

Examensarbete i vattenbyggnad 1971:5

Simulering av avloppsutsläpp i

Byfjordens ytvattenskikt

av

Anders Levin

Anders Lingsten

Håkan Sjöström

1.	INLEDNING	1
1.1	Förord	1
1.2	Byfjordenprojektet	2
2.	ALLMÄNT	4
2.1	Byfjorden	4
2.2	Föröreningssituation	4
2.3	Framtida förhållanden	7
2.4	Målsättning	7
3.	AVLOPPSVATTNETS SPRIDNING	8
3.1	Allmänt	8
3.2	Stråldiffusion	9
3.3	Diffusionsteori	12
3.4	"Välblandad" modell för Byfjordens vattenutbyte	14
4.	SIMULERING AV AVLOPPSUTSLÄPP	16
4.1	Allmänt	16
4.2	Metodval	16
4.3	Doseringsutrustning	19
4.4	Rodamin B200	19
4.5	Mätutrustning	20
4.6	Fluorometern	23
4.7	Mätmetodik	23
5.	UTVÄRDERING AV MÄTDATA	29
5.1	Allmänt	29
5.2	Vind	29
5.3	Temperatur och täthet	30
5.4	Korrigerings av koncentrationmätningarna	30
5.5	Mätdata - spridningsbilder	37
6.	MÄTDATA MED KOMMENTARER	43
6.1	Provdosering	43
6.2	Dosering 1	43
6.3	Dosering 2	57
6.4	Dosering 3	82
6.5	Dosering 4	102
6.6	Dosering 5	151
6.7	Dosering 6	177
7.	UTVÄRDERINGAR	189
7.1	Tillämpning av diffusionsteori	189
7.2	Tillämpning på teorin om "välblandad modell"	191
8.	SAMMANFATTNING	202

1. INLEDNING

1.1 Förord

Föreliggande examensarbete utgör en del av ett stort tvärvetenskapligt forskningsprojekt, Byfjordenprojektet, som avser att studera de hydrografiska, fysikalisk-kemiska och biologiska förhållandena i en typisk tröskelfjord.

Avsikten med detta arbete, som utförts under handledning av civ. ing. T. Svensson och civ. ing. C-G Göransson, institutionen för vattenbyggnad CTH, är att studera de utspädnings- och spridningsförhållanden som kan förväntas i fjorden om det kommunala avloppsvattnet släpps ut inom ett alternativt utsläppsområde inom Uddevalla hamn.

För värdefull hjälp vid olika tillfällen tackar vi Uddevalla Stad och de personer vi där har fått hjälp av samt våra handledare och A-M Holmdahl för utskriften av detta arbete.

Göteborg i april 1972

Anders Levin

Anders Lingsten

Håkan Sjöström

1.2 Byfjordenprojektet

Simulering av alternativt avloppsvattenutsläpp i fjordens ytvattensskikt

Byfjordenprojektet är ett tvärvetenskapligt marint forskningsprojekt tillkommet på initiativ av Nämnden för vatten-, luft- och jordforskning, Göteborg 1968. Inom projektet studeras bl. a. biologiska, kemiska och sedimentologiska förhållanden samt vattenomsättningen i Byfjorden för att få en samlad bild av dess status. Byfjorden, som är belägen vid Uddevalla, är en ca 4 km lång och 1-2 km bred tröskelfjord. Fjorden är kraftigt förorenad av utsläpp från Uddevalla stad. Detta examensarbete är ett led i vattenomsättningsstuderna, vilka avser att ge en bild av de mekanismer, som åstadkommer vattenutbyte med omgivningen samt utspädnings- och cirkulationsförhållanden i själva fjorden.

Examensarbetets syfte är att studera de utspädnings- och spridningsförhållanden som kan förväntas i fjorden, om det kommunala avloppsvattnet släpps ut inom ett alternativt utsläppsområde i Uddevalla hamn. Utsläppet avses ske på 6 à 8 m djup, varvid avloppsvattnet normalt stiger upp till ytan, vilket ger en optimal initieell utspädning av avloppsvattnet under de i Byfjorden vanligen rådande skiktningförhållandena. Vattnet kommer att fördelas på ett antal utloppsmunstycken, s. k. diffusorer, utmed en 100 à 200 m lång utloppssträcka.

Simuleringen tillgår så att renvatten märkt med färgspårämnet Rodamin släpps ut genom ett par diffusorer placerade på det aktuella utsläppsdjupet. Renvattnet tas från närliggande brandposter. Doseringstidens längd väljs till att börja med lämpligen till 1 à 2 tim, men kan sedan avpassas till vunnna erfarenheter.

Registreringen av färgspårämnets horisontella utbredning sker kontinuerligt med ett fluorescensmätande instrument, en s. k. fluorometer, placerad i en båt, vilken följer en viss inmätningssrutt. Spårämnets vertikala utbredning mäts i ett antal punkter i direkt anslutning till den kontinuerliga inmätningen.

Recipientens skiktning, vilken spelar en avgörande roll för avloppsvattnets inlagringsnivå mäts översiktligt i ett fåtal punkter i samband med rodaminmätningarna.

Utspädnings- och spridningsförhållandena relateras till de för fjordens vat-

tenomsättning väsentligaste påverkande faktorerna, nämligen den lokala vinden samt vattenståndsvariationerna.

Fältnätningarna utförs under försommaren 1971 och föregås av litteraturstudier.

Göteborg 1971

C-G Göransson T. Svensson

2. ALLMÄNT

2.1 Byfjorden

Byfjorden, belägen vid Uddevalla, är en typisk tröskelfjord, med en karaktistik liknande Oslofjordens, Idefjordens m. fl. Byfjorden gränsar till Havstensfjord, som ingår i Orust-Tjörns fjordsystem. Byfjorden är ca 5 km lång och 1-2 km bred. Längdaxeln går i riktningen VSV-ONO. Fjorden har en area på 6,35 km². Öarnas storlek är 0,12 km², vilket ger vattenlinjearean 6,23 km². Det största djupet är ungefär 50 m och medeldjupet är ca 20 m.

Byfjordens hydrografi kännetecknas sommartid av ett markant språngskikt på normalt 12 till 16 m djup. Vattenomsättningen sker huvudsakligen ovanför språngskiktet. Inträngningen av salt bottenvatten utifrån havet och inlagring under språngskiktets nivå torde huvudsakligen ske under vinterhalvåret. På grund av den vertikala salthaltsgradienten kommer en turbulent transport av salt att ske från bottenvattnet upp genom språngskiktet till ytvattnet. Salthalten sjunker därvid successivt i bottenvattnet tills en ny inströmning av saltare vatten sker. Sötvattentillförsel sker huvudsakligen genom Bäveån. Årsmedelvattenföringen är ca 4 m³/s och sommarmedelvattenföringen ca 1 m³/s.

2.2 Föroreningssituation

I Uddevalla finns ett reningsverk med biologisk behandling av avloppsvattnet enligt aktiv-slammetoden. Någon reduktion av närsalter med kemisk fällning förekommer ej annat än på försök. Reningsgraden avseende BS-reduktion är 90 % (enligt Uddevalla VA-verk). Vid stor tillrinning bräddas avloppsvattnet sedan det först genomgått mekanisk avskiljning. På grund av bräddningen ligger totala reningsgraden vid ett genomsnittligt värde av 85 % (enligt VA-verket).

Nuvarande anslutning är 50.000 personekvivalenter. Orenat vatten motsvarande 7.500 (15 % av 50.000) släpps alltså ut i Bäveån. Uppströms Uddevalla förekommer viss förorening som vid låg vattenföring orsakar sanitära olägenheter i ån.

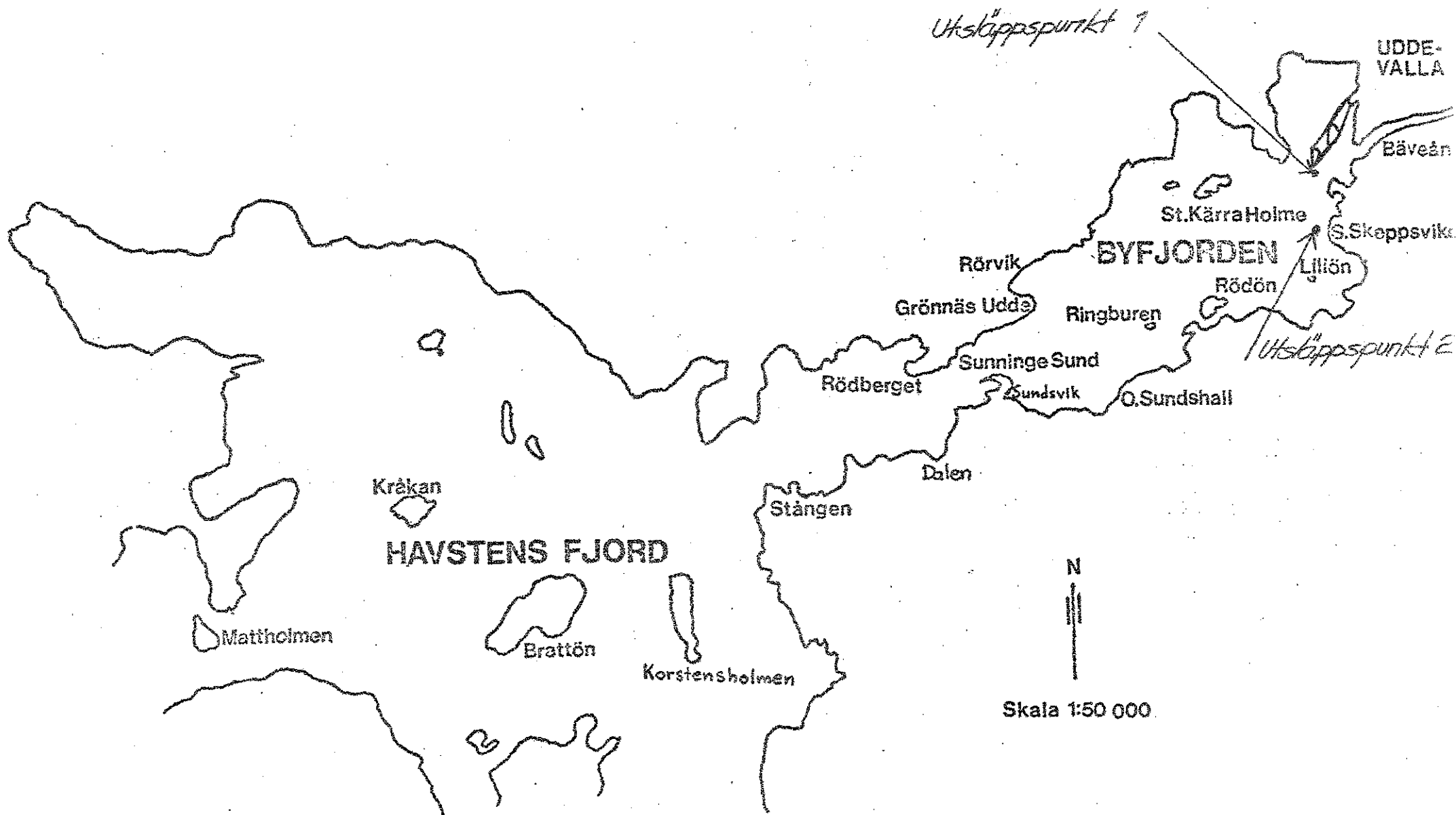


Fig. 1 Karta över Byfjorden och Havstensfjord med alternativa utsläppspunkter

Båveån

Sunningsund

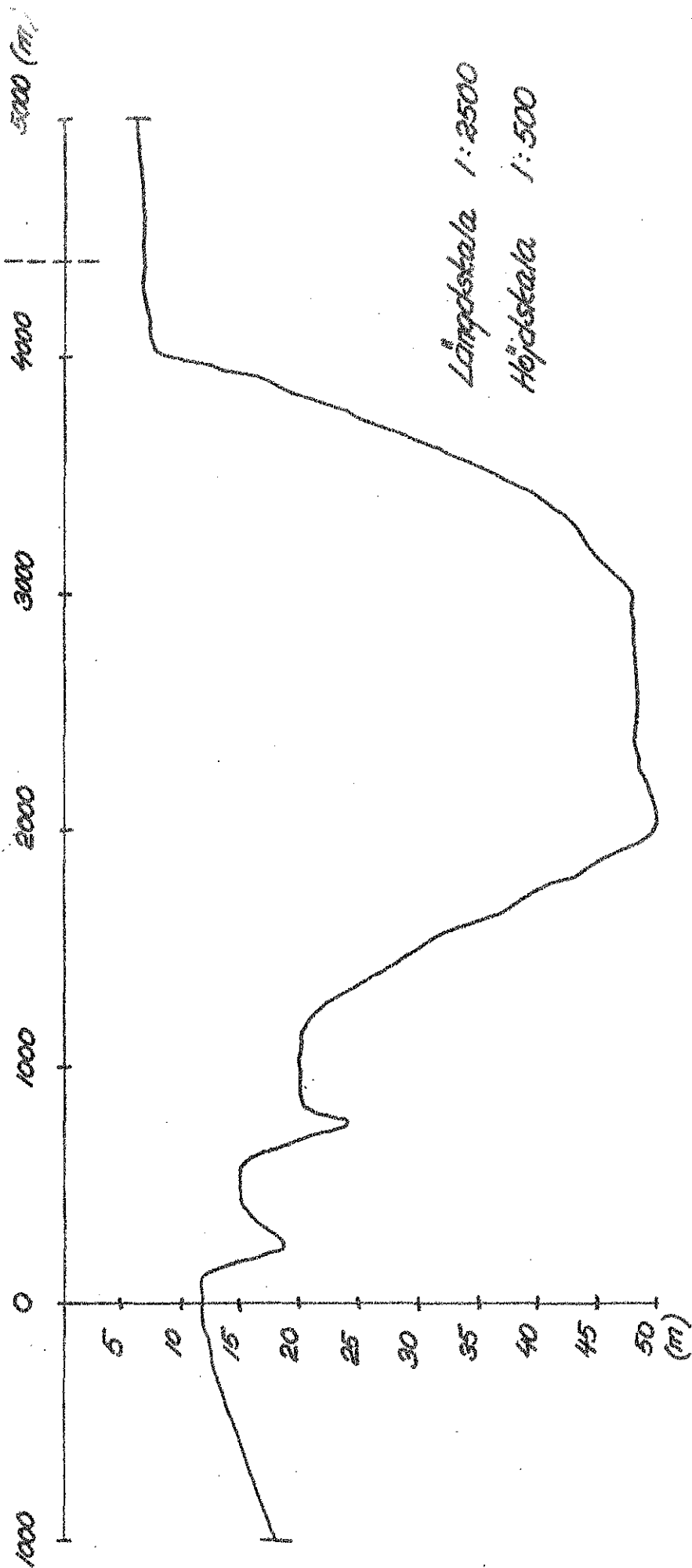


Fig 2 : Längdsektion genom Byfjorden.

Hamnen och framförallt varvet har även stor del i vattenföroreningen genom oljeläckage och utsläpp av tungmetaller.

Vattenkvalitén i Byfjorden har genomgått en försämring under senare år på grund av ökad tillförsel från ovan nämnda föroreningskällor. De tidigare attraktiva badplatserna i fjordens inre del har nu en vattenkvalitet som är med tvekan tjänlig för bad.

Under språngskiktet är vattnet nästan alltid syrefritt. Detta förhållande har rått sedan 1700-talet och beror mera på det ringa vattenutbytet än av mänsklig påverkan. Syrehalten ovan språngskiktet har dock minskat sedan föroreningarna ökat i omfattning. I och med detta har tillgången på kvalitetsfisk minskat avsevärt. Under språngskiktet finns inget biologiskt liv förutom anaeroba bakterier..

2.3 Framtida förhållanden

Ett nytt reningsverk med biologisk och kemisk rening har projekterats av kommunen. När verket är fullt utbyggt skall 150.000 p. e. kunna anslutas och det totala utsläppet från Uddevalla kommun kan då sänkas till 1/3 av dagens BS-värden. Reningsverket skall vara klart 1974 och byggstart är satt till början av 1972. De föroreningar som härstammar från varvet och hamnen är dock svårare att reducera.

I utbyggnadsplanen för reningsverket ingår två huvudalternativ för utloppsledningens lokalisering i fjorden. Det ena alternativet innebär ett utsläpp på ca 6 m djup i yttre delen av hamnen i samband med att förlängningen på Skeppsholmspiren färdigställs, (se fig. 1). Avloppsvattnet kommer härvid att inblandas i vattenvolymen ovan språngskiktet och borttransporteras. Det andra alternativet innebär ett utsläpp under språngskiktet omedelbart väster om Skeppsviken, (se fig. 1). I detta alternativ antas att avloppsvattnet inlagras under språngskiktet för att sedan spridas vertikalt genom diffusion och vid vissa tillfällen transporteras ut ur fjorden vid inströmning av salt bottenvatten.

2.4 Målsättning

Föreliggande arbete syftar till att studera avloppsvattnets utspädning och spridning vid alternativet med utsläpp ovan språngskiktet genom att

simulera ett sådant utsläpp med ett artificiellt spårämne, Rodamin B, och spåra dess utbredning i fjorden. Tekniska och ekonomiska aspekter har därvid ej beaktats.

3. AVLOPPSVATTNETS SPRIDNING

3.1 Allmänt

Spridningsförloppet vid utsläpp av avloppsvatten i en recipient kan indelas i två skeden.

- a) Källstyrt flöde, dvs den initiella blandningen som är styrd av utsläppsdata och lokala egenskaper hos recipienten.
- b) Transportfasen, där avloppsvattnet borttransporteras från utsläppspunkten och blandas inom recipienten.

Det första skedet är direkt beräkningsbart. De faktorer som inverkar på beräkningarna är utformning av utsläppsanordningarna, avloppsvattnets täthet och recipientens täthet samt strömförhållanden. Utsläppsanordningen kan utformas på många olika sätt. För att få så stor initieil blandning som möjligt utformas den normalt som en diffusorledning, ett rör försett med ett antal utsläppshål utmed rörsidorna på lämpligt centrumavstånd. Största blandningen erhålles om utsläppet sker horisontellt. Normalt är avloppsvatten lättare än havsvatten, vilket innebär att avloppsvattnet stiger mot ytan under omblandning och succesiv utspädning.

Naturens vattenmassor är i regel skiktade med lättare vatten överlagrat tyngre vatten. I kustvatten bestämmer salthalten nästan helt täthetsskiktningen. En salthaltsförändring om 1 ‰ motsvarar i fråga om täthetsändring en temperaturändring av 5-10° C. I täthetsskiktade recipienter finns möjligheter att inlagra avloppsvatten på vissa nivåer. Om utsläppet sker på en nivå med större täthet än ovanliggande vattens, kan det omblandade avloppsvattnet ha samma täthet som ett skikt på en högre nivå. Är ovanförliggande vattenskiikt lättare än blandningen kommer inlagring att ske under detta skikt. Genom utsläpp på stort djup i havs- eller kustvatten kommer därför ytvattnet till en början att bli opåverkat av utsläppet.

Borttransportfasen är till skillnad från den initiella blandningen svår att analytiskt bestämma. Detta beror på att inverkan av den mängd olika faktorer som styr förloppet är svåra att förutsäga. Vind, strömmar och inverkan av topografin är exempel på sådana faktorer. Vinden ger upphov till en ytström som är proportionell mot kvadraten på vindhastigheten, medan inverkan på djupare nivåer är mer komplicerad, bl. a. uppkommer en returström beroende av ytvattnets rörelse. I bottenvattnet bestäms strömförhållandena av de jämvikts- och kontinuitets samband som gäller för hela vattenmassan. Genomströmmande sötvatten ger upphov till en restström i fjordens ytskikt och tidvattnet skapar en pulserande ström på alla nivåer ovan tröskeldjupet. Alla dessa strömmar överlagrar varandra och ger upphov till ett komplicerat strömsystem med stora variationer såväl i tid som rum. Vill man skaffa sig en uppfattning om borttransportfasen och den turbulenta omblandningen är man därför hänvisad till praktiska försök vars resultat man sedan kan använda till att försöka bestämma de parametrar och konstanter som ingår i de allmänna diffusionsekvationerna (sid. 12). För att kunna lösa dessa ekvationer måste emellertid en hel rad förenklade antaganden om recipienten utnyttjas. [1].

3.2 Stråldiffusion

De hydrauliska sambanden då en enstaka stråle förs in i en vattenmassa med varierande täthet är mycket komplexa. Fenomenet är en blandningsprocess förorsakad dels av själva strålens initiella rörelse, dvs dess kinetiska energi och dels av de gravitations- och displacementkrafter, som beror på skillnaden i täthet mellan strålen och recipienten. [2].

Vi inskränker oss i det följande till en horisontell stråle i en täthets-homogen recipient [1].

I fig. 3 visas hur täthetsdifferensen mellan utsläppsvätska och recipienten ger upphov till displacementskrafter som böjer strålen uppåt. Dessutom kommer strålen successivt att blandas upp med omgivande recipientvatten. Det grundläggande antagandet är att tillförseln av recipientvatten är proportionell mot strålens max. hastighet och omkrets. Det kan då hända att strålen ökar i täthet så mycket att den hejdas av ett lättare skikt. Den uppblandade strålen kommer att inlagras på en nivå i närheten av detta skikts undre gräns.

Enligt π -teoremet gäller att antalet dimensionslösa parametrar (m) är lika med antalet variabler (n) minskat med det antal dimensioner (k) som ingår i variablerna.

I vårt fall är $n = 5$ och $k = 3$

$$m = 5 - 3 = 2$$

Resultatet blir alltså två oberoende parametrar t. ex. y/D och F_ϵ , där

$$F_\epsilon = \frac{v_0}{\sqrt{\left|\frac{\Delta\rho}{\rho}\right|} g D} \quad \text{Froudes densimetriska tal} \quad (1)$$

Koncentrationsmaximum av utsläppsvätska i strålen sammanfaller med strålens symmetriaxel. Strålaxelns form kan entydigt parameterbestämmas, dock måste villkoret fullt utbildad turbulens råda. Försummas friktionskrafterna i strålens mantelyta och antages tryckfördelningen i strålen hydrostatisk ger strålens teoretiska form, momentum- och kontinuitetssamband en möjlighet att bestämma hur den axiella utspädningen S_m beror av de dimensionslösa parametrarna F_ϵ och y/D . S_m definieras här som den ursprungliga koncentrationen i utsläppsvätskan C_0 dividerad med den aktuella koncentrationen i strålens axel C_m .

Analytiskt kan utspädningen uttryckas [3]

$$S_m = 0.54 F_\epsilon \left(0.38 \frac{y}{D \cdot F_\epsilon} + 0.66 \right)^{5/3} \quad (2)$$

(2) gäller då $y/D \geq 0.89 F_\epsilon$, vilket motsvarar halvplanet $\theta \geq \pi/4$, se fig. 3. Man utnyttjar då förhållandet att strålen böjt av tillräckligt mycket från den horisontella utgångsriktningen så att de verksamma krafterna som påverkar strålen och blandningen i huvudsak är de som orsakas av täthetsdifferenserna mellan blandvätskan i strålen och recipienten.

Grafiskt åskådliggöres sambandet ovan i fig. 4. Den streckade linjen anger gränsen $y/D = 0.89 F_\epsilon$.

Ur figuren kan också utläsas S_m 's beroende av enbart y/D . En minskning av diametern ger alltså en bättre spädning, vilket understryker betydelsen av att avloppsutsläpp utformas som en diffusor.

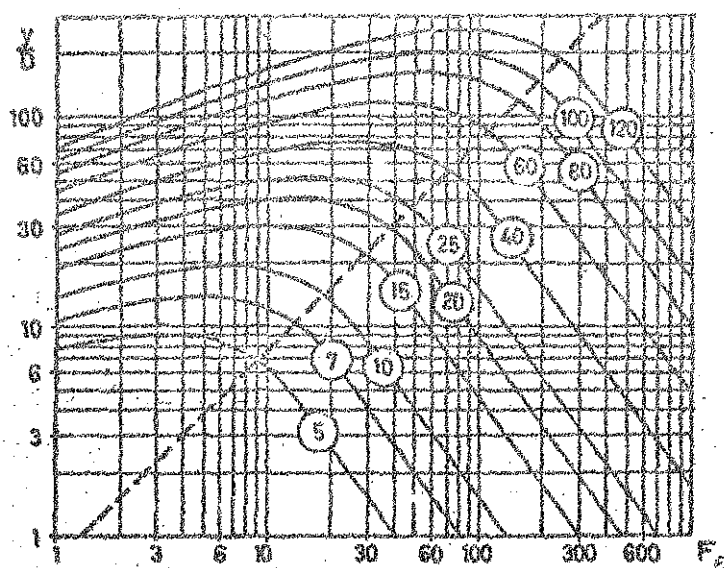


Fig. 4 Utspädningen S_m längs strålaxeln vid horisontellt utsläpp som funktion av relativa höjden y/D och Froudes tal. $S_{medel} = 2 \cdot S_m$.

