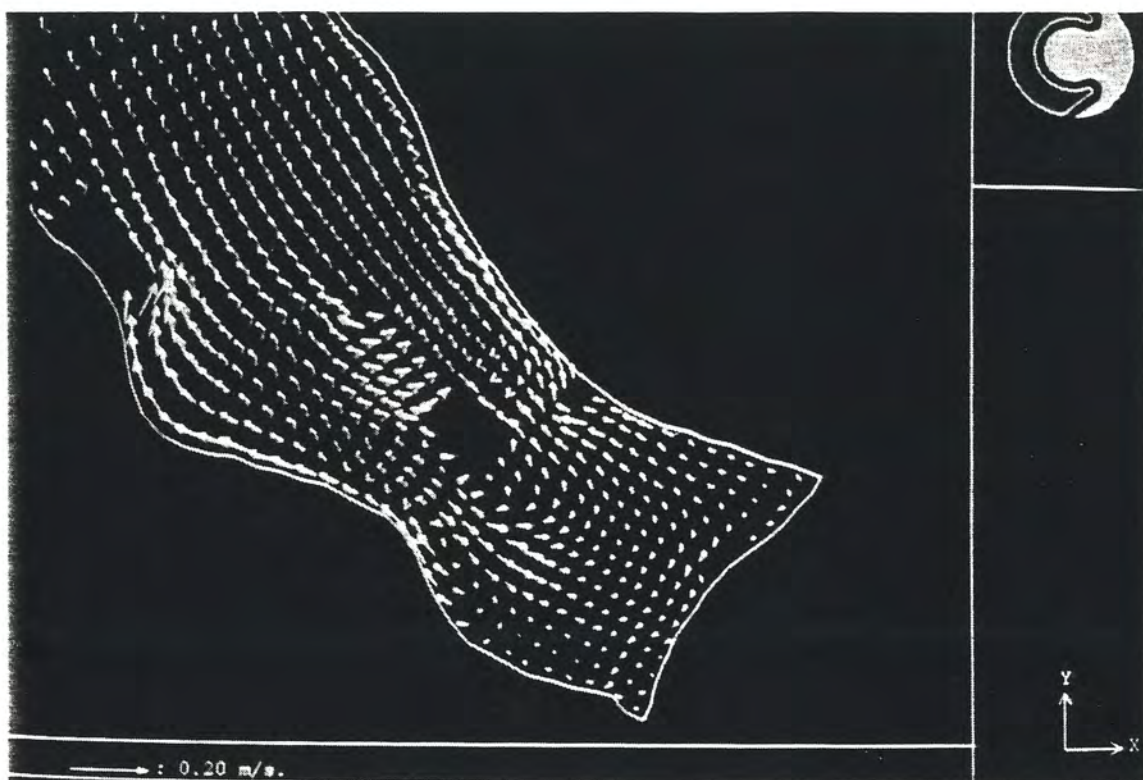
Figur 5 b Utsläppsalternativ 2. För övrigt se text till figur 5 a.



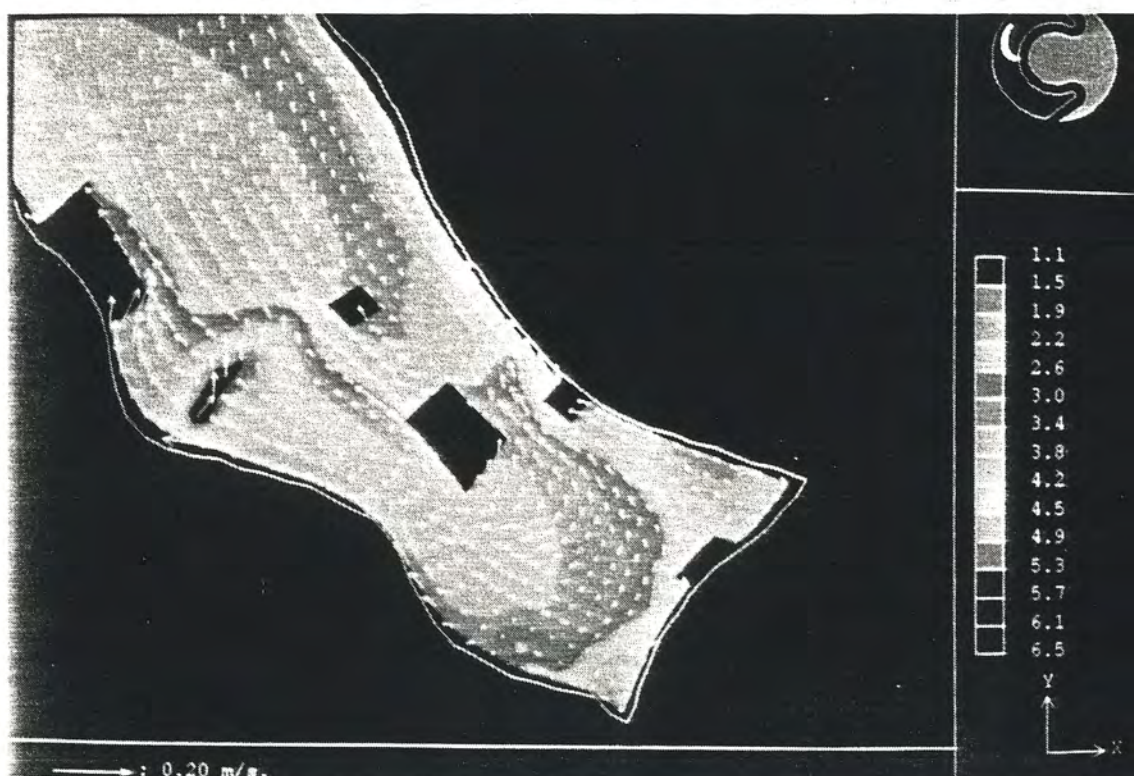
