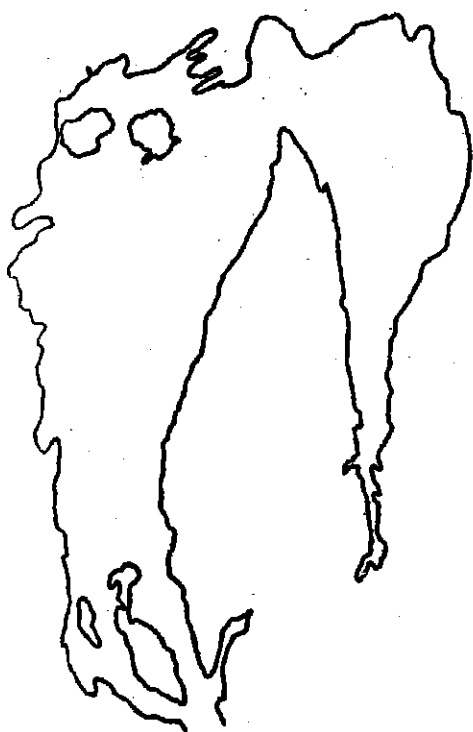




**Spridningsförsök med spårämnen
i Oslofjorden.
(Tracer studies in the Oslofjord.)**

av

Tore Bexér

Thomas Böhm

Jan Embro

Anders Eugensen

SPRIDNINGSFÖRSÖK MED SPÄRÄMNER
I OSLOFJORDEN

(TRACER STUDIES IN THE OSLO FJORD)
1977:1

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid
1. INLEDNING	
1.1 Förord	1
1.2 PM för examensarbetet	2-3
2. ALLMÄNT	
2.1 Oslofjorden-Vestfjorden	4-6
2.2 Föroreningssituationen	7
2.3 Projektet Sentralrenseanlegg Vest	7-8
2.4 Alternativa utsläppsplatser	8-9
2.5 Målsättning med mätningarna	9
3. AVLOPPSVATTNETS SPRIDNING	
3.1 Initialutspädning och inlagring	10-11
3.2 Borttransport och fortsatt utspädning	11-14
4. SPÅRÄMNE	
4.1 Allmänt	15
4.2 Inverkan av yttre faktorer	15-16
5. SIMULERING AV AVLOPPSUTSLÄPP	
5.1 Allmänt	17
5.2 Metodval	18-20
5.3 Doseringsutrustning	20-21
5.4 Mätutrustning	22
5.5 Mätmetodik	23-24
6. PRESENTATION AV MÄTDATA	25-26

	Sid
7.	UTVÄRDERING AV YTFÖRSÖK
7.1	Kommentarer till de enskilda mätningarna 27-28
7.2	Tolkning av de utförda försöken 29-31
7.3	Beräkning av diffusionskoefficienterna 31-32
8.	UTVÄRDERING AV DJUPFÖRSÖK
8.1	Allmänt 33-34
8.2	Utvärdering av djupförsöket 35
8.3	Tolkning av djupförsöket 36-37
9.	FORTSATTA MÄTNINGAR 38
10.	REFERENSER 39-40

BILAGOR

1. INLEDNING

1.1 Förord

Vestfjorden Avløpsselskap (VEAS) är en sammanslutning av kommunerna Oslo, Baerum och Asker. År 1977 påbörjade VEAS byggandet av ett interkommunalt reningsverk, vilket beräknas kunna tas i bruk år 1981.

I samband med val av utsläppsplats utlystes vid CTH ett examensarbete, vars huvudsyfte var att studera spridningen av avloppsvattnet i fjorden.

Handledare för examensarbetet och ansvarig för spårämnesförsöken har varit civilingenjör C-G Göransson (VBB, CTH). Recipientundersökningens huvuddel har utförts i samarbete mellan Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) och Arbeidsfelleskapet Samfunnsteknikk VBB/Grøner.

Göteborg 1978-01-23

Tore Bexér Thomas Böhm Jan Embro Anders Eugensson

1.2 PM för examensarbetet

Program för examensarbete avseende:

Studier av naturliga spridningsbetingelser för avloppsutsläpp i Oslofjorden med spårämnesteknik.

Föreliggande examensarbete ingår som en del i en större undersökning som utförs i samarbete med Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) och Arbeidsfelleskapet Samfunnsteknikk/Grøner (AF). Avsikten med undersökningen är att ge underlag för en värdering och slutligt val av utsläppsplats för ett interkommunalt reningsverk, Sentralrenseanlegg Vest. Verket kommer att betjäna västra delen av Osloregionen med en folkmängd på ca 300 000. Målsättning, mätprogram, organisation etc. framgår av program utarbetat av AF/NIVA,

Avloppsvattnet inlagras under sommarhalvåret under sprängskiktet, dvs på djup större än 20 m. Vid enstaka tillfällen under vinterhalvåret är dock fjordvattnet praktiskt taget densitetshomogent. Avloppsvattnet kan då tränga upp till ytan under initialutspädningsskedet. Eventuellt förekommande flytslam i det renade avloppsvattnet stiger också oavsett skiktningförhållanden upp till ytan.

Målsättningen med examensarbetet är att studera de naturliga spridningsbetingelserna för avloppsutsläppet. Detta utförs genom spårämnesförsök såväl i ytan som under sprängskiktet.

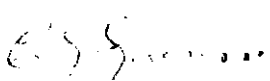
Försöken i ytan utförs som momentana doseringar genom injicering av spårämnet inom en yta på några hundra kvadratmeter. Försöken utförs i ett par punkter med något eller några försök per punkt och vanligen med en varaktighet av en dag. Ett avslutande försök med längre varaktighet bör dock utföras. Registreringen av spårämnets horisontella utbredning sker kontinuerligt med ett fluorescensmätande instrument, en s.k. fluorometer, placerad i institutionens mätbåt, Albin 25, vilken körs efter ett visst successivt avpassat inmätningssystem. Spårämnets vertikala fördelning mäts i ett antal punkter i direkt anslutning till den kontinuerliga inmätningen.

Djupförsöken utförs i endast en punkt genom kontinuerlig dosering från en uppanktrad båt. Från denna pumpas ytvatten blandat med spårämne ner på ca 30 m djup där en primärutspädning sker genom stråldiffusion. För intrimning av mätmetodik utförs först en dosering under några få timmar. Med stöd av dessa erfarenheter startar därefter det egentliga djupförsöket med kontinuerlig dosering under ca 5 dygn. Kontinuerlig registrering av spårämnesutbredningen genom att bogsera en paravan med vidsyttande insugningsmunstycke på inlagringsdjupet torde endast kunna användas i mycket begränsad omfattning. Inmätningen torde därför i huvudsak få baseras på registrering av spårämnets vertikala fördelning i ett så stort antal punkter som är praktiskt möjligt per mättag. Försöket pågår ca 2 veckor inom examensarbetets ram och drivs därefter vidare i AF/NIVA:s regi.

Recipientens skiktning och yttre påverkade faktorer som vattenståndsvariationer (främst tidvatten), vind och vågor används som basdata för tolkning av mätresultaten. Dagliga observationer av dessa parametrar erfordras och fås genom egna mätningar resp. genom insamling av data från befintliga mätstationer.

Bearbetning och utvärdering av mätresultaten förutsätts ske i direkt anslutning till fältmätningsperioden.

Göteborg 1977-06-06


C-G Göransson

2. ALLMÄNT

2.1 Oslofjorden-Vestfjorden

Vestfjorden är den del av Oslofjorden som berörs av den aktuella recipientundersökningen. Fjorden avgränsas i syd av Dröbaktröskeln, i öst av Bunnefjorden och i övrigt av land. Denna del av Oslofjorden står i förbindelse med havet (Skagerack) endast via yttre Oslofjorden. Den trängsta passagen är ovannämnda tröskel, där vattendjupet är ca 19 m och bredden ca 400 m. Vestfjorden har på 20 m djup en area på 100 km². Fjordens djupförhållanden framgår av batygrafiska kartan, figur 2.1.

Vattnet i Vestfjorden kan under sommarperioden indelas i tre skikt: ett ytskikt ner till 10-20 m, ett mellanskikt ner till ca 50 m och ett bottenskikt. Gränsen ytskikt-mellanskikt utgör språngskiktet. Detta skikt karaktäriseras av en kraftig salthaltsförändring. Utbyte av ytskiktets vatten sker kontinuerligt genom mynningen vid Dröbak. Mellanskiktet utbytes några gånger per år och bottenskiktet byts ut ungefär en gång varje år.

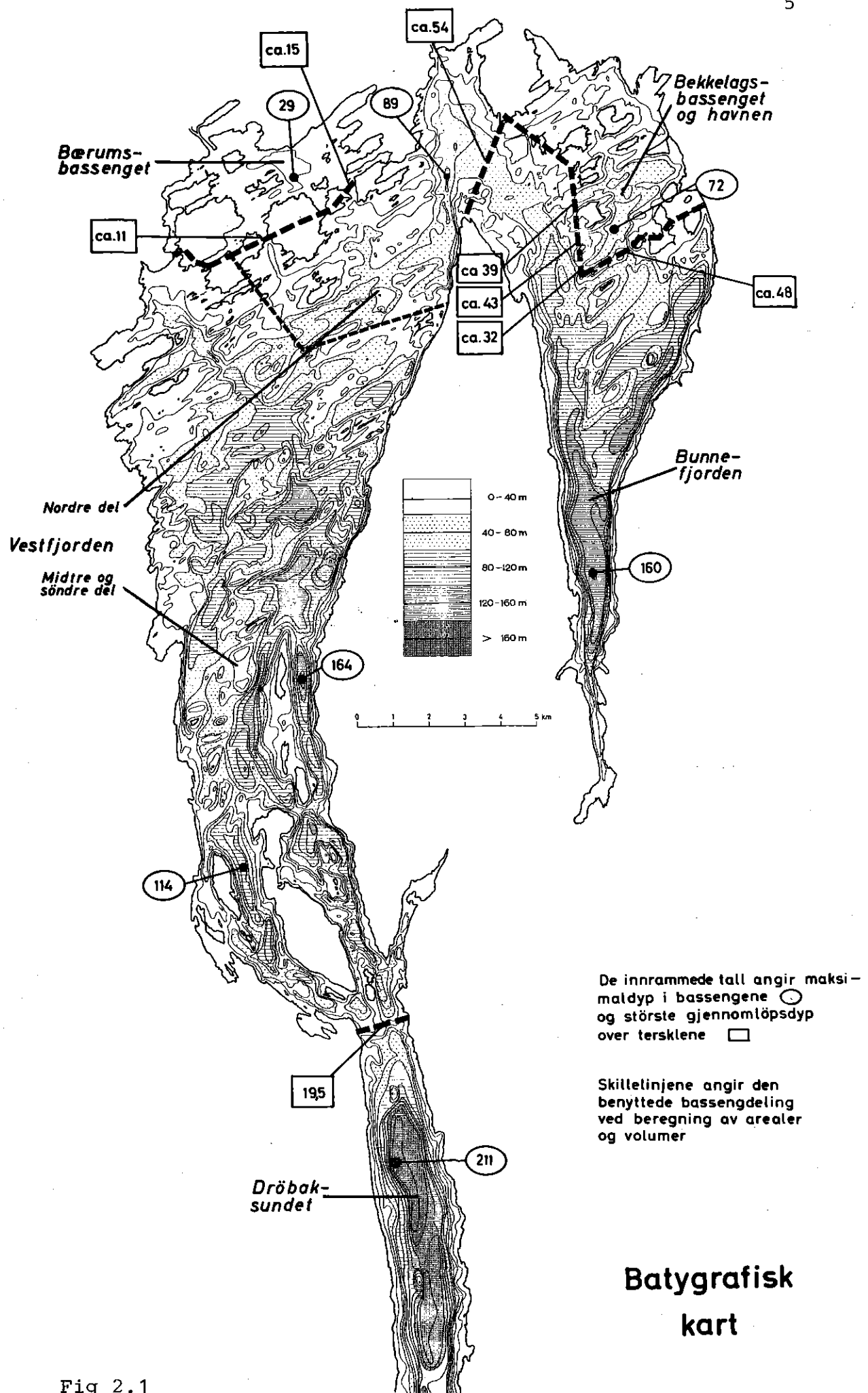


Fig 2.1

Skiktens tjocklek och utbytesfrekvens styrs till stor del av tröskeln vid Dröbak.

Den vertikala salthaltsgradienten medför en salttransport från det saltrika bottenvattnet till det saltfattigare ytvattnet. Detta får till följd att densitetsskillnaden mellan skikten minskar och att ett utbyte av bottenvattnet lättare kan ske.

Salttransportens, diffusionens, hastighet är den faktor som till stor del styr bottenvattnets utbytesfrekvens. Den faktor som i sista hand avgör om ett vattenutbyte sker är väderleksförhållandena, där vindens inverkan framgår av figur 2.2.

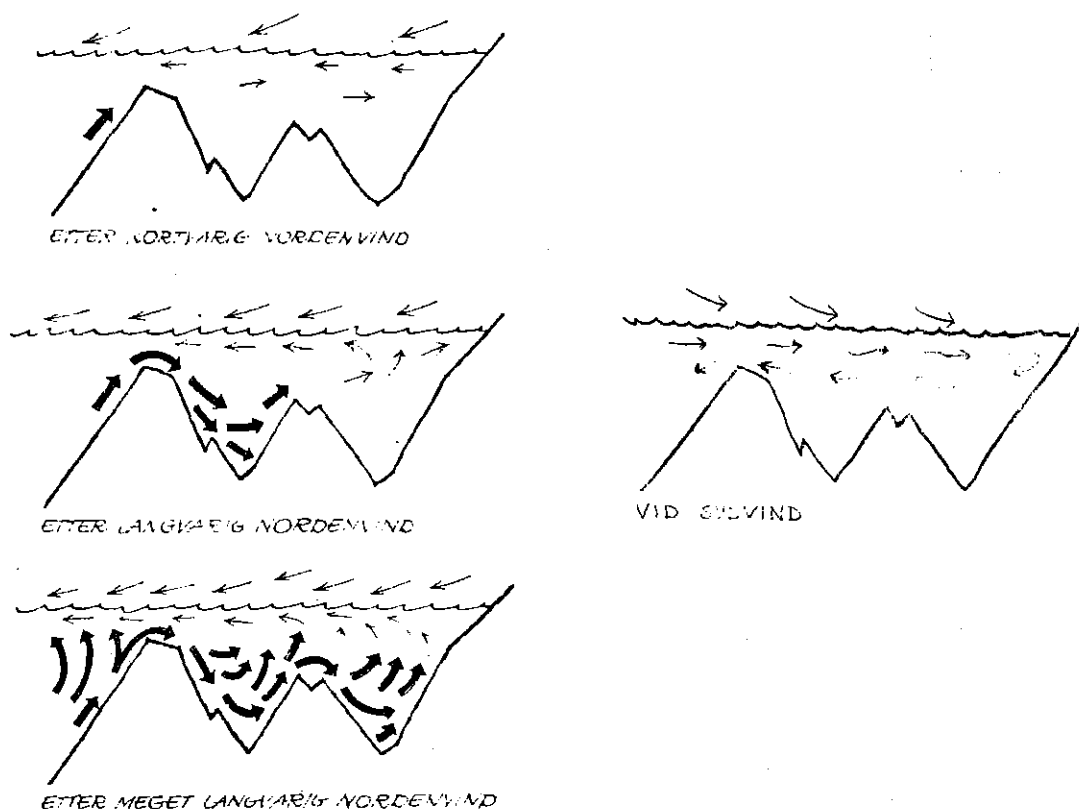


Fig 2.2 Vindens inverkan

2.2 Föroreningssituationen

Att inre Oslofjorden används som recipient för avloppsvatten från Oslo med omnejd, är idag klart märkbart. På fjordens yta flyter olja och fasta föroreningar. I vattenskiktet 0-10 m är alg- och planktonproduktionen hög, vilket medför att vattnet är grumligt och ofta missfärgat. På större djup är syreförbrukningen hög, vilket i huvudsak beror på nedbrytningen av sjunkande alger och plankton. Fjordens botten belastas av stora mängder organiskt material. Djupbassängernas vatten karaktäriseras under långa tider av kritiskt låga syrgashalter.

2.3 Projektet Sentralrenseanlegg Vest

Den alltmer ökande nedsmutsningen av Oslofjorden, har föranlett några av de kringliggande kommunerna att, på ett snabbt och effektivt sätt, försöka lösa föroreningsproblemen.

Ett interkommunalt bolag, Veas, har bildats för att bygga ett reningsverk. Projektet benämns Sentralrenseanlegg Vest. Anläggningen beräknas tas i bruk 1981 och kommer då att betjäna ca 310 000 människor. År 2000 antas ca 320 000 personer vara anslutna till verket, som då antas vara fullt utnyttjat.

Reningsverket:

Verket kommer att ligga strax norr om Slemmestad i Asker kommun. Den reningsmetod som skall användas kallas primär fällning. I denna metod ingår följande steg:

1. Galler
2. Luftat sandfång
3. Kemikaliedosering med flockningsbassänger
4. Sedimentering

Vid steg 3 tillsättes troligen järnklorid eller aluminiumsulfat, varvid bl a en utfällning av fosfor sker.

2.4 Alternativa utsläppsplatser

I fig 2.3 nedan, visas 5 alternativa utsläppsplatser som redovisats i (VIII). Samtliga platser är belägna inom ett område som karaktäriseras av bruten bottentopografi.

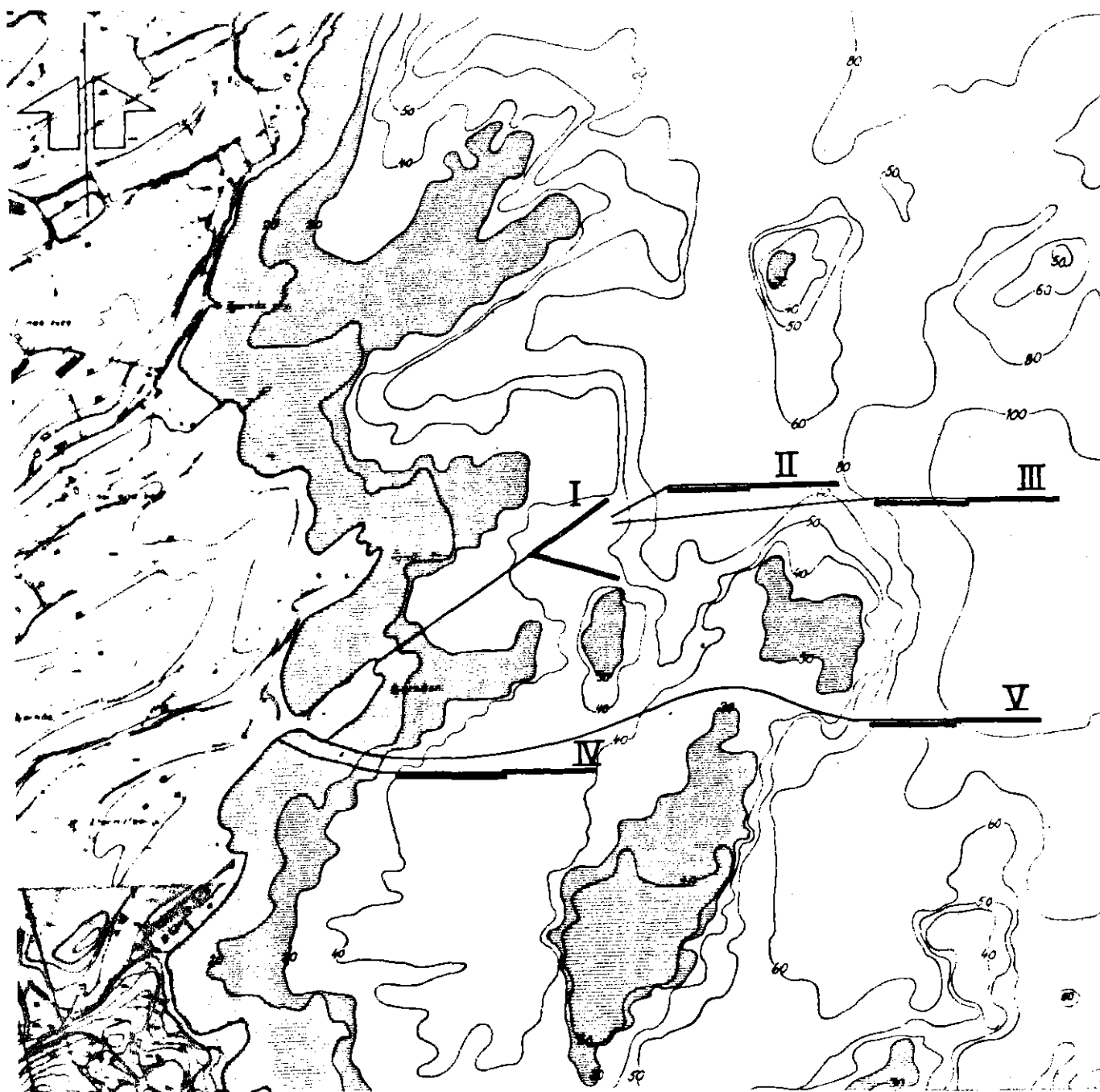


Fig 2.3 Alternativa utsläppsplatser

Allmänt

Alternativ I o IV ligger ca 400 m från stranden (knappt 300 m till närmaste udde). Bottendjupet varierar här mellan 42 och 44 m. Detta är ur teknisk-ekonomisk synpunkt det mest fördelaktiga alternativet för diffusordelens placering då den kan läggas direkt på botten. Ur utspädningssynpunkt är bottentopografin på platserna ej den lämpligaste. Diffusorerna blir här placerade i någonting som kan liknas vid en skyddad vik. Härmed blir avloppsvattnet ej utsatt för lika stor omblandning jämfört med placering på friare vatten.

Alternativ II ligger ca 500 m från land och på ett djup av ca 70 m. Diffusorledningens förankring blir härigenom svårare att utföra då den måste hållas "svävande".

Alternativ III o V ligger båda på ett avstånd av ca 1 km från stranden. Dessa två alternativ medför dock flera tekniska problem p g a den brutna bottentopografin och de stora djupen (ca 100 m).

Våra undersökningar har begränsats till alt II och III.

2.5 Målsättning med mätningarna

Mätningarna skall klargöra

1. Flytstoftets spridning i ytan. Detta innefattar dels ytfilmens rörelse, påverkad av tidvatten etc, dels stoftets diffusion och spridning främst tvärs rörelseriktningarna.
2. Det inlagrade avloppsvattnets spridningsförhållande. Vattnet sprids genom samverkan av strömmar, diffusion och gravitation.

Spridning med strömmar och diffusion studeras genom spårämnesförsök med kontinuerlig dosering, delvis inom ramen för detta examensarbete. Gravitationell spridning studeras separat vid försök i Lysakerfjorden.

3. AVLOPPSVATTNETS SPRIDNING

3.1 Initialutspädning och inlagring

Utsläpp av avloppsvatten i en recipient sker oftast via en ledning som för ut avloppsvattnet en bit ut i recipienten, där avloppsvattnet strömmar ut genom en diffusor. Vattnet passerar genom diffusorns utsläppshål med relativt hög hastighet. Kraftig turbulens bildas i gränsen mellan strålen och recipientvattnet, varvid en effektiv blandning erhålls (10 - 100 gånger).

Avloppsvattnet är lättare än recipientvattnet beroende på att avloppsvattnet består av sötvatten och recipienten av saltvatten. Dessutom brukar avloppsvattnet vara varmare än recipientens vatten. Följden blir att avloppsvattenstrålen från diffusorn böjer av uppåt i form av en modifierad kastparabel, se figur 3.1.

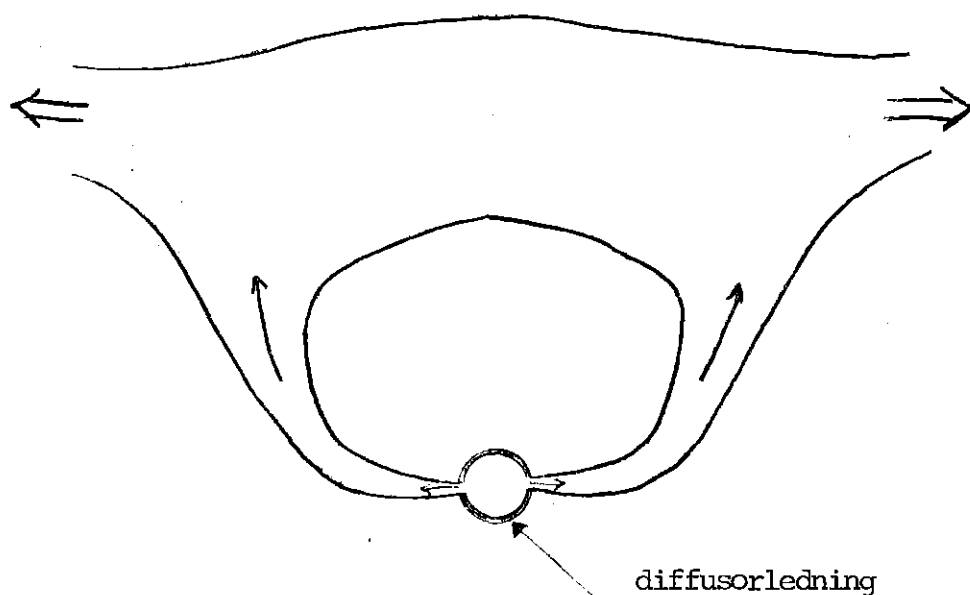


Fig 3.1 Inlagring av avloppsvatten

Om utspädningen av avloppsvatten varit effektiv kommer blandningens densitet att ligga mellan bottenvattnets och ytvattnets, och kommer därför att inlagras.

3.2 Borttransport och fortsatt utspädning

På inlagringsnivån sker den horisontella spridningen dels gravitationellt och dels genom strömmar i recipienten. Ytterligare blandning sker genom turbulent diffusion.

Grundekvationen för spridning i x-y planet kan skrivas:

$$\frac{\delta c}{\delta t} + u \frac{\delta c}{\delta x} + v \frac{\delta c}{\delta y} = k_x \frac{\delta^2 c}{\delta x^2} + k_y \frac{\delta^2 c}{\delta y^2} \quad (3-1)$$

där c = koncentrationen

t = tiden

u = ström i x-led

v = ström i y-led

k_x = diffusionskoefficient i x-led

k_y = " " y-led

Vid kontinuerligt utsläpp och stationär strömning fås $u = u_0$ och $\delta c / \delta t = 0$. Om vi lägger koordinatsystemets x-axel i strömningsriktningen och antar att diffusionen i denna riktning är försumbar i förhållande till strömningshastigheten fås:

$$v = 0$$

$$k_x \frac{\delta^2 c}{\delta x^2} \ll u \frac{\delta c}{\delta x}$$

Ekvation (3-1) kan nu skrivas:

$$u_0 \frac{\delta c}{\delta x} = k_y \frac{\delta^2 c}{\delta y^2} \quad (3-2)$$

eller

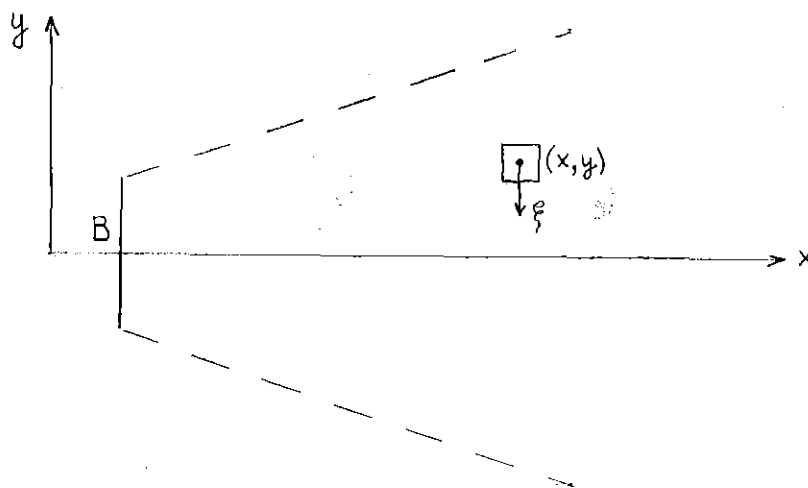
$$\frac{\delta c}{\delta x} = \frac{k_y}{u_0} \cdot \frac{\delta^2 c}{\delta y^2} \quad (3-3)$$

För en kontinuerlig punktkälla har ekvationen (3-3) vid konstant diffusionskoefficient lösningen

$$c = \frac{m}{2\sqrt{\pi k_y u_o x}} \cdot e^{-\frac{y^2 u_o}{4k_y x}}$$

där m = utsläppt mängd per tidsenhet

Genom superponering av ett oändligt antal punktkällor erhålls en linjekälla.



Flödet skrivs då $m_2 \cdot \delta\xi$

där m_2 = utsläppt mängd per tidsenhet och längdenhet i y -led.

