Oceanografi nr 33, 1990

OCEANOGRAFISKA FÖRHÅLLANDEN UTANFÖR VENDELSÖFJORDEN I SAMBAND MED KYLVATTENUTSLÄPP

av
Cecilia Ambjörn
Förste Statsoceanograf

SMHI 1249a

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 Norrköping. Tel 011-15 80 00. Telex 64400 smhi s.

Februari 1990

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

		Sida
1	SAMMANFATTNING	1
2	UPPDRAGET	3
3	FRÅGESTÄLLNINGAR	3
4	OCEANOGRAFISKA FÖRHÅLLANDEN	5
5	KYLVATTNETS EGENSKAPER OCH SPRIDNING	15
6	SAMVARIATION MED RINGHALS KYLVATTEN	19
7	RESULTAT	21
8	REFERENSER	23

1 SAMMANFATTNING

Vattenfall planerar ett naturgaseldat kraftverk utanför Vendelsöfjorden. Det är tänkt att anläggningen ska producera maximalt 700 MW och släppa ut 10 m^3 kylvatten per sekund, som är uppvärmt 10 ^oC. Kylvattnet planeras att tas in nära bottnen och släppas ut i ytan.

Strömmarna, i området mellan Vendelsöfjorden och den öppna kusten, är riktade in mot Vendelsöfjorden under 10 procent av tiden. En inåtgående ström, med en samtidig 1-2 km bred utåtgående ström intill kusten, råder under 30 procent av tiden. Vid resterande tillfällen är strömmen varierande eller sydgående.

Den vertikala densitetsskiktningen är dominerad av salthaltens ökning från ytan och neråt. Skiktningen kan vara mycket kraftig med 14 promilles salthalt i ytan och 34 promille vid botten. Samma salthalt kan också förekomma i hela vattenmassan, då ligger värdena ofta mellan 18 och 21 promille.

På sommaren förstärks densitetsskiktningen av att ytvattnet värms upp snabbare än bottenvattnet. Samma temperatur kan även råda ända ner till bottnen, eftersom här är grunt. Temperaturförändringen finns då på större djup, längre ut från kusten. Under november - mars kan det vara några grader varmare på 15 meters djup än i ytan.

Om kylvattnet tas in nära botten på 15-17 meters djup och släpps ut i ytan kommer det att vara tyngre än sin omgivning under stor del av året. Vid de tillfällen när kylvattnet är lättare eller endast obetydligt tyngre än ytvattnet blandas det in i ytan mellan cirka 0 och 3 m djup, därmed blir den horisontella spridningen effektiv. Avdunstning, vind och vågor gör att övertemperaturen blir lägst vid spridning i ytan. När salthalten vid bottenintaget är hög blir kylvattnet betydligt tyngre än det omgivande ytvattnet. Det sjunker då ner till en nivå ovanför salthaltssprångskiktet, som ligger på 10-15 meters djup. Här ligger kylvattnet relativt koncentrerat, ty den vertikala blandningen är begränsad av vattnets skiktning.

Kylvattnet från Ringhals kan, så här långt från källan, ha högst 1-2 ^oC övertemperatur i ett ytnära skikt. Detta kylvatten går norrut cirka 4 gånger av 10. Vid dessa tillfällen har kylvattnet från det planerade kraftverket antingen sjunkit ner i vattenmassorna och lagt sig på 5-10 meters djup eller så ligger det nära ytan. När strömmen går in mot Vendelsöfjorden och därmed mot nordost i hela området, vilket händer 1 gång av 10, ökar den sammanlagda ytan för 1 ^oC övertemperatur.

Vid inåtgående ström längre ut och en sydvästgående smalare ström nära kusten, vilket inträffar 3 gånger av 10, kan en viss förstärkt effekt erhållas där kylvattenplymerna möts, sydväst om det planerade läget. Vid cirka hälften av dessa tillfällen ligger kylvattnet från båda kraftverken i ytan. Detta betyder i praktiken 15 procent av tiden.

Lämpligt läge för kylvattenutsläppet är därför utefter en linje vinkelrätt ut från kusten. Läggs utsläppet nära kusten kan det under 15 % av tiden samverka i ytan med utsläppet från Ringhals. Aktuella övertemperaturer är högst 1-2 ^{o}C. Vid en placering cirka 2 km ut från kusten kommer det under 20 % av tiden att bli en förlängning av plymen från Ringhals.

Avgörande för en snabb utspädning är den hastighet med vilken kylvattnet förs ut i havet. Lämpliga hastigheter kan vara 1.0-2.0 m/s.

Vid sydgående ström samtidigt som kylvattnet från det planerade läget lägger sig i ytan, kan en mindre temperaturförhöjning erhållas vid intaget för Ringhals kylvatten.

Kännedomen om vattenutbytet är begränsad. Vid svaga strömmar som skiftar riktning 1 gång per dygn eller oftare sker en viss ansamling av kylvatten i närområdet. Vid ström in mot Vendelsöfjorden kan högst 3-4 graders temperaturhöjning ske på de större djupen inne i fjorden alternativt maximalt 2 graders höjning från ytan till botten i hela fjorden. Ovanstående gäller vid sjunkande kylvatten.

2 UPPDRAGET

Vattenfall har för avsikt att lokalisera ett naturgaseldat kraftverk utanför Vendelsöfjorden. Kraftverket planeras producera maximalt 700 MW. SMHI har fått i uppdrag att utföra en utredning avseende de oceanografiska förhållandena i området, samt effekten av kylvattenutsläpp.

Anläggningen behöver kylvatten som planeras tas in nära botten på 12-15 m djup. Det uppvärmda kylvattnet släpps ut i ytan. Volymen är 10 m^3/s och temperaturstegringen genom processen är cirka 10 ^oC.

Ringhals kärnkraftverk är beläget strax söder om det studerade läget, se karta figur 1. Vid full drift vid Ringhals är kylvattenmängden där 160 m^3/s och temperaturstegringen 10 ^oC.

3 FRÅGESTÄLLNINGAR

Allmänt gäller att kylvattnets effekter på de nuvarande oceanografiska förhållandena ska studeras.

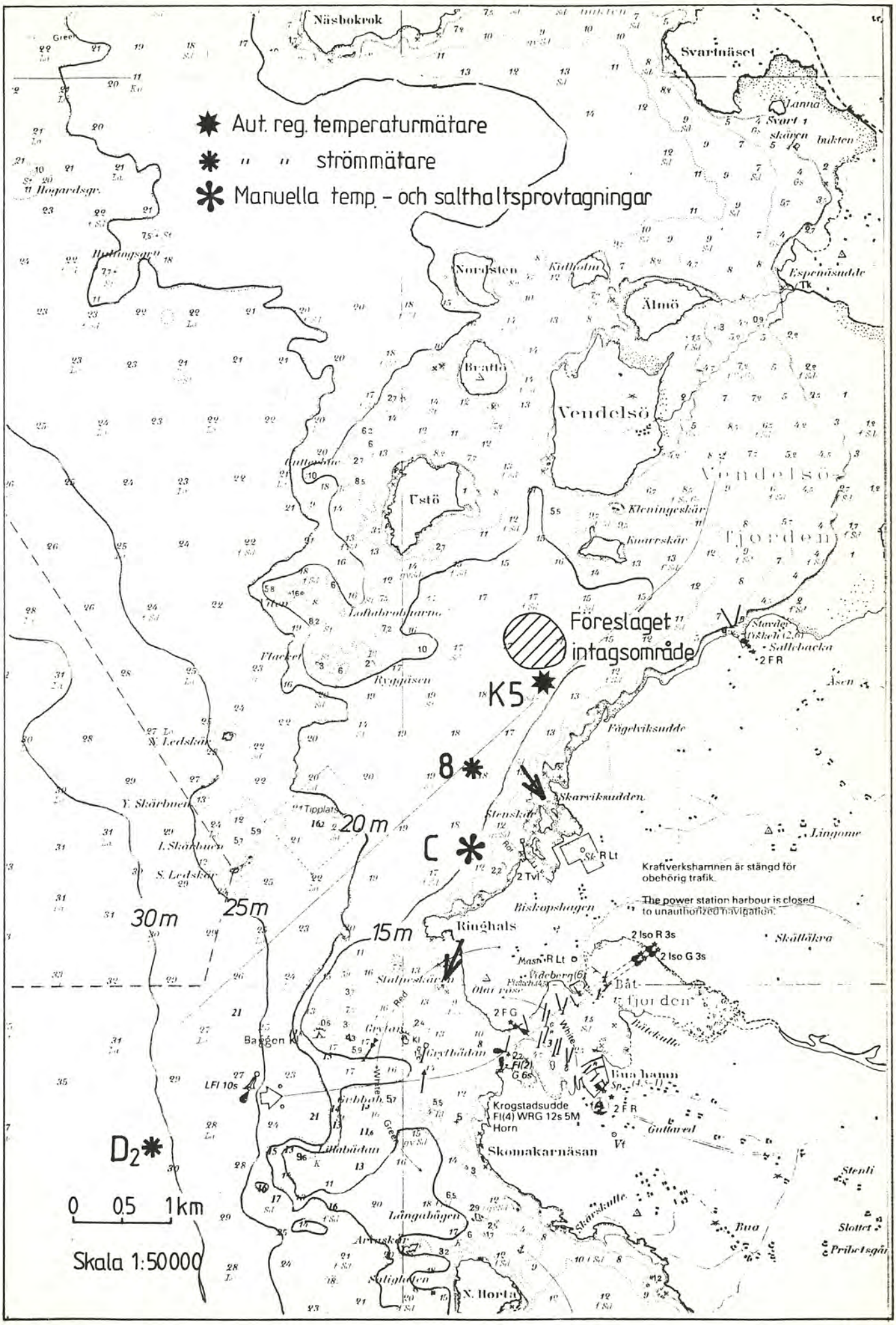
Arbetet omfattar följande delar:

* Temperatur- och salthaltsförhållanden i yttre Vendelsöfjorden beskrivs utifrån befintligt mätmaterial. Härvid betraktas variationer under olika årstider vad avser skiktning och faktiska värden vid ytan och bottnen. Informationen utgör även underlag för att beräkna utsläppets och recipientens densiteter. Beskrivning av strömförhållandena utanför Vendelsöfjorden ges också.

