

OCEANOGRFISKA FÖRHÅLLANDEN
I BROFJORDEN
I SAMBAND MED
KYLVATTENUTSLÄPP
I TROMMEKILEN

av
Cecilia Ambjörn
Förste Statsoceanograf

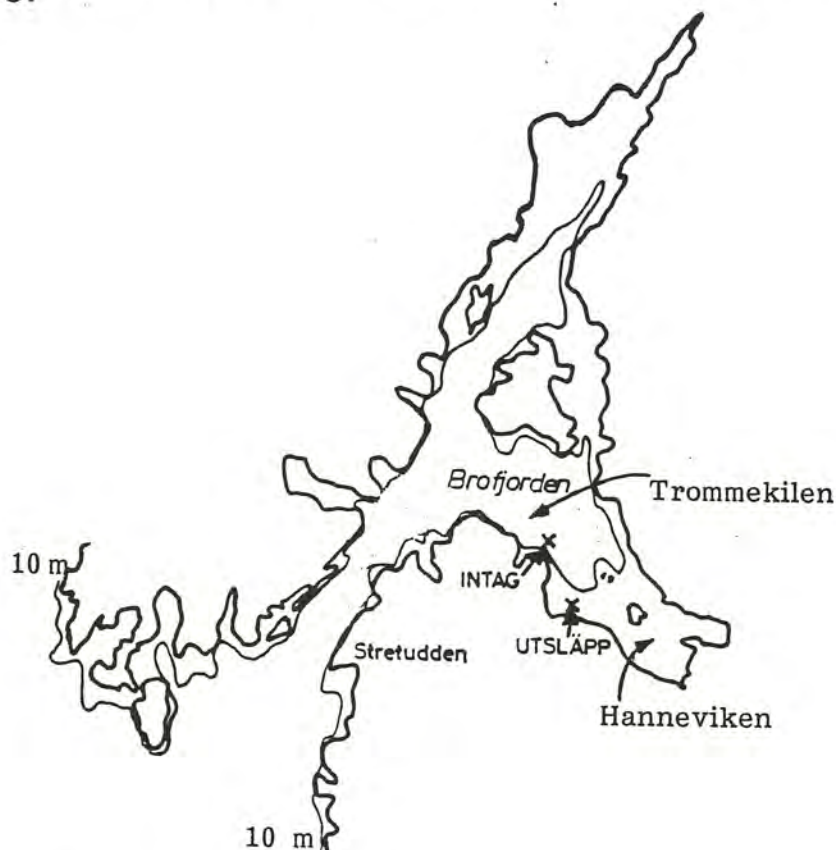
September 1989

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida
1 SAMMANFATTNING	1
2 BAKGRUND	3
3 FRÅGESTÄLLNINGAR	3
4 ALLMÄNNA FÖRHÅLLANDEN	4
5 MÄTDATA	6
6 UTFÖRDA BEARBETNINGAR	6
7 RESULTAT	20
8 REFERENSER	22

1 SAMMANFATTNING

Vattenfall har för avsikt att lokalisera en restoljeförgasningsanläggning intill Scanraff i Brofjorden. Anläggningen ger upphov till kylvatten som tas in på cirka 15 meters djup i Trommekilen och sedan leds ut som ytvatten. Kylvattenmängden är $7.5 \text{ m}^3/\text{s}$ och temperaturstegringen är cirka 10°C .



Av vikt att belysa är ventilationen i Brofjorden/Trommekilen, kylvattnets utbredning och alternativa utsläppslägen för kylvattnet.

Det största vattenutbytet i Brofjorden äger rum när densitetssprångskiktet stiger eller sjunker. Dessa förlopp styrs helt av de meteorologiska förhållandena. En ändring i språngskiktets djupläge medför att stora mängder yt- eller djupvatten tvingas ut ur fjorden och nytt vatten kommer in.

Vattnet i Brofjorden blir effektivt förnyat flera gånger varje sommar, när vädersystem med ihållande sydväst- eller nordostvind passerar. Tillfällen med låg utbytesmängd förekommer även. Ofta är de kortare än 1 dygn, men även längre perioder förekommer. Normalt är dock ventilationen i Brofjorden, sett över längre perioder än 1 dygn, bra.

Avkylningsytornas storlek har beräknats, dels med en viss hastighet hos det utflödande kylvattnet och turbulent blandning, dels med enbart värmeavgång till atmosfären. I båda fallen är kylvattnets densitet lägre än recipientens densitet. Utspädningen blir större än vad som gäller vid sjunkande kylvattenplym dvs kylvattnet är tyngre än omgivningen. Avkylningsytorna vid enbart värmeavgång till atmosfären är större än de som erhålls vid inblandning med ytvattnet. I beräkningen med turbulent blandning erhålls sällan övertemperaturer som är större än 3°C .

Eftersom kylvattenintaget planeras ligga på 15 meters djup, där stora fluktuationer i språngskiktet äger rum, blir kylvattnet tidvis tyngre än i ytvattnet, vilket gör att plymen sjunker. När språngskiktet ligger högre än kylvattenintaget är det troligt att kylvattnet rinner ner och lägger sig, relativt koncentrerat, på en nivå i ytskiktets undre del relativt nära språngskiktet. Det kommer att breda ut sig horisontellt i Brofjorden. När däremot språngskiktet ligger lägre än 15 meter, blir kylvattnet lättare än ytvattnet och lägger sig i ytan. Allt medan kylvattnet avkyls så sjunker det, eftersom dess salthalt är högre än ytvattnets.

Vid svaga nordvästvindar ansamlas kylvattnet i Trommekilens inre delar, främst Hanneviken. Vattenutbytet i Trommekilen blir begränsat. Det här väderläget förekommer med varaktigheten 12 - 24 timmar i genomsnitt 10 gånger per år, med tyngdpunkt på sommaren.

Utsläppets placering och utformning har stor betydelse. Det föreslagna läget hos kylvattenutsläppet bidrar till att ansamling i Hanneviken sker lättare än om placeringen görs längre ut, i riktning mot Brofjordens centrala delar. Intag av saltare vatten medför att kylvattnet ofta är tyngre än omgivningen, vilket minskar utspädningen och omöjliggör värmeavgång till atmosfären. En viss hastighet hos utflödet har mycket stor positiv effekt på det initiella blandningsförloppet.

Kompletterande beräkningar har utförts, där intaget sker i Trommekilens ytskikt och utsläppet i Brofjordens mynning. Kylvattnet släpps ut med hastigheten 1.5 m/s. Detta ger en snabb spädning och en effektiv borttransport ut ur fjärden.

2 BAKGRUND

Vattenfall har för avsikt att lokalisera en restoljeförgasningsanläggning intill Scanraff i Brofjorden. SMHI har därför fått i uppdrag att utföra en utredning avseende de oceanografiska förhållandena i området.

Anläggningen behöver kylvatten som tas in på cirka 15 meters djup i Trommekilen via en tub om 1.2 meter i diameter. Se kartan i figur 1. Därefter planeras det uppvärmda vattnet att ledas ut som ytvatten via en muddrad ränna. Kylvattenmängden är cirka $7.5 \text{ m}^3/\text{s}$ och temperaturstegringen genom processen är cirka 10°C .

Studien behandlar dessutom ett ytintag i Trommekilen och utsläpp i Brofjordens mynning med hastigheten 1.5 m/s .

3 FRÅGESTÄLLNINGAR

Ett omfattande material finns tillgängligt från tidigare utförda arbeten i Brofjorden under 1969 och 1972 - 1974. Detta kan användas för att ge svar på de nu aktuella frågeställningarna.

Av vikt att studera är vilka effekter kylvattnet har på de dynamiska och oceanografiska processerna i närheten av utsläppet.

Några andra kylvattenutsläpp existerar inte för närvarande i Brofjorden.

Arbetet omfattar följande delar:

- * Utsläppets densitet i förhållande till recipienten.
- * Modellberäkningar av kylvattnets utbredning vid olika strömförhållanden beräknas.
- * Beräkning av ytor med övertemperatur när hänsyn endast tas till värmeutbyte med atmosfären.
- * Vattenutbytet i Brofjorden beräknas och dess effekter för kylvattenutsläppet analyseras.
- * Trommekilens dynamik och samverkan med Brofjorden studeras.
- * Varaktighet och förekomst av vädersituationer som är ogynnsamma för vattenutbytet i Trommekilen beräknas.
- * Temperaturförhållanden i Brofjorden.
- * Olika alternativ för utsläppsläge diskuteras.

4 ALLMÄNNA FÖRHÅLLANDEN

Topografi

Brofjorden är en relativt smal och djup havsvik som sträcker sig cirka 7.5 km i nordostlig riktning. Dess volym och yta nordost om ett snitt vinkelrätt mot sundet vid Stretudden är cirka $90 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ respektive 7.8 km^2 . I sydväst mynnar Brofjorden mot vattenområdet mellan Malmön och Lindholmen - Lilla Kornö.

Brofjorden har ingen tröskel och de största vattendjupen förekommer i dess mynning. I de centrala delarna varierar djupen mellan 15 och 25 meter. Utanför Brofjordens mynning finns relativt stora sammanhängande områden, där vattendjupet är 30 till 40 meter, medan botten i skärgården söder därom har ett oregelbundet utseende.