Ekvationen blir

$$c(x, y) = \int_{y-B/2}^{y+B/2} \frac{m_2 \cdot \delta\xi}{2\sqrt{\pi k_y u_o x}} \cdot e^{-\frac{\xi^2 u_o}{4k_y x}}$$

med följande variabelsubstitutioner

$$\frac{u_0}{4k_y x} \cdot \xi^2 = \eta^2$$

$$\delta \xi = \sqrt{\frac{4k_y x}{u_0}} \cdot \delta \eta$$

$$\xi = y - B/2 \Rightarrow \eta = \sqrt{\frac{u_0}{4k_y x}} \cdot (y - B/2)$$

$$\xi = y + B/2 \Rightarrow \eta = \sqrt{\frac{u_0}{4k_y x}} \cdot (y + B/2)$$

fås

$$c(x, y) = \frac{m_I}{2\sqrt{\pi k_y u_0 x}} \cdot \sqrt{\frac{4k_y x}{u_0}} \cdot \int_{\sqrt{\frac{u_0}{4k_y x}} (y - B/2) = \alpha}^{\sqrt{\frac{u_0}{4k_y x}} (y + B/2) = \beta} e^{-\eta^2} \cdot \delta \eta =$$

$$= \frac{m_I}{\sqrt{\pi} \cdot u_0} \int_{\alpha}^{\beta} e^{-\eta^2} \cdot \delta \eta = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_I}{u_0} \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_{\alpha}^{\beta} e^{-\eta^2} \cdot \delta \eta$$

$$c(x, y) = \frac{1}{2} \frac{m_I}{u_0} \left[\operatorname{erf} \sqrt{\frac{u_0}{4k_y x}} (y + B/2) + \operatorname{erf} \sqrt{\frac{u_0}{4k_y x}} (B/2 - y) \right]$$

Funktionen $\operatorname{erf} z = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-\eta^2} \cdot \delta \eta$ finns tabellerad

och är symmetrisk kring $z = 0$

Det finns en analytisk lösning till diffusions-
ekvationen även för variabel diffusionskoefficient.
En vanlig ansats är den s k 4/3-lagen:

$$k_y = \epsilon \cdot l^{h/3}$$

där: ϵ = konstant

l = karakteristisk längdskala

men vid de tidigare i Oslofjorden genomförda diffusions-
försöken har en annan ansats gjorts:

$$k_y = \epsilon \cdot l$$

$$\frac{k_y}{k_{y0}} = \frac{B_x}{B_0}$$

där k_{y0} = initial diffusionskoefficient då $B = B_0$

B_0 = begynnelsebredd då $x = 0$

Detta ger:

$$c(x,0) = \frac{q_0}{B \cdot h \cdot u_0} \cdot c_0 \cdot e^{-d \frac{x}{u_0}} \operatorname{erf} \sqrt{\frac{1,5}{(1 + d \cdot \frac{x}{B})^2 - 1}}$$

$$\text{där } d = \frac{12k_{y0}}{u_0 B_0} \quad (3-4)$$

Spridningsbredden växer linjärt med x enligt:

$$\frac{B_x}{B_0} = 1 + d \frac{x}{B_0} \quad (3-5)$$

$$k_{y0} = k_{y \frac{B_0}{B_x}} \quad (3-6)$$

$$\text{där } B_x = 2 \sqrt{3} \sigma$$

σ = koncentrationskurvans standardavvikelse

Ovanstående ekvationer har använts för att beräkna k_{y0}
ur de utförda ytförsöken.

4. SPÅRÄMNE

4.1 Allmänt

Som fluorescerande färgämne har använts Rhodamine B200, ett katjonfärgämne bland phtaleinerna. Dess kemiska formel är $C_{22}H_{31}O_3N_2Cl$ och dess densitet 1.113 g/cm^3 .

Maximal optisk absorptionsförmåga ligger för Rhodamine B vid en våglängd av ca $550 \text{ m}\mu$ och maximal fluorescerande intensitet vid ca $570 \text{ m}\mu$. Rhodaminekoncentrationen kan med hjälp av en fluorometer, typ Turner, mätas ned till en koncentration av $5 \cdot 10^{-11}$. Spårämnet är helt ofarligt att förtära i utspätt tillstånd.

4.2 Inverkan av yttre faktorer

De nedan angivna faktorerna kan ha betydande inverkan på Rhodaminets fluorescerande egenskaper.

Temperatur: Fluorescensen minskar med ökande temperatur enligt sambandet:

$$F_t = F_{to} \cdot e^{n(t-to)}$$

där

F_t = Aktuell fluorescens

F_{to} = Fluorescens vid kalibreringstemperatur

t = Aktuell temperatur

to = Kalibreringstemperatur

n = $-0,027 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Aktuell kaliberingskurva, se bilaga 1.

Suspenderade
partiklar:

Inverkan av lösta partiklar, organiska eller oorganiska, försummas i vårt fall. Detta har framkommit vid försök på avloppsvatten utspätt med saltvatten, gjorda i Lysakerfjorden. Teoretiskt gäller annars:

$$c_m = c \frac{1}{1 + q \cdot c_{ss}}$$

c_m = uppmätt koncentration

c = verklig koncentration

c_{ss} = koncentration av lösta partiklar i mg/l

q = konstant (f(salthalt))

Fotokemisk
avklingning:

Följande samband mellan koncentration och avklingningstid råder

$$c = c_0 e^{-kt}$$

där k = Avklingningsparameter (oberoende av koncentrationen).

Vid ytförsöken kan avklingningen, orsakad av solljuset, försummas p g a att inmätningen sker innan avklingningen får nämnvärd inverkan. För djupförsöken har ljuset ingen inverkan eftersom det praktiskt taget ej finns något ljus på 26 m djup och avklingningen kan därför även här försummas.

pH-värde:

Mellan pH 4.0-10.5 påverkas fluorescensen hos Rhodamine ej märkbart. pH-värdet i Oslofjorden ligger i detta intervall. Inverkan kan alltså försummas.

Salthalt:

Fluorescensen påverkas ej nämnvärt av salthalten inom hela intervallet 0-35 ‰. Vårt största uppmätta värde var 34.5 ‰ (på 40 m djup). Inverkan kan alltså försummas.

5. SIMULERING AV AVLOPPSUTSLÄPP

5.1 Allmänt

Djupförsök

Avsikten med försöket var att simulera utsläppet från det projekterade Sentralrenseanlegg Vest.

Inlagrings- och utspädningsberäkningar visar att det knappast är lämpligt med en utsläppsplats djupare än 50 m. Den norska lagen om undervattensarbeten på djup större än 50 m, utgör också ett hinder att beakta. Vid utsläppsdjup mindre än 40 m tillkommer problemet med liten stighöjd, ca 10 m, som medför en recirkulation i strålen och en relativt liten primärutspädning. Dessutom hamnar utloppsledningen i dessa fall mycket nära stranden.

Det mest lämpade djupintervallet för ett avloppsutsläpp är således 40-50 m. Risken för uppträngning av avloppsvatten till ytan är i praktiken försumbar under sommarhalvåret och inlagring kommer att ske på ca 30 m djup.

Ytförsök

Försök med spårämne utsläppt i ytvattnet utfördes för att studera spridningen hos flytstoff som kan uppkomma vid ett längre driftstopp, eller då fjorden är mer eller mindre densitetshomogen, vilket kan inträffa vår och höst. Framförallt vill man undvika att flytstoff driver in mot närbelägna stränder där det skulle kunna vålla både estetiska och hygieniska olägenheter.

5.2 Metodval

Djupförsök

För att simulera ett djuputsläpp pumpades en blandning av ytvatten och Rhodamine ned till doseringsnivån. Alternativt skulle sötvatten kunna användas men doseringsplatsens läge (långt från land) förhindrade detta. Vid försökets utförande eftersträvades en inlagringsnivå för det utspädda spårämnet som motsvarade avloppsvattnets inlagringsnivå. Hän-syn togs här till densitets- och flödesskillnad mellan försökspumpningen och det verkliga utsläppet.

Ytförsök

Även ytförsöken genomfördes med spårämnet Rhodamine. Två olika doseringsalternativ användes, "Diffusorutsläpp" och "Punktutsläpp", figurerna 5.1 och 5.2.

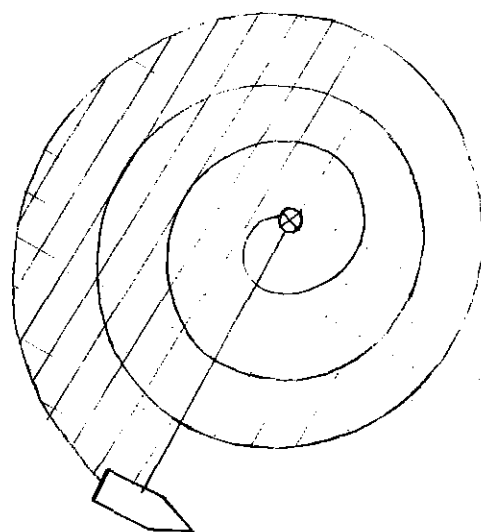
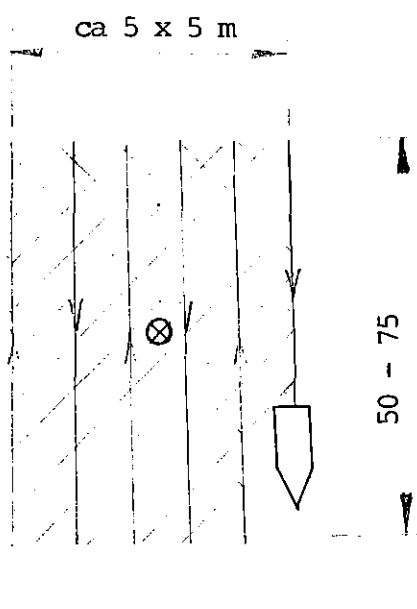
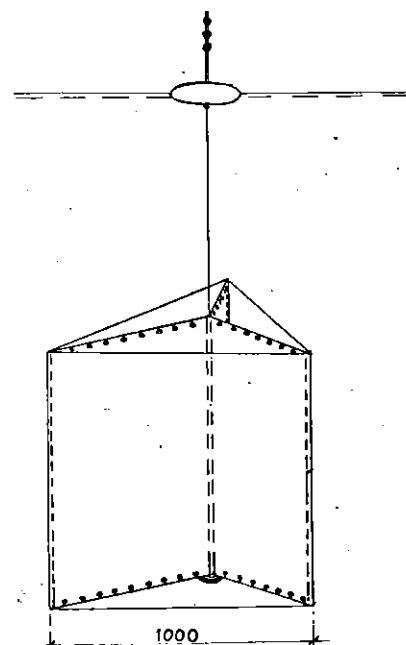


Fig. 5.1 Diffusorsimulering. Fig 5.2 Punktsimulering

Vid inmätningen av Rhodaminemolnet är det lämpligt att använda Paravan. Ett strömkors, fig 5.3, användes för att markera molnets centrum. Eftersom strömkorset var svårt att upptäcka på långt avstånd, modifierade vi inmätningssmetoden enl. fig 5.4a och använde oss i stället av en metod som visas i fig 5.4b.



Figur 5.3 Strömkors

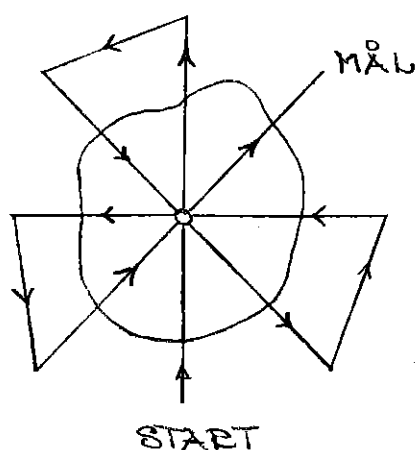


Fig 5.4a

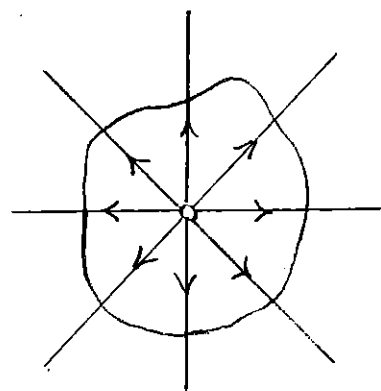


Fig 5.4b

Denna metod tar längre tid, vilket medför att strömkorsets förflyttning får större betydelse. Med kännedom om strömkorsets position vid olika tidpunkter kan dock erforderliga korrigeringar göras.

5.3 Doseringsutrustning

Djupförsök

Här bestod utrustningen av fartyget Gran, uppankrat vid utsläppspunkten, 300 l kärl med rent Rhodamine, micro-max kolvdoseringsaggregat, dränkbar Flygtpump med kapaciteten 14 l/sek och en grov slang med T-förgrening. Uppkopplingen visas i fig. 5.6. Doseringspumpens kalibreringskurva framgår av bilaga 2.

Ytförsök

Utrustningen utgjordes av en eka med utombordare, 100 l doseringskärl, reversibel pump driven av en 12 V ackumulator, strömkors och en doserslang med diffusorände. Uppkopplingen visas i figur 5.5

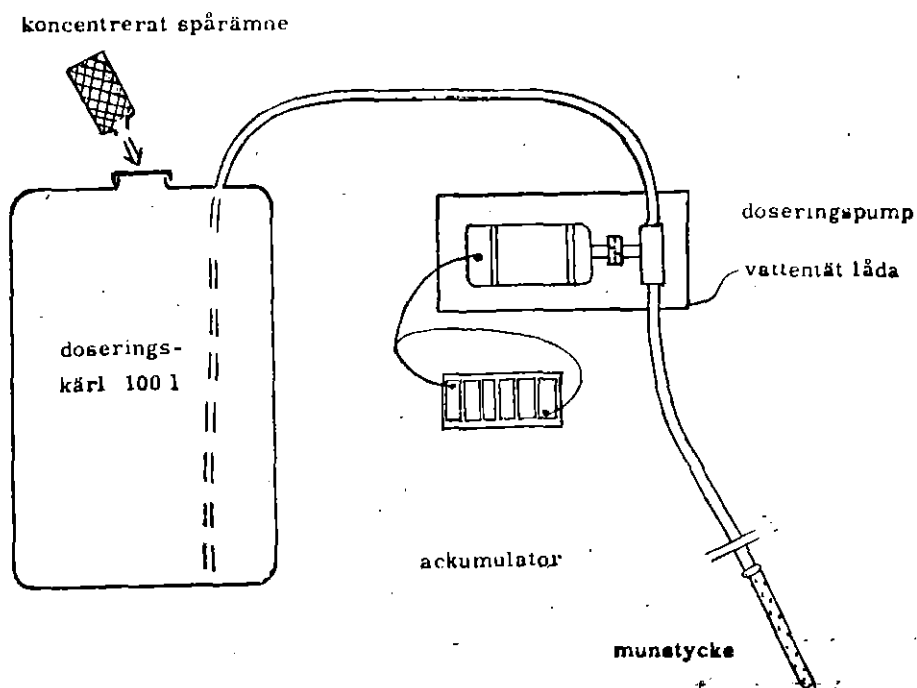


Fig 5.5 Ytdoseringsutrustning

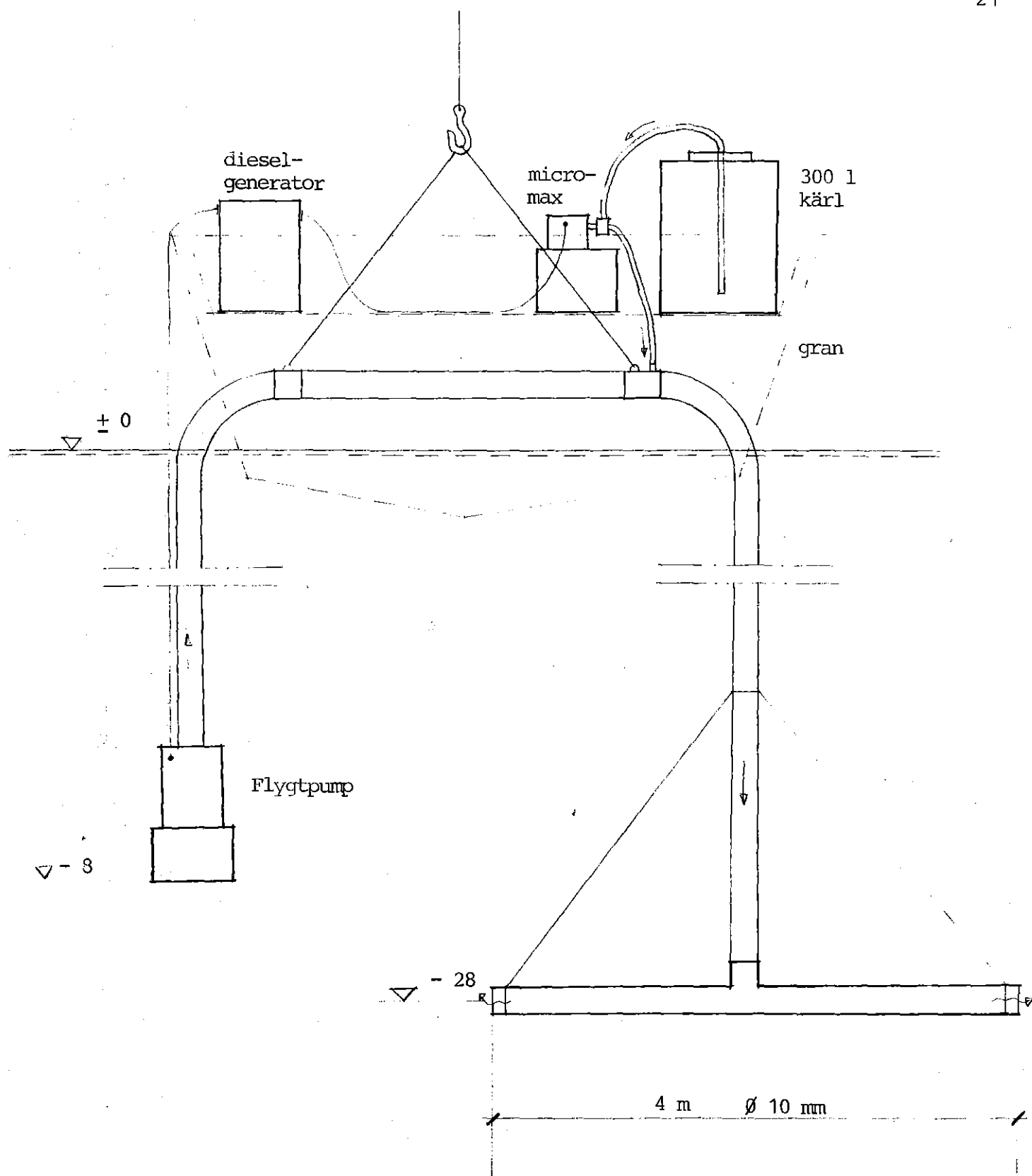


Fig 5.6 Djupdoseringsutrustning

5.4 Mätutrustning

Mätbåten, Vattenbyggnadsinstitutionens Albin 25, som användes vid våra försök i Oslofjorden, var utrustad enligt följande:

Två seriekopplade 12 volts ackumulatorer levererade ström till både vattenpump och mätinstrument. Vattenpumpanordningen bestod av två armerade PVC-slangar med insugningsmunstycken. Den ena användes för djupprofiler och den andra för mätning med paravan. De båda slangarna var kopplade via ett ventilsystem till en fluorometer, vilken mätte Rhodaminekoncentrationen i det uppumpade vattnet. Efter fluorometern var en centrifugalpump inkopplad, som sög vatten genom ovan nämnda anordning, se figur 5.7.

Instrumenten för Rhodaminekoncentrationsmätning bestod av en fluorometer typ G K Turner Associates Model III, försedd med genomströmningskyvett.

Genom byte av instrumentdörren kunde även koncentrationen för referenslösningar mätas med lösa kyvetter. Till fluorometern kopplades en skrivare typ Minigor RE 501 för kontinuerlig registrering av mätutslagen.

Fluorometern försörjdes med ström av de två 12 volts ackumulatorerna via en omformare, som gav 220 volt och 50 Hz. Mellan omformare och fluorometer kopplades en transformator, vilken reducerade spänningen till 110 volt.

Fluorometern utgörs i princip av en självbalanserande optisk brygga, där det från provet utsända ljusets intensitet jämförs med en referensstråles intensitet i en fotomultiplikator. Det erhållna mätutslaget varierar linjärt med fluorescensen.

5.5 Mätmetodik

Mätningen av Rhodaminekoncentrationerna i fjorden utfördes, för både yt- och djupförsök, antingen med hjälp av djupprofiler eller paravankörning. Mät-punkternas position erhöles med pejlkompass. Vid varje mätning pejlades mot tre punkter. Positionsbestämningen gav ej den exakta positionen, men de avvikelser som erhöles påverkade ej spridningsbilden.

Djupförsök

Vid djupprofilmätning sänktes insugningsmunstycket ned till 30 m eller till det djup, där Rhodaminekoncentrationen var noll. Pumpen startades och därefter vinschades munstycket sakta upp genom Rhodamine-molnet till en nivå där koncentrationen åter var noll. Skrivaren ritade koncentrationsprofilen och anteckningar gjordes för djupläge, skrivhastighet, mätpunkter m m.

Av djupprofilerna framgick att den maximala Rhodaminekoncentrationen låg på ca 26 m djup. Följaktligen kördes paravanen på detta djup. Paravanens djupgående bestämdes med hjälp av en tryckmätare som var monterad vid insugningsmunstycket. Det stora djupet medförde att båtens hastighet blev låg, vilket minskade manöverförmågan och kursstabiliteten. Detta var naturligtvis mest kännbart under blåsiga dagar. Då dessutom spårämnets spridningsdjup var litet och det därför var svårt att hitta maximumnivån övergick vi mot slutet av mätperioden helt till djupprofilmätning.

Ytförsök

Vid inmätning av spårämnetsmolnet bestämdes dess horisontella utbredning med hjälp av paravanmätning. Djupprofiler visade spårämnets vertikala spridning. Inmätning av molnet visade sig kunna påbörjas betydligt

tidigare än beräknat. Redan ca en halv timme efter dosering var detta möjligt. På grund av att vi väntat oss en svagare färgning av vattnet vid tidpunkten för mätstart, påbörjades de första mätningarna för sent, vilket medförde att vi då endast hann utföra en inmätning per moln. Ofta drev molnet in mot land vilket förhindrade inmätningar.

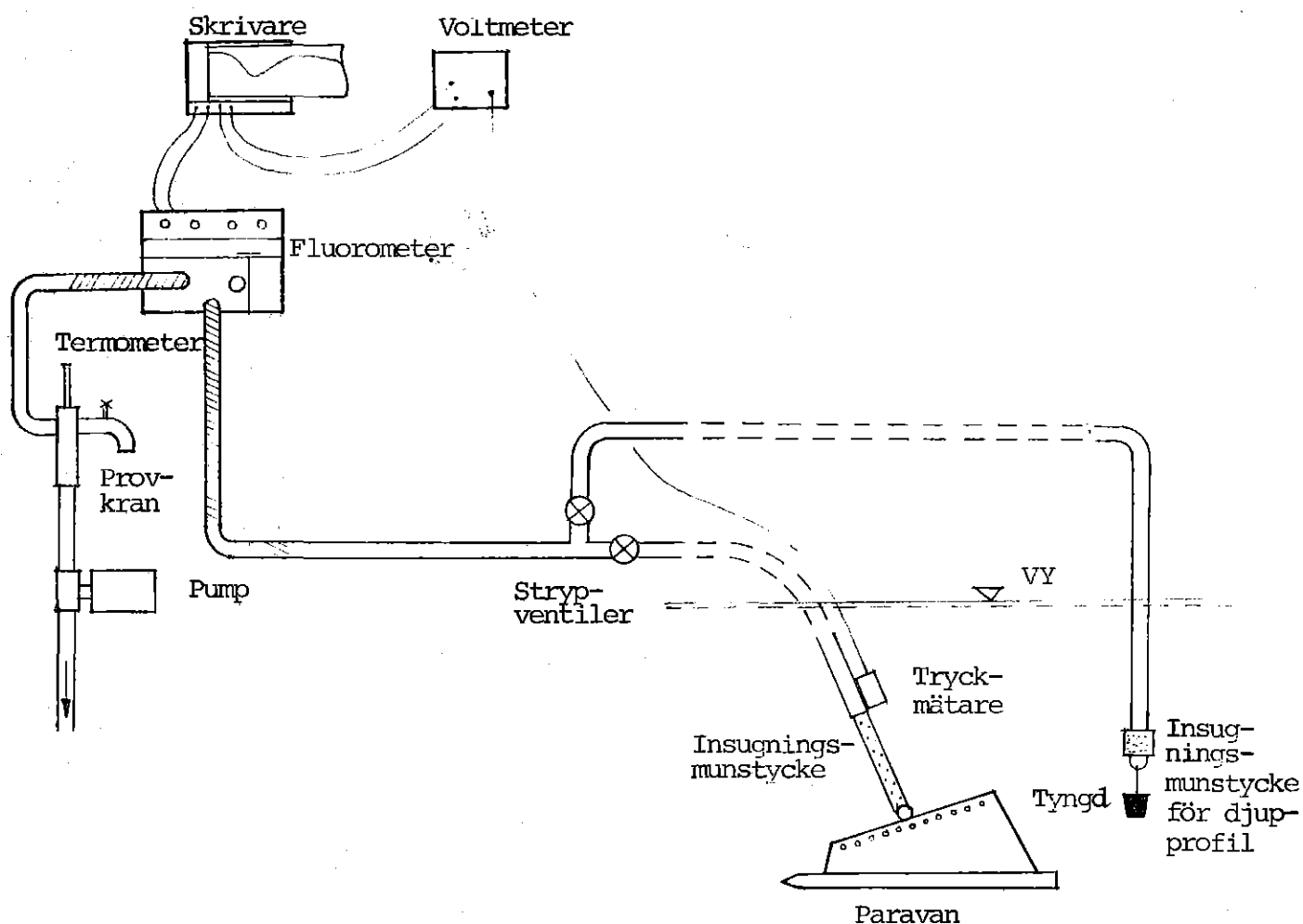


Fig. 5.7 Inmätningstrustning

6. PRESENTATION AV MÄTDATA

Vind

Vindmätningar utförs kontinuerligt vid Fornebu flygplats och redovisas i form av nord-sydvindsdiagram, se bilaga 3.

Karakteristiskt för fjorden är solgangsbrisen, med pålandsvind, dvs sydliga vindar på eftermiddagen.

På grund av de höga stränderna styrs vinden oftast i nordlig eller sydlig riktning.

Vattenstånd

Vattenståndsmätningar utförs av Norges Geografiske Oppmåling (NGO), i Oslo hamn.

Av tidvattentabellen framgår att det halvdagliga tidvattnet med perioden 12,4 timmar dominerar i Oslofjorden. Dessa tabeller användes för planeringen av ytförsöken så att dessa fördelades över olika delar av tidvattencykeln.

Salthalt

Salthaltsmätningar utfördes med en salinometer en gång per mättdag. Vertikala salthalts- och temperaturprofiler visas på respektive kartor över djupmätningar. Salthaltens variation under mätperioden redovisas i bilaga 4.

Temperatur

Vattentemperaturen för olika djup mättes samtidigt som salthalten med salinometern och redovisas tillsammans med salthalten på djupmätningsskarta.

Rhodamine

Mängden doserat Rhodamine mättes före varje dosering med mätglas. Initialkoncentrationen i doseringsblandningen var vid ytförsöken 10^{-2} och vid djupförsöket $7,8 \cdot 10^{-5}$.

Den i fjorden inmätta Rhodaminekoncentrationen redovisas dels som isorhodkartor för den horisontella utbredningen, dels som koncentrationsprofil för den vertikala utbredningen.

7. UTVÄRDERING AV YTFÖRSÖKEN

7.1 Kommentarer till de enskilda mätningarna.

De ofullständiga inmätningarna till och med den 11/7 berodde på att mätutrustningen ej fungerade tillfredsställande. Endast visuell inmätning kunde göras (den 9/7 undantagen). Tidigare försök med Rhodamine har visat att inmätning med fluorometer kan göras först efter det att ögat ej längre ser någon tydlig rödfärgning av vattnet. Inmätningstrustningen får inte utsättas för nämnvärt högre koncentration Rhodamine än vad fluorometern kan mäta, ungefär $5 \cdot 10^{-7}$. Försöken i Vestfjorden visade emellertid att inmätning kunde påbörjas då en tydlig rödfärgning fortfarande kvarstod. De fåtal inmätningar per försök, till och med den 21/7, berodde på att Rhodaminet fick nå en väldigt hög utspädningsgrad innan första inmätningen gjordes. Koncentrationen hann då sjunka till så låga värden vid andra inmätningen, att en entydig bestämning av Rhodaminemolnet ej kunde göras.

8/7: Svaga vindar med ständigt skiftande riktningar. Tidvis stiltje. Stigande vattenstånd rådde under tiden för försöket, se bilaga 5.

9/7: Liknande vindförhållanden som den 8/7. Nordvinden något mer förhärskande. Vid försöksstart rådde stigande vattenstånd. Vid slutskedet rådde sjunkande. Fluorometern fungerade men tålde ej båtens vibrationer. Spridningsbilden är därför ej helt tillförlitlig, se bil 6.

10/7: Stigande vattenstånd och svaga vindar. Molnet rör sig långsamt mot sydväst, se bilaga 7.