* Den horisontella och vertikala spridningen vid bottenintag och utsläpp i ytan beskrivs för olika typiska skiktningar. I samband härmed beräknas effekterna av olika utströmningshastigheter och densitetsskillnader mellan kylvattnet och omgivningen med en matematisk plymmodell. Denna utgår från att det utsläppta vattnet har lägre densitet än omgivningen varför den inte kan beskriva ett sjunkande kylvattenutsläpp. Man erhåller en god uppfattning om vilken betydelse som olika faktorer har för utbredningen av plymen. Beskrivning görs även av inblandning vid sjunkande kylvatten.

* Samvariation med kylvattnets utbredning från Ringhals kärnkraftverk studeras vid olika strömmar och skiktningar.

* Lämplig horisontell placering av intagspunkt och utsläppsläge diskuteras.



Figur 1. Karta med mätpunkter.

4 OCEANOGRAFISKA FÖRHÅLLANDEN

Allmänt

Vendelsöfjorden är belägen strax norr om Ringhals udde. Den begränsas av Vendelsö mot nordväst och av ett relativt trångt sund norrut. I sydväst begränsas Vendelsöfjorden av ett brett sund med fri passage för vattenutbyte mellan fjorden och havet. Passagen kantas av ett antal grund mot nordväst i Vendelsö - Ustös förlängning. Det gör att in- och utflöde sker i nordostlig/sydvästlig riktning.

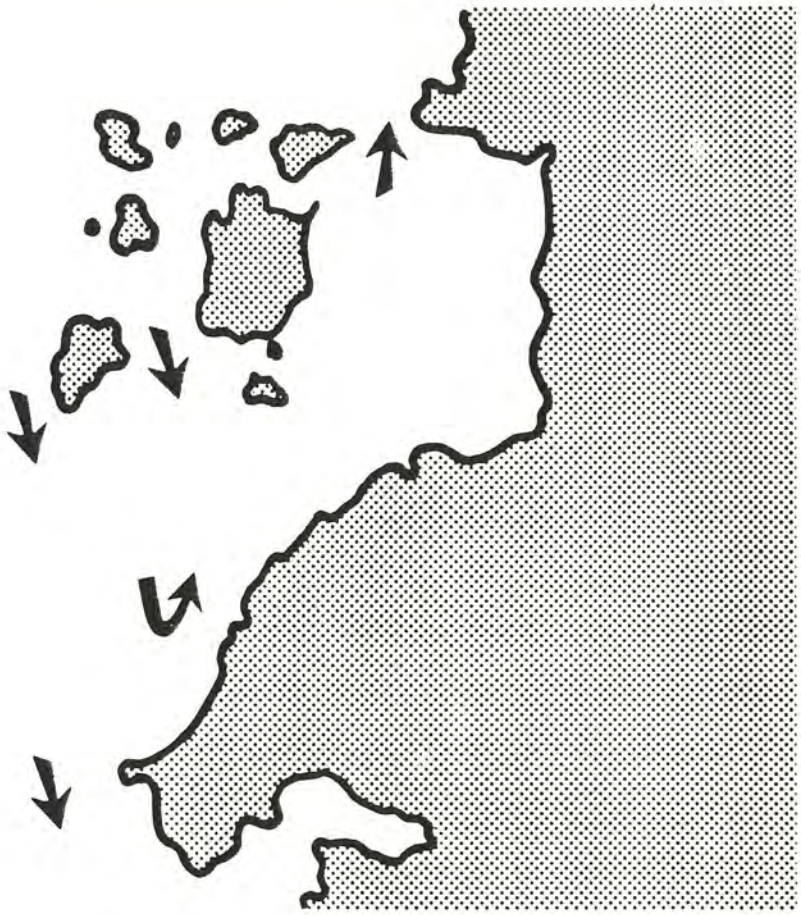
Djupvattnet i Kattegatt består till större delen av ytvatten från Skagerrak, salthalt ≈ 33 $^0/_{00}$, som på sin väg söderut i Kattegatt successivt blandas upp med Kattegatts ytvatten. Ytskiktet i Kattegatt består av östersjövatten och vatten från djupskiktet, ungefär till lika delar. Salthalten varierar från 15 $^0/_{00}$ i söder till 30 $^0/_{00}$ i norr. Ytvattnet strömmar norrut i hela Kattegatt och benämns den Baltiska strömmen. Den är ofta starkare mot svenska kusten. I gränsen mot Skagerrak bildas en front, utefter vilken ytvattnet styrs in mot den svenska bohuskusten.

Tidvattnet i Kattegatt kommer in som en våg med vågkammen vinkelrät mot kusten. Det halvdagliga tidvattnet M_2 dominerar, dess period är 12.42 timmar, vilket innebär att det har cirka två maxima/minima varje dygn. Strömmätningarna i området vid Ringhals visar tidvattnet mycket tydligt med en typisk amplitud av 5 cm/s.

Strömförhållanden

Följande text är hämtad från ref (1), och beskriver manuella strömmätningar under 15 dagar 1977.

"Resultaten visar att strömbilden i ytlagret utanför Ringhals är mycket växlande. Speciellt gäller detta för Vendelsöfjordens strömmar. Vid både nord- och sydgående ström i området utanför fjorden kunde det förekomma en storskalig virvel som ibland berör enbart Vendelsöfjorden och ibland både Vendelsöfjorden och bukten norr om Vendelsöskärgården, figur 2. Lika vanligt är det emellertid att det inte uppstår någon virvel. Strömmen sveper då antingen igenom Vendelsöfjorden eller också skapas en komplicerad strömbild med varierande strömriktningar inne i fjorden."



Figur 2. Strömmar på 1.5 meters djup den 29 november 1977, ref (1).

Strömmätningar utförda utanför Ringhals samt strax norr om Ringhals udde.

Strömmätningar utförda med registrerande instrument den 4 augusti - 4 december 1967, ger en översikt av strömmens karaktär, ref (2). I ytskiktet var strömmen i öppna havet utanför Ringhals (mätpunkt D_2) nordgående till 55 % och sydgående till 30 %, vilket är ungefär samma riktningsfördelning som i Öresund. På 20 m djup rådde nordgående ström under 30 % av tiden och sydgående under 30 % av tiden. Hastigheten på 5 m djup översteg inte 1.5 m/s och den låg ofta mellan 0.2 och 1.0 m/s. På 20 m djup erhölls inte högre hastigheter än 1.0 m/s.

I mätpunkt 8, som ligger relativt nära det planerade kraftverksläget, var strömriktningen varierande på 5 och 12 m djup, men det fanns en dominans för nordostlig och sydvästlig riktning. Strömhastigheten var sällan större än 0.7 m/s på 5 m djup och sällan över 0.5 m/s på 12 m djup.

Strömmätningar, utförda med registrerande instrument under några månader 1968, utnyttjas för beskrivning av cirkulationen i Vendelsöfjordens yttre delar, ref (3). Strömmen i punkt 8 är jämförd med strömmen i D_2, vilken beskriver den kustnära strömmen.

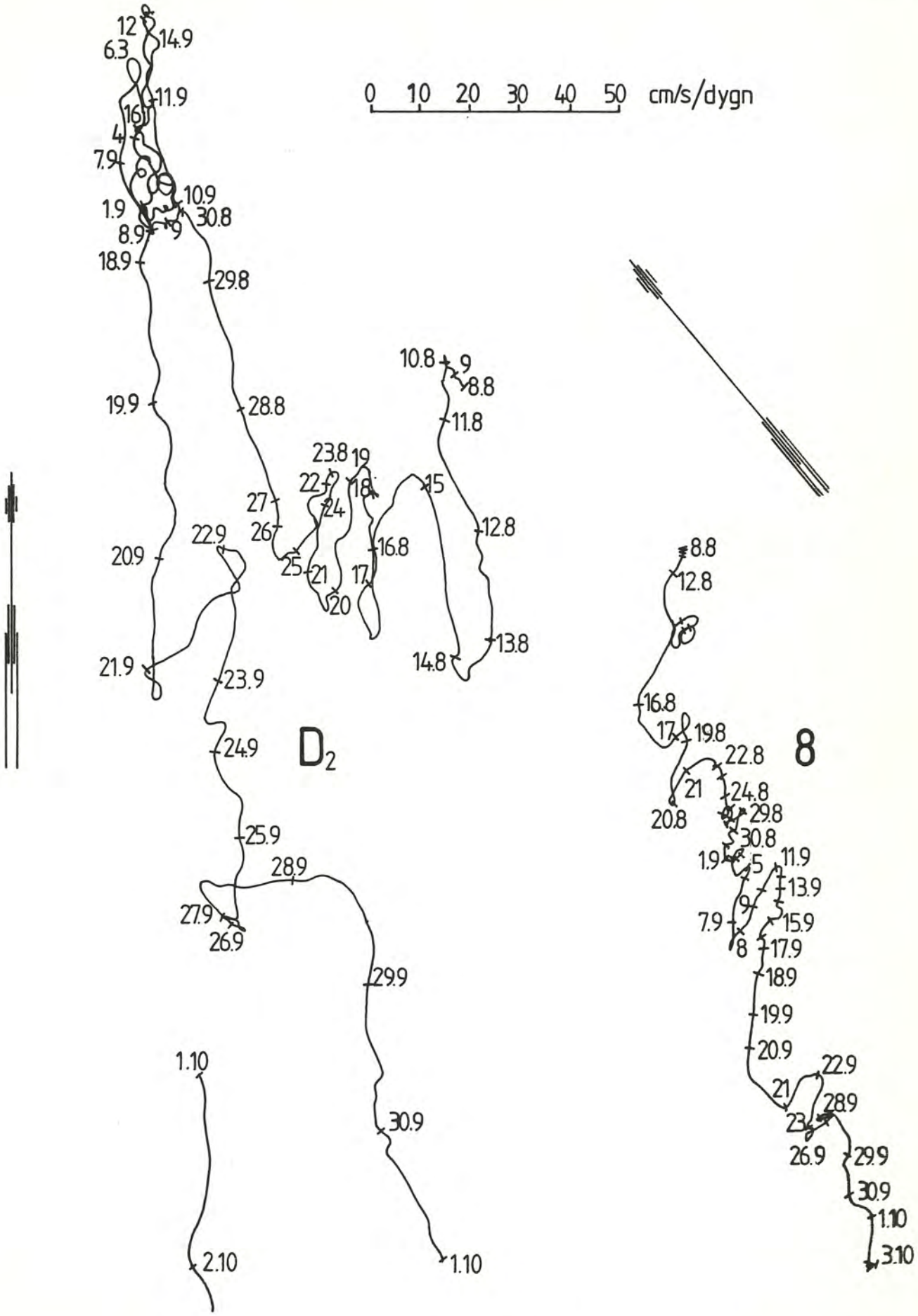
Strömmen på 5 m djup i vertikal 8 och D_2 är beskriven med trajektorier, se figur 3. Dessa utgörs av varje strömregistrering med dess hastighet och riktning ritade efter varandra på en tänkt karta. Trajektorian ger skenbart intryck av att visa en förflyttning, men den ger information om tidsvariationen i en fast punkt.