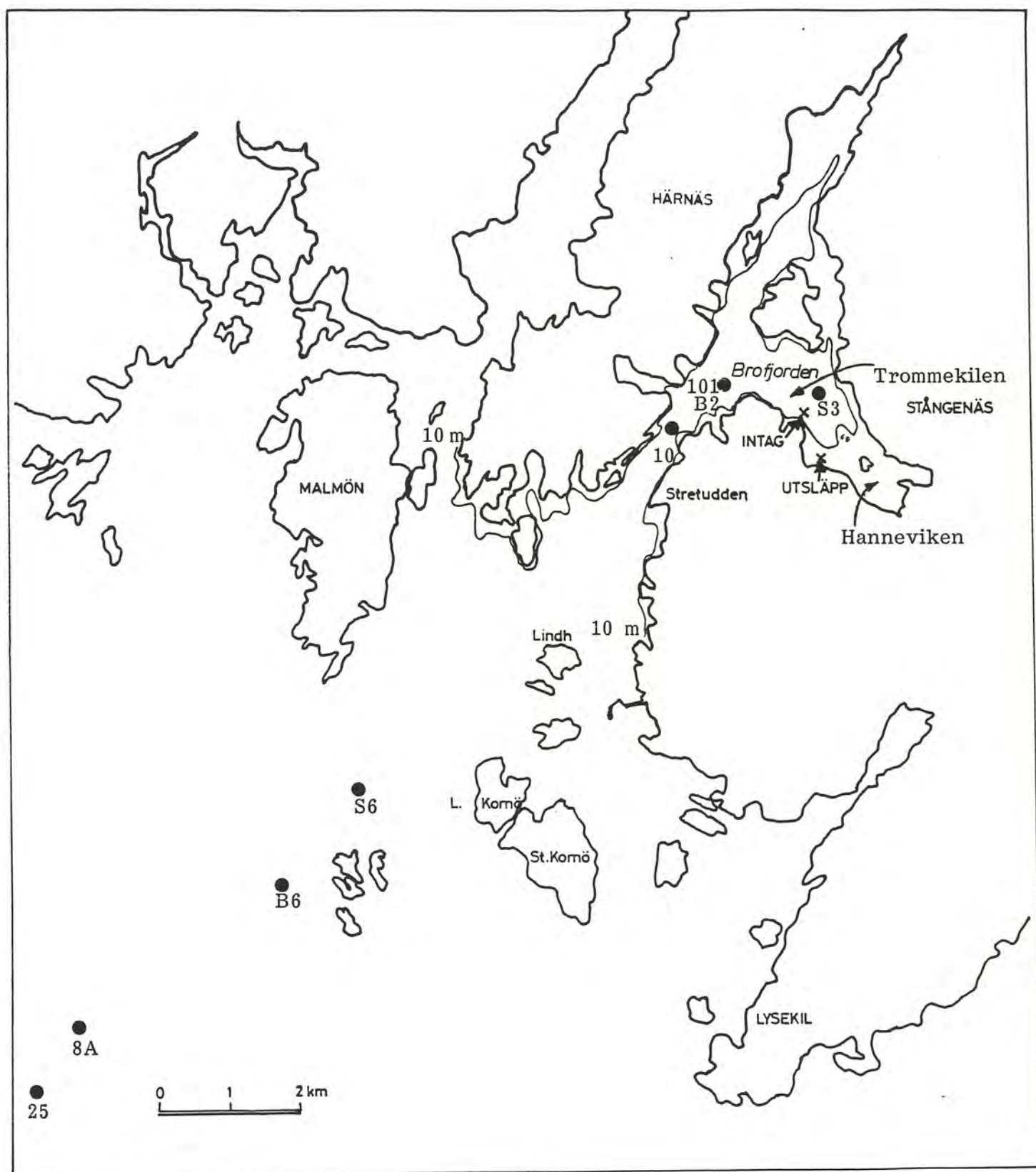
Hydrografiska förhållanden

Ytvattnets salthalt utanför Brofjorden ligger mellan $20 - 30 \text{ ‰}$, medan djupvattnet har $30 - 34 \text{ ‰}$.

Vatten med låg salthalt, cirka 20 ‰ , tillförs Kattegatt söderifrån via Bälten och Öresund. Detta östersjövatten bildar den Baltiska strömmen som går norrut utmed svenska västkusten och sedan fortsätter längs norska sydkusten. Utströmningen ur Östersjön är oregelbunden och kan upphöra helt vid kraftig västlig vind. Vid Skagen kommer den Jutiska strömmen och för in salt vatten till Kattegatt och Skagerrak. Saltare vatten kan även komma in från de centrala delarna av Nordsjön.

Ytskiktets tjocklek är vid svenska kusten cirka 15 meter. Här sker en övergång till saltare vatten och denna gränsszon kallas haloklinen eller salthaltssprångskiktet. Sommartid ökar densitetsskillnaden i språngskiktet av att en termoklin byggs upp. Den uppkommer genom att ytvattnet värms upp och ett 5 - 20 meter tjockt varmare ytskikt erhålls. Den vertikala skiktningen är således stabilare på sommaren.

Vid sydvästvindar pressas det sötare ytskiktet in mot svenska kusten varvid språngskiktet sjunker. Vid kraftiga östliga vindar och stort flöde från Östersjön kan det sötare vattnet breda ut sig över hela Kattegatts yta och ytskiktet blir tunnare.



Figur 1 Karta med mätpunkter

5 MÄTDATA

Tidigare mätningar och resultat i området har använts till stor del. Temperaturen har mätts med några meters djupintervall i en bestämd position. Även strömmätningar med automatiskt registrerande instrument har i viss mån använts. Mätpunkterna är markerade i figur 1. Tidsperioderna finns angivna i tabell 1 nedan.

Tabell 1. Tidigare utförda mätningar med automatiskt registrerande instrument som används i den här utredningen

Period	Temperatur mätpunkt	Period	Ström, mät- punkt (djup)
6905 - 6912	10	6905 - 6912	10 (5 & 10 m)
7204 - 7209	25	6903 - 6909	8A (5 & 10 m)
7204 - 7301	101		
7304 - 7312	B2 (=101)		
7305 - 7308	B6		
7409 - 7410	S3		
7409 - 7410	S6		

Vindmätningar från Vinga, var tredje timme, har utnyttjats. Använd period är 1979 - 1988.

6 UTFÖRDA BEARBETNINGAR

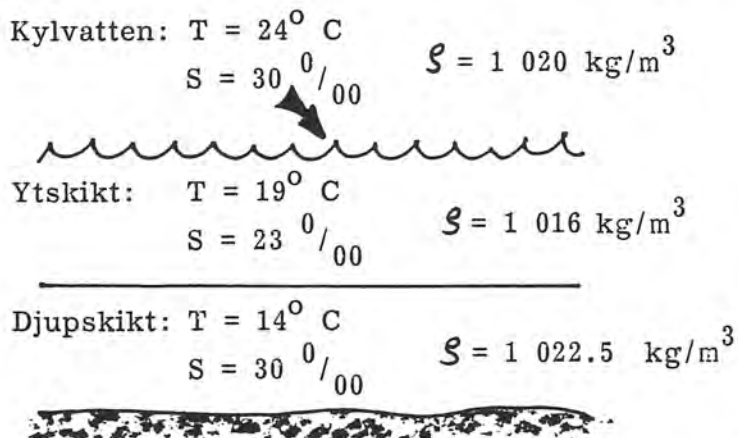
Utsläppets densitet i förhållande till recipienten

Kylvattenintaget är planerat ligga på 15 meters djup och utsläppet görs i ytan. Inne i Trommekilen (vertikal S3) varierar salthalten på 15 meters djup mellan 23 - 33 ‰, typiskt värde är cirka 30 ‰, se ref (1). Temperaturen under sommaren 1969 var i passagen vid Stretudden (vertikal 10) typiskt 14°C på 15 meters djup, se ref (2). I ytskiktet är typisk salthalt 23 ‰ och temperatur 19°C, sommartid. Densiteten på 15 meters djup blir då 1 022.5 kg/m³. I ytan erhålls 1 016 kg/m³ som ett typiskt värde. Kylvattnet värms upp 10°C och erhåller densiteten 1 020 kg/m³, se figur 2. Det är därför något tyngre än ytvattnet och blandas med detta, samtidigt som det sjunker ner något i början. Kylvattnet kommer inte att tränga ner till det djupare skiktet. Det kan också lägga sig som ett tunt lager på någon nivå strax ovanför språngskiktet.

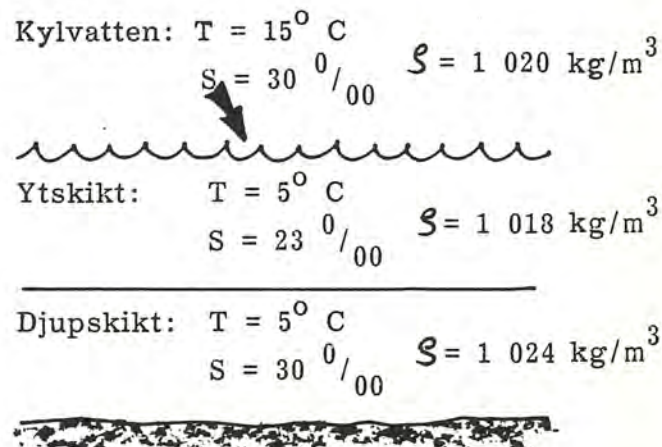
Sommartid kan språngskiktet ligga lägre än 15 meter. Då bedöms temperaturen vara 17°C och salthalten 23 ‰, dvs konstant temperatur mellan 0 och 15 meter samt ytvattnets

salthalt. Densiteten är $1\,016.5\text{ kg/m}^3$. Kylvattnet får efter 10°C uppvärmning densiteten $1\,014.0\text{ kg/m}^3$. Vid dessa tillfällen är det lättare än omgivningen och lägger sig i ytan.

SOMMAR



VINTER



Figur 2 Densiteter hos kylvattnet och recipienten under typiska sommar- och vinterförhållanden. Intag på 15 meters djup och termoklinen är belägen på 5 - 10 meters djup

Beräkningar har även utförts vid ett planerat kylvattenintag i ytan i Trommekilen. Utsläppet läggs i sundet utanför SCANRAFF. Densiteten hos ytintaget blir sommartid cirka $1\,016\text{ kg/m}^3$ ($T = 19^\circ\text{C}$, $S = 23\text{ }^0/_{00}$) och vintertid blir den cirka $1\,018\text{ kg/m}^3$ ($T = 5^\circ\text{C}$, $S = 23\text{ }^0/_{00}$). Efter uppvärmning med 10°C erhålls densiteterna $1\,013\text{ kg/m}^3$ sommartid och $1\,017\text{ kg/m}^3$ vintertid. Recipientens densitet antas vara densamma som kylvattenintagets.