Endast itäthetsskiktade recipienter har man möjlighet att inlagra avloppsvatten. Man kan då med utgångspunkt från fig. 4 genom intervallberäkning bestämma inlagringsnivån. Fältobservationer [4] har visat god överensstämmelse med beräkningar. I allmänhet låg de observerade inlagringsnivåerna djupare än de beräknade.

Det bör dock observeras att även om ingen inlagring sker så får man vid djuputsläpp stor initialutspädning i jämförelse med ytutsläpp.

3.3 Diffusionsteori

De spridningsbilder, som erhålles av spårämnet, präglas förutom av en resulterande in- och uttransport till och från fjorden även av genom strömmar genererad turbulent diffusion. Den vertikala diffusionen är på grund av Byfjordens täthetsskiktning av underordnad betydelse jämfört med den horisontella. För turbulent diffusion gäller ekvationer av samma typ som Ficks ekvationer för rent molekylärt utbyte.

$$N = -k \frac{\partial c}{\partial s} \quad (3)$$

där N betecknar det främmande ämnets transporthastighet per ytenhet och $\frac{\partial c}{\partial s}$ är koncentrationshastigheten i normalens riktning till ytan. k är

diffusionskoefficienten i s-led. Genom en kontinuitetsbetraktelse erhålles Ficks andra diffusionsekvation

$$\frac{\partial c}{\partial t} = k_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \quad (4)$$

där $\frac{\partial c}{\partial t}$ = koncentrationsändring i tiden.

Denna ekvation förutsätter konstanta diffusionskoefficienter. Vid turbulent diffusion är diffusionskoefficienten många gånger större än den är vid molekyllär diffusion. Om de turbulenta rörelser, som åstadkommer diffusionen är små i förhållande till det främmande ämnets utbredning, så gäller de Fickska ekvationerna med god approximation.

Genom integrering av ekv. (4) över y och z och med konstant tvärsnittsarea i x-led fås ekvation (4) på endimensionell form.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = k_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (5)$$

där C är medelvärdet av koncentrationen över tvärsnittet. Om man har variabel area och diffusionskoefficienter fås följande endimensionella ekvation

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{A_x} \frac{\partial}{\partial x} (A_x K_x \frac{\partial C}{\partial x}) \quad (6)$$

där A_x = arean i x-led av den sektion man betraktar

K_x = diffusionskoefficienten i x-led [m^2/s]

Lägger man på systemet en strömhastighet u övergår ekv. (6) till:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u_x \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{A_x} \frac{\partial}{\partial x} (A_x K_x \frac{\partial C}{\partial x}) \quad (7)$$

u_x är medelhastigheten över arean.

Ekv. (7) kan lösas genom insättning av strömhastigheten, diffusionskoefficienter, rand- och startvillkor. En generell lösning är

$$C = \frac{M}{\sqrt{4\pi K_x \cdot t}} e^{-\frac{(x - u_x \cdot t)^2}{4K_x \cdot t}} \quad (8)$$

Ekv. (8) förutsätter momentant utsläpp jämnt utspritt över en sektion och med infinitesimal utsträckning i x-led. M = tot. mängd av det betraktade ämnet [5].

Ekv. (8) uttrycker en normalfördelning vars varians ökar linjärt med tiden. På grund av alltför komplicerade strömmar och randvillkor löses ekv. (7) ofta numeriskt.

3.4 "Välblandad" modell för Byfjordens vattenutbyte

Numeriska lösningar av ekvationerna i föregående kapitel bygger på att fjorden indelas i vertikala element och att utbytet mellan dessa bestäms.

Den enklaste, realistiska horisontella elementindelning som kan göras är en indelning i två element, bottenvattnet resp. ytvattnet. Gränsen mellan dem utgöres av språngskiktet. Det grundläggande villkoret för att modellen skall kunna användas är i vårt fall att de parametrar man önskar studera kan anses väl omblandade i elementet ovan språngskiktet och där karakteriseras av en medelkoncentration. Utbytet genom Sunninge sund bestäms av dels genomströmning av sötvatten dels av vinddrivna nettoströmmar på olika nivåer i sundet och dels av horisontell och vertikal omblandning åstadkommen av tidvattnet. Utbytet kan då behandlas som ren advektiv transport om :

- a. Ingen vertikal blandning i övergångszonen mellan de båda elementen.
- b. Ingen longitudinell blandning i något skikt.

En förutsättning är att tiden väljes så att tidvattnets inverkan på nettoströmmen elimineras.

I verkligheten är inget av villkoren helt uppfyllt. Effekten av vertikal blandning är att utbyteshastigheten minskar medan longitudinell blandning ökar densamma, varför den sammanlagda effekten emellertid kan antas vara liten.

Det verkliga vattenutbytet kan studeras med spårämnesförsök, antingen genom kontinuerlig eller momentan dosering. För ett momentant tillfört spårämne, t. ex. rodamin fås följande utbytesmodell för koncentrationsminskningen åstadkommen av vattenutbytet.

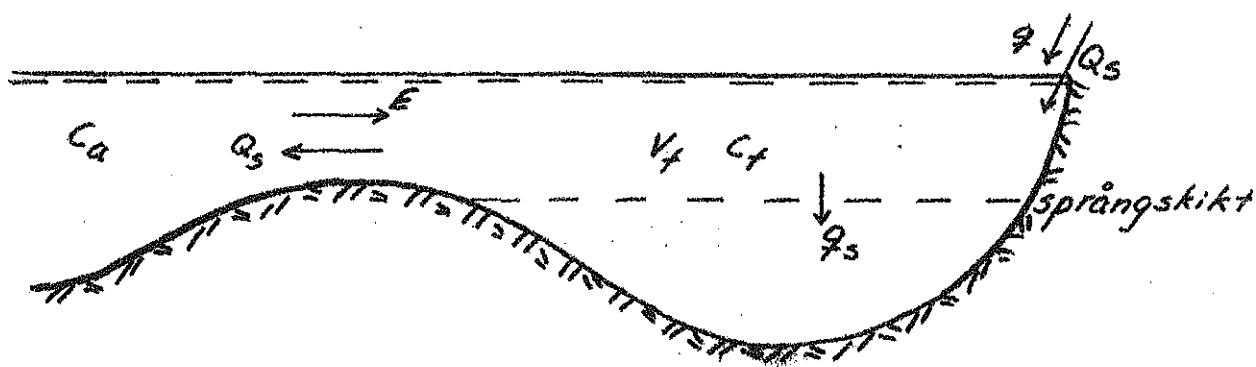


Fig. 5 Definition av parametrar för "välblandad modell"

V_f [m^3]	volym över språngskiktet
Q_s [m^3/s]	sötvattentillrinning
E [m^3/s]	utbyteshastighet
q [m^3/s]	tillförsel av rodamin
C_f, C_a [m^3/m^3]	medelkoncentrationer av rodamin i fjordens ytvatten och utanför fjorden
q_s [m^3/s]	transport till bottenskikt av rodamin

Massbalans för volymen ovan språngskiktet för momentant utsläpp blir:

$$-V_f \cdot \frac{dC_f}{dt} = E(C_f - C_a) + Q_s \cdot C_f + q_s \quad (9)$$

Försummar vi q_s och sätter $C_a = 0$ fås följande lösning:

$$C_f = C_o \cdot e^{-\frac{E+Q_s}{V_f} \cdot t} \quad (10)$$

där C_o = konc. i fjorden vid $t = 0$.

En förutsättning är emellertid att rodaminet är väl blandat i fjordens ytskikt vid den valda starttidpunkten.

Utbyteshastigheten E är då den enda obekanta i ekvationen och löses grafiskt genom att teckna $\ln C_f/C_o$ som funktion av tiden. [6]. Tillämpning se sid. 191.

4. SIMULERING AV AVLOPPSUTSLÄPP

4.1 Allmänt

Vi har redan konstaterat att en analytisk modell för det komplexa spridningsförloppet är nästan omöjlig att framställa. Olika praktiska försök är för närvarande det enda sättet att få en bild av spridningen och borttransporten. Genomgående för dessa försök är att ett lätt detekterbart spårämne utnyttjas. Försöken kan användas för att få en kvalitativ bild av spridningsförloppet och för att bestämma koefficienterna i spridnings-ekvationerna. De spårämnen som har använts i detta syfte är främst radioaktiva isotoper och fluorescerande färgämnen. De radioaktiva spårämnena erbjuder vissa mättekniska fördelar jämfört med de fluorescerande. Dessa fördelar uppvägs dock ofta av de omfattande säkerhetsanordningar som krävs vid utnyttjandet av denna teknik.

För att få en god korrelation mellan det praktiska försöket och verkligheten är det önskvärt att dosera det valda spårämnet kontinuerligt. Detta är dock i praktiken ofta omöjligt av ekonomiska skäl. Man är därför hänvisad till försök med mindre varaktighet. I gynnsamma fall kan en integrering av resultaten från de momentana doseringarna ge en bild av det kontinuerliga förloppet.

För att kunna dra riktiga slutsatser ur försöken är det viktigt att dessa sker vid olika hydrologiska betingelser. Vindens riktning och styrka t. ex. påverkar spridningsförloppet i mycket hög grad.

Om man förutom utspädningen även vill veta avloppsvattnets åldersfördelning kan man antingen dosera momentant eller utföra s. k. parallell-dosering, där man använder spårämnena med olika avklingningstider.

4.2 Metodval

Vår uppgift bestod i att simulera ett avloppsutsläpp ovanför språngskiktet vid Skeppsholmspiren. Reningsverket dimensioneras för en maximal avloppsvattenföring av $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$ vid full utbyggnad. Dock kan man räkna med att dimensionerande avloppsmängd i ledningen begränsas till $1 \text{ m}^3/\text{s}$ och resten får bräddas från reningsverket. Detta gör man för att inte ledningen skall bli överdimensionerad under större delen av dess brukstid. Lägsta

hastighet i ledningen begränsas till 0,5 m/s, vilket med en normalavloppsmängd av $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ger en ledning med diametern 800 mm. Ledningen utformas som en diffusorledning på 6-8 m djup och med en längd av ca 150 m. Med ett centrumavstånd mellan dysorna på 6-10 m blir flödet genom varje dysa 25 l/s om dysdiametern väljes till 250 mm.

För att få en uppfattning om det initiella spridningsförloppet, valde vi att simulera flödet genom en enstaka dysa. Vattnet togs från två brandposter vilkas kapacitet vi uppskattade till 20 l/s. Munstycket utformades med en diameter av 200 mm för att erhålla samma hastighet på flödet genom munstycket som i dysorna. Utsläppsmunstycket placerades ca 13 m utanför piren på ett djup av 5,8 m (se sid. 18).

Utsläppsvattnet märktes med det fluorescerande färgämnet Rodamin B200. En kontinuerlig dosering under en längre tid skulle ställt sig mycket dyrbar. Av den anledningen utförde vi kortvariga doseringar av varierande längd, trots att vi hade för avsikt att simulera ett kontinuerligt utsläpp.

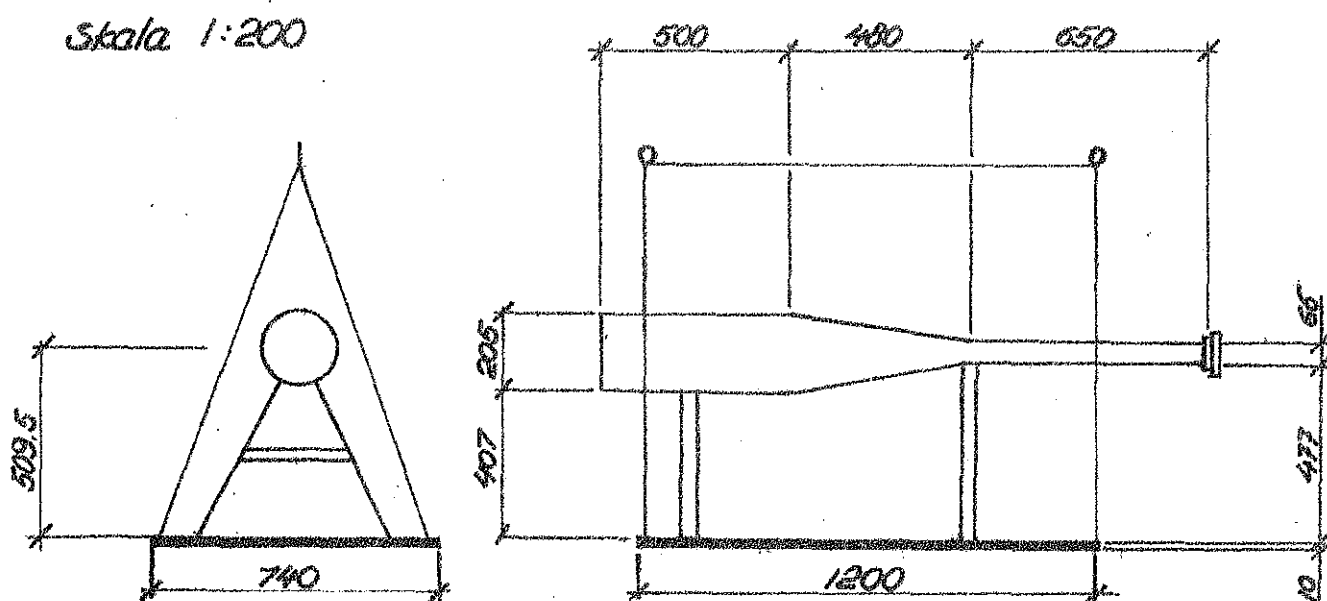


Fig. 6 Utsläppsmunstycke

Genom att välja en doseringstid på ca två dygn blir man dock relativt oberoende av kortperiodiska variationer i de parametrar som påverkar spridningen, främst vind och tidvatten. Ett stationärt tillstånd kan dock ej uppnås på denna tid.

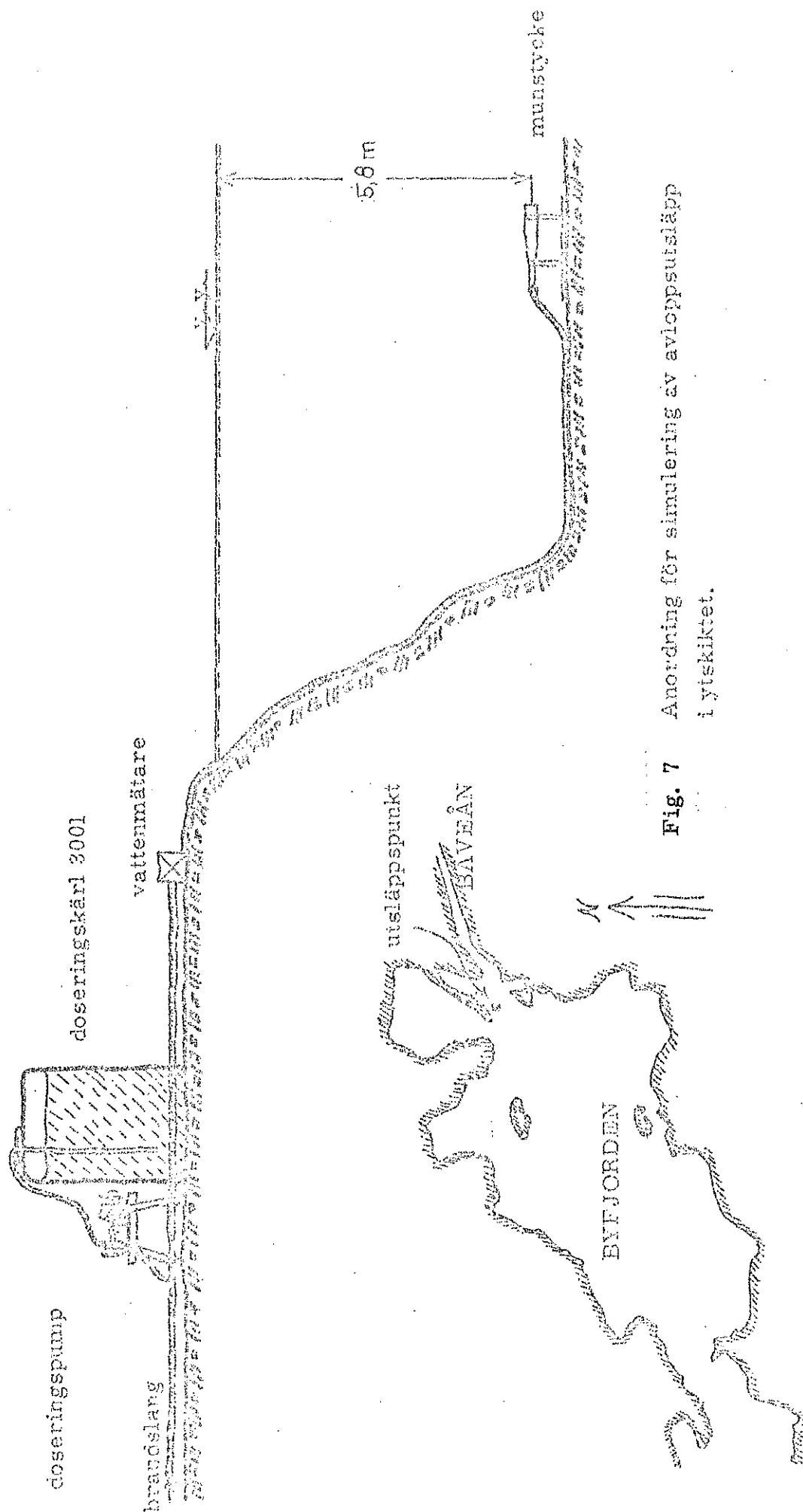


Fig. 7 Anordning för simulering av avloppsutsläpp i ytskiktet.

Koncentrationen av rodamin mättes med hjälp av speciell mätutrustning, se kap. 4, 5.

4.3 Doseringsutrustning

Vattnet från de två brandposterna fördes genom brandslangar till ett grenrör varvid en vattenföring på ungefär 14 l/s erhöles i huvudledningen. Rodaminlösningen förvarades i ett doseringskärl, som täcktes med svart plast för att skydda mot påverkan av solljus. Rodaminet tillsattes till huvudledningen genom att pumpas in i grenröret. Härtill användes en kolv-pump av typ Micromax vars maxkapacitet är ca 2 ml/s. På grund av rodaminlösningens trögflytande karaktär uppnåddes en maximikapacitet av 1,5 ml/s. Huvudledningen bestod av en brandslang som kopplades till utsläppsmunstycket. Med hjälp av en vattenmätare och därtill kopplad skrivare registrerades vattenföringen, se sid. 18.

Av mättekniska skäl är det önskvärt att uppnå en rodamin-koncentration ovanför utsläppspunkten av storleksordningen 10^{-7} . Med den aktuella utsläppsanordningen blir initialutspädningen ca 20 ggr och beräknas enligt ekv. (2) vid inlagring i ytan. Rodamin-koncentrationen i doseringskärlet valdes därför till 1:50 för att dels genom initialutspädningen och dels genom utspädningen direkt i brandslangen få koncentrationen 10^{-7} i ytan.

4.4 Rodamin B 200

Det fluorescerande färgämnet Rodamin B 200 tillverkas bl. a. av ICI. Det har den kemiska formeln $C_{22}H_{31}O_3N_2Cl$. Tätheten har bestämts till $1,113 \text{ g/cm}^3$ för den saluförda rodaminlösningen. Rodaminet påverkas mer eller mindre av vissa yttre faktorer enligt nedan.

Temperatur:

Sambandet kan tecknas

$$F = F_0 e^{nt} \quad (11)$$

där F = aktuell fluorescens i enheter

F_0 = motsvarande fluorescens i enheter vid vald referenstemperatur

n = karaktäristisk konstant

Storleken på n har genom laboratorieförsök bestämts till $-0,027 (^{\circ}\text{C}^{-1})$. Exempelvis medför 7°C avvikelse från vald normaltemperatur 10 % avvikelse i fluorescens, där lägre fluorescens erhålles vid högre temperatur.

Bakgrundsnivå:

Recipientvattnet kan ge upphov till vissa effekter som bör observeras. Två typer av bakgrund kan definieras:

1. Den "verkliga" bakgrunden, som orsakas av naturligt förekommande ämnen med fluorescerande egenskaper liknande dem hos rodamin. Detta måste beaktas.
2. Den bakgrund som huvudsakligen orsakas av interferensfenomen hos suspenderat material. Närvaron av suspenderat material har två effekter på fluorescensens storlek. Dels ökar fluorescensen på grund av interferens, dels minskar fluorescensen på grund av adsorption. Effekten av dessa faktorer är av samma storleksordning, varför man vid praktisk tillämpning försummar dessa faktorer.

pH-värde:

Rodaminens fluorescens är i stort sett oberoende av pH-värden i intervallet 5 till 10. I Byfjorden är pH-värdet 7-8.

Salthalt:

Fluorescensen påverkas ej av salthaltskoncentrationer i intervallet från 0 till 35 ‰.

Fotokemisk avklingning:

Den fotokemiska avklingningen är oberoende av koncentrationen. Halveringstiden för Rodamin är i solsken omkring 31 timmar och i mulet väder ungefär 5 gånger längre [7]. Förutom väderleken inverkar djupet och vattnets ljusgenomsläpplighet på avklingningsförloppet. (Se sid. 39).

4.5 Mätutrustning

Mätutrustningens principiella uppbyggnad framgår av sid. 21.

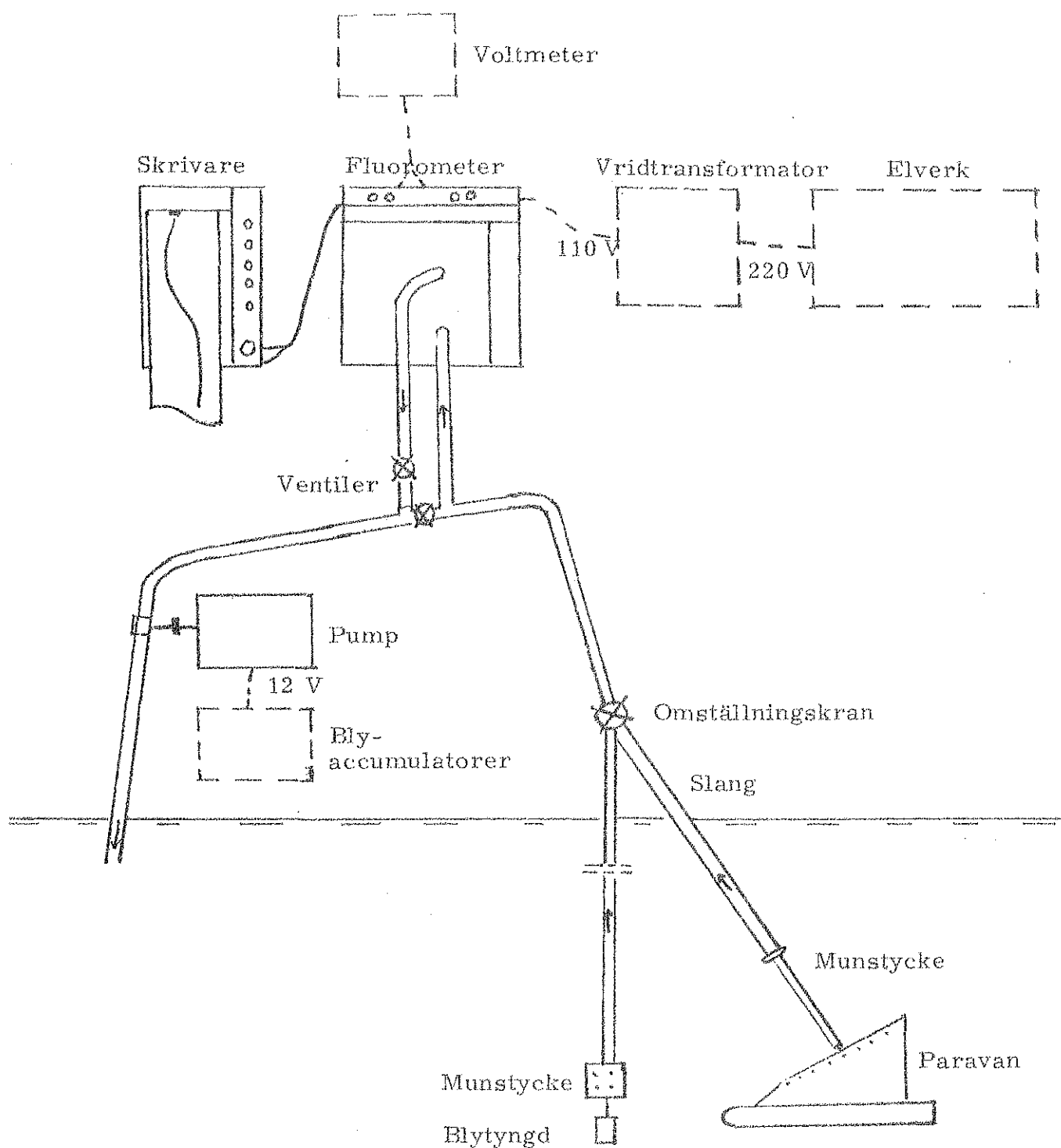


Fig. 8 Mätutrustning

Vatten från det aktuella mätdjupet pumpas kontinuerligt upp genom fluorometern medan båten rör sig över mätområdet. I instrument analyseras vattnets fluorescens vilken är direkt proportionell mot dess rodaminkoncentration. Resultatet registreras direkt av en skrivare.