- 11/7: Stigande vattenstånd. Svaga vindar rådde vid försökets början. Den följande kraftiga sydvinden ändrade molnets rörelseriktning. Tid för vändpunkt ej känd, se bilaga 8.
- 18/7: Sjunkande vattenstånd och i det närmaste stiltje. Molnets rörelseriktning var ej den väntade sydliga. Istället erhöles en nordlig rörelseriktning, se bilaga 9.
- 20/7: Kraftig sydlig vind ger molnets rörelseriktning. Vattenståndet var fallande, se bilaga 10.
- 21/7: Tidvattnet fallande under större delen av försöket. Molnet återfanns efter dosering först kl 1300. Dess förflyttning är antagen ty djupmätning pågick samtidigt, se bilaga 11.
- 22/7: Fallande vattenstånd, svag nordlig vind under hela försöket. Inmätning hann ej göras p g a att djupmätning pågick samtidigt, se bilaga 12.
- 24/7: Fallande vattenstånd under större delen av försöket. Svag vind med ständigt skiftande riktning. Rörelsemönstret likt andra försök med motsvarande yttre förutsättningar. Vid andra inmätningen hade en del av Rhodaminet diffunderat till omätbar koncentration. Därav den till ytan mindre 2:a inmätningen, se bilaga 13.
- 25/7: Stigande vattenstånd, svaga vindar. Rörelsemönstret liknar föregående dags, 14.
- 25/7: Första delen av försöket pågick under fallande em vattenstånd och stiltje. Senare delen pågick under stigande vattenstånd och sydlig vind. Strömkors och Rhodaminemoln följdes inte åt. Strömkorset togs upp ur vattnet kl 1810 och placerades i molnets centrum kl 1835, se bilaga 15.
- 28/7: Försöket utfördes under stigande vattenstånd och svaga vindar. Kraftig sydlig ström observerades, se bilaga 16

7.2 Tolkning av de utförda försöken

Ytförsöken visar en tendens hos ytvattnet att vilja röra sig i fjordens längdriktning. Att Rhodamine-molnet rörde sig söderut var betydligt vanligare än att det rörde sig i motsatt riktning. En nordlig rörelseriktning tycktes kräva en påtaglig sydlig vind för att kunna komma till stånd.

In- och utströmningen av vatten i Vestfjorden tycks påverka ytskiktet märkbart.

Vi observerade vid ett flertal tillfällen en kraftig sydlig ström i området kring utsläppsplatsen, trots stigande vattenstånd i fjorden. Denna sydliga ström som kan existera både för stigande och fallande vattenstånd i fjorden kan förklara den sydliga rörelseriktningens dominans.

Den nyss nämnda, observerade strömmens uppkomst och existens kan vi inte med säkerhet förklara, men ett försök till förklaring ges i följande:

Vid inströmning i Vestfjorden passerar vattnet först tröskeln vid Dröbak och följer sedan huvudsakligen den östra stranden. En del av det inströmmande vattnet böjer av västerut mellan öarna norr om Dröbak. Hur stor del av den totala mängden inströmmande vatten, som böjer av respektive går rakt fram, är svårt att säga. Att den sistnämnda strömmen dominerar vid inloppet till Vestfjordens huvudbassäng och att det vatten som böjer av mellan öarna inte utbildar någon kraftigare norrgående ström, anser vi dock vara ett rimligt antagande, utgående från de gjorda ytförsöken, se figur 7.1.

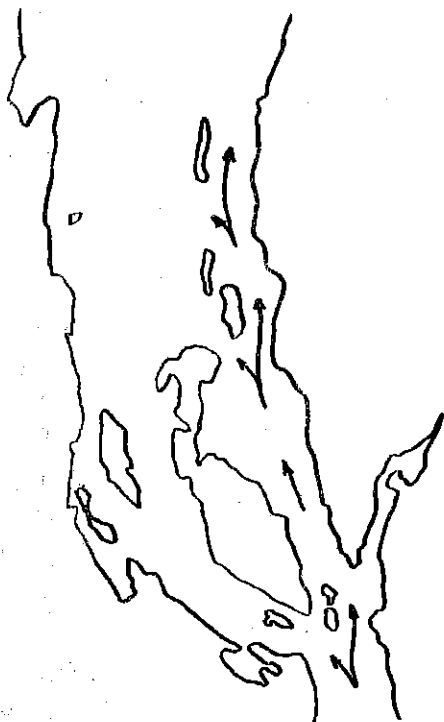


Fig 7.1

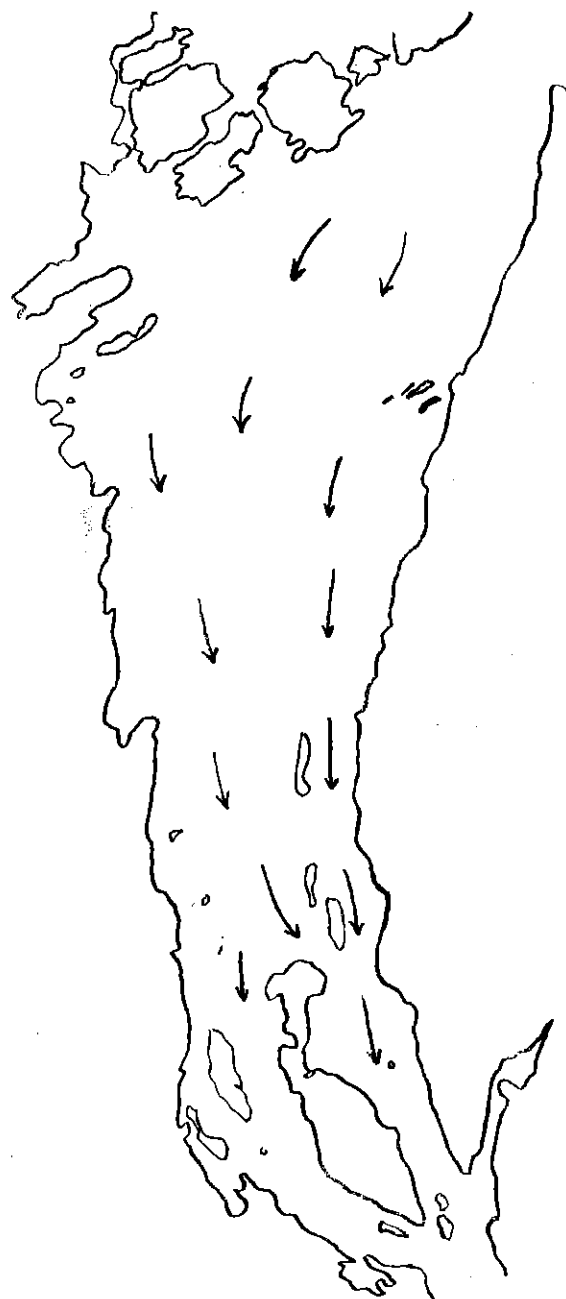


Fig 7.3

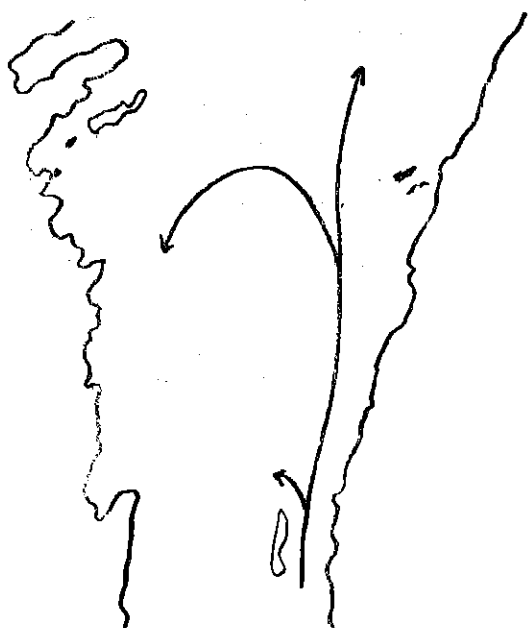


Fig 7.2

Det i Vestfjorden inströmmande vattnet kommer alltså huvudsakligen in vid fjordens sydöstra del. Denna ström delar upp sig på liknande sätt som tidigare och den åt väster strömmande delen bildar en mer eller mindre utpräglad virvel moturs. Virveln kan sägas vara en effekt av den starka norrgående strömmens egenskap att få stora vattenmassor att röra sig åt norr i bassängens östra del. En kompensationsström utbildas då i väster, se figur 7.2. Denna virvelbildning skulle kunna ge förklaringen till varför ytvattnet strömmar åt söder utanför Slemmestad under pågående vattenståndshöjning i Vestfjorden.

Då vatten strömmar ut ur fjorden, finns det ingenting som kan hindra en förhållandevis, över fjordens bredd jämt fördelad, utåtgående ström. Inte förrän en bra bit söder om Slemmestad måste vattnet in i en trängre sektion där den relativt homogena utströmningen störs, se figur 7.3.

7.3 Beräkning av diffusionskoefficienterna

Vad själva diffusionsmätningarna beträffar har vi fått fram en horisontell diffusionsparameter P ungefär tre gånger så stor som den NIVA fick fram ur sina strömkorsmätningar sommaren 1964 i Vestfjorden. Att våra spårämnesförsök gav ett högre värde på P än motsvarande försök med fasta kroppar (strömkors) kan nog anses som ett väntat resultat. Ett spårämne som blandas in i det vatten som undersöks, påverkas av vattnets egen rörelse och omblandning på ett helt annat sätt än en fast partikel. Text skjuveffekter mellan närliggande ytliga vattenlager och vertikala turbulenser bidrar till att spårämnet späds ut och sprids emedan strömkorset, om överhuvudtaget, påverkas betydligt mindre av dessa effekter.

Enligt kapitel 3.2 fås

$$\frac{B_x}{B_o} = 1 + d \frac{x}{B_o} \quad (3-5), \text{ där } d = 12 \frac{k_{yo}}{u_o \cdot B_o} \quad (3-4)$$

Vid tidigare diffusionsmätningar i Oslofjorden har en rotationssymmetrisk ansats för horisontell diffusion använts, $k = P \cdot r$. I denna rapport används dock ett ortogonalt koordinatsystem och ansatsen $k_y = \varepsilon \cdot l$. Med användande av att spridningsbredden, uttryckt som spridningens standardavvikelse, skall vara densamma vid analys enligt de båda teorierna ($\sigma_r^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2$) fås

$$\sigma_r = \sqrt{6 Pt} = \sqrt{2 \cdot 2 \sqrt{3} \cdot \varepsilon \cdot t}, \text{ där } k_y = \varepsilon \cdot B$$

$$\text{Detta ger } \varepsilon = \frac{P}{2} \text{ och } k_{yo} = \frac{P}{2} \cdot B_o$$

Insättning i (3-4) och (3-5) ger

$$B_x = B_o + 6 P \frac{x}{u_o} = B_o + 6 Pt ; P = \frac{B_x - B_o}{6 t}$$

Nedanstående tabell över P_1 förutsätter att $B_o = 50$ m. Eftersom den initiella bredden säkerligen har varierat något, har också P -värden för $B_o = 75$ m beräknats (P_2).

Tabell 7.1

Datum	P_1 (cm/s)	P_2 (cm/s)
9/7	0,27	0,25
11/7	0,16; 0,16	0,13; 0,14
18/7	0,26	0,16
24/7	0,30	0,26
25/7 fm	1,10; 0,49	0,96; 0,44
25/7 em	0,35; 0,32	0,31; 0,30
28/7	0,20	0,17

$$P_1 \text{ medel} = 0,36$$

$$P_2 \text{ medel} = 0,31$$

8. DJUPFÖRSÖK

8.1 Allmänt

Doseringen startades den 13/7 och avslutades den 17/7. Under denna tidsperiod pumpades 353 liter Rhodamine ut på 28 meters djup i fjorden. Utpumpningen skedde kontinuerligt med avbrott för påfyllning av Rhodamine. Ett tekniskt fel medförde ett 2 timmar långt avbrott, se bilaga 17.

Under de första dagarnas mätningar användes paravanen flitigt. Den var bra när det gällde att hitta Rhodaminemolnets horisontella begränsningslinje. Däremot var paravanen svår att hålla på rätt djup för maximikoncentrationsmätning. Djupprofiler var den vanligaste, och under senare delen av försöket den allena rådande metoden för inmätning av Rhodaminemolnet. Vid djupprofils-mätningar observerades en bakgrundsfluorescens på 2-4 enheter.

Vid Rhodaminemängdsberäkningen, baserad på utförda mätningar, erhöles till en början otillfredsställande resultat. Efter omkalibrering av fluorometern visade det sig emellertid att den ursprungliga kalibreringen gett alldeles för låga spårämneshalter. En korrigering om ungefär 35 % av mängden inmätt Rhodamine har gjorts i efterhand, utgående från de senare kalibreringarna, se bilaga 18 och tabell 8.1.

I tabellen har koncentrationer större än $200 \cdot 10^{-10}$ ej mätts med fluorometer utan uppskattats till i genomsnitt $5 \cdot 10^{-5}$.

Tabell 8.1

Datum	Konc ($\times 10^{-10}$)	Skikt Tjock- lek (m)	Yta (km^2)	Liter Rhodamine utan korr	%	Korr %	Liter Rhodamine med korr	%	Utsläppt mängd Rhodamine
14/7	>200	7,0	0,170	59,5		0	59,5		
	200-100	7,0	0,117	6,1		35	8,2		
	100- 50	7,0	0,273	7,1		35	9,6		
	50- 0	7,0	0,517	4,5		45	6,5		
			Σ 1,08	Σ 77,2	102		Σ 83,8	113	74 lit
15/7	>200	7,0	0,139	48,7		0	48,7		
	200-100	7,0	0,393	20,6		35	27,8		
	100- 50	7,0	0,891	23,5		35	31,7		
	50- 0	7,0	1,83	16,1		45	23,4		
			Σ 3,25	Σ 108,9	66		Σ 131,6	79	166 lit
16/7	>200	7,0	0,086	30,1		0	30,1		
	200-150	6,0	0,321	16,9		35	22,8		
	150-100	6,0	1,87	70,3		35	94,9		
	100- 50	7,0	1,18	30,0		35	40,5		
	50- 0	7,0	3,55	31,1		45	45,1		
			Σ 7,01	Σ 178,4	68		Σ 233,4	90	260 lit
17/7	>200	7,0	0,13	45,5		0	45,5		
	200-150	7,0	0,10	5,5		35	7,4		
	150-100	6,0	0,80	30,0		35	40,5		
	100- 50	7,0	1,56	41,0		35	55,4		
	50- 0	7,0	7,35	64,3		45	93,2		
			Σ 9,94	Σ 186,3			Σ 242,0	69	353 lit
19/7	>100	7,5	1,05	43,3		35	58,5		
	100- 50	7,5	1,22	34,3		35	46,3		
	50- 30	7,5	3,83	57,5		35	77,6		
	30- 10	7,0	7,27	50,9		45	73,8		
	10- 0	7,0	2,74	4,8		60	7,7		
			Σ 16,1	Σ 190,8	54		Σ 263,9	75	353 lit
20- -21/7	>50	8,0	0,405	10,6		35	14,3		
	50- 30	7,5	3,12	46,8		45	67,9		
	30- 10	7,5	9,82	73,7		45	106,9		
	10- 0	7,5	24,8	46,5		60	77,4		
			Σ 38,2	Σ 177,6	50		Σ 263,5	75	353 lit
26/7	>12	8,0	9,87	51,3		45	74,4		
	12- 9	8,0	7,76	32,6		45	47,3		
	9- 6	7,5	10,4	29,2		55	45,3		
	6- 3	7,5	33,9	57,2		70	97,2		
	3- 0	7,5	34,3	19,3		100	38,6		
			Σ 96,2	Σ 189,6	54		Σ 302,8	86	353 lit

8.2 Utvärdering av djupförsöket

För att få ett representativt spridningsmönster för ett avloppsutsläpp bör de yttre faktorerna vind, lufttryck, tidvatten och temperatur hålla sig inom för årstiden normala värden. Under tiden för djupförsöket blåste en stark och ihållande nordanvind. Denna nordanvind förekommer mycket sällan i juli månad.

Att nordanvinden har påverkat vattnet även på det för djupförsöket aktuella djupet framgår av salthalts- och temperaturförändringarna under de aktuella dagarna, se bilaga 4 samt 19-30. De visar att salthalten stiger och temperaturen sjunker i djupintervallet ner till ungefär 30 m, jämfört med värden från dagarna före nordanvindens uppkomst.

Spridningsförlopp och djupprofilmätningar för djupförsöket finns redovisat i bilagorna 19-32. Bilaga 19 visar hur det Rhodaminebemängda vattnet sprider sig i horisontalled under det första dygnet. Rhodaminemolnet har här en förhållandevis stor öppningsvinkel och molnets front rör sig med relativt stor hastighet bort från utsläppsplatsen. Frontens genomsnittliga hastighet under de första dygnen var 0,8-1,2 cm/sek. Hastigheten är inte möjlig att bestämma helt exakt, då frontens utseende och läge delvis har beräknats genom interpolation ur mätningar, gjorda på ömse sidor om fronten. Sådana fronter är markerade med streckad linje.

Rhodaminemolnet rör sig, som visas på de aktuella kartorna, till en början söderut längs fjorden. Samtidigt breder molnet ut sig åt öster mot fjordens motsatta strand och så småningom börjar det också röra sig norrut. Redan en vecka efter doseringens början täcker molnet större delen av Vestfjordens area.

8.3 Tolkning av djupförsöket

Den stora öppningsvinkeln vid försökets början visar att Rhodaminet spreds snabbt vinkelrät strömriktningen. Hastigheten vinkelrät strömriktningen var ungefär hälften så stor som den aktuella strömhastigheten.

Att molnets huvudrörelseriktning var sydlig de första dagarna, kan med all säkerhet tillskrivas tidigare nämnda nordanvind. Denna kan ha försatt vattnet på det för försöket aktuella djupet i rörelse genom växelverkan mellan olika vattenskikt, se figur 8.1.

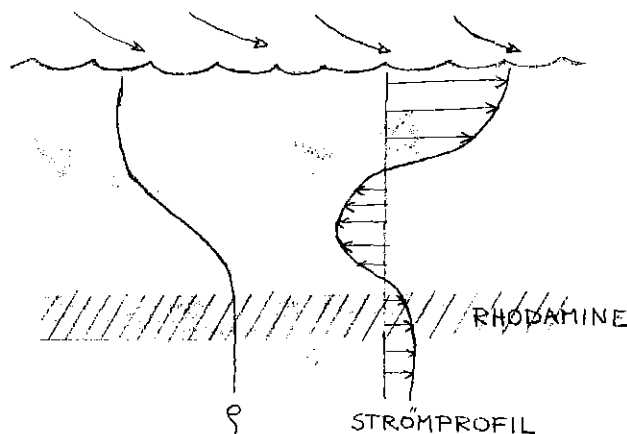


Fig 8.1

Under senare delen av försöket rörde sig molnets centrum ganska lite. Det låg relativt stilla i Vestfjordens sydvästra del. Detta tyder på att vattnet på det aktuella djupet, under normala förhållanden, här ligger relativt stilla i jämförelse med vattnet i fjordens huvudbassäng.

Tidigare utförda strömmätningar i Vestfjorden visar att förhållandevis små vattenmassor strömmar ut respektive in genom de på det aktuella djupet befintliga rännorna.

Dessa mätningar ger en indikation på låga strömhastigheter i sydvästra delen av Vestfjorden. Det vill säga att denna del av fjorden bildar en mer eller mindre separat bassäng med utlopp endast åt norr. Området för koncentrationsmaximum ligger ungefär vid bassängens utlopp.

9. FORTSATTA MÄTNINGAR

Vår del av fältarbetet var slutfört den 29 juli.
Resterande mätningar utfördes därefter inom ramen
för den samlade undersökningen av VBB och NIVA.

10. REFERENSER

- (I) Ahlström A, Schilling P-O, Johansson:
Simulering av avloppsutsläpp under språngskikt
i Byfjorden. Examensarbete 1971:4 vid Inst för
Vattenbyggnad, CTH.

- (II) Andersson L-E, Brunander B: Recipientundersökning
i Ellösfjorden. Examensarbete 1973:7 vid
Inst för Vattenbyggnad, CTH.

- (III) Arbeidsfelleskapet Samfunnsteknik/Grøner, NIVA 0-132/76:
Foreløp vurdering av nytt utslippssted for kloakkvann
fra Renseanlegg Vest.

- (IV) Cedervall K (1966): Spridningsförsök med spårämne.
Särtryck ur Väg- och vattenbyggaren nr 1-2 1966.

- (V) Cedervall K, Göransson C-G, Svensson T (1974):
Methods for measurement of dispersion in
coastal waters.

- (VI) NIVA: Oslofjorden og dens forurensningsproblem

- (VII) Oslofjordkontoret: Renere Oslofjord.

- (VIII) Samfunnsteknikk/Grøner: Sentralrenseanlegg Vest,
forprosjekt dec 1973, del 1.

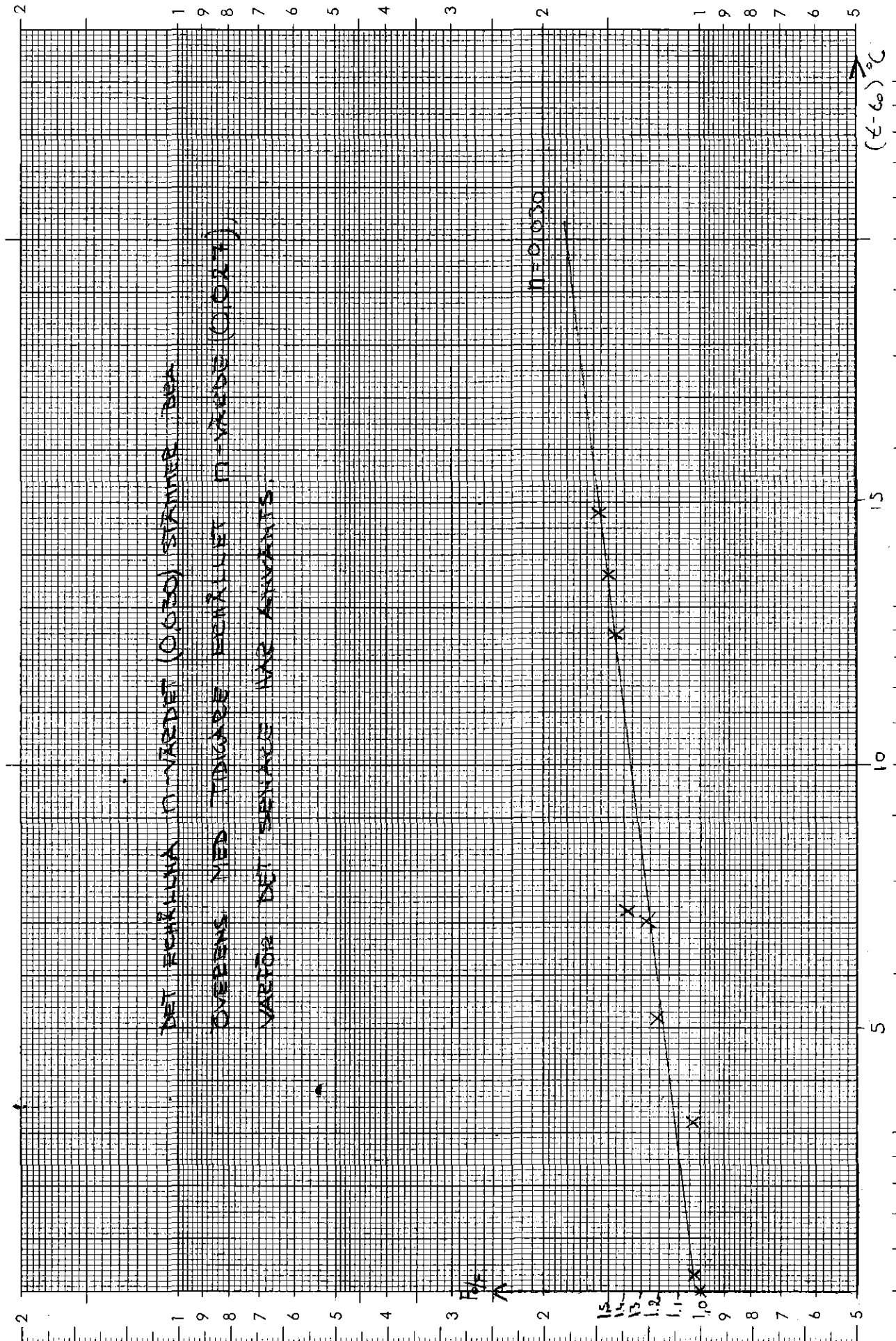
(IX) SMHI: PM angående Turners fluorometer.

(X) SMHI HBF: PM angående fluorescensspårämnen för
vattenundersökningar och deras hantering 1/12 1965
PM nr 33 internt.