Figur 3 nedan visar strömmen från 8 aug - 2 okt 1968. Det framgår att strömhastigheten i vertikal 8 var betydligt lägre än i vertikal D_2. Under perioden 25 - 30 augusti stod vattnet stilla i vertikal 8 medan en relativt kraftig nordgående ström rådde i havet utanför.

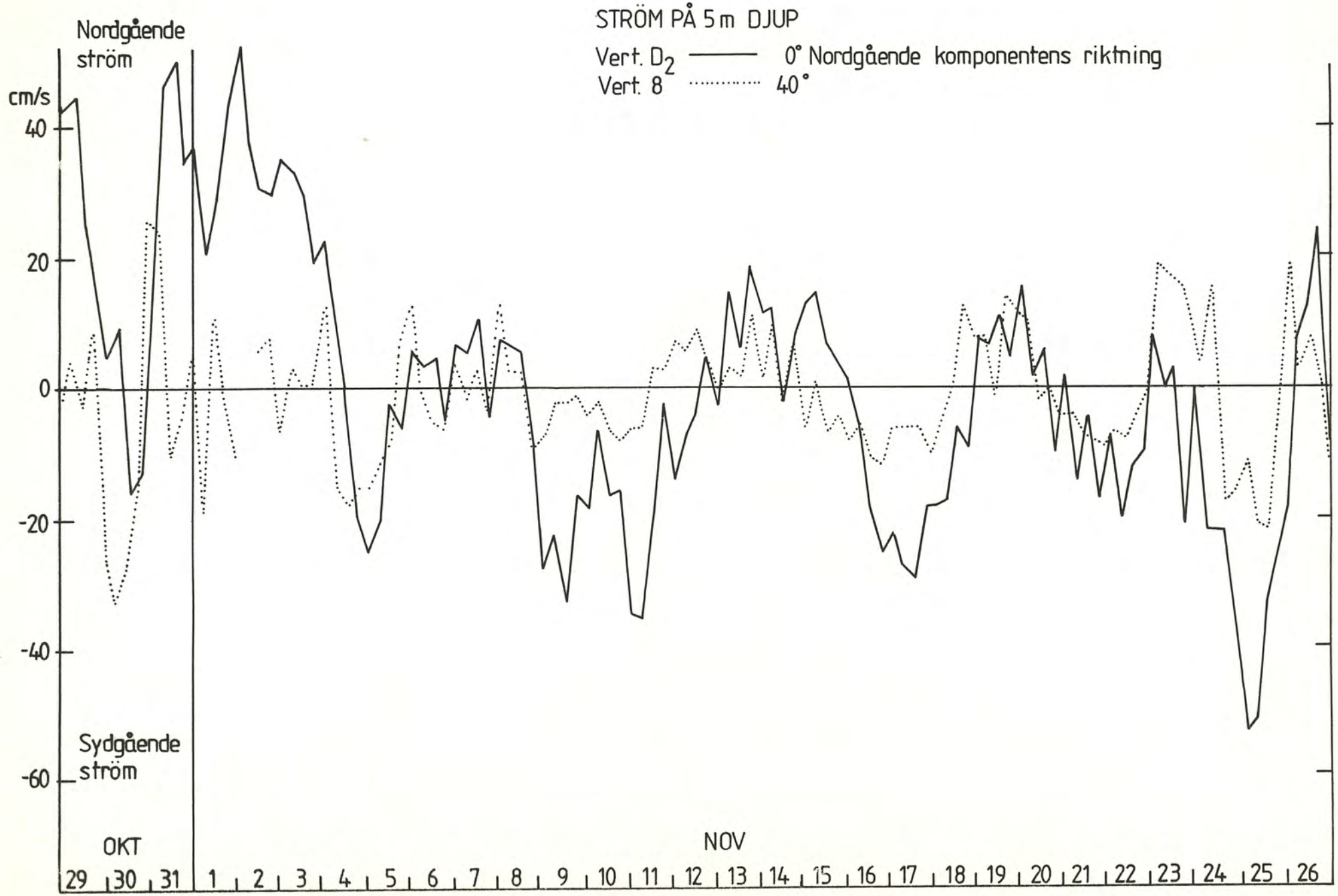
Strömkomponentkurvor är uppritade för perioden 29 okt - 26 nov 1968, se figur 4. Kurvorna visar strömmens projektion på huvudriktningen i mätpunkten. Vertikal 8 är projicerad på en nordostlig/sydvästlig huvudriktning och D_2 på en nord/sydlig. Båda huvudriktningarna är således bestämda av djupkurvornas riktning. Nedan beskrivs slutsatserna som dras från figur 4.

Strömmen norr om Ringhals udde

Det förekommer sannolikt en koppling mellan den regionala vinden och strömmen i vertikal 8, eftersom mätpunkten är belägen inomskärs där vindens effekt är stor. Samtidigt är förloppet i vertikal 8 styrt av strömförhållandena utanför. Den 5 - 21 november var vinden i Varberg ostlig och extremt svag. Detta speglas tydligt i vertikal 8, vars strömmar var svaga under den här perioden. Vid stark sydostlig och sydlig vind den 29 oktober skapades inte någon ström i vertikal 8, ty viken är inte så känslig för sydostvindar. Vid stark sydvästvind, 12 m/s den 30 oktober, erhölls en kraftig utåtgående ström. Detta kan endast förklaras med att det var ett inåtgående flöde norr om vertikal 8 varvid en utåtgående kompensationsström utbildades vid södra stranden.



Figur 3. Strömtrajektorier från 5 meters djup i vertikal 8 och D2, 8 augusti - 2 oktober 1968.



Figur 4. Strömkomponentkurvor från 5 meters djup i vertikal. D2 och 8, 29 oktober - 26 november 1968.

Läget för mätpunkten pendlar mellan de båda strömriktningarna, så när vinden vrider mot väst ligger punkten i den inåtgående strömmen och utåtgående ström kan eventuellt råda närmare kusten. Den 22 - 26 november rådde kraftig vind, som växlade mellan västlig och sydostlig. Den sydliga vinden gav inåtgående ström i hela området och sydvästlig-västlig vind gav utåtgående ström vid södra stranden och troligen inåtgående ström några kilometer längre norrut.

Sammanfattningsvis innebär det att stark västlig och sydvästlig vind ger ström in mot Vendelsöfjorden. Samtidigt genereras en kraftig, utåtgående kompensationsström vid södra stranden i närheten av det planerade kraftverksläget. Stark sydlig till sydostlig vind ger antingen nordostgående ström genom hela fjordområdet eller svaga strömmar. Här finns en skarp gräns mellan olika vindriktningar för vilket strömningsmönster som utbildas.

Strömmen utanför Ringhals

Strömmen i D_2 styrs av de storskaliga strömmar som skapas av en balans mellan Kattegatt och Östersjön. Starka västvindar ger sydgående ytströmmar och starka sydvindar ger nordgående strömmar i Kattegatt, ref (4). T ex erhölls den starkaste nordgående strömmen vid starka sydliga vindar den 29 oktober - 2 november medan en västkomponent hos vinden gav sydgående ström. De starkaste sydgående strömmarna erhölls vid sydväst-västvindar den 24 - 25 november, medan starka sydvindar den 23 inte gav nordgående ström. Det bör ha berott på att vattenytans lutning verkade åt det motsatta hållet och dominerade strömdrivningen.

Samvariationen mellan strömmen i D_2 och i 8.

Ofta går strömmen åt samma håll men den blir motriktad i samband med att vertikal 8 byter riktning före vertikal D_2. Detta kan förklaras med att det stuvas upp vatten i hela fjordsystemet och när kraften som drivit strömmen avtar, sker en strömvändning inne i fjorden först.

Strömningsstatistik

Karteringar av kylvattenspridningen från Ringhals, ger indirekt en bra bild över strömmarna vid udden, se figur 8. Nordgående ström, som går in i fjordsystemet, förekommer cirka 10 procent av tiden. Nordgående ström som samtidigt genererar en sydgående strandnära ström i fjordens södra del, förekommer cirka 30 procent av tiden. Sydgående ström eller varierande ström utanför Ringhals och norr därom, förekommer under 40-50 procent av tiden. Resterande procent är odefinierade. Ovanstående siffror bygger på 324 mätdagar under 1976-1979, ref (6).

Skiktningsförhållanden

Kattegatt

Kattegatts vatten är skiktat i två lager, ett övre ytlager med bräckt vatten från Östersjön och ett saltare djupvatten från Skagerraks ytskikt. Salthalten i ytan betraktad som månadsmedelvärden varierar mellan 18 och 26 promille vid vid Fladen i centrala Kattegatt. Djupvattnet har 32 till 34 promilles salthalt. Salthaltsskillnaden mellan lagren är stor och därför är skiktningen stabil och kraftig. Lagren åtskiljs av en snabb salthaltsökning, den s k haloklinen eller salthaltssprångskiktet, som i medeltal ligger mellan 10 och 20 m djup i Kattegatt. Haloklinen är alltså cirka 10 m tjock och den är permanent.

Genom uppvärmning utbildas under våren och sommaren ett temperatursprångskikt, termoklinen. Dess djupläge sammanfaller med haloklinens varför den vertikala stabiliteten är kraftig på sommaren. Termoklinen bryts upp under hösten i samband med starka vindar och minskande solinstrålning. Temperaturen i ytan varierar mellan 0 och 20 ^{o}C och vid Fladen ligger månadsmedelvärdet mellan 5-11 ^{o}C på 40 m djup.