Streckade komponenter anger alternativutrustning.

För att genomföra fältmätningarna användes som mätbåt en Albin 25 tillhörande Institutionen för Vattenbyggnad, CTH. Båten var utrustad med en extra generator för att leverera ström till en fluorometer. Den ordinarie generatören levererade ström till en pump av typ Jabsco. Pumpen uppförde vatten från det aktuella mätdjupet genom den kontinuerligt registrerande fluorometern och ut i fjorden igen. Fluorometern erfordrade 110 V växelström. För att erhålla detta användes en omformare som gav 220 V växelström till vilken en vridtransformator anslöts som gav erforderliga 110 V till fluorometern.

Då Albin-båten var ur funktion användes en snipa. Då denna inte hade någon extra generator, var vi tvungna att använda oss av ett bensindrivet elverk av typ Eisemann. Elverket ger 220 V varför transformator måste användas även här. Jabscopumpen försågs med ström medelst 12 V blyaccumulatorer.

För att hålla insugningsmunstycket på önskad nivå under gång användes en paravan. Djupprofiler togs genom en längdmarkerad slang försedd med munstycke och en blytyngd som sänktes till önskat djup. Samma princip kunde användas för bägge ändamålen då de två slangarna kopplades till en gemensam slang varvid den ej önskade kunde avstängas.

Registreringen av fluorometers utslag tillgick så att fluorometern kopplades till en potentiometrisk SY-YT-skrivare av typ Minigor, Re 501, vilken var placerad vid förarplatsen.

Fluorometern kan även användas för mätning på vattenprov t. ex. avklingningsprov. Genomströmningsdörren ersätts då med en dörr med hållare för provkyveter.

Temperatur och salthalt mättes med hjälp av en salinometer av typ Electronic Switchgear. Instrumentets noggrannhet är tillräcklig för att bestämma täthetsprofilen med nöjaktig noggrannhet.

Vattenstånd registrerades kontinuerligt vid Uddevalla kommuns pegel utanför hamnkontoret. Dessutom hade institutionen för vattenbyggnad, CTH, egna peggare i Skeppsviken och Sunningen. Vid Sunningen fanns även en vindmätare som registrerade vindstyrka och vindriktning kontinuerligt. Vid behov kunde också vinduppgifter erhållas från SMHI:s vindmätare vid Måseskär.

4.6 Fluorometern

Under försöken användes en fluorometer av typ G. K. Turner Associates Model III. Fluorometern kan genom ett enkelt byte av dörrar användas antingen för mätning på insamlade vattenprover i 5 cm långa kyvetter eller med genomströmningskyvetter av 5 cm längd för kontinuerlig koncentrationsregistrering. Fluorometern är självbalanserande och har fyra känslighetsområden. Huvudprincipen för en fluorometer bygger på jämförelsen mellan ljusintensiteter i en optisk brygga. (Jfr Wheatstones brygga inom elektrotekniken). Denna brygga mäter skillnaden mellan ljus, som emitterats från vattenprovet och ljus som kommer från en noggrant kalibrerad ljusgång. Som ljuskälla tjänstgör en UV-lampa med primärfilter för ingående ljus till kyvetten och sekundärfilter för utgående ljus framför fotomultiplikatorn.

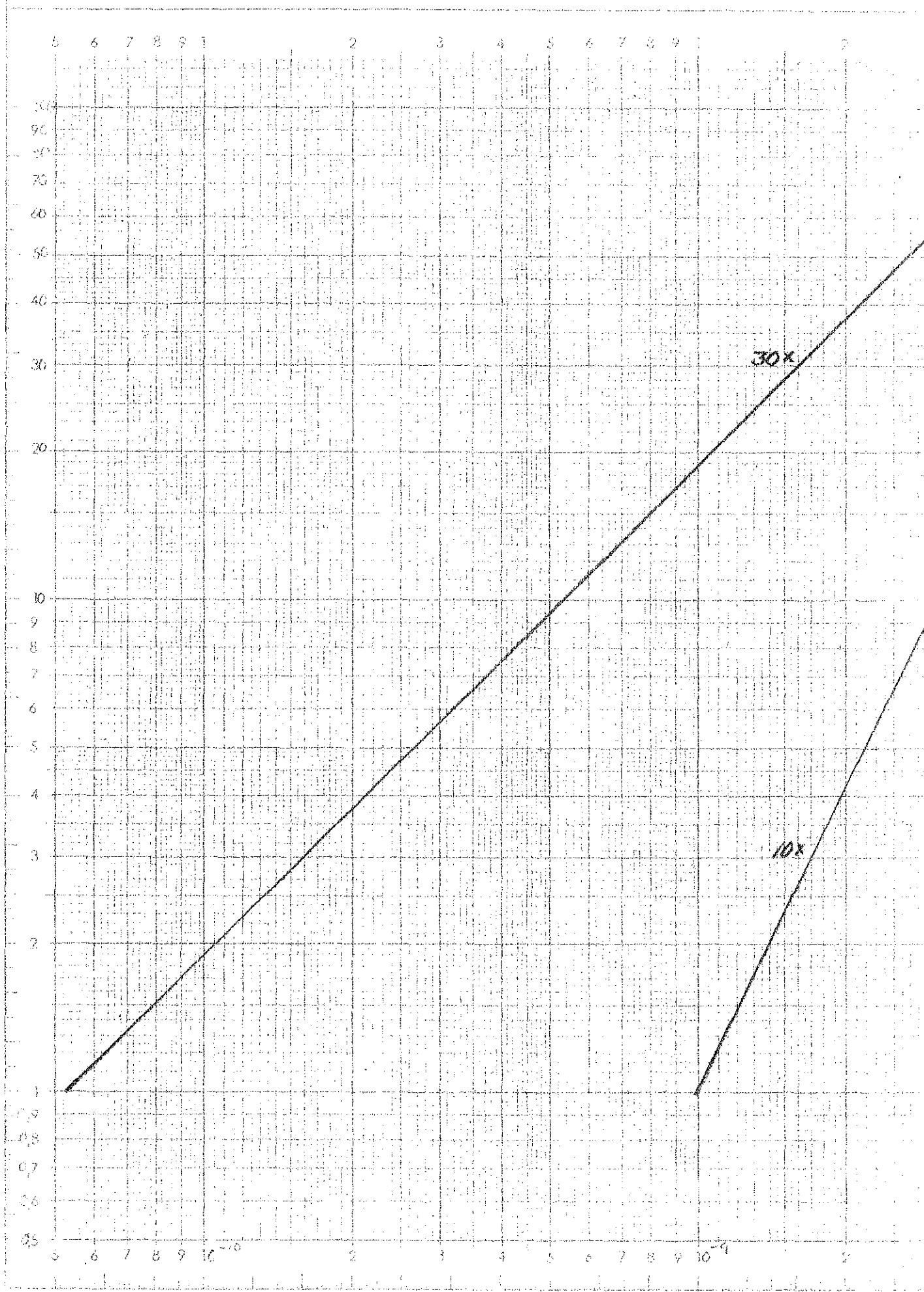
På grund av viss instabilitet hos fluorometern kan den sökta fluoroscensen avläsas med en noggrannhet av $\pm 0,5$ skalenheter.

Kalibrering av både genomströmningskyvett och provkyvett utfördes av Andersson, Palm och Plith i ett examensarbete 8. Dessa fältmätningar utfördes omedelbart innan våra. Kalibreringskurvorna redovisas på sid. 24-27.

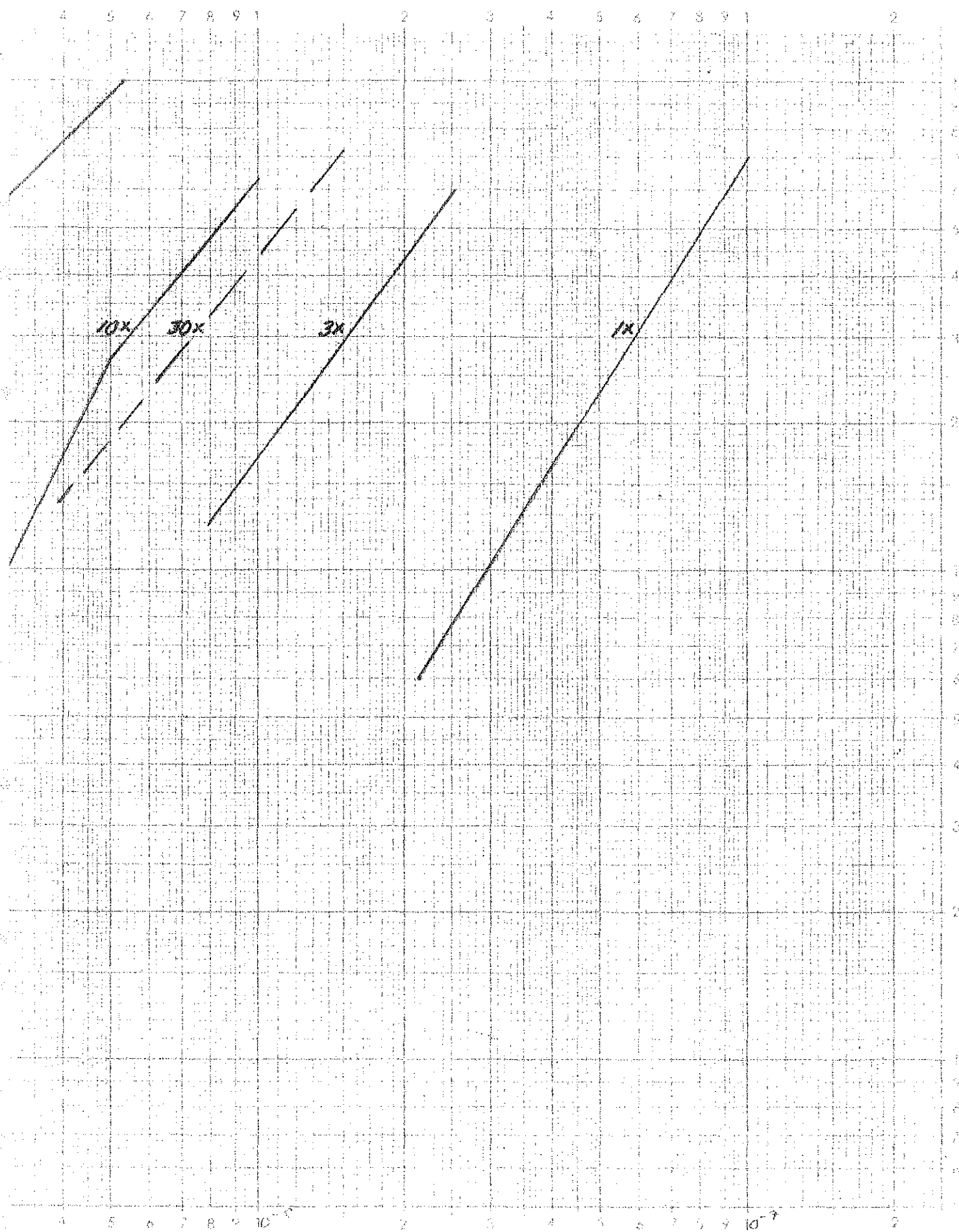
För uppgifter om fluorometern i övrigt hänvisas till 9 .

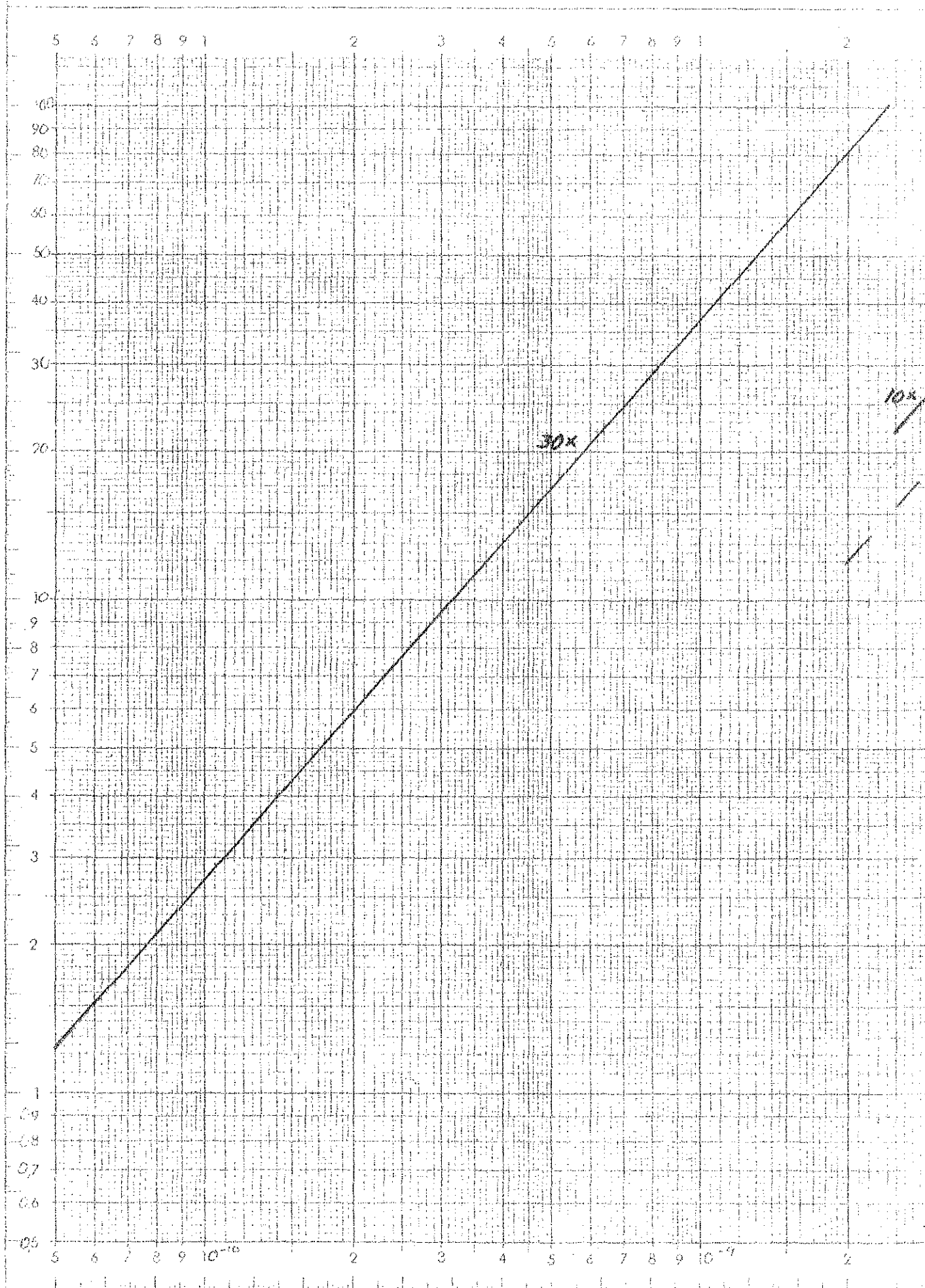
4.7 Mätmetodik

Inmätningen av rodaminet påbörjades inom ett dygn efter det att en dosering startat. Fluorometern krävde en uppvärmning av minst 30 minuter för att ge korrekta värden. Under denna tid körde vi ut till en punkt där vi ansåg oss säkra på att koncentrationen av rodamin var noll. Nollningen skedde med genomströmningskyvett och vatten från fjorden. På detta sätt eliminerades inverkan av bakgrunds-nivån. Till en början valde vi att nolla vid ytan. I och med att rodaminet spreds utanför Sunningen ansåg vi det säkrare att utföra nollningen genom att sänka munstycket till ca 20 meters djup och pumpa upp vatten därifrån. Tidigare mätningar på bakgrunds-nivån har nämligen visat god överensstämmelse mellan värden från ytan och på 20 meters djup. Sommartid förekommer nämligen inget vattenutbyte genom det skarpa språngskikt som ligger på 12-18 meters djup. I vissa fall valde

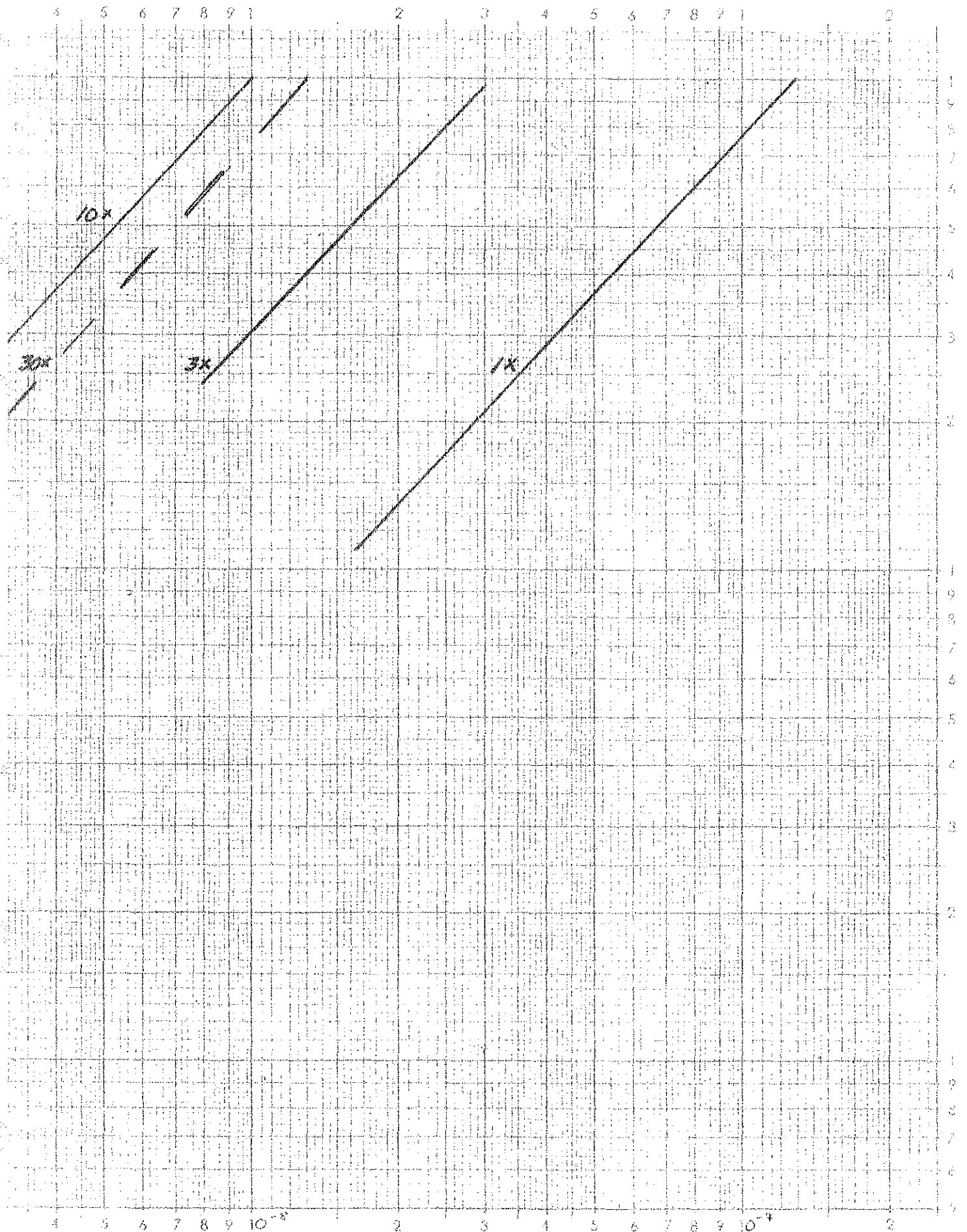


Kalibreringskurva för fluorometer nr 3087





Kalibreringskurva för fluorometer nr 3086.



vi även att värma upp fluorometern vid båtplatsen för att kunna mäta under gång ut från Bäveån. Nollning utfördes emellertid på samma sätt, varvid redan uppmätta värden efterkorrigerades.

I samband med nollningen kalibrerades skrivaren för överensstämmelse med fluorometerns utslag, dels vid utslaget noll och dels vid ett stort utslag, som erhöles med provkyvett och medförd blandning. Detta för att erhålla både riktig nollnivå och riktiga skalutslag.

Efter nollningsproceduren påbörjades själva inmätningen. Inga fixerade ruttor användes utan mätrutterna anpassades till rodaminmolnets aktuella utbredning.

Navigeringen gjordes med hjälp av land- och sjömärken samt med hjälp av en karta med inlagda 100-meterslinjer. Genom rekognosering noterades dessa linjers skärning med strandkanten.

Vid vissa punkter togs djupprofiler vilket innebär att koncentrationsfördelningen i vertikal led mättes. Valet av dessa punkter styrdes också av rodaminmolnets utbredning men totalt sett önskade vi en så allsidig bild av den vertikala transporten som möjligt. Vi fann efter ett antal mätningar, att värdet av djupprofiler var större än vi från början anat och försökte därefter i möjligaste mån att intensifiera dessa.

För att bestämma rodaminets fotokemiska avklingning tillverkades en rodaminlösning med koncentrationen 10^{-8} . Vi hällde lösningen i genomskinliga glasflaskor, som vi tillslöt och placerade hängande i snören på 1/2-meters djup på ett sådant sätt att flaskorna ej låg i solskugga. Vid varje mätning togs flaskorna upp på båten, ett prov togs ur någon eller några flaskor, och koncentrationen mättes. Därpå hälldes proven tillbaka i respektive flaska och dessa återfördes i vattnet.

Under dosering 5 och 6 hade vi flaskor på djupen 1, 5 resp 10 meter för att registrera avklingningen för de varierande ljusförhållandena som råder på olika djup.

I samband med doseringarna och vid vissa andra tillfällen mättes salthalt och temperatur. Avsikten var att få en bild av skiktningförhållandena, speciellt över utsläppspunkten vid dosering.

5. UTVÄRDERING AV MÄTDATA

5.1 Allmänt

För att kunna utvärdera de spridningsbilder som erhöles vid rodamin-doseringarna fordras kännedom om vilka faktorer som påverkar spridningsförloppet. Dit räknas bl. a. vind, vattenstånd, vattnets temperatur och salthalt.

Vindens inverkan är starkast i ytvattnet och åstadkommer där strömmar i vindens riktning. På djupare nivå uppstår därvid returströmmar i motsatt riktning.

Starka vindar i fjordens längsriktning medför också vattenståndsförändringar. Det är alltså av största vikt att vindens storlek, riktning och varaktighet bestäms.

Tidvattnets regelbundna variation innebär under en längre period inga större förändringar i spridningsbilden. Däremot är det av intresse att veta vid tolkning av enstaka spridningsbilder, var i tidvattencykeln man befinner sig. Vattenståndsvariationerna beroende på tidvattnet är i Byfjorden av storleksordningen 30 cm.

Med vattentemperatur- och salthaltsdata kan man beräkna täthetsprofiler för fjorden. Detta är nödvändigt för att bestämma språngskiktets läge och därmed storleken av den vattenvolym som begränsas nedåt av detta skikt. Täthetsprofiler används också då man beräknar initialutspädningen och inlagringsmöjligheterna vid diffusorutsläppet.