FÖRSÖKSBEREDAD TEMP. KORR. KURVA

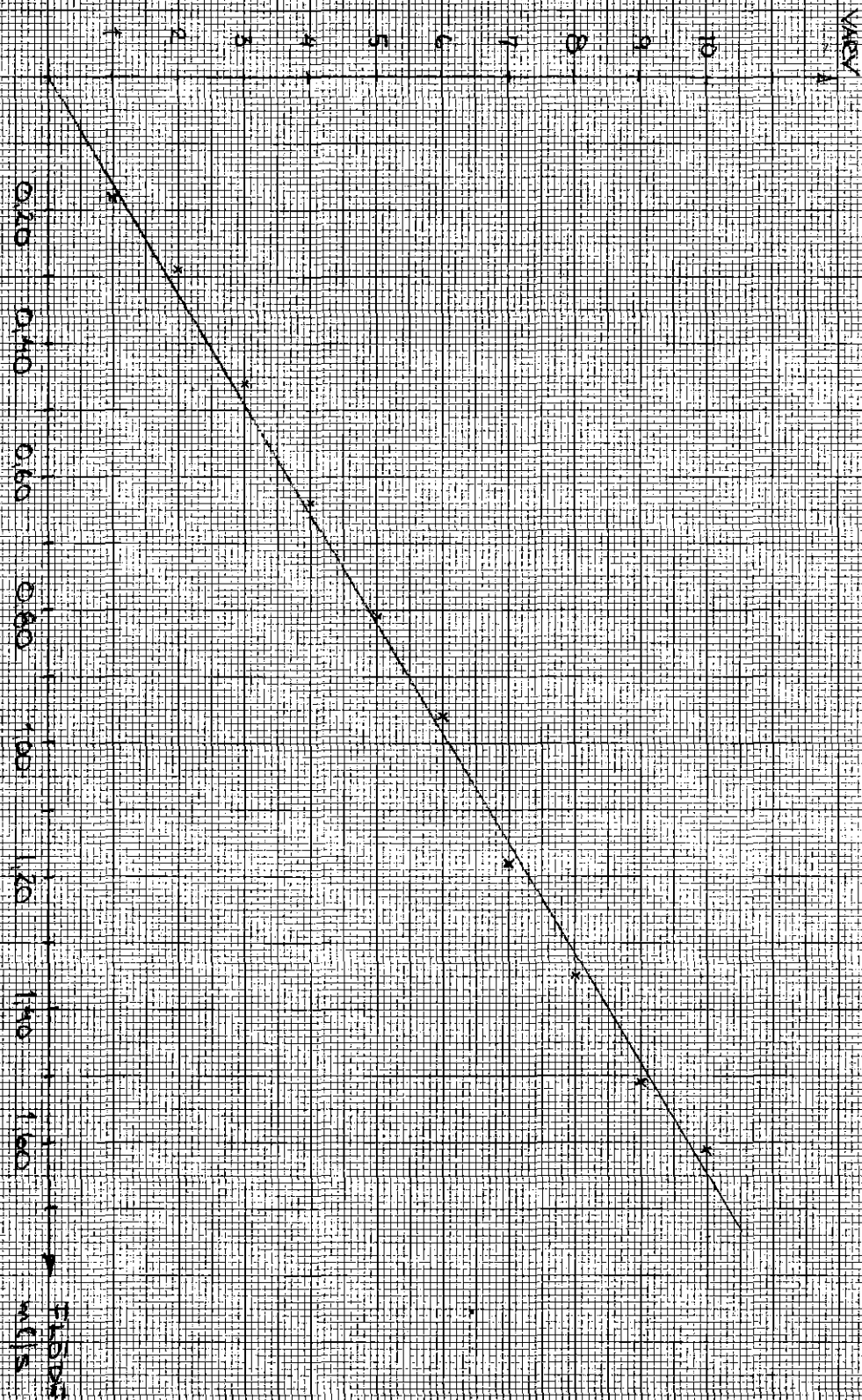
LITFÖRD JAN. -78

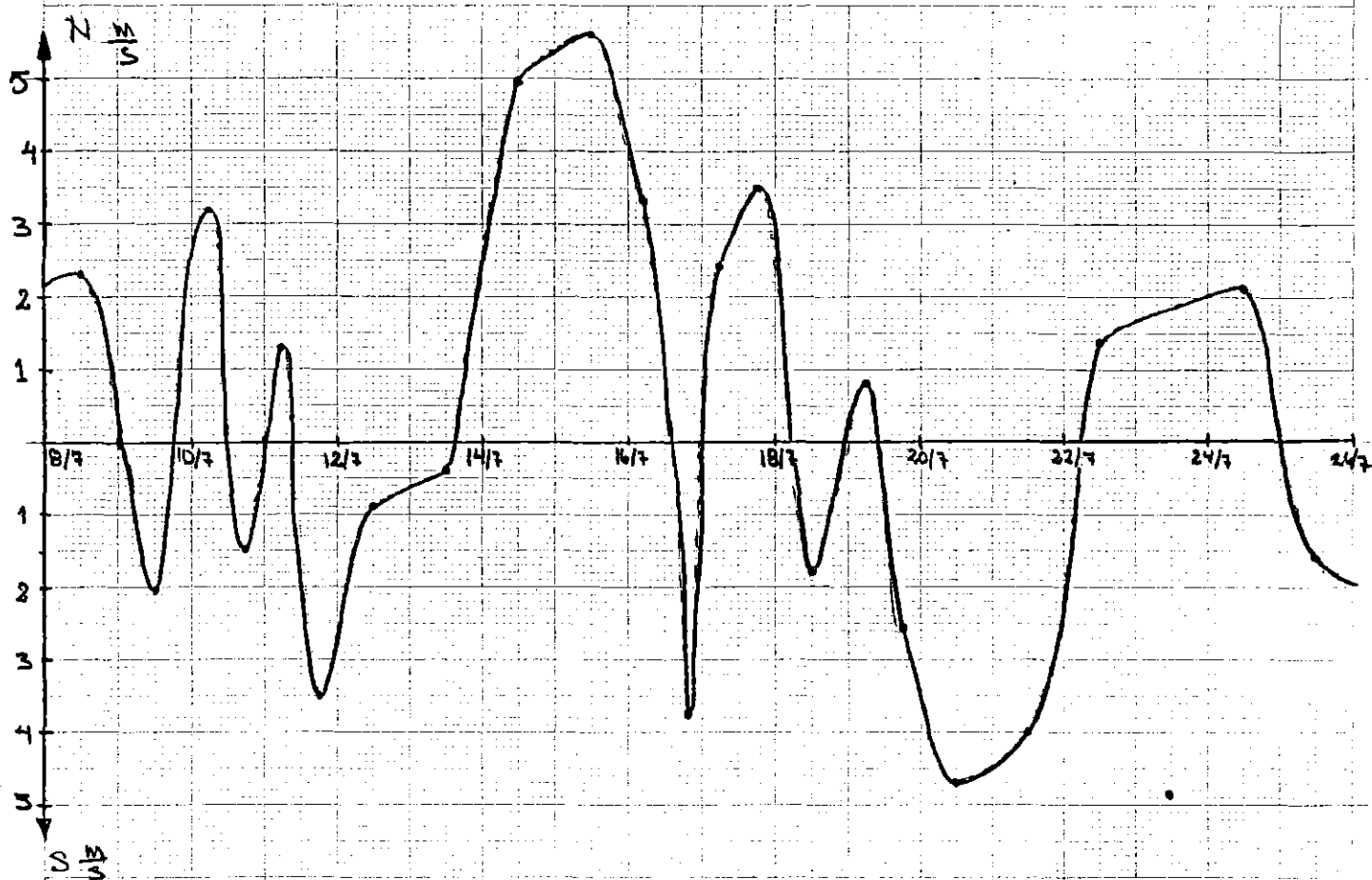
BIL. 1



KALIBRIERUNGSDIAGRAM MIKRO-MAX KONDOSREINIGAPPARAT

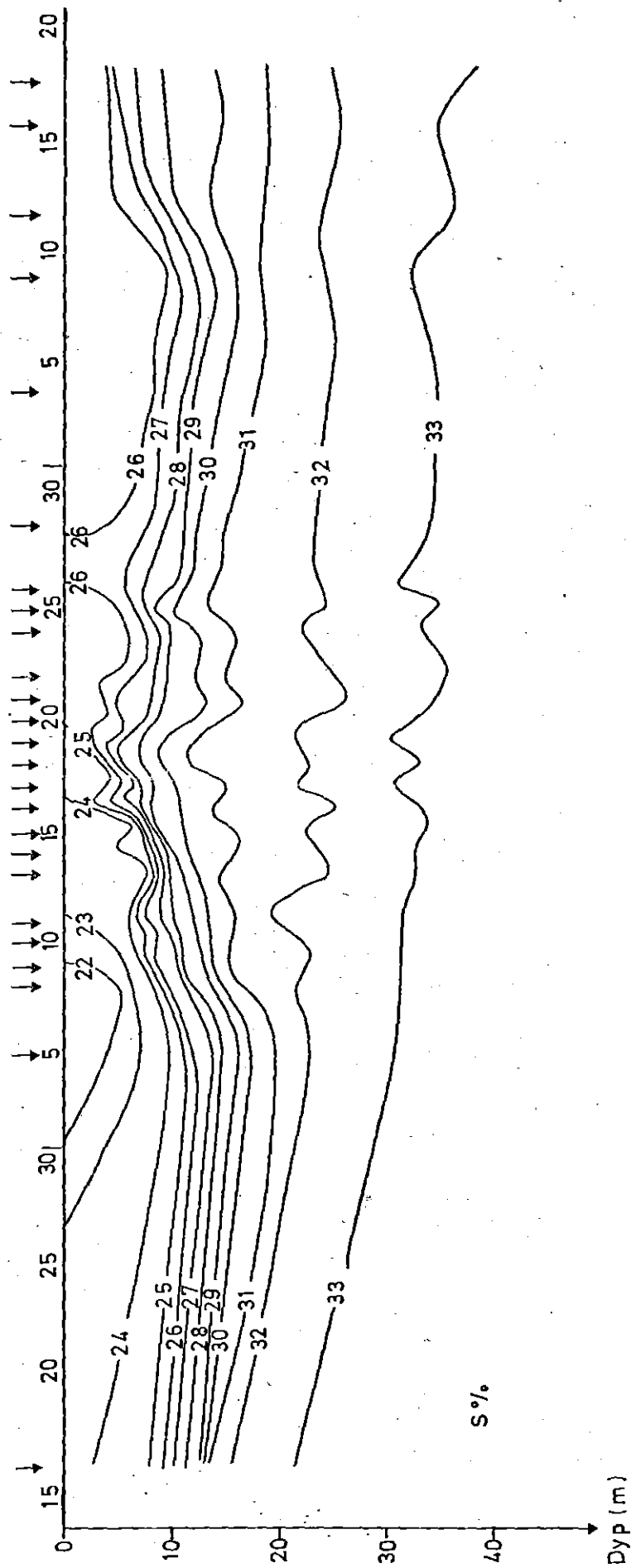
BIL 2





NORD-SYDVINDDIAGRAM BASERADE PÅ MÄTNINGAR
GJORDA VID FORNEBY FLYGPLATS, ÖSLO
OBSERVATIONERNA GJORDA VAR TIMMA

1977
JUNI JULI AUGUST



Strøm på 18 meters dyp på Drøbakterskelen

YTFÖRSÖK 8/7-77

kl. 8⁰⁵ -Tidvatten: ↘ 5³⁰ ↗ 12²⁰ ↘Vind: ↙ ONO 1 m/s kl. 9⁰⁰

Vollen

Slemmestad

Nersnes

★ 8⁰⁵

★ Strömkors

⊙ Doseringsplats

HORIZONTAL UTBREDNING

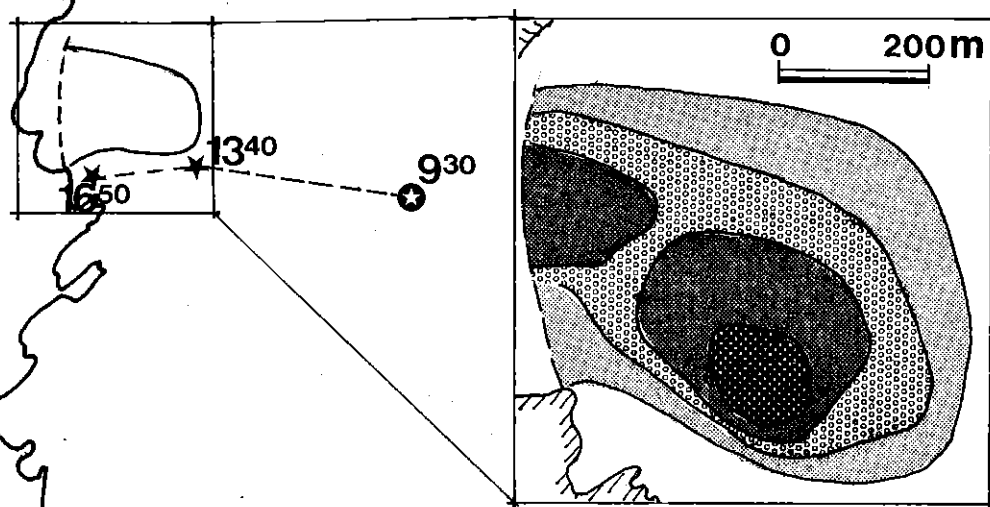
0

1 km

YTFÖRSÖK 9/7-77

kl. 9³⁰ - 16⁵⁰Tidvatten: ↘ 5³⁰ ↗ 13⁰⁰ ↘Vind: ↓ N 0 - 1 m/s kl 9³⁰ - 13⁴⁰Stiltje kl. 13⁴⁰ - 16⁵⁰

Vollen



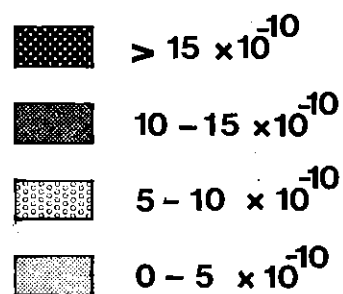
Hemmestad

Nersnes

★ Strömkors

⊙ Doseringsplats

HORIZONTAL UTBREDNING



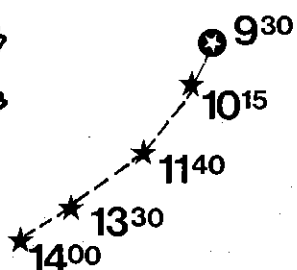
0 1 km

YTFÖRSÖK 10/7-77kl. 9³⁰ - 14⁰⁰Tidvatten: \ 7³⁰ / 14⁰⁰ \Vind: \ NO 2 m/s kl. 9³⁰ - 14⁰⁰

Vollen

Hemmestad

Nersnes



★ Strömkors

⊙ Doseringsplats

HORIZONTAL UTBREDNING

0

1 km

YTFÖRSÖK 11/7-77

kl. 8⁴⁵ - 14¹⁵

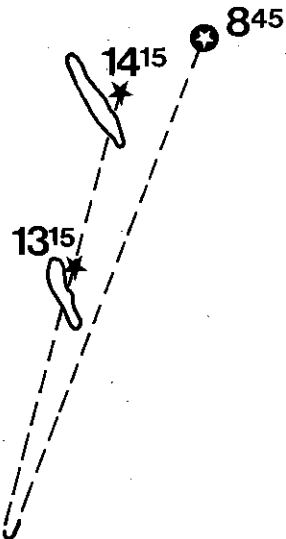
Tidvatten: \ 8⁰⁰ / 14³⁰

Vind: SSO 5 m/s kl. 12⁰⁰
kl. 14¹⁵ 7 m/s
O 1 m/s kl. 8⁴⁵

Vollen

Slommestad

Nersnes



★ Strömkors

⊙ Doseringsplats

HORIZONTAL UTBREDNING



0 1 km

YTFÖRSÖK 18/7-77kl. 10³⁰ – 14³⁵Tidvatten: ↗ 8³⁰ ↘ 15³⁰

Vind: Stiltje

Vollen



Blemmestad

Nersnes

★ Strömkors

⊛ Doseringsplats

HORIZONTAL UTBREDNING

0 1 km

YTFÖRSÖK**20/7-77**kl. 8⁴⁵–11⁵⁵**Vollen**★ 8⁴⁵★ 9⁵⁰★ 11⁰⁰Tidvatten: ↘ 7⁰⁰ ↗ 9⁰⁰ ↘ 14⁰⁰

Vind:

S 8 – 12 m/s
kl. 11⁰⁰ – 11⁵⁵SO 6 m/s
kl. 8⁴⁵ – 11⁰⁰**Ålemmestad****Nersnes**

★ Strömkors

⊙ Doseringsplats

HORIZONTAL UTBREDNING

0 1 km

YTFÖRSÖK 21/7-77

kl. 8³⁰ - 13⁰⁰Tidvatten: \ 7⁰⁰ / 9³⁰ \ 14⁰⁰Vind: ↙ SO 2 m/s kl. 12⁰⁰↓ N 1 m/s kl. 9⁰⁰

Vollen

Blemmestad

Nersnes

★ Strömkors

⊙ Doseringsplats

HORISONTAL UTBREDNING

0

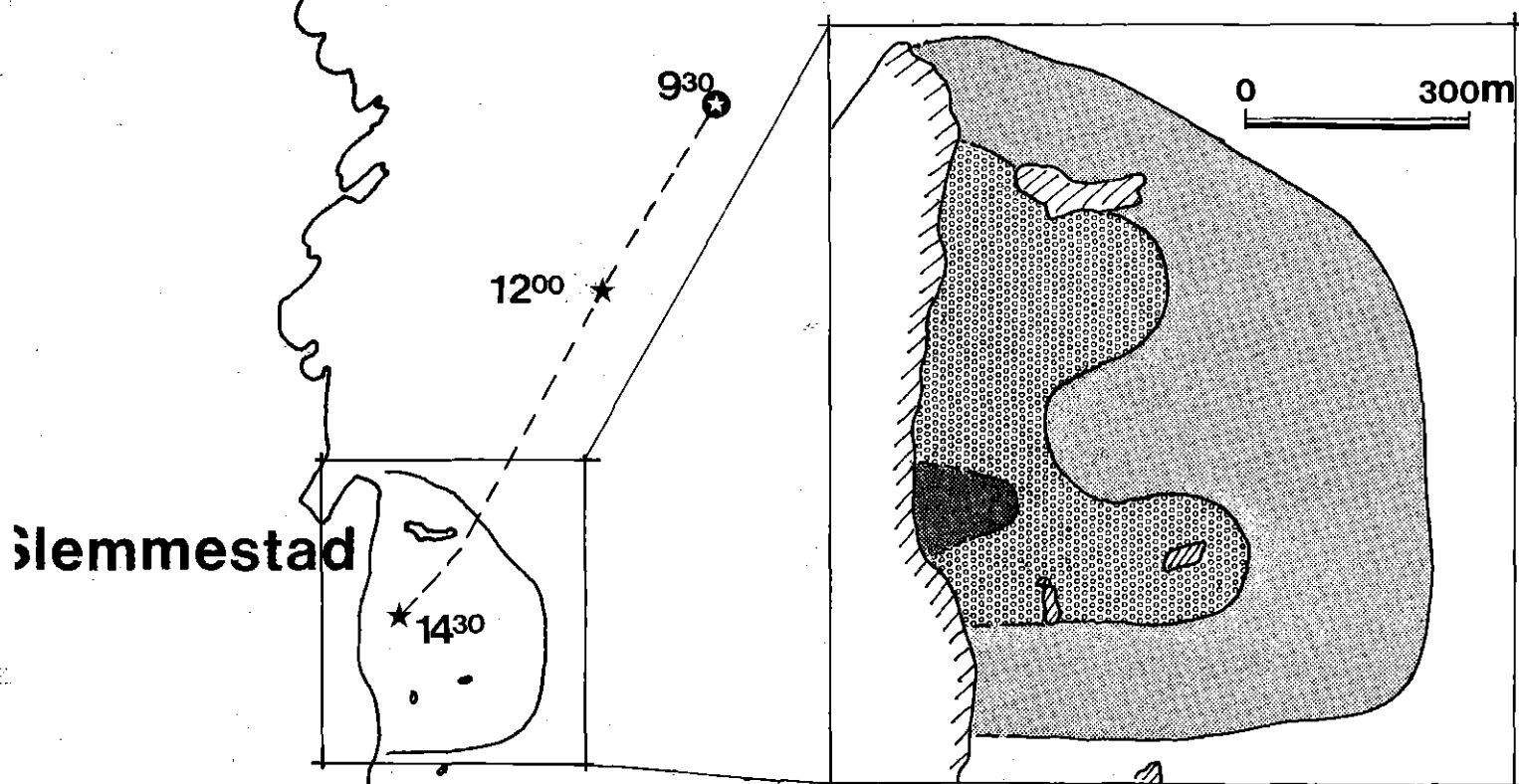
1 km

YTFÖRSÖK 22/7-77kl. 9³⁰ - 14³⁰Tidvatten: ↘ 3⁰⁰ ↗ 10⁰⁰ ↘ 14³⁰Vind: / NNO 2 m/s
↙ kl. 9³⁰ - 14³⁰

Vollen

Slemmestad

Nersnes

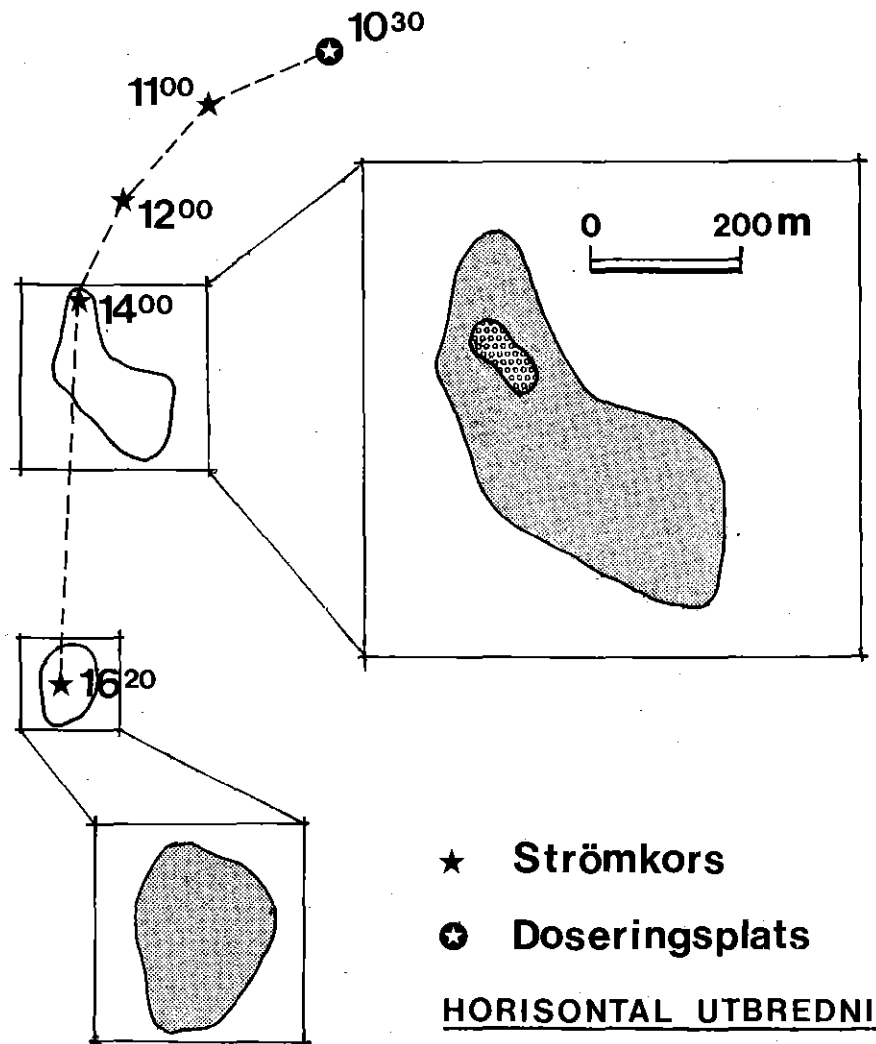


★ Strömkors

⊙ Doseringsplats

HORISONTAL UTBREDNING
 $> 15 \times 10^{-10}$
 $10 - 15 \times 10^{-10}$
 $5 - 10 \times 10^{-10}$
 $0 - 5 \times 10^{-10}$

0 1 km

YTFÖRSÖK 24/7-77kl. 10³⁰ – 16²⁰Tidvatten: ↘ 4³⁰ ↗ 11⁰⁰ ↘ 15³⁰Vind: ↙ NNO 2 m/s kl. 10³⁰ – 11⁰⁰kl. 11⁰⁰ – 16²⁰ Ständigt skiftande
vindriktning ca: 1 m/s**Vollen****ilemmestad****Nersnes**

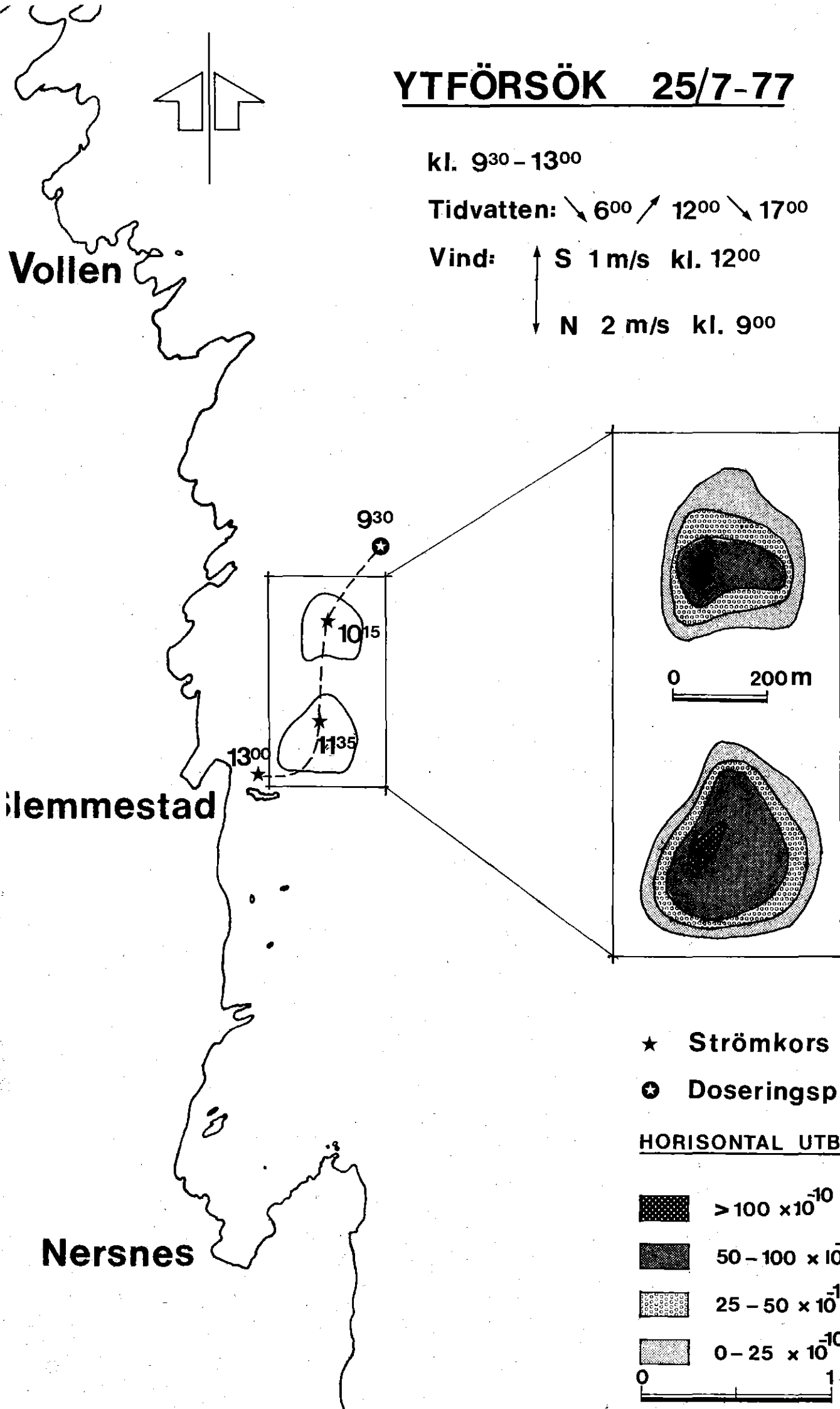
YTFÖRSÖK 25/7-77

kl. 9³⁰ – 13⁰⁰Tidvatten: \ 6⁰⁰ / 12⁰⁰ \ 17⁰⁰Vind: ↑ S 1 m/s kl. 12⁰⁰↓ N 2 m/s kl. 9⁰⁰

Vollen

Blemmestad

Nersnes



★ Strömkors

● Doseringsplats

HORIZONTAL UTBREDNING

 $> 100 \times 10^{-10}$
 $50 - 100 \times 10^{-10}$
 $25 - 50 \times 10^{-10}$
 $0 - 25 \times 10^{-10}$

0 1 km

YTFÖRSÖK 25/7-77

kl. 14⁴⁰ – 20⁵⁰Tidvatten: ↗ 12⁰⁰ ↘ 17⁰⁰ ↗ 24⁰⁰Vind: 0 m/s kl. 14⁴⁰ – 18⁰⁰

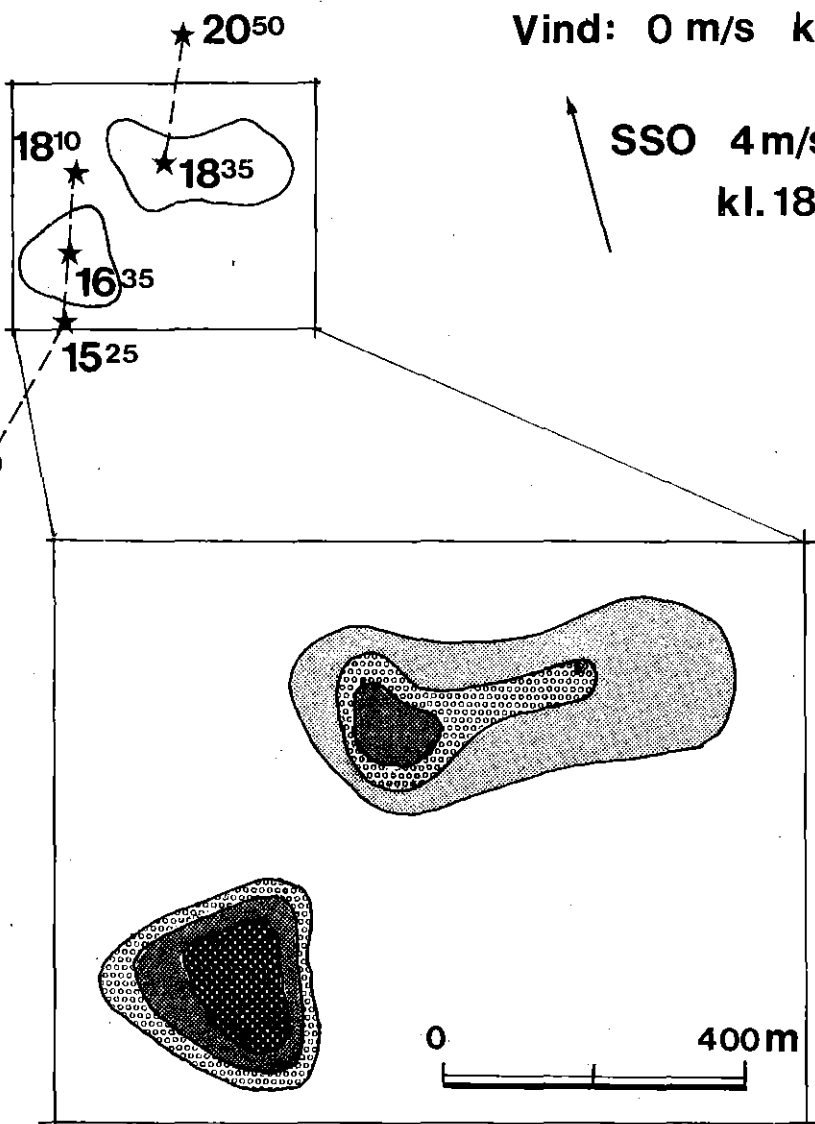
SSO 4 m/s

kl. 18⁰⁰ – 21⁰⁰

Vollen

Blemmestad

Nersnes



★ Strömkors

⊙ Doseringsplats

HORIZONTAL UTBREDNING

 $> 100 \times 10^{-10}$
 $50 - 100 \times 10^{-10}$
 $25 - 50 \times 10^{-10}$
 $0 - 25 \times 10^{-10}$

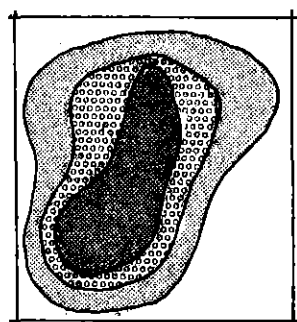
0 1 km

YTFÖRSÖK 28/7-77kl. 10⁴⁵ – 16⁴⁰Tidvatten: ↘ 9⁰⁰ ↗ 16⁰⁰Vind: ↙ SO 1 m/s kl. 12⁰⁰NNO 0.5 m/s kl. 10⁰⁰

