SMHI OCEANOGRAFI
Nr 56, 1993

FORSMARK - EN TEMPERATURSTUDIE
SLUTRAPPORT

Gustaf Westring
Jan Andersson
Henrik Lindh
Robert Axelsson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

			Sid
1.		INLEDNING	1
2.		BAKGRUND	2
	2.1	Vattnets temperatur och salthalt	2
	2.2	Strömmar	6
3.		BASDATA	13
4.		BEARBETNING OCH ANALYS	18
	4.1	Hur stor är temperaturskillnaden mellan ytan och botten i vertikal 126?	19
	4.2	Hur stor är temperaturskillnaden mellan ytan och andra djup i vertikal 126?	25
	4.3	Hur mycket varierar vattentemperaturen över korta tidsskalor?	31
	4.4	Hur förhåller sig yttemperaturen vid station 126 till intagstemperaturen på kraftverkets kylvatten?	37
	4.5	Vad styr temperaturdifferensen mellan ytan och större djup under sommaren?	42
	4.6	Vilken densitet har vattnet och vad karaktäriserar språngskiktet?	46
	4.7	Vilka oceanografiska aspekter bör ägnas speciell uppmärksamhet i det fortsatta arbetet med att sänka kylvattnets intagstemperatur?	48
5.		SAMMANFATTNING	49
		REFERENSER	50

1. INLEDNING

Under varma somrar blir kylvattnets intagstemperatur till Forsmarks kraftstation så hög att verkningsgraden sjunker märkbart. På kraftstationen har man därför tillsammans med Vattenfall Utveckling AB diskuterat olika sätt att sänka intagstemperaturen. En eventuell lösning kan vara att använda bottenvatten från området utanför kraftstationen. Därför har SMHI fått i uppdrag att undersöka de oceanografiska förutsättningarna för en sådan lösning.

Den oceanografiska utredningen delades upp i tre delar. Den första delen var en förundersökning som gick igenom existerande data från området. Resultatet av förundersökningen redovisades skriftligen i början på juni 1992. Del två var en fältundersökning som genomfördes under sommaren och hösten 1992. Mätningar av temperatur och salinitet gjordes med både fasta och mobila instrument i det aktuella området. Den tredje och sista delen är denna slutrapport, som analyserar och sammanställer uppgifterna i del ett och två, och redovisar resultatet.

I kapitel 2 görs en genomgång av allmänna och oceanografiska förhållanden. Kapitel 3 innehåller en redovisning av den data som ligger till grund för undersökningen (de uppgifter som inte redan är givna i kapitel 2). I kapitel 4 besvaras ett antal frågor som är menade att belysa relevanta aspekter på problemställningen och områdets hydrografi. Kapitel 5 är en sammanfattning av utredningens slutsatser och observationer.

Eftersom SMHI inte känner till vilka specifika metoder som eventuellt används för befordran av kallare bottenvatten till kraftstationen, har slutrapporten givits en så bred och informativ form som möjligt - allt för att ge ett så gott beslutsunderlag som möjligt, oavsett vilken lösning som används. Detta har tyvärr lett till att dokumentet blivit ganska omfattande.

2. BAKGRUND

Forsmarks kraftstation är belägen i sydvästra Öregrundsgrepen, som i sin tur är en vik av Bottenhavet, se figur 1. I norr övergår Grepen till öppna havet och här är djupet normalt 30 - 50 m. Vid Öregrund, i sydvästra delen av Grepen, finns en trång förbindelse med Ålandshav (600 m bred och 15 m djup). Utmed fastlandssidan, i ett 3 - 4 km brett skärgårdsområde, överstiger vattendjupet sällan 10 m. Öregrundsgrepens östra del domineras av en djupränna med djup på normalt 30 - 40 m, men djuphål på uppåt 60 m finns. Grepens medeldjup är cirka 13 m och dess yta cirka 250 km^2.

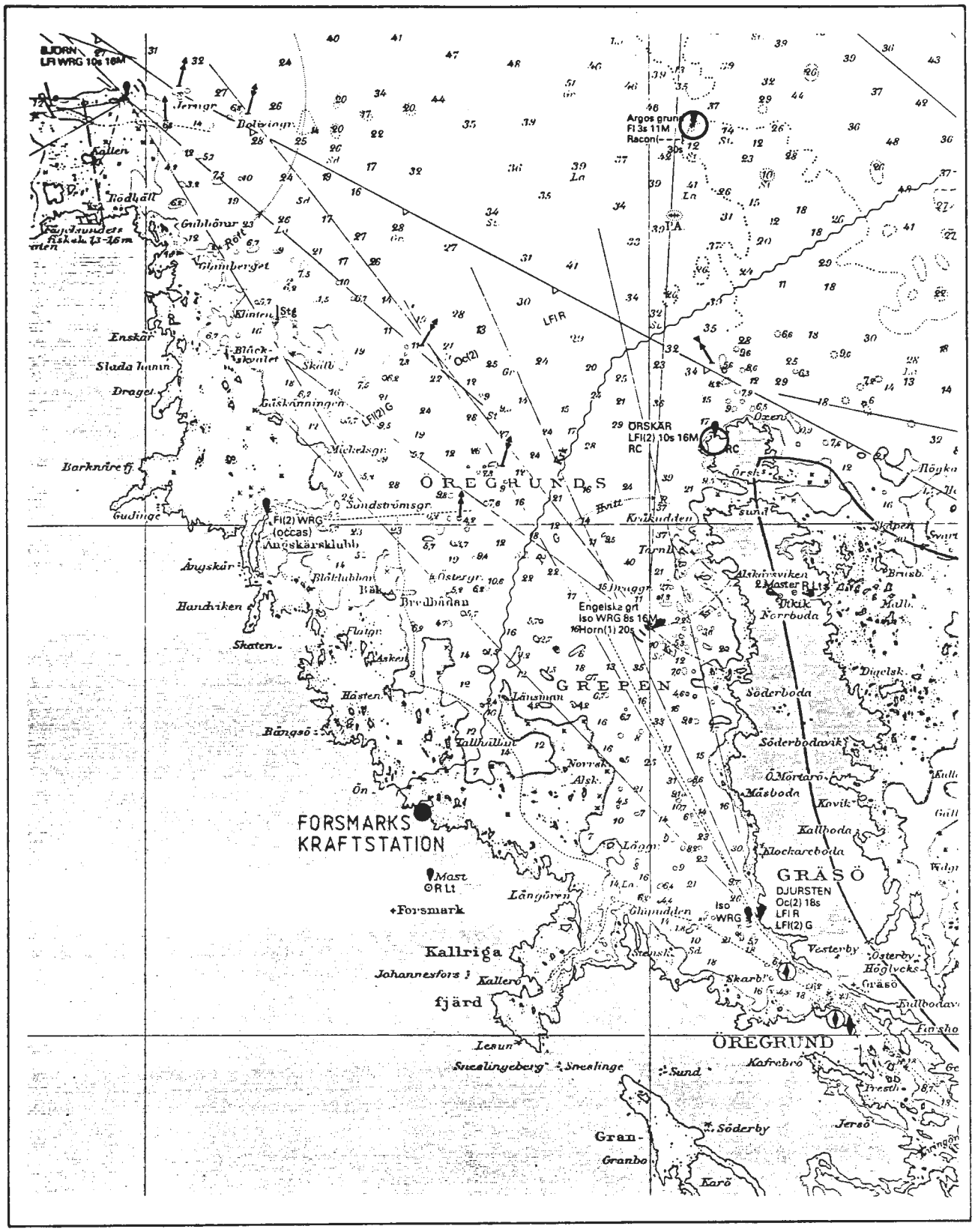
Forsmarks kraftstation består av tre reaktorer (tre block), varje reaktor behöver vid full drift cirka 45 m^3/s kylvatten. Kylvattnet för samtliga block tas in via Asphällsfjärden, se figur 2, och släpps ut med en övertemperatur på cirka 10 °C. Block 1 och 2 släpper ut sitt kylvatten via biotestsjön medan block 3 tömmer sitt mer eller mindre direkt ut i skärgårdsområdet norr om Biotestsjön.

Figur 2 kan ge intryck av att vattenutbytet mellan kraftverket och Grepen är relativt obehindrat men så är inte fallet. Figur 3 visar hur grunt området egentligen är. Öar, grund och grynnor gör att det mellan kylvattenintaget i Asphällsfjärden och öppet vatten i Öregrundsgrepen, egentligen bara finns tre smala förbindelser. Huvudförbindelsen sträcker sig NW-SE mellan Alskär/Låggrundet och fastlandet. Via fjärden omkring vertikal nr 126 finns också två mindre sund på ömse sidor av Stenlögorna. De största djupen i området finns kring vertikal 126, cirka 18 m. Tröskeldjupet väster om Länsman är ungefär 16 m, och på östra sidan cirka 13 m.

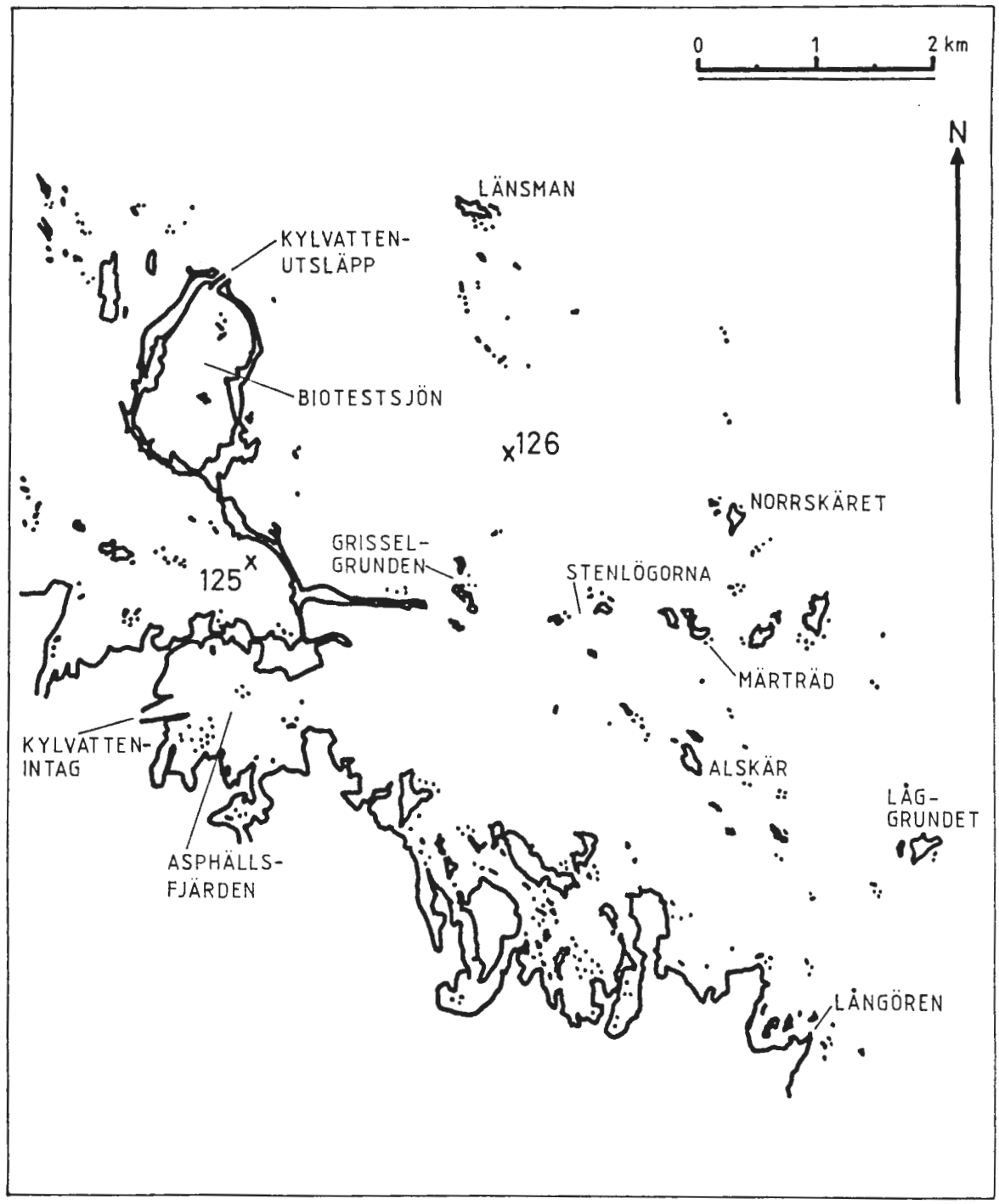
2.1 Vattnets temperatur och salthalt

Öregrundsgrepens vattentemperatur och salthalt varierar huvudsakligen med årstiderna men vindens riktning och styrka och spelar också in. Nordostliga vindar för in ytvatten från bottenhavet vilket pressar ner språngskiktet. Sydliga vindar för ut grepens ytvatten till havs vilket medför att språngskiktet stiger, ibland når till och med kallt vatten från under språngskiktet ytan. Effekter orsakade av vinden överlagras följaktligen på årstidsorsakade variationer.

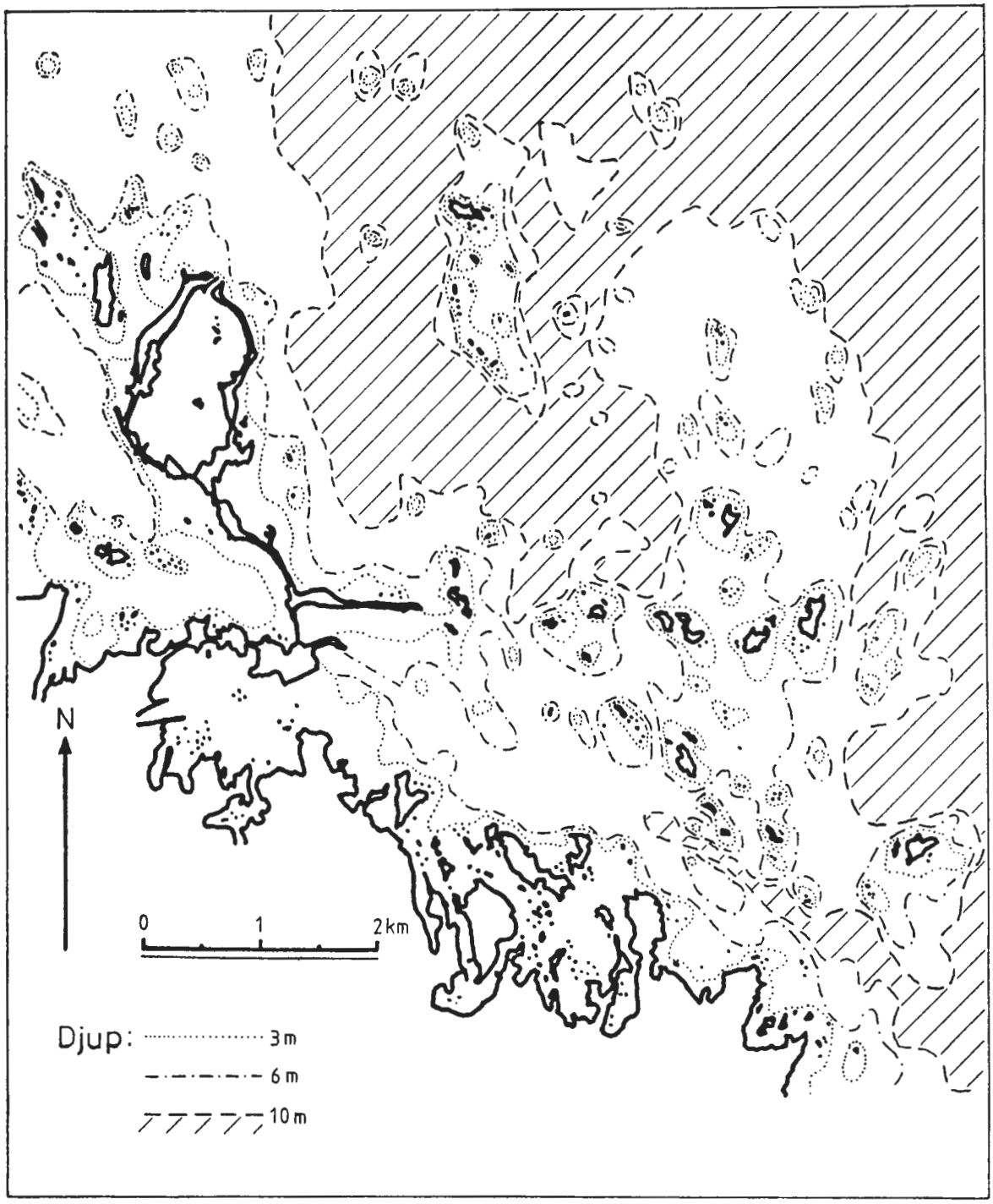
Under vintern har ytvattnet en temperatur på 0 - 2 °C, lägst temperatur brukar inträffa under februari, se figur 4. Ytvattnets salthalt ligger på 5.5 - 6.0 ‰, salthalten brukar vara lägst utmed fastlandet och i grepens inre delar. Djupvattnet på 30 m brukar vara 1 - 2 °C varmare än ytvattnet. Vattnets skiktning är saltstyrd, djupvattnet är 3 - 4 tiondelar saltare än ytvattnet.



Figur 1: Öregrundsgrepen - kopia av Sjöfartsverkets kustkort nr 53. Djupangivelser i meter, skala cirka 1:200 000. OBS - sjökortet är från innan kraftverket byggdes.



Figur 2: Forsmarks kraftverk, närområdet.



Figur 3: Djupkarta över närområdet till Forsmarks kraftverk.

På våren sjunker ytvattnets salthalt i och med vårfloden och eftersom solens uppvärmning av ytvattnet leder till en temperaturstyrd skiktning. Ytvattnet har normalt en salthalt på 4 - 5 ‰ men utmed fastlandet är saliniteten normalt lägre, och utanför Kallrigafjärden (se figur 1) kan salthalten vara < 1 ‰ om vårfloden är kraftig. Hur utspätt ytvattnet blir beror inte bara på lokal avrinning, vatten från Dalälven kan under gynnsamma vindförhållanden föras söderut utmed kusten och sänka salthalten i Öregrundsgrepen till 3 - 4 ‰, se figur 5. Även om det är ovanligt så kan relativt kraftiga horisontella salthaltsgradienter förekomma under våren, se figur 6. Språngskiktet brukar ligga på cirka 10 m, och på 30 m djup ligger salthalten på cirka 6 ‰. I maj ligger yttemperaturen på 5 - 8 °C och bottentemperaturen på 2 - 4 °C.

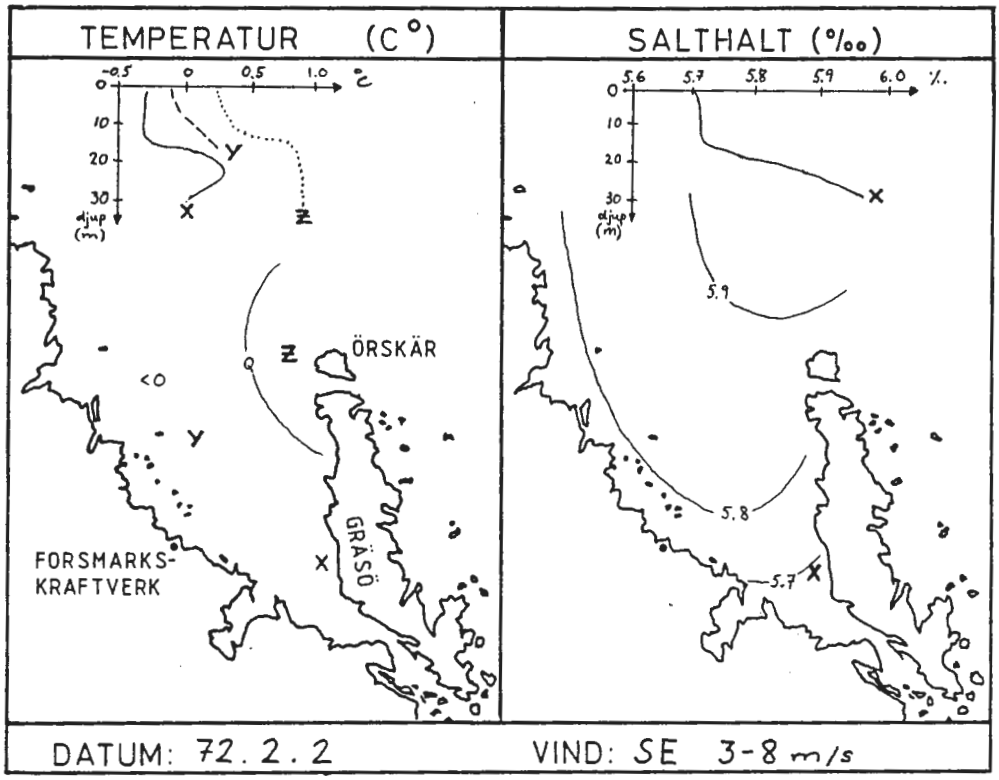
På sommaren ligger salthalten på 5.0 - 5.3 ‰, de lägsta värdena brukar förekomma i grepens centrala och västra delar, och de högsta i norra delen utåt Bottenhavet och/eller i sydost varifrån vatten från Ålandshav kan tränga upp i mindre mängder, se figur 7. De högsta ytvattentemperaturerna inträffar oftast i juli/augusti, 20 - 22 °C, och då företrädesvis i skärgårdsområdet utmed fastlandet. Även om vattnet kan blandas om kraftigt av hårt väder, är det normalt skiktat. Språngskiktet ligger mellan 5 och 20 m djup. På 30 m djup är vattentemperaturen 4 - 7 °C. Annars karakteriseras somrarna av små horisontella variationer.