Då man har spridningsbilden klar, måste de inmätta rodaminmängderna korrigeras med hänsyn till rodaminets fotokemiska avklingning. För den skull beräknar man en avklingningsfaktor baserad på mätningar under den aktuella perioden. Fluorescensens temperaturberoende är i vårt fall försumbar då kalibreringstemperaturen ganska väl överensstämmer med fjordvattnets temperatur.

5.2 Vind

Vindriktning och vindstyrka erhöles från en vindmätare med kontinuerlig registrering placerad på en höjd i närheten av Sunninge sund. Vissa perioder var denna ur funktion. Vid dessa tillfällen användes korrigerade vär-

den från SMHI:s vindmätare vid Måseskär. Med hjälp av dessa värden har vindkomponenter i fjordens längdriktning och medelvind från doseringens början till aktuell mätning beräknats. Resultaten är redovisade på kartorna över rodaminets horisontella spridning. Av dessa framgår att under den aktuella perioden var de västliga vindarna dominerande, vilket överensstämmer med tidigare iakttagelser. Undantag utgjorde dosering 6 då relativt starka östliga vindar förekom.

5.3 Temperatur och täthet

Temperatur och salthalt mättes med en salinometer. Speciellt viktiga var dessa mätningar vid doseringstillfällena, då de ligger till grund för beräkning av initialutspädningen. På sid. 31-33 redovisas temperaturvariationen på olika djup i fjorden och på sid. 34-36 visas signifikanta täthetsprofiler framtagna med hjälp av salinometermätningarna.

För varje dosering har initialutspädningen beräknats enligt teorin i kap. 3.2. Erhållna värden på initialutspädningen redovisas i kap. 6 i samband med övriga data om doseringarna. Av dessa framgår att under den aktuella perioden var täthetsskiktningen i regel sådan att det utsläppta vattnet steg till ytan. Under dosering 6 var emellertid täthetsskiktningen sådan att det teoretiskt skulle bli en inlagring strax under ytan. I verkligheten blev det emellertid så att rodaminet steg till ytan strax vid sidan om utsläppet.

5.4 Korrigerings av koncentrationsmätningarna

För att bestämma rodaminets fotokemiska avklingning har avklingningsprov gjorts på 1 m djup och under slutet av sommaren också på 5 och 10 meters djup. Enligt docent Johan Söderström avtar ljusstyrkan och därmed också avklingningen exponentiellt med djupet, se sid. 39. Den relativt flacka kurvan ned till 1 meters djup förklaras med den stora förekomsten av partiklar i ytvattnet. Dessa verkar närmast som ett filter och minskar på så sätt den ljusmängd som tränger ner på djupet. Resultaten från avklingningsproven redovisas på sid. 40-42. För varje dosering har också avklingningsfaktorn N i ekvationen $F = F_0 \cdot e^{-NT}$ beräknats. F är här den aktuella fluorescensen vid vald tidpunkt och F_0 är

01

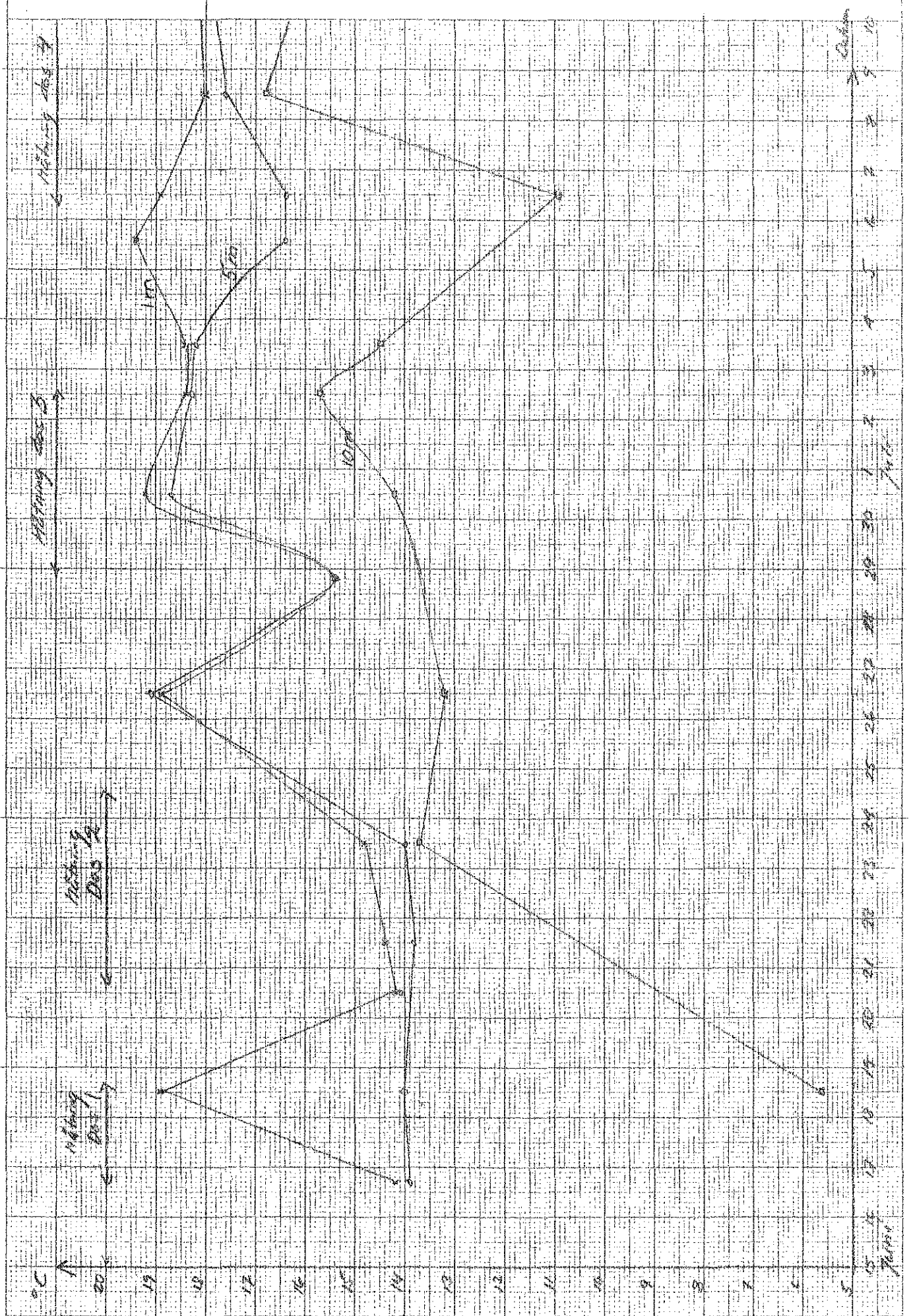


Fig. 14

Temperatures variation på olika djup

32.

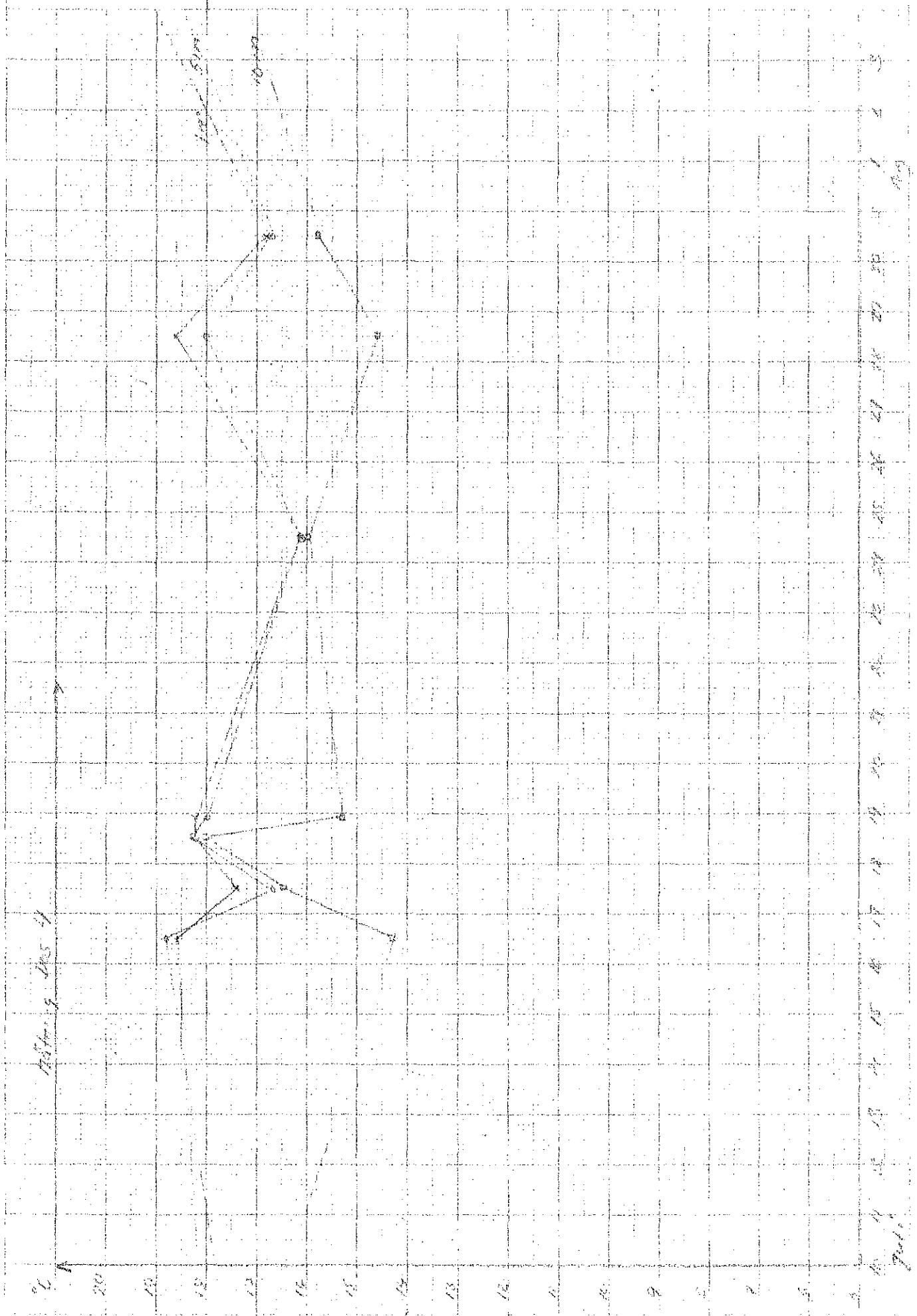
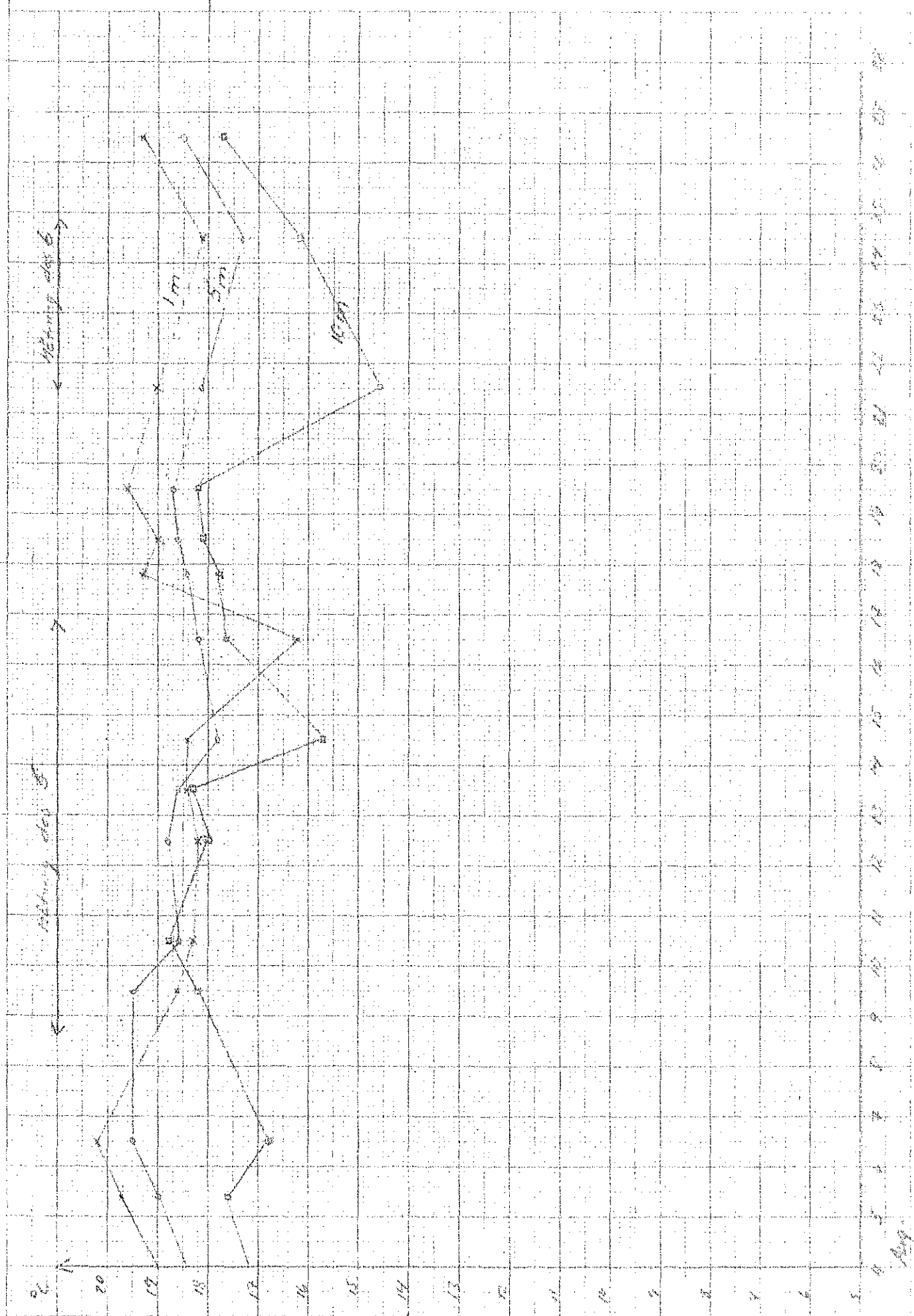


Fig. 15

Temperatures variation på olika djup

33.



14 A4
792501



1624

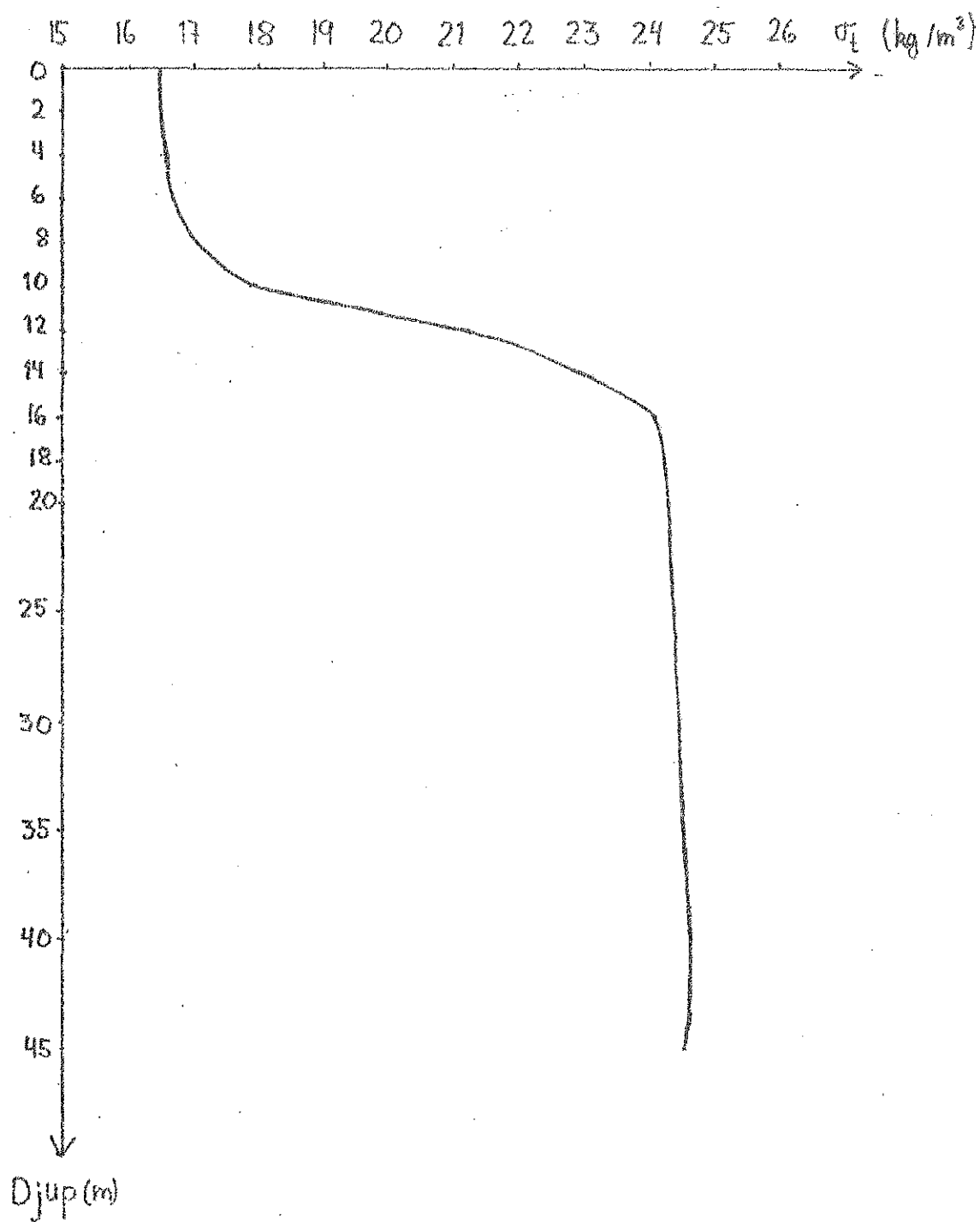


Fig. 16

Vertikal täthetsprofil för Byfjorden

Datum: 1971-06-25

$$\sigma_t = \rho_{\text{akt}} - 1000,00 \quad \rho \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

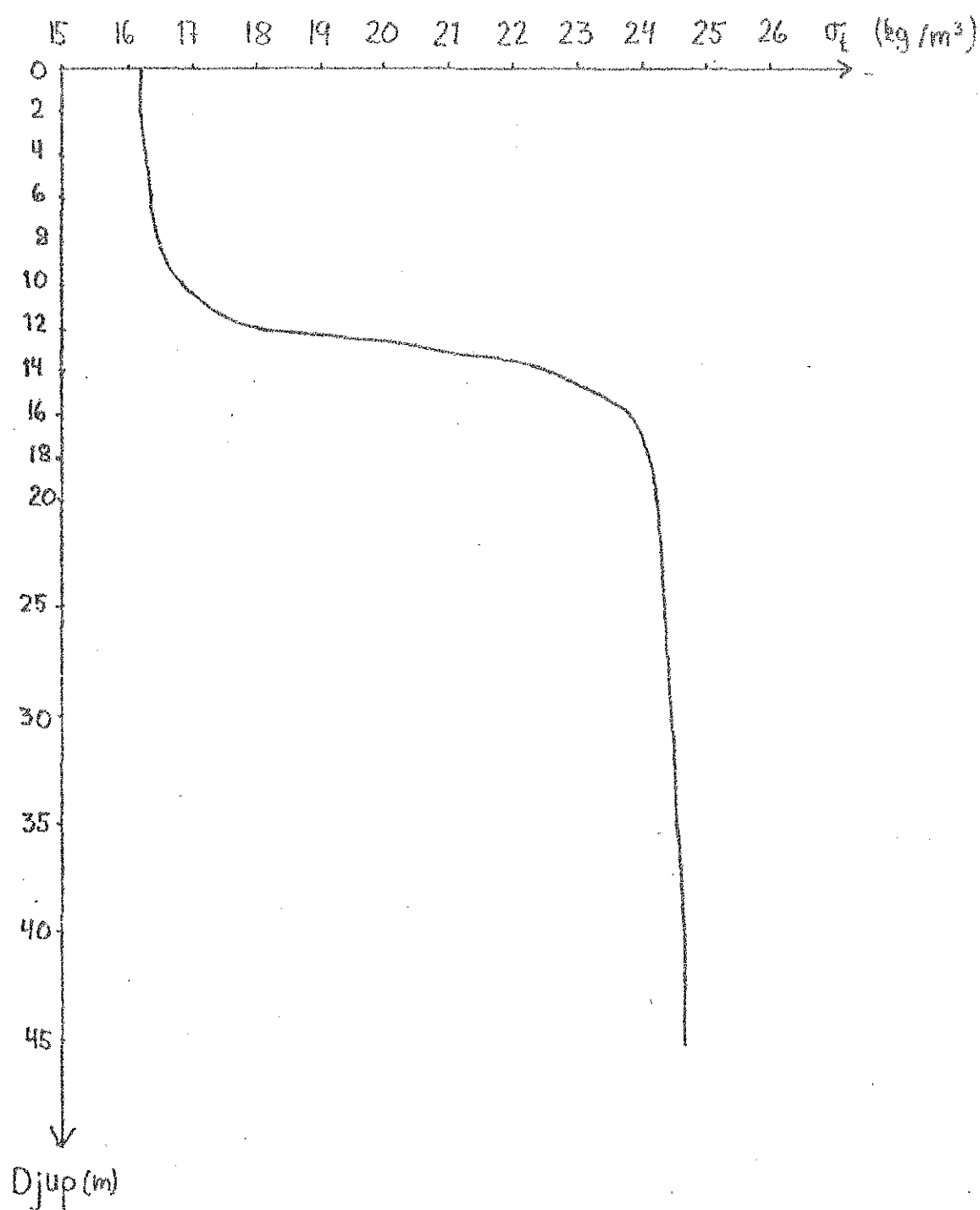


Fig. 17

Vertikal täthetsprofil för Byfjorden

Datum: 1971-07-25

$$\sigma_t = \rho_{\text{akt}} - 1000,00 \quad \rho \quad [\text{kg/m}^3]$$

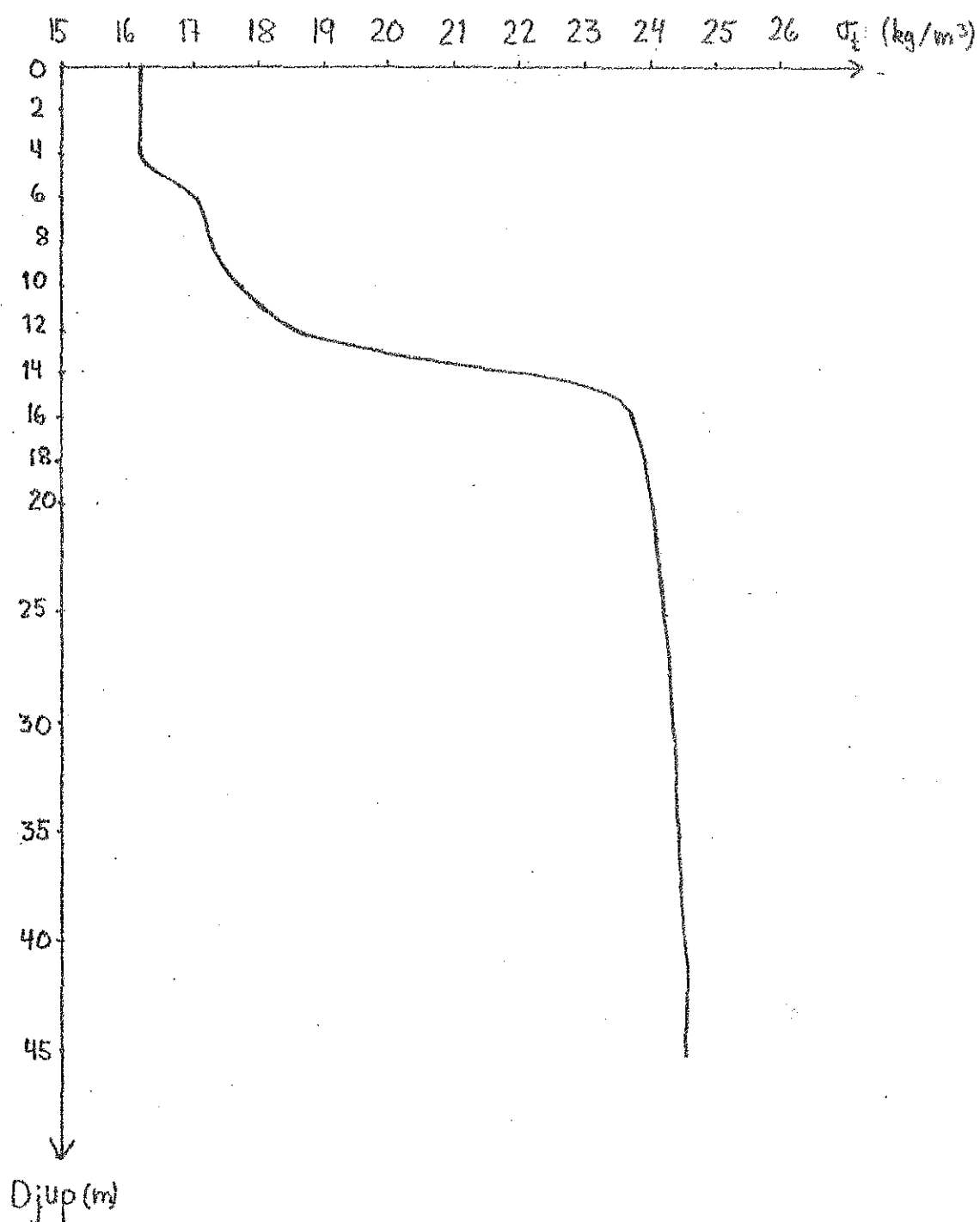


Fig. 18

Vertikal täthetsprofil för Byfjorden

Datum: 1971-08-25

$$\sigma_t = \rho_{\text{akt}} - 1000,00 \quad \rho [\text{kg/m}^3]$$

fluorescensen vid doseringstidpunkten. Tiden T uttrycks i dygn och faktorn N får alltså dimensionen $1/\text{dygn}$. Värden på avklingningsfaktorn för varje dosering ges i kap. 6, där de inmätta rodaminmängderna korrigeras för avklingning genom division med koefficienten e^{-NT} . Vid de stora doseringarna då mätningar utfördes under relativt lång tid var e^{-NT} av storleksordningen 0,5 i slutet av perioden.