Vollen

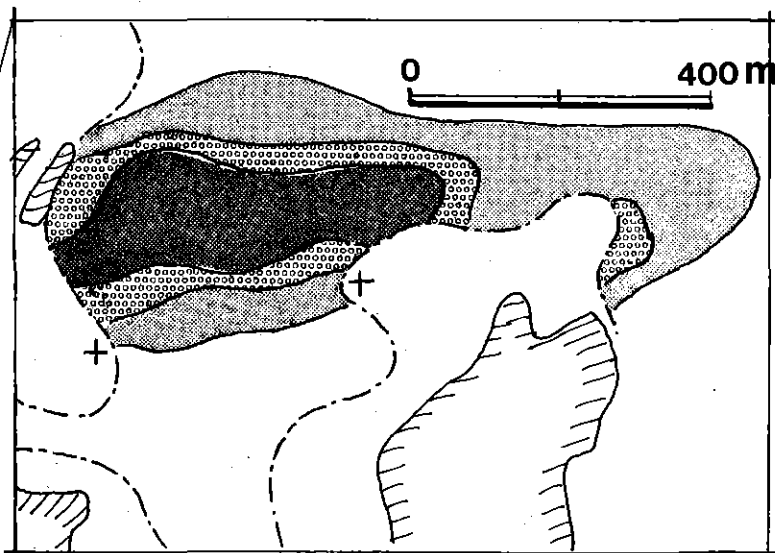
Hemmestad

Nersnes

10⁴⁵

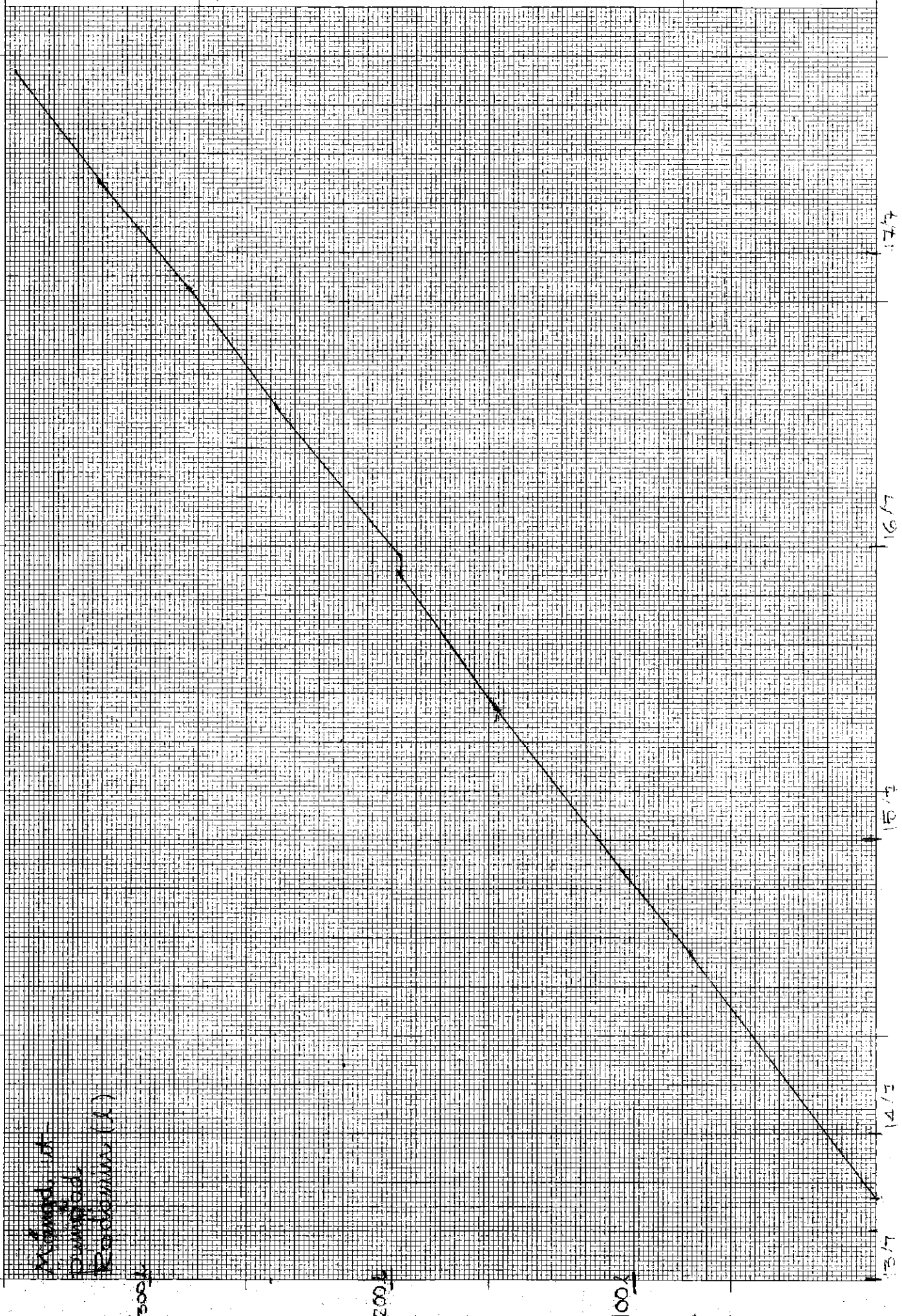
★ Strömkors

⊙ Doseringsplats

12⁰⁰★13³⁰★13⁰⁵★★ 14³⁰HORIZONTAL UTBREDNING
 $> 100 \times 10^{-10}$
 $50 - 100 \times 10^{-10}$
 $25 - 50 \times 10^{-10}$
 $0 - 25 \times 10^{-10}$

0 1 km

Utpumpad mängd Rodamín
från Gran

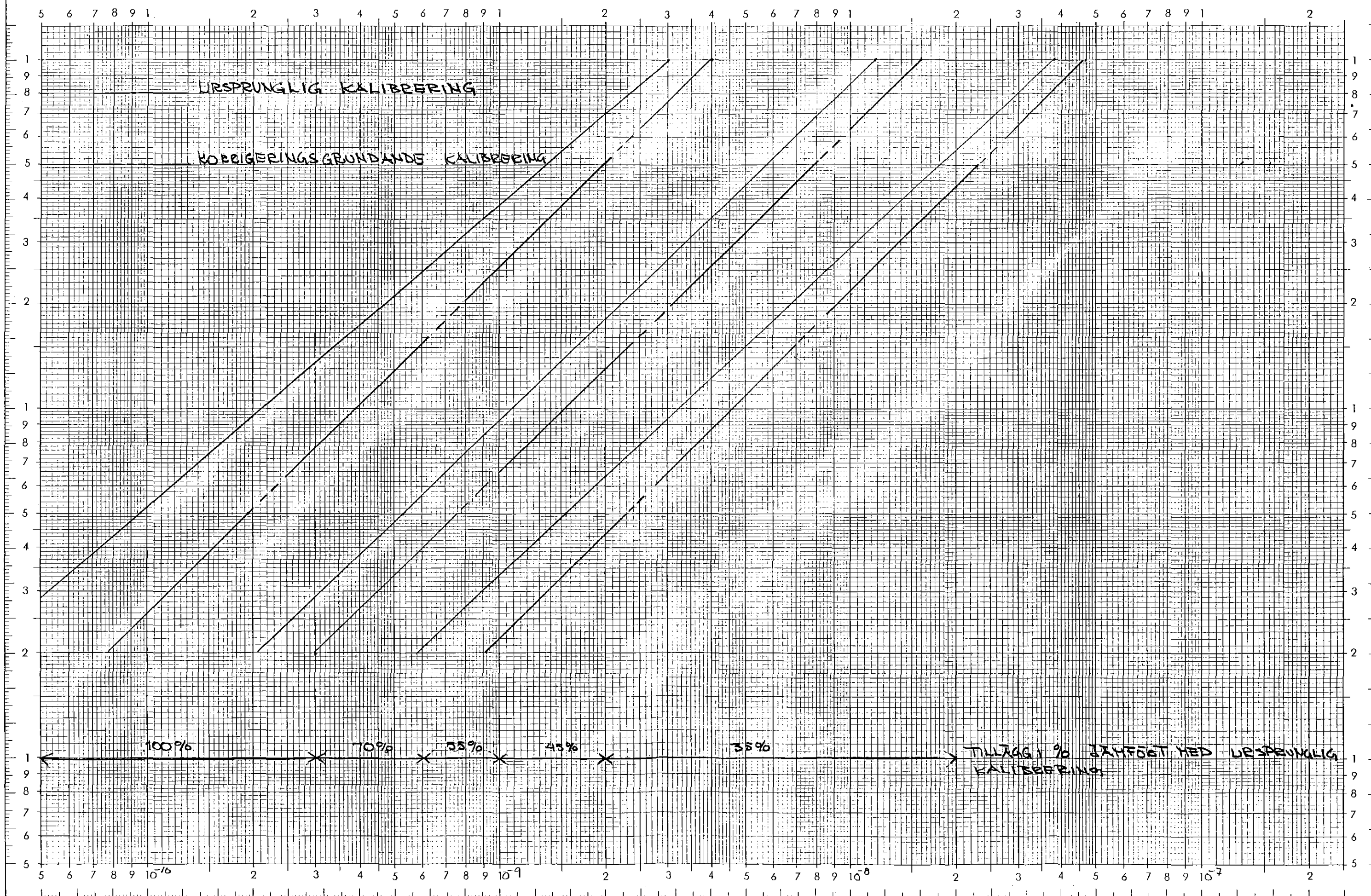


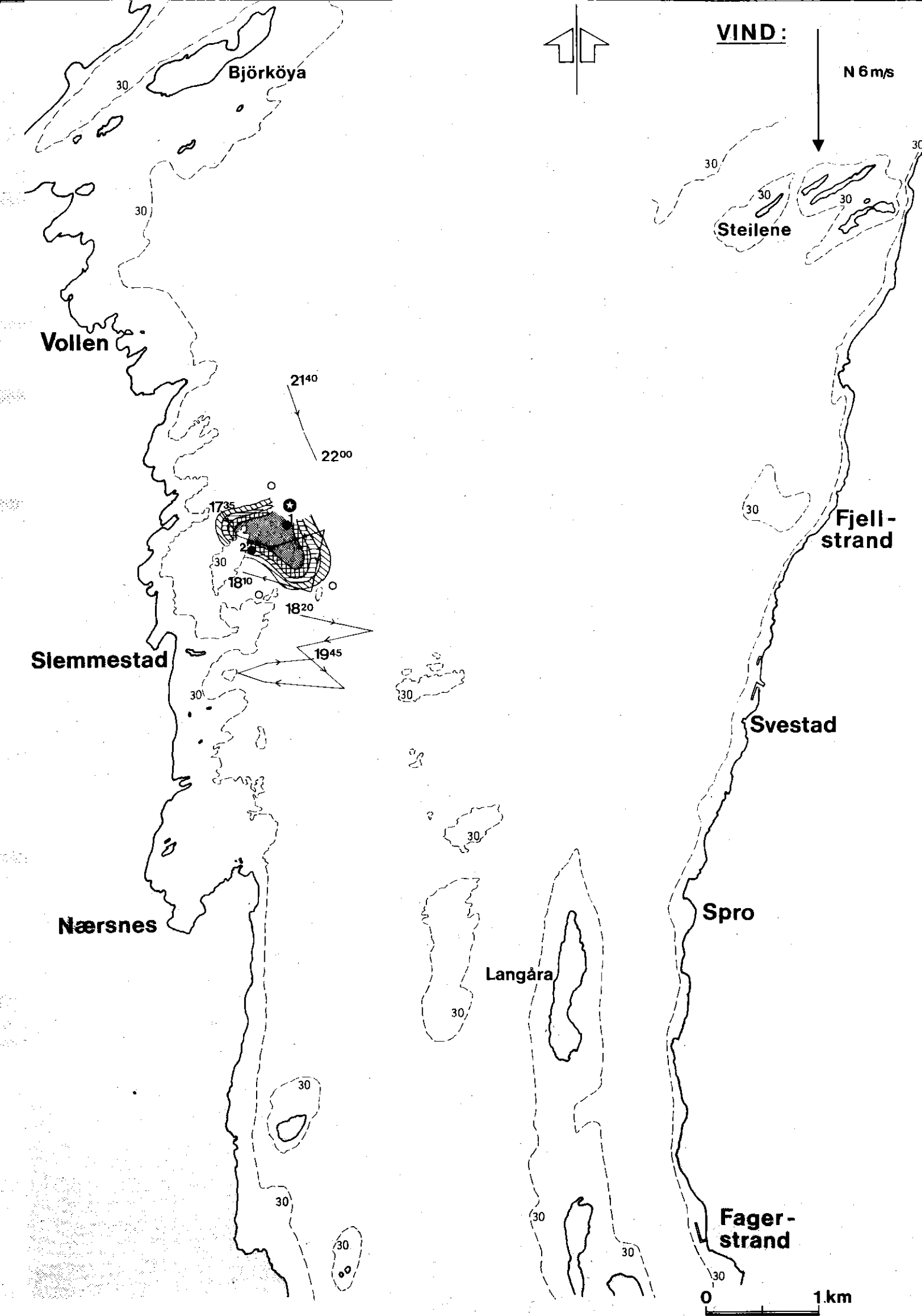
FLOWMETER NR. 3087 CTH

TEMP. 15.6-16.0 °C

BIL. 18

MÄTVÄRDEN I DAGAMMET KORRIGERADE FÖR BAKGRUNDSFLÖDEGÅNGS





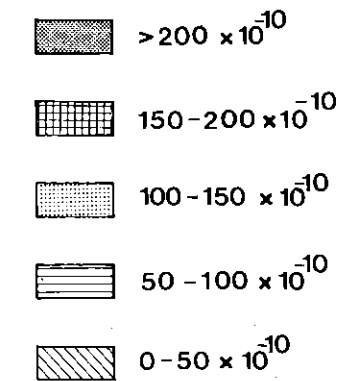
SPORSTOFFMÅLING I DYPVANNET BIL. 19

VESTFJORDEN 14/7 1977 kl. 17⁰⁰–23⁰⁰

Tid etter doseringens start: 1 døgn

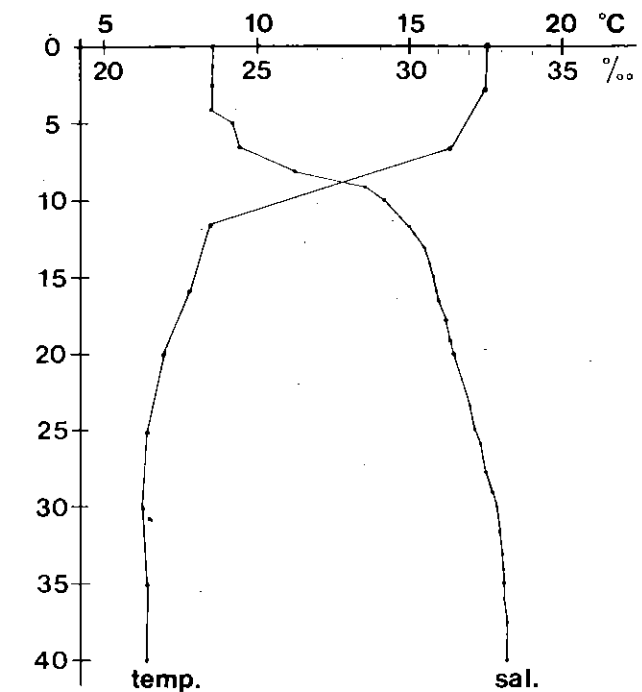
HORISONTAL UTBREDNING

Største målte konsentrasjon for hvert målepunkt

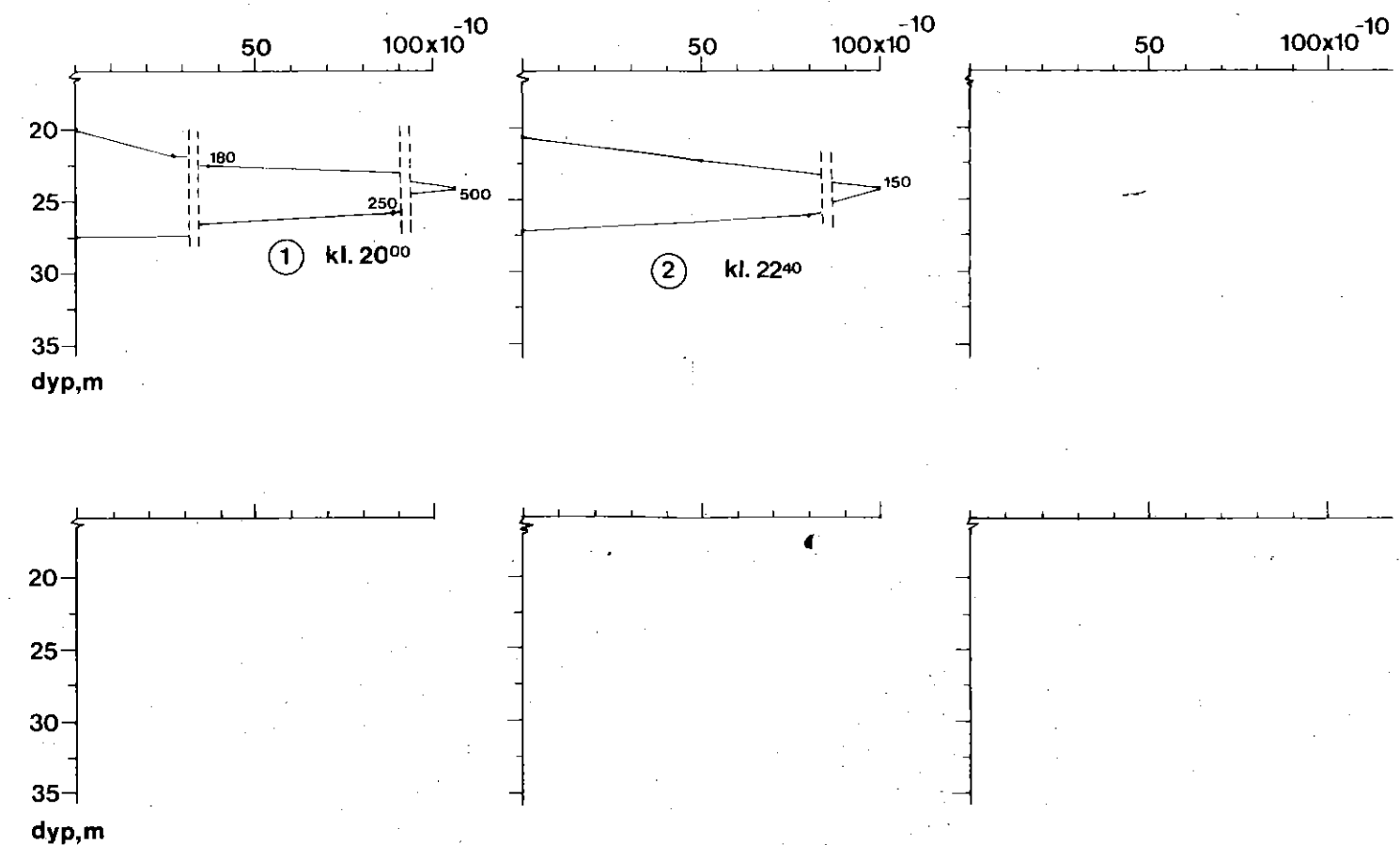


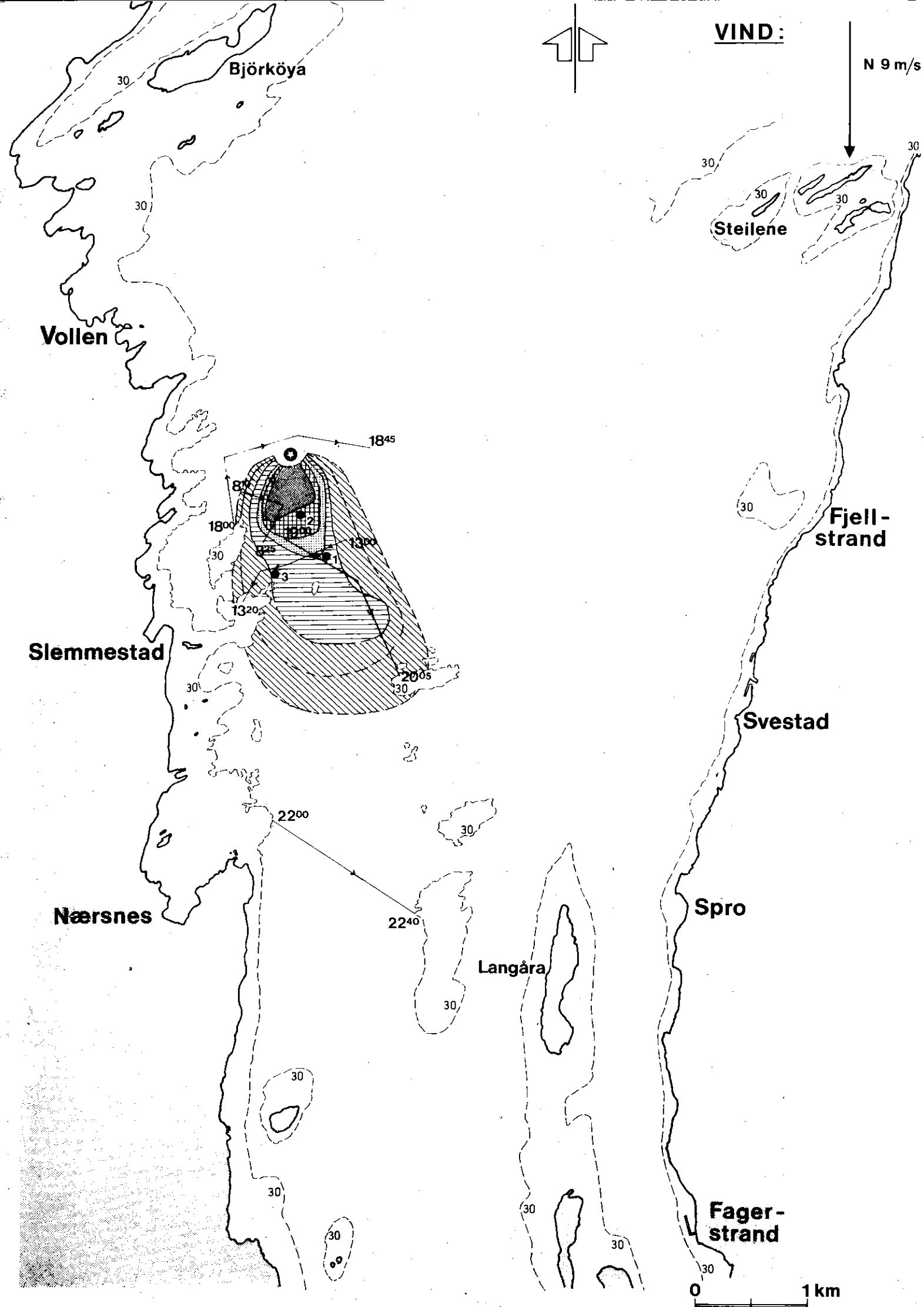
- Målepunkt, med opptegnet konsentrasjonsprofil
- Målepunkt, uten funn av sporstoff
- ⊙ Doseringsplass

SALINITET OG TEMP



KONSENTRASJONSPROFILER, SPORSTOFF





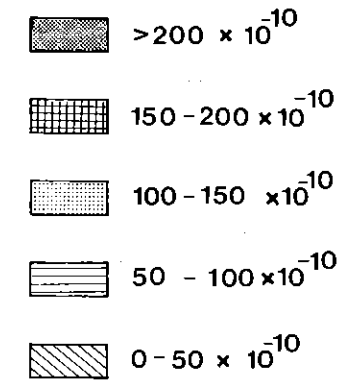
SPORSTOFFMÅLING I DYPVANNET BIL. 20

VESTFJORDEN 15/7 1977 kl. 8⁰⁰–23⁰⁰

Tid etter doseringens start: 2 døgn

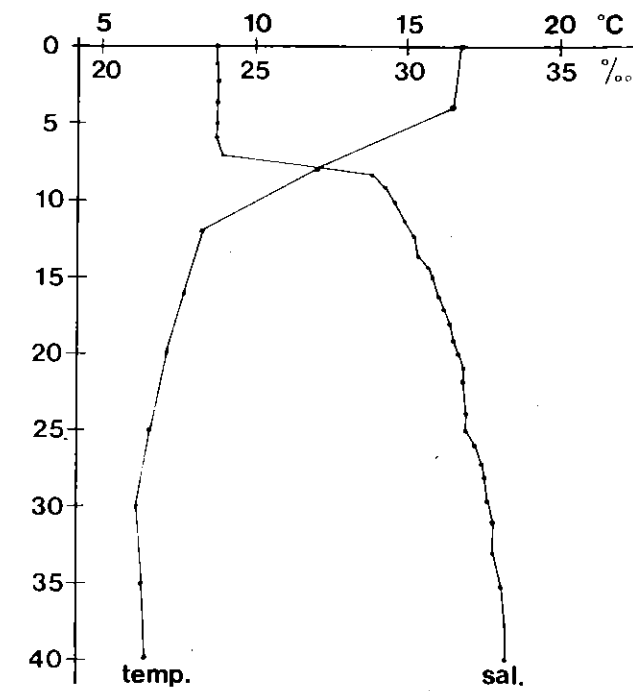
HORIZONTAL UTBREDNING

Største målte konsentrasjon for hvert målepunkt

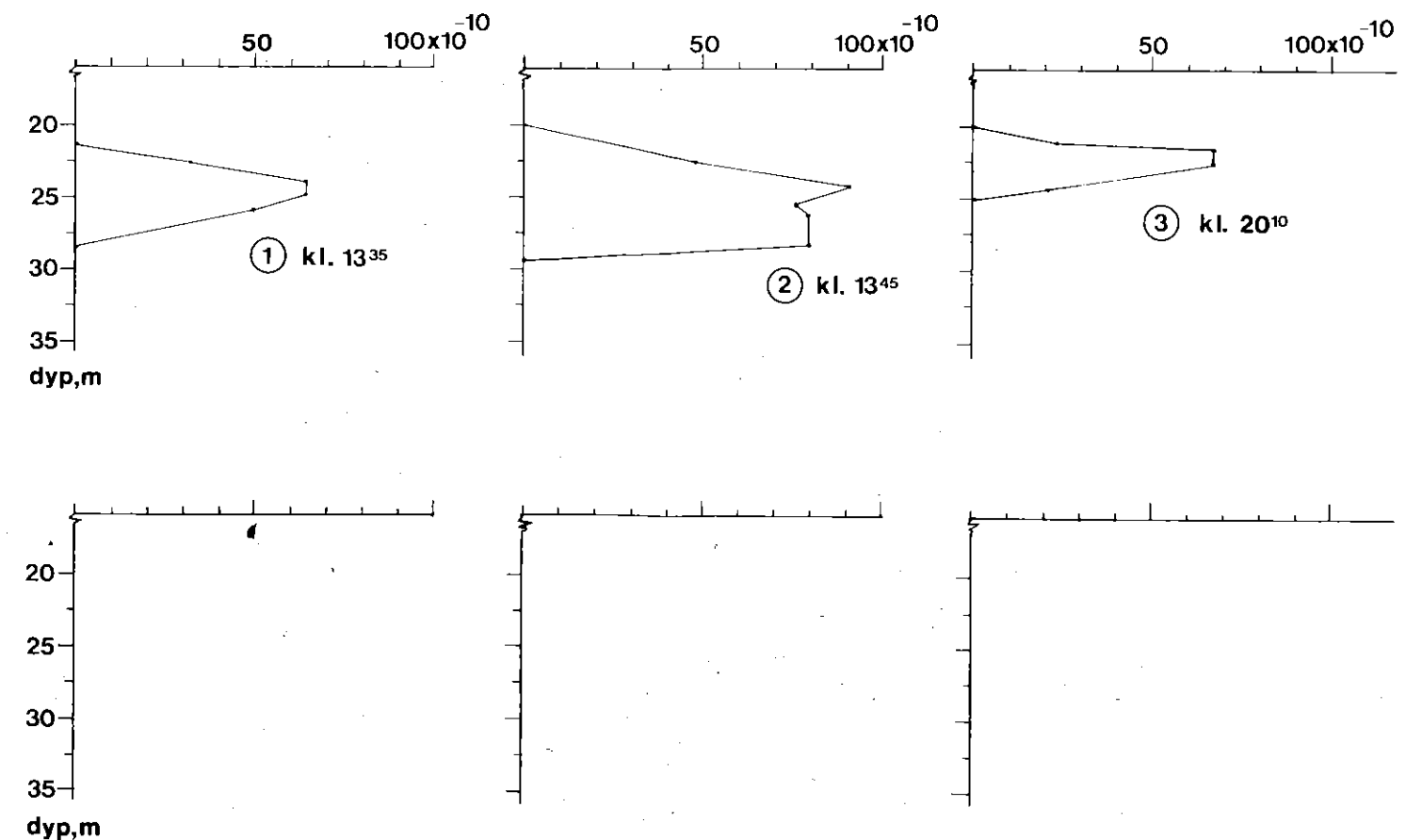


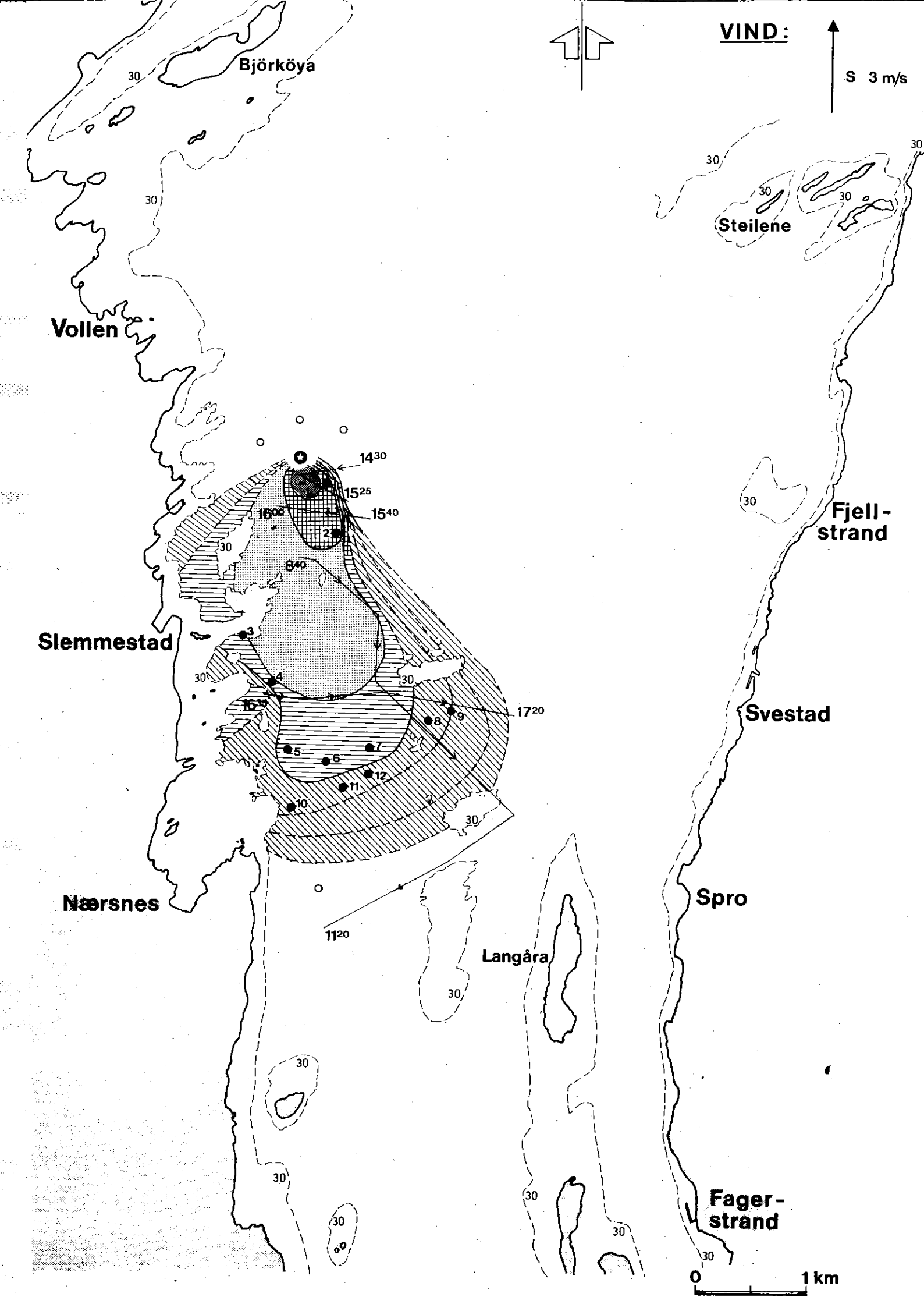
- Målepunkt, med opptegnet konsentrasjonsprofil
- Målepunkt, uten funn av sporstoff
- ⊛ Doseringsplass