De starka höstvindarna blandar yt- och bottenvatten så att en nästan homogen vattenmassa bildas ner till djup på åtminstone 30 - 40 m, se figurerna 8 och 9. Detta medför att ytvattnets salthalt stiger markant och i oktober/november är temperaturen normalt 5 - 10 °C. Vattnet är dock svagt skiktat på grund av en aning högre salinitet på djupet.

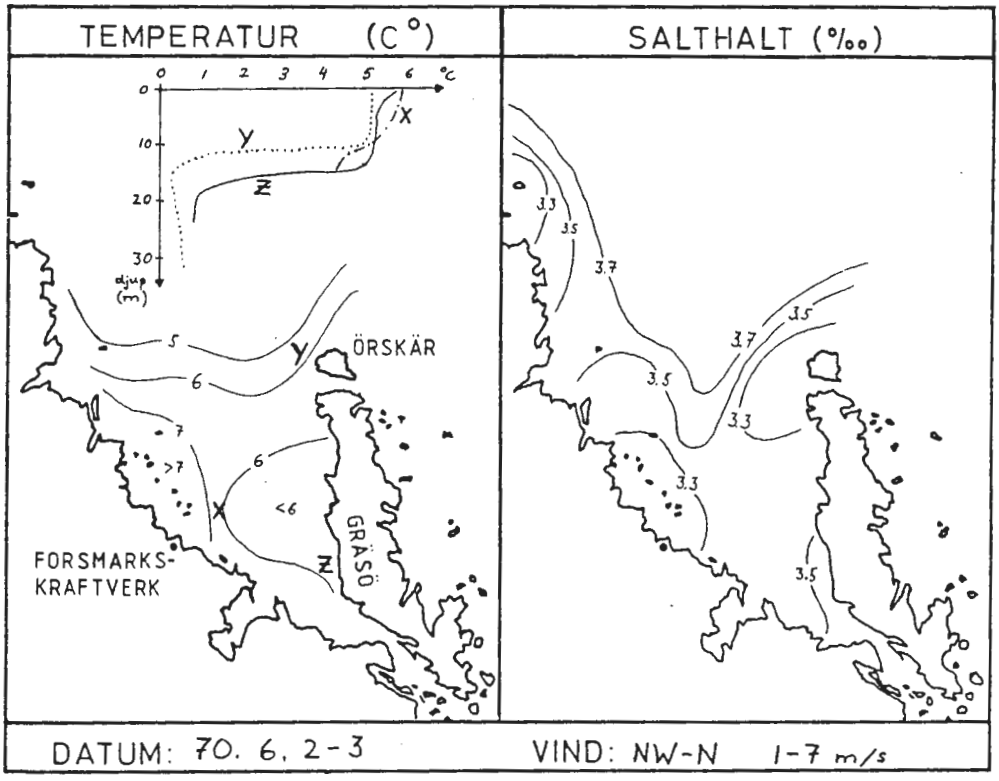
Avslutningsvis kan det därför sägas att trots att stora lokala variationer av temperatur och salthalt kan förekomma så är det inte vanligt, och normalt är följaktligen vattnet i Öregrundsgrepen ganska homogent, speciellt under sommar och vinter.

2.2 Strömmar

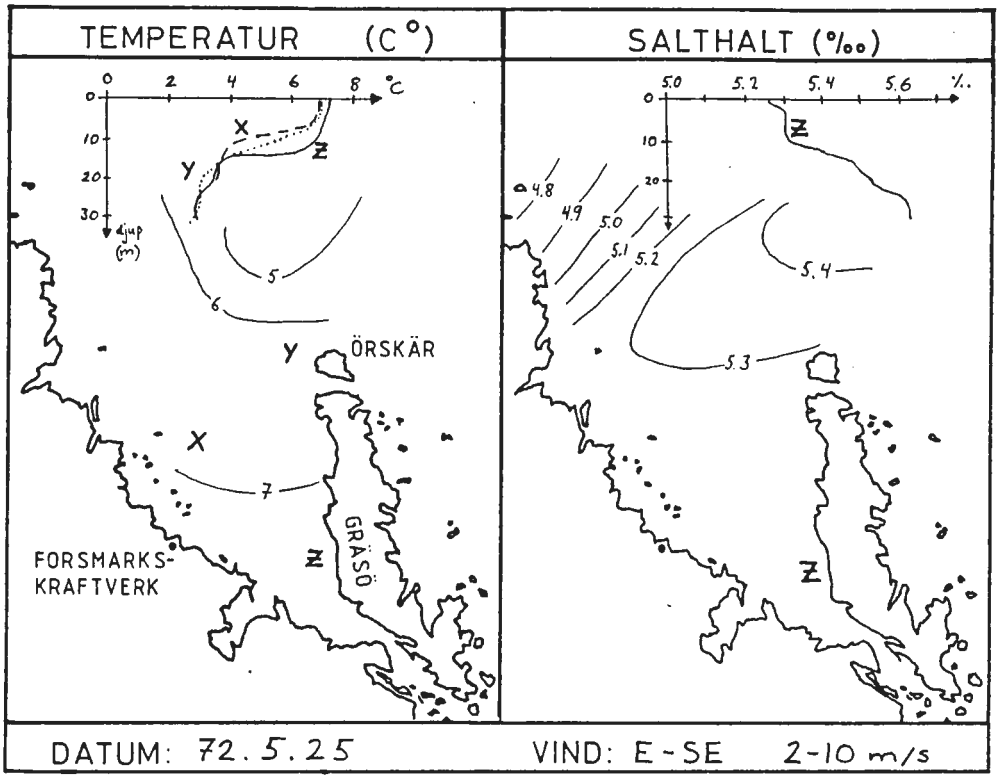
Strömmarna i Öregrundsgrepen är huvudsakligen vindgenererade. Strömmar orsakade av en lutande vattenyta (vattenståndsdifferenser) och densitetsgradienter är av underordnad betydelse, förutom då is täcker området eller vid stiltje och svaga vindar. Detta innebär att fasta cirkulationsmönster är mindre vanliga.



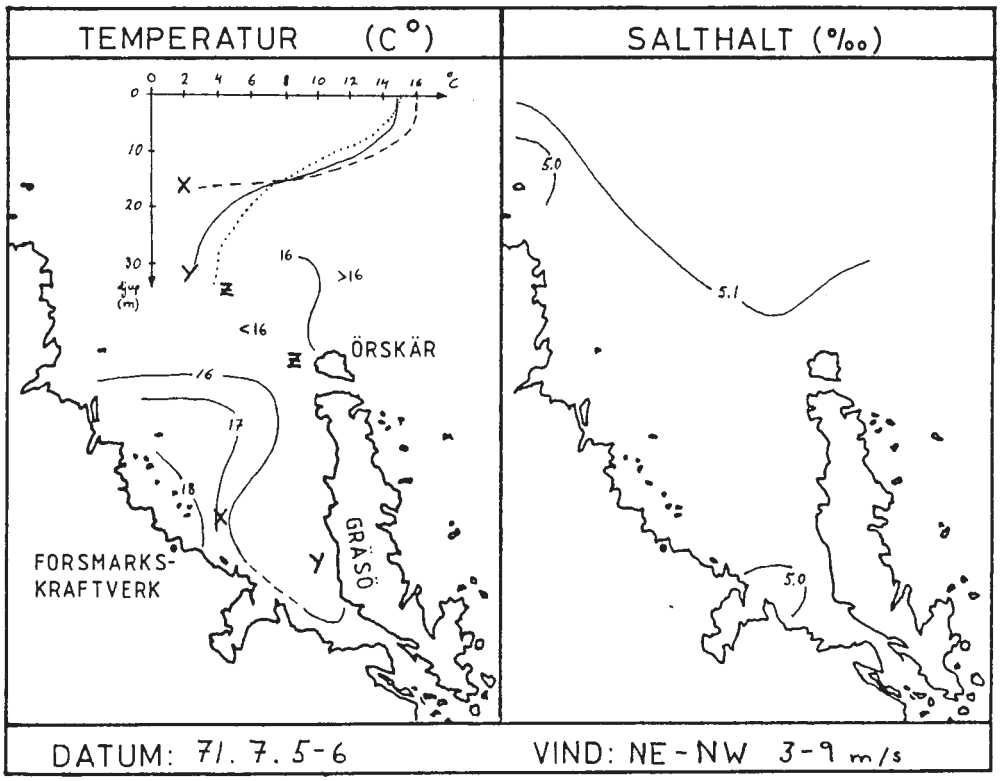
Figur 4: Horisontell temperatur - och saltdistribution i Öregrundsgrepen plus vertikaler för valda punkter, 730202.



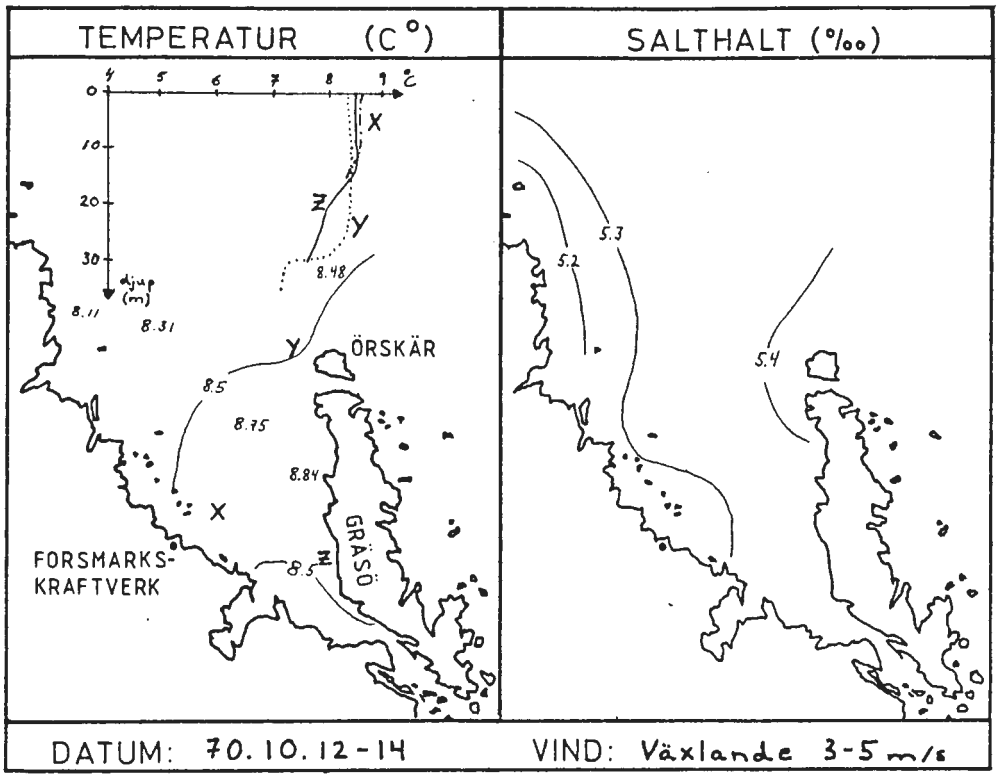
Figur 5: Horisontell temperatur - och saltdistribution i Öregrundsgrepen plus vertikaler för valda punkter, 700602-03.



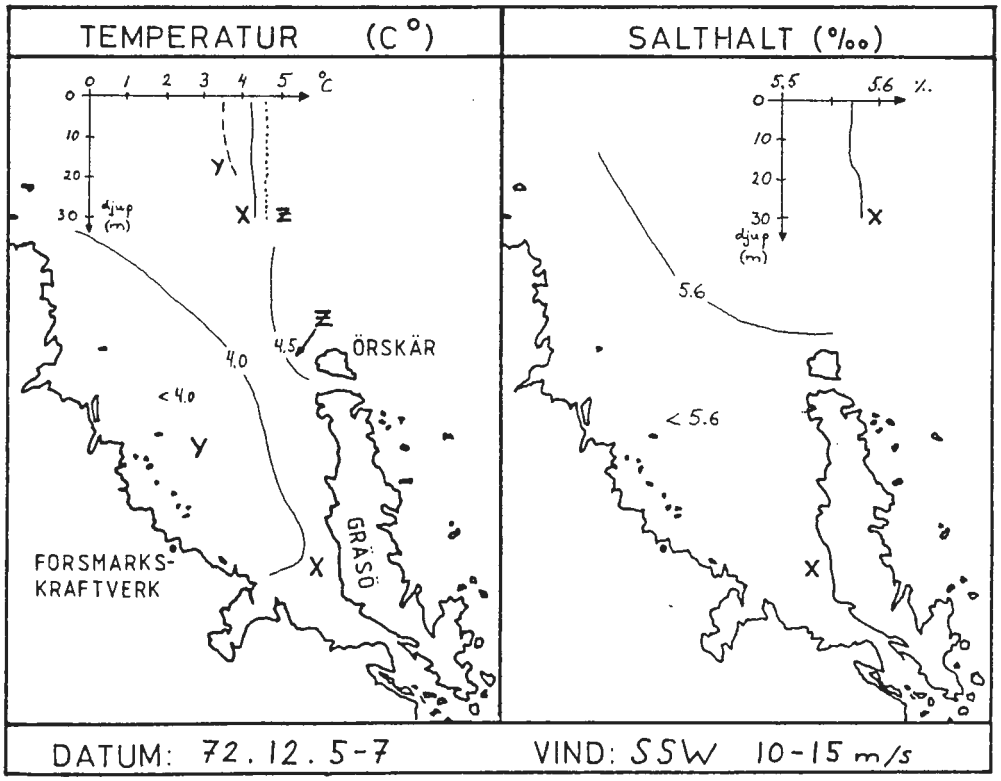
Figur 6: Horisontell temperatur - och saltdistribution i Öregrundsgrepen plus vertikaler för valda punkter, 720525.



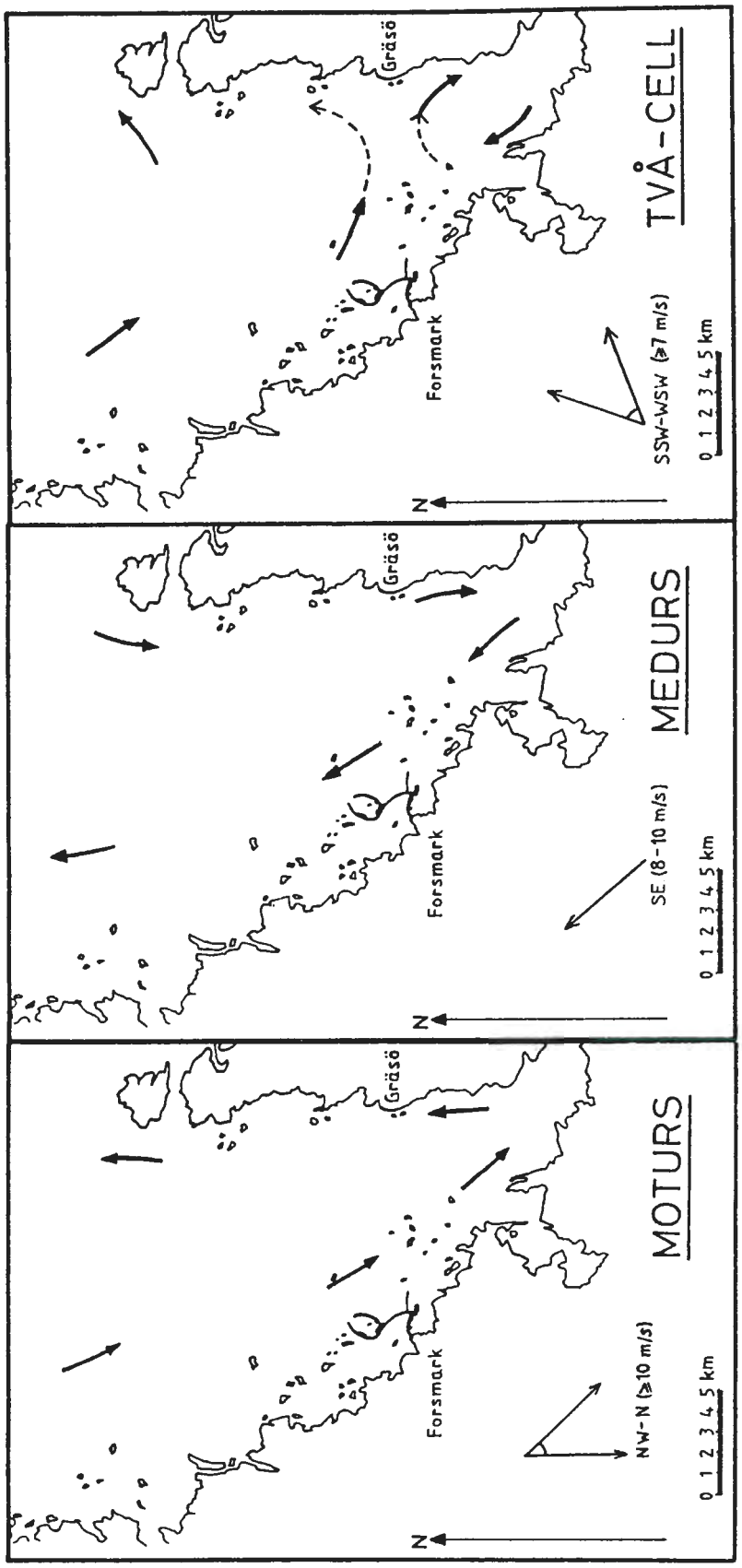
Figur 7: Horisontell temperatur - och saltdistribution i Öregrundsgrepen plus vertikaler för valda punkter, 720815.



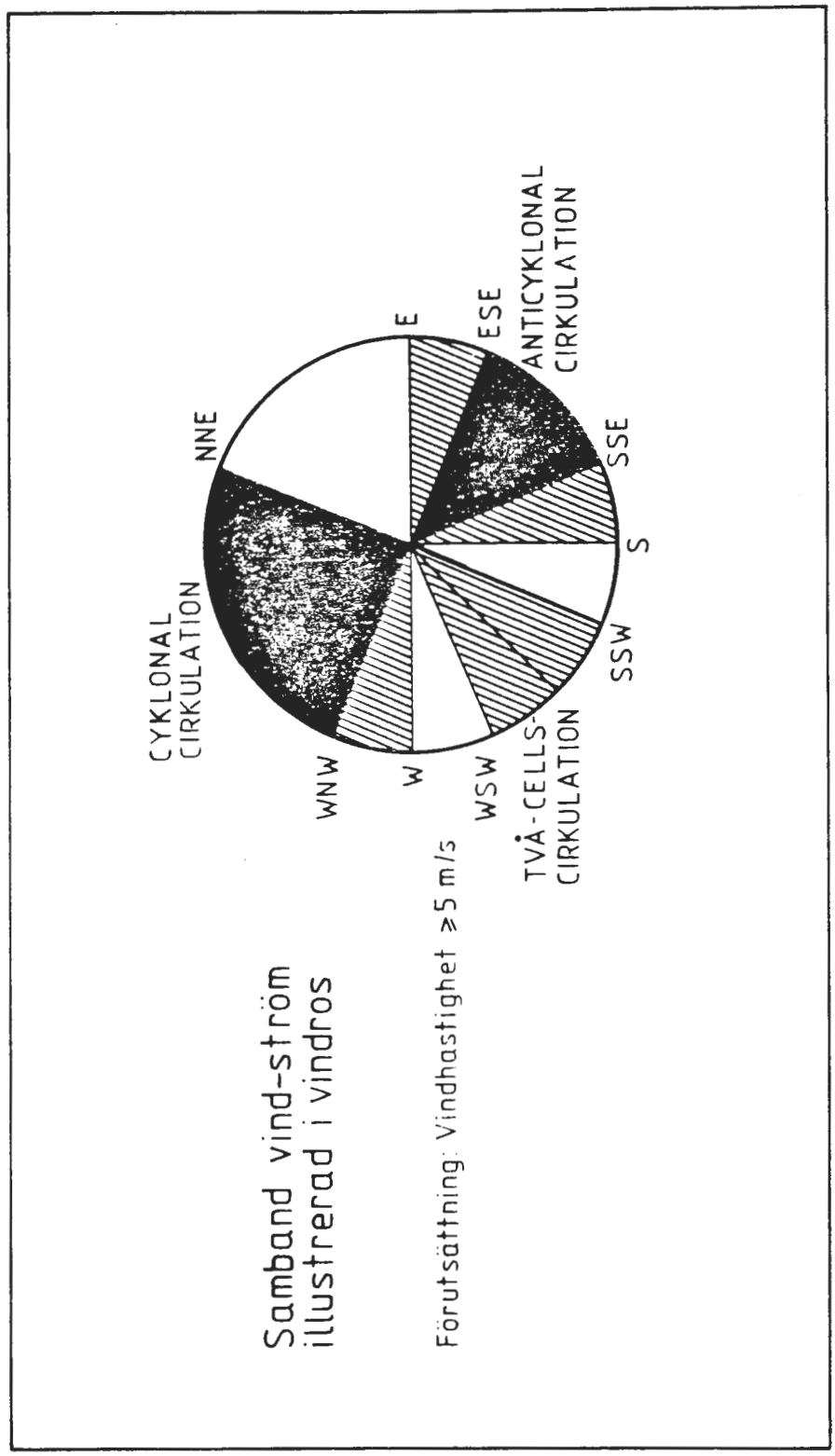
Figur 8: Horisontell temperatur - och saltdistribution i Öregrundsgrepen plus vertikaler för valda punkter, 701012-14.