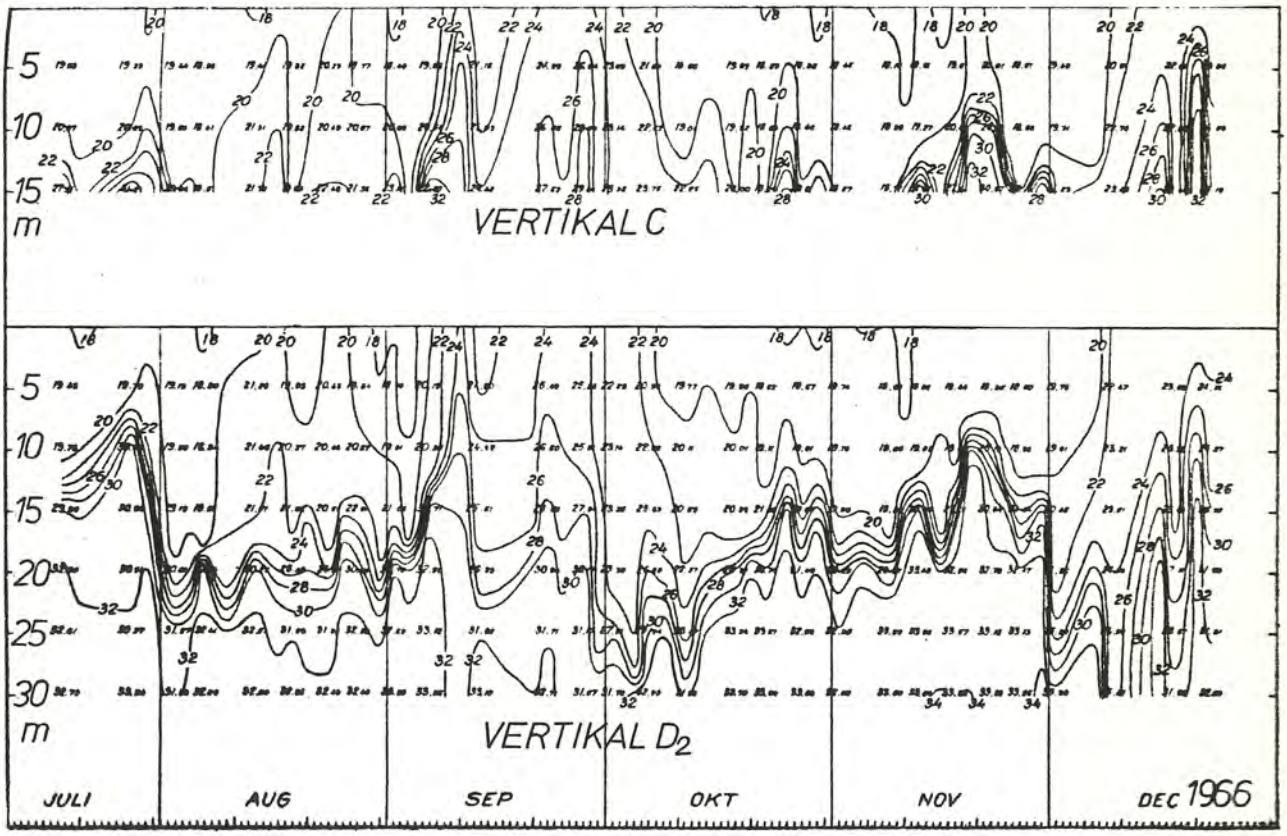
Vendelsöfjorden

Mätningar av salthalt och temperatur i vertikal C, se figur 1, finns utförda cirka 2 gånger i veckan under perioden juli 1966 till augusti 1971. Vertikal C har samma djup som det tänkta läget för kylvattenintaget, varför den bedöms vara representativ för förhållandena vid såväl intags- som utsläppspunkt.

Det är främst salthalten som året om ger skiktning i området. Den på sommaren förekommande temperaturminskningen med ökande djup är relativt svag eftersom djupet här endast är cirka 17 m. De båda språngskikten sammanfaller dock oftast. Starka vindar medför att språngskiktet ligger djupare, genom att ytskiktet blir mäktigare. Svaga vindar kan medföra att en ytligare termoklin byggs upp.

Salthalten nära bottnen i vertikal C är ofta hög 32-34 $^0/_{00}$ och det är således Kattegatts djupvatten som förts in hit vid dessa tillfällen. Den största salthaltsökningen ligger normalt mellan 10 och 15 m djup. Konstant salthalt kan, när haloklinen ligger djupt i Kattegatt, råda ända ner till bottnen och det innebär salthalter mellan 16 och 28 $^0/_{00}$.

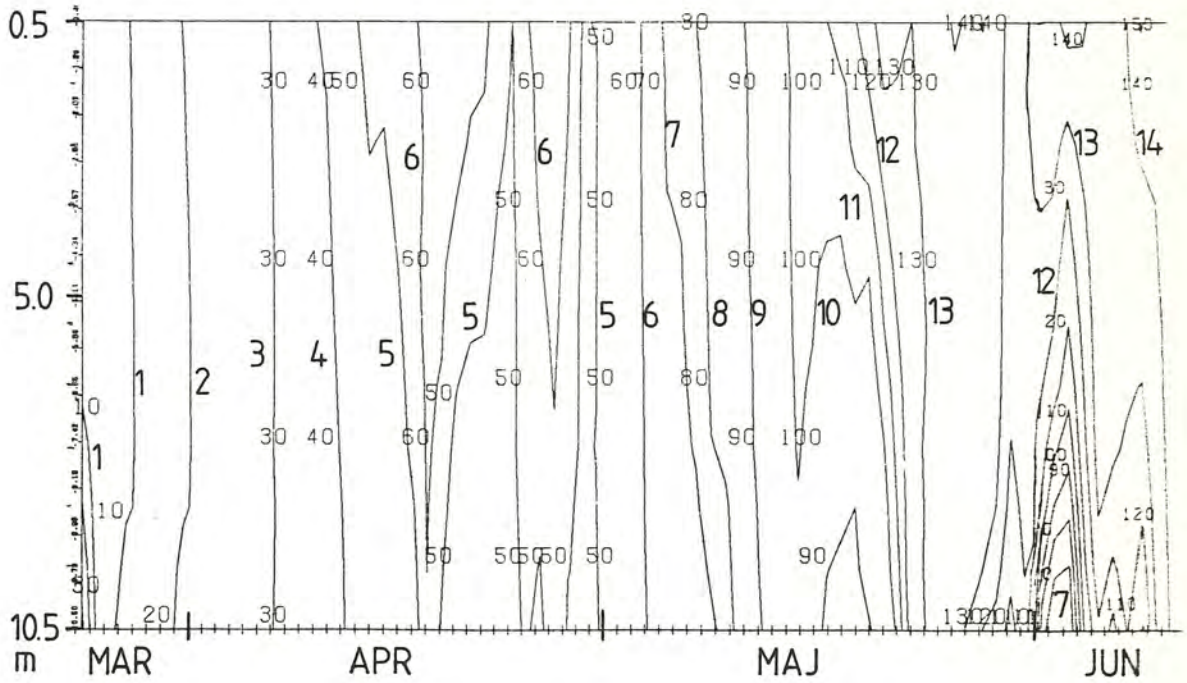
Salthaltens variation med tiden beskrivs i figur 5, ref (2). Bilden visar linjer för konstant salthalt, isohaliner. Där dessa ligger tätt ökar salthalten snabbt med djupet och skiktningen är mycket stabil. Ju färre isohalinerna är desto mindre varierar salthalten. Den övre bilden, vertikal C, är från ett grundare område än den nedre bilden, vertikal D_2. Man ser att i den grundare punkten är det oftare samma salthalt från ytan till botten eftersom salthaltssprångskiktet ligger djupare än 15 meter. Då erhölls istället kraftig skiktning i vertikal D_2.



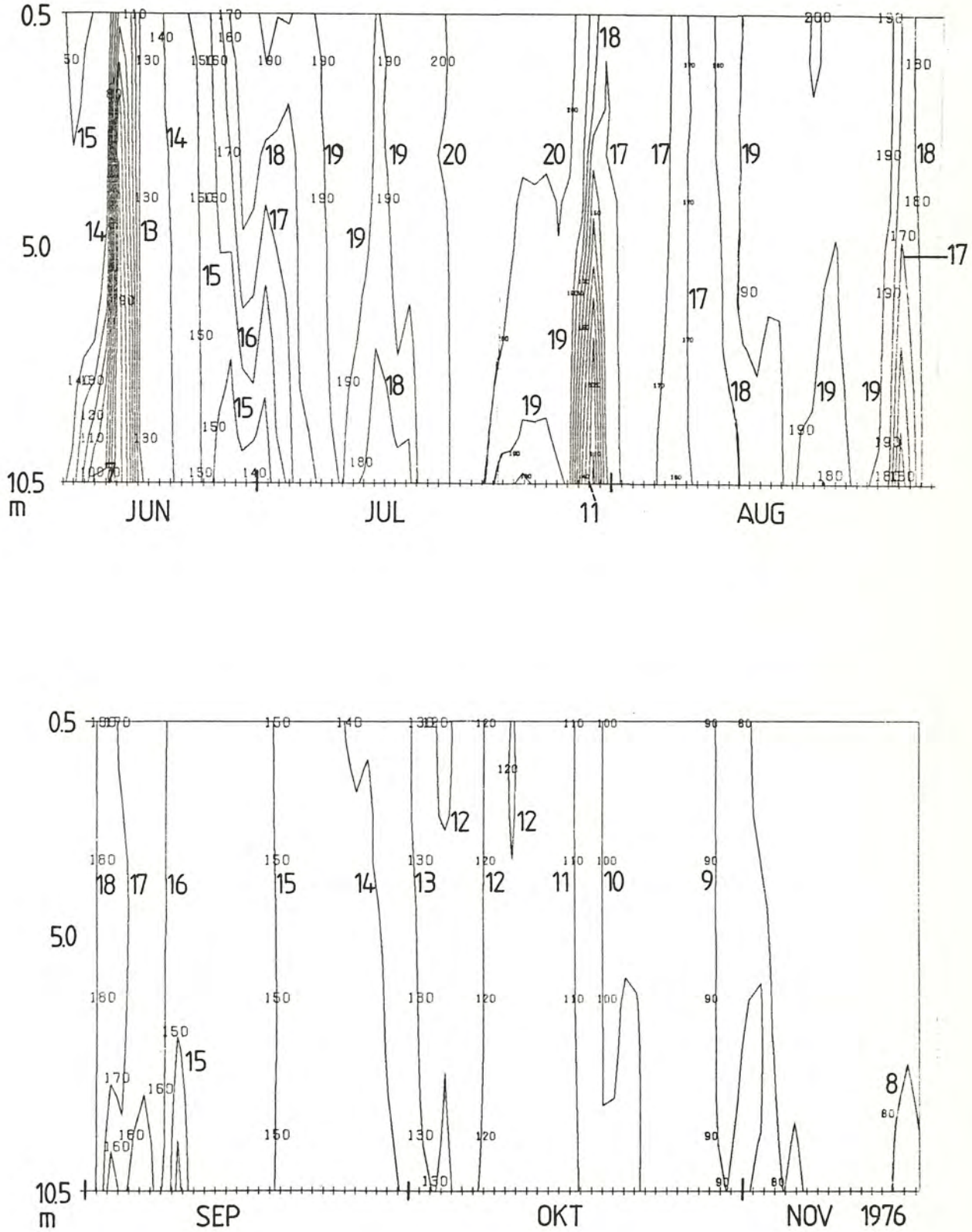
Figur 5. Salthaltsvariationer i en grund mätpunkt och en djupare belägen mätpunkt, juli - december 1966.