SALINITET OG TEMP



KONSENTRASJONSPROFILER, SPORSTOFF





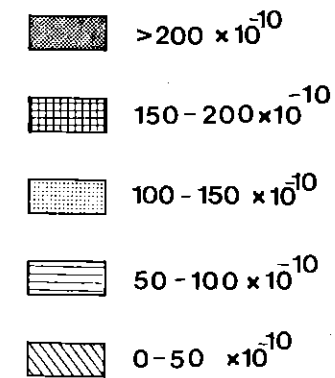
SPORSTOFFMÅLING I DYPVANNET BIL. 21

VESTFJORDEN 16/7 1977 kl. 7³⁰–22⁰⁰

Tid etter doseringens start: 3 døgn

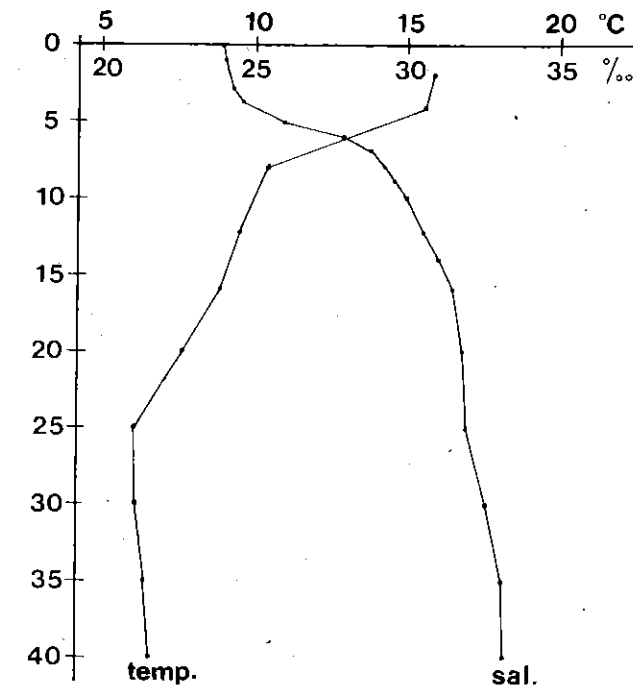
HORISONTAL UTBREDNING

Største målte konsentrasjon for hvert målepunkt

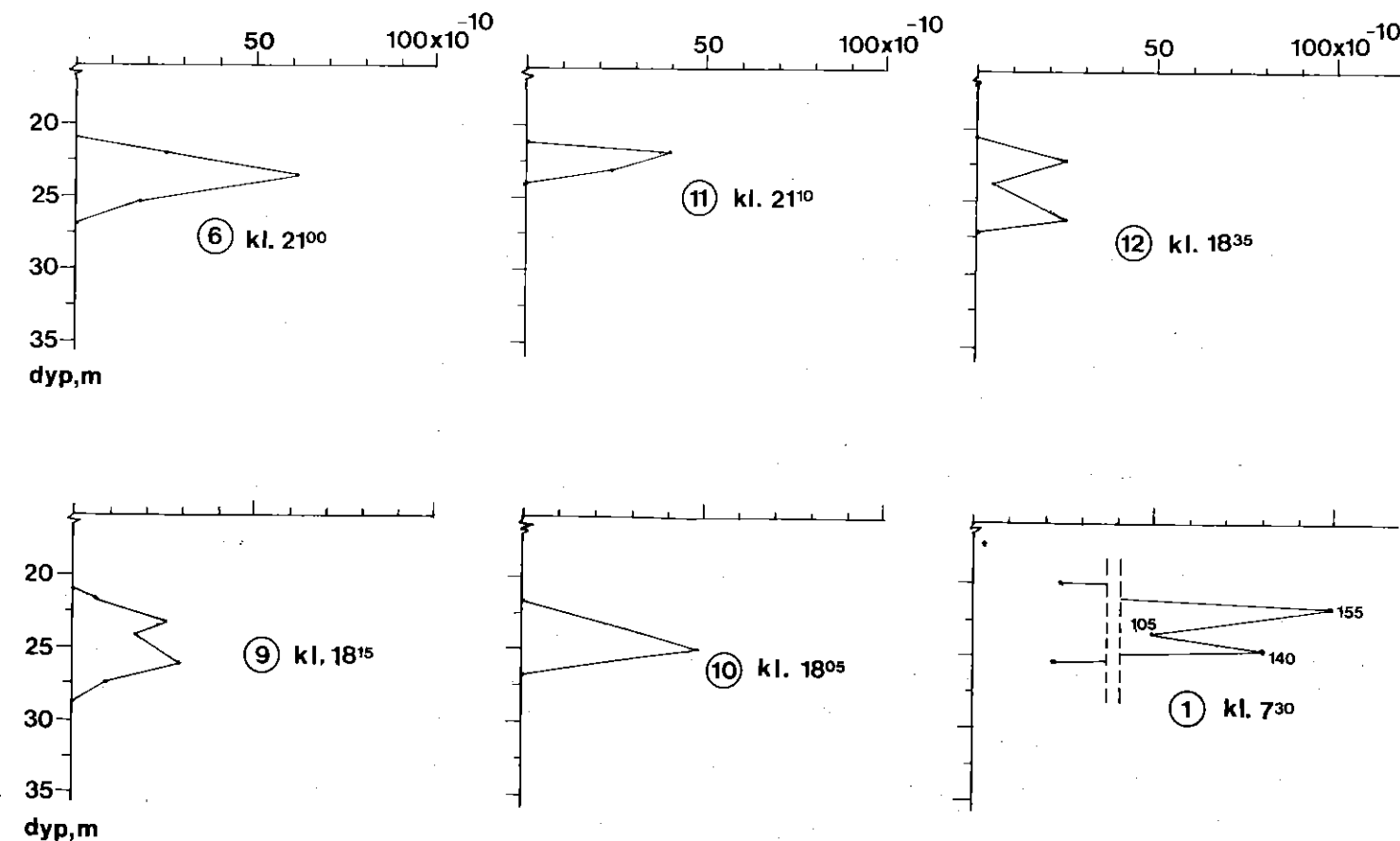


- Målepunkt, med opptegnet konsentrasjonsprofil
- Målepunkt, uten funn av sporstoff
- ⊙ Doseringsplass

SALINITET OG TEMP



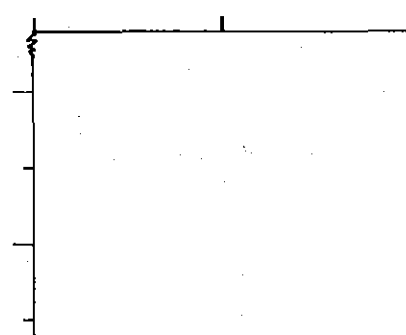
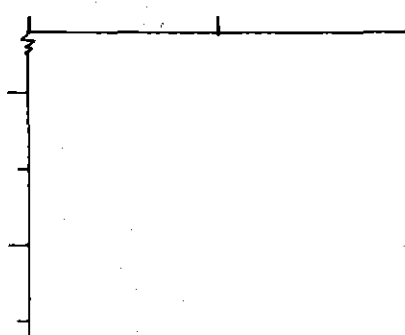
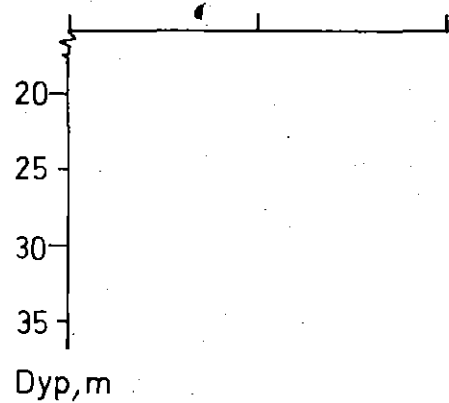
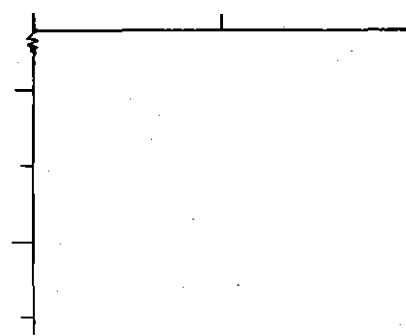
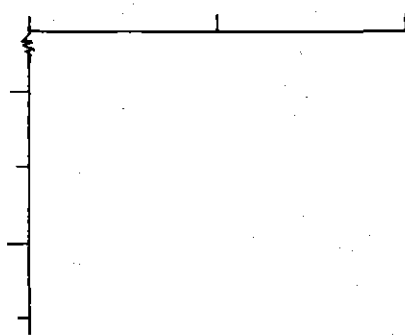
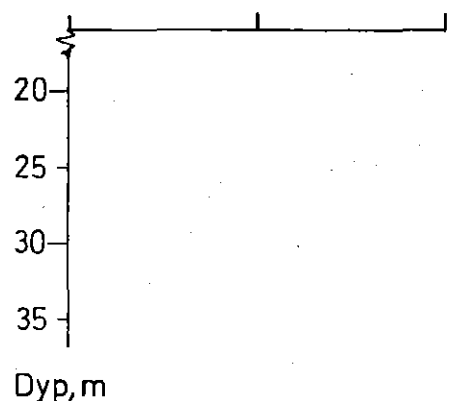
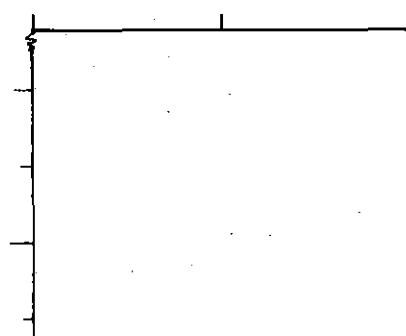
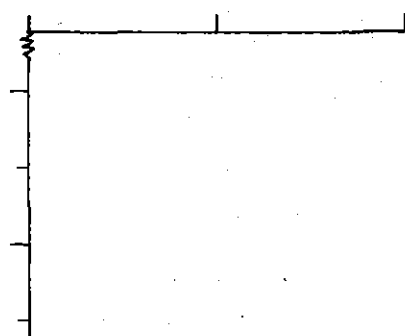
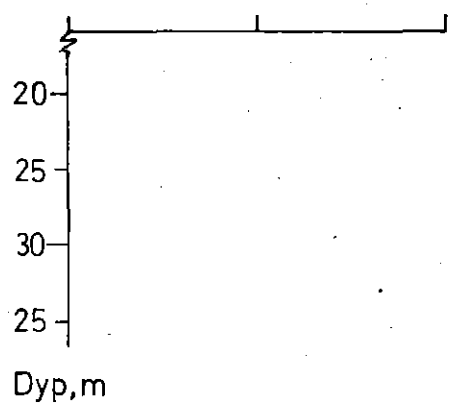
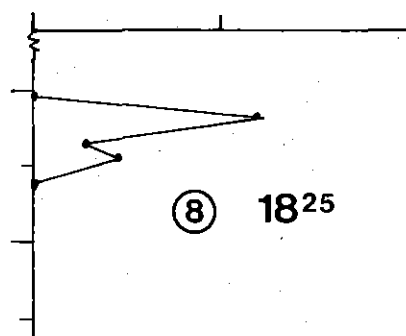
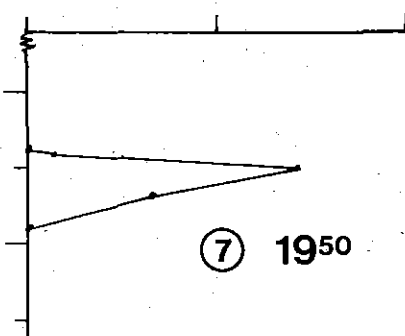
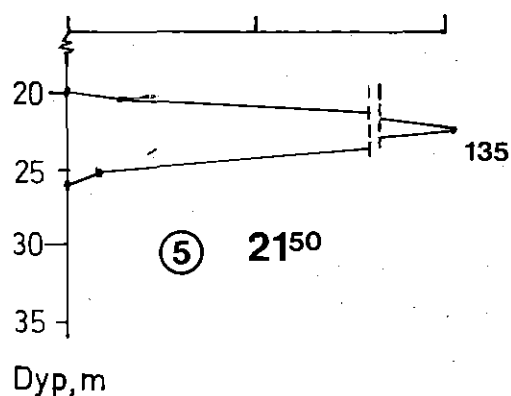
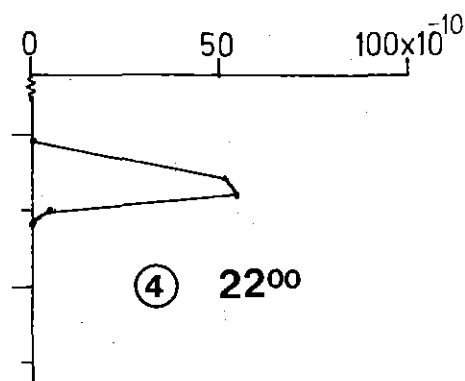
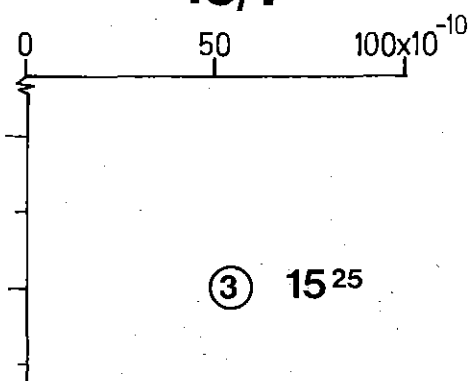
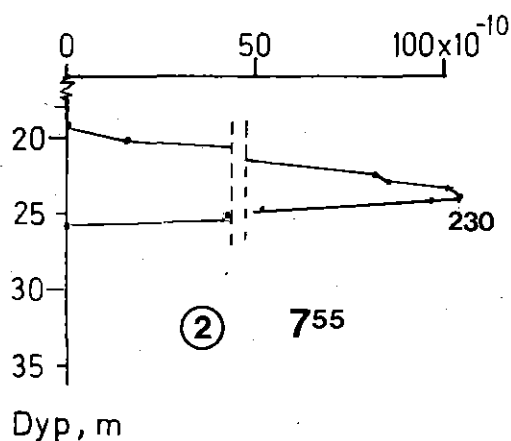
KONSENTRASJONSPROFILER, SPORSTOFF

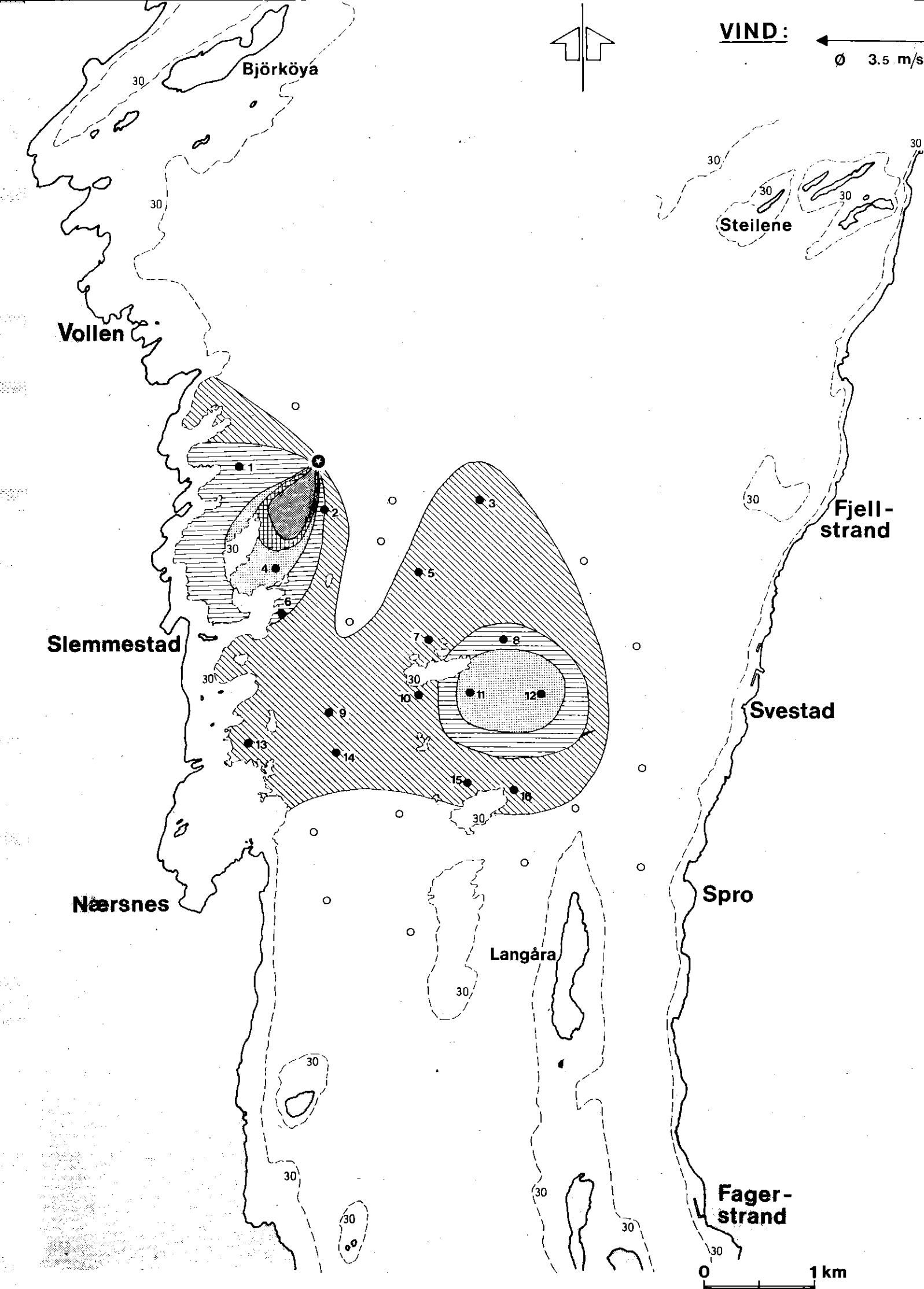


KONSENTRASJONSPROFILER I VESTFJORDEN, SPORSTOFF

16/7

BIL. 22





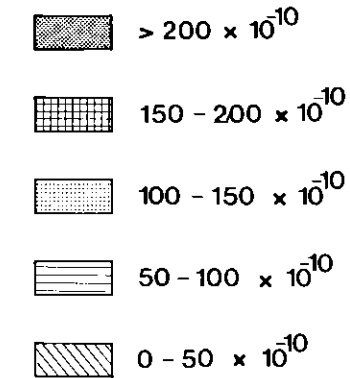
SPORSTOFFMÅLING I DYPVANNET BIL.23

VESTFJORDEN 17/7 1977 kl. 8⁰⁰-22⁰⁰

Tid etter doseringens start: 4 døgn

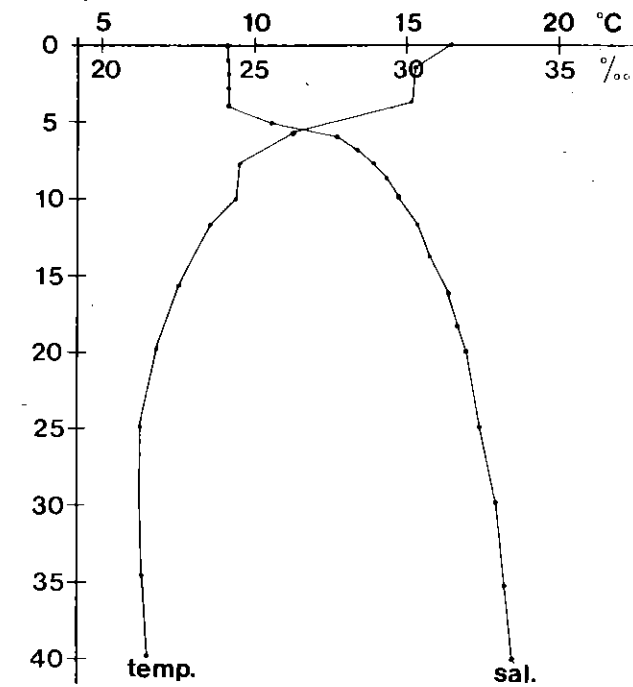
HORIZONTAL UTBREDNING

Største målte konsentrasjon for hvert målepunkt

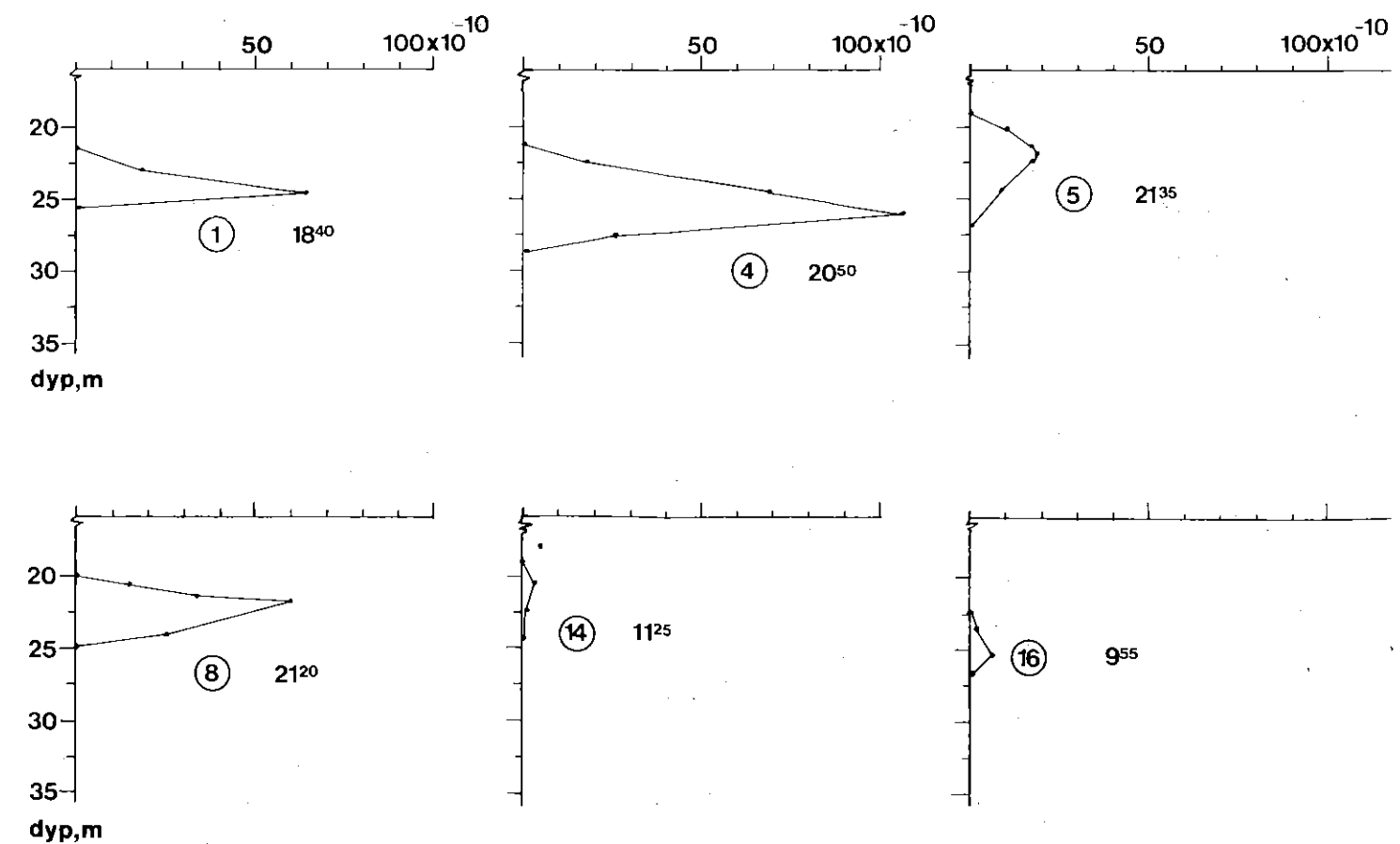


- Målepunkt, med opptegnet konsentrasjonsprofil
- Målepunkt, uten funn av sporstoff
- ★ Doseringsplass