Modellberäkningar av kylvattnets utbredning vid olika strömförhållanden

Beräkningar har utförts för de fall när kylvattnet har lägre densitet än recipienten. Kylvattnets horisontella och vertikala utbredning vid olika strömförhållanden har beräknats med hjälp av en matematisk modell utvecklad av E. Prych, se ref (3). Beräkningarna innehåller fyra olika överlappande inblandningsprocesser.

- 1) Kylvattnet kommer ut i vattnet i form av en jetstråle, och dennas hastighet dominerar blandningsförloppet.
- 2) Densitetsskillnaden (kylvattnet förutsätts ha lägre densitet än recipienten) ger upphov till lateral spridning och vertikal stabilitet.
- 3) Turbulensen hos strömmen i recipienten blandar in kylvattnet vertikalt och horisontellt.
- 4) Värmeavgivning till atmosfären.

Den fjärde delen blir viktig först när mindre än 10 procent av övertemperaturen finns kvar, vilket innebär lägre än 1 grads övertemperatur vid 10° C uppvärmning. Dessförinnan dominerar de tre första förloppen. Energiinnehållet i utflödet har betydligt större betydelse för inblandningen än hastigheten hos recipientströmmen. Modellens konstruktion förutsätter en viss jetstrålehastighet.

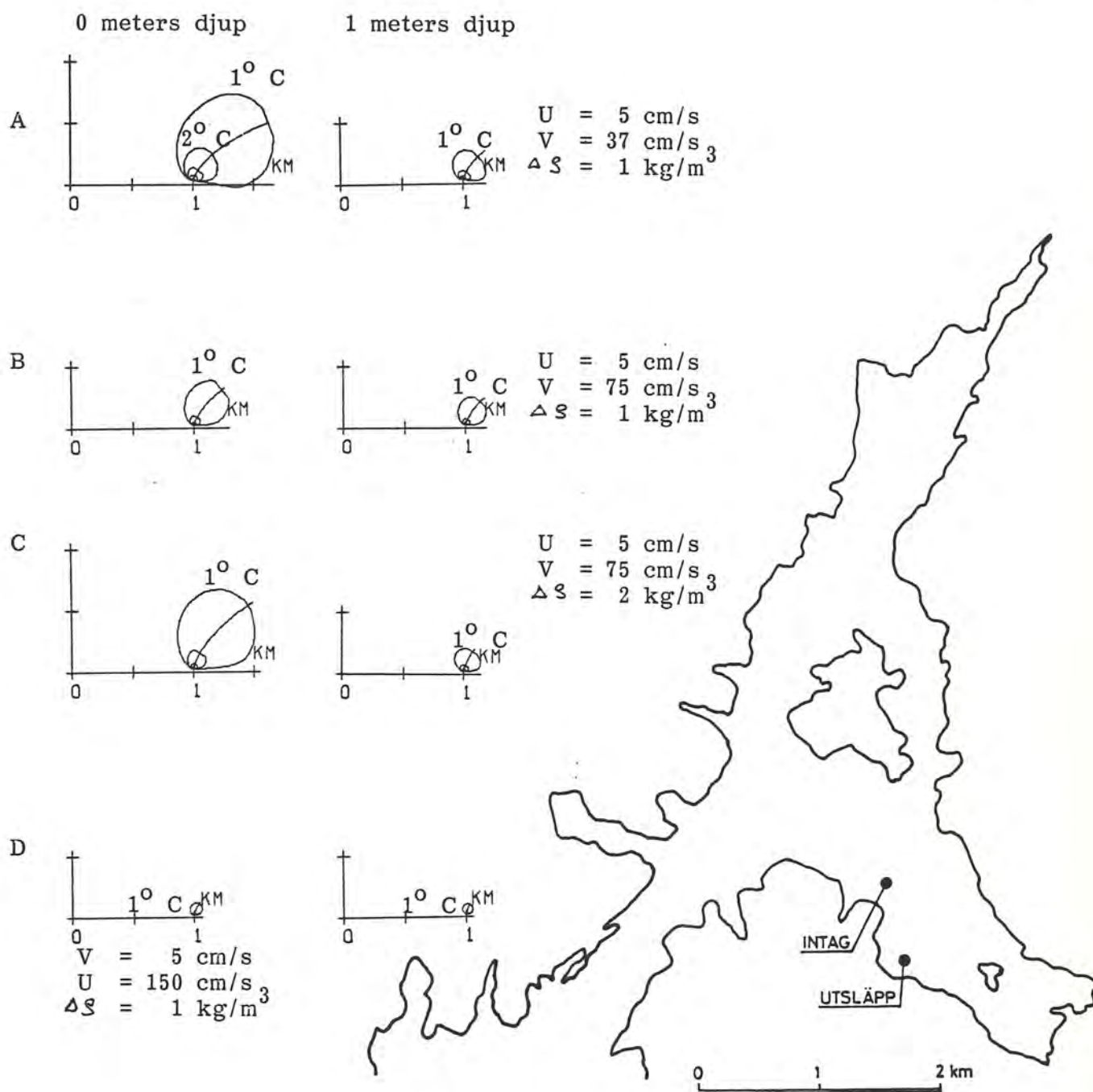
Några olika exempel på kylvattnets spridning har skapats för att ge en bild av möjliga förlopp.

Modellen förutsätter stort bottendjup och rak kust. I verkligheten har man en relativt sluten havsvik med begränsat vattenutbyte och grunda bottenar, varvid varmvattenplymerna blir större än i exemplen.

Tabell 2 Utförda beräkningsexempel med Prychs modell över kylvattnets spridning

Strömhastigheten i recipienten är riktad kustparallellt mot höger, m/s	Jetstrålehastigheten är riktad vinkelrätt ut från kusten, m/s	Densitetsskillnad kylvattnet/recipienten $\Delta\delta$ kg/m ³
0.05	0.37	1.0
0.05	0.75	1.0
0.05	0.75	2.0
0.05	1.50	1.0

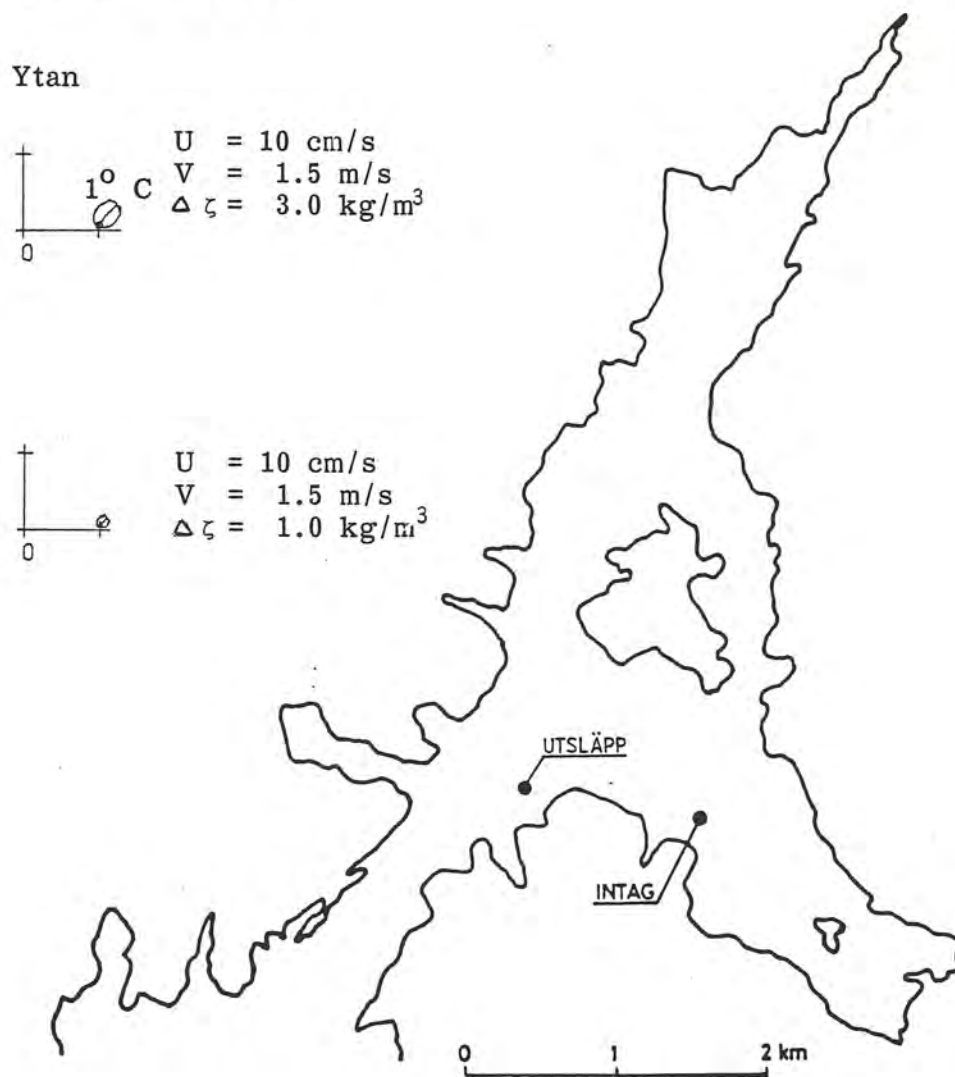
Kylvattnets horisontella utbredning på 0 och 1 meters djup har plottats. Isothermer från 1° C och uppåt är utritade, men ytorna med högre temperaturer är så små att isothermerna ej finns med. Se figur 3a.