Figur 9: Horisontell temperatur - och saltdistribution i Öregrundsgrepen plus vertikaler för valda punkter, 721205-07.



Figur 10: Exempel på tre fasta cirkulationsmönster i Öregrundsgrepen. Pilarnas längd ej representativa för strömmens hastighet utan anger endast riktning. I nedre vänstra hörnet anges vinden.



Figur 11: Samband mellan vind- och cirkulationsmönster då strömsituationen stabiliserats. Svarta sektorer anger bästa samband, sträckade mindre klart samband. Cyklonal = moturs, anticyklonal = medurs.

De undersökningar som utförts i området pekar på att fasta cirkulationsmönster endast förekommer 1/4 av tiden under sommaren (den tid som intresserar denna studie). Under resten av tiden är strömförhållandena mer komplicerade och småskaligare. Vid fasta cirkulationsmönster har tre typer av ytströmmar kunnat fastställas: moturs-, medurs- och två-cellscirkulation. Figur 10 visar exempel på dessa tre typer. Figur 11 visar under vilka vindriktningar som de olika strömförhållandena råder. För att ett fast cirkulationsmönster skall uppstå krävs vindar med något så när stabil riktning och med styrka över 5 - 10 m/s. Under sommaren dominerar svaga vindar (< 8 m/s) från S - W och N-NE, med andra ord de förhållanden som normalt inte orsakar ett fast cirkulationsmönster.

Ytströmmarnas hastighet i öppna vatten ligger under sommaren normalt mellan 10 och 25 cm/s. Eftersom vattnet normalt är skiktat under sommaren avskärs djupvattnet från vinddrivningen och därför är strömhastigheten under språngskiktet oftast <10 cm/s.

Av de plymkarteringar som gjorts vid kylvattenutsläppet framgår att plymen normalt pekar åt NW-E och mera sällan åt SE. Detta pekar på att vattentransporten utanför kraftverket normalt är N-NE, men denna dominans tycks inte vara stark.

För intresserade av cirkulationsmönster och vattenutbyteskoefficienter i Öregrundsgrepen kan hänvisas till Studsvik Rapport 1983 och Gidhagen & Rahm (1990).

3. BASDATA

Till grund för undersökningen ligger temperatur- och saltmätningar från stationerna 125 och 126, för åren 1970 och 1971. Dessutom används 1992 års mätningar av temperatur på station 126, se figur 2. Samtliga mätningar utfördes av SMHI.

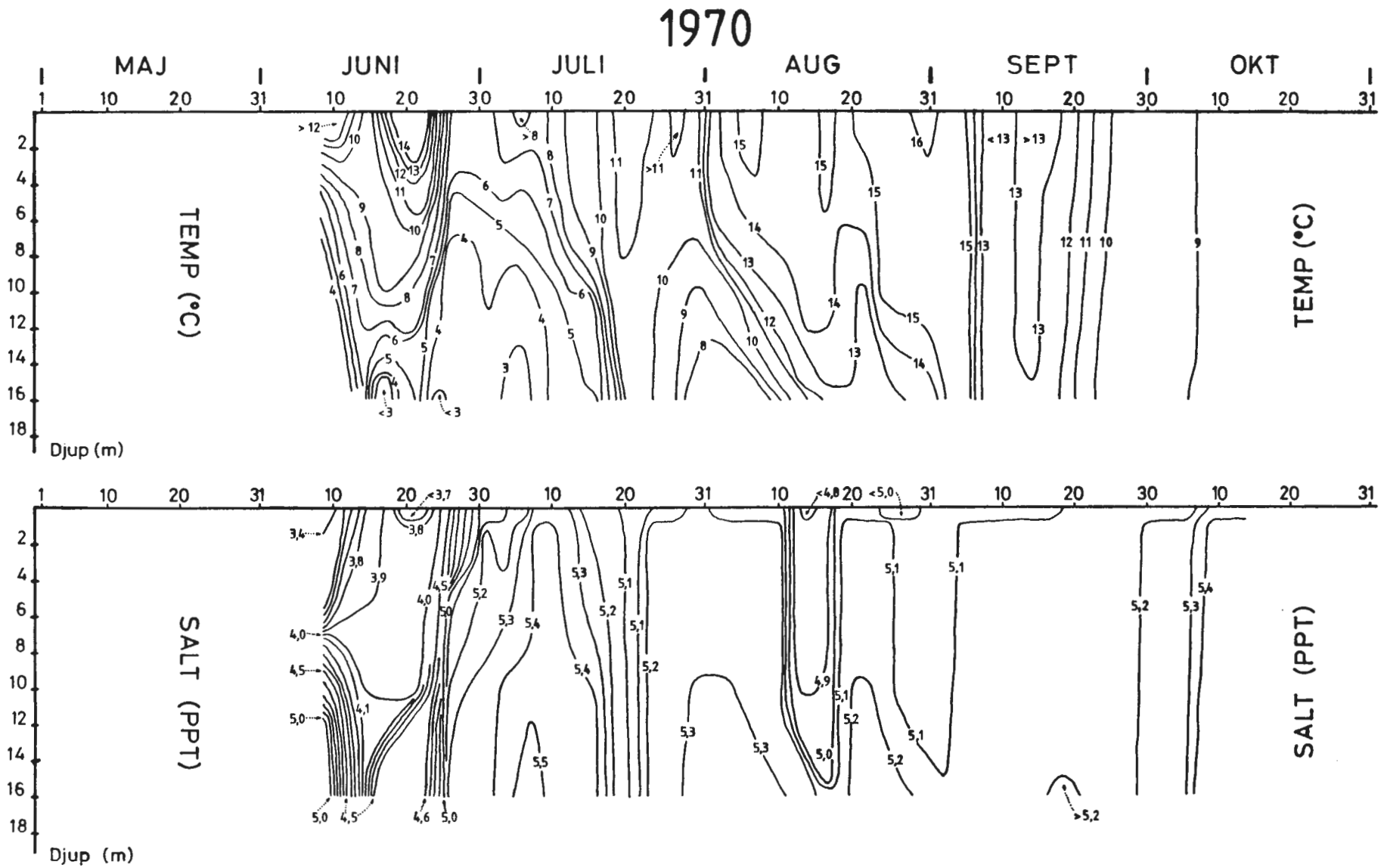
Mätningarna som gjordes 1970 och 1971 gjordes innan kraftverket byggdes, och visas i figurerna 12 - 14. Vid vertikal 126 handmättes temperatur och salinitet på 0.5, 1, 2.5, 5, 7.5, 10, 12/14, 15 och 16/17 m djup (något annorlunda mätdjup under de olika åren). Samtidigt registrerades även temperaturen med automatiska instrument, men eftersom dessa data stämmer bra med handmätningarna, endast täckte 4 - 14 m intervallet, och inte gällde salt, valdes att inte låta dessa ingå som underlag. Station 125 medtogs som referens för mer kustnära vatten än det som omger vertikal 126. Mätdjupen för station 125 var 0.5, 1, 2.5 och 5 m. För båda vertikalerna och båda åren gjordes mätningarna cirka två gånger per vecka.

1992 års data insamlades med automatiskt registrerande temperaturmätare. Mätdjupen var 1.4, 3.4, 4.7, 6.1, 7.3, 8.8, 10.1, 11.5, 12.8, 14.1 och 15.5 m. Mätintervallet var 1 timme och instrumentet fungerade bra, varför inget bortfall av data skedde. Resultatet visas i figur 15.

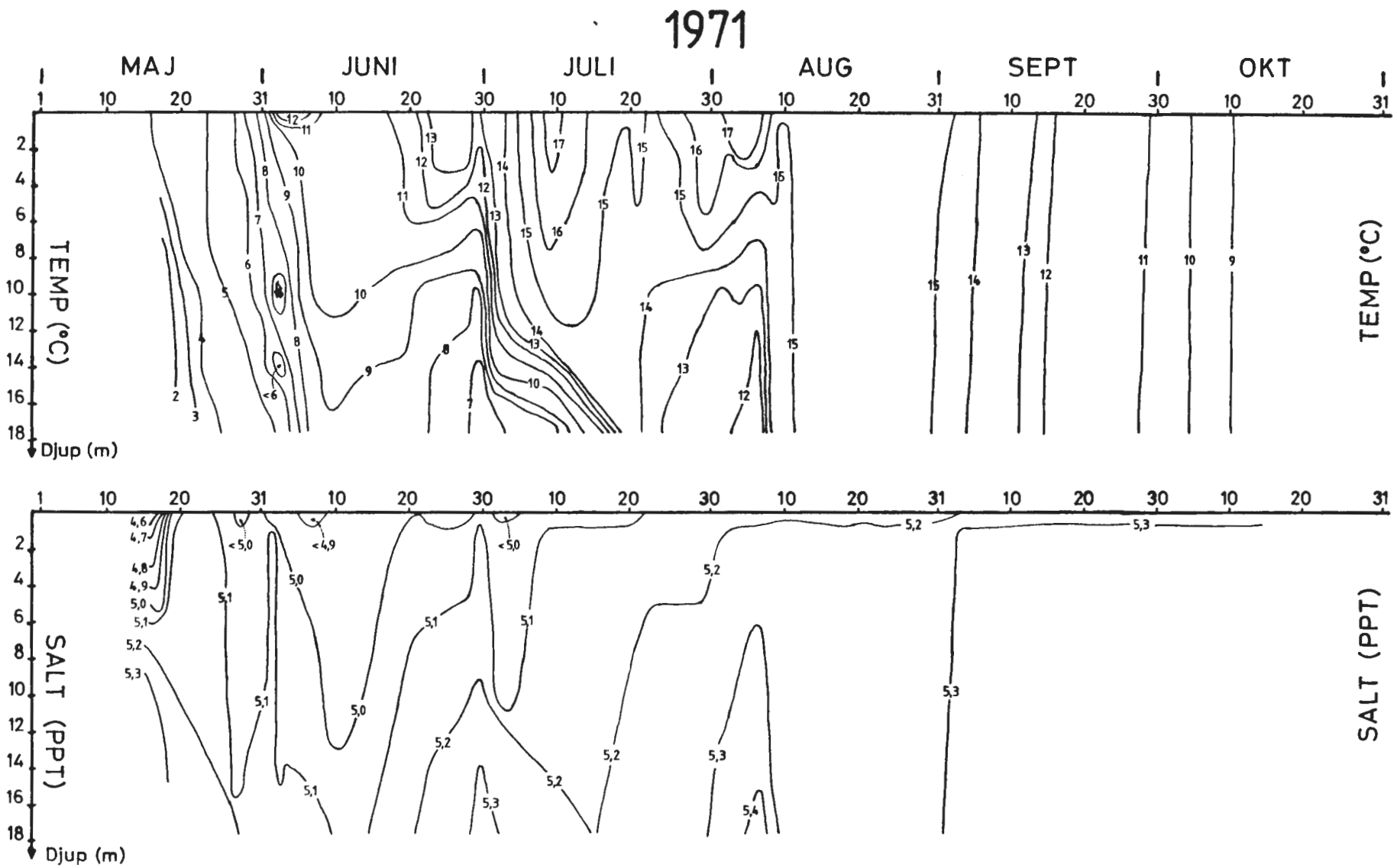
Bottendjupet vid vertikal 126 är cirka 18 m och vid vertikal 125 cirka 6 m. Utöver temperatur- och saltdata används även diverse väderstatistik. Det mesta av denna redovisas dock i samband med de delar av undersökningen där den är relevant, tills vidare redovisas därför bara hur de olika mätårens medelluft-temperatur förhåller sig till normalperiodens. Lufttemperaturen är inget direkt mått på vattentemperaturen men ger dock en indikation på hur de olika mätåren förhåller sig till varandra. I tabell 1 visas hur 1970 var lite kallare än normalt, hur 1971 var mer eller mindre normalt, och hur 1992 var lite varmare än normalt. Undersökningen har därför tur vad gäller basdata, uppgifterna borde vara normala och i den mån det förekommer variationer borde dessa utjämnas vid medelvärdesbildning.

Tabell 1: Månads- och årsmedelvärden för lufttemperaturen (°C) vid Örskär. Normalperioden = 1961 - 1990.

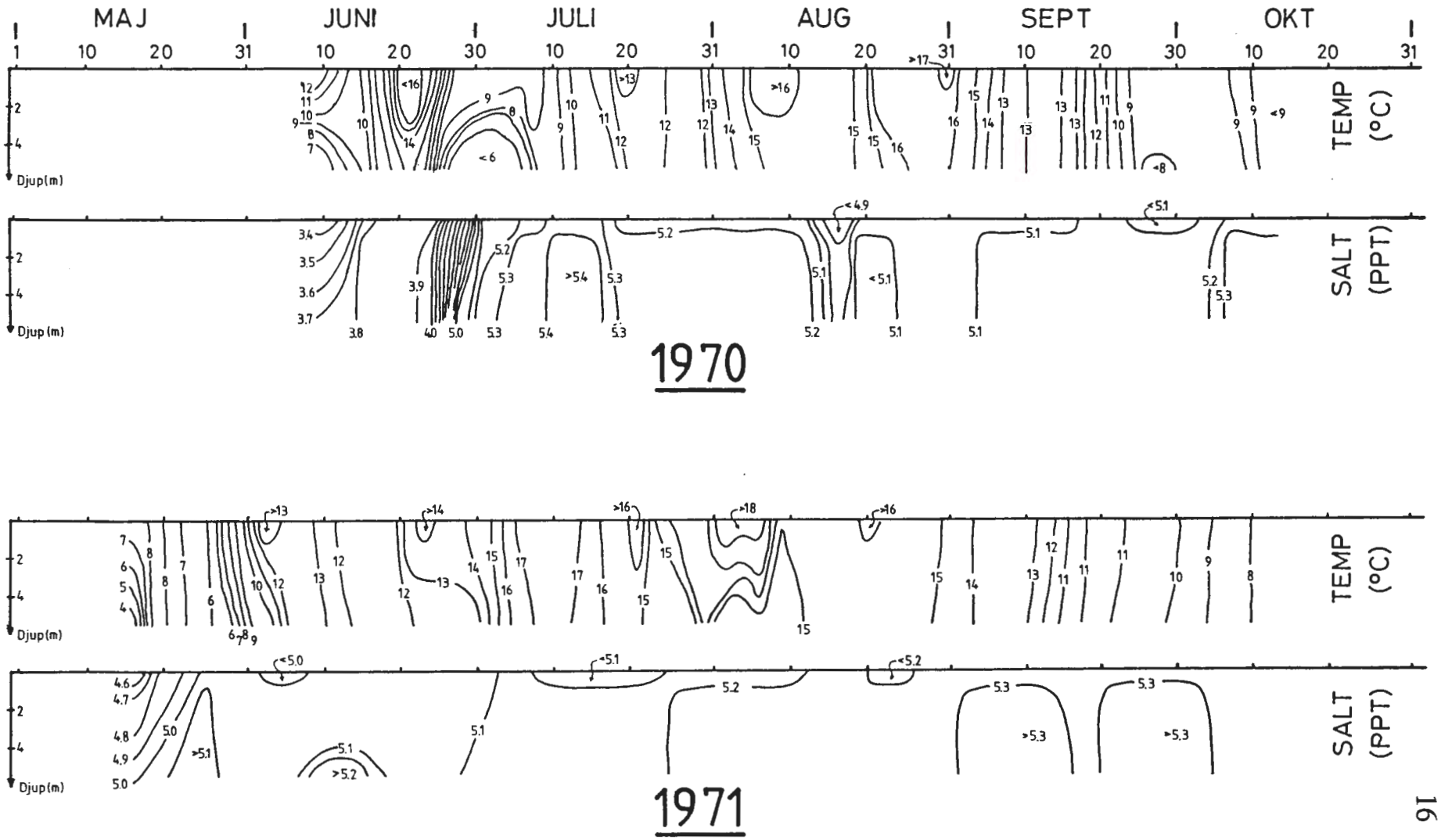
	Maj	Juni	Juli	Augusti	September	Året
1970	4.6	13.3	13.6	15.2	11.5	3.9
1971	7.4	12.1	15.6	15.7	10.9	5.5
1992	10.9	15.5	16.0	15.2	11.8	-
1961-90	7.5	13.1	15.7	15.1	11.4	5.5



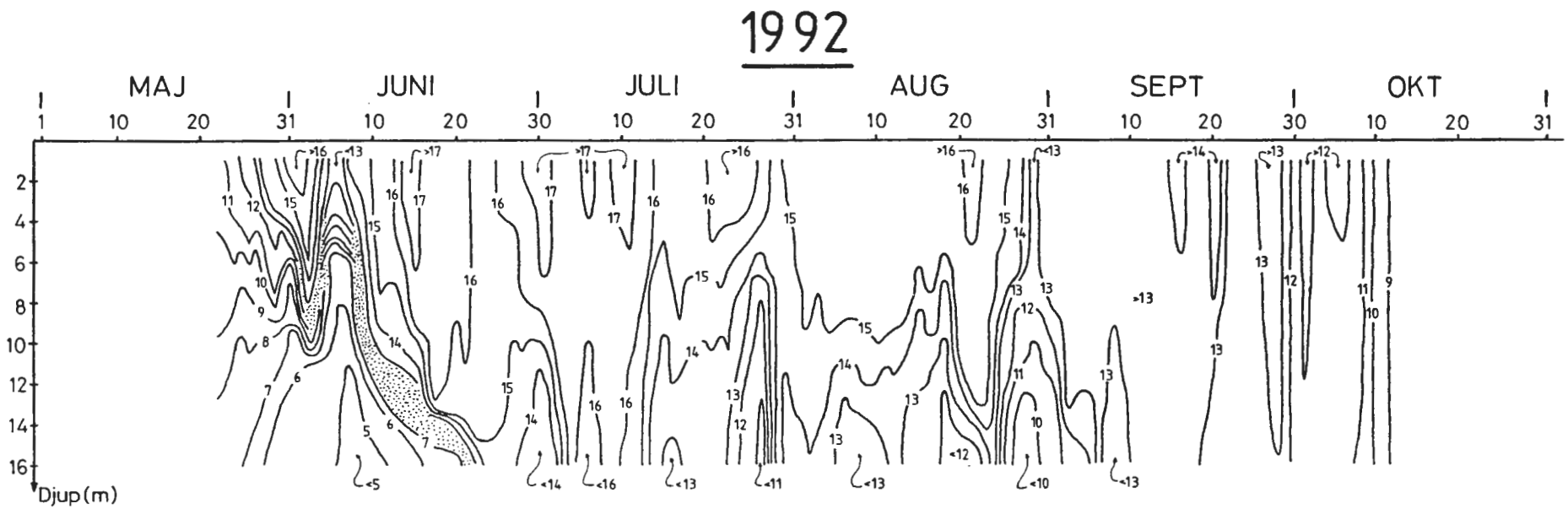
Figur 12: Tidsserie över temperatur och salinitet 1970 i vertikal 126.



Figur 13: Tidsserie över temperatur och salinitet 1971 i vertikal 126.



Figur 14: Tidsserie över temperatur och salinitet 1970 och 1971 i vertikal 125.



Figur 15: Tidsserie över temperatur 1992 i vertikal 126.

4. BEARBETNING OCH ANALYS

I detta kapitel bearbetas grundmaterialet på olika sätt för att besvara ett antal frågor som i möjligaste mån bör belysa de oceanografiska aspekter som är relevanta. I varje sektion besvaras en fråga. Analyser, jämförelser och diskussioner löper parallellt med varje fråga. De frågor som besvaras är:

- Hur stor är temperaturskillnaden mellan ytan och botten i vertikal 126? (4.1)

- Hur stor är temperaturskillnaden mellan ytan och andra djup i vertikal 126? (4.2)

- Hur mycket varierar vattentemperaturen över korta tidsskalor? (4.3)

- Hur förhåller sig yttemperaturen vid station 126 till intagstemperaturen på kraftverkets kylvatten? (4.4)

- Vad styr temperaturdifferensen mellan ytan och större djup, under sommaren? (4.5)

- Vilken densitet har vattnet och vad karakteriserar språngskiktet? (4.6)

- Vilka aspekter bör ägnas speciell uppmärksamhet i det fortsatta arbetet med att sänka kylvattnets intagstemperatur? (4.7)

4.1 Hur stor är temperaturskillnaden mellan ytan och botten i vertikal 126?

De djup på vilka temperaturmätningarna är gjorda är inte desamma för de olika årens mätningar. Under 1992 gjordes yt- och bottenmätningarna på 1.4 respektive 15.5 m djup, under 1970 på 0.5 respektive 16 m, och under 1971 på 0.5 respektive 17 m. För att ensa mätningarna interpolerades därför månadsmedel-differenserna fram för 1970 och 1971 i relation till 1992, se tabell 2.