Temperaturen är relativt enhetlig från ytan till bottnen under januari - april. Uppvärmningen börjar i maj månad och den sker ofta i hela vattenpelaren. Ett temperatursprångskikt utbildas på 15 m djup eller djupare under juni - augusti. I samband med höststormar och lägre lufttemperatur sker en successiv avkylning och under september - oktober blir vattnet kallare på alla nivåer. Under november - mars har vi ofta omvänd temperaturskiktning, d v s högre temperatur vid botten än vid ytan.

I figur 6 är temperaturens variation med tiden uppritad. Mätningarna är utförda i K5, som ligger mycket nära intagsområdet, se karta, och de är ritade som dygnsmedelvärden. Figuren visar isotermernas dagliga djuplägen. Det finns några tillfällen med mycket stark temperaturskiktning. Lodräta isolinjer visar att vattnet har samma temperatur mellan 0.5 och 10.5 meters djup.



Figur 6. Temperaturvariationer från vertikal K5, 25 mars - 7 november 1976.



Figur 6. Temperaturvariationer från vertikal K5, 25 mars - 7 november 1976.

5 KYLVATTNETS EGENSKAPER OCH SPRIDNING

Mätdata från området invid det planerade kraftverksläget

Sammanställningar av mätmaterialet 1966-1971, från mätpunkt C, har utförts. Mätfördelningen under årets olika månader får betraktas som relativt jämn. Frekvensen av olika temperaturer på 15 m djup, temperaturdifferenser 0-15 m djup, salthaltsdifferenser 15-0 m djup, samt densitetsdifferenser mellan det utsläppta kylvattnet och det befintliga ytvattnet har beräknats.

Tabell 1. Antal tillfällen med rubricerade variabler, 1966-1971.

Intervall	Temperatur (°C) 15 m	Temperatur (°C) 0-15 m	Salthalt (‰) 15-0 m	Densitet (kg/m³) Kylvattenytan	
>20.0	1	0	1	0	
18.0 - 19.9	2	0	1	0	
16.0 - 17.9	33	0	5	0	
14.0 - 15.9	33	0	16	1	S
12.0 - 13.9	43	2	33	5	J
10.0 - 11.9	34	0	27	12	U
8.0 - 9.9	30	5	26	30	N
6.0 - 7.9	35	9	30	34	K
4.0 - 5.9	54	25	49	36	E
2.0 - 3.9	26	43	63	50	R
0.0 - 1.9	21	85	61	66	
-0.1 - -1.9	0	104	0	73	FLY-
-2.0 - -3.9	0	23	0	5	TER
-4.0 - -5.9	0	16	0	0	

Tabell 1 visar att temperaturen på 15 m djup oftast ligger mellan 0 och 18 °C. Temperaturskillnaden mellan ytan och botten är mestadels -4 °C till +6 °C, med de flesta tillfällena mellan -2 °C och +2 °C. Det är ofta varmare på 15 m än i ytan. Salthalten är 0 till 16 ‰ högre nära botten än vid ytan, variationen är stor.

Densitetsförhållanden

Sommartid, när vattnet har högre temperaturer, krävs större salthaltsökning med djupet, för att kylvattnet ska vara tyngre och sjunka när det släpps i ytan. Då ger 10 graders temperaturökning (15 °C - 25 °C) lika stor densitetssänkning som 3 ‰ salthaltsminskning.

När vattnet är kallare motsvaras 10 graders temperaturändring (5 ^{o}C - 15 ^{o}C) av cirka 2 promille för att ge samma densitetsförändring. Det betyder att om bottenvattnet sommartid är 3 promille saltare än ytvattnet och det värms upp 10 ^{o}C blir densiteten lika stor hos det utsläppta kylvattnet som hos det befintliga ytvattnet. Tabell 1 visar hur ofta kylvattnet är lättare respektive tyngre än omgivningen. Det är stor skillnad mellan olika år, vilket i sin tur är en följd av vindar och lufttryck. Totalt sett var kylvattnet lättare än omgivningen under 25 % av tiden, i övriga fall sjönk det.

Kylvattnets inblandning

Sjunkande kylvatten

Vid sjunkande kylvatten och små densitetsskillnader, kommer inblandningen att äga rum i de övre metrarna hos ytskiktet. Vid dessa tillfällen är dessutom skiktningen svag i hela vattenmassan, vilket innebär att den vertikala stabiliteten är liten. Därför är den vertikala blandningen stor i hela vattenmassan.

Vid sjunkande kylvatten och stora densitetsskillnader sker en djupare nedträngning och det uppvärmda vattnet sprids successivt ut medan det sjunker. Kylvattnet kan gå ner till densitetssprångskiktet men aldrig djupare, det stannar således alltid i ytlagret. En inlagring kan ske inom nivån strax över språngskiktet. Vid dessa situationer är språngskiktet kraftigt och skiktningen är stabil.

Av stor betydelse för inblandningen, under det att kylvattnet sjunker, är utsläppshastigheten, strömhastigheten i fjorden och densitetsskillnaden. Någon värmeavgivning till atmosfären är inte aktuell.

Utbredning i ytan

Vid de tillfällen, när kylvattnet är lättare än omgivningen har utbredningen beräknats med en matematisk plymmodell, ref (5). Detta går att tillämpa även för de fall när kylvattnet är tyngre men densitetsskillnaden är liten, $\Delta\rho \leq 1$ kg/m^3. Det beror på att inblandningen snabbt sker i de översta metrarna, vilket därvid kan likställas med utbredning på ytan.

Beräkningen med modellen innehåller fyra olika inblandningsprocesser, som delvis överlappar varandra.

1) Kylvattnet kommer ut i vattnet i form av en jetstråle, och dennas hastighet dominerar blandningsförloppet.

2) Densitetskillnaden 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 större betydelse för inblandningen än hastigheten hos recipientströmmen. Modellens konstruktion förutsätter en viss jetstrålehastighet, stort bottendjup och rak kust. I verkligheten är vattenutbytet begränsat och vi har grunda bottnar, varvid varmvattenplymerna blir större än i beräkningarna.

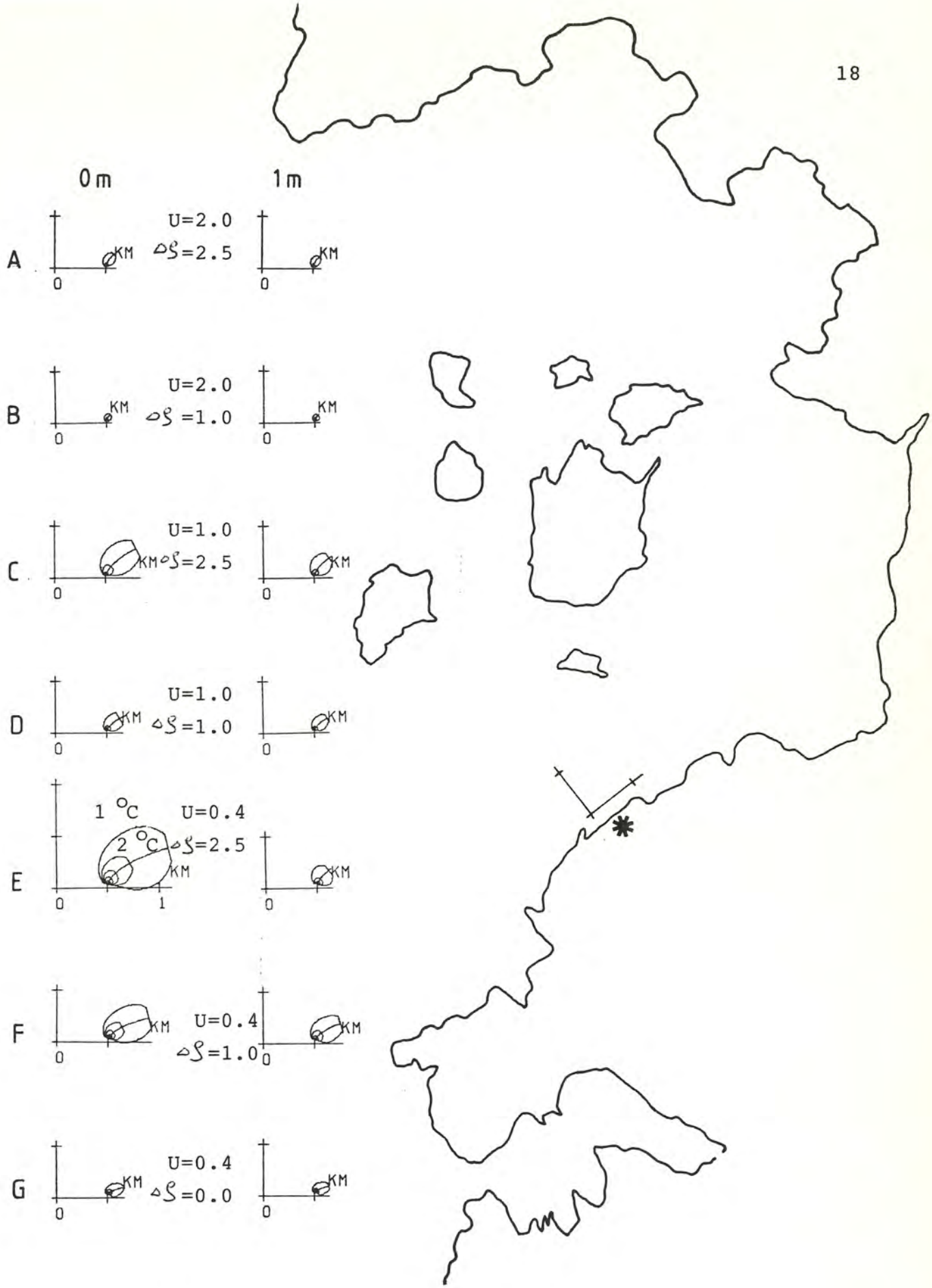
Densitetsskillnaden ligger mellan 0 och 2.5 kg/m^3 för det lättare kylvattnet. Det större värdet för lättare kylvatten förekommer endast sommar och höst. Beräkningar har utförts för $\Delta\delta$ = 2.5 och 1.0 kg/m^3. Sjunkande kylvatten med liten densitetsövervikt har tagits med i beräkningarna för lättare kylvatten, ty när det har så liten densitetsövervikt blandas det snabbt in i ytskiktet. Det antas därefter ha samma densitet som ytvattnet och approximeras med $\Delta\delta \approx 0.0$ kg/m^3. Strömmen i fjorden har satts till 0.1 m/s, vilket är lågt. Den är riktad österut, vinkelrätt mot kusten. Jetstrålehastigheten har varit 2.0, 1.0 och 0.4 m/s.