Figur 3a Exempel på olika utbredningsytor med övertemperaturer beräknade med Prychs modell, där kylvattnet har lägre densitet än recipienten

Av figurerna framgår att ju större jetstrålehastigheten är, desto mindre blir ytorna med övertemperaturer eftersom inblandningen blir effektivare, se A, B och D. Man ser även att större densitetsskillnad, dvs ännu lägre densitet hos kylvattnet än hos recipienten, ger större avkylningsytor ty en stabilare skiktning erhålls, se B och C. Plymen går åt höger på bilderna, ty strömmen är riktad mot höger och den böjer av jetstrålen som går rakt ut från kusten.

Modellberäkningar har även utförts med Prychs modell för ytvattenintag i Trommekilen och utsläpp i sundet, se figur 3b. Detta ger en kylvattenplym som är lättare än omgivande vatten. Härvid har både sommar- och vinterförhållanden beräknats och densitetsskillnaden är typiskt 3 kg/m^3 under sommaren och 1 kg/m^3 under vintern. Utsläppshastigheten hos plymen sätts till 1.5 m/s . Strömmen i recipienten får anta hastigheten 0.10 m/s .



Figur 3b Utbredningsytor med övertemperaturer beräknade med Prychs modell, vid intag i ytan

Figuren visar att kylvattnet mycket snabbt blandas in i det omgivande vattnet, vilket främst beror på att utsläppshastigheten är så hög. Det framgår även att lägre densitetsskillnad ger snabbare inblandning.

Ytor med övertemperatur, när hänsyn endast tas till värmeutbytet med atmosfären

Alternativa beräkningar har utförts som enbart betraktar det ökade värmeflöde till atmosfären som kylvattnet ger upphov till. Härvid utgår man från att kylvattnet är lättare än recipientens ytvatten och det sprider sig gravitationellt över ett område. Vertikal inblandning är inte med i betraktelsen. Ytorna för olika övertemperaturer beräknas. Hänsyn tas till värmeutbytet med atmosfären i form av kortvågig solinstrålning, långvågig strålning, konvektiv värmeavgång och temperaturminskning genom avdunstning. Det stationära tillståndet beräknas, vilket innebär, att vid en viss storlek hos avkylningsytorna så är tillförd värme via kylvattnet lika stor som den värme som avgår till atmosfären, ref (4) och (5).

Den påverkade totalytan definieras med att övertemperaturen överstiger 0.1°C . Detta ger, vid vindhastigheten 6 m/s och recipienttemperaturen 20°C , en yta som är 2 km^2 . Ytan med temperatur högre än 1°C är 1 km^2 , högre än 2°C är 0.7 km^2 , högre än 6°C är 0.2 km^2 och högre än 8°C är 0.1 km^2 . Trommekilens yta är drygt 2 km^2 , varför hela området skulle få en viss uppvärmning.

Det här idealiserade förloppet gäller således vid strömstiltje, ingen jetstrålehastighet och för kylvatten som är lättare än ytvattnet i recipienten.

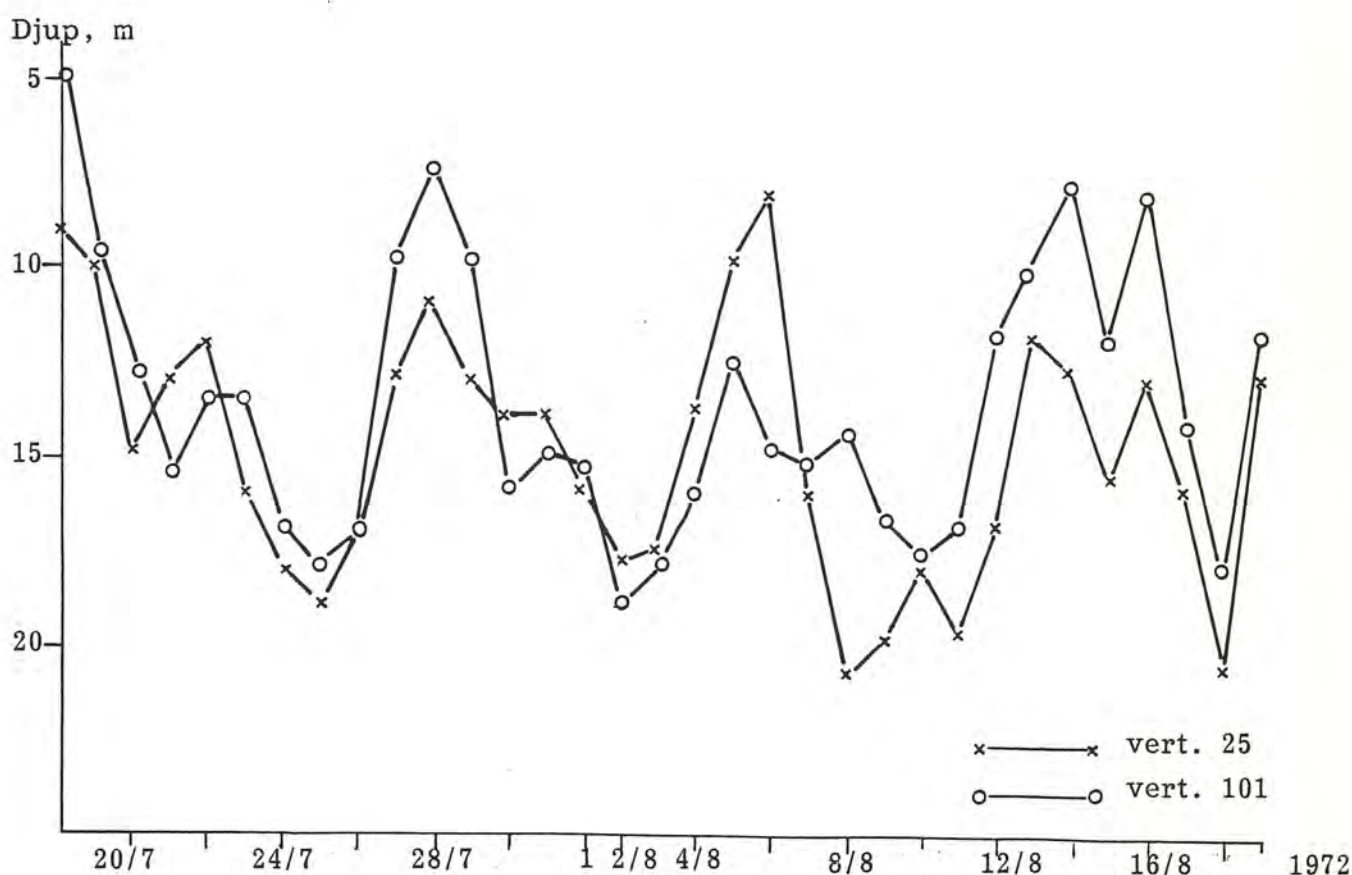
Vattenutbytet i Brofjorden och dess effekter för kylvattenutsläppet

De tillfällen när vattenutbytet är störst märks inte på vattenståndet i Brofjorden. Vattenståndsändringar ger normalt upphov till små transporter jämfört med språngskiktändringar, ty nivåändringarna i ytan är små jämfört med språngskiktets djupvariationer. Vid en språngskiktshöjning, som kan bli upp till 10 meter, flödar stora mängder ytvatten ut ur Brofjorden och dessa kompenseras av samma mängd inflödande djupvatten. Någon större vattenståndsändring äger inte rum vid dessa tillfällen men vattenutbytet är betydande.

Språngskiktets variationer styrs i huvudsak av vindar. Det pressas ned vid sydvästvindar när ytvattnet drivs in mot kusten och djupvattnet förs ut, medan nordostvindar för ut ytvattnet varvid språngskiktet närmar sig ytan. Det är dessa rörelser som ger det mest effektiva vattenutbytet i Brofjorden. Perioden är några dygn lång och långperiodiska

ändringar av språngskiktet äger således rum inne i fjorden och i kustområdet utanför. Därför förflyttas inte fjordvattnet endast till området strax utanför mynningen utan ett utbyte av vatten äger rum i hela kustområdet.

Genom att jämföra temperaturskiktningen vid Stretudden (vertikal 101) med skiktningen utanför kustzonen (vertikal 25) kan man studera vid vilka tillfällen som språngskiktsändringen sker samtidigt på båda platserna, ref (6). Temperaturen har mätts på var 5:e meter i den yttre punkten och på varannan meter i den inre.