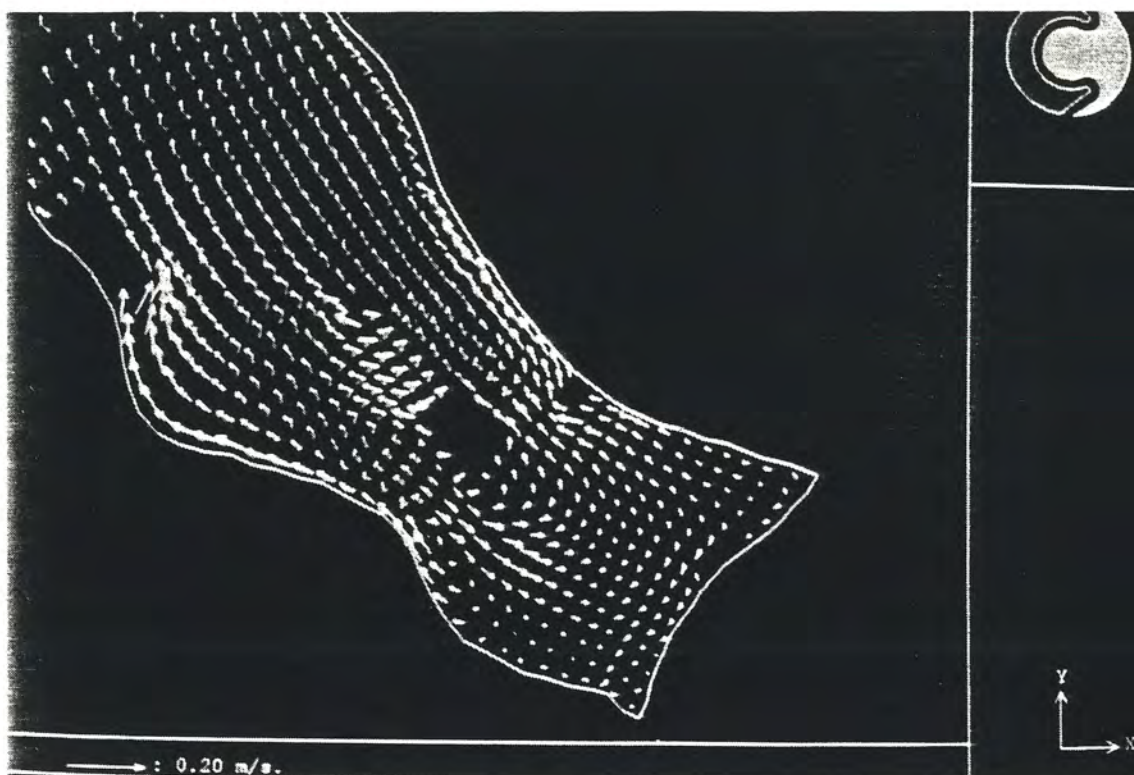
Figur 6 a Sydvästlig vind, utsläppsalternativ 1. För
övrigt se text till figur 5 a.