Tabell 2. Utförda beräkningsexempel med Prychs modell över kylvattnets spridning

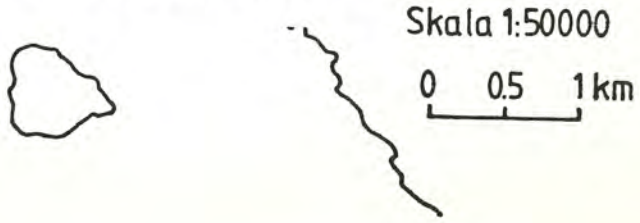
	Jetstrålehastigheten är riktad vinkelrätt ut från kusten, U m/s	Densitetsskillnad kylvattnet/recipienten $\Delta\delta$ kg/m^3
A	2.0	2.5
B	2.0	1.0
C	1.0	2.5
D	1.0	1.0
E	0.4	2.5
F	0.4	1.0
G	0.4	~ 0.0

I figur 7 har kylvattnets horisontella utbredning plottats. Isotermer från 1 °C och uppåt är utritade, men ytorna med högre temperaturer är så små att isotermerna ej finns med. För varje beräkning finns resultatet från 0 och 1 m djup medtaget i figuren.

Av bild A,C och E respektive B, D och F framgår att ju större jetstrålehastigheten är, desto mindre blir ytorna med övertemperatur eftersom inblandningen blir effektivare. Detta syns tydligt i utbredningen på 1 m djup, som är nästan lika stor som i ytan för bild A, B, C och D. På 5 meters djup blir plymen obetydlig. Man ser även att den större densitetsskillnaden ger större avkylningsytor eftersom en stabilare skiktning erhålls och möjligheten till vertikalt utbyte minskar.



Figur 7. Utbredningen av kylvattnet vid olika utsläpps-hastigheter och olika densitetsskillnader.



För G, där densitetsdifferensen är satt till noll och kylvattnet är aningen tyngre, blir plymens utbredning på 1 m djup lika stor som i ytan. På 5 m djup syns den inte alls.

6 SAMVARIATION MED RINGHALS KYLVATTEN

Vid kraftstationen Ringhals tas 160 m^3 kylvatten in per sekund från ytskiktet. Det förs sedan ut mellan 0 och 5 m djup och har då ökat sin temperatur med 10 ^oC. Salthalten är oförändrad. Lägena framgår av figur 1. Kylvattnet lägger sig i ytan och tränger ner till 10-15 m djup i den centrala delen av det område som omsluts av 1 ^oC isotermen, ref (6).

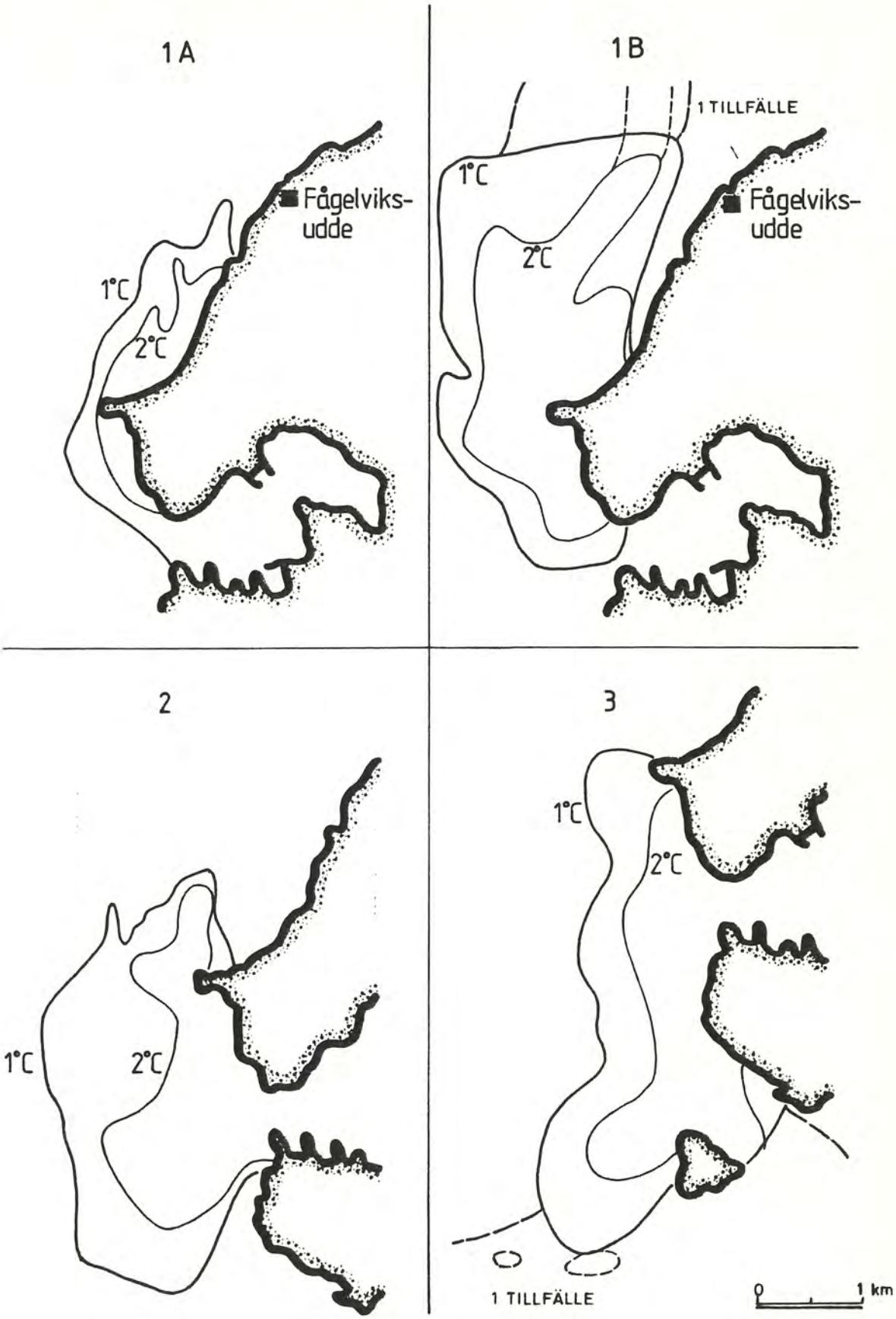
De plymer som utbildas har delats upp i fyra olika klasser.

Klass 1 A	Nordlig utbredning, nära land, 10 % av tiden.
Klass 1 B	Nordlig utbredning, utan kontakt med land, 30 % av tiden.
Klass 2	Vändande plymer och plymer med västlig utbredning, 15 % av tiden.
Klass 3	Sydlig utbredning, 20-40 % av tiden.

Figur 8 visar plymklassernas utbredning. Deras lägen bestäms av strömmen och vinden. De alternativ som är intressanta i den här utredningen är främst 1 A och 1 B. De förekommer under cirka 40 % av tiden, vilket baseras på 324 mätdagar, ref (7).

Vid plymklass 1 A är utbredningen mer begränsad än för 1 B, ty strömmen mot nordost är svagare. Vid 1 B råder en sydgående kustnära ström vid södra stranden och en inåtgående ström 1-2 km ut från stranden. För båda klasserna gäller att utbredningen tangerar det nu aktuella utsläppsområdet. Vid det planerade varmvattenutsläppet sker, samtidigt som vi har plymklass 1 A, en plymutbredning mot nordost, eftersom strömmen har denna riktning. Plymerna sammanfaller därför inte. Vid plymklass 1 B från Ringhals och utsläpp i ytan vid det planerade läget förs varmvattnet mot sydväst och ger ökade temperaturer även nära stranden i det område som inte täcks av kylvattnet från Ringhals. Det beror på att strömmen vid denna plymutbredning från Ringhals har den här riktningsfördelningen. Om man lägger usläppet längre ut från stranden, kommer det dras in i strömmen mot nordost istället.

Den vertikala utbredningen skiljer sig åt. Långt från utsläppspunkten så har vattnet från Ringhals störst utbredning nära ytan och kylvattnet som studeras i den här rapporten sjunker under ungefär hälften av tiden. När det är som tyngst kommer det inte att sammanfalla med Ringhalsvattnet, vilket det däremot gör när det är lättare. När det lägger sig i ytskiktet kommer det att samvariera med Ringhals kylvatten enligt ovan.



Figur 8. Plymklasser vid utbredning av kylvattnet från Ringhals vid olika yttre förhållanden.

7 RESULTAT

Ström

Strömmen i ytskiktet utanför Ringhals är, sedd över ett längre tidsperspektiv, till övervägande del nordgående. Detta hindrar inte att sydgående vattentransport kan dominera under tidslängden månader. I området mellan Vendelsöfjorden och den öppna kusten är strömhastigheterna lägre än utanför och vid södra stranden är ström mot sydväst något vanligare än mot nordost. Motriktade strömmar förekommer inom området. Inåtgående ström någon kilometer ut från stranden och sydvästgående intill stranden förekommer under cirka 30 % av tiden. Ström i hela området in mot Vendelsöfjorden förekommer under cirka 10 % av tiden. Kraftig nordgående ström utanför Ringhals ger svaga eller nordgående strömmar utanför Vendelsöfjorden. Sydgående ström utanför Ringhals tycks skapa sydgående ström även i området för det planerade kraftverksläget. Tidvattnet ger strömhastigheter som är cirka 5 cm/s.

Skiktning

Skiktningen i det planerade utsläpps- och intagsområdet är svagare än i kustområdet utanför Ringhals. Det beror på att här är endast 15-17 m djupt och det djupet ligger inte alltid under salthalts- eller temperatursprångskiktet.

Salthalten i ytan varierar mellan 16 och 28 $^0/_{00}$, vid botten kan upp till 34 $^0/_{00}$ erhållas. Det finns tillfällen när salthalten är lika från ytan till bottnen.