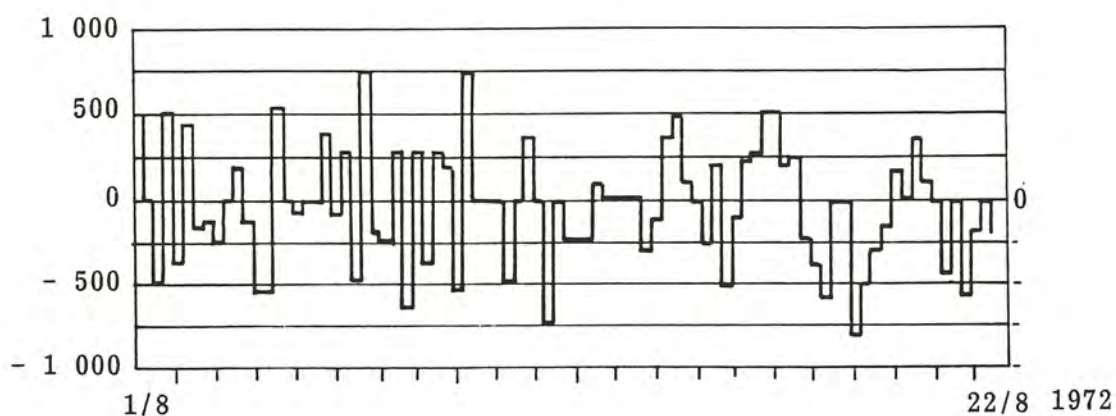
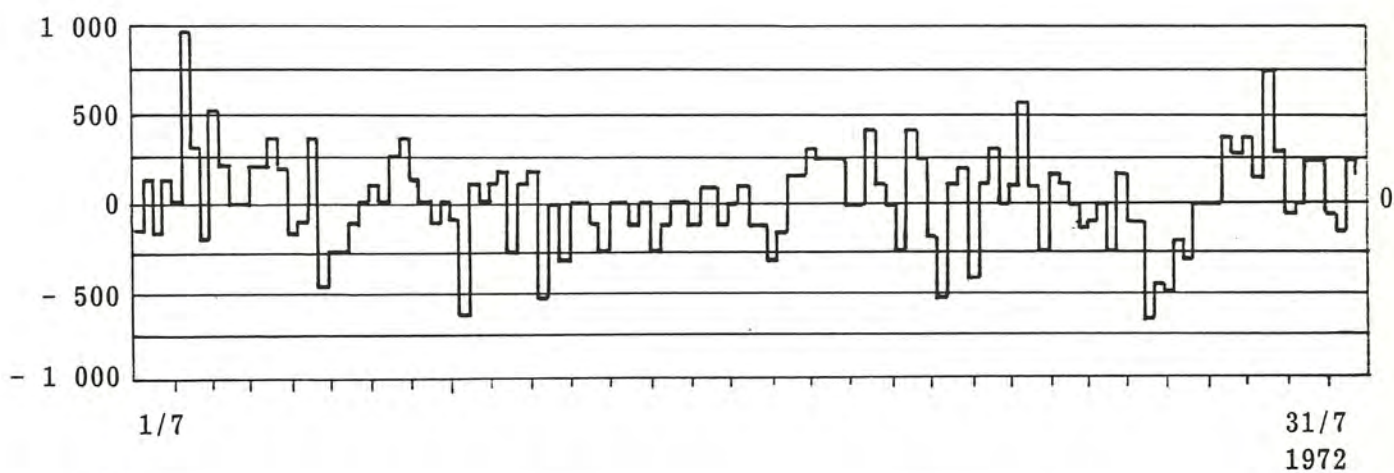
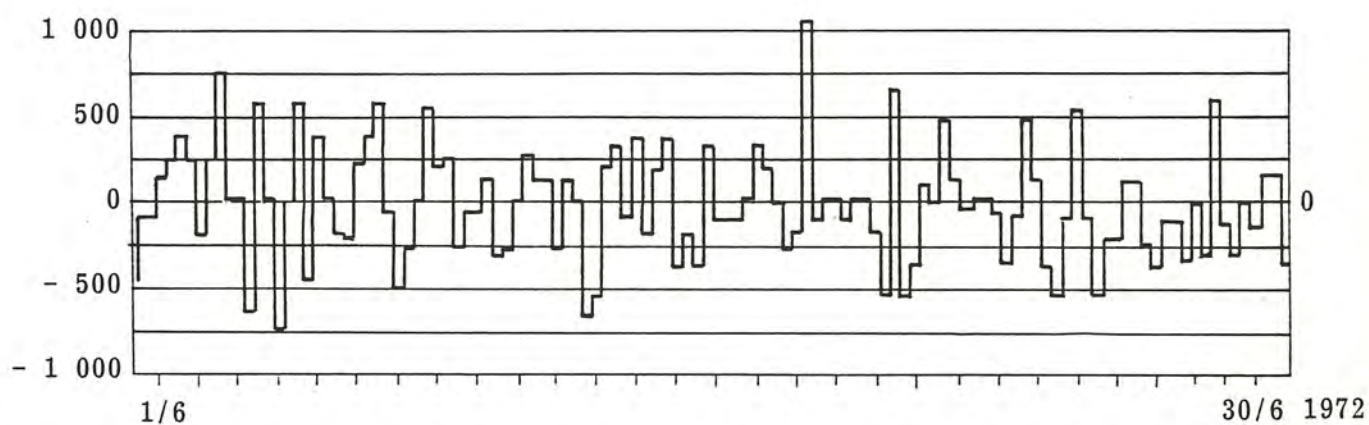
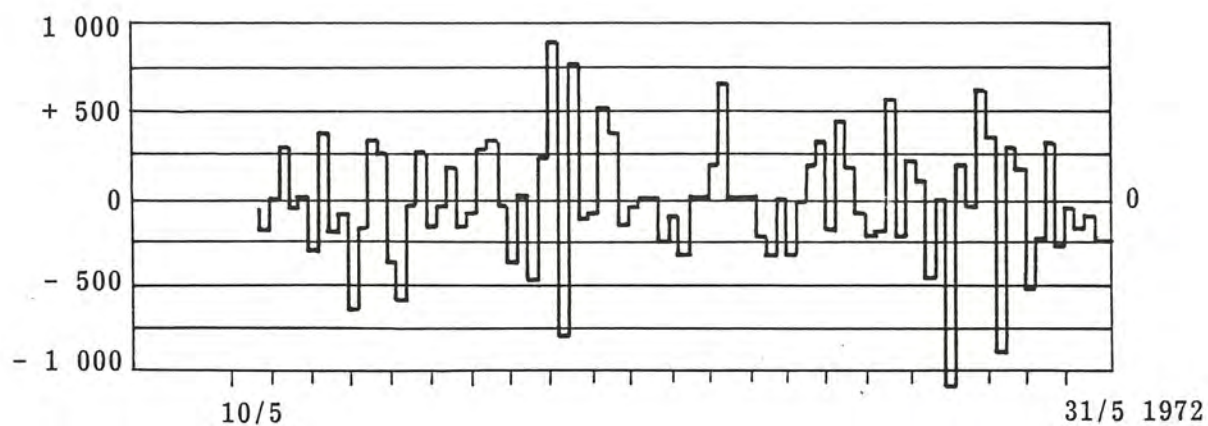
Figur 4 16° C isotermens djupläge i vertikal 101 och 25, perioden 18 juli - 19 augusti 1972

Figur 4 visar att de långperiodiska (perioden > 24 timmar), meteorologiskt betingade variationerna hos språngskiktet (här speglat av 16°C -isotermen) var desamma i vertikal 101 och 25. Den 16 - 19 augusti 1972 byttes allt ytvatten ut i fjorden ty den 16 augusti började språngskiktet sjunka i vertikal 101 och varmt vatten strömmade in. Totalt kom cirka $30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ in på 30 timmar varvid 30 % av fjordens volym förnyades. Den 17 - 19 augusti steg språngskiktet och stora mängder ytvatten fördes ut.

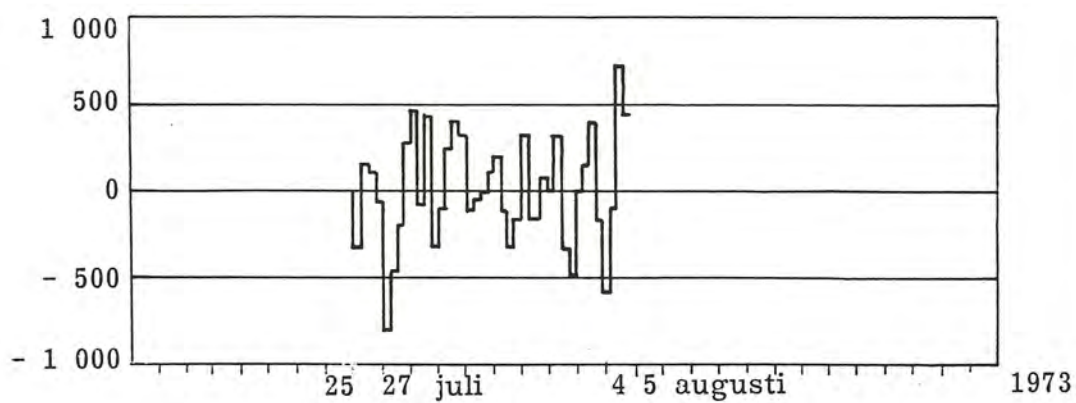
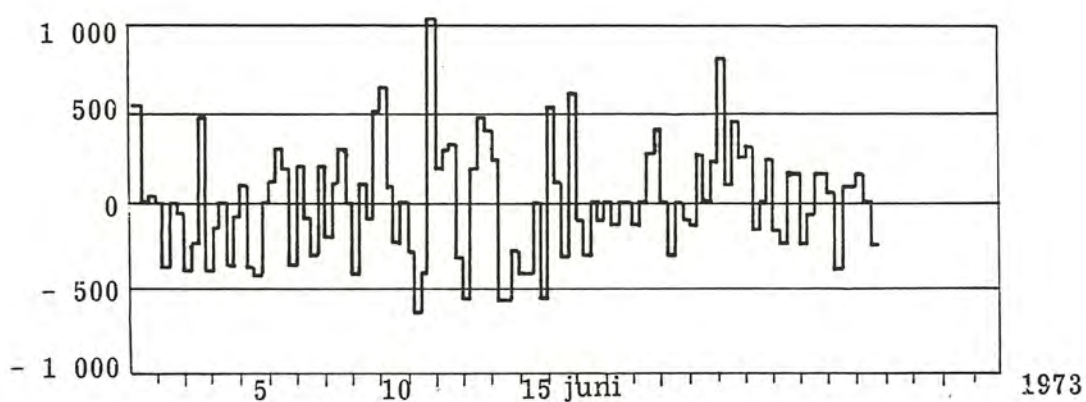
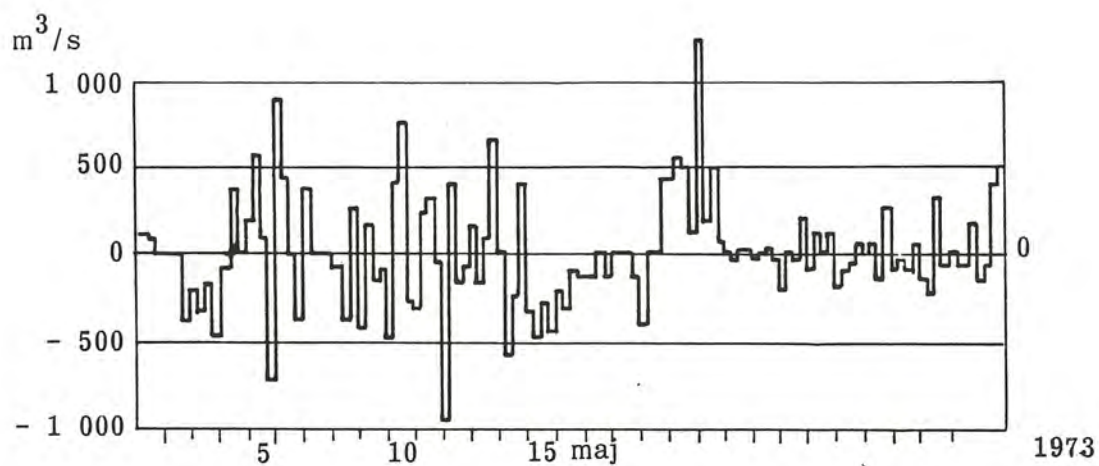
Mätningar av språngskiktets vertikala rörelser ger god information om storlek och frekvens hos vattenutbytet. Ändringen i språngskiktets läge multipliceras med Brofjordens horisontella yta på det aktuella djupet. Härigenom erhålls den vattentransport som framkallat lägesändringen. Beräkningarna utgår från djupläget var 6:e timme, varvid medeltransporten under varje 6-timmars period erhålls. Samma mängd vatten som kommer in i det ena av skikten förs alltid ut i det andra om inte vattenståndet ändras. I figur 5 finns alla de beräkningar som utförts uppritade. De är från den 10 maj - 22 augusti 1972, den 1 maj - 27 juni, den 25 juli - 5 augusti och den 1 oktober - 19 november 1973 och den 20 september - 23 oktober 1974. Skalan på y-axeln, som betecknar transportmängd är samma på alla plottningsarna, men skalan på tidsaxeln varierar.