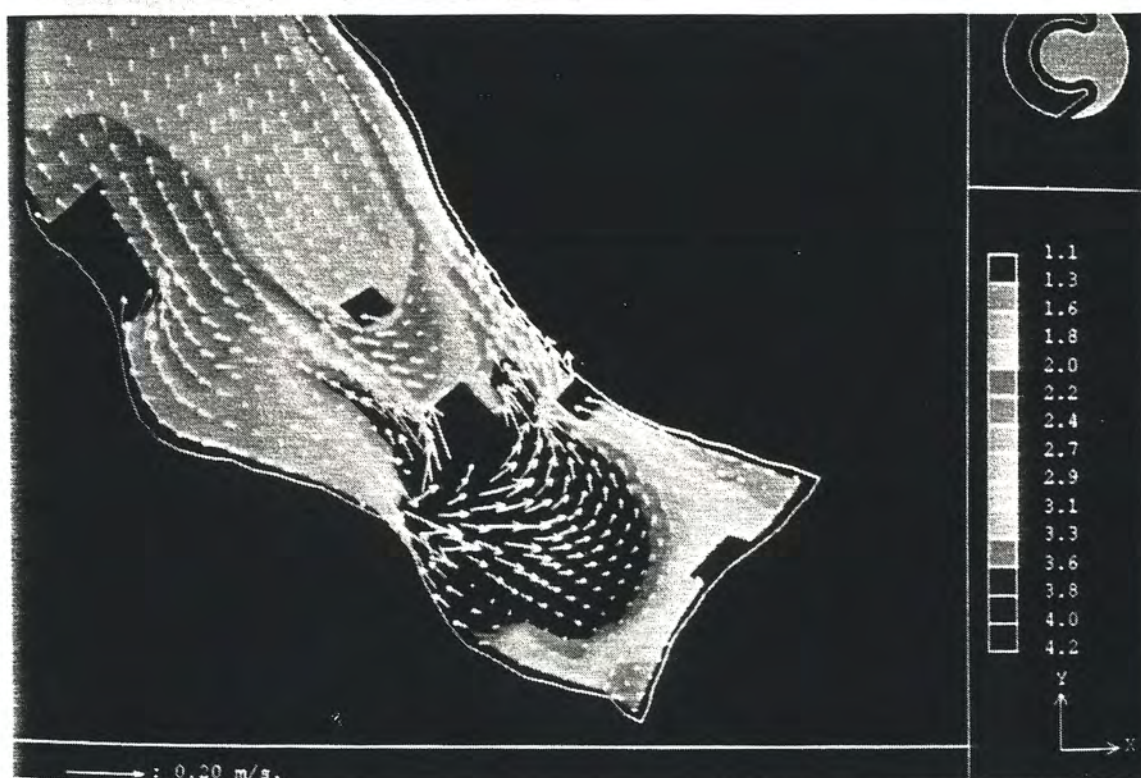
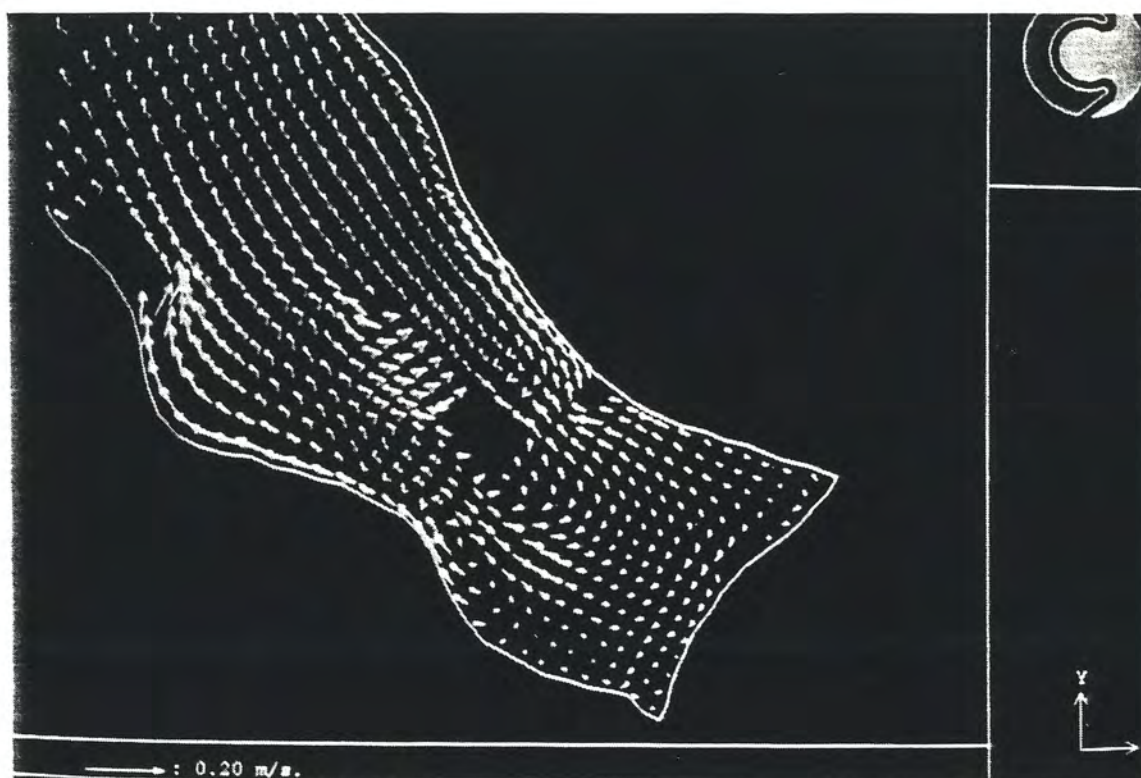
Figur 6 b Sydvästlig vind, utsläppsalternativ 2. För övrigt se text till figur 5 a.