Tabell 2: Station 126 - månadsmedeltemperatur (°C) differenser mellan olika djup under 1970 och 1971. Ytmätdjupet under 1992 års mätningar var 1.4 m och bottenmätdjupet 15.5 m, därför används dessa såsom referenser.

		Juni	Juli	Augusti	September
1970 ΔT	0.5 - 1.4 m	0.62	0.14	0.05	0.00
1971 ΔT	0.5 - 1.4 m	0.27	0.09	0.06	0.03
Medel 70/71 ΔT	0.5 - 1.4 m	0.44	0.12	0.06	0.02
1970 ΔT	15.5 - 16 m	0.17	0.03	0.51	0.02
1971 ΔT	15.5 - 17 m	0.10	0.23	0.02	0.02

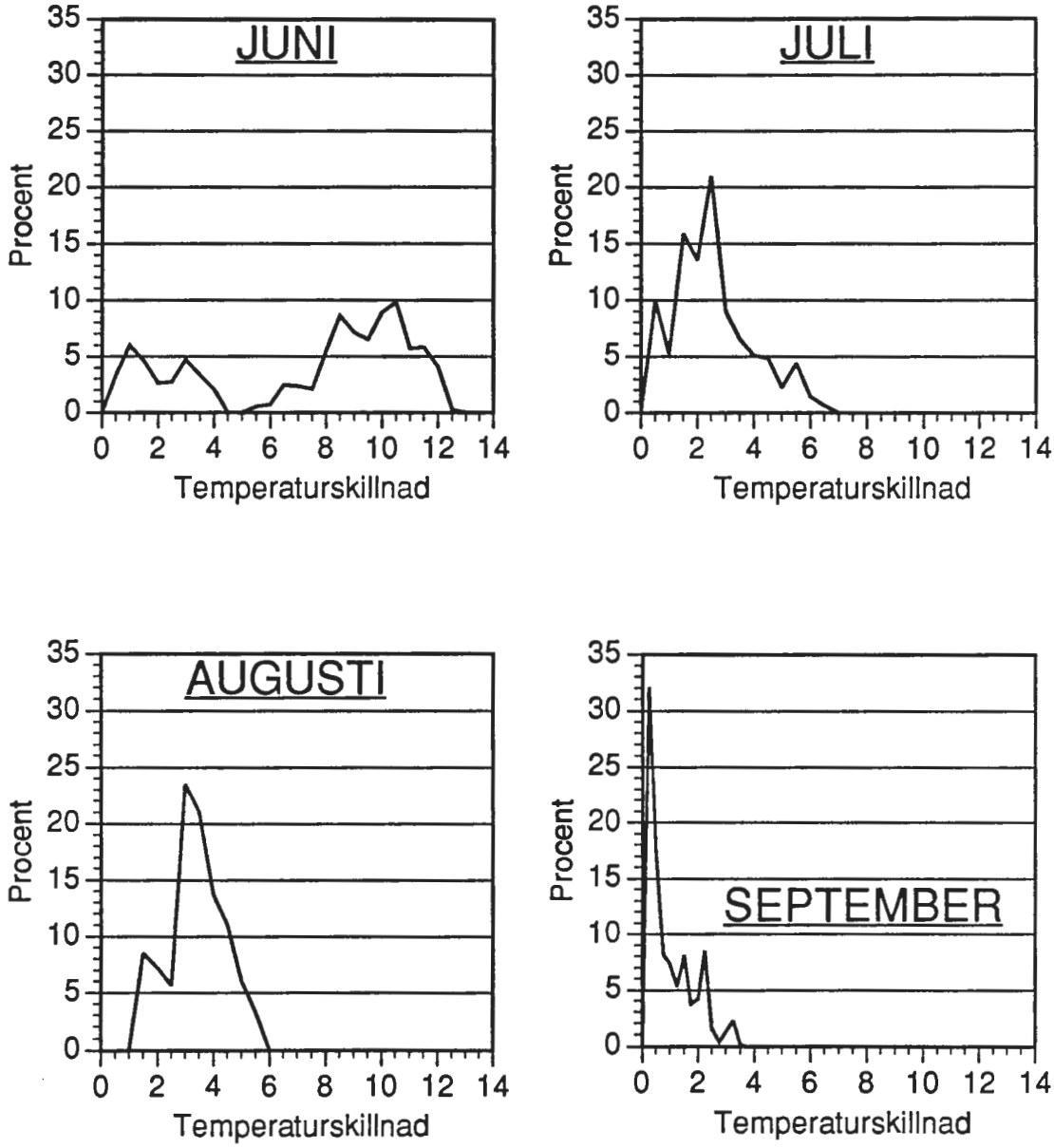
Under september är skillnaderna mycket små, för att öka ju tidigare på sommaren mätningarna gjordes. Som störst är skillnaderna under juni. Om till exempel temperaturskillnaden mellan botten och ytan under juni för åren 1970 och 1992 skulle jämföras så borde 1992 års medeldifferens ökas med 0.79 °C (0.62 + 0.17) för att vara jämförbar med 1970 års värde. Samtidigt är dock underlaget för korrektioner av detta slag svagt och borträknas juni-värden så är skillnaderna små. Det är därför rimligt att inte korrigera för årens olika mätdjup utan istället se dessa som en säkerhetsmarginal.

Med hjälp av all data som stod till undersökningens förfogande beräknades temperaturskillnaden mellan ytan och botten vid alla mättillfällen. Sedan beräknades månadsmedelvärden för dessa under 1970, 1971 och 1992, se tabell 3. Störst skillnad förekommer under juni månad då rester av kallare vintervatten finns kvar på djupet. Juli och augusti är ungefär likvärdiga och differensen under dessa månader orsakas till stor del av de inbrott av kallare vatten som inträffar vid relativt kraftiga sydliga vindar, se figurerna 12, 13 och 15. Denna koppling är viktig och studeras närmare i sektion 4.5. I september har de kraftigare och mer ihållande vindarna till stor del brutit ner sommarens termiska skiktning och vattnet har blivit närapå homogent. Den data som finns för månaderna maj och oktober har inte använts i denna del av undersökningen eftersom materialet endast täcker delar av månaderna.

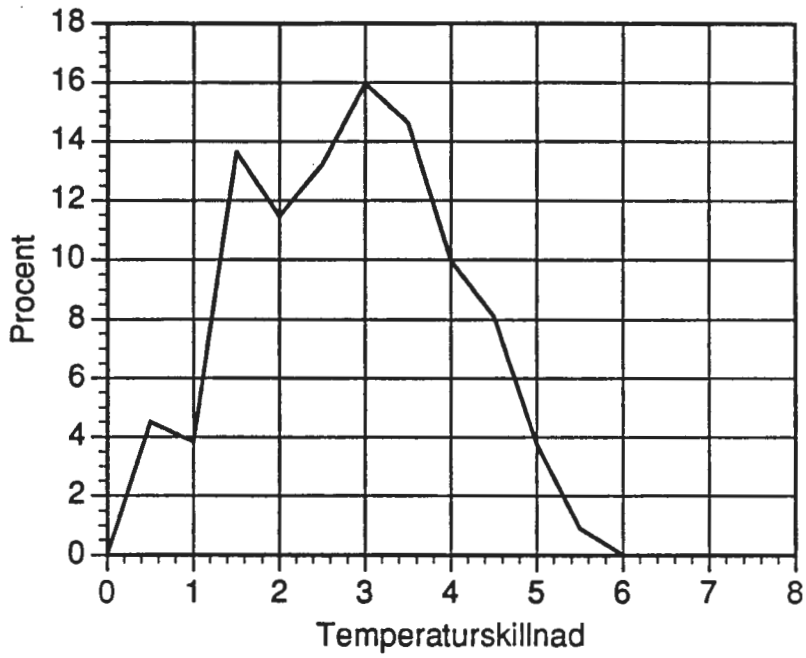
Tabell 3: Månadsmedeltemperatur (°C) differenser mellan ytan (1.5 m djup) och botten (16 m djup) vid station 126 under 1970, 1971 och 1992. I de fall då månadens dataunderlag inte täcker hela månaden har medelvärdet satts inom parentes. OBS 1992 års data är överrepresenterad.

	Juni	Juli	Augusti	September
1970	(8.1)	3.6	4.1	0.3
1971	4.5	4.0	1.5	0.2
1992	7.6	2.3	3.1	1.5
Medel	6.7	3.3	2.9	0.7

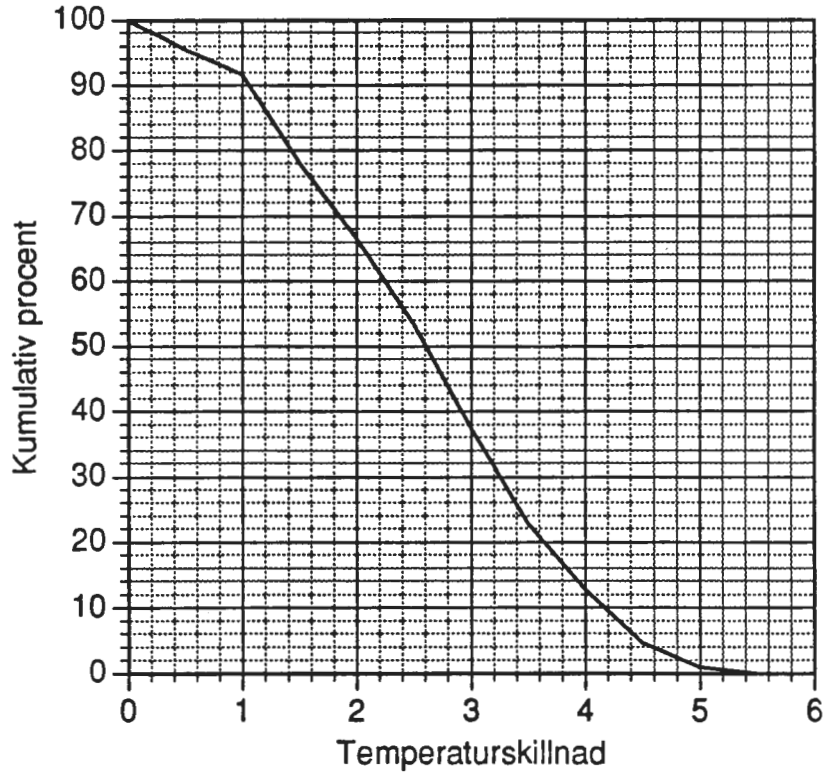
För att erhålla en mer detaljerad bild av temperaturskillnaderna mellan ytan och botten producerades även en kumulativ frekvensfördelning av differenserna. Eftersom en sammanslagning av alla temperaturdifferenser leder till en stor övervikt av data från 1992 (se kapitel 3) måste skillnaderna mellan åren (se tabell 3) bäras i minne, och den kumulativa distributionen blir huvudsakligen representativ för 1992. Till att börja med plottades data månad för månad såsom enkla frekvensdiagram, se figur 16. Under juni är frekvensfördelningen tvådelad. Detta orsakas av att första delen av månaden normalt uppvisar en vårskiktning. Typiska sommarförhållanden skulle därför få en frekvens-fördelning enligt figur 17, i vilken differensvärden för första halvan av juni exkluderats. Dessa typiska sommarförhållanden får sedan en kumulativ frekvensfördelning enligt figur 18. Figur 18 avläses genom att på kumulativ procent X gå ut horisontellt till kurvan och sedan vertikalt ner till temperatur-skillnad Y, därmed visas att X procent av tiden (i detta fall cirka halva juni till och med augusti) är temperaturskillnaden större än Y °C. Förfarandet kan naturligtvis även utföras åt motsatt håll. Kumultativa frekvensdiagram har även tagits fram för juni (hela), juli, augusti och september, se figurerna 19, 20, 21 respektive 22.



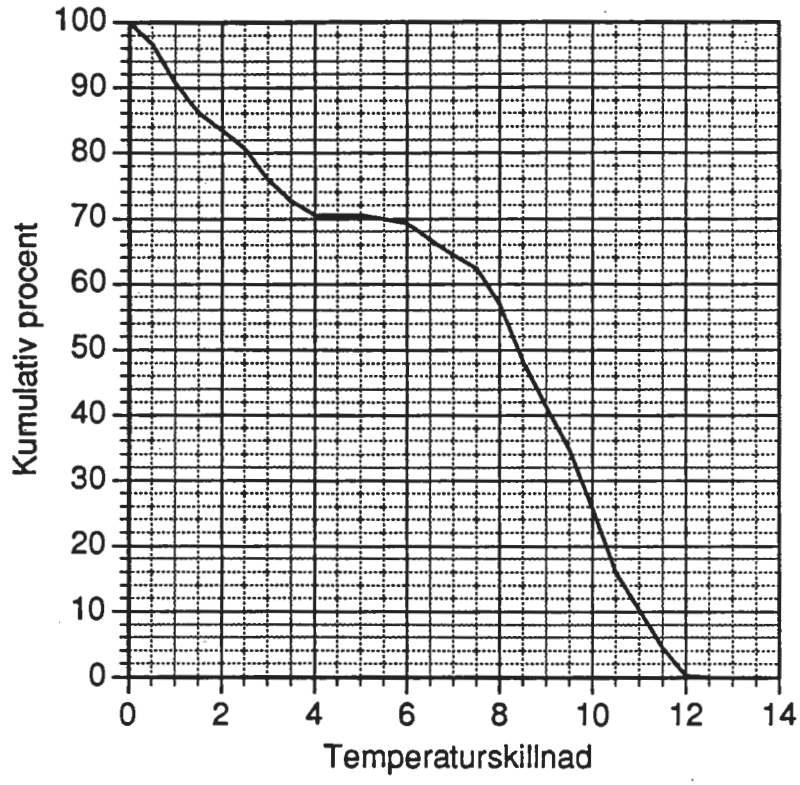
Figur 16: Frekvensdiagram för temperaturdata från vertikal 126 - 1970, 1971 och 1992. OBS 1992 års data är överrepresenterad.



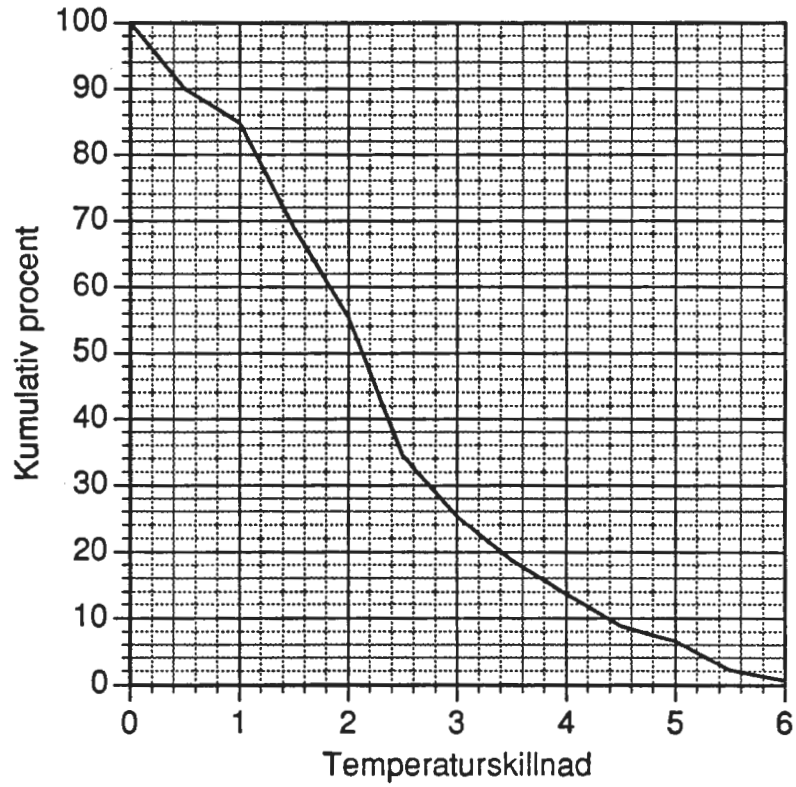
Figur 17: Frekvensdiagram för temperaturskillnaden mellan ytan (cirka 1.5 m) och djup (cirka 16 m) vid station 126. Data från vald del av juni till och med augusti - 1970, 1971 och 1992. OBS 1992 års data är överrepresenterad.



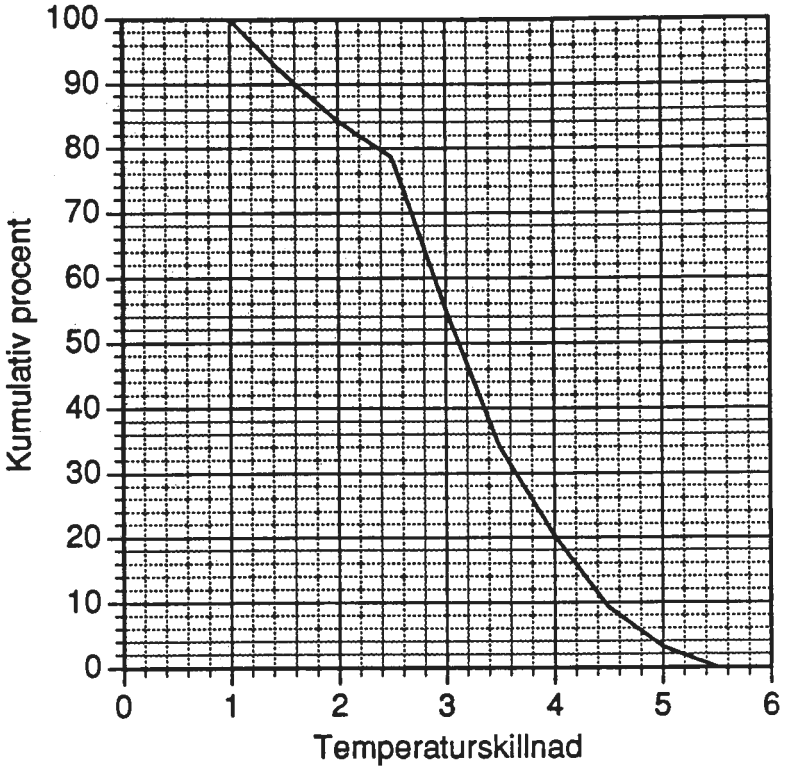
Figur 18: Kumulativ frekvensfördelning för temperaturskillnaden mellan yta (cirka 1.5 m) och djup (cirka 16 m) vid station 126. Data från vald DEL AV JUNI TILL OCH MED AUGUSTI - 1970, 1971 och 1992. OBS 1992 års data är överrepresenterad. Typiska sommarförhållanden.



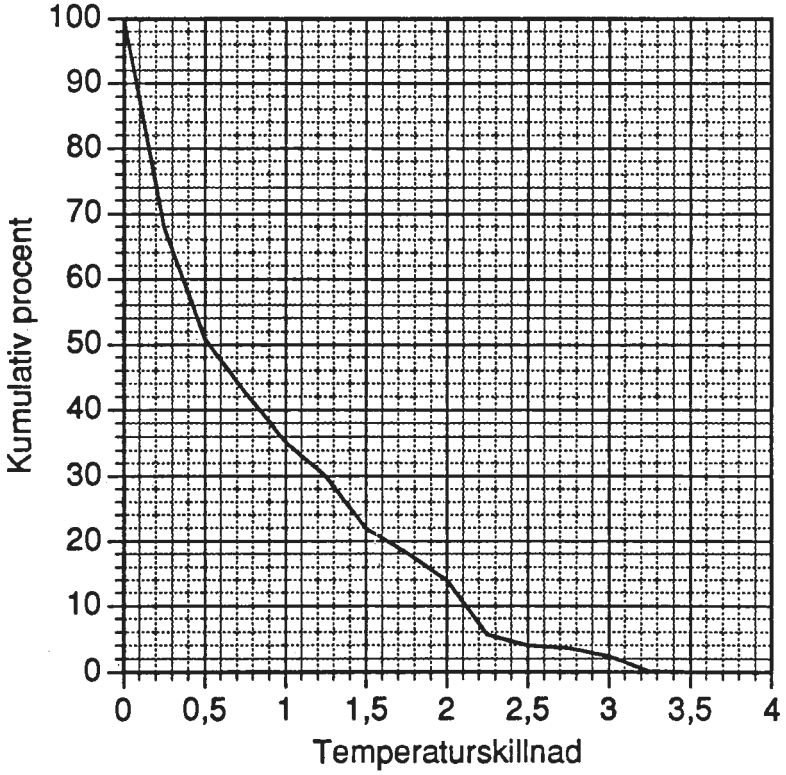
Figur 19: Kumulativ frekvensfördelning för temperaturskillnaden mellan yta (cirka 1.5 m) och djup (cirka 16 m) vid station 126, JUNI - 1970, 1971 och 1992. OBS 1992 års data är överrepresenterad.