Tillfällena med låg utbytesmängd (mindre än $200 \text{ m}^3/\text{s}$) finns under de två sommarperioderna. Oftast är de kortare än 1 dygn, men den 18 - 19 juni och den 14 - 16 juli 1972 var perioderna längre. Vid dessa tillfällen var vattenutbytet mindre än $100 \text{ m}^3/\text{s}$ i genomsnitt, dvs lägre än $8 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dygn}$ vilket är mindre än 10 % av volymen i Brofjorden. Under 1973 var transporten lägre än $250 \text{ m}^3/\text{s}$ den 21 - 28 maj, lägre än $150 \text{ m}^3/\text{s}$ den 17 - 19 juni. Dessa små transporter motsvarar strömhastigheten 2 - 5 cm/s i sundet vid Stretudden.

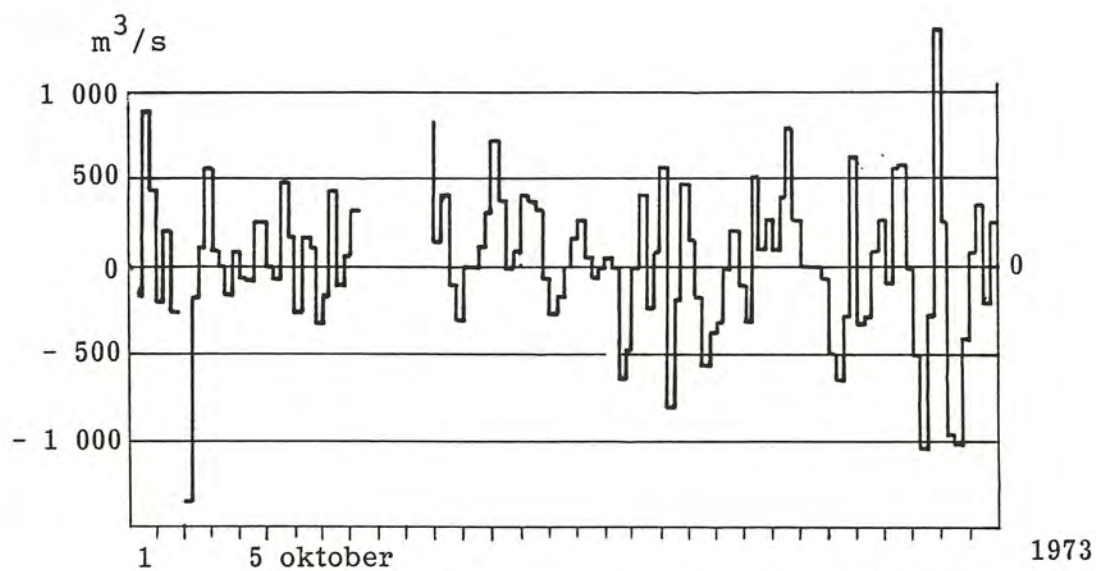
Det finns många tillfällen med extremt stora vattenutbyten. Den 26 - 29 juli 1972 var medelströmmen inte så stor men vattenutbytet var effektivt. Under 30 timmar den 26 - 27 juli gick cirka $50 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ut från ytskiktet vilket innebär över hälften av volymen innanför Stretudden som är $90 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Därefter låg språngskiktet still i 18 timmar. Under den tiden fördes det utflödande ytvattnet vidare ut i Skagerrak. Sedan kom cirka $45 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vatten in i ytskiktet och lika mycket gick ut via djupskiktet under 36 timmar den 28 - 29 juli. Under dessa fyra dagar byttes således nästan allt vatten ut i Brofjorden. Den 15 - 17 maj 1973 erhöles ett effektivt vattenutbyte genom att flera dagars uttransport rådde i ytskiktet. Den 20 - 21 maj 1973 erhöles mycket stora inflöden, maximal transport under en 6-timmars period var $1\,250 \text{ m}^3/\text{s}$, dvs $27 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, således 30 % av volymen.

m^3/s 

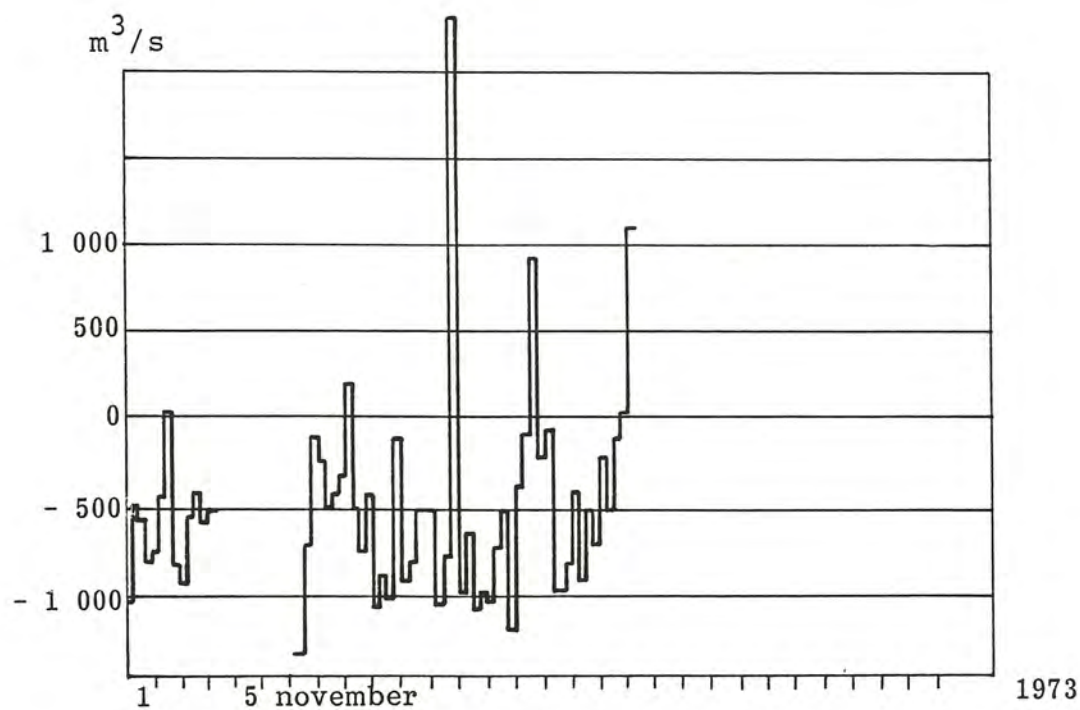
Figur 5 Vattentransporter beräknade från termoklinens vertikala variationer 1972, 1973 och 1974



Figur 5 Vattentransporter beräknade från termoklinens vertikala variationer 1972, 1973 och 1974