SALINITET OG TEMP



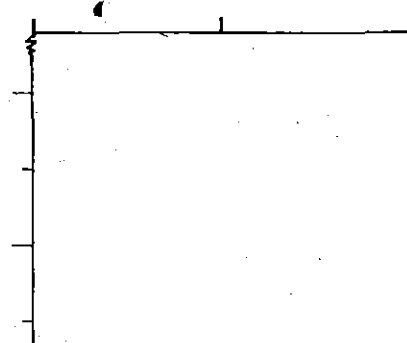
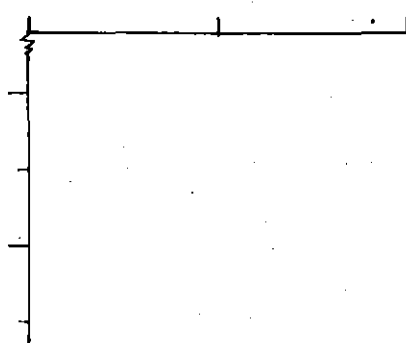
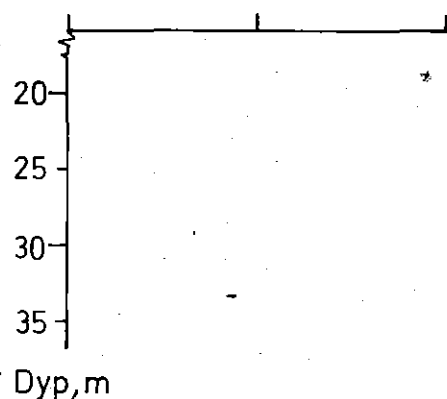
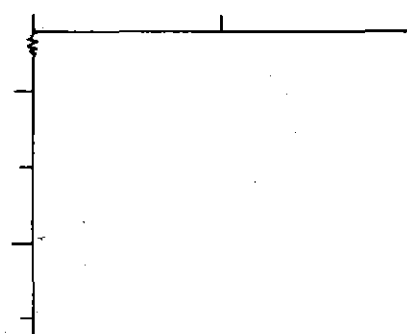
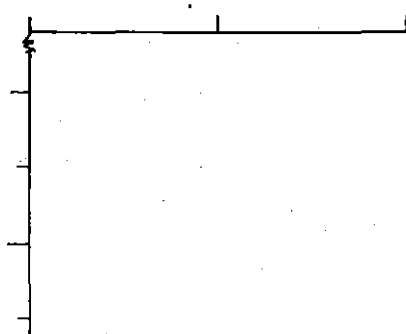
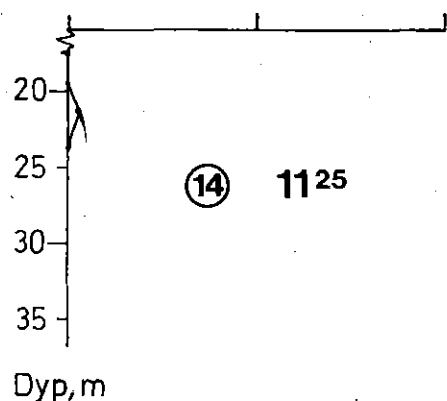
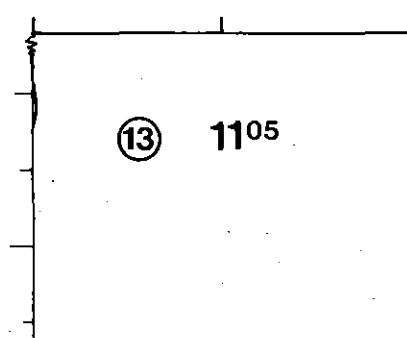
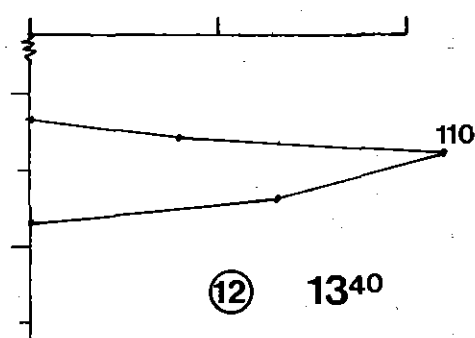
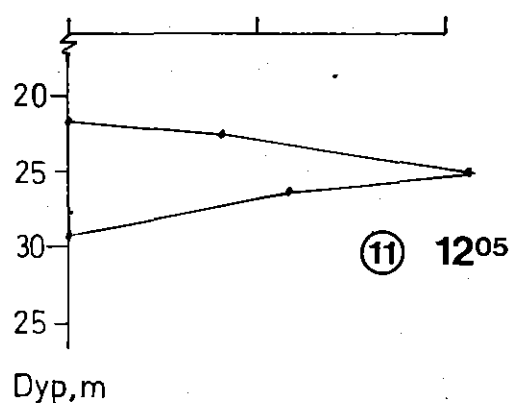
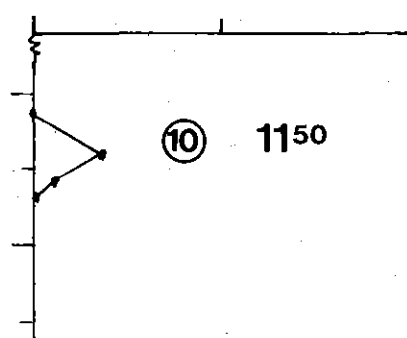
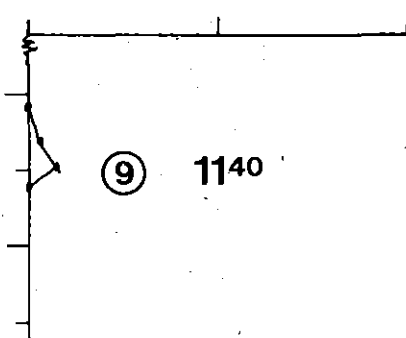
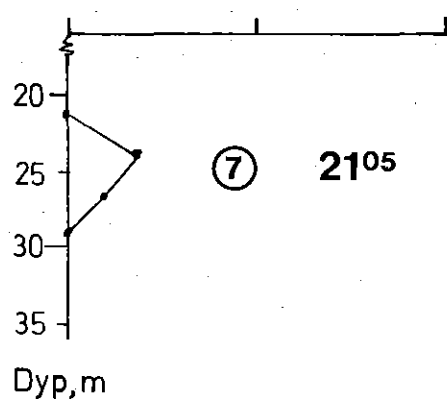
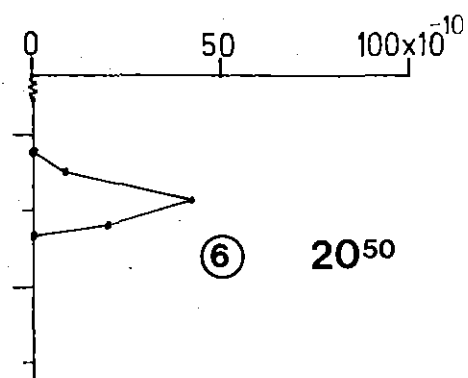
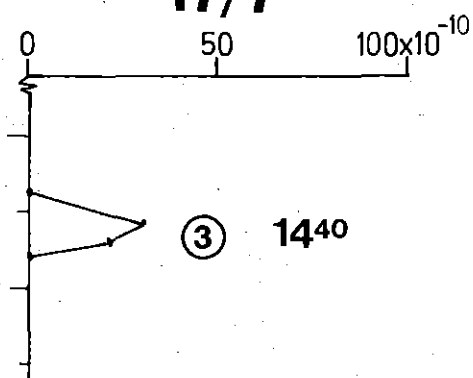
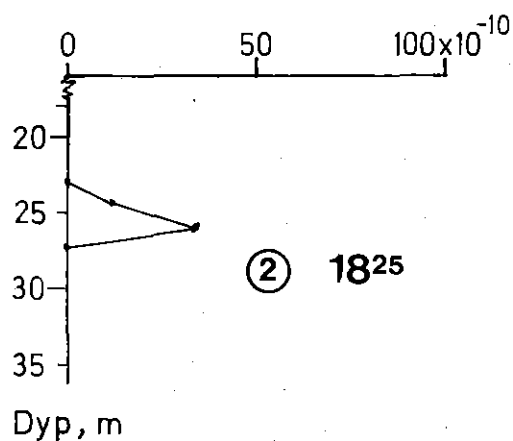
KONSENTRASJONSPROFILER, SPORSTOFF

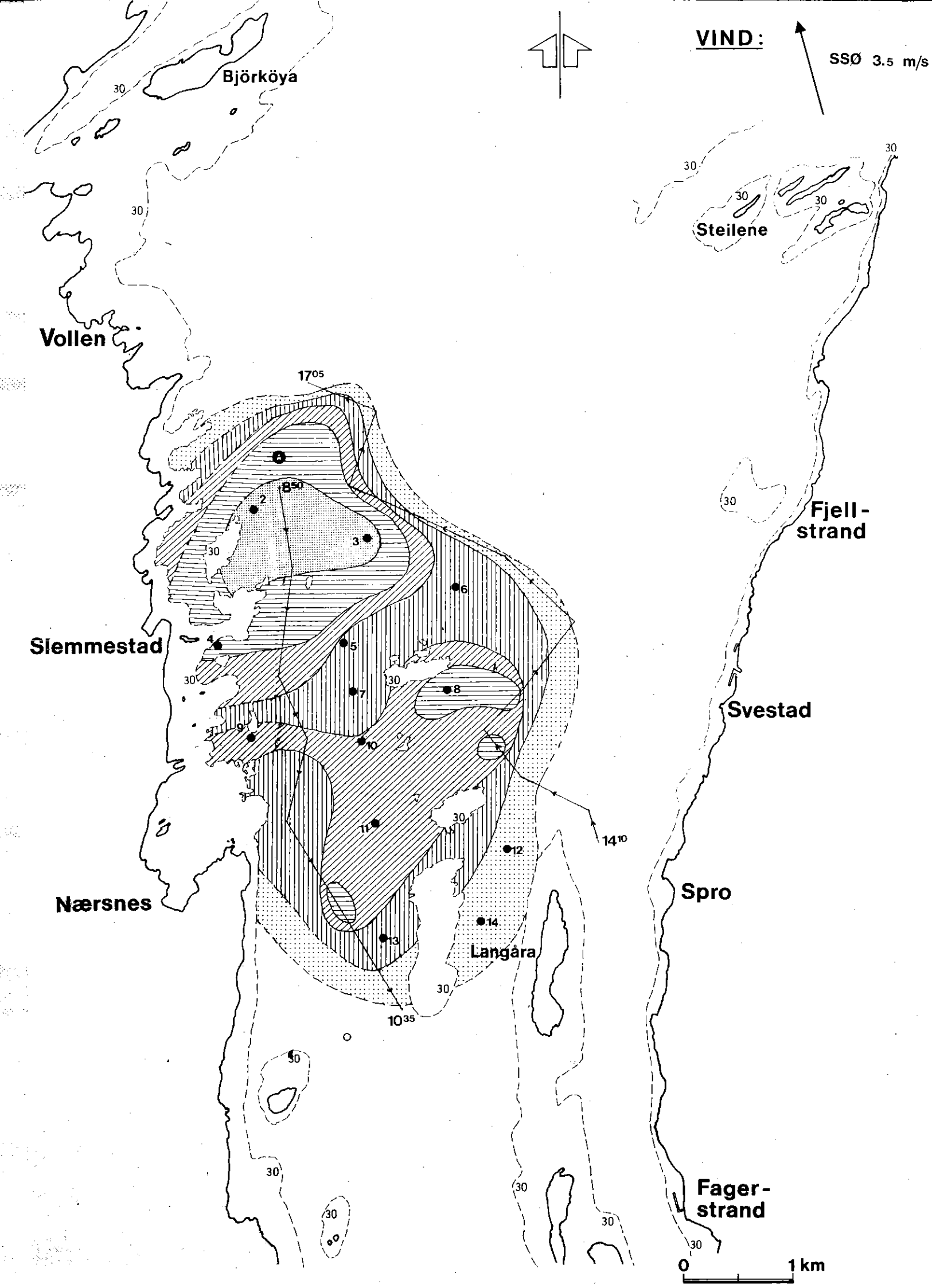


KONSENTRASJONSPROFILER I VESTFJORDEN , SPORSTOFF

BIL. 24

17/7





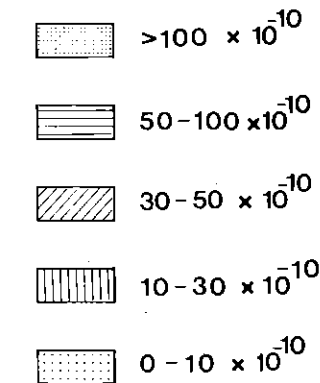
SPORSTOFFMÅLING I DYPVANNET BIL. 25

VESTFJORDEN 19/7 1977 kl. 8⁰⁰–21⁰⁰

Tid etter doseringens start : 6 døgn

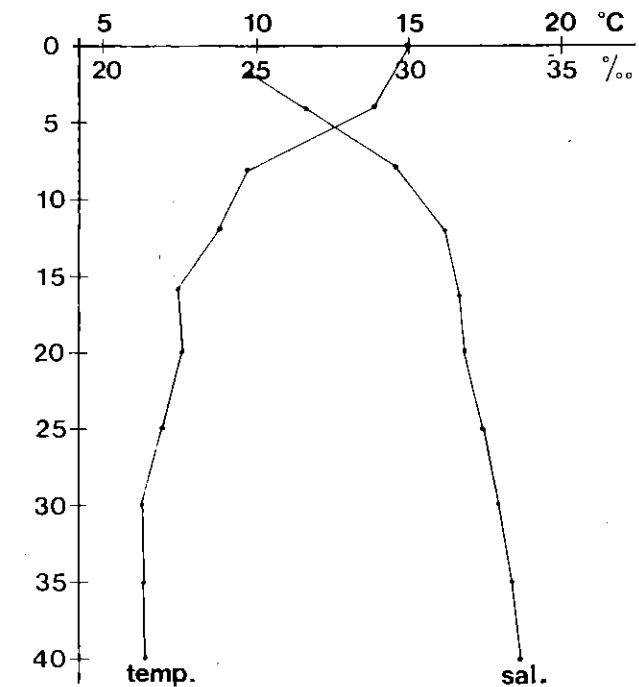
HORISONTAL UTBREDNING

Største målte konsentrasjon for hvert målepunkt

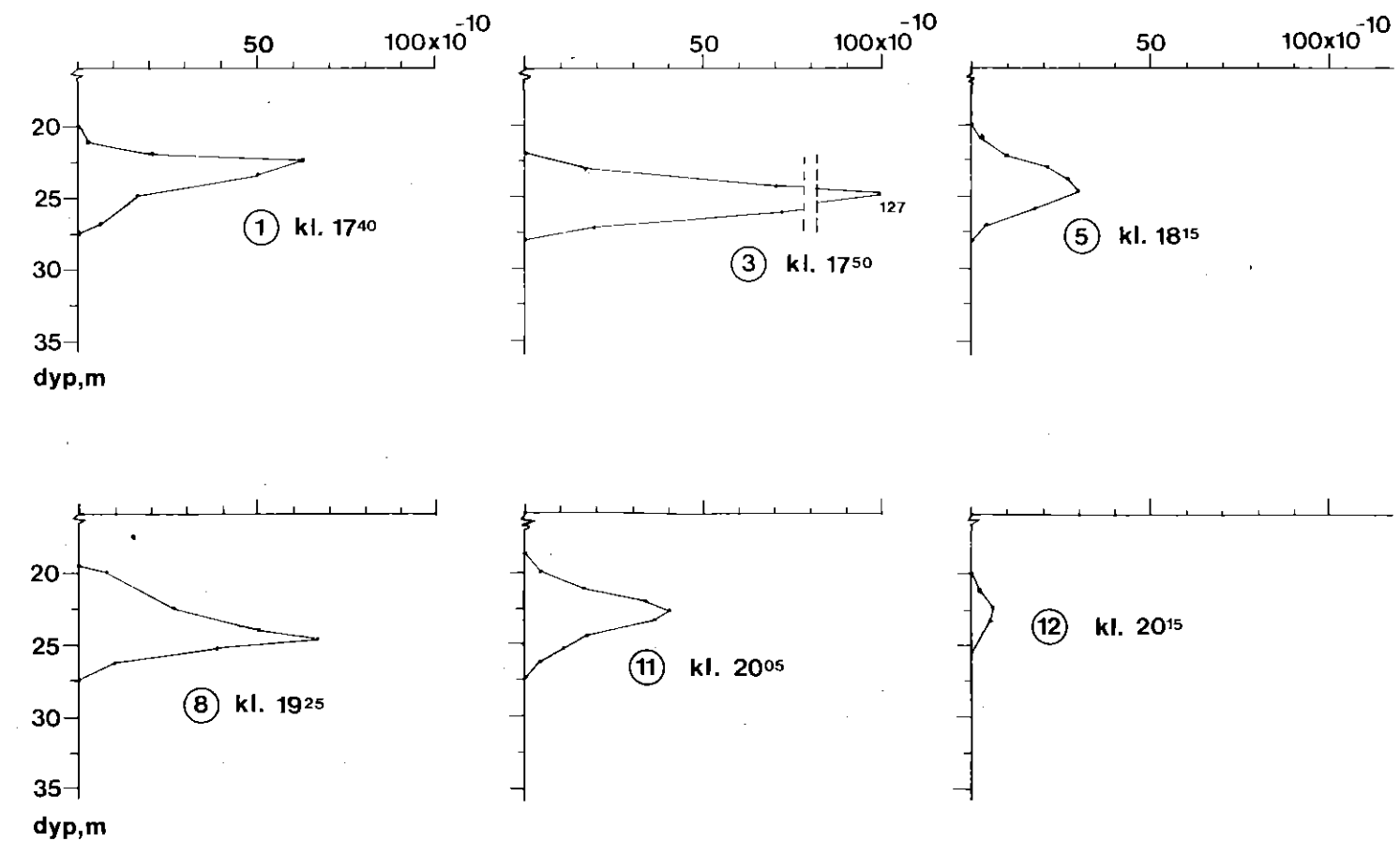


- Målepunkt, med opptegnet konsentrasjonsprofil
- Målepunkt, uten funn av sporstoff
- ⊙ Doseringsplass

SALINITET OG TEMP



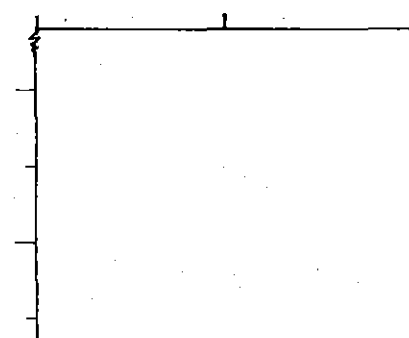
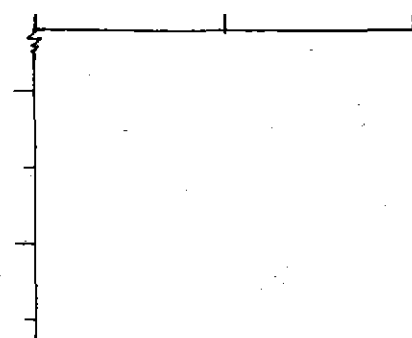
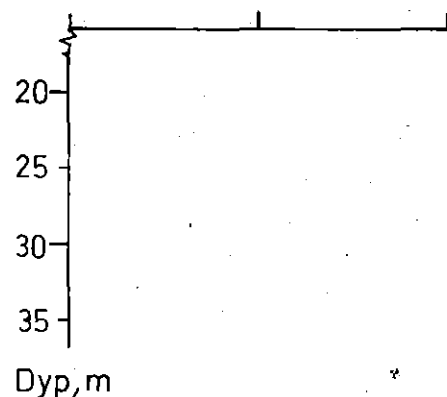
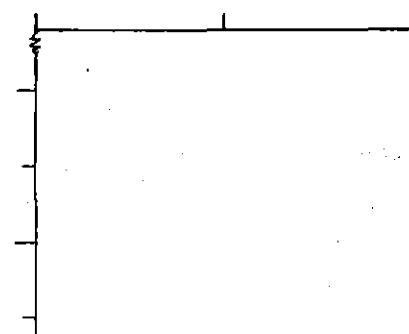
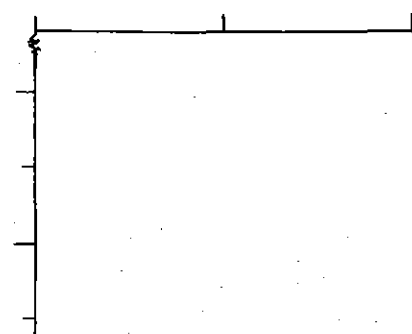
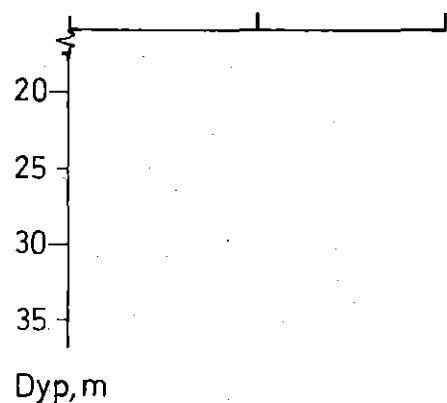
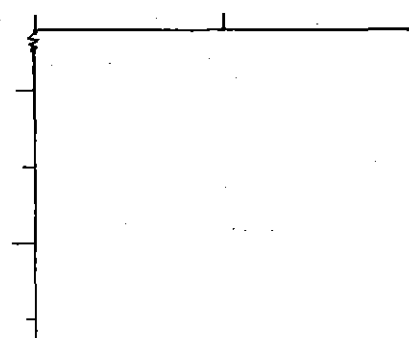
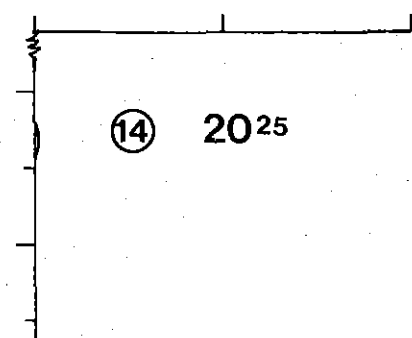
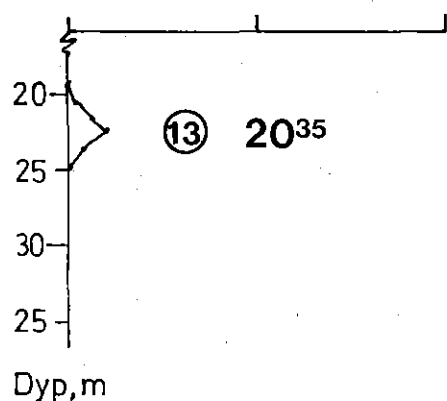
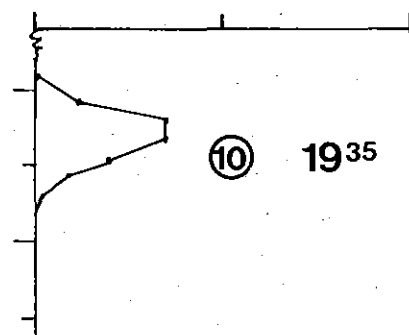
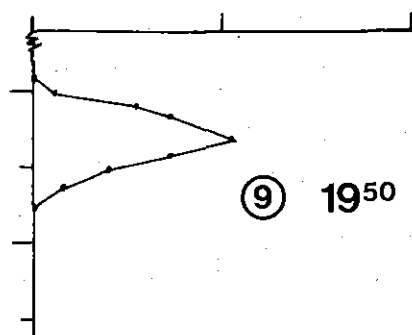
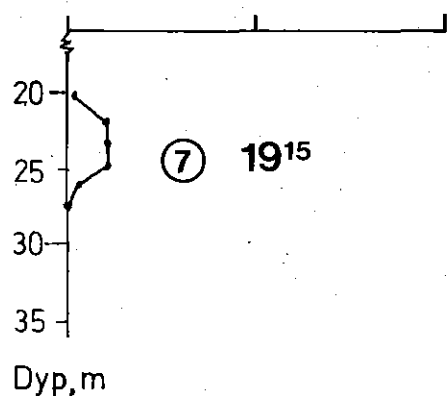
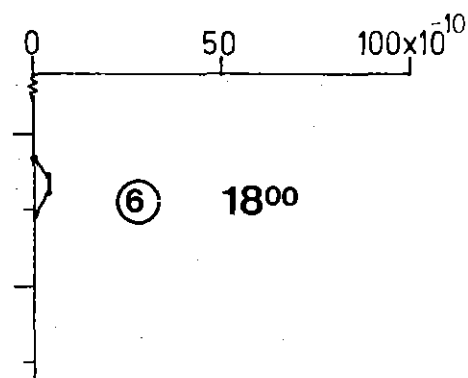
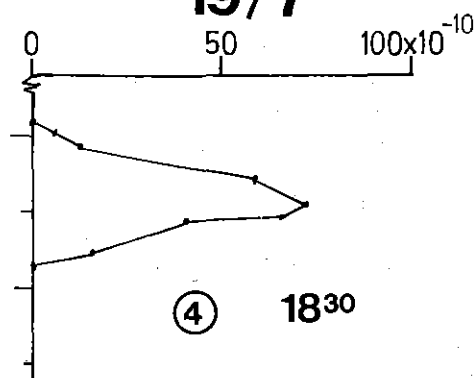
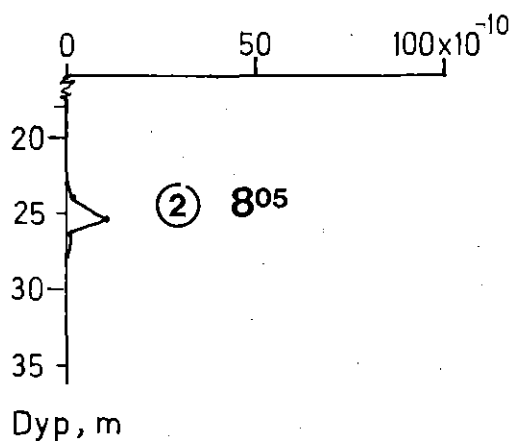
KONSENTRASJONSPROFILER, SPORSTOFF

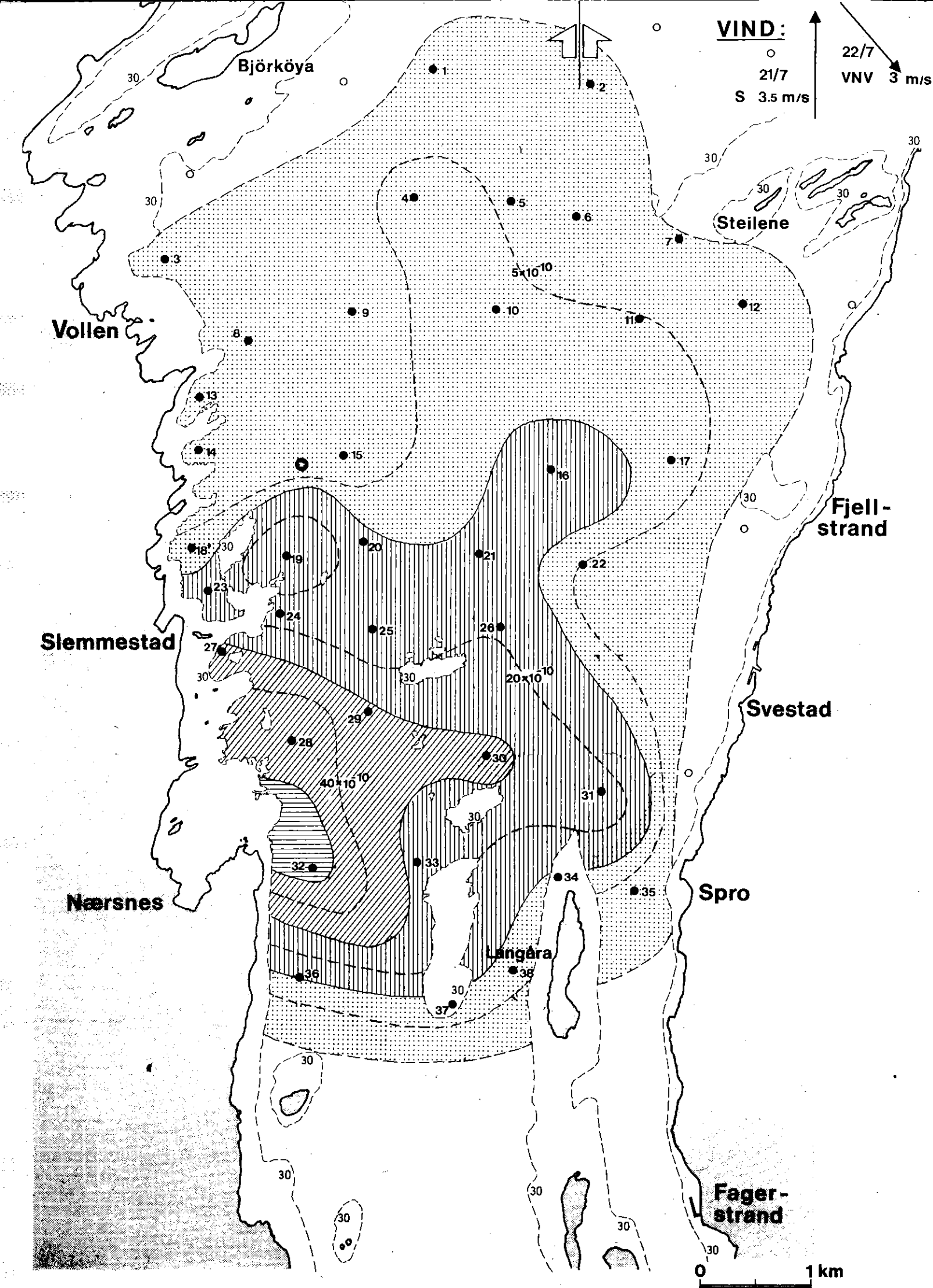


KONSENTRASJONSPROFILER I VESTFJORDEN , SPORSTOFF

BIL. 26

19/7





SPORSTOFFMÅLING I DYPVANNET

BIL. 27

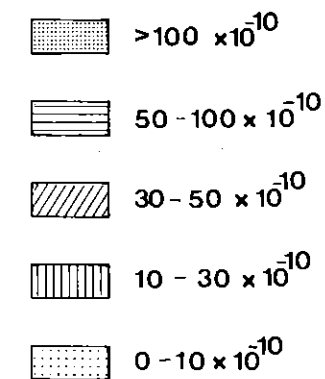
VESTFJORDEN 21-22/7 1977 kl. 8³⁰-21³⁰

9⁰⁰-19³⁰

Tid etter doseringens start: 7-8 døgn

HORISONTAL UTBREDNING

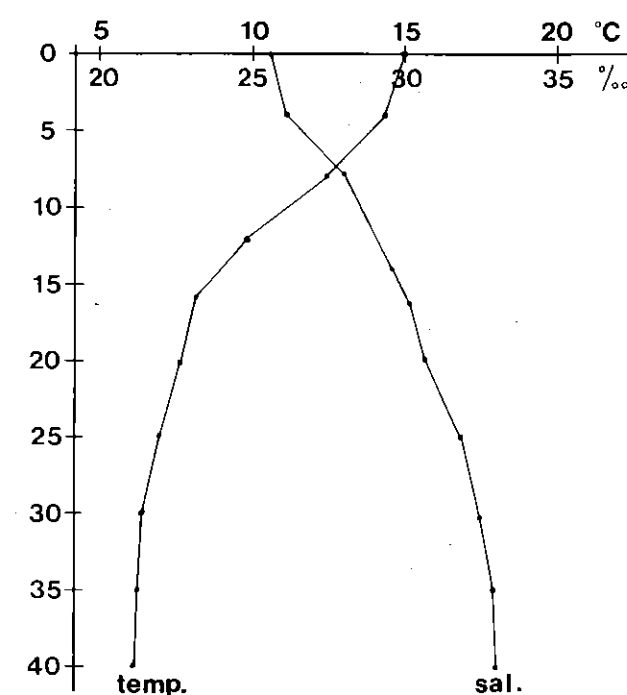
Største målte konsentrasjon for hvert målepunkt