Inmätta rodaminkoncentrationer bör också korrigeras med hänsyn till vattentemperaturen. Diagrammet på sid. 42 visar temperaturens inverkan på fluorescensintensiteten hos Rodamin 200 B [7]. Kalibreringstemperaturen för de använda fluorometrarna var ca 16°C . Vattentemperaturen på 1 meters djup i fjorden låg omkring 18°C (se sid. 31-33), varvid korrektionsfaktorn blir 0,97. Denna faktor kan anses försumbar i jämförelse med övriga mätfel. På 10 meters djup låg temperaturen åtskilligt under kalibreringstemperaturen i början på sommaren, dock är mätvärdena där så små att korrektionsfaktorns inverkan även där kan försummas.

5.5 Förklaringar till mätdata-spridningsbilder

a. Kartor över horisontell spridning:

På dessa kartor redovisas:

1. Uppmätta rodaminkoncentrationer på 1 m:s djup. Hänsyn till koncentrationens beroende av avklingning och vattentemperatur har ej tagits. Avvikelser från standardmätutrustning framgår av kartorna under punkten anmärkning. Aktuell volymkoncentration av rodaminet fås genom multiplikation av mätvärdena på kartorna med i tabellhuvudet angiven multiplikator.
2. Djupprofiler har uppmätts vid de med x markerade punkterna.
3. Mätrutten är markerad med tunn heldragen linje. På vissa kartor har denna utelämnats för att ej minska tydligheten av koncentrationsskurvorna.
4. Vattenståndets variation har erhållits från peglar med kontinuerlig registrering. Vi har dels använt institutionens pegel vid Skeppsviken, dels Uddevalla kommuns pegel i hamnen. Korrigering för att få överensstämmelse mellan dessa har gjorts. Nollnivån överensstämmer med den som Uddevalla kommun använder.

5. Vindkomponent i fjordens längdriktning - se kap. 5.2.

b: Djupprofiler

Dessa redovisar rodamine's spridning i vertikalled. Samma förenklingar gäller som för a:1. Multiplikator för samtliga djupprofiler är 10^{-10}

c: Koncentration i Bäveån:

Se a:1

d: Koncentration tvärs Junokajen i Bäveån som funktion av tiden: Uppmätta värden är korrigerade med hänsyn till avklingning dock ej till temperaturen.

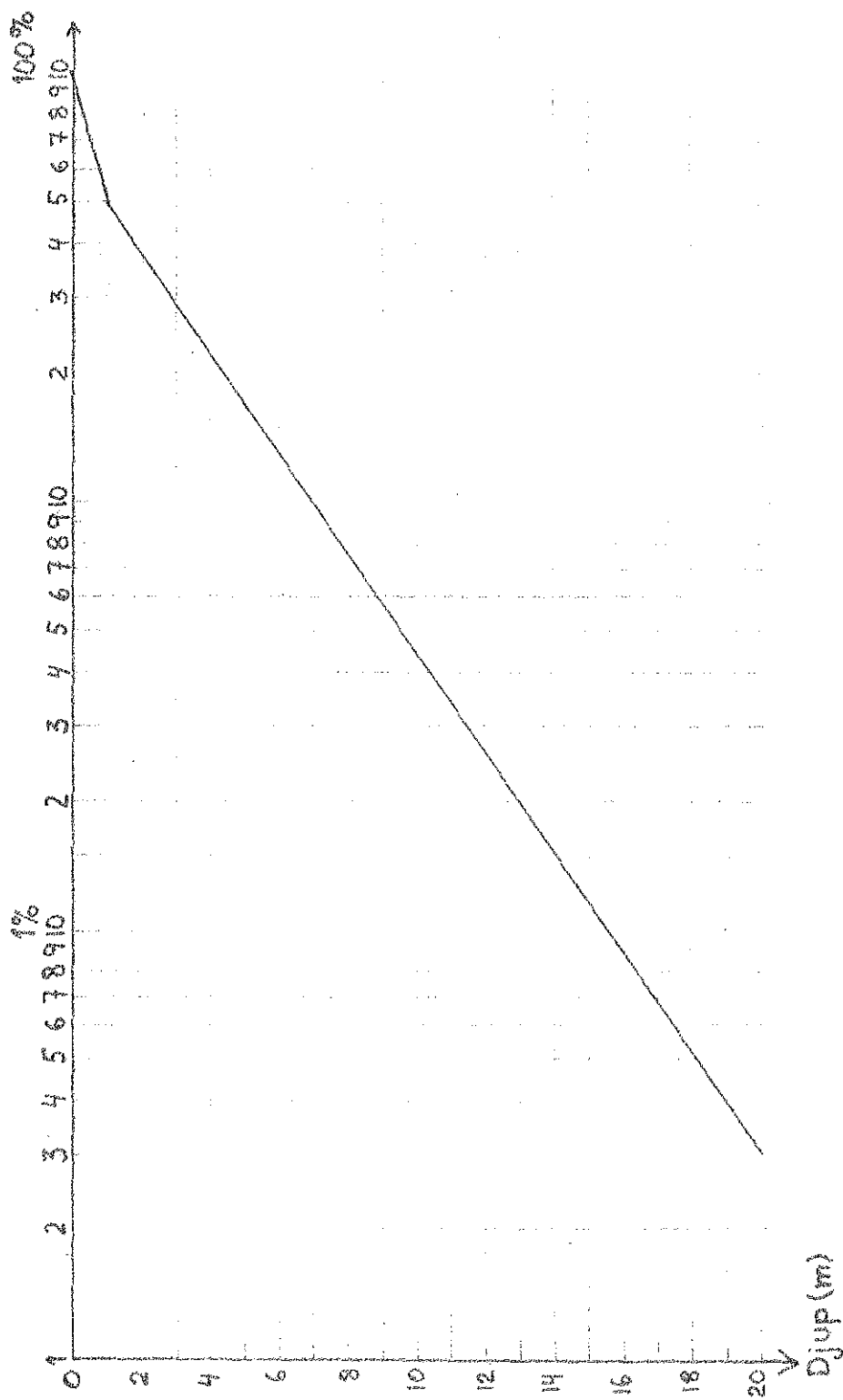


Fig. 19 Ljustyrkan som funktion av vattendjupet (enl. mätningar utförda av docent Johan Söderström, marinbotaniska institutionen, Göteborgs universitet).

Fig. 20

Avklingningsprov på 1 m:s djup

40.

10^{-9}

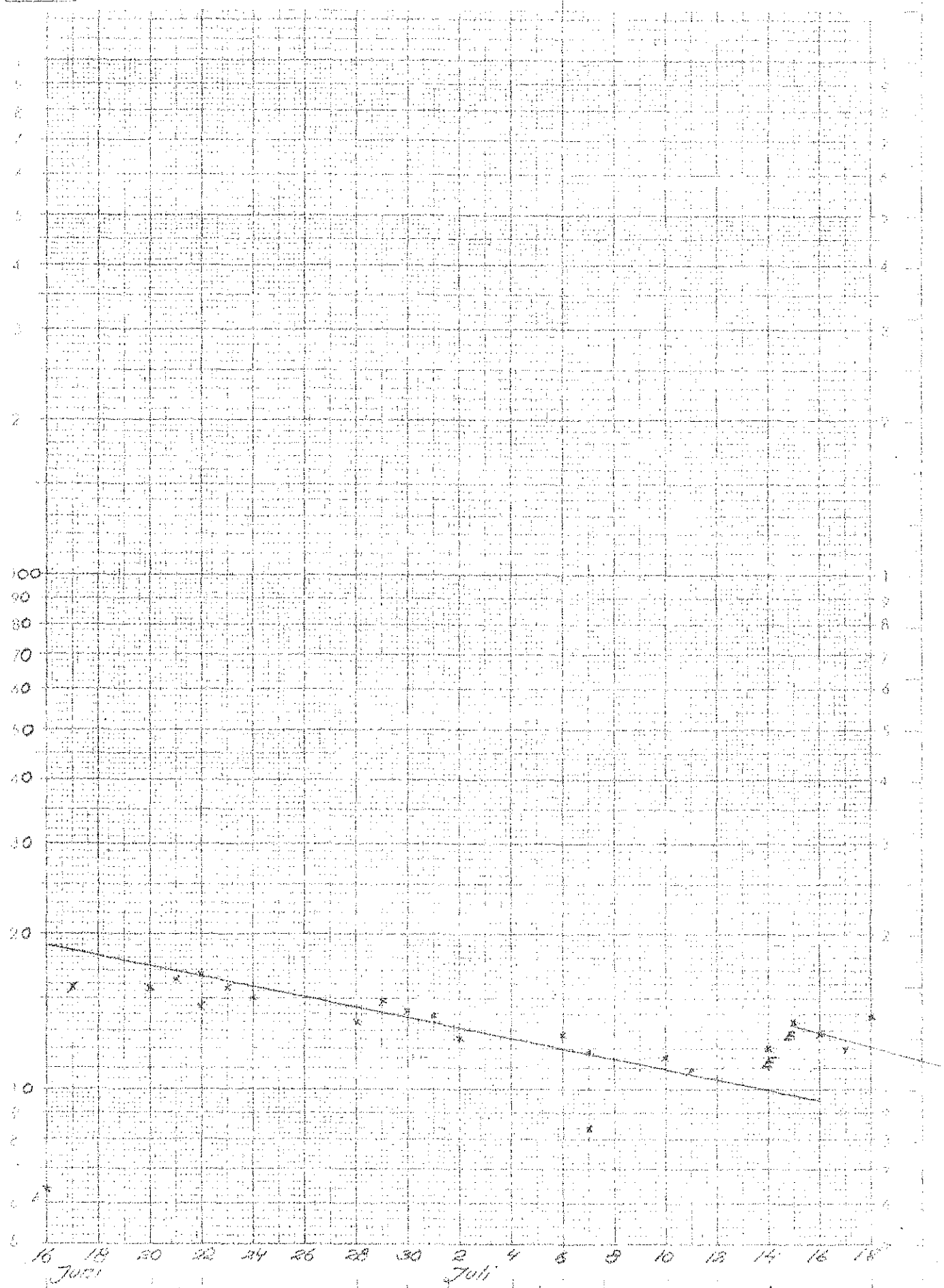
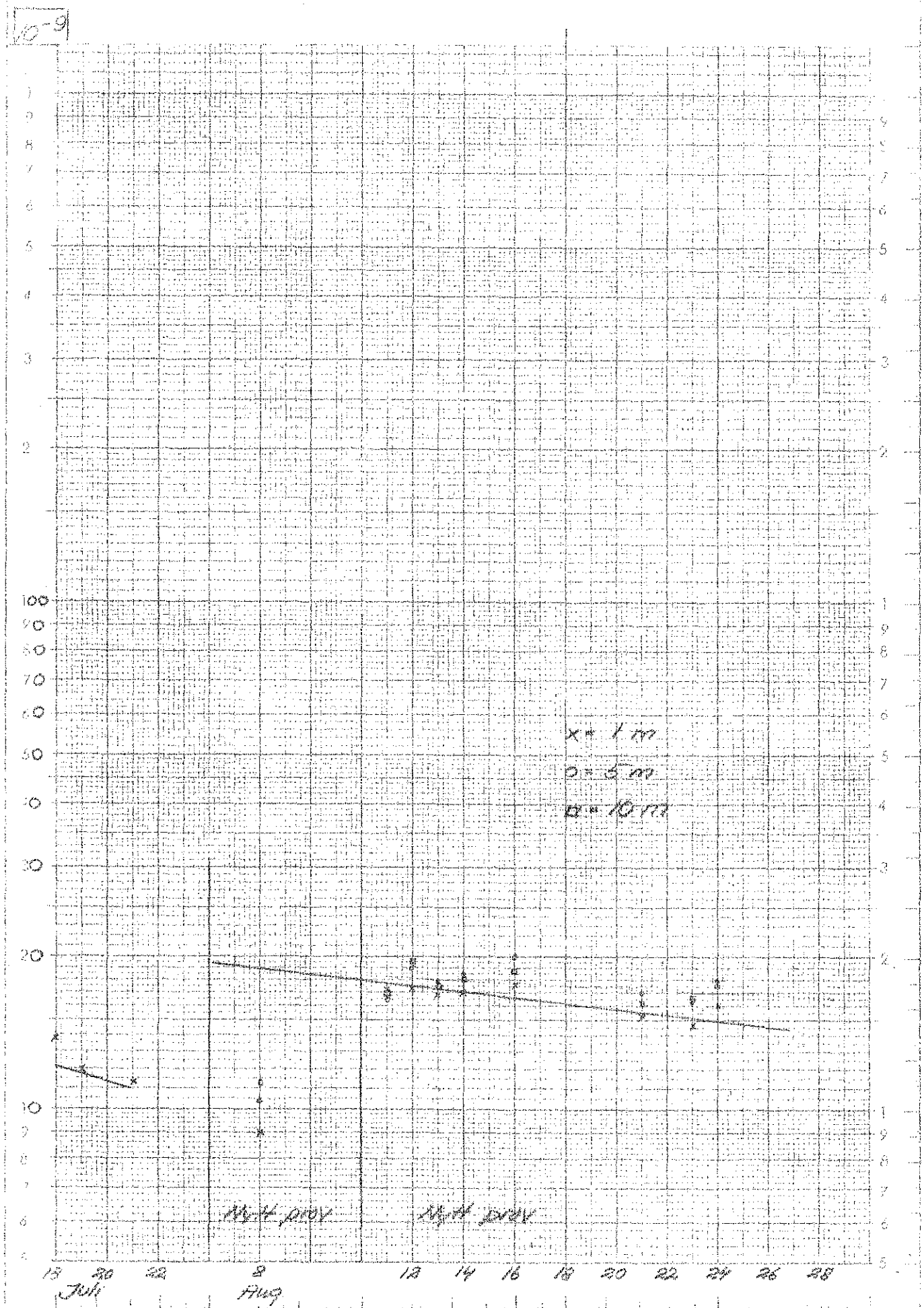


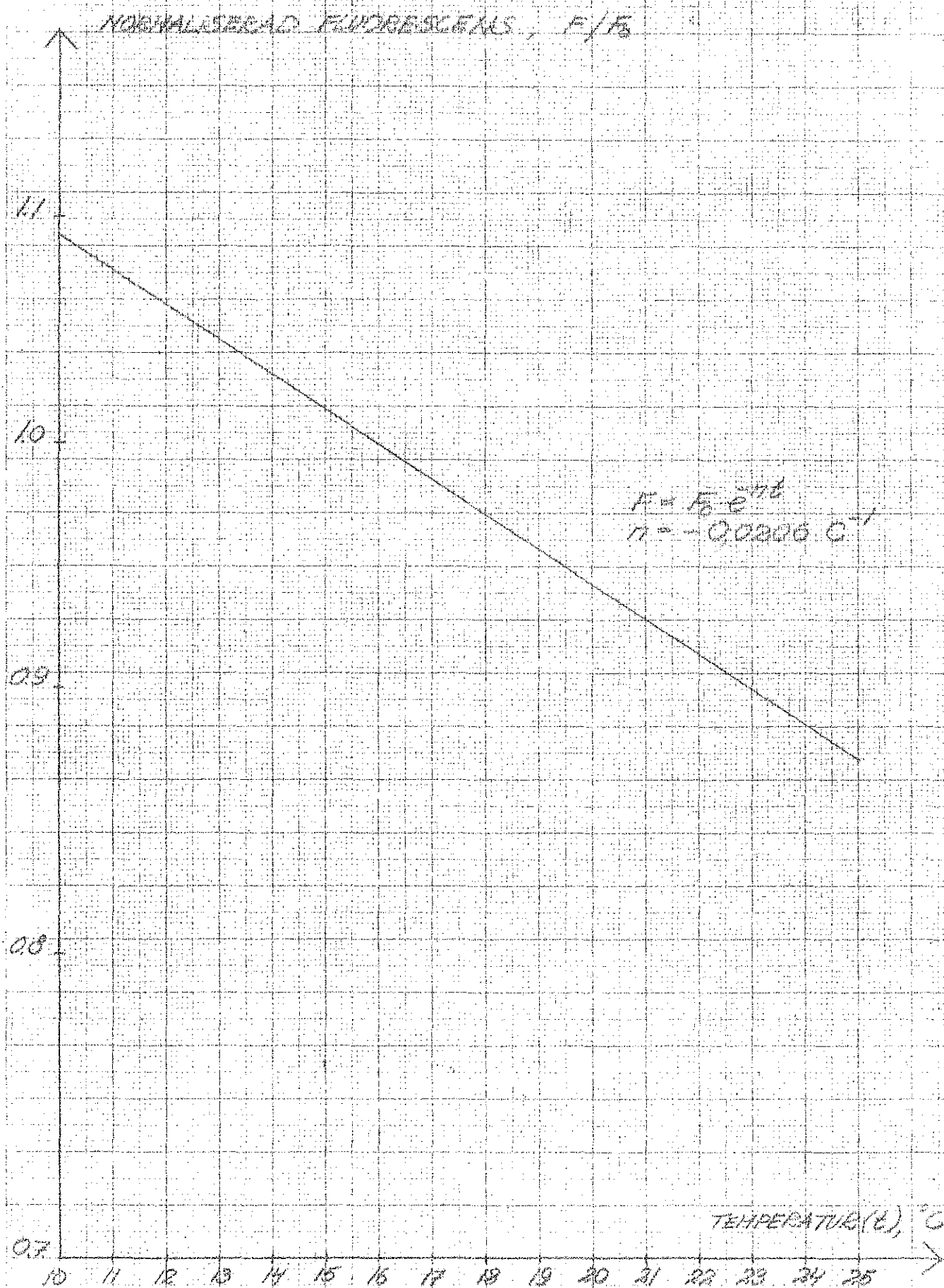
Fig. 21

41.

Avklingningsprov på 1, 5 och 10 m:s djup



Temperatures inverkan på fluroescens-
intensiteten hos Rodamin 200 B



6. MÄTDATA MED KOMMENTARER

6.1 Provdosering

En provdosering utfördes den 15/6 1971. Härvid doserades 2 dl rodamin med 10 ggr utspädning. Denna dosering syftade endast till att prova doseringsutrustningen. Några mätningar utfördes ej.

6.2 Dosering 1

Doseringstid: 16/6 1971 kl. 16.40 - 20.13

Rodaminlösning: 1,6 l rodamin, 16 l vatten
Koncentration: 1:10

Effektiv doseringstid: 213 min. = 3 h 33 min

Vattenföring utloppsledning: 13,3 l/s

Pumpkapacitet: 1,38 ml/s

Koncentration rörmynning: $1,04 \cdot 10^{-5}$

Initialutspädning i recipienten (enl kap. 3.2) 20 ggr

Koncentration ytan: $5,0 \cdot 10^{-7}$

Inlagringsdjup: Ytan

Avklingningskoefficient: $e^{-0,027 T}$

Mätningar:

Tid	Ytmätning	Djupprofiler antal	Avklingning	Sida
16/6 kl 20.30-21.00	x	1	x	45-46
17/6 kl 8.55-10.00	x	1		47-48
17/6 kl 13.50-15.00	x	1		49-50
17/6 kl 18.20-19.20	x	1	x	51-52
18/6 kl 13.10-14.45	x	1		53-55

Anm. Problem uppstod med elförsörjningen. Ett bensindrivet elverk användes. Reservfluorometern med nr 3086 användes vid vissa mätningar. Se kartorna.

Kommentar: Under dosering 1 rådde starka, västliga vindar. Detta medförde att rodaminet spreds in i hamnen och Bäveån. Någon större spridning ut i fjorden registrerades ej. Vattenståndet låg också under hela perioden högre än vad som är normalt för sommarperioden. Djupprofilerna visar att god omblandning i vertikalled äger rum i hamnområdet.

På grund av den lilla doseringsmängden är ytterligare slutsatser svåra att draga.

Avklingningskoefficienten under dosering 1 var större än medelvärdet för sommaren.