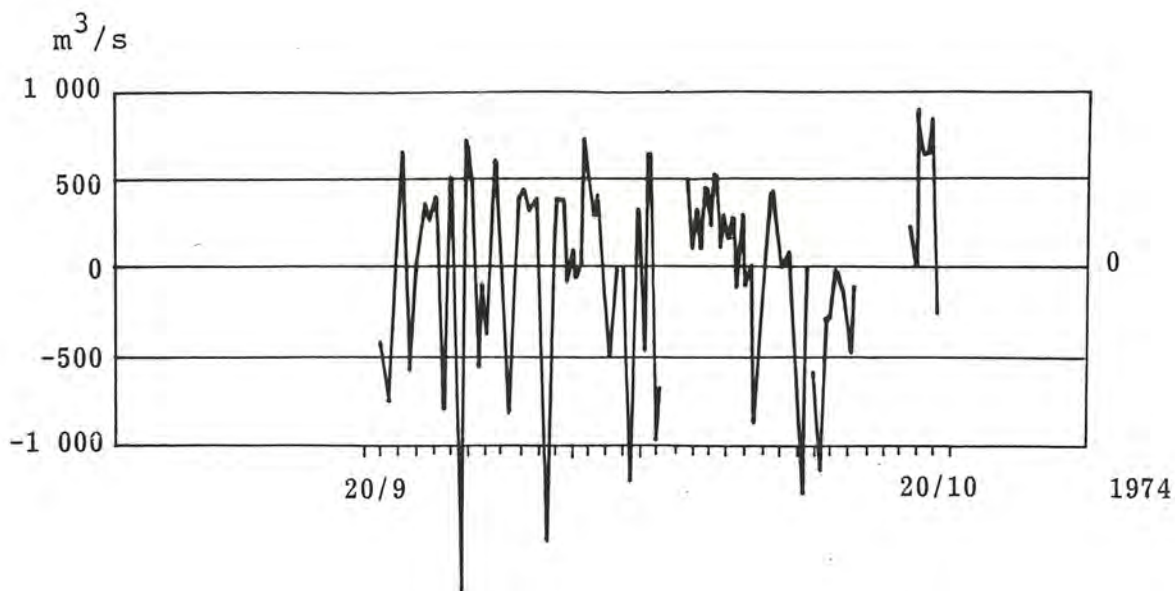


1973



1973

Figur 5 Vattentransporter beräknade från termoklinens vertikala variationer 1972, 1973 och 1974



Figur 5 Vattentransporter beräknade från termoklinens vertikala variationer 1972, 1973 och 1974

Ett annat exempel på ett stort vattenutbyte under en 6-timmars period är den 12 november 1973 då cirka $60 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ kom in i ytskiktet, vilket motsvarar $\frac{2}{3}$ av Brofjordens volym. Det innebär en strömhastighet som är 65 cm/s genom sundet vid Stretudden.

Normalt är således vattenutbytet i Brofjorden, sett inom tidslängden 1 dygn, ganska bra. Vid flera tillfällen är ventilationen mycket god. Det är endast vid enstaka tillfällen varje sommar som begränsad ventilation kan förekomma flera dygn i sträck. Vid dessa tillfällen är vattenutbytet cirka $10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per dygn; vilket är lägre än 10 % av volymen och får betraktas som litet.

Tidvattensvängningar förekommer regelbundet med svängningsperioder på cirka 12 timmar. Dessa ändrar inte språngskiktets läge utan det är främst vattenytans nivå som varierar med tidvattnets period, varvid 35 centimeters skillnad kan erhållas mellan låg- och högvatten hos det halvdagliga tidvattnet vid springflod. Vatten förs in/ut såväl över som under gränsytan. Eftersom rörelserna sker fram och åter i ett begränsat område så kommer till stora delar samma vatten tillbaka som fördes ut.

Interna stående svängningar, s k seicher, uppkommer även och dessa kan initieras av en sydvästvind som trycker ner språngskiktet och när vinden upphör startas en svängning. Perioden är 13 - 16 timmar och svängningen speglas av att språngskiktet varierar vertikalt med periodens tidslängd. Den finns bara inne i själva Brofjorden; nordost om Stretudden. Rörelsen ger inte upphov till något effektivt horisontellt vattenutbyte och den är dessutom ganska kortlivad. Den ger upphov till ett begränsat vertikalt utbyte intill språngskiktet. Efter några dygn har den förlorat sin energi genom friktionseffekter.

Trommekilens dynamik och samverkan med Brofjorden. Varaktighet och förekomst av vädersituationer som är ogynnsamma för Trommekilen

Trommekilens inre del, Hanneviken, är relativt vidsträckt och mycket grund. Vattenutbytet begränsas av några öar som ligger i gränzonen till viken. Trommekilens djupare delar ligger ganska öppet och utgör Brofjordens centrala partier. Djupet varierar mellan 15 och 22 meter.

Vattenutbytet till följd av språngskiktets variationer är lika effektivt i centrala Trommekilen som i Brofjorden som helhet. Utbyte som följd av tidvatten och interna svängningar är mer begränsat ju längre in i fjordsystemet man befinner sig.

Ytvattnets transport i Trommekilen styrs till stor del av den lokala vinden. En svag ihållande sydostvind för ut ytvattnet mot Brofjordens mer centrala delar. Härigenom sker förnyelse av vattnet i Hanneviken. Höga vindhastigheter oavsett vindriktning ger alltid upphov till ökad nedblandning och utspädning av kylvattnet. Den mest ogynnsamma vinden är svag nordvästlig. Den för in Trommekilens ytvatten till Hanneviken, utan att någon större omblandning äger rum. Det innebär att det uppvärmda kylvattnet kan ansamlas på de grunda bottenarna och temperaturen i Hanneviken ökar.

Varaktigheten hos svaga vindar från nordväst har beräknats under en 10-års period, 1979 - 1988. Observationerna är utförda var 3:e timme. Vinden från Vinga har använts och den är representativ för kustområdet. Vindhastigheter som är 5 m/s eller lägre har klassats som svaga och vindhastigheten mellan väst och nord behandlas. Följande varaktigheter har erhållits.

Tabell 3. Varaktighet för nordvästvind ≤ 5 m/s vid Vinga under 1979 - 1988.

Tidslängd, timmar	Antal tillfällen	Årstid
30	1	juli
27	1	juli
24	4	juni, juli
21	7	april-okt
18	14	april-aug
15	22	hela året
12	53	hela året

Tabellen visar att hög varaktighet är vanligast under sommaren, vilket är naturligt med tanke på de högtrycks-lägen som kan uppstå då. Under 10-års perioden erhöles 27 respektive 30 timmars varaktighet en gång, vilket därför får betraktas som en ovanlig företeelse. Vanligare är däremot varaktighet på 12 - 24 timmar som har erhållits vid 100 olika tillfällen, i genomsnitt 10 gånger per år, med en viss tyngdpunkt under vår/sommar.

Om en linje dras från utsläppet och tvärs Trommekilen, se figur 3a, erhålls den volym som kan beröras av kylvattnet, nämligen $35 \cdot 10^5 \text{ m}^3$. Volymen är cirka 10 gånger större än den utsläppta kylvattenmängden under 12 timmar, som är $3 \cdot 10^5 \text{ m}^3$.

Temperaturförhållanden i Brofjorden.

Månadsmedelvärden för vattentemperaturen över respektive under språngskiktet har beräknats utifrån automatiska registreringar. Informationen ger en god uppfattning om såväl normala temperaturer som skillnader mellan olika år.

Tabell 4. Månadsmedelvärden av temperatur ($^{\circ}\text{C}$) i Brofjordens mynning, ref (7)

Månad	1969 3 m	1972 1 m	1973 1 m	1969 21 m	1972 21 m	1973 21m
Januari			2.6*			6.0*
April			6.4			6.0
Maj		10.5	10.2		5.9	7.2
Juni	15.6	15.6	16.2	5.8	9.2	10.2
Juli	17.2	19.8		12.2	12.3	
Augusti	19.4	17.9		13.2	13.8	
September		15.1	14.7	14.4	14.7	14.6
Oktober		10.8	9.3		11.2	11.7
November		7.7	6.9		8.8	9.1
December		5.3			6.6	

* Registreringen har pågått mer än $2/3$ av månaden.

Månadsmedelvärdena nära ytan varierar under sommaren mellan olika år. Under maj och juni erhöles små skillnader medan resultaten under juli och augusti skilde sig åt med cirka 2.5°C . Under hösten erhöles små variationer mellan åren. På 21 meters djup varierade temperaturen obetydligt mellan åren under augusti - november, medan variationerna i juni

var stora. Underlaget kan inte generaliseras, men det ger en uppfattning om vilka temperaturer som är representativa för yt- och djupvatten i Brofjordens mynning.

Utformning och läge för kylvattenutsläppet

Enligt nuvarande förslag ska kylvattnet ledas ut som ytvatten via en muddrad ränna. Det betyder att det är utan eget energitillskott och någon ökad omblandning skapas därför inte initialt av kylvattnets rörelsemängd. Det utsläppta kylvattnet letar upp den densitetsnivå som motsvarar dess egen densitet. Då det ofta kommer att vara något tyngre än recipientens ytvatten lagras det in några meter under vattenytan. Någon större värmeavgivning till atmosfären äger således inte rum.

Av stor vikt är följande:

- * Energimängden hos kylvattnet
- * Den geografiska placeringen

Om kylvattnet kan föras ut i fjorden som en jetstråle, vilket innebär att det har en viss egen rörelsemängd, erhålls en stor initialutspädning. Inblandningen med omkriggande vatten blir större och kylvattnet fördelas i ett betydligt tjockare vattenskikt. Detta ger lägre maximumtemperatur och istället erhålls större vattenvolymer med mycket små övertemperaturer. Genom att det uppvärmda vattnet sprids över större områden kommer det även snabbare ut ur fjordsystemet.

Om utsläppsläget kan placeras närmare Brofjordens centrala delar erhålls snabbare utspädning än vid det nu föreslagna läget. Kusten är här brantare samtidigt som utsläppet då kommer närmare mynningen i vars närhet vattenutbytet är större. Kylvattnet når inte lika snabbt in i Hanneviken, som är grund och instängd.

Beräkningar har även utförts över ytintag i Trommekilen och utsläpp i Brofjordens mynning. Utsläppshastigheten är satt till 1.5 m/s vilket ger en snabb spädning. Läget medför att kylvattnet effektivt förs ut ur Brofjorden.

7 RESULTAT

Det största vattenutbytet i Brofjorden äger rum när densitetssprångskiktet stiger eller sjunker. Dessa förlopp styrs helt av de meteorologiska förhållandena. En ändring i språngskiktets djupläge medför att stora mängder yt- eller djupvatten tvingas ut ur fjorden och nytt vatten kommer in.