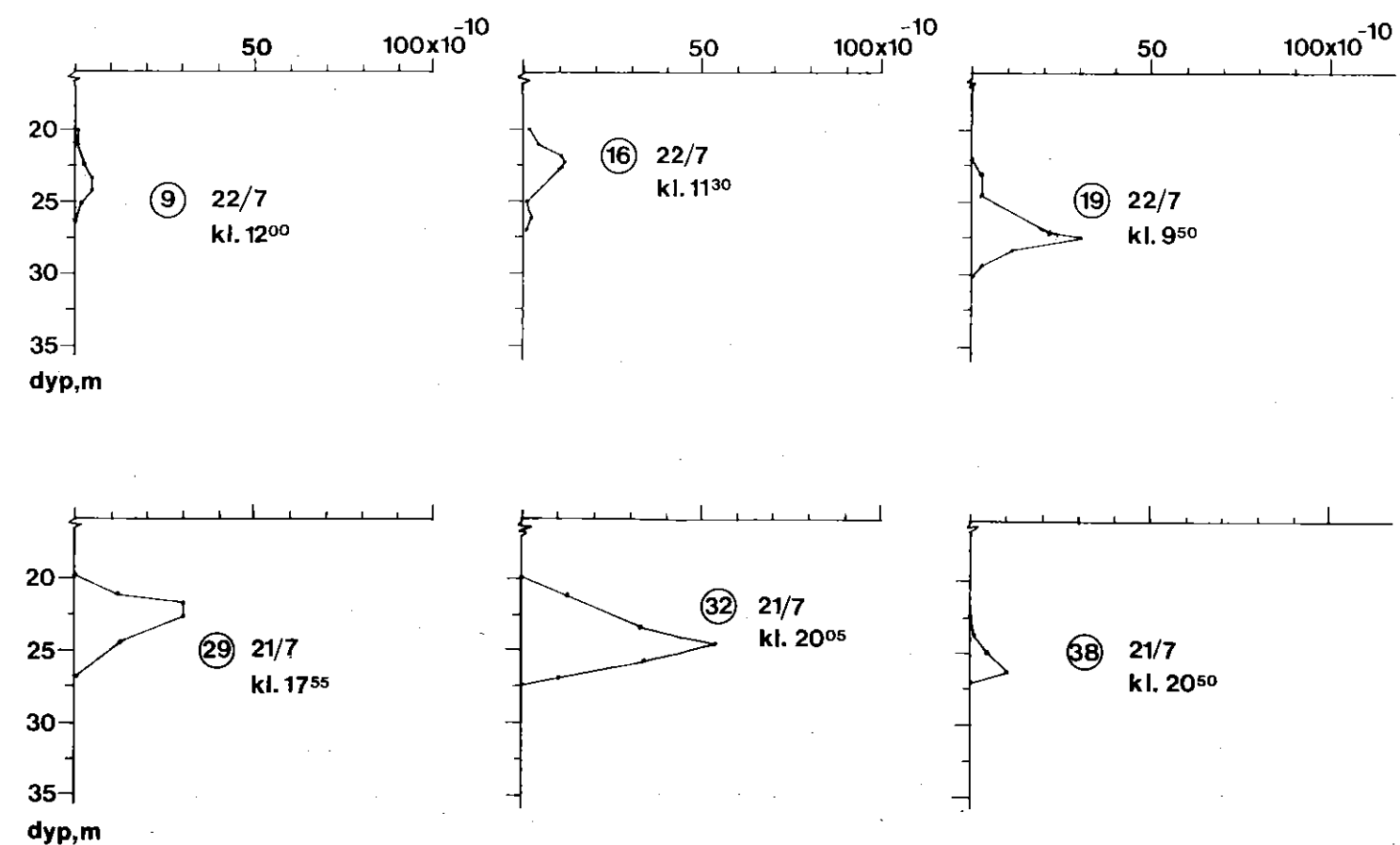
- Målepunkt, med opptegnet konsentrasjonsprofil
- Målepunkt, uten funn av sporstoff
- ⊙ Doseringsplass

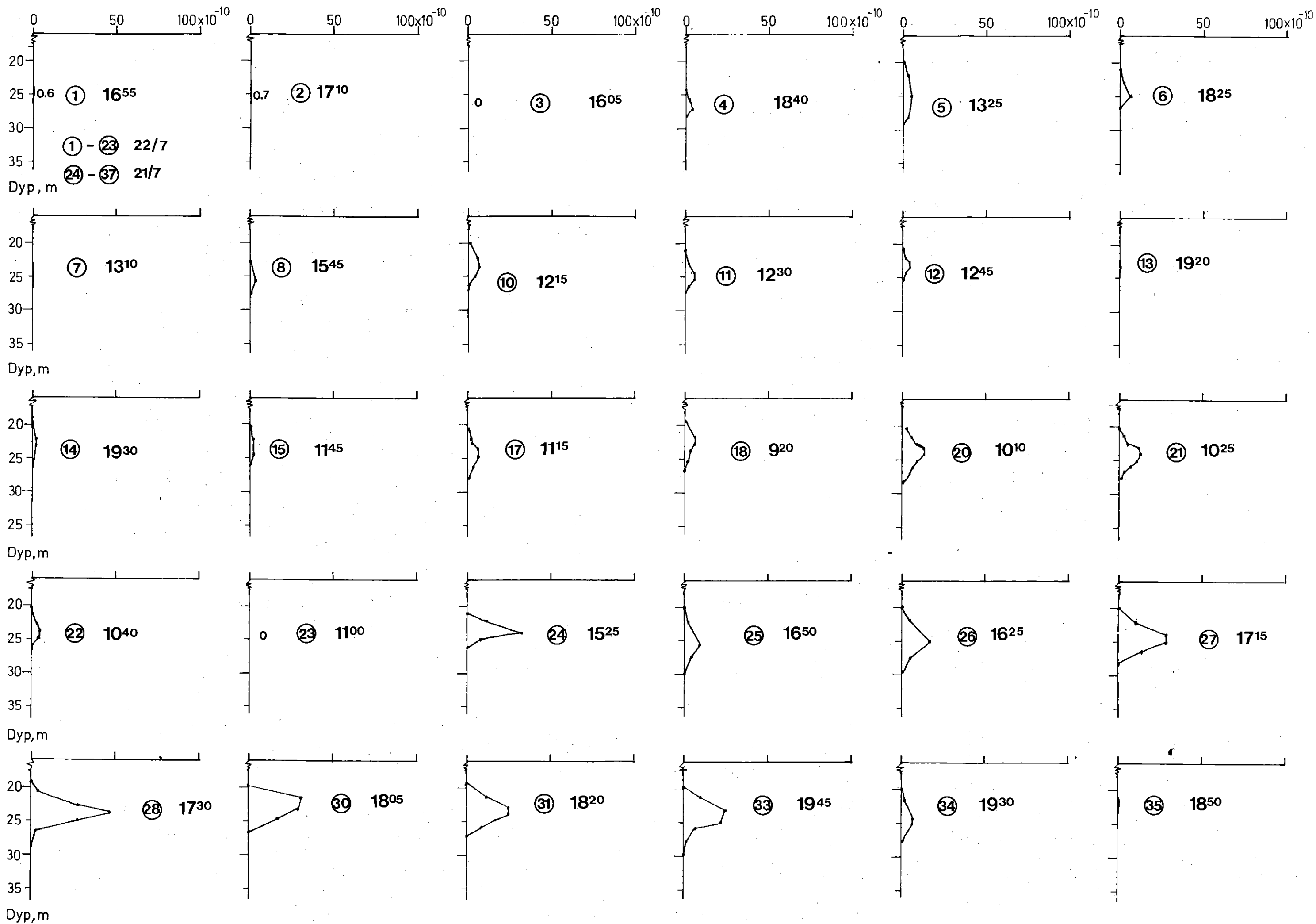
SALINITET OG TEMP

21/7



KONSENTRASJONSPROFILER, SPORSTOFF

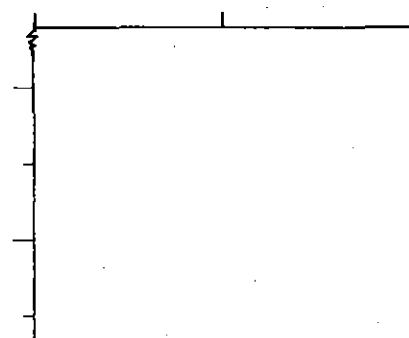
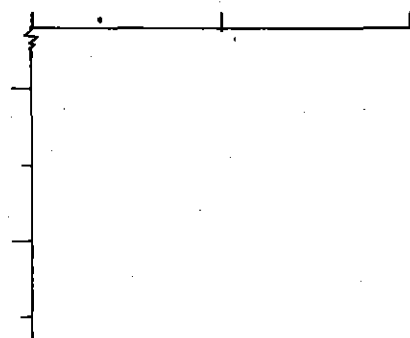
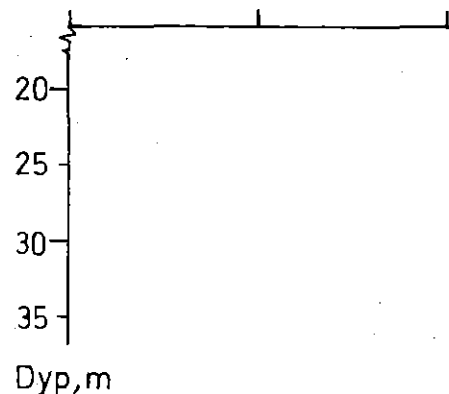
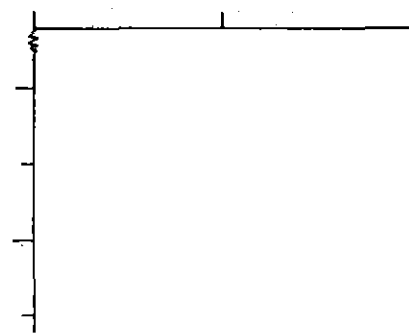
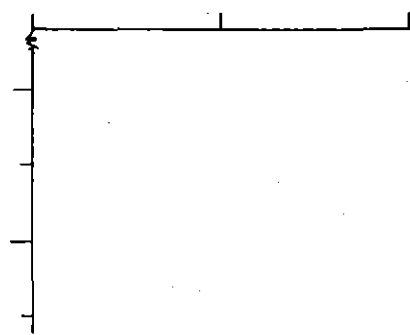
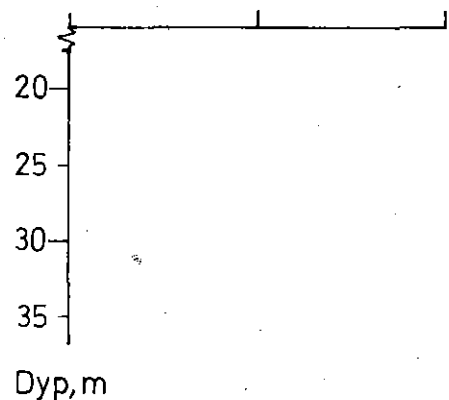
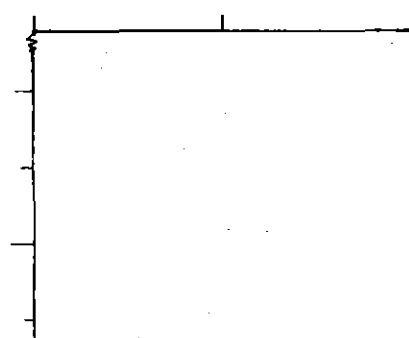
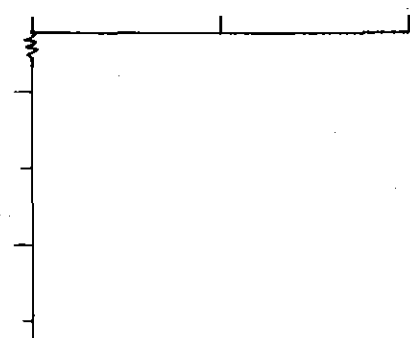
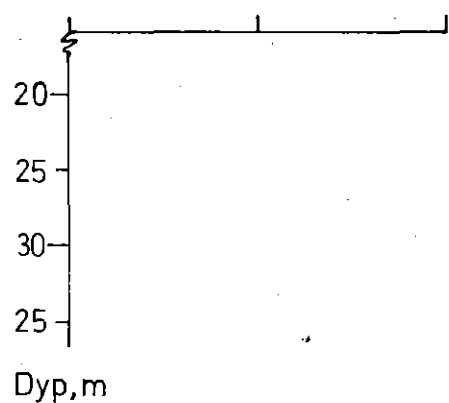
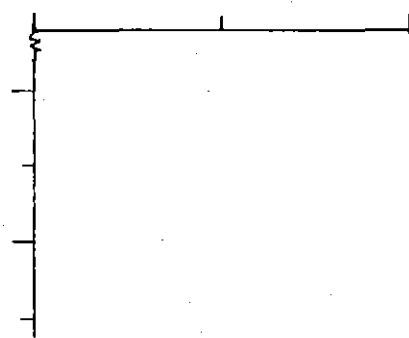
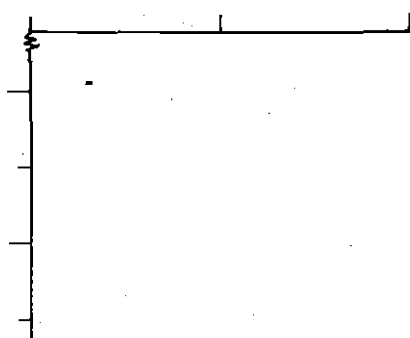
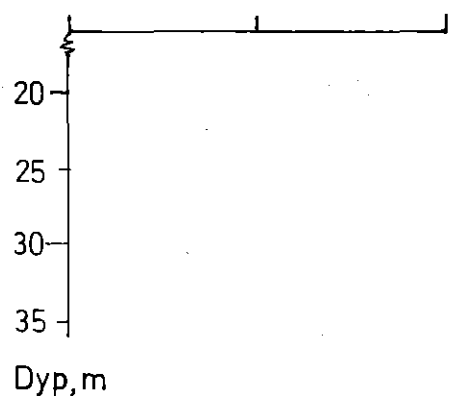
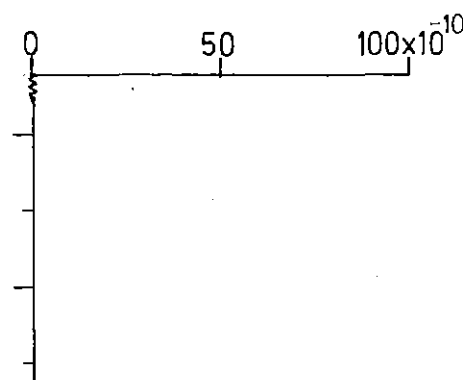
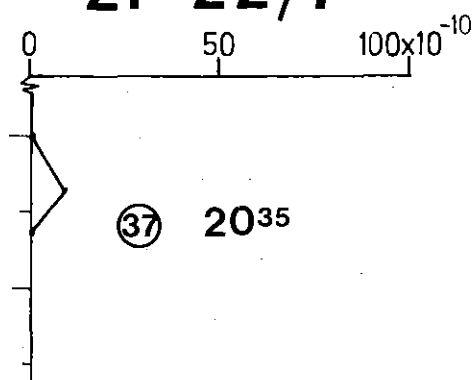
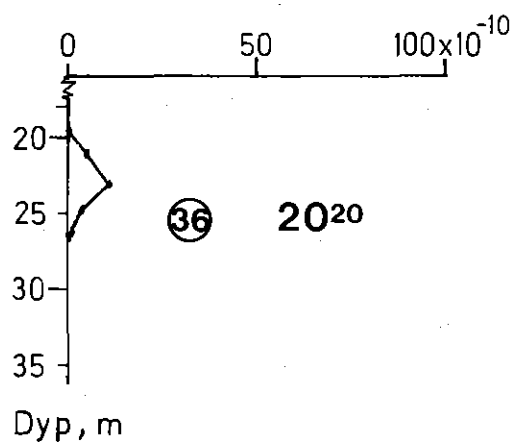




KONSENTRASJONSPROFILER I VESTFJORDEN , SPORSTOFF

21- 22/7

BIL. 29



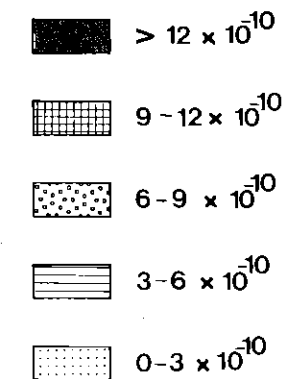
SPORSTOFFMÅLING I DYPVANNET BIL. 30

VESTFJORDEN 26/7 1977 kl. 10⁰⁰–23⁰⁰

Tid etter doseringens start : 13 døgn

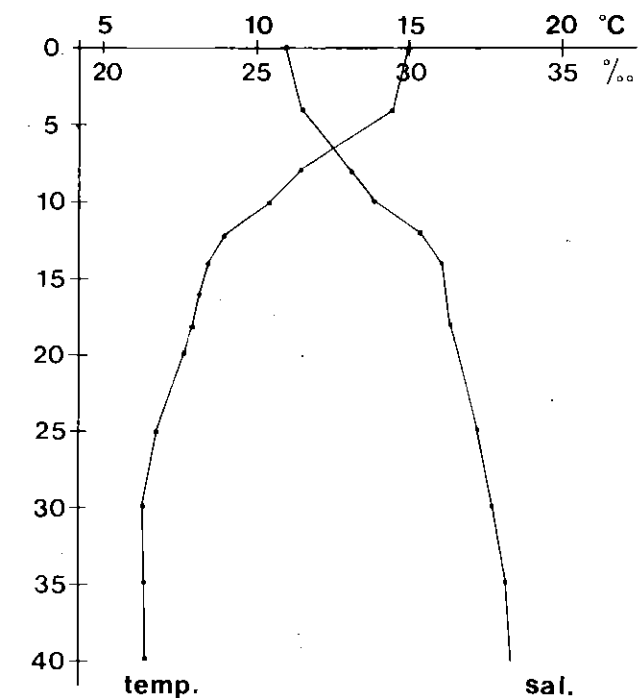
HORISONTAL UTBREDNING

Største målte konsentrasjon for hvert målepunkt

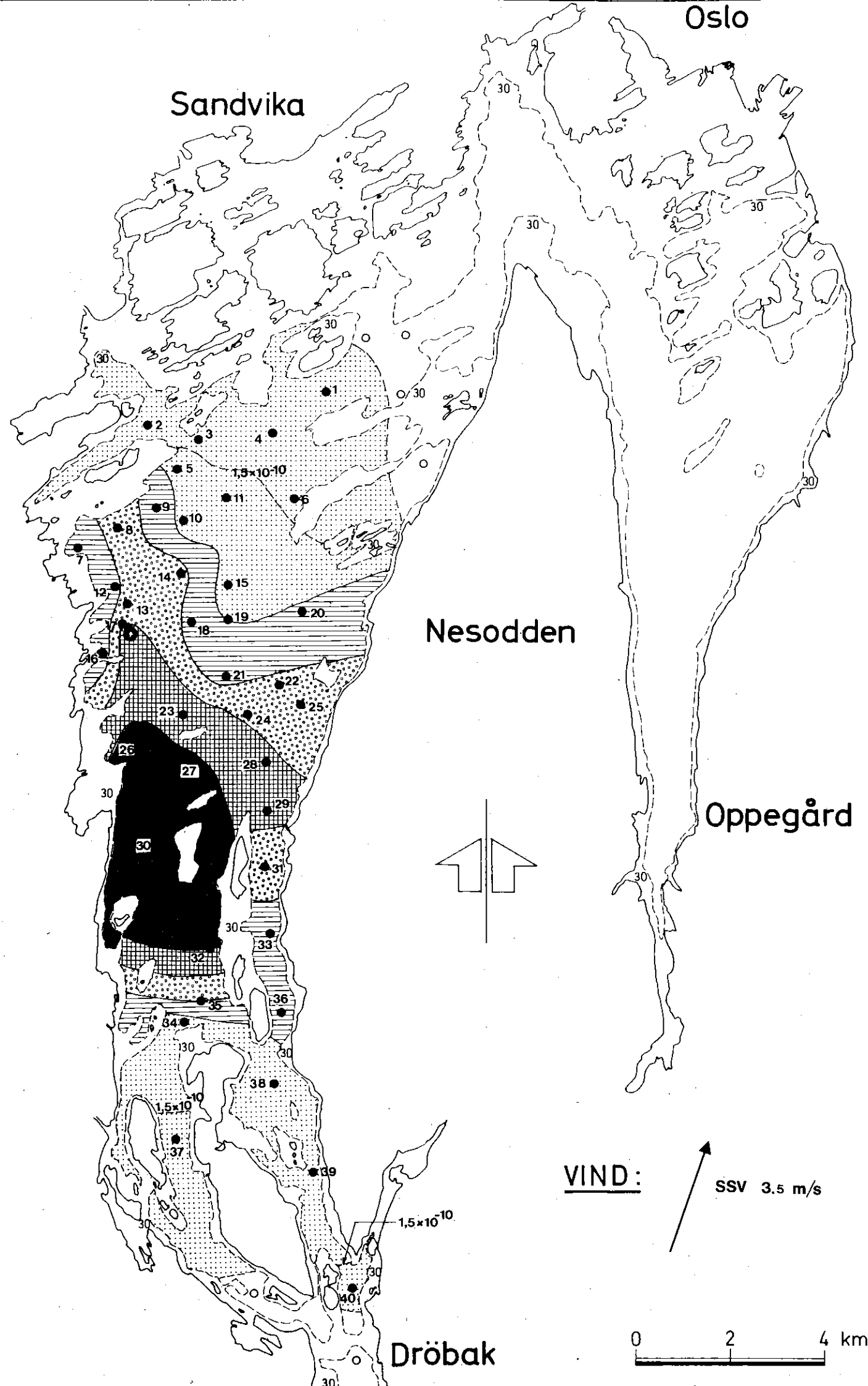
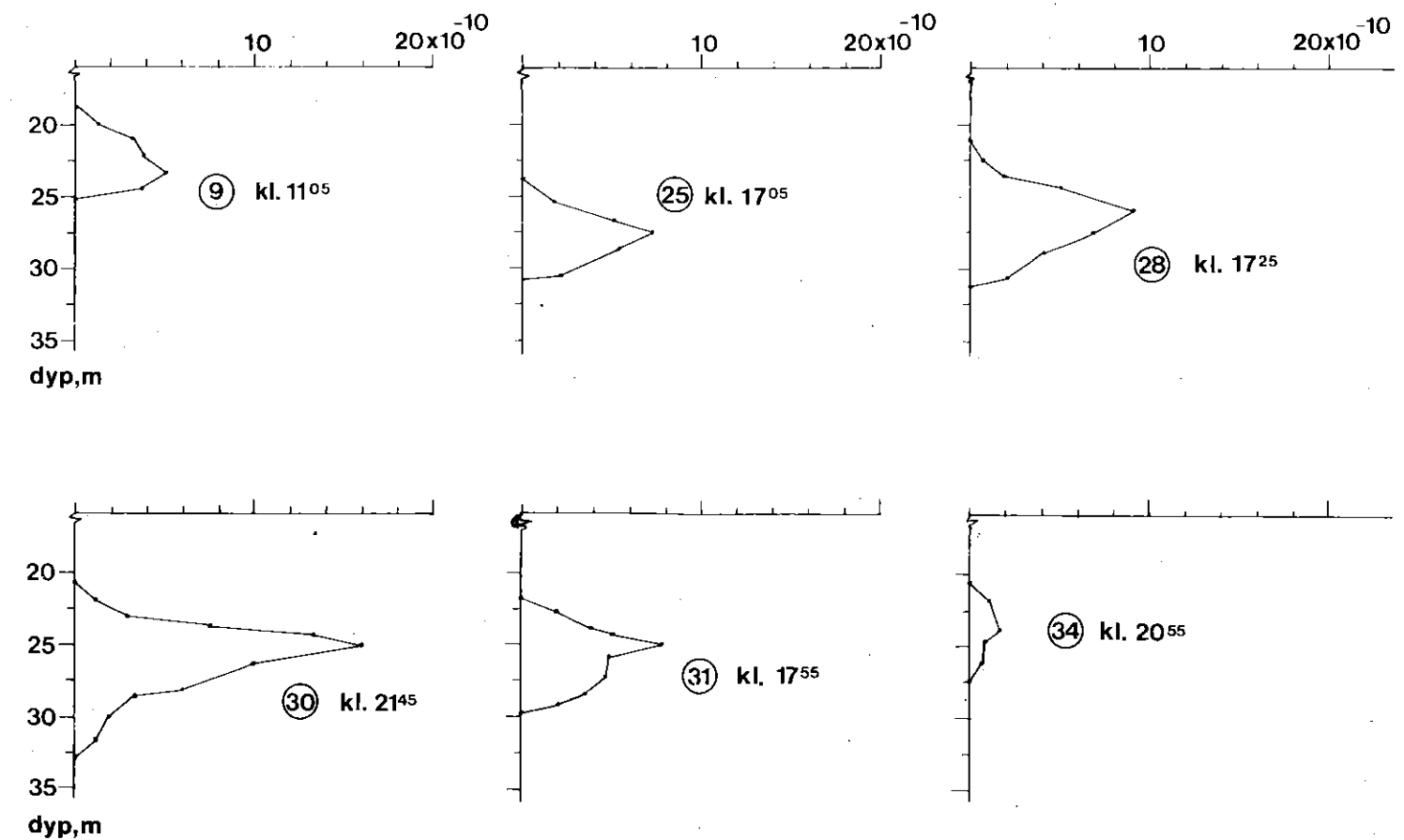


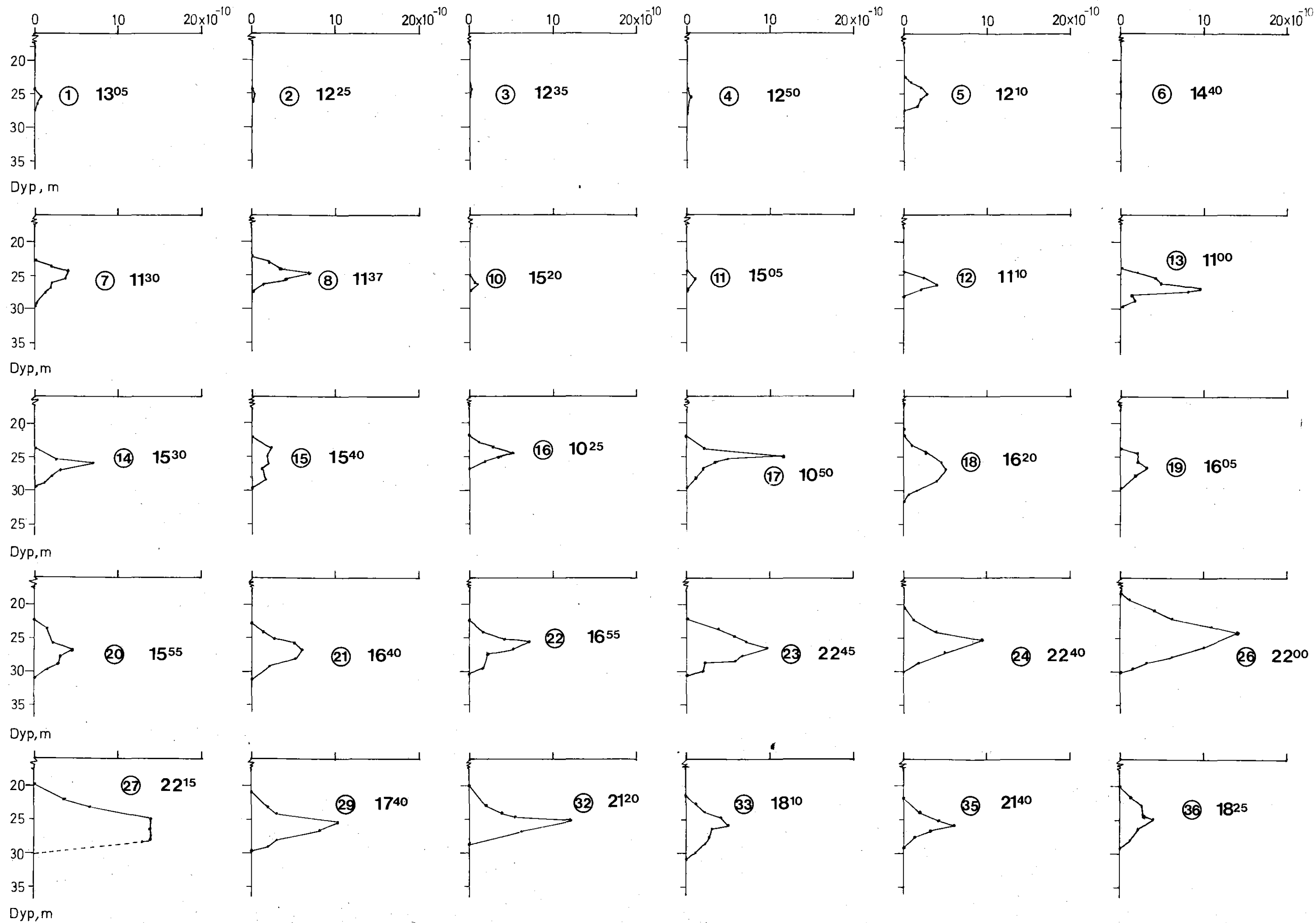
- Målepunkt, med opptegnet konsentrasjonsprofil
- Målepunkt, uten funn av sporstoff
- ⊙ Doseringsplass

SALINITET OG TEMP



KONSENTRASJONSPROFILER, SPORSTOFF





KONSENTRASJONSPROFILER I VESTFJORDEN , SPORSTOFF

26/7

BIL. 32