Figur 20: Kumulativ frekvensfördelning för temperaturskillnaden mellan yta (cirka 1.5 m) och djup (cirka 16 m) vid station 126, JULI - 1970, 1971 och 1992. OBS 1992 års data är överrepresenterad.



Figur 21: Kumulativ frekvensfördelning för temperaturskillnaden mellan yta (cirka 1.5 m) och djup (cirka 16 m) vid station 126, AUGUSTI - 1970, 1971 och 1992. OBS 1992 års data är överrepresenterad.



Figur 22: Kumulativ frekvensfördelning för temperaturskillnaden mellan yta (cirka 1.5 m) och djup (cirka 16 m) vid station 126, SEPTEMBER - 1970, 1971 och 1992. OBS 1992 års data är överrepresenterad.

4.2 Hur stor är temperaturskillnaden mellan ytan och andra djup I vertikal 126?

Enligt samma principer som i sektion 4.1 redovisas i denna sektion tabeller över månadsmedeltemperaturskillnader och figurer med kumulativa frekvensfördelningar, för djupen yta - 12 m djup och yta - 8 m djup. Liksom i sektion 4.1 dominerar data från året 1992 och därför är de kumulativa frekvensfördelningarna huvudsakligen representativa för detta år. Se tabell 4 - 5 och figur 23 - 32 under juli och augusti var temperaturskillnaden mellan ytan och 16 m cirka

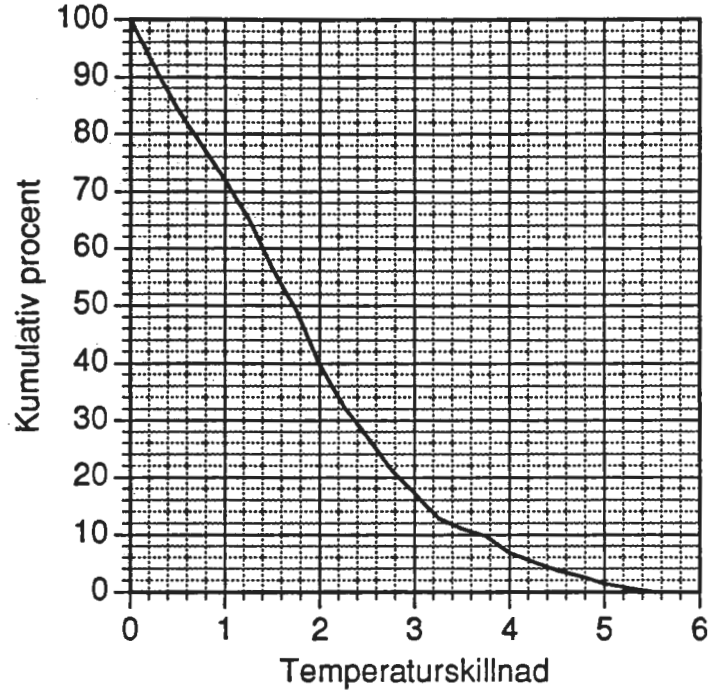
Tabell 4: Månadsmedeltemperatur (°C) differenser mellan yta (1.5 m djup) och 12 m djup vid station 126 under 1970, 1971 och 1992. I de fall då månadens dataunderlag inte täcker hela månaden har medelvärdet satts inom parentes. OBS 1992 års data är överrepresenterad.

	Juni	Juli	Augusti	September
1970	(6.7)	3.0	2.2	0.1
1971	3.5	2.0	1.3	0.1
1992	4.7	1.7	2.1	0.5
Medel	5.0	2.2	1.9	0.2

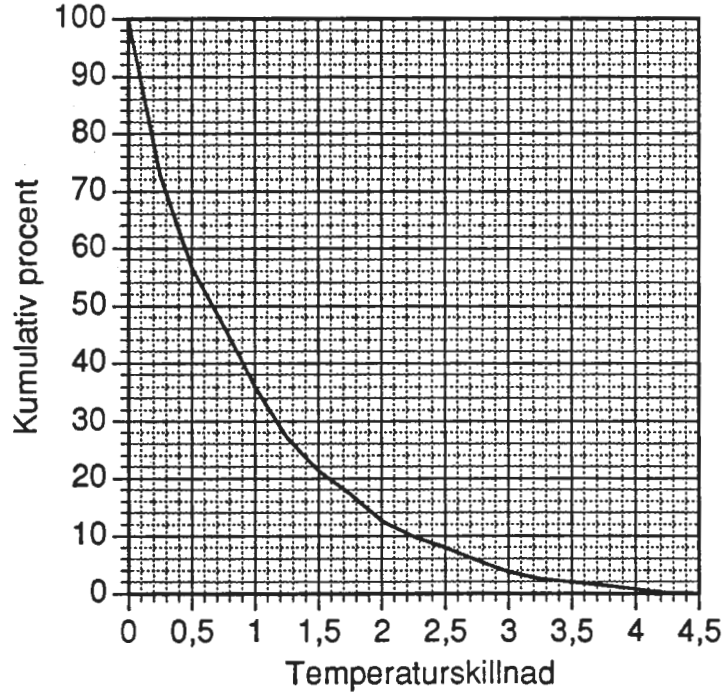
Tabell 5: Månadsmedeltemperatur (°C) differenser mellan yta (1.5 m djup) och 8 m djup vid station 126 under 1970, 1971 och 1992. I de fall då månadens dataunderlag inte täcker hela månaden har medelvärdet satts inom parentes. OBS 1992 års data är överrepresenterad.

	Juni	Juli	Augusti	September
1970	(4.7)	1.4	0.8	0.0
1971	2.2	0.9	0.9	0.1
1992	2.2	1.0	0.7	0.3
Medel	3.0	1.3	0.8	0.1

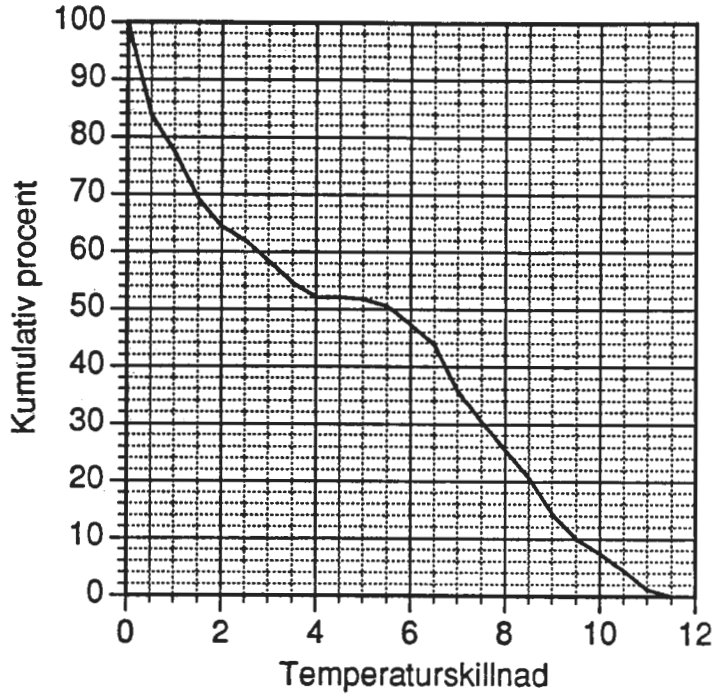
3 ° C, för mellan 12 m och ytan har skillnaden minskat till cirka 2 °C, och för 8 m och ytan är differensen nere i cirka 1 °C. Följaktligen tycks det finnas ansenliga mängder kallare vatten på djup- och mellannivå vid vertikal 126 under hela sommaren.



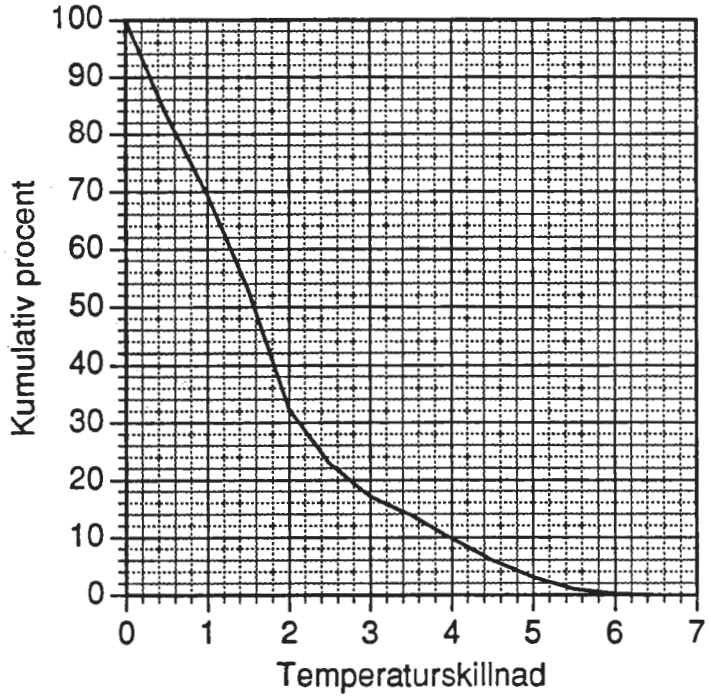
Figur 23: Kumulativ frekvensfördelning för temperaturskillnaden mellan yta (cirka 1.5 m) och 12 m djup vid station 126. Data från vald del av jUNI TILL OCH MED AUGUSTI - 1970, 1971 och 1992. OBS 1992 års data är överrepresenterad. Typiska sommarförhållanden.



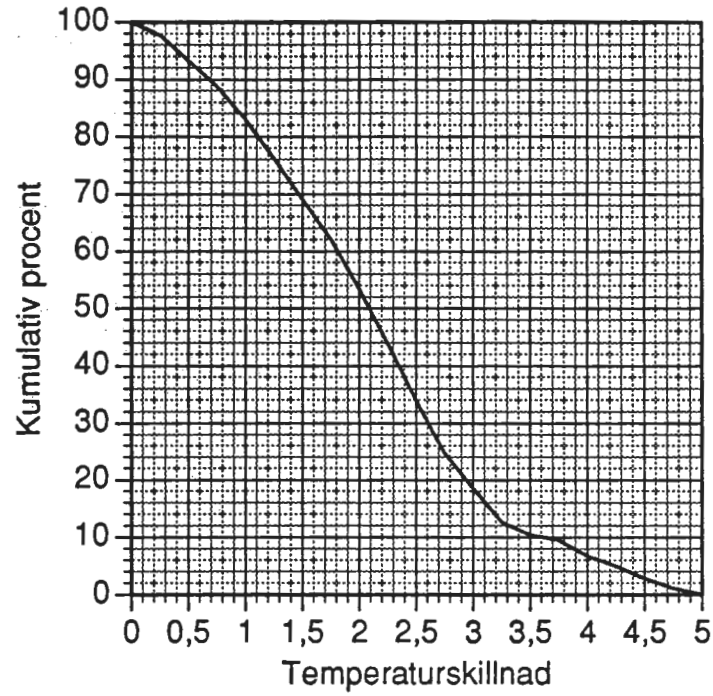
Figur 24: Kumulativ frekvensfördelning för temperaturskillnaden mellan yta (cirka 1.5 m) och 8 m djup vid station 126. Data från vald DEL AV JUNI TILL OCH MED AUGUSTI - 1970, 1971 och 1992. OBS 1992 års data är överrepresenterad. Typiska sommarförhållanden.



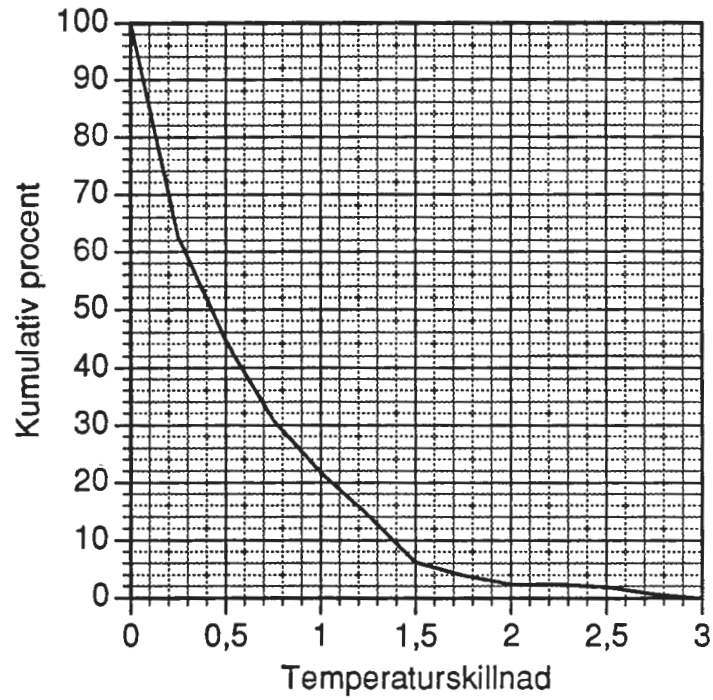
Figur 25: Kumulativ frekvensfördelning för temperaturskillnaden mellan yta (cirka 1.5 m) och 12 m djup vid station 126, JUNI - 1970, 1971 och 1992. OBS 1992 års data är överrepresenterad.



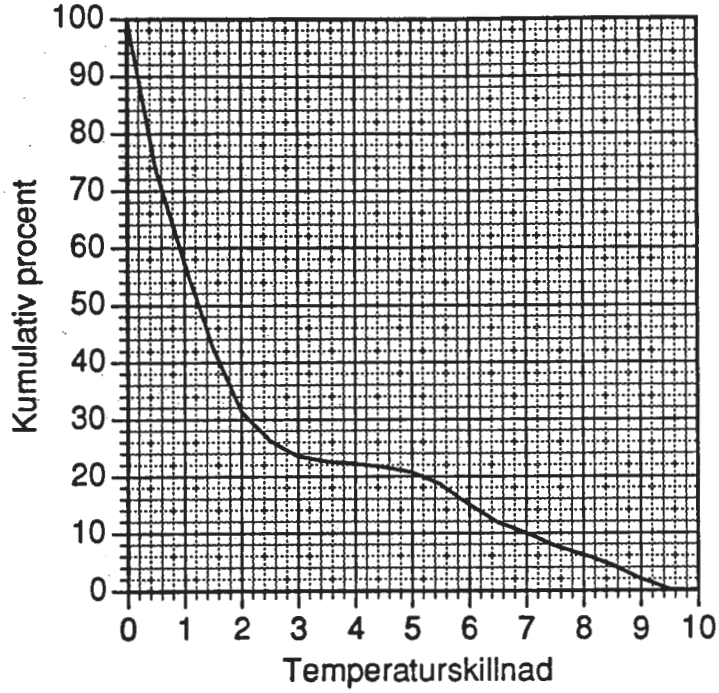
Figur 26: Kumulativ frekvensfördelning för temperaturskillnaden mellan yta (cirka 1.5 m) och 12 m djup vid station 126, JULI - 1970, 1971 och 1992. OBS 1992 års data är överrepresenterad.



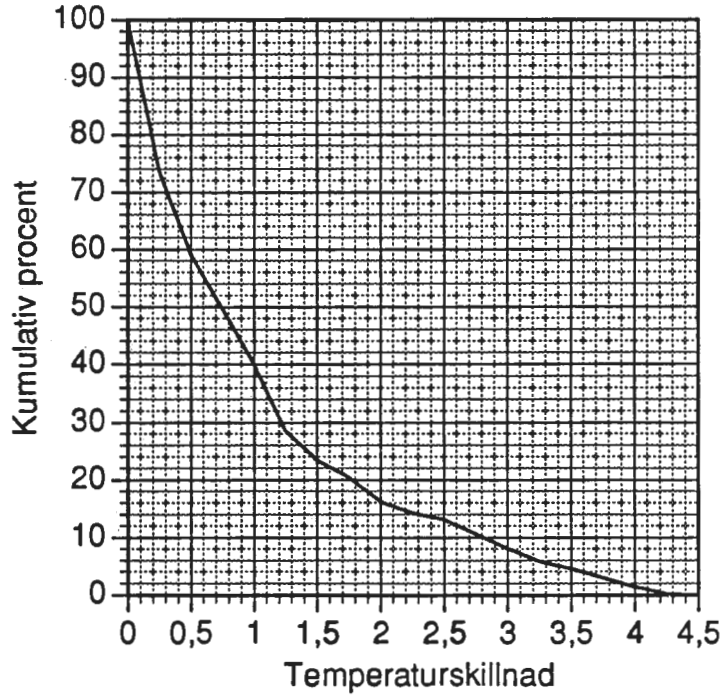
Figur 27: Kumulativ frekvensfördelning för temperaturskillnaden mellan yta (cirka 1.5 m) och 12 m djup vid station 126, AUGUSTI - 1970, 1971 och 1992. OBS 1992 års data är överrepresenterad.



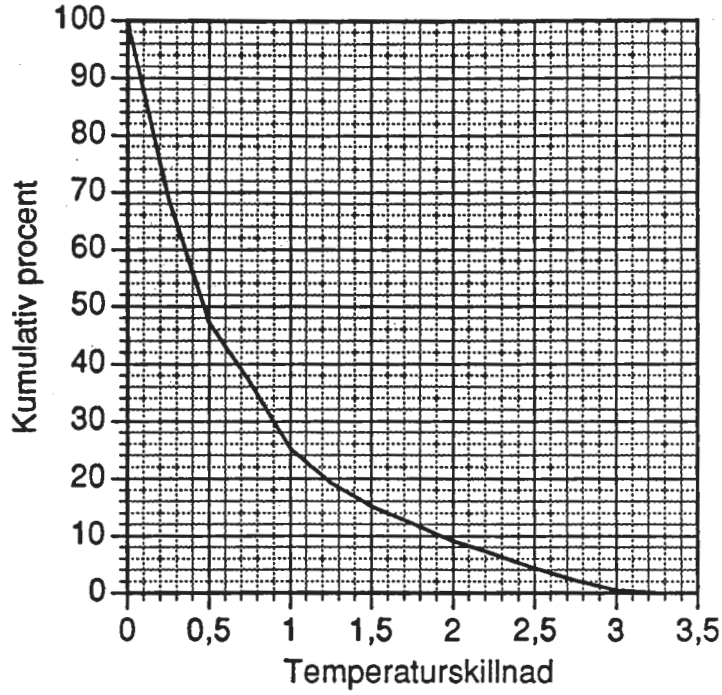
Figur 28: Kumulativ frekvensfördelning för temperaturskillnaden mellan yta (cirka 1.5 m) och 12 m djup vid station 126, SEPTEMBER - 1970, 1971 och 1992. OBS 1992 års data är överrepresenterad.



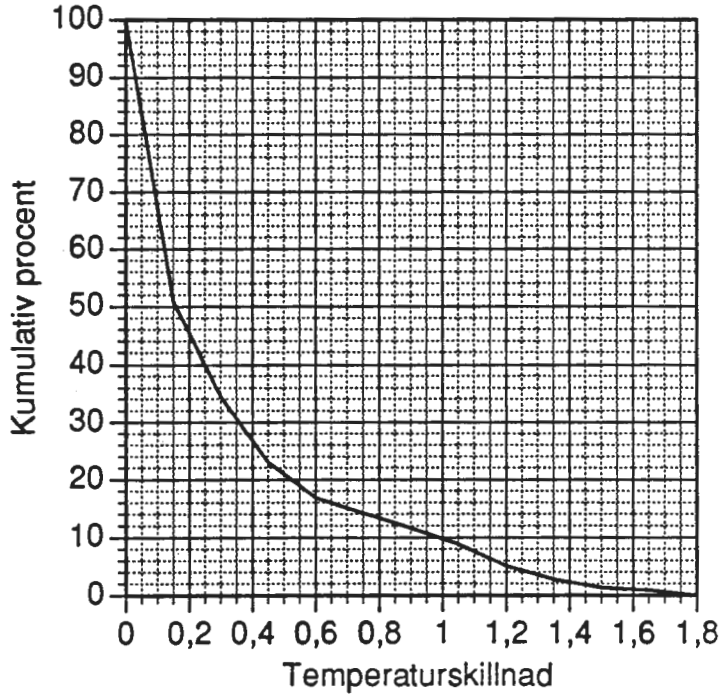
Figur 29: Kumulativ frekvensfördelning för temperaturskillnaden mellan yta (cirka 1.5 m) och 8 m djup vid station 126, JUNI - 1970, 1971 och 1992. OBS 1992 års data är överrepresenterad.



Figur 30: Kumulativ frekvensfördelning för temperaturskillnaden mellan yta (cirka 1.5 m) och 8 m djup vid station 126, JULI - 1970, 1971 och 1992. OBS 1992 års data är överrepresenterad.



Figur 31: Kumulativ frekvensfördelning för temperaturskillnaden mellan yta (cirka 1.5 m) och 8 m djup vid station 126, AUGUSTI - 1970, 1971 och 1992. OBS 1992 års data är överrepresenterad.



Figur 32: Kumulativ frekvensfördelning för temperaturskillnaden mellan yta (cirka 1.5 m) och 8 m djup vid station 126, SEPTEMBER - 1970, 1971 och 1992. OBS 1992 års data är överrepresenterad.