DOSERING: 1

ANM. Elverk, Fl. 3086

MÅNGD: 1,6 L

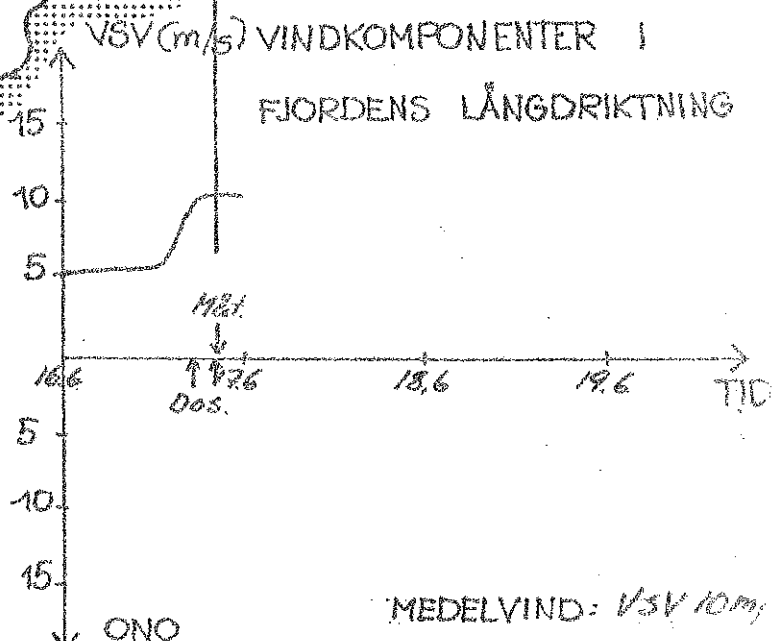
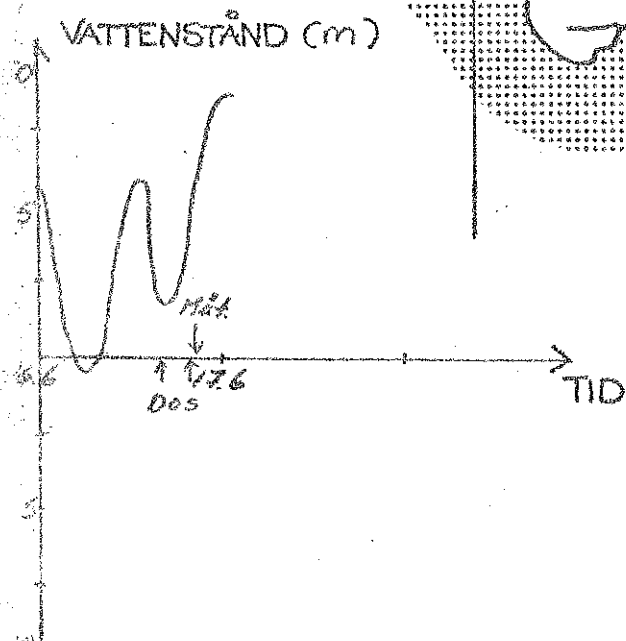
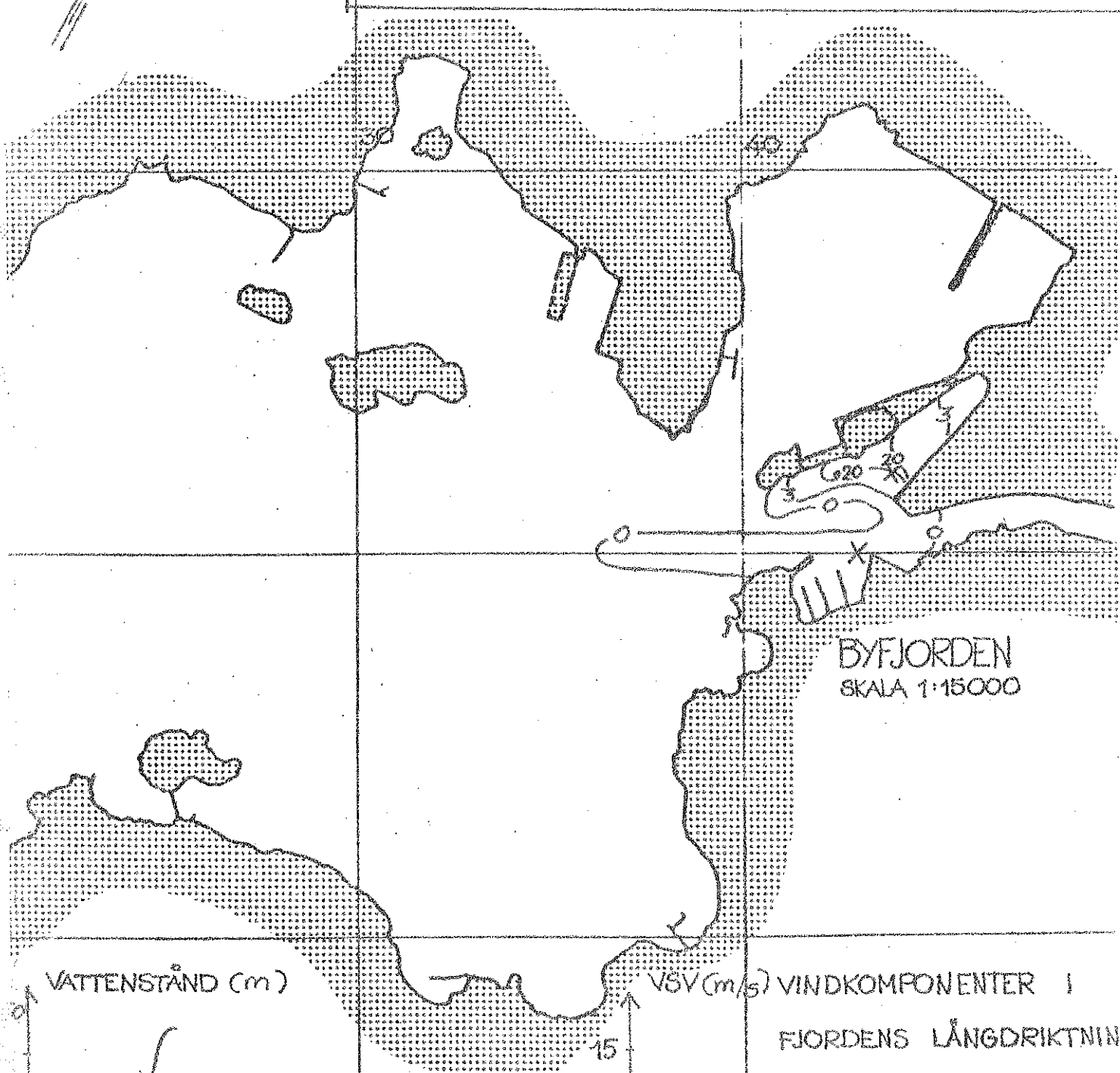
TID: 16.6-71 kl. 1640-2013

MÄTNING: 1

TID: 16.6-71 kl. 2030-2100

MULTIPLIKATOR: 10-10

X = DJUPPROFIL



MEDELVIND: VSV 10 m/s

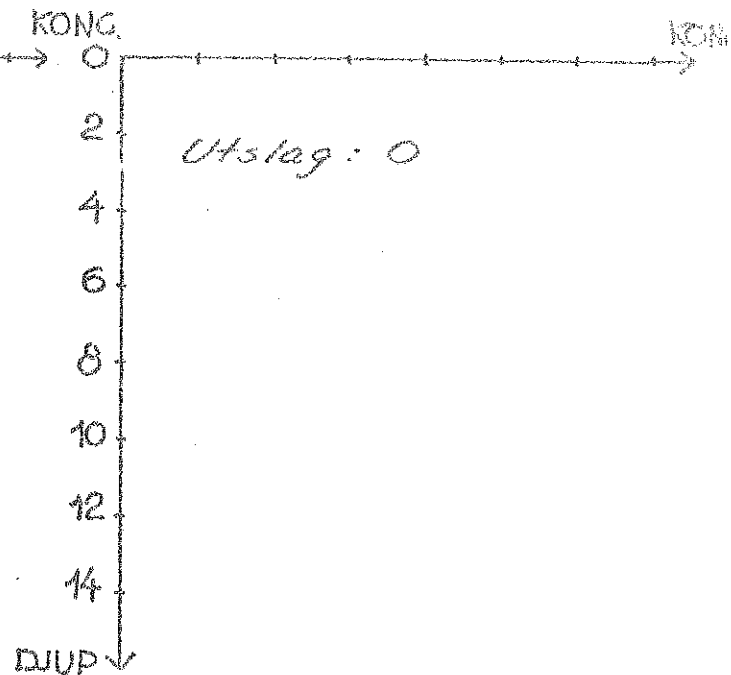
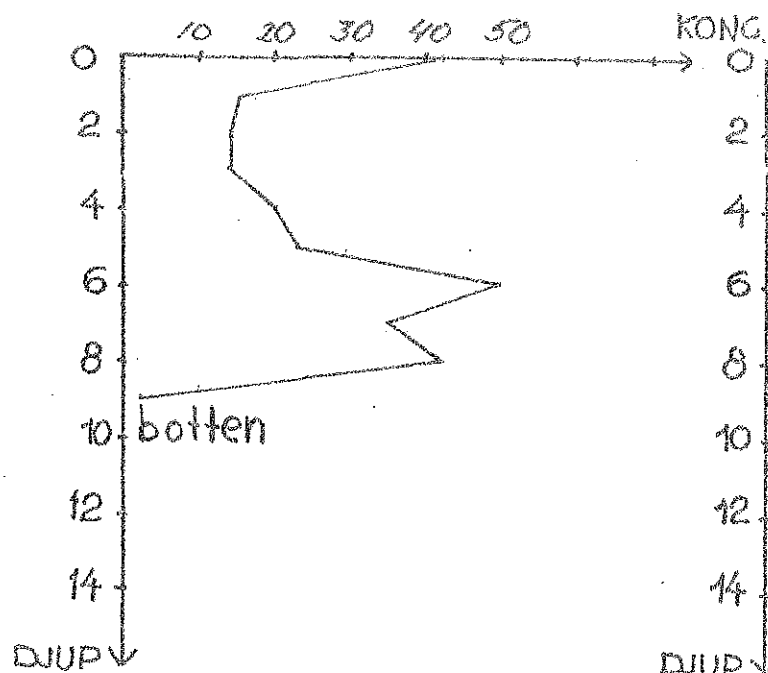
DJUPPROFILER

TID: 16.6 kl. 20.55

KOORD: 44/2,5

TID: 16.6 kl. 21⁰⁰

KOORD: 43/0

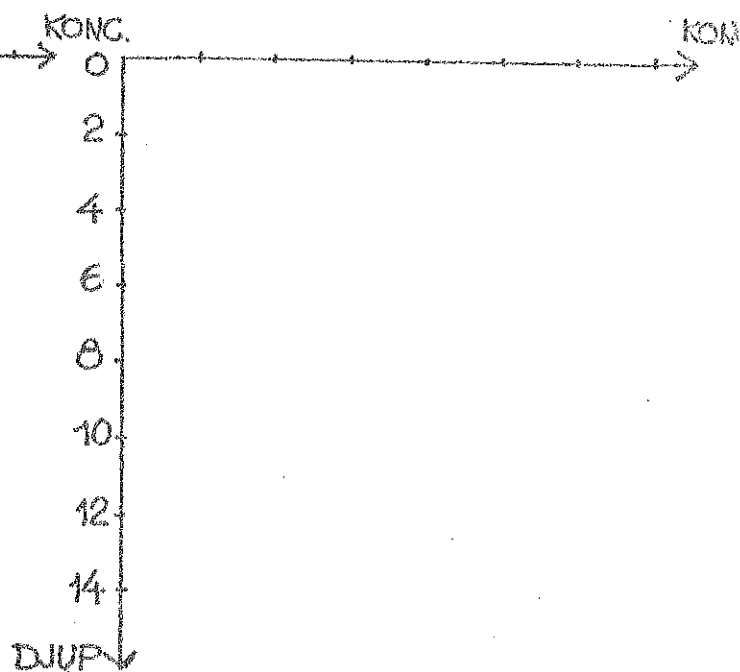
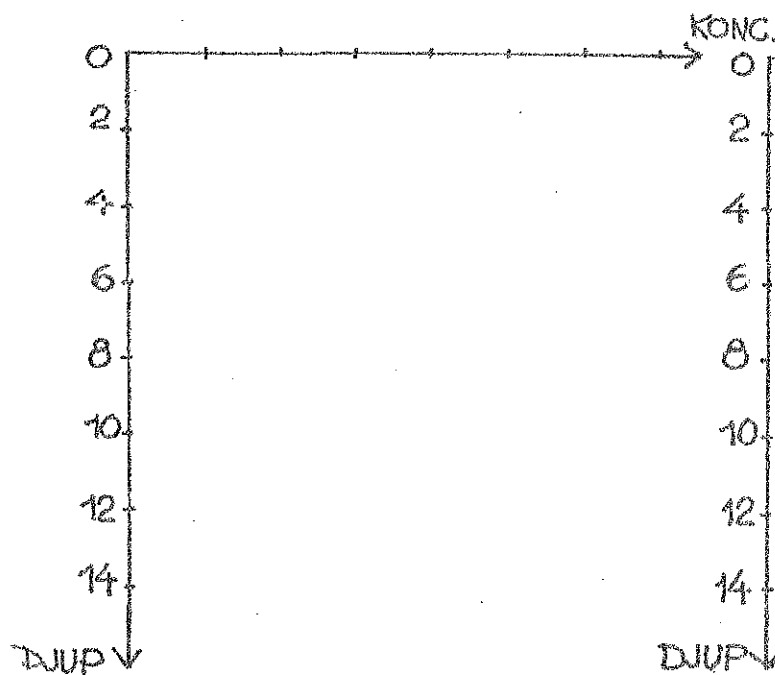


TID:

KOORD:

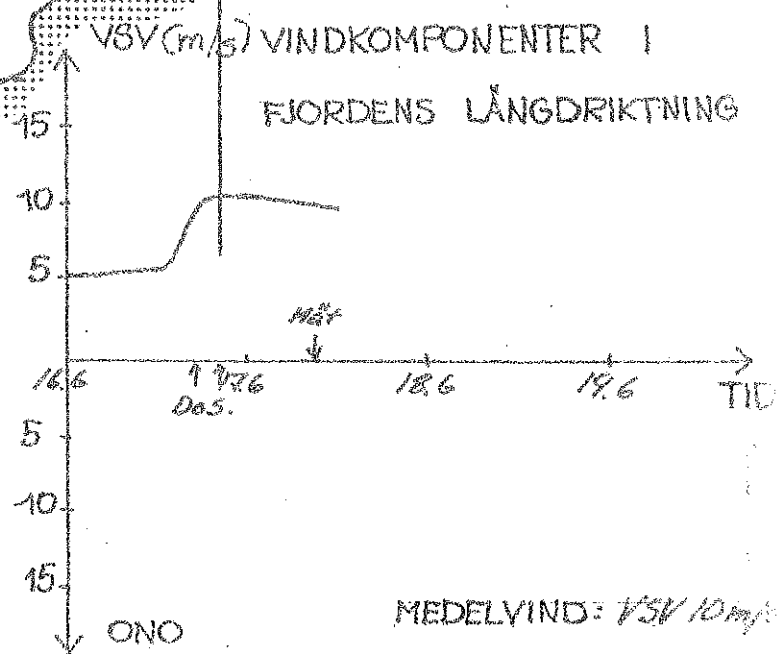
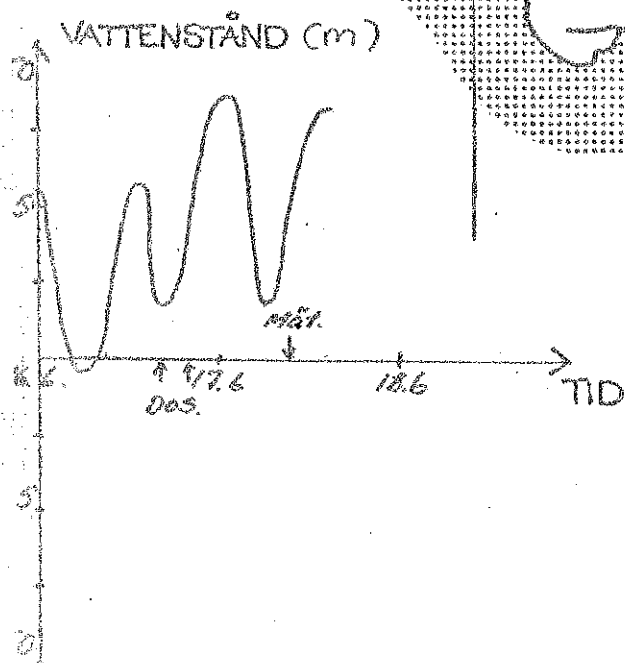
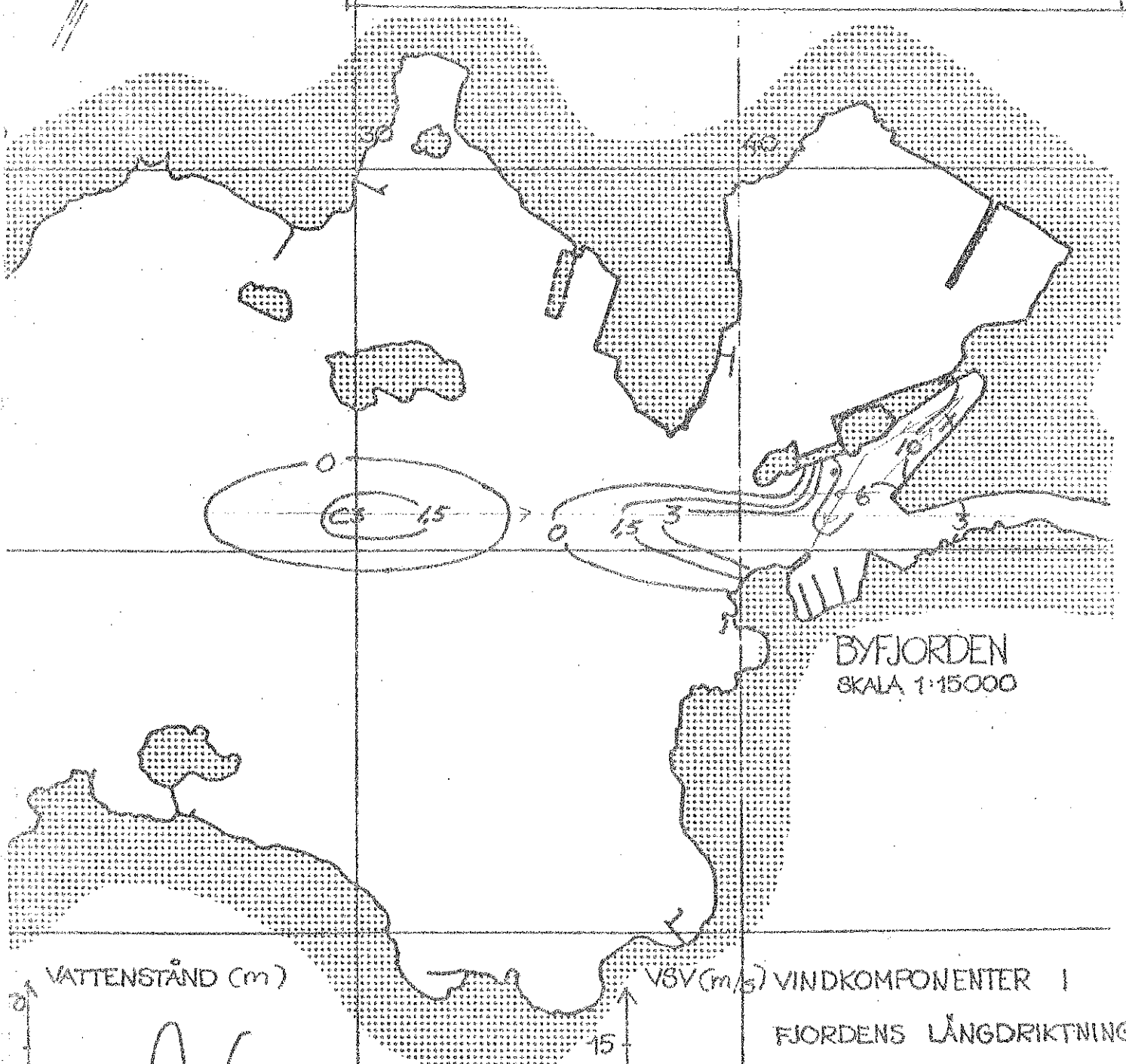
TID:

KOORD:



MÄNGD: 1.6 l
 TID: 16.6-71 kl. 18⁰⁰-20⁰⁰ Yrning
 MÄTNING: 2
 TID: 17.6-71 kl. 8⁵⁵-10⁰⁰
 MULTIPLIKATOR: 10⁻¹⁰ X = DJUPPROFIL

47.



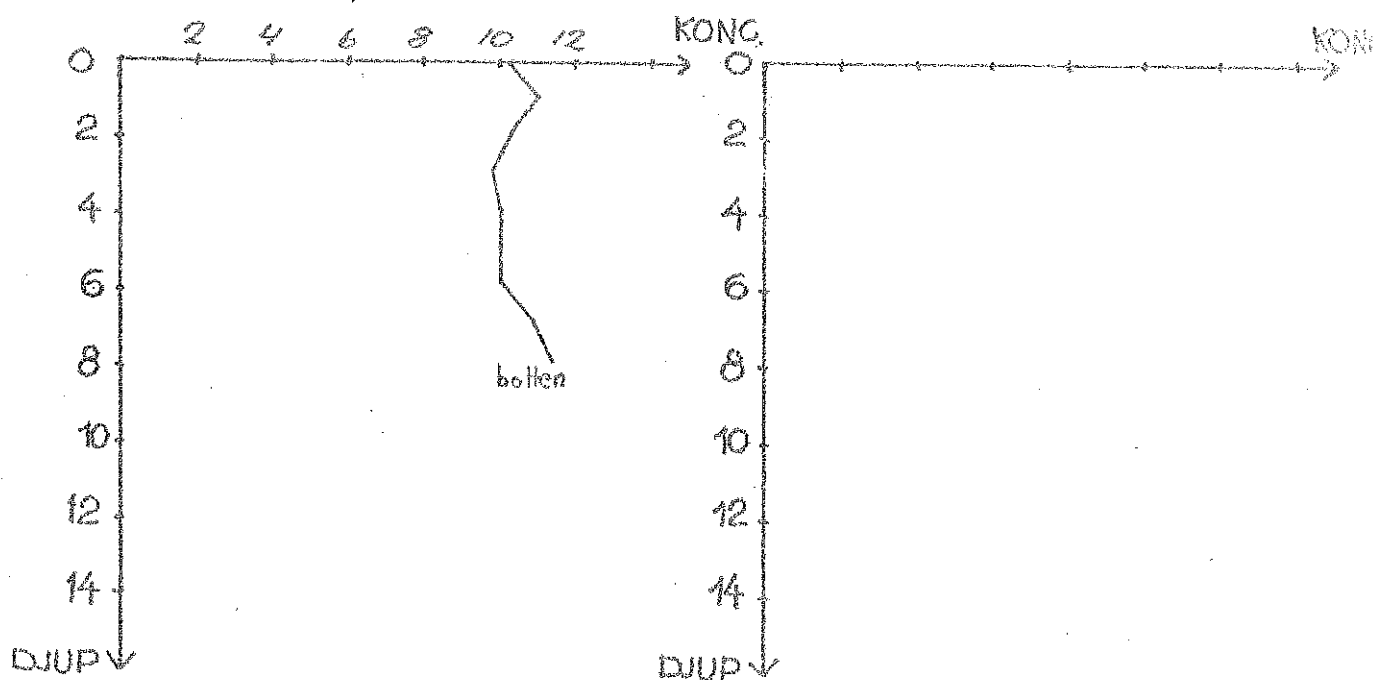
DJUPPROFILER

TID: 17.6 kl 10⁰⁵

KOORD: 46/3,5

TID:

KOORD:

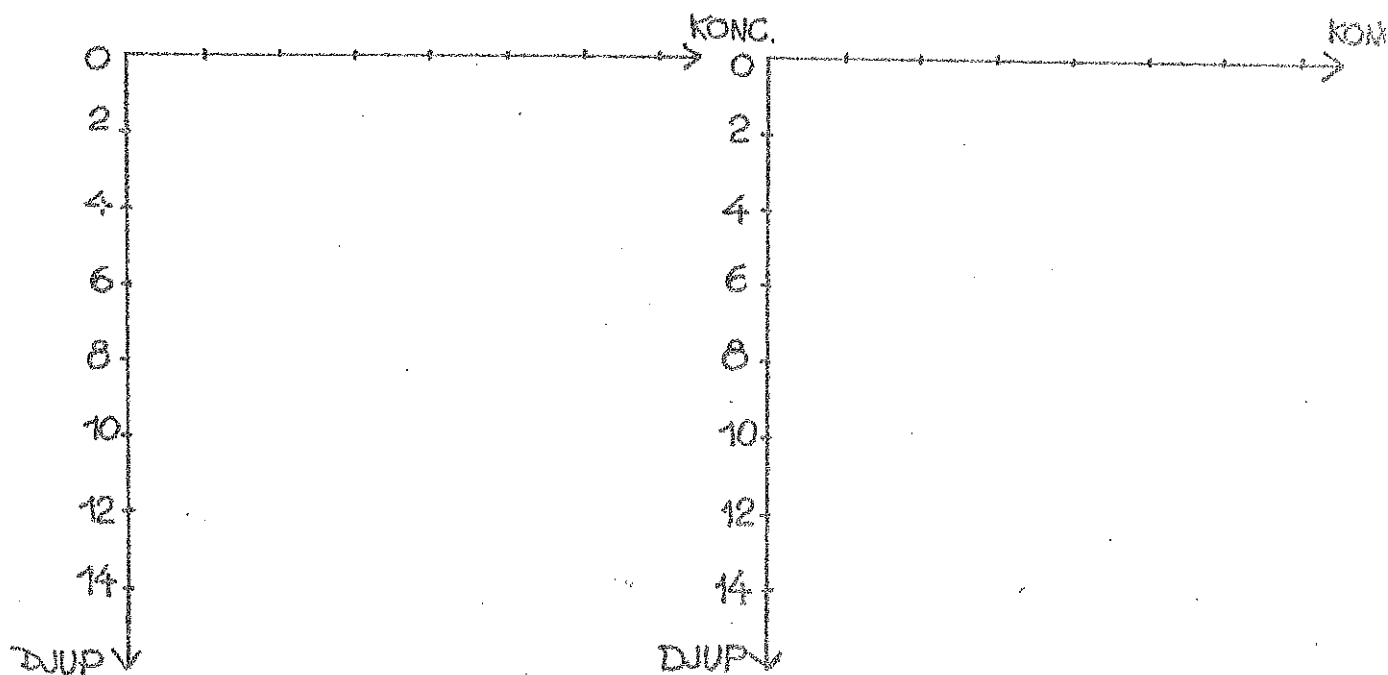


TID:

KOORD:

TID:

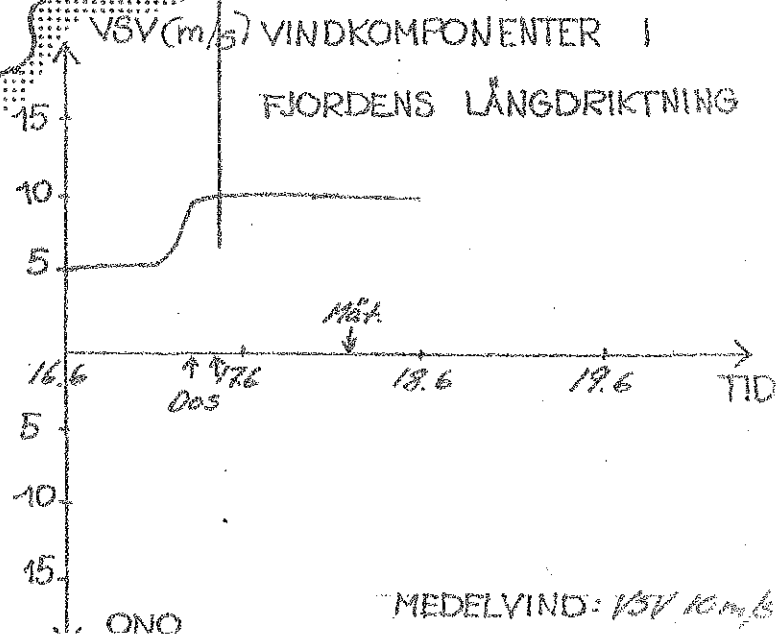
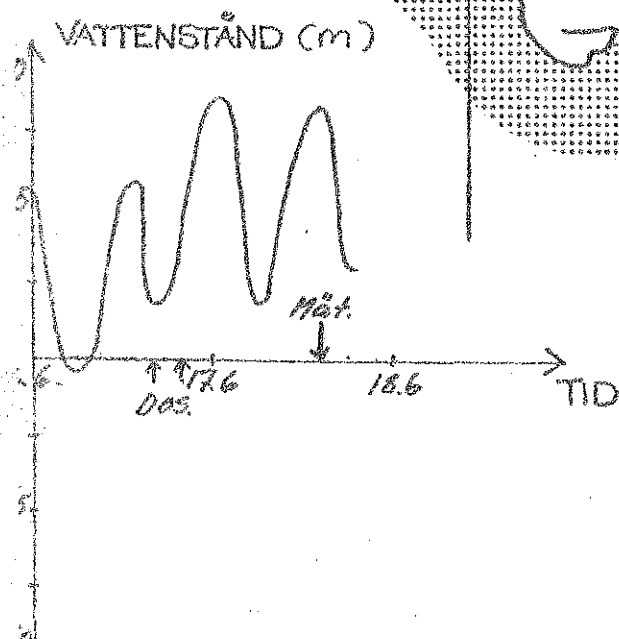
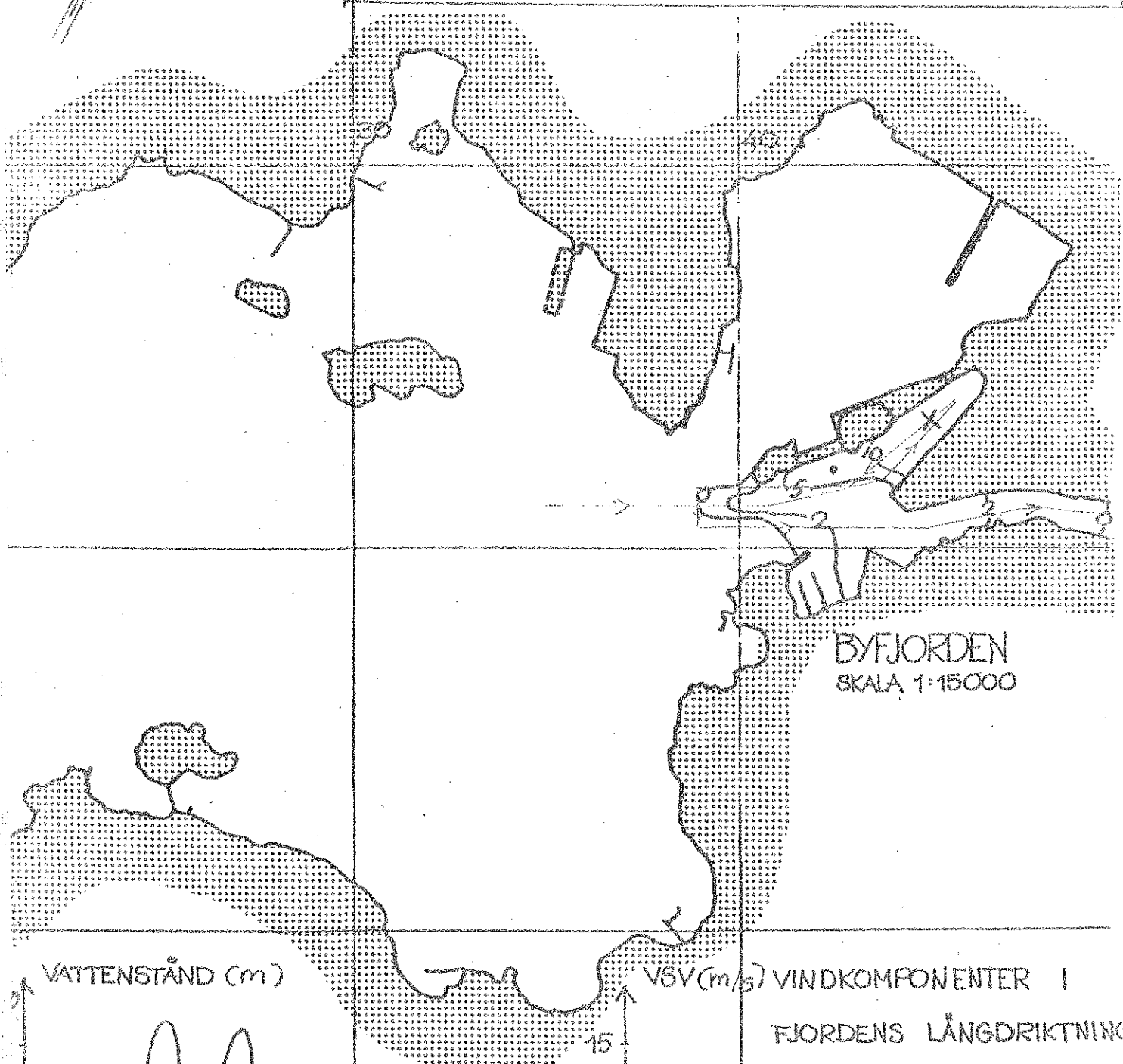
KOORD:



DOSERING: 1
MÄNGD: 1,6 L
TID: 16.6-71 kl 1640-2013

ANM. Samma utbredning
på 1000.

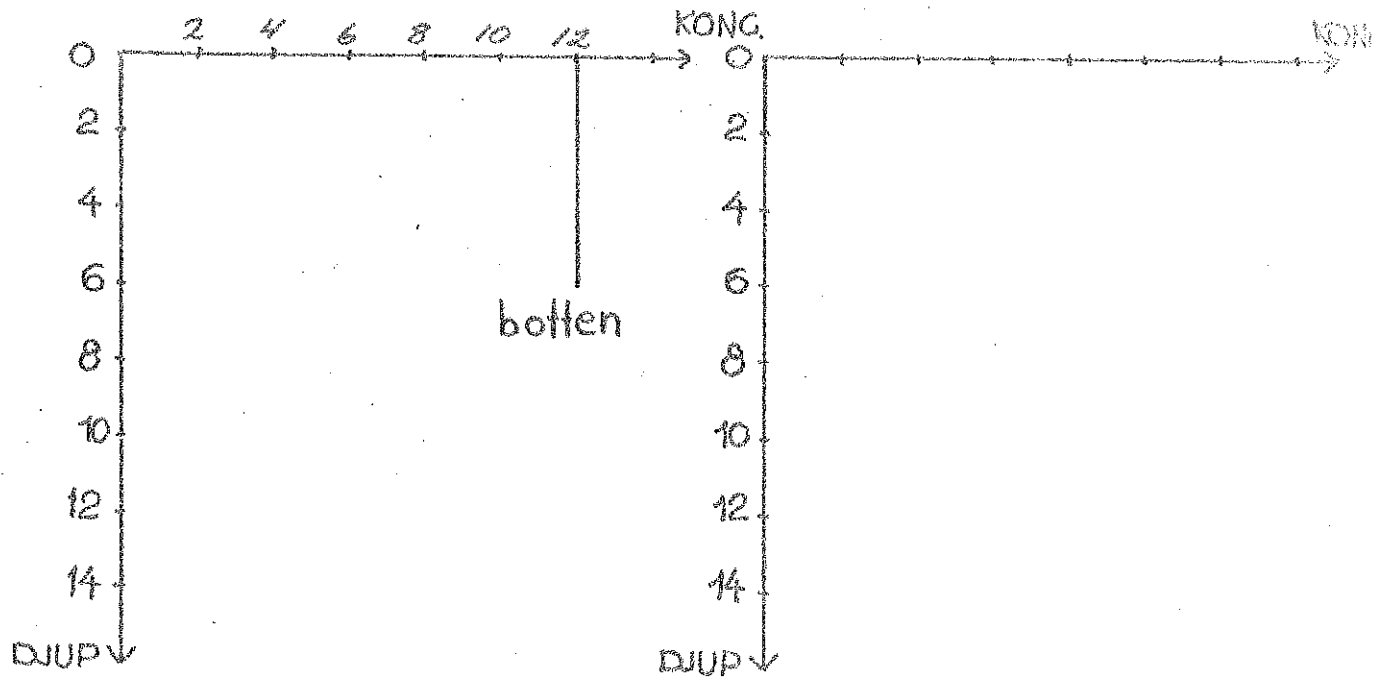
MÄTNING: 3
TID: 17.6-71 kl. 13⁵⁰-15⁰⁰
MULTIPLIKATOR: 10-10 X = DJUPPROFIL



DJUPPROFILER

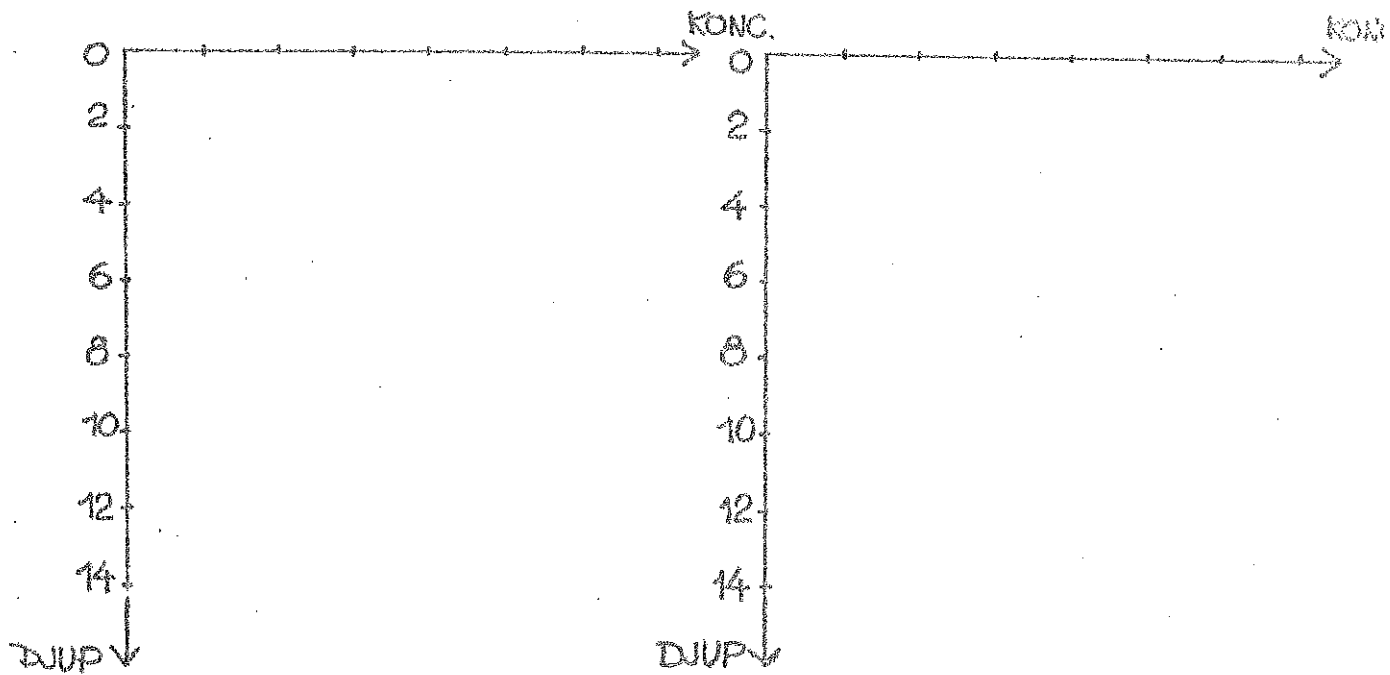
TID: 17.6-71 kl. 14¹⁵
 KOORD: 45/3

TID:
 KOORD:



TID:
 KOORD:

TID:
 KOORD:

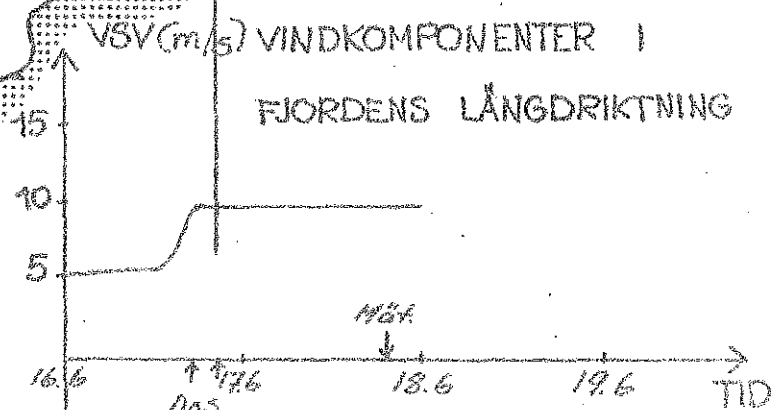
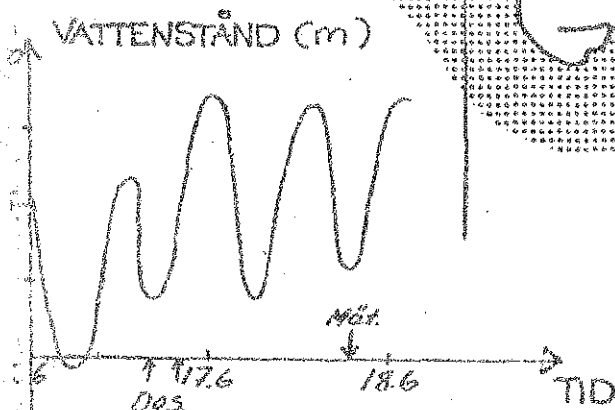
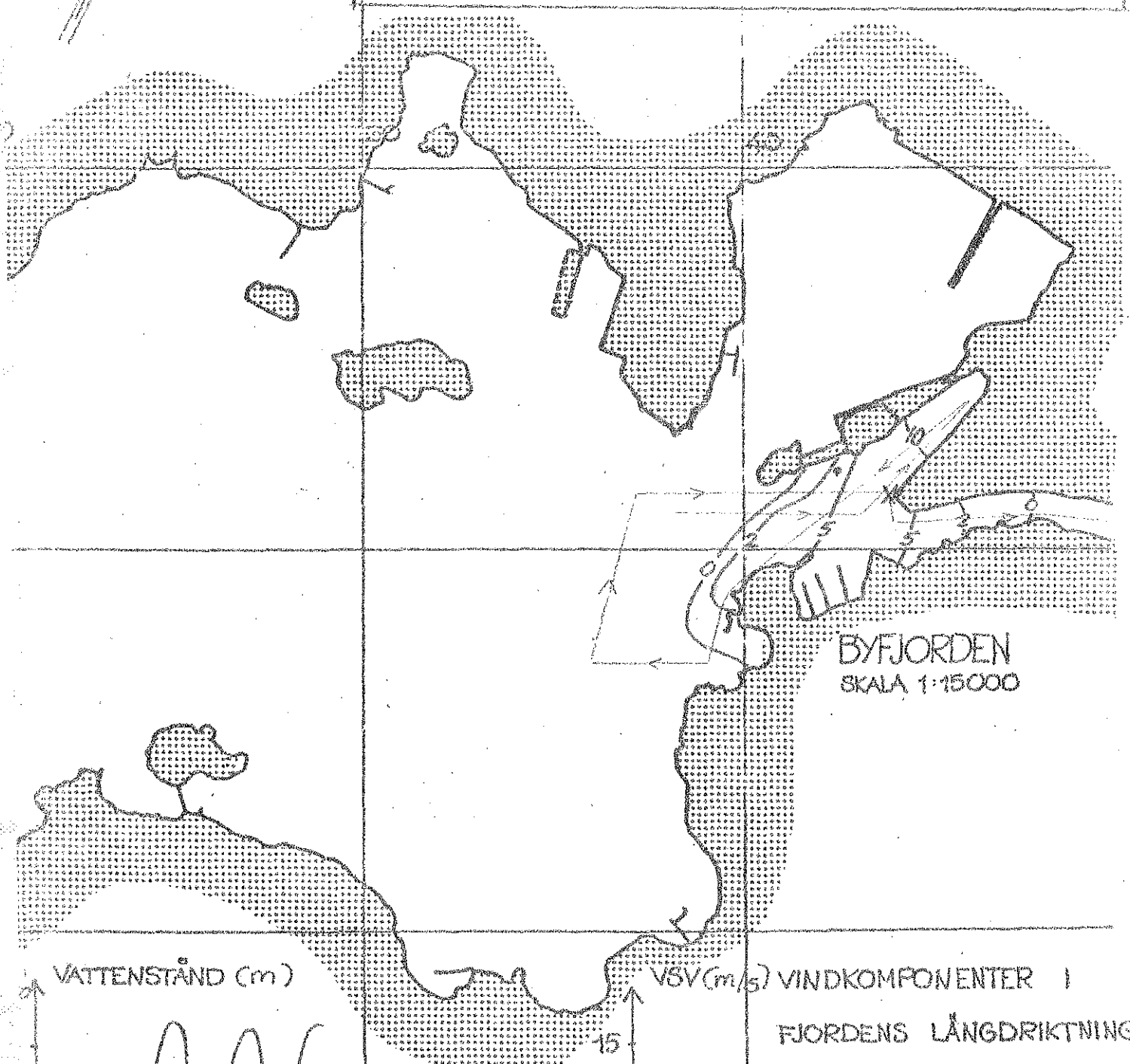


DOSERING: 1.
RÄNSD: 1.5
TID: 16.6-71 kl. 1640-2013

ANM.

MÄTNING: 4
TID: 17.6-71 kl. 1820-1920
MULTIPLIKATOR: 10⁻²⁰

X = DJUPPROFIL



ONO

MEDELVIND: VSV 10 m/s

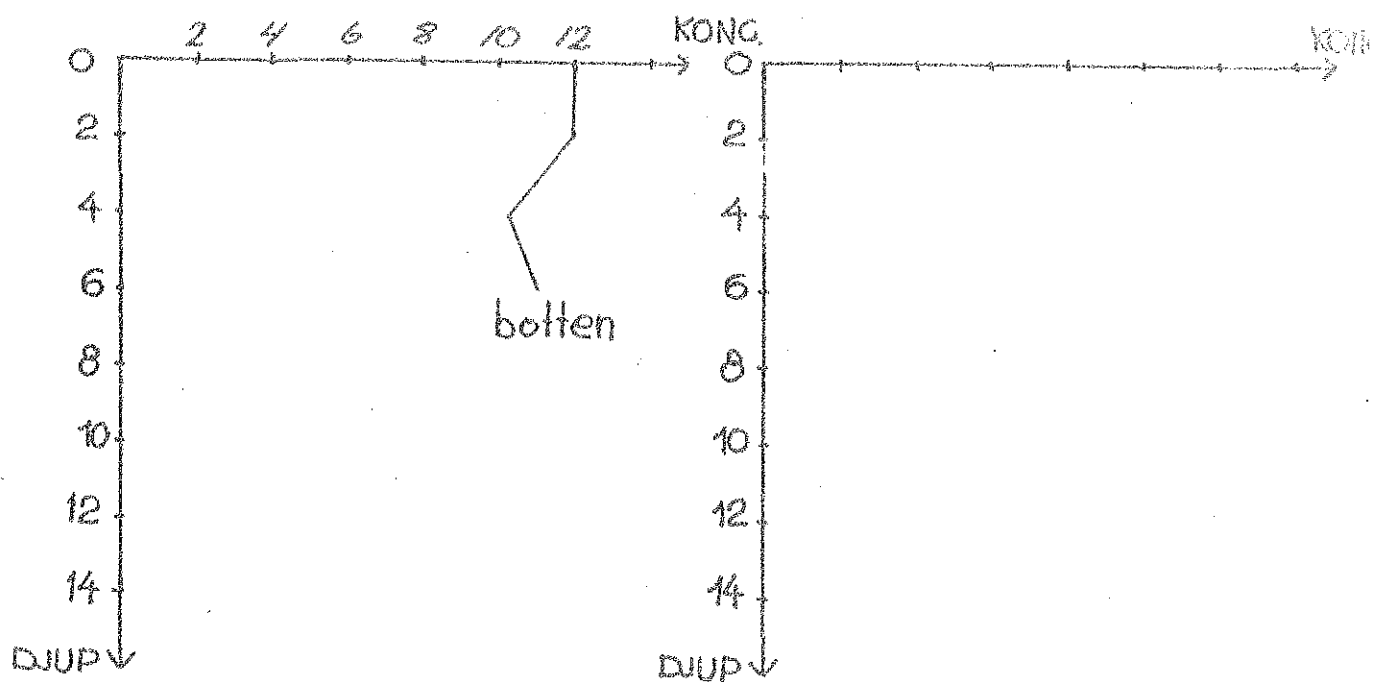
DJUPPROFILER

TID: 17.6-71 kl. 19⁰⁰

KOORD: 45/3

TID:

KOORD:

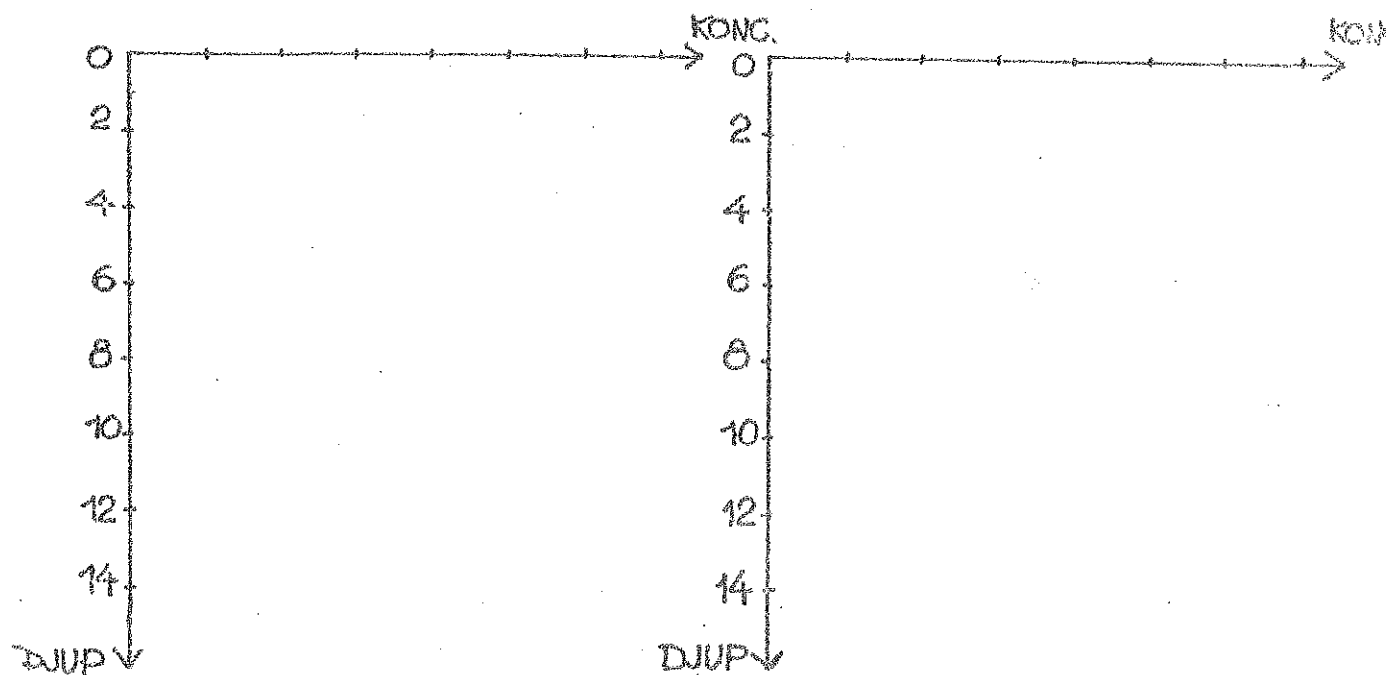


TID:

KOORD:

TID:

KOORD:



DOSERING: 1

ANM.