Temperaturen i ytan och på 15 m varierar mellan 0 och 20 ^oC. Det är ofta 0-6 ^oC varmare på 15 m djup än i ytan under november - mars, när avkylningen inte når ner till större djup.

Kylvattnets densitet i förhållande till omgivningen varierar mellan -2 och 12 kg/m^3. När värdet är negativt är kylvattnet lättare och vid de stora positiva differenserna sjunker det genast. Kylvattnet är alltid varmare och oftast saltare än sin omgivning.

Ju lättare kylvattnet är i förhållande till omgivningen desto större blir dess utbredningsområde. Mest avgörande för utspädningen är den hastighet med vilken kylvattnet förs ut i havet. Vid jetstrålehastigheter på 1-2 m/s blir inblandningen effektiv. Vid liten densitetsdifferens mellan kylvattnet och omgivningen sker en snabb vertikal inblandning. Tungt kylvatten sjunker och lägger sig i ett relativt sammanhållet skikt strax över densitetssprångskiktet.

Vattenutbyte

I det undersökta området ligger strömhastigheten ofta mellan 5 och 10 cm/s och strömmen har en varaktighet i respektive huvudriktning på 1-3 dygn. Det ger en transportsträcka på 4 km under 1 dygn vid strömhastigheten 5 cm/s. Vid sydgående transport innebär 4 km att man når ut till den öppnare kustlinjen. Nordgående ström medför att det uppvärmda vattnet precis hinner passera genom Vendelsöfjorden. När varaktigheten är 1 dygn eller kortare under längre tid, sker en ansamling av vatten i närområdet. Vid flera dygns nordgående ström och sjunkande kylvatten lägger sig kylvattnet invid botten i Vendelsöfjorden. Det kan efter 24 timmars intransport betyda att 25 % av fjordens vattenvolym består av kylvatten. Hela fjorden erhåller därvid en förhöjd temperatur på högst 2 grader.

Kunskapen om strömmarna i området och därigenom kunskapen om vattenutbytet är begränsad. Ovanstående siffror är därför exempel på effekter vid några olika strömsituationer.

Lämplig placering

Lämpligt läge för kylvattenutsläppet är utefter en linje vinkelrätt ut från kusten. Det beror på följande faktorer. Ju längre mot nordost, d v s in mot Vendelsöfjorden, man lägger utsläppet, desto mer belastar man den relativt inneslutna fjorden. Det gäller vid ström mot nordost som förekommer under 40 procent av tiden. Vid sydgående ström i hela systemet når kylvattnet inte Vendelsöfjorden.

Vid en placering längre mot sydväst kommer utsläppet närmare kylvattnet från Ringhals, som går in här 4 gånger av 10. Oftast ligger Ringhals uppvärmda vatten närmare ytan än kylvattnet från det undersökta kraftverket kan komma att göra. Det aktuella utsläppet lägger sig i ytan under cirka 50 % av tiden.

Läggs utsläppet nära kusten kan det under 15 % av tiden samverka i ytan med utsläppet från Ringhals. Aktuella övertemperaturer är högst 1-2 ^{o}C. Vid en placering cirka 2 km ut från kusten kommer det under 20 % av tiden att bli en förlängning av plymen från Ringhals.

Vid sydgående ström och en samtidig kylvattenutbredning i ytan från det planerade läget, kan kylvattenintaget i Ringhals erhålla någon grads förhöjning av intagstemperaturen. Storleken på denna förhöjning beror på det planerade utsläppets läge och utsläppets tekniska utformning.

Avgörande för en snabb utspädning är den hastighet med vilken kylvattnet förs ut i havet. Lämpliga hastigheter kan vara 1.0-2.0 m/s.

REFERENSER

Ref (1) Lindahl S 1978. Oceanografiska kontrollundersökningar utanför Ringhals kraftstation 1977.

Ref (2) Wändahl T 1968. Preliminärt yttrande angående inverkan på de hydrologiska förhållandena av Ringhals kraftstation.

Ref (3) Wändahl T 1976. Kompletterande rapport rörande oceanografiska undersökningar i vattenområdet utanför Ringhals kraftstation 1968 - 1971.

Ref (4) Dietrich G 1951. Oberflächenströmungen im Kattegatt, im Sund und in der Beltsee. Deutsche Hydrologische Zeitschrift 4 sid 129-150.

Ref (5) Prych, Edmund A. A warm water effluent analyzed as a bouyant surface jet. SMHI, serie Hydrologi 21, 1972.

Ref (6) Skoglund P.O, 1988. Ringhals - kylvattenutsläpp i havet. Slutrapport från oceanografiska undersökningar utanför Ringhals kärnkraftverk med fyra aggregat i drift.

Ref (7) Lindahl S, 1980. Kylvattnet från Ringhals. Slutrapport från oceanografiska kontrollundersökningar 1974 - 1979 utanför Ringhals kraftstation - block 1 och 2.

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 Cecelia 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

33 Oceanografiska förhållanden utanför Vendelsöfjorden
i samband med kylvattenutsläpp
av Cecilia Ambjörn
Norrköping 1990

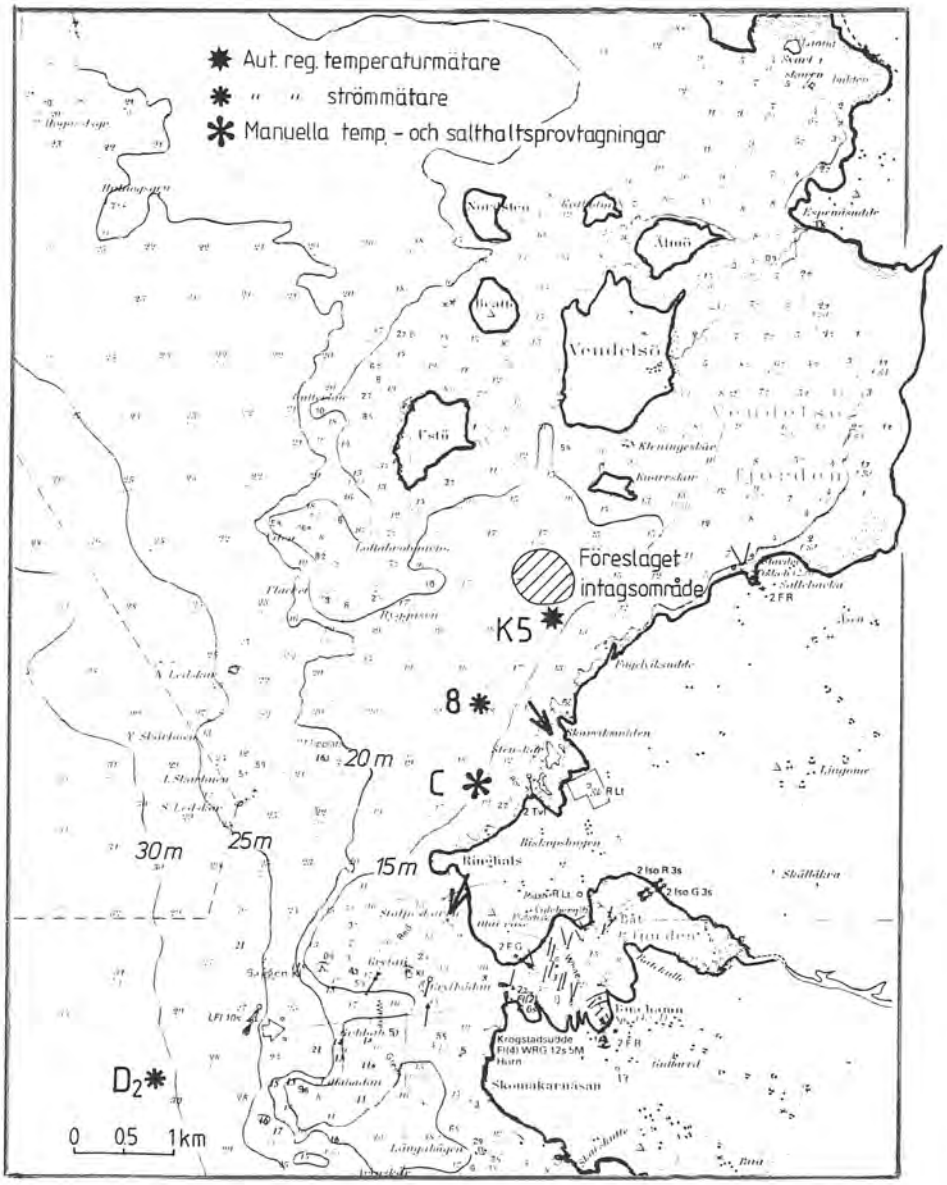
SMHI
HOo
C Ambjörn, KF 1990-03-05

Appendix till rapporten

OCEANOGRAFISKA FÖRHÅLLANDEN UTANFÖR VENDELSÖFJORDEN I SAMBAND MED KYLVATTENUTSLÄPP

Beräkningar för kylvattenmängden 40 m³/s

Alternativet med ett större kylvattenutsläpp har studerats. En mer detaljerad presentation av temperaturförhållandena utanför det planerade kraftverket är utförd. Beräkningar har gjorts över utbredning i ytan, effekter för Ringhals kylvattenintag samt temperaturförhöjningar i Vendelsöfjorden.



Figur 1. Karta med mätpunkter.

Temperaturförhållanden

Temperaturen i ytan och på 15 m djup har mätts i punkt C, se figur 1. Värdena har sorterats årstidsvis, juni - augusti, september - november, december - februari och mars - maj. I tabell 1 finns antal tillfällen med observationer i varje temperaturintervall och varje årstid.

Tabell 1. Temperaturen på 15 meters djup i mätpunkt C, 1966-1971

Temperatur-intervall (°C)	Antal tillfällen jun-aug	sep-nov	dec-feb	mar-maj
>20.0	1	0	0	
19.0 - 19.9	1	0	0	0
18.0 - 18.9	1	0	0	0
17.0 - 17.9	10	0	0	0
16.0 - 16.9	18	5	0	0
15.0 - 15.9	11	9	0	0
14.0 - 14.9	9	4	0	0
13.0 - 13.9	9	12	0	0
12.0 - 12.9	5	16	0	1
11.0 - 11.9	3	15	0	0
10.0 - 10.9	3	8	0	5
9.0 - 9.9	5	8	0	4
8.0 - 8.9	3	5	3	2
7.0 - 7.9	2	6	4	4
6.0 - 6.9	3	3	7	6
5.0 - 5.9	2	0	5	16
4.0 - 4.9	0	0	6	25
3.0 - 3.9	0	0	4	7
2.0 - 2.9	0	0	10	5
1.0 - 1.9	0	0	12	5
0.0 - 0.9	0	0	2	2
Totalt antal mätningar	86	91	53	82

Det framgår att det är ett färre antal värden under vinterperioden och därför har den procentuella andelen inte beräknats. Temperaturfördelningen är mycket markant inom respektive årstid. Under sommaren är det oftast 13-18°C, under hösten 9-16°C dvs spännvidden är stor, under vintern 1-3°C och under våren 4-6°C på 15 meters djup.