4.3 Hur mycket varierar vattentemperaturen över korta tidsskalor?

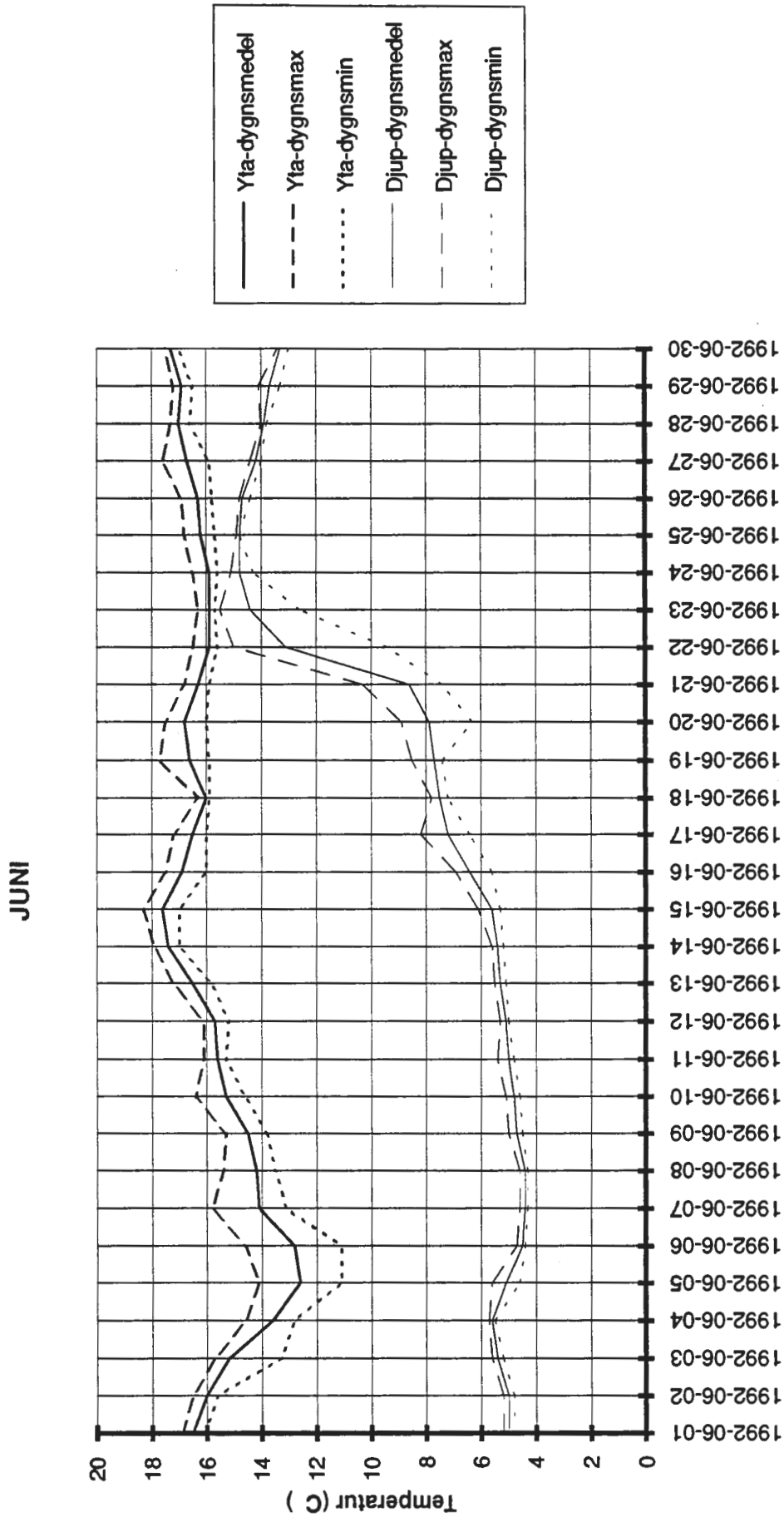
Liksom medelvärden av temperaturskillnaden mellan ytan och olika djup är av intresse, är även variationer kring dessa medelvärden av betydelse. Data från 1970 och 1971 har inte tillräckligt god tidsupplösning för att kunna användas. 1992 års data består dock av timvärden och därför får denna utgöra underlag för denna sektion. Tabell 6 visar månadsmedeltemperaturen för olika djup under sommaren 1992, dessutom visas även månadsmaximum, månadsminimum och standardavvikelsen. Spannet mellan maximum och minimum tenderar att minska vad sommaren lider och detta avspeglas i standardavvikelsen. Med undantag för september, är standardavvikelsen störst på djupet och minskar sedan ju närmare ytan mätningarna gjordes. Tabell 6 visar också var språngskiktet normalt låg under sommaren 1992.

Tabell 6: Månadsmedeltemperaturer, månadsmaxima, månadsminima samt standardavvikelser för olika djup, sommaren 1992.

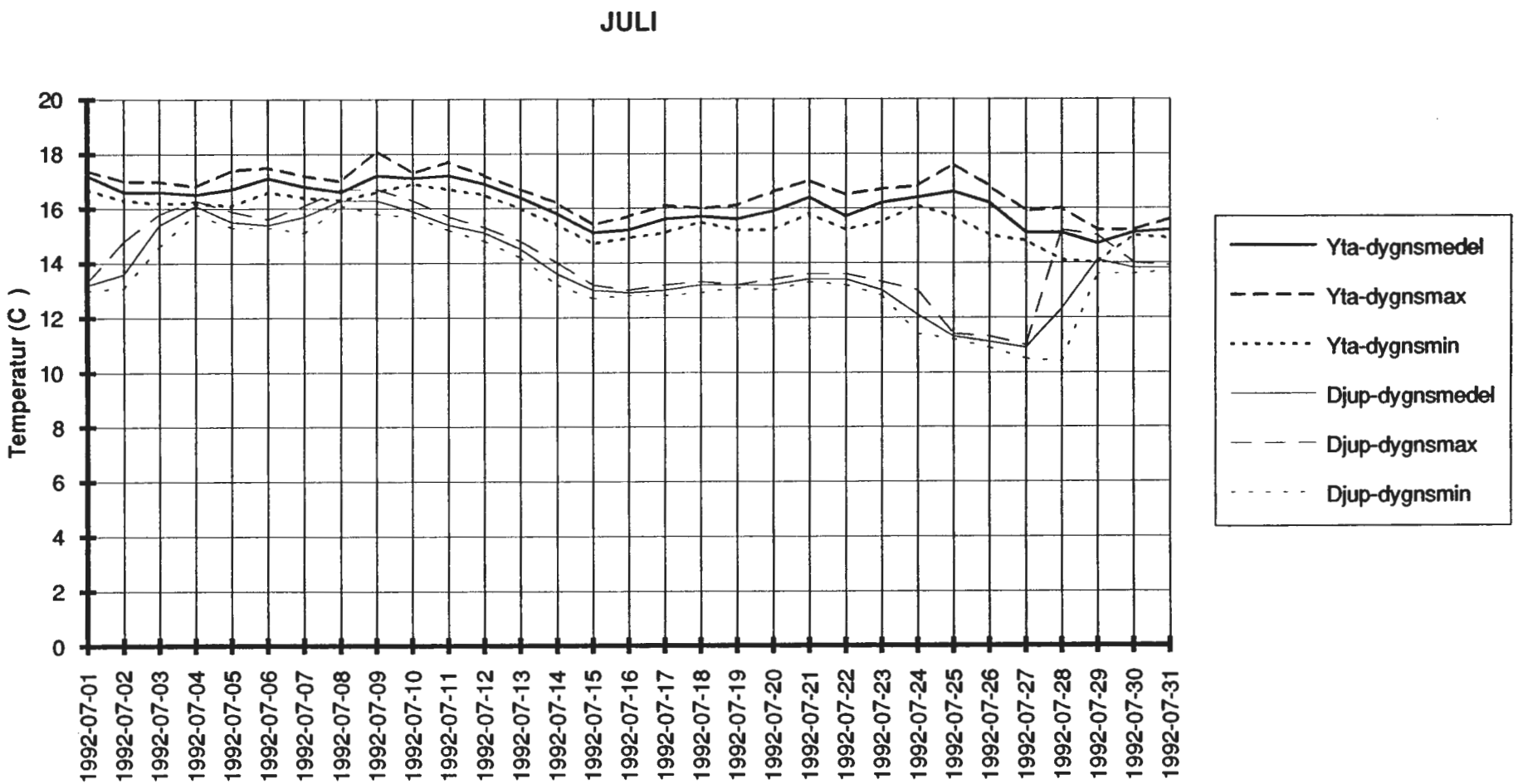
Djup (m):	15,5	14,1	12,8	11,5	10,1	8,8	7,3	6,1	4,7	3,4	1,4
JUNI											
Medel:	8,25	9,34	10,55	11,66	12,54	13,35	13,95	14,46	15,03	15,51	15,83
Max:	15,54	16,02	16,34	16,53	17,17	17,39	17,59	17,74	17,84	17,96	18,34
Min:	4,28	4,32	4,43	4,66	4,86	5,44	5,85	6,30	7,72	10,44	11,13
St. avvik:	4,01	4,29	4,55	4,26	3,90	3,64	3,43	3,07	2,24	1,60	1,37
JULI											
Medel:	14,32	14,50	14,72	14,94	15,16	15,47	15,79	16,15	16,44	16,57	16,68
Max:	16,66	16,73	16,78	16,88	16,90	17,12	17,39	17,47	17,57	17,62	18,11
Min:	10,37	10,51	10,62	10,67	10,95	11,37	11,83	12,30	13,17	14,05	14,05
St. avvik:	1,57	1,59	1,58	1,53	1,46	1,37	1,24	0,99	0,82	0,80	0,82
AUGUSTI											
Medel:	12,51	12,78	13,27	13,82	14,33	14,77	15,19	15,51	15,61	15,67	15,72
Max:	14,26	15,41	15,61	15,90	16,04	16,09	16,12	16,22	16,31	16,44	16,68
Min:	9,41	9,43	9,50	9,66	9,98	10,26	11,60	12,49	12,58	12,63	12,65
St. avvik:	1,29	1,37	1,53	1,61	1,54	1,38	1,09	0,80	0,77	0,78	0,79
SEPTEMBER											
Medel:	12,63	12,71	12,85	12,97	13,05	13,13	13,21	13,28	13,34	13,40	13,46
Max:	14,05	14,07	14,09	14,14	14,21	14,29	14,31	14,33	14,62	14,81	15,10
Min:	10,28	10,39	10,58	10,69	11,30	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32
St. avvik:	0,69	0,62	0,57	0,56	0,56	0,56	0,56	0,59	0,62	0,65	0,68

Under juni varierar språngskiktets läge för mycket och under september finns det i princip inte men under juli och augusti är standardavvikelsen mer eller mindre konstant ner till 6 m djup, och från 9 m ner till 16 m. Detta pekar på att det termiska språngskiktet normalt låg på 7 - 8 m djup, vilket stämmer ganska bra med figur 15 och med de tidigare undersökningar som gjorts i området, se sektion 2.1.

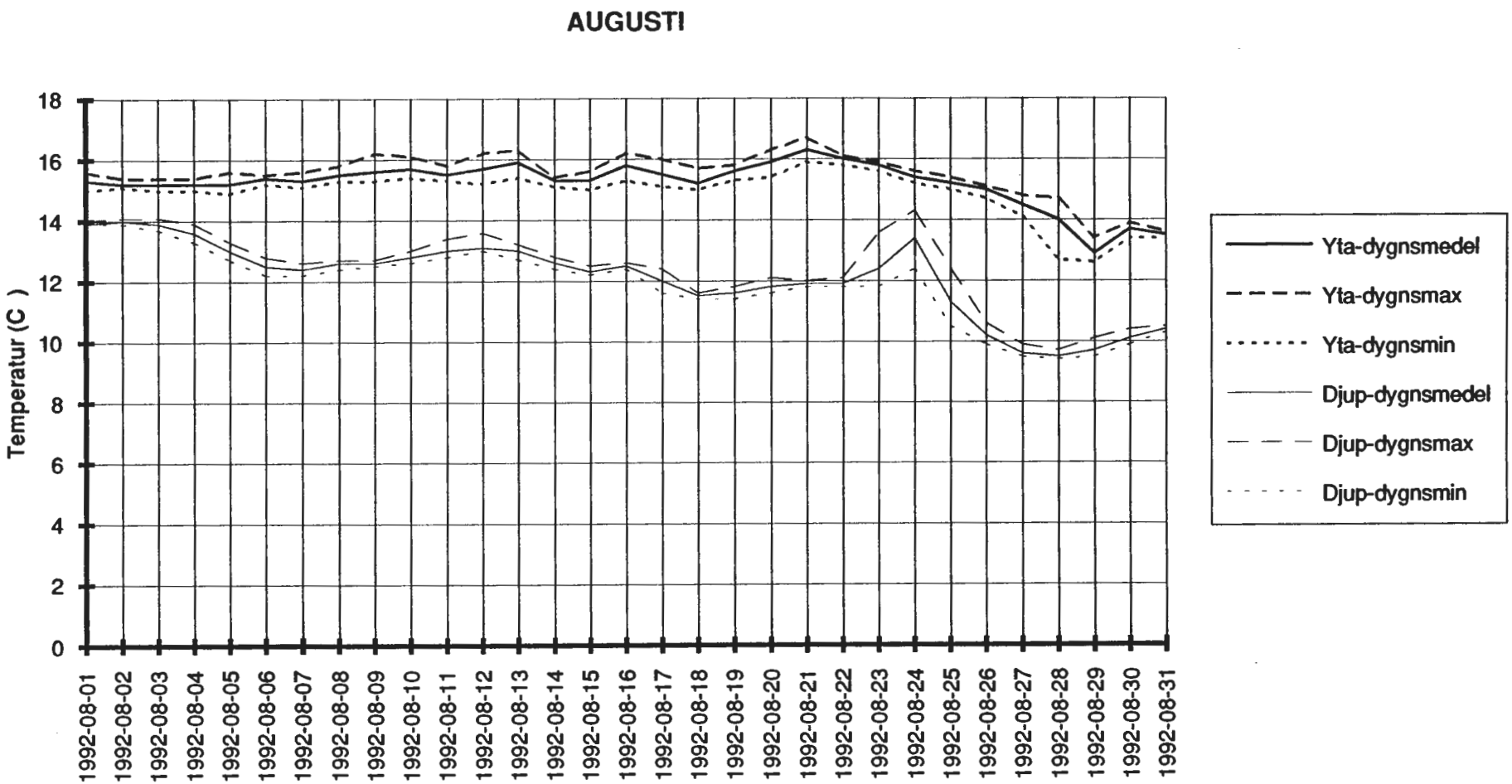
I figurerna 33 - 36 har 1992 års dygnsmedel, dygnsmaxima och dygnsminima för översta och understa mätnivån i vertikal 126, plottats månad för månad. Större delen av juni var skillnaden mellan yta och djup stor. Under juli förekom flera tillfällen då vattenkolumnen i princip var homogen. Även om detta inte skedde i augusti så kan det säkert inträffa. I september var vattnet sällan skiktat. Slutligen kan det därför sägas att i början på juni borde temperaturskillnaden mellan ytan och djupare skikt vara stor, i juli och augusti kan isotermi förekomma men normalt borde detta vara endast kortare perioder, och i september är vattnet normalt nästan homogent.



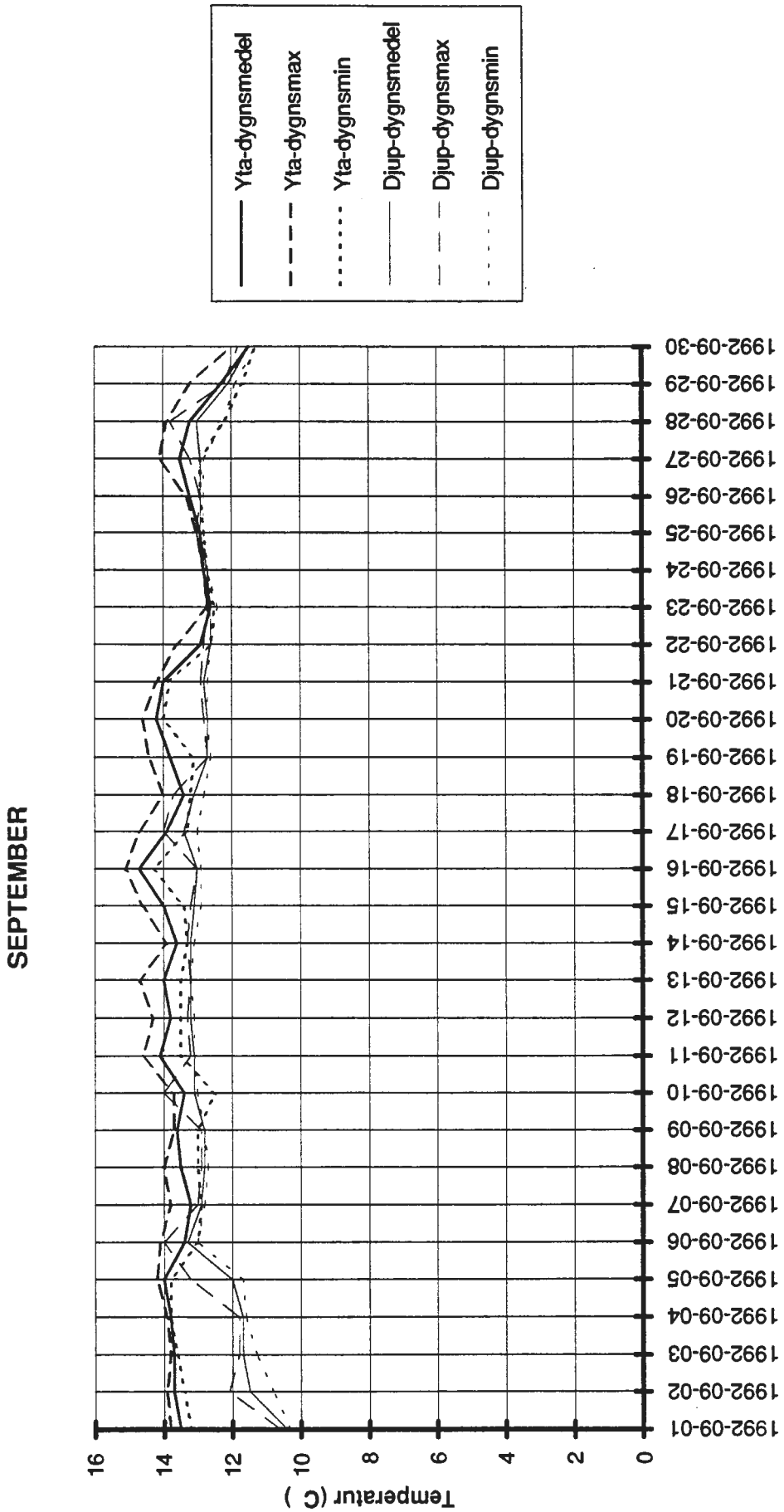
Figur 33: Vattentemperaturer vid station 126 1992, yta (cirka 1.5 m) och djup (cirka 16 m), juni.



Figur 34: Vattentemperaturer vid station 126 1992, yta (cirka 1.5 m) och djup (cirka 16 m), juli.



Figur 35: Vattentemperaturer vid station 126 1992, yta (cirka 1.5 m) och djup (cirka 16 m), augusti.



Figur 36: Vattentemperaturer vid station 126 1992, yta (cirka 1.5 m) och djup (cirka 16 m), september.