Förloppet är inte lokalt, utan det äger rum i hela kustområdet. Vattnet i Brofjorden blir därför effektivt förnyat flera gånger varje sommar när vädersystem med ihållande sydväst- eller nordostvind passerar. Tillfällen med låg ventilation förekommer även. Ofta är de kortare än 1 dygn, men det finns även längre perioder. Normalt är dock vattenutbytet i Brofjorden, sett över längre period än 1 dygn, bra. Tidvattnets betydelse för vattenutbytet är inte försumbar, men relativt begränsad. Dess period är cirka 12 timmar.

Avkylningsytornas storlek har beräknats med två olika metoder. Dels en med jetstråleenergi och inblandning, dels en med enbart värmeavgång till atmosfären. I båda fallen är kylvattnets densitet lägre än recipientens densitet. Utspädningen i beräkningarna blir därför större än vid sjunkande kylvattenplym. Avkylningsytorna vid enbart värmeavgång till atmosfären är större än de som erhålls vid inblandning med ytvattnet. I beräkningen med jetstråle erhålls sällan övertemperaturer som är större än 3°C , vilket främst är en följd av utflödets energimängd. Vid enbart värmeavgivning till atmosfären erhålls t ex en 0.7 km^2 stor yta som har mer än 2°C övertemperatur.

Kylvattenintaget planeras ligga på 15 meters djup, vilket gör att kylvattnet är saltare än omgivningen där det mynnar. Eftersom det på sommaren är cirka 5°C lägre temperatur på 15 meters djup än i ytan och uppvärmningen är 10°C blir kylvattnets övertemperatur cirka 5°C . På vintern däremot, när temperaturen är cirka 2°C högre i djupskiktet än i ytan blir övertemperaturen cirka 12°C . Med typiska sommar- och vintervärden på temperatur och salthalt blir kylvattnet tyngre än det omgivande ytvattnet. Strömmarna i Trommekilen är svaga. Troligt är att kylvattnet rinner ner och lägger sig, relativt koncentrerat, på en nivå i ytskiktets undre del, relativt nära språngskiktet. Här är den vertikala omblandningen låg. Det kommer att breda ut sig horisontellt i Brofjorden och någon lokal ansamling sker inte. Till den horisontella utspridningen bidrar tidvattensvängningarna. Trommekilens yta är cirka 2 km^2 och vid kylvattenutflödet $7.5\text{ m}^3/\text{s}$ erhålls, vid jämn fördelning i hela området, tjockleken 3 decimeter på 24 timmar. Det får betraktas som relativt litet. När däremot språngskiktet ligger högre än intaget på 15 meter, blir kylvattnet lättare än ytvattnet och lägger sig i ytan. Allt medan kylvattnet avkyls och närmar sig ytvattnets temperatur så sjunker det, eftersom dess salthalt är högre än ytvattnets.

Sommartid blir kylningen i processen effektivare när kylvattnet tas in på 15 meters djup eftersom det vattnet är kallast. Vintertid däremot är vattnet kallare närmare ytan än på 15 meters djup och kylningen blir därför effektivare om ytnära vatten används.

Vid svaga nordvästvindar ansamlas kylvattnet i Trommekilens inre delar, främst Hanneviken. Vid sjunkande kylvatten blir den vinddrivna transporten lägre än när plymen ligger i ytan. Det är vid dessa vindförhållanden som vattenutbytet i Trommekilen är minimalt. Det här väderläget förekommer med varaktigheten 12 - 24 timmar i genomsnitt 10 gånger per år, med tyngdpunkt på sommaren.

Utsläppets placering och utformning har stor betydelse för inblandning, utspädning och recirkulation. Det föreslagna läget hos kylvattenutsläppet bidrar till att ansamling i Hanneviken sker lättare än om placeringen görs längre in i riktning mot Brofjordens centrala delar, där vattnet förnyas oftare. Intag av saltare vatten medför att kylvattnet ofta är tyngre än omgivningen vilket minskar utspädningen och omöjliggör värmeavgång till atmosfären. En viss hastighet hos utflödet har mycket stor effekt på det initiella blandningsförloppet. En hastighet på 0.5 - 1.0 m/s rekommenderas. Allmänt gäller, att om intaget ligger i ytan, bör utsläppet vara beläget så att risken för recirkulation minimeras.

Kompletterande beräkningar har utförts, där intaget sker i Trommekilens ytskikt och utsläppet i Brofjordens mynning. Kylvattnet släpps ut med hastigheten 1.5 m/s. Detta ger en snabb spädning och en effektiv borttransport ut ur fjorden.

8 REFERENSER

- Ref (1) Wändahl, Tomas. Yttrande angående inverkan av utsläpp av avloppsvatten från det av Statsföretag planerade oljeraffineriet vid Brofjorden. SMHI, 1975.
- Ref (2) Wändahl, Tomas. Planerad kraftstation på Lysehalvön - lokalisering av kylvattenvägar. SMHI, 1971.
- Ref (3) Prych, Edmund A. A warm water effluent analyzed as a bouyant surface jet. SMHI, serie Hydrologi 21, 1972.
- Ref (4) Milanov, Todor. Avkylningsproblem i recipienter vid utsläpp av kylvatten. SMHI, serie Hydrologi 6, 1969.

- Ref (5) Milanov, Todor. Termisk spridning av kylvatten-
utsläpp från Karlshamnsverket. SMHI serie Hydro-
logi 11, 1971.
- Ref (6) Svensson, Jonny. Rapport angående oceanografiska
undersökningar under 1972 i Brofjordenområdet.
SMHI, 1973.
- Ref (7) Brandt, Maja. Rapport angående oceanografiska
basundersökningar under 1973 i Brofjordenområdet.
SMHI, 1974.

Nr	Titel
1	En hydronamisk modell för spridnings- och cirkulationsberäkningar för Östersjön - Slutrapport av Lennart Funkqvist Norrköping 1985
2	Spridningsundersökningar i yttre fjärden Piteå av Barry Broman och Carsten Peterson Norrköping 1985
3	Utbyggnad vid Malmö hamn; Effekter för Lommabuktens vattenutbyte av Cecilia Ambjörn Norrköping 1986
4	SMHIs undersökningar i Öregrundsgripen perioden 1984/85 av Jan Andersson och Robert Hillgren Norrköping 1986
5	Oceanografiska observationer utmed svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1985 av Bo Juhlin Norrköping 1986
6	Uppföljning av sjövärmepump i Lilla Värtan av Barry Broman Norrköping 1986
7	15 års mätningar längs svenska kusten med kustbevakningen (1970 - 1985) av Bo Juhlin Norrköping 1986
8	Vågdata från svenska kustvatten 1985 av Jonny Svensson Norrköping 1986
9	Oceanografiska stationsnät Svenskt Vattenarkiv av Barry Broman Norrköping 1986
10	PROBE - an instruction manual av Urban Svensson Norrköping 1986

- 11 Spridning av kylvatten från Öresundsverket
av Cecilia Ambjörn
Norrköping 1987
- 12 Oceanografiska observationer utmed svenska kusten
med kustbevakningens fartyg 1986
av Bo Juhlin
Norrköping 1987
- 13 SMHIs undersökningar i Öregrundsgrepen 1986
av Jan andersson och Robert Hillgren
Norrköping 1987
- 14 Impact of ice on Swedish offshore nighthouses.
Ice drift conditions in the area at Sydostbrotten -
ice season 1986/87
av Jan-Erik Lundqvist
Norrköping 1987
- 15 Fasta förbindelser över Öresund - utredning av
effekter på vattenmiljön i Östersjön
av SMHI/SNV
Norrköping 1987
- 16 Undersökning av vattenmiljön vid utfyllnaden av
Kockums varvsbassäng. Slutrapport för perioden
18 juni - 21 augusti 1987
av Cecilia Ambjörn och Kjell Wickström
Norrköping 1987
- 17 Östergötlands skärgård - Vattenmiljön
av Erland Bergstrand
Norrköping 1987
- 18 Kattegatt- Havet i väster
av Stig H Fonselius
Göteborg 1987
- 19 Recipientkontroll vid Breviksnäs fiskodling 1986
av Erland Bergstrand
Norrköping 1987
- 20 Bedömning av kylvattenrecipienten för ett
kolkraftverk vid Oskarshamnsverket
av Kjell Wickström
Norrköping 1987

- 21 Förstudie av ett svenskt modellsystem för kemikaliespridning i vatten
av Cecilia Ambjörn
Norrköping 1987
- 22 Vågdata från svenska kustvatten 1986
av Kjell Wickström
Norrköping 1988
- 23 A permanent traffic link across the Öresund channel
- A study of the hydro-environmental effects in the Baltic Sea
av SMHI (Jonny Svensson)/National Swedish Environmental Protection Board (SNV)
Norrköping 1988
- 24 SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1987
av Robert Hillgren
Norrköping 1988
- 25 Kylvattnet från Ringhals
1974-86
av Carsten Peterson och Per-Olof Skoglund
Norrköping 1988
- 26 Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1987
av Bo Juhlin
Norrköping 1988
- 27 Recipientkontroll vid Breviksnäs fiskodling 1987
av Bo Juhlin och Stefan Tobiasson
Norrköping 1988
- 28 Spridning och sedimentation av tippat lermaterial utanför Helsingborgs hamnområde
av Cecilia Ambjörn
Norrköping 1989
- 29 SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1988
av Robert Hillgren
Norrköping 1989
- 30 Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1988
av Bo Juhlin
Norrköping 1989

- 31 Samordnade kustvattenkontrollen i Östergötland 1988
av Erland Bergstrand och Stefan Tobiasson
Norrköping 1989
- 32 Oceanografiska förhållanden i Brofjorden i samband
med kylvatten utsläpp i Trommekilen
av Cecilia Ambjörn
Norrköping 1989