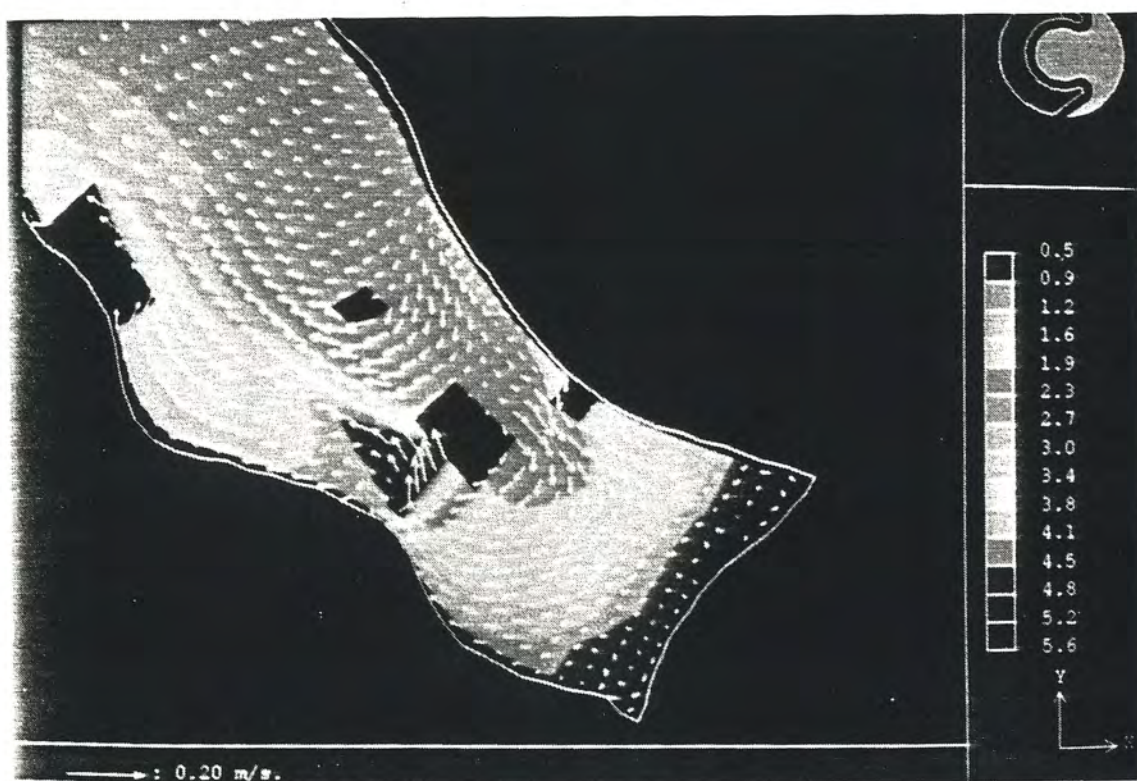
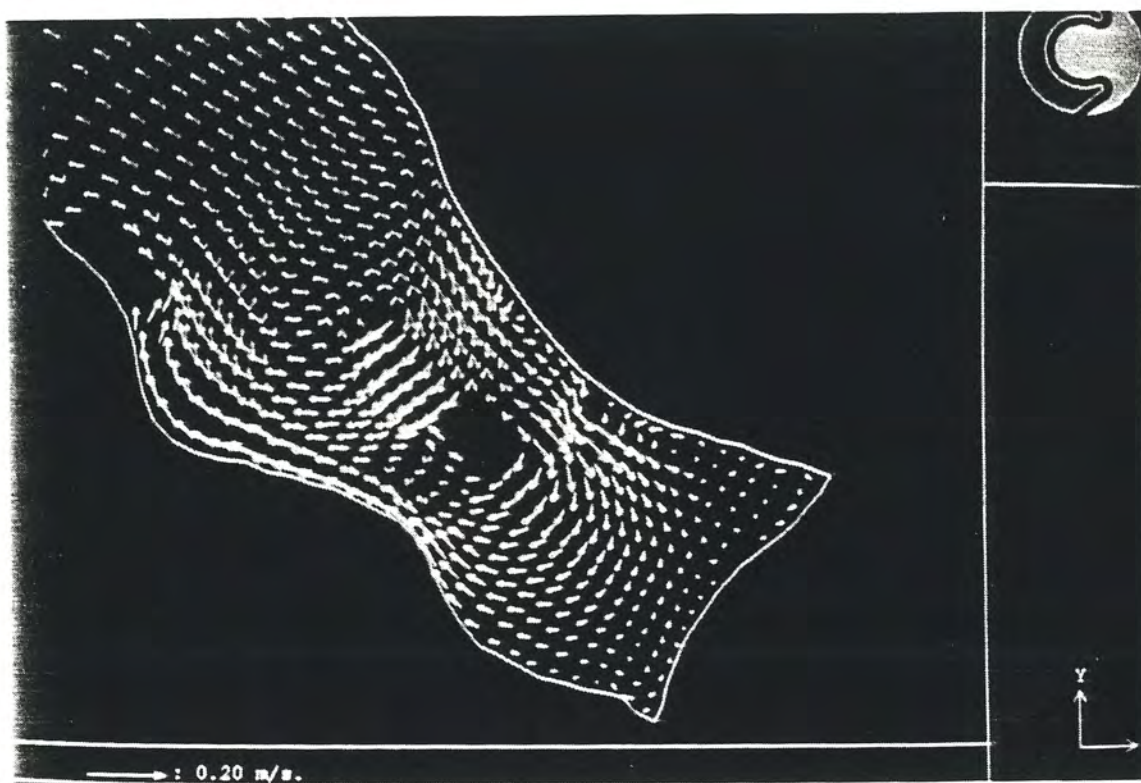
Figur 7 a Sydostlig vind, utsläppsalternativ 1. För
övrigt se text till figur 5 a.



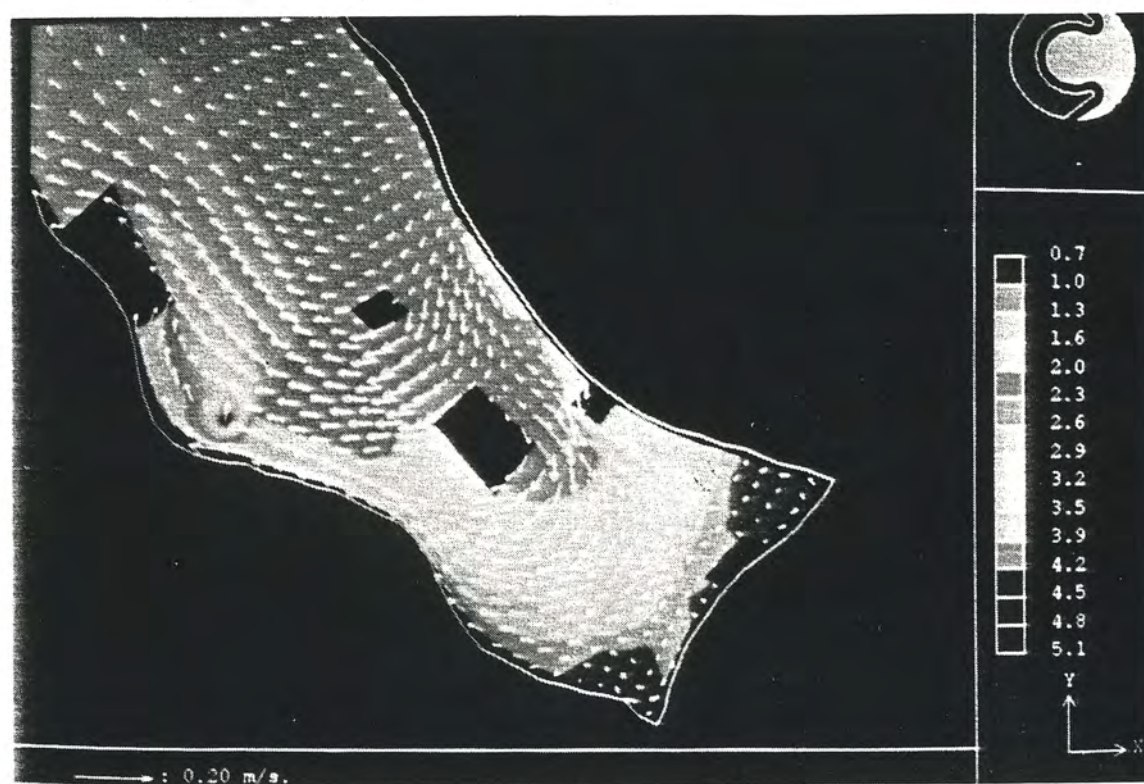