4.4 Hur förhåller sig yttemperaturen vid station 126 till intagstemperaturen på kraftverkets kylvatten?

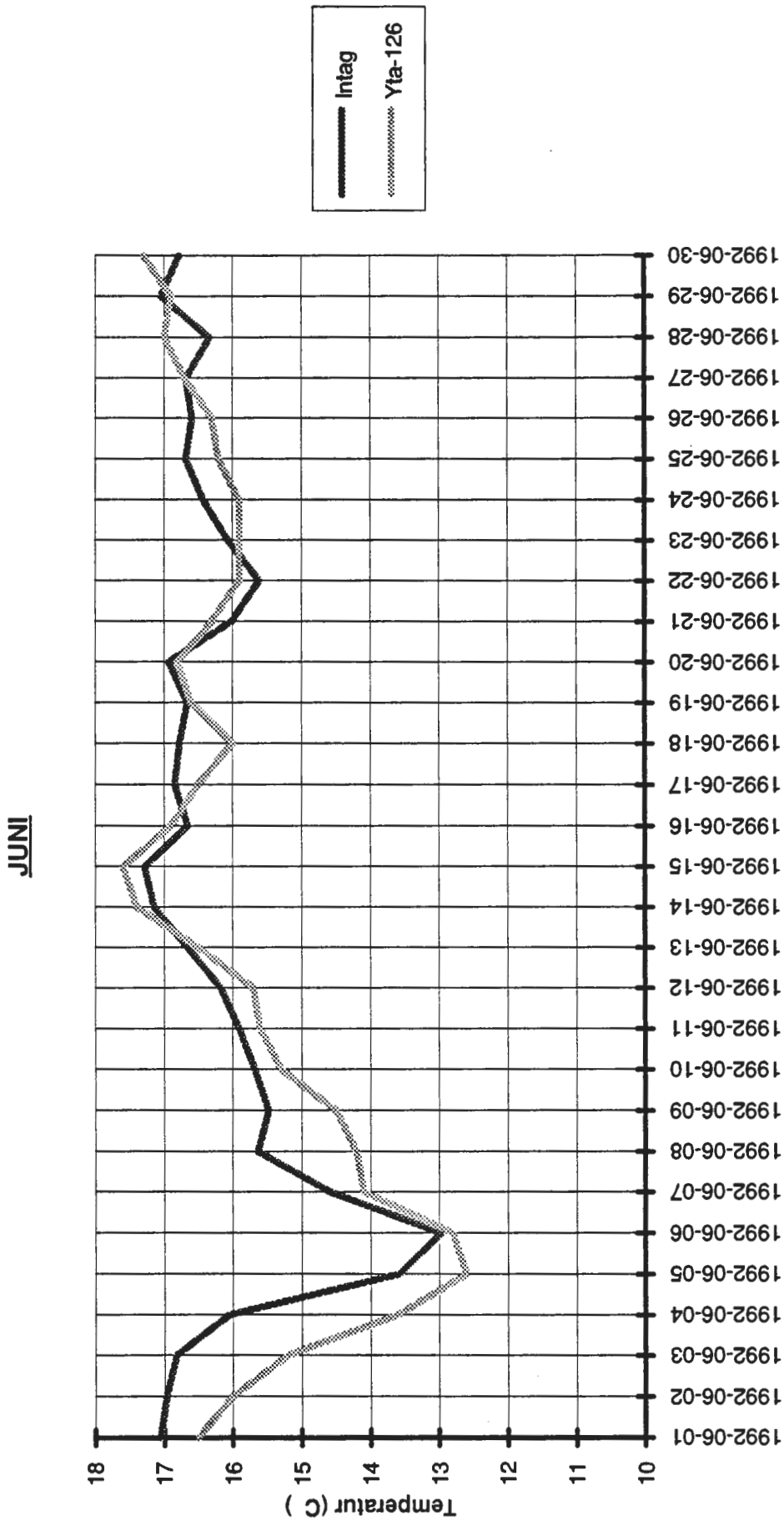
Eftersom kraftverket inte var byggt 1970 och 1971 finns bara 1992 års data att tillgå. Det finns dock inga skäl att tro att olika år skulle skilja sig från varandra i detta avseende. I tabell 7 syns att kylvattnets intagstemperatur skiljer sig från ytvattnets (cirka 1.5 m djup) temperatur i station 126, i mycket liten utsträckning.

Tabell 7: Månadsmedeltemperaturen (°C) under sommaren 1992 för kraftverkets kylvatten vid intaget och för ytvattnet (cirka 1.5 m djup) vid station 126.

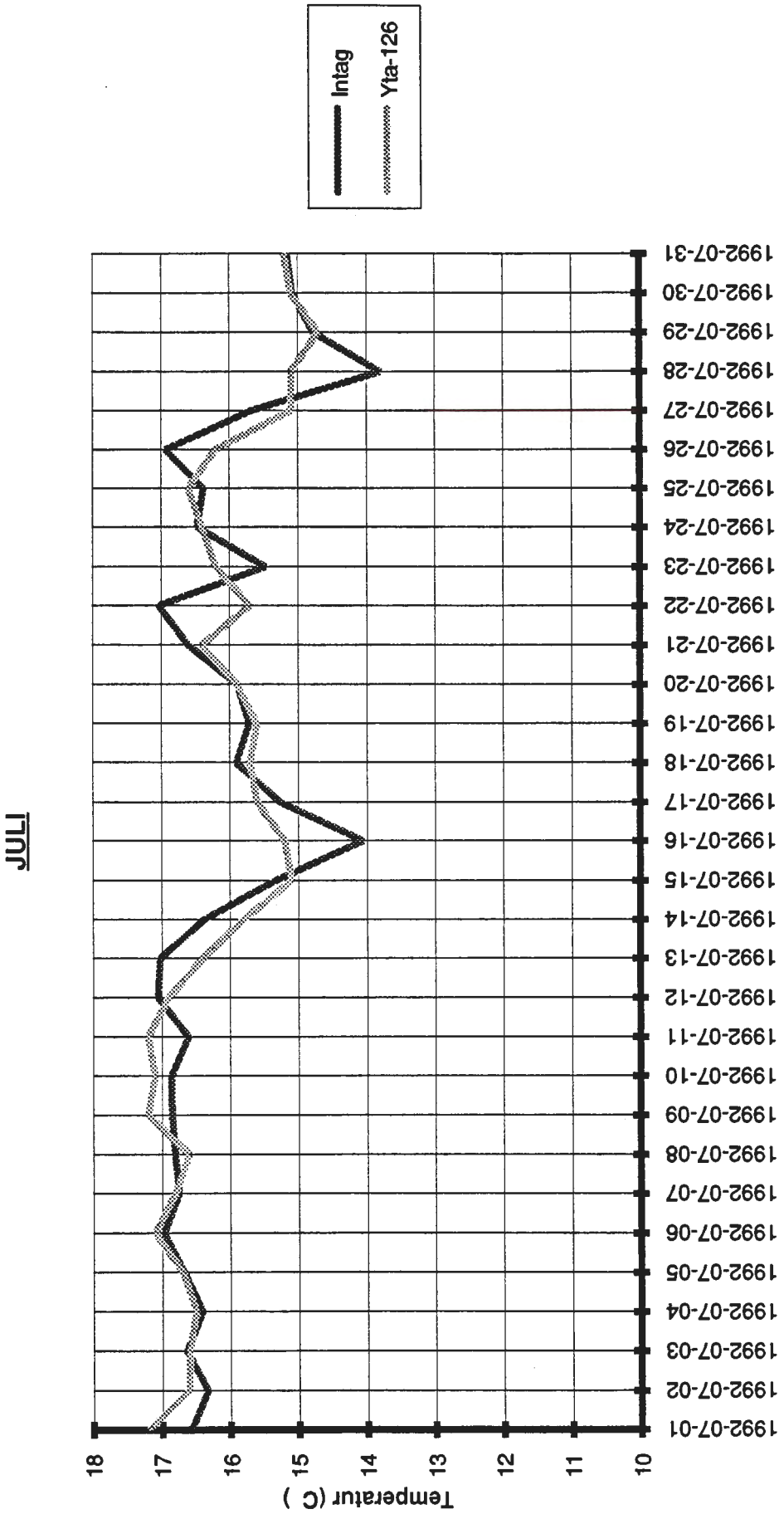
	Intag	126 - ytan
Juni	16.2	15.8
Juli	16.1	16.2
Augusti	15.1	15.2
September	13.2	13.6

I början på sommaren tycks temperaturen vid intaget vara högre än vid station 126, och mot slutet av sommaren är det tvärtom. Skillnaden är dock så liten att detta kan vara en tillfällighet. I figurerna 37 - 40 finns dygnsmedelvärdena för de två parametrarna plottade månad för månad. Differenserna mellan de två överstiger sällan en grad. Lägg märke till att temperaturskalan varierar från diagram till diagram. Följaktligen tycks det inte vara så att det kustnära vattnet utmed fastlandet är varmare än vattnet längre ut, vilket jämförelser mellan data från station 125 och 126 tycks peka på, se figurerna 12 - 14. Jämförs station 125 och 126 syns att temperaturen vid 125 är cirka en grad högre än vid 126, salthaltsmässigt finns ingen signifikant skillnad. Motsägelsen kan bero på att kraftverket idag "suger in" kallare ytvatten från yttre områden, men troligare är att kylvattenplymen från utsläppet vid biotestens norra udde (se figur 2) har höjt ytvattentemperaturen vid station 126.

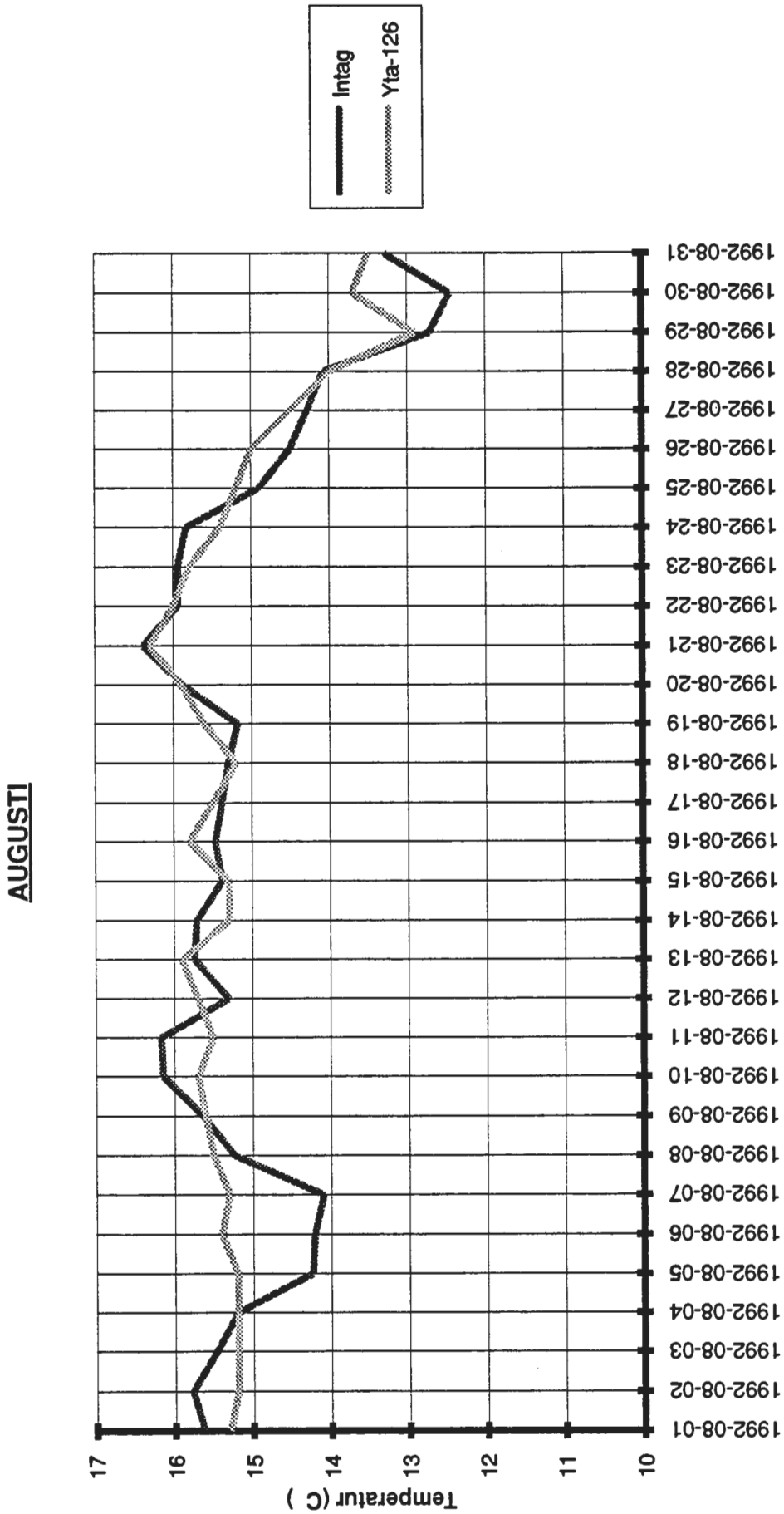
Likheten mellan temperaturen på de två platserna bekräftar också lämpligheten av att använda 1.5 m djup vid station 126 som uttryck för ytvattnets temperatur. Eftersom temperaturskillnaden mellan ytan och botten då blir ett direkt mått på hur mycket kallare kylvattnet kan bli genom att hämtas på djupet.



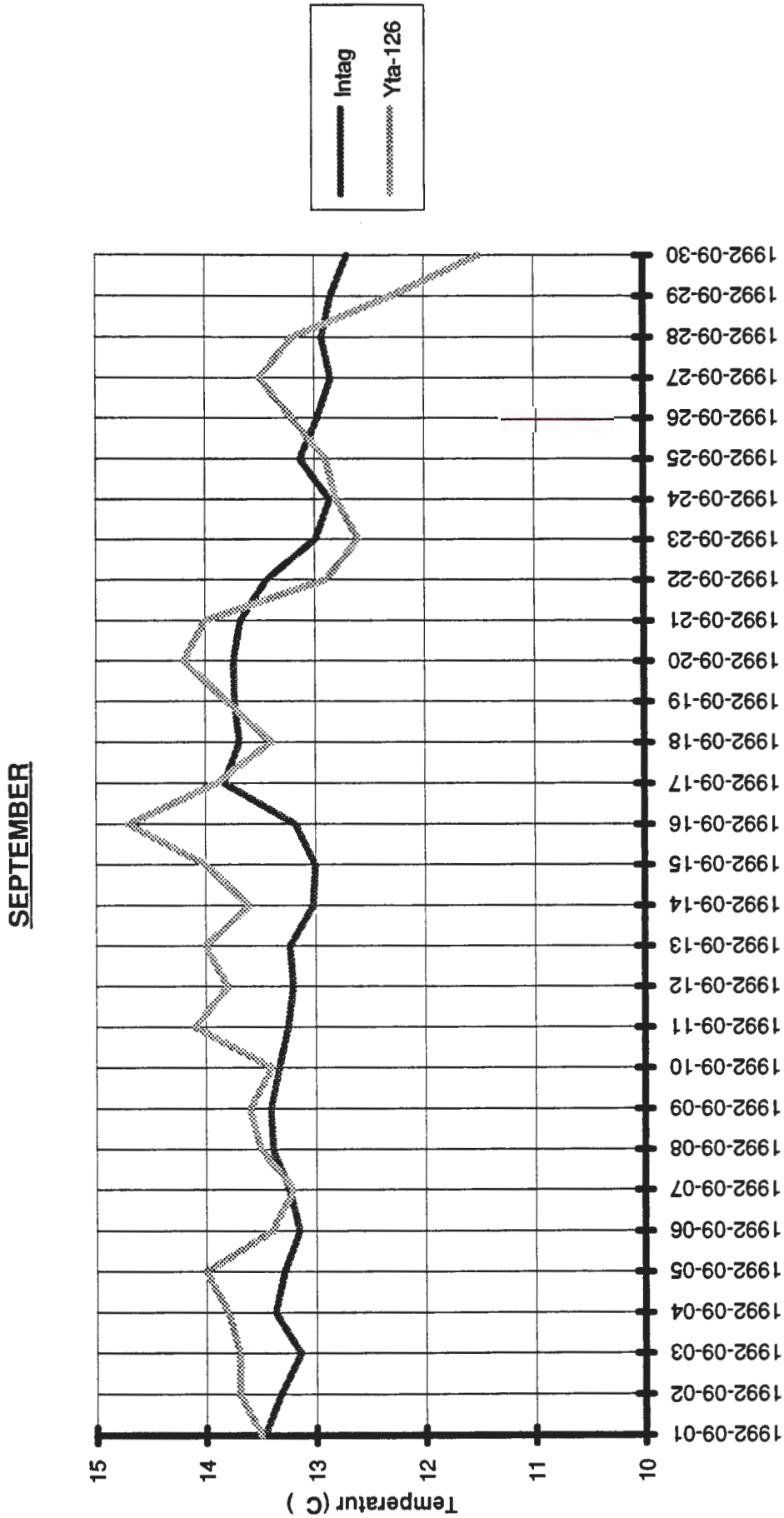
Figur 37: Dygnsmedeltemperatur, juni 1992, vid kylvattenintaget och vid ytan (cirka 1.5 m) i station 126.



Figur 38: Dygnsmedeltemperatur, juli 1992, vid kylvattenintaget och vid ytan (cirka 1.5 m) i station 126.



Figur 39: Dygnsmedeltemperatur, augusti 1992, vid kylvattenintaget och vid ytan (cirka 1.5 m) i station 126.



Figur 40: Dygnsmedeltemperatur, september 1992, vid kylvattenintaget och vid ytan (cirka 1.5 m) i station 126.

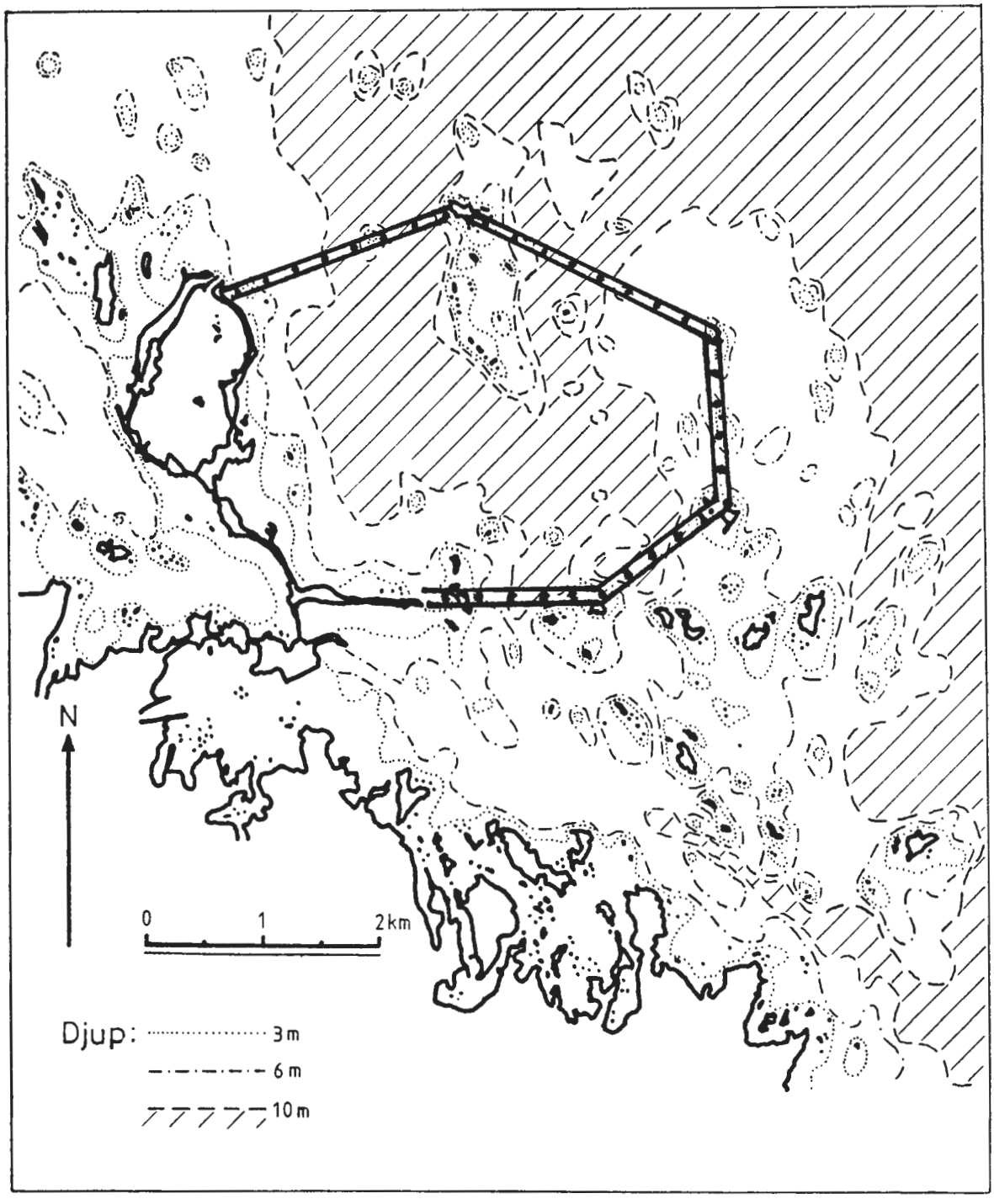
4.5 Vad styr temperaturdifferensen mellan ytan och större djup under sommaren?