I tabell 2 nedan är temperaturdifferensen mellan ytan och 15 meters djup fördelad på årstider.

Tabell 2. Temperaturdifferens mellan ytan och 15 meters djup i mätpunkt C, 1966-1971.

Temperatur-intervall(°C)	Antal tillfällen jun-aug	sep-nov	dec-feb	mar-maj
13.0 - 13.9	1	0	0	0
12.0 - 12.9	1	0	0	0
11.0 - 11.9	0	0	0	0
10.0 - 10.9	0	0	0	0
9.0 - 9.9	3	0	0	0
8.0 - 8.9	2	0	0	0
7.0 - 7.9	3	0	0	1
6.0 - 6.9	3	0	0	2
5.0 - 5.9	8	1	0	2
4.0 - 4.9	7	1	0	6
3.0 - 3.9	12	4	0	4
2.0 - 2.9	8	4	0	11
1.0 - 1.9	14	2	0	11
0.0 - 0.9	22	11	4	21
-0.1 - -0.9	2	39	12	12
-1.0 - -1.9	0	18	16	5
-2.0 - -2.9	0	4	6	2
-3.0 - -3.9	0	3	7	1
-4.0 - -4.9	0	4	3	2
-5.0 - -5.9	0		5	2
	86	91	53	82

Negativt värde: Varmare på 15 meter än på 0 meter.

Under sommaren är det oftast 0-6 °C varmare i ytan än vid bottnen. Vid liten temperaturdifferens mellan 0 och 15 meters djup finns termoklinen längre ut i havet på större djup. Under hösten är det ofta någon grad varmare vid bottnen. Temperaturen är dock relativt konstant i hela vattenmassan. På vintern är det så gott som alltid varmare vid bottnen med 0 - 6°C. Temperaturdifferensen är större än på hösten eftersom ytvattnet blir kallare och temperaturen där närmar sig 0°C. Kylan når inte ända ner till bottnen och dessutom sker en viss värmeavgivning från sedimenten. Under våren börjar uppvärmningen och ytvattnet blir åter varmare. Fortfarande har bottenvattnet något högre temperatur än ytvattnet vid cirka 30% av observationerna, vilket bör vara främst under mars månad.

Kylvattnets utbredning när densiteten är lägre än i omgivande vatten

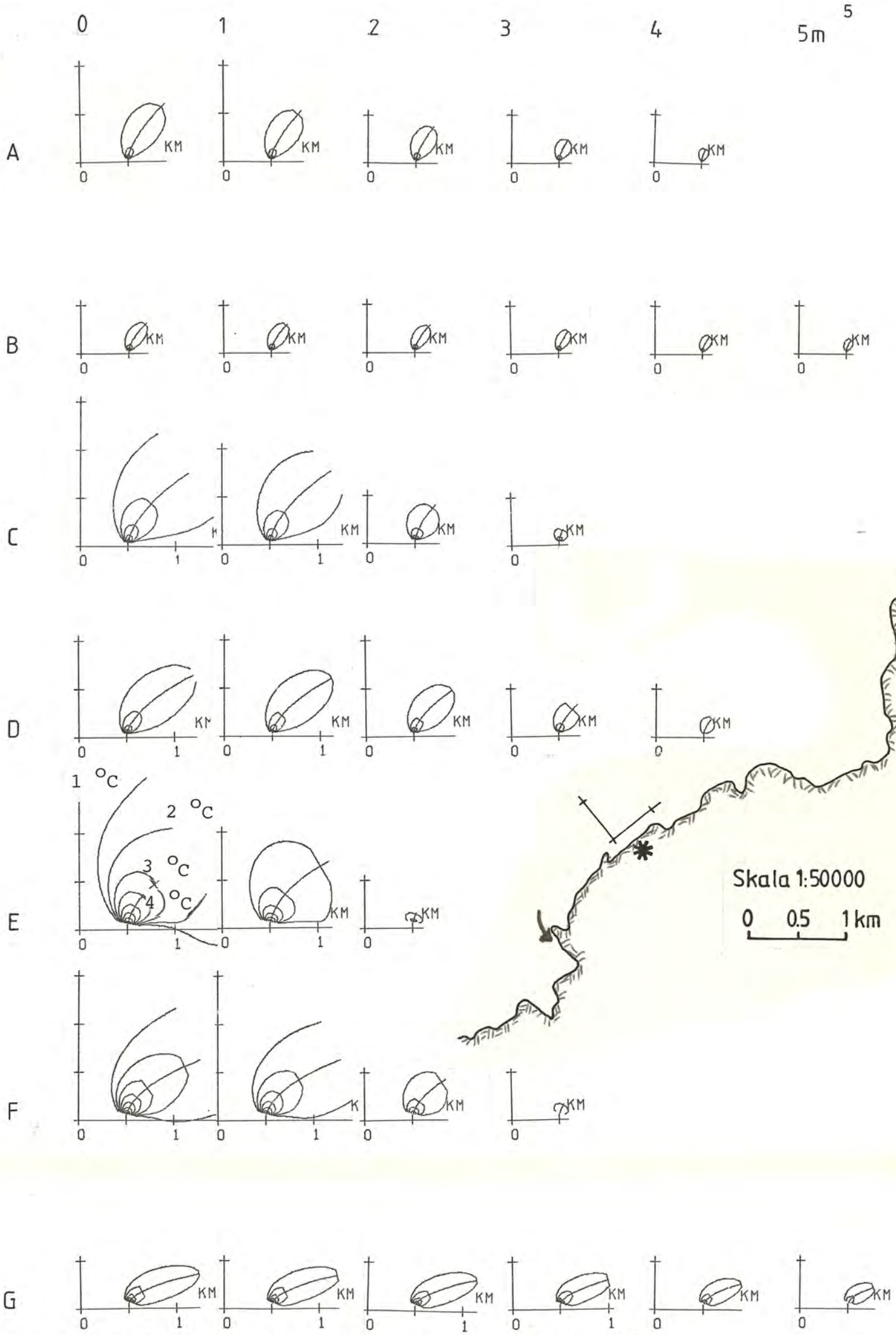
Utbredning i ytan, vid flytande kylvatten, har beräknats för samma yttre förhållanden som för kylvattenmängden 10 m^3/s. Utbredningen för 40 m^3/s har plottats på 0,1,2,3,4 och 5 meters djup för att visa den vertikala utbredningen i vart och ett av fallen. Den bakomliggande strömmen har således satts till 10 cm/s kustparallellt in mot Vendelsöfjorden. Tabell 3 nedan visar de valda fallen.

Tabell 3. Utförda beräkningsexempel med Prychs modell över kylvattnets spridning

	Jetstrålehastigheten är riktad vinkelrätt ut från kusten, U m/s	Densitetsskillnad kylvattnet/recipienten kg/m^3
A	2.0	2.5
B	2.0	1.0
C	1.0	2.5
D	1.0	1.0
E	0.4	2.5
F	0.4	1.0
G	0.4	0.0

I knappt hälften av fallen kommer kylvattnet att stanna i ytskiktet, ty under 25 procent av tiden är det lättare än omgivningen och under 21 procent av tiden är det 0 - 1.9 kg/m^3 tyngre vilket medför en snabb ytinblandning.

Ringhals kylvattenintag tar in vatten mellan 0 - 5 meters djup. De beräknade plymerna för flytande kylvatten från det planerade kraftverket kan spegelvändas i figur 2, vilket innebär att de utsätts för 10 cm/s kustparallellt mot sydväst.



Figur 2. Utbredningen av kylvattnet vid olika utsläpps hastigheter och olika densitetsskillnader.

För fall A och B i figur 2 sker en snabb inblandning av kylvattnet och plymerna får en begränsad horisontell utsträckning och en effektiv nedblandning.

För fall C och D är nedblandningen svagare eftersom jetstrålehastigheten är lägre.

Utbredningen i ytan är relativt stor för fall C, genom den stora densitetskillnaden och 2°C-isotermens yta blir betydligt mindre än 1°C-isotermens yta. Påverkan på intaget vid Ringhals blir begränsad, ty redan på 2 meters djup är utbredningen liten. Vid Ringhals tas kylvatten in i ett mäktigare ytskikt och dessutom täcker inte kylvattnet från det planerade kraftverket hela intaget, utan omgivande vatten kommer också att tas in både horisontellt och vertikalt. Det är inte troligt att mer än 1°C uppvärmning kan ske av det intagna vattnet jämfört med opåverkat vatten.

För att uppnå en utsläppshastighet som är 0.4 m/s vid 40 m^3/s krävs mycket stora dimensioner på utsläppstuben, nämligen 100 m^2. Det är ändå medtaget i beräkningarna eftesom det fanns med för 10 m^3/s. I fall E och F erhålls en stor utbredning horisontellt och en mycket liten vertikal nedträngning. För fall G när densitetsskillnaden är nästan noll sker en effektiv vertikal nedblandning och ytan blir begränsad.

Temperatureffekter för Vendelsöfjorden

Beräkningar av möjligt inflöde av kylvatten till Vendelsöfjorden har utförts för 40 m^3/s. Vid sjunkande kylvatten och ström in mot Vendelsöfjorden, sker en temperaturförhöjning i fjorden. Om en initial inblandning förutsätts så att man erhåller en vattenmassa på 200 m^3/s med 2°C övertemperatur gäller följande: Mellan 10 och 50 procent av fjorden kan erhålla en temperaturhöjning på 2°C. Denna vattenmassa ligger troligen invid bottnen i fjorden. Vid en lägre initial inblandning blir volymen mindre och något högre temperaturer erhålles lokalt.

Förslag till mätinsatser

För att erhålla en god uppskattning av cirkulationsmönstren i skärgårdsområdet utanför det planerade verket måste strömmätningar utföras under en längre period med registrerande instrument. Härigenom beskrivs även vilka strömhastigheter som förekommer samt varaktigheten hos olika strömriktningar. Förutsättningarna att få en god beskrivning av kylvattnets spridning och transport liksom av vattenomsättningen blir därigenom betydligt bättre.