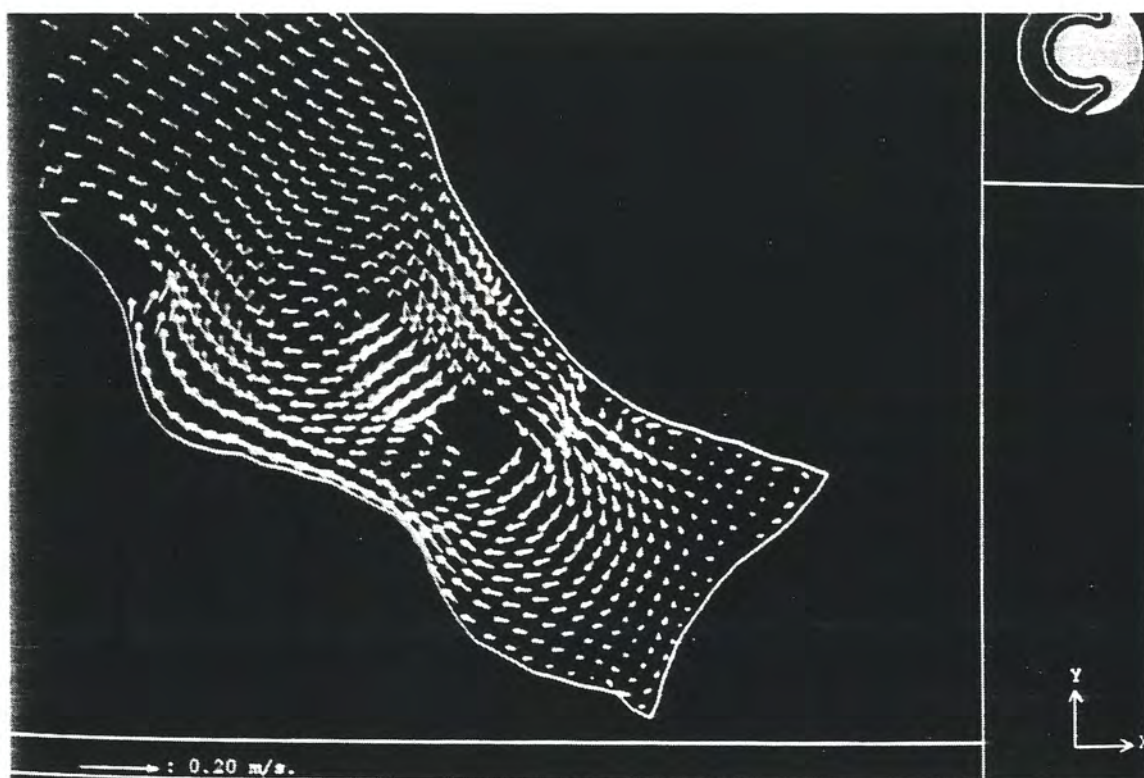
Figur 7 b Sydostlig vind, utsläppsalternativ 2. För
övrigt se text till figur 5 a.



Figur 7 c Sydostlig vind, utsläppsalternativ 1. Utsläppshastigheten har i denna beräkning ökat från 0,4 m/s till 1,6 m/s. För övrigt se text till figur 5 a.



Figur 8 a Östlig vind, utsläppsalternativ 1. För övrigt se text till figur 5 a.



Figur 8 b Ostlig vind, utsläppsalternativ 2. För övrigt se text till figur 5 a.