Vertikal 126 ligger i en fjärd som kringgärdas av öar, grund och grynnor. Förbindelserna mellan fjärdens djupare delar och Öregrundsgrepen är begränsade till de två mindre sund som ligger på ömse sidor av Länsman, se figurerna 2 och 3. Tröskeldjupen i dessa sund är cirka 16 respektive 13 m. Om fjärden betraktas som ett slutet område, enligt figur 41, erhålls följande volymer för olika djupintervall:

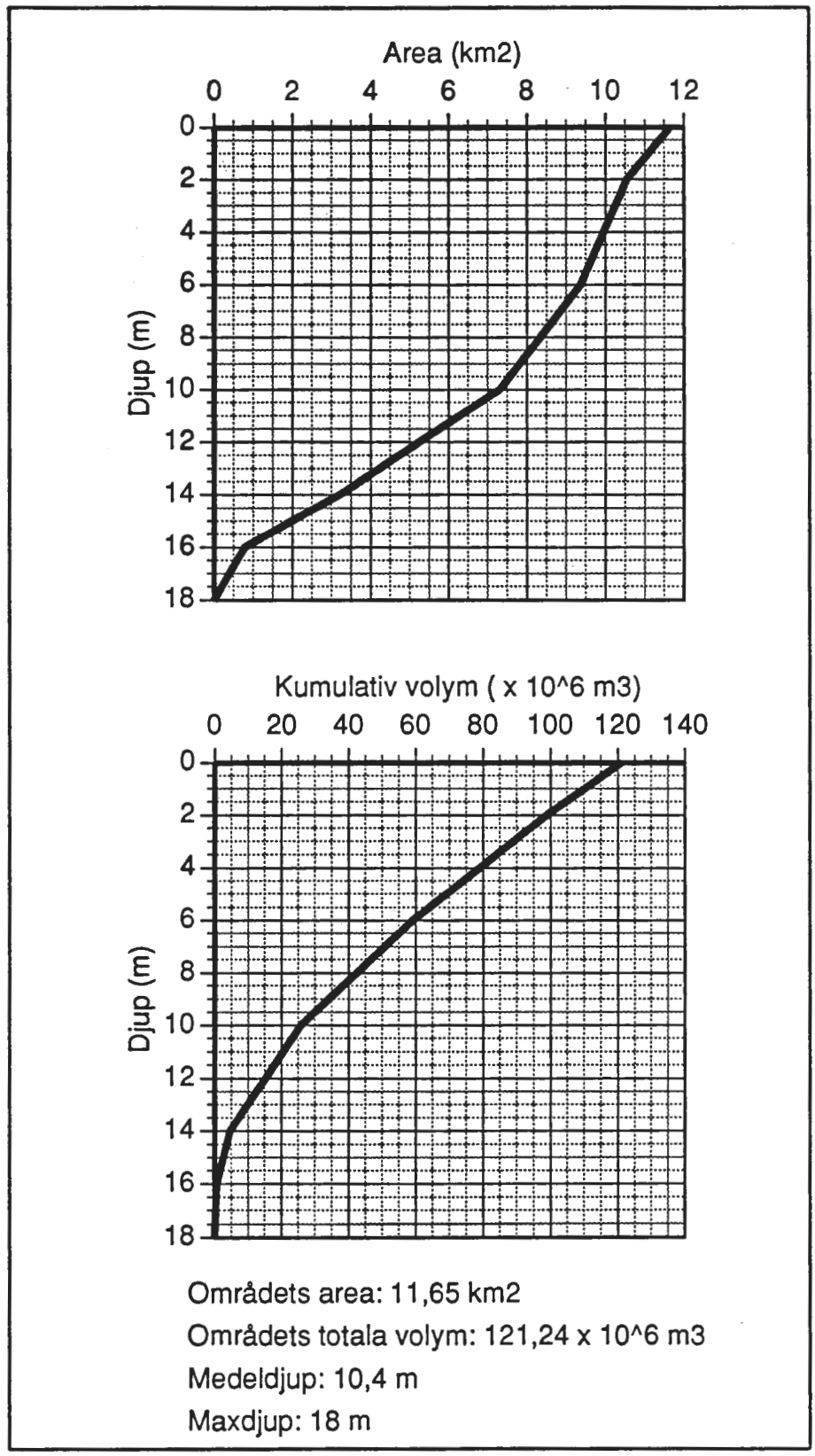
0 - 2 m	22.21 x 10^6 m^3
2 - 6 "	39.84 "
6 - 10 "	33.36 "
10 - 14 "	21.06 "
14 - 18 "	4.76 "

Lägg märke till att de tre understa djupintervallens medeltemperatur kan antagas vara lika med de som ligger till grund för temperaturdifferenserna mellan ytan och olika djup i sektion 4.1 och 4.2. De olika volymerna är hämtade ur hypsografen i figur 42. Vid full drift använder kraftverkets tre block cirka 0.5 · 10^6 m^3/tim, vilket innebär att det kallare djupvattnet skulle ta slut inom några dygn. Nu är dock inte områdets djupare delar isolerade, utan det har djupförbindelser med Öregrundsgrepen - sunden på vardera sidan om Stenlögorna.

Under miljökonsekvensundersökningarna innan kraftverket byggdes och vid handmätningar under 1992 visade det sig att vattnen omkring kraftverket under sommaren är likartade - temperatur, salinitet och språngskikt är ungefär desamma vid intaget, vertikal 126 och i Grepens centrala delar. I den mån det finns några skillnader så brukar temperaturen vara lite lägre ute i grepen än omkring station 126 och i direkt anslutning till kraftverket. Därför är det rimligt att anta att vattnet utanför sunden kring Länsman är detsamma som i fjärden i vilken station 126 ligger, ibland till och med lite kallare. Och följaktligen skulle det vatten som strömmar in i fjärden, som kompensation för ett eventuellt uttag av kylvatten vid botten, ha en temperatur som styrs av tröskeldjupet på 16 m. I sektion 4.1 räknades temperaturskillnaden mellan ytan och cirka 16 m ut för station 126. Men, eftersom kraftverkets kylvattenbehov är stort, sundet väster om Länsman är smalt , och eftersom kompensationströmmen skulle bestå av vatten från 16 m djup upp till kanske 12 m djup, vore det säkrast att räkna med ett kompensationsvatten med en medeltemperatur som är ett medeltal av temperaturen vid 16 och 12 m djup (i sektion 4.2 räknades temperaturskillnaden mellan ytan och 12 m ut för station 126).



Figur 41: Område för vilket area och volym beräknats för olika djupkurvor respektive djupintervall.



Figur 42: Area och volym (hypsograf) för olika djupkurvor respektive djupintervall inom området kring vertikal 126 (se figur 41).

Sedan är det så att vattnet på båda sidor om tröskeln ibland är nästan homogent i de översta 20 m, eller mer om bottendjupet tillåter. Under sommaren (juni - augusti) orsakas detta normalt av cirka 2 dygn med nordliga vindar av styrka 8 - 10 m/s. Dessa vindar för en ytvatten från Bottenhavet som pressar ner språngskiktet och blandas med vatten från djupare nivåer. Normalt är dessa perioder av isotermi 2 - 3 dagar långa. Men augusti 1971 är ett undantag eftersom höstens hårdare och blandande vindar inträdde tidigare än vanligt, se figur 13. Under dessa perioder av isotermi kan därför inte kallare djupvatten för kylning erhållas. Däremot höjer sydliga vindar språngskiktet och tillåter kallare vatten att stiga närmare ytan. Detta syns tydligt i figurerna 12, 13 och 15 samt i viss mån i figur 14. Sydvindarna är sällan särskilt kraftiga och det krävs därför 2 - 3 dagar sydlig vind för att höja språngskiktet och åstadkomma en markant sänkning av vattentemperaturen på 10 - 20 m djup. Andelen sydliga vindar (110° - 260°) ligger strax över 50 % för samtliga mätperioder (1970, 1971, 1992). Motsvarande andel för perioden 1971 - 1990 är 48 % och därför föreligger ingen avgörande skillnad mellan de tre mätperioderna och långtidsmedelvärdet. Dessutom förstärks, och i viss mån fördjupas, språngskiktet under perioder med mycket svaga vindar. Detta höjer temperaturskillnaden. Svaga vindförhållanden råder cirka 15 % av sommaren.

Avslutningsvis kan därför sägas att under sommaren styrs temperatur-diffe-rensen mellan ytvatten och vatten på större djup huvudsakligen av vindens riktning, styrka och varaktighet. I viss mån är även tröskeldjupet väster om Länsman en påverkande faktor. De små volymer vatten som finns tillgängliga på djup större än 16 m, samt att fjärdens tröskeldjup också är 16 m, gör att det är lämpligt att använda temperaturen på detta djup vid beräkningar av hur mycket kallare kylvattnet kan bli om det hämtas ur djupvattnet vid station 126 (motsvarigheten för ytan är som nämnts 1.5 m djup).

4.6 Vilken densitet har vattnet och vad karaktäriserar språngskiktet?

Mätningarna av vattentemperatur med automatiskt registrerande instrument sommaren 1992 åtföljdes inte av salthaltsmätningar och därför används i denna sektion endast data från 1970 och 1971. I tabell 8 redovisas temperatur- och saltmånadsmedelvärden för olika djup, samt de densiteter dessa motsvarar.

Tabell 8: Månadsmedelvärden för station 126 1970 och 1971. Delta = differens mellan översta och understa mätdjupet. Värden för juni 1970 är ej rättvisande på grund av ofullständig data.

1970 - TEMPERATUR (C)

djup (m)	juni	juli	aug.	sept.
0,5	11,7	9,4	15,1	12,8
1,0	11,6	9,3	15,1	12,8
2,5	10,5	9,1	15,0	12,8
5,0	8,8	8,6	14,8	12,7
7,5	7,0	7,9	14,3	12,7
10,0	6,0	6,7	13,6	12,7
12,0	5,1	6,4	12,9	12,6
15,0	4,2	5,9	11,9	12,5
16,0	3,6	5,8	11,0	12,5
Delta=	8,1	3,6	4,1	0,3

1971 - TEMPERATUR (C)

djup (m)	juni	juli	aug.	sept.
0,5	11,7	15,6	15,9	12,7
1,0	11,4	15,6	15,8	12,7
2,5	11,2	15,4	15,7	12,7
5,0	10,6	15,2	15,3	12,6
7,5	9,5	14,7	15,0	12,6
10,0	8,5	14,2	14,6	12,6
14,0	7,9	13,1	14,5	12,6
15,0	7,7	12,6	14,4	12,6
17,0	7,2	11,6	14,4	12,5
Delta=	4,5	4,0	1,5	0,2

1970 - SALINITET (PSU)

djup (m)	juni	juli	aug.	sept.
0,5	3,89	5,19	5,01	5,08
1,0	3,95	5,27	5,10	5,15
2,5	3,97	5,27	5,10	5,15
5,0	4,04	5,29	5,10	5,15
7,5	4,24	5,31	5,11	5,15
10,0	4,40	5,35	5,13	5,15
12,0				
15,0	4,64	5,38	5,20	5,16
16,0		5,42	5,28	5,16
Delta=	0,75	0,23	0,28	0,08

1971 - SALINITET (PSU)

djup (m)	juni	juli	aug.	sept.
0,5	4,97	5,08	5,18	5,24
1,0	5,05	5,16	5,27	5,33
2,5	5,05	5,16	5,27	5,33
5,0	5,06	5,16	5,27	5,33
7,5	5,09	5,18	5,28	5,33
10,0	5,12	5,18	5,29	5,33
14,0	5,15	5,22	5,30	5,33
15,0	5,16	5,23	5,31	5,33
17,0	5,17	5,25	5,31	5,33
Delta=	0,20	0,17	0,13	0,09

1970 - DENSITET (kg/m3)

djup (m)	juni	juli	aug.	sept.
0,5	1002,5	1003,8	1002,9	1003,3
1,0	1002,6	1003,9	1003,0	1003,4
2,5	1002,7	1003,9	1003,0	1003,4
5,0	1002,9	1003,9	1003,1	1003,4
7,5	1003,2	1004,0	1003,1	1003,4
10,0	1003,4	1004,1	1003,3	1003,4
12,0				
15,0	1003,7	1004,1	1003,5	1003,4
16,0		1004,2	1003,8	1003,4
Delta=	1,2	0,4	0,8	0,1

1971 - DENSITET (kg/m3)

djup (m)	juni	juli	aug.	sept.
0,5	1003,4	1002,9	1003,0	1003,5
1,0	1003,4	1003,0	1003,0	1003,5
2,5	1003,5	1003,0	1003,0	1003,5
5,0	1003,6	1003,0	1003,1	1003,5
7,5	1003,7	1003,1	1003,2	1003,6
10,0	1003,8	1003,2	1003,2	1003,6
14,0	1003,9	1003,4	1003,3	1003,6
15,0	1003,9	1003,5	1003,3	1003,6
17,0	1004,0	1003,6	1003,3	1003,6
Delta=	0,6	0,7	0,1	0,1

Dessutom har skillnaden mellan medelvärden för översta och understa mätdjupet räknats ut. Densiteten varierar mycket lite. Även om uppmätta extremvärden medräknas är det osannolikt att ytvattnets densitet skulle falla utanför 1001 - 1004 kg/m^3, och djupvattnets utanför 1002.5 - 1004.5 kg/m^3. Om kylvatten tags från bottenvattnet och värms upp med 10 ° blir det alltid lättare än ytvattnet. Först på nivån 5 ° övertemperatur börjar densiteterna för yt- och uppvärmt bottenvatten närma sig varandra. Risken för att uppvärmt ytvatten ska sjunka under ytan direkt efter utsläpp är därför utesluten. Däremot kan det inte uteslutas att det saltare djupvattnet, när det svalnat till några få graders övertemperatur, recirkuleras i någon mån.

Densiteterna har framräknats enligt IES 80, hämtad ur UNESCO (1981). Vid behov kan ekvationen erhållas från SMHI.

I Öregrundsgrepen brukar språngskiktet under sommaren ligga på mellan 5 och 20 m djup. Detta innebär att språngskiktet ibland ligger under de maximala djupen i området kring vertikal 126. Detta bekräftas också i figurerna 12, 13 och 15. Men då vattnet är skiktat ligger det oftast på 7 - 8 m, se sektion 4.3, och är < 1 kg/m^3/m starkt. Beräkningar av hur stor potentiell energi som i genomsnitt är bunden i vattnets skiktning under sommaren visar att det skulle gå åt cirka 200 kNm/m^2 att blanda vattnet helt (i vertikal 126). Sommaren 1971, som var normalvarm, gav lite lägre energivärden än sommaren 1970, som var kallare än normalt. Om detta är signifikant går dock inte att säga.

4.7 Vilka oceanografiska aspekter bör ägnas speciell uppmärk-samhet i det fortsatta arbetet med att sänka kylvattnets in-tagstemperatur?

Denna sektion är ägnad åt att peka på områden inom vilka denna utrednings slutsatser och antaganden är svaga, samt att varna för vissa hydrodynamiska fenomen. Det mesta, om inte allt, är kanske onödigt att nämna men för säkerhets och kanske för en lekmans skull inkluderas det ändå.

Det är rimligt att anta att station 126 är representativ för hela fjärden (motsvaras i princip av området som är inringat i figur 41) i vilken den ligger och inga uppgifter har hittats som tyder på motsatsen, men lokala variationer kan förekomma. Speciellt områdets nordvästra del kan uppvisa skillnader vid ytan med tanke på hur nära kylvattenutsläppet ligger.

I sektion 4.1 och 4.2 har ett antal kumulativa frekvensdiagram producerats. Eftersom de huvudsakligen är baserade på 1992 års data bör inte alltför långa växlar dras på deras tillförlitlighet. Detsamma gäller vattentemperaturens variation över korta tidsskalor (sektion 4.3), och relationen mellan ytvattnet i station 126 och kylvattnets intagstemperatur (sektion 4.4).

Selective withdrawal är process som medför att vatten som sugs in i ett rör inte bara kommer från området i rörets direkta förlängning, utan även från nivåer över och under rörets, samt från områden på rörets sidor. Ungefär som en dammsugare nappar åt sig partiklar långt vid sidan om dess munstyckes öppning. Graden av selective withdrawal kan på olika sätt anpassas till olika situationer och behov. I sektion 4.5 är selective withdrawal att tänka på i två fall. Om ett kylvattenintag placeras i området kring station 126 måste det först utformas så att endast djupvatten sugs in. Det kompensationsflöde som då uppstår genom sundet västerom Länsman måste också anpassas, så att djupast och kallast möjliga vatten sugs in. Det djupintervall från vilket detta kompensationsvatten tas har uppskattats till 12 - 16 m djup, men dessa siffror bör valideras. En lösning av detta slag bör överhuvudtaget granskas och kalibreras med hjälp av numeriska modellsimuleringar.

Ett annat område som bör granskas närmare om kylvattnet tas på djupet, är vad som händer efter att det släppts ut med förhöjd temperatur. På grund av dess högre salthalt kan det med bibehållen övertemperatur på flera grader sjunka till sådana djup att det eventuellt recirkuleras (sektion 4.6).
Vid eventuell blandning av yt- och bottenvatten i området kring vertikal 126, för vidare befordran in till kraftverket på något vis, uppstår ett bouyancy flöde. Ett dylikt flöde innebär att omrörningen skapar en homogen vattenmassa som är tyngre än ytvattnet omkring, men lättare än bottenvattnet omkring. Vattnet kommer i obalans och försöker återuppnå jämvikt genom att yt- och bottenvatten strömmar in emot det homogena området, medan homogent vatten strömmar ut ur området på mellannivå.

5. SAMMANFATTNING

Om inget annat nämns refererar alla uppgifter i detta kapitel till station 126 som antas vara representativ för hela fjärden däromkring. Begreppen yta och botten, i samband med referenser till temperaturskillnader, är egentligen baserade på mätningar vid 1.5 respektive 16 m djup, men de ger realistiska mått på hur mycket kallare kylvattnet normalt kommer att vara om det hämtas ur djupvattnet vid station 126.

Temperaturskillnaden mellan ytan och botten under sommaren (andra hälften av juni till och med augusti) ligger normalt kring 3 °C. Under våren är differensen betydligt större och från och med september då hösten normalt inträtt råder nästan isotermi. Temperaturskillnaden för ytan - 12 m och ytan - 8 m djup är under sommaren normalt cirka 2 respektive 1 °C. För närmare detaljer om fördelningen av temperaturskillnaderna mellan ytan och olika djup har kumulativa frekvensdiagram framtagits.

Temperaturdifferensen styrs under sommaren av vindens riktning, styrka och varaktighet. I viss mån spelar också tröskeldjupet till fjärden en roll. Starkare nordliga vindar under cirka två dygn leder till perioder med små temperatur-skillnader, dessa varar normalt 2 - 3 dygn. Sydliga vindar av måttlig styrka under 2 - 3 dygn eller mer leder till kraftiga temperaturdifferenser. Perioder med mycket svaga vindar leder till en höjning av temperaturskillnaden. Sydliga vindar förekommer cirka 50 % av sommaren, mycket svaga vindar cirka 15 %.

I sektion 4.7 finns en välmenad lekmanslista på aspekter som bör ägnas speciell uppmärksamhet i det fortsatta arbetet med att sänka kylvattnets intagstemperatur under sommaren.

REFERENSER

1971-07-21
Preliminärt yttrande angående de oceanografiska förhållandena i Öregrunds-grepen och inverkan på dessa av en vid Forsmark planerad kärnkraftstation, mål AD77/70, Ä103/1970.

1974-03-07
Komplettering av preliminärt yttrande angående de oceanografiska förhållan-dena i Öregrundsgrepen och inverkan på dessa av en vid Forsmark planerad kärnkraftsstation, mål AD77/70, Ä103/1970.

1975-04-04
Rapport angående de oceanografiska förhållandena i Öregrundsgrepen 1972.

1976-05-31
Forsmarks kraftstation - oceanografiska undersökningar 1973 - 1974.

1977-04-25
Forsmarks kraftstation - oceanografiska undersökningar 1975 - 1976 samt vattentemperatur 1970 - 1976.

1977-09-02
Strömmar i Öregrundsgrepen - en sammanfattning av 1970 - 76 års mätningar.

1979-12-09
Forsmarks kraftstation - oceanografiska undersökningar 1977 - 1978.

1982-09-09
SMHIs undersökningar i Öregrundsgrepen 1979 - 1981.

1985-01-15
SMHIs undersökningar i Öregrundsgrepen perioden 1982 - 1983.

1986-04-22
SMHIs undersökningar i Öregrundsgrepen perioden 1984 - 1985.
SMHI OCEANOGRAFI nr 4, 1986.

1987-04-28
SMHIs undersökningar i Öregrundsgrepen 1986.
SMHI OCEANOGRAFI nr 13, 1987.

1988-04-29
SMHIs undersökningar i Öregrundsgrepen 1987.
SMHI OCEANOGRAFI nr 24, 1988.

1989-04-27
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1988.
SMHI OCEANOGRAFI nr 29, 1989.

1990-01-18
SMHIs bedömning av kylvattenutbredning från Forsmarksverket via reservutskovet.

1990-05-31
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1989.
SMHI OCEANOGRAFI nr 37, 1990.

1991-04-26
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1990.
SMHI OCEANOGRAFI nr 46, 1991.

SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1991.
SMHI OCEANOGRAFI nr 50, 1992.

Temperaturförhållanden i svenska kustvatten. Vasseur, B. 1975.
SMHI Hydrologi och Oceanografi RHO 3.

Oceanografiska förhållanden i svenska kustvatten. Wändahl, T. & Bergstrand, E. (SMHI).
Civildepartementet, Förarbeten för fysisk riksplanering, underlagsmaterial nr 18.

20 års mätningar längs svenska kusten med kustbevakningens fartyg (1970-90). Juhlin, B. SMHI Oceanografi nr 54, 1992

Ninth Report of the joint Panel on Oceanographic Tables and Standards (1981), UNESCO Technical Papers in Marine Science, No. 36, p 24.

Studsvik rapport 1983. Referensutsläpp för Forsmarksverket: Version 2. - Studsvik/NW-83/573.

Water exchange and dispersion modelling in coastal regions: A method study. Gidhagen, L & Rahm L (1990) VATTEN 46: 7 - 17.