MÄNGD: 1,6 L

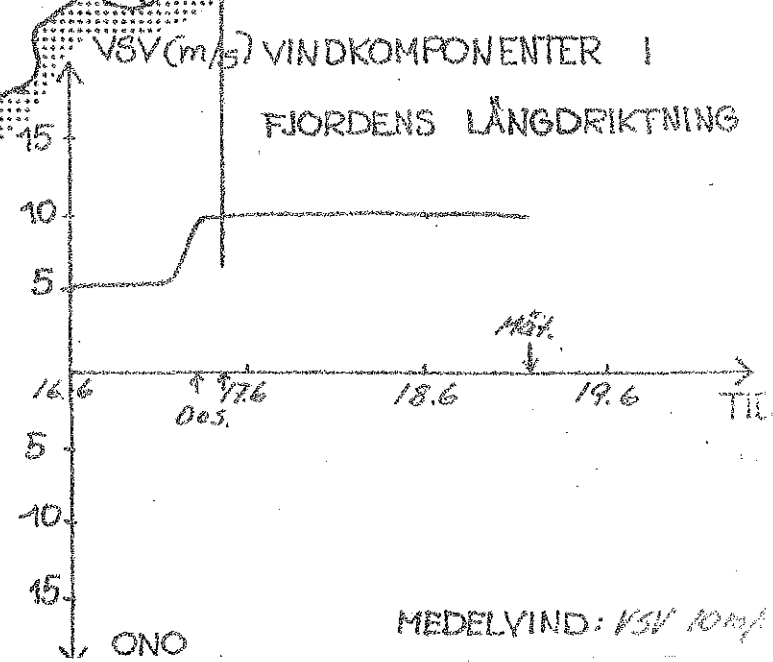
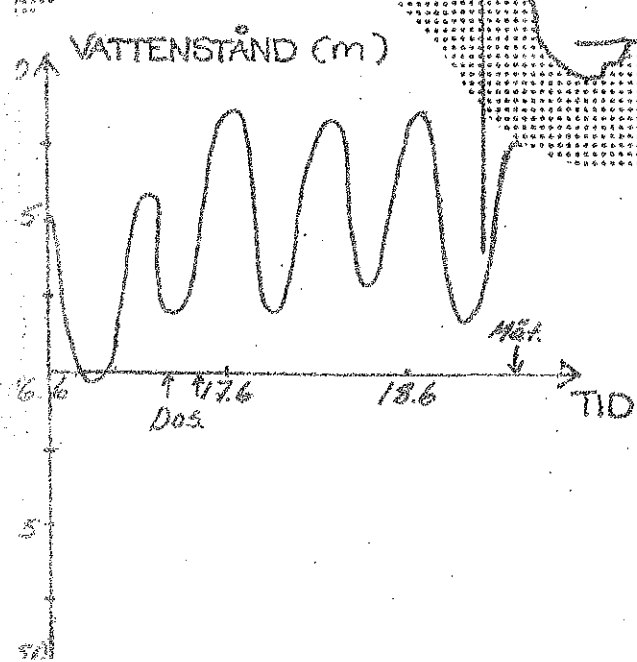
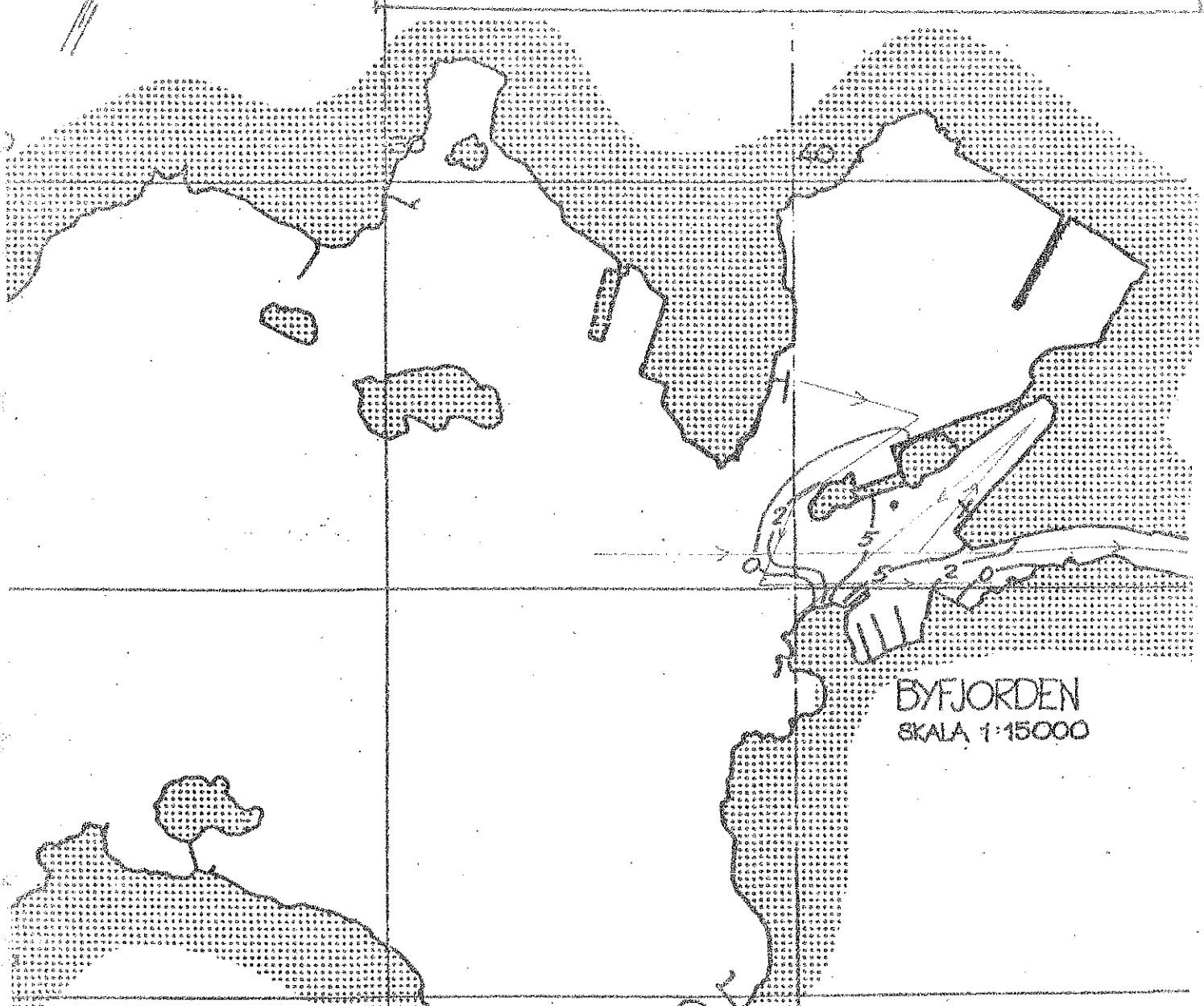
TID: 16.6-71 kl. 16⁴⁰-20¹³

MÄTNING: 5

TID: 18.6-71 kl. 13¹⁰-14⁴⁵

MULTIPLIKATOR: 10⁻¹⁰

X = DJUPPROFIL

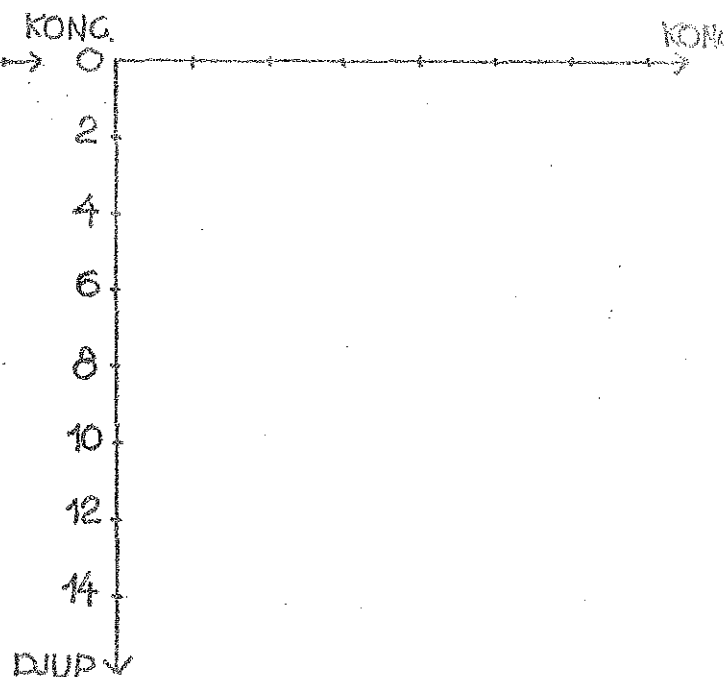
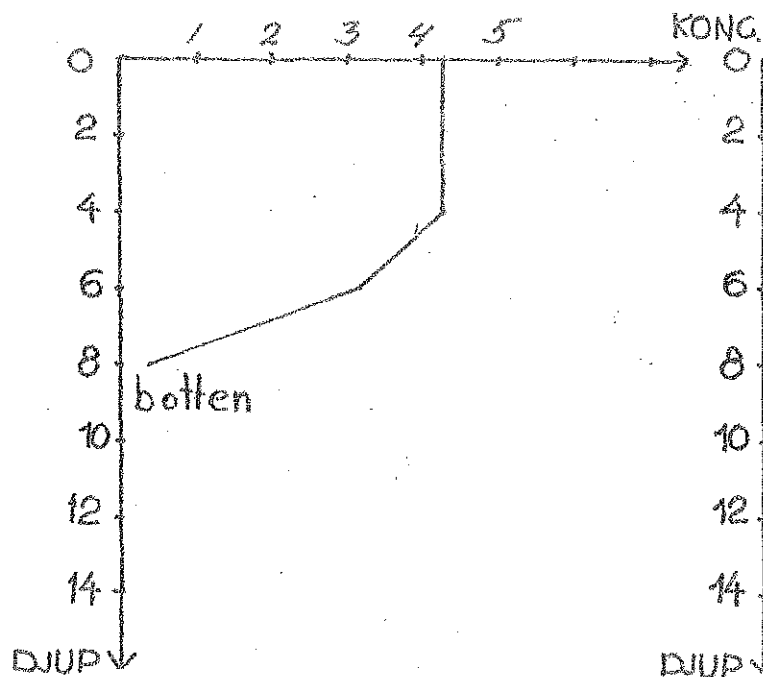


MEDELVIND: VSV 10 m/s

DJUPPROFILER

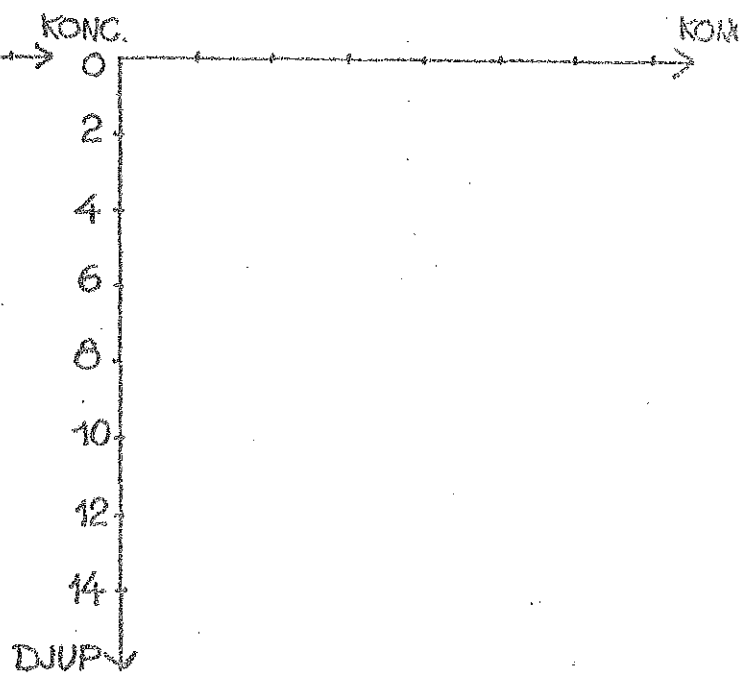
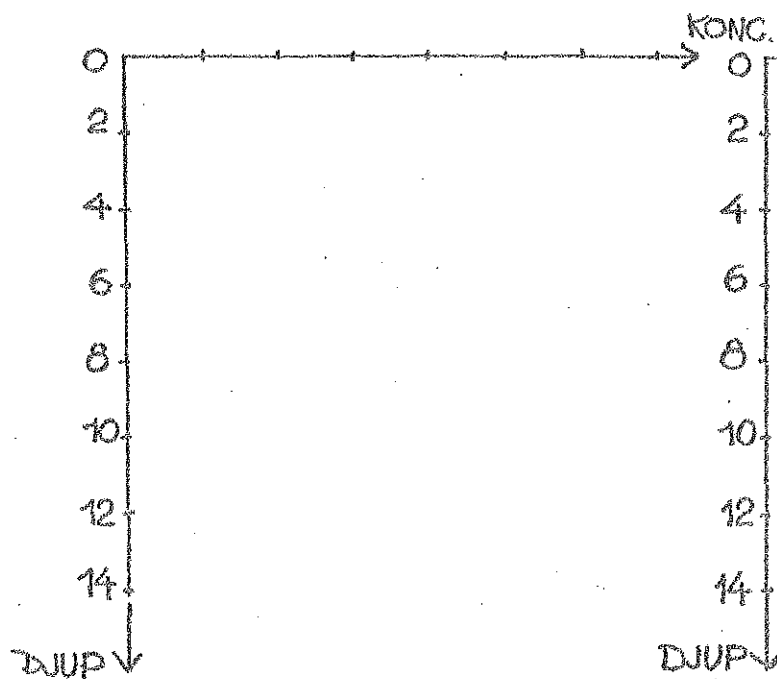
TID: 18.6-71 R1 14'15
 KOORD: 44/2

TID:
 KOORD:



TID:
 KOORD:

TID:
 KOORD:



KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

TID: 18.6-71 kl. 13.30

KONC. 10^{-10}



20

10

0

45

ÅMYNNING.

50

JUNKAJEN

55

KOOK
SKOH

Koncentration tvärs
 korrigerad m.h.t. avklingning, som
 funktion av tiden.

Dosering: 1

conc. 10^{-10}

30

20

10

10/6 20/6 tid

6.3 Dosering 2

Doseringstid:	20/6 1971 kl 12.30 - 15.50
Rodaminlösning:	1,6 l rodamin, 16 l vatten Koncentration: 1:10
Effektiv doseringstid:	200 min = 3 h 20 min
Vattenföring utloppsledning:	11,8 l/s
Pumpkapacitet:	1,47 ml/s
Koncentration rörmynning:	$1,25 \cdot 10^{-5}$
Initialutspädning i recipienten (enl kap. 3.2)	20 ggr
Koncentration ytan:	$6,3 \cdot 10^{-7}$
Inlagringsdjup:	Ytan
Avklingningskoefficient:	$e^{-0,022 T}$

Mätningar:

Tid	Ytmätning	Djupprofil antal	Avklingning	Sid.
20/6 kl 15.50	Synintryck			59
20/6 kl 19.00-20.10	x	1	x	60-62
21/6 kl 09.50-13.20	x	2		63-66
21/6 kl 16.45-19.25	x	1	x	67-69
22/6 kl 11.15-13.20	x	1	x	70-72
22/6 kl 17.10-19.25	x	1	x	73-75
23/6 kl 10.35-12.20	x			76-77
23/6 kl 19.10	x			78
24/6 kl 10.35-11.40	x		x	79-81

Kommentar: Under denna mätperiod växlar vindarna i riktning och styrka. Vattenståndet är normalt. Uttransporten sker huvudsakligen längs fjordens norra strand. Anledningen härtill är att sydliga vindar under en del av perioden transporterar ytvattnet mot norra sidan. Anmärkningsvärt är att roda-

minet redan efter 2 dygn nått de yttre delarna av fjorden. Omblandningen i vertikalled sker långsamt. Inlagringen sker i huvudsak i ytan och koncentrationen avtar kraftigt med ökat djup. Detta förklarar varför ytmätningarna vid dosering 2 ger betydligt större spridningsområde än för dosering 1 trots att doserad mängd ren rodamin är densamma för bägge. Förutsättningar för att tillämpa en "välblandad" modell uppstod aldrig, dels beroende på den ringa mängden rodamin och dels på den dåliga vertikala omblandningen.

I Bäveån uppträder den maximala koncentrationen strax efter doseringen. I och med att vinden växlar från västlig till östlig accelereras uttransporten av vattnet inne i ån, och koncentrationen rodamin avtar därmed relativt snabbt. Avklingningskoefficienten var lika med medelvärdet.

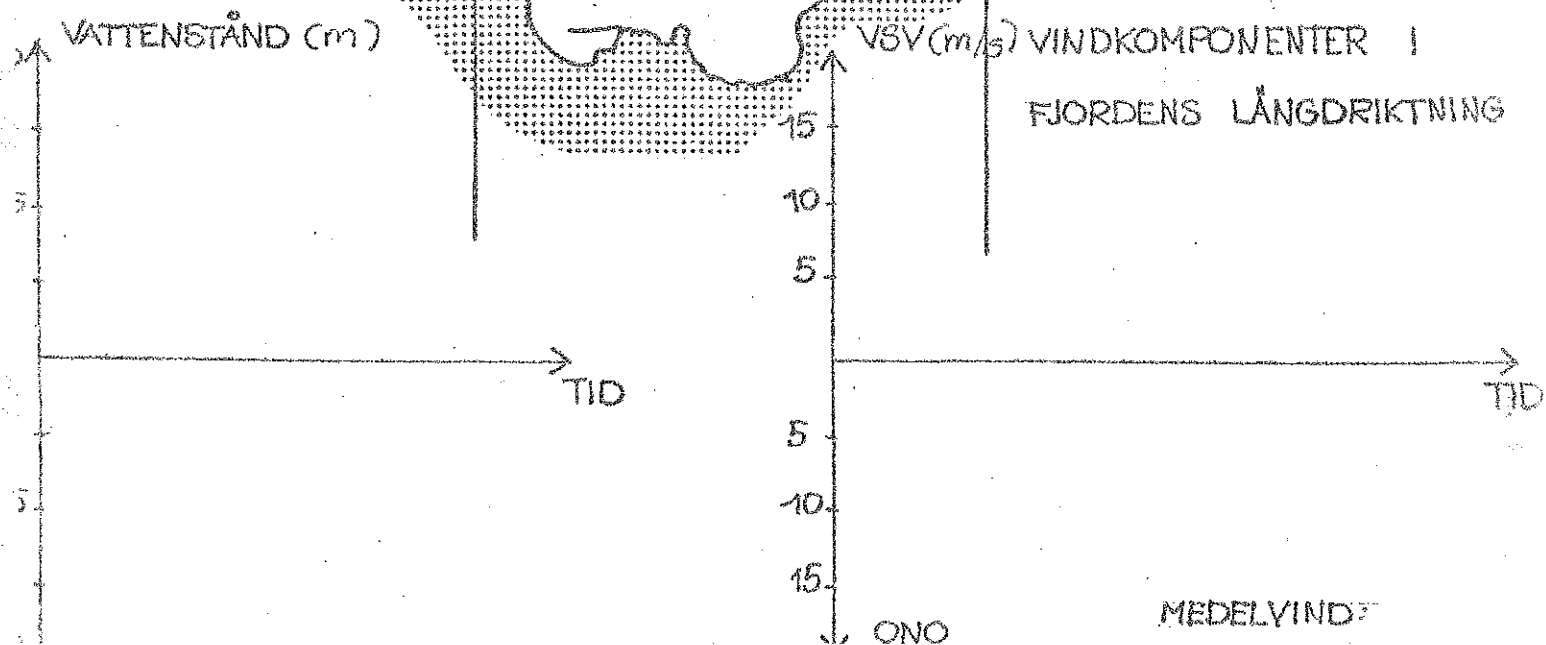
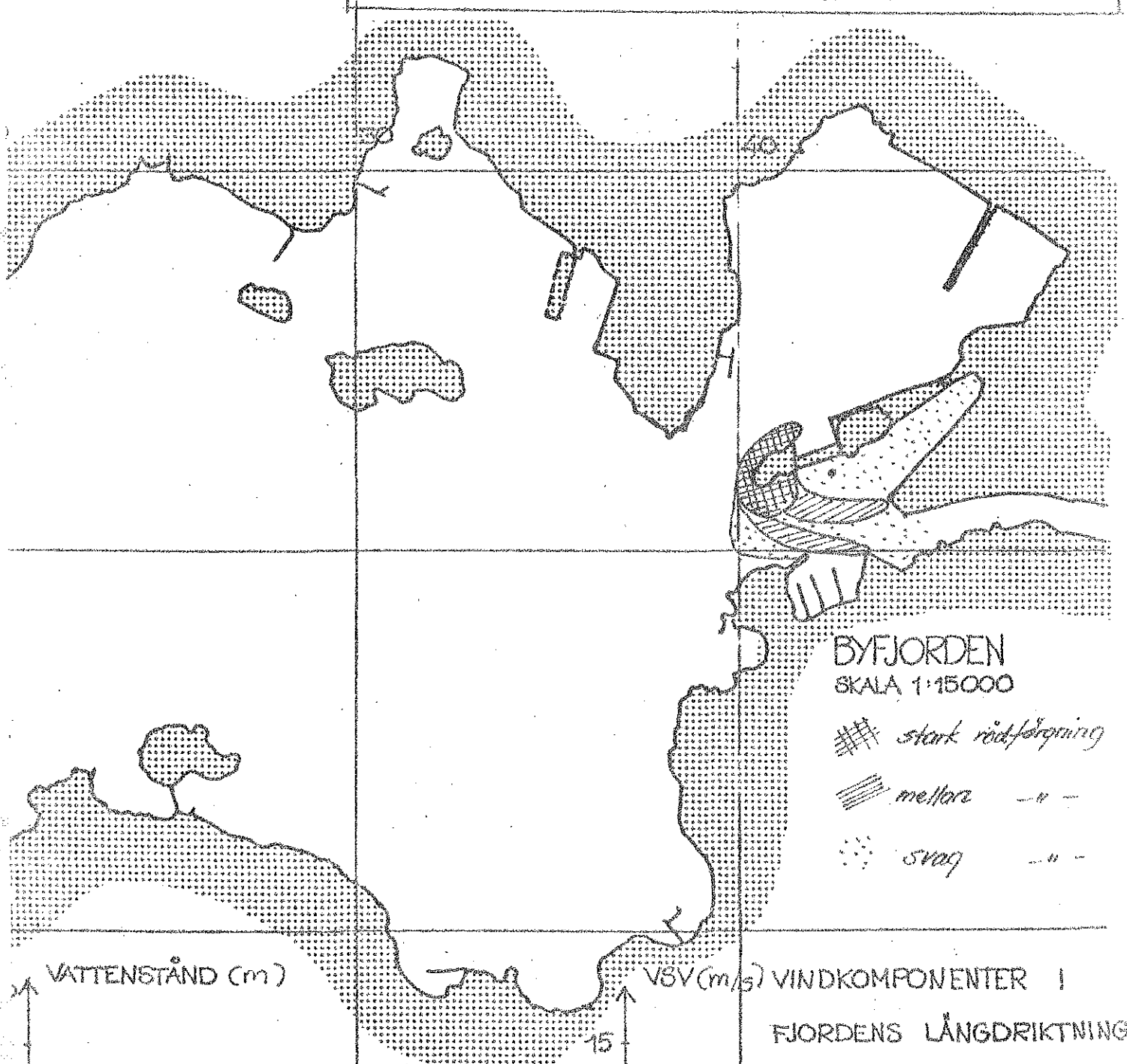
DOSERING: 2 ANM.
MÄNGD: 16 L
TID: 20.6.-71 kl 1230-1530

MÄTNING: SYNLIG SPÄLDNING

TID: 20.6. kl. 1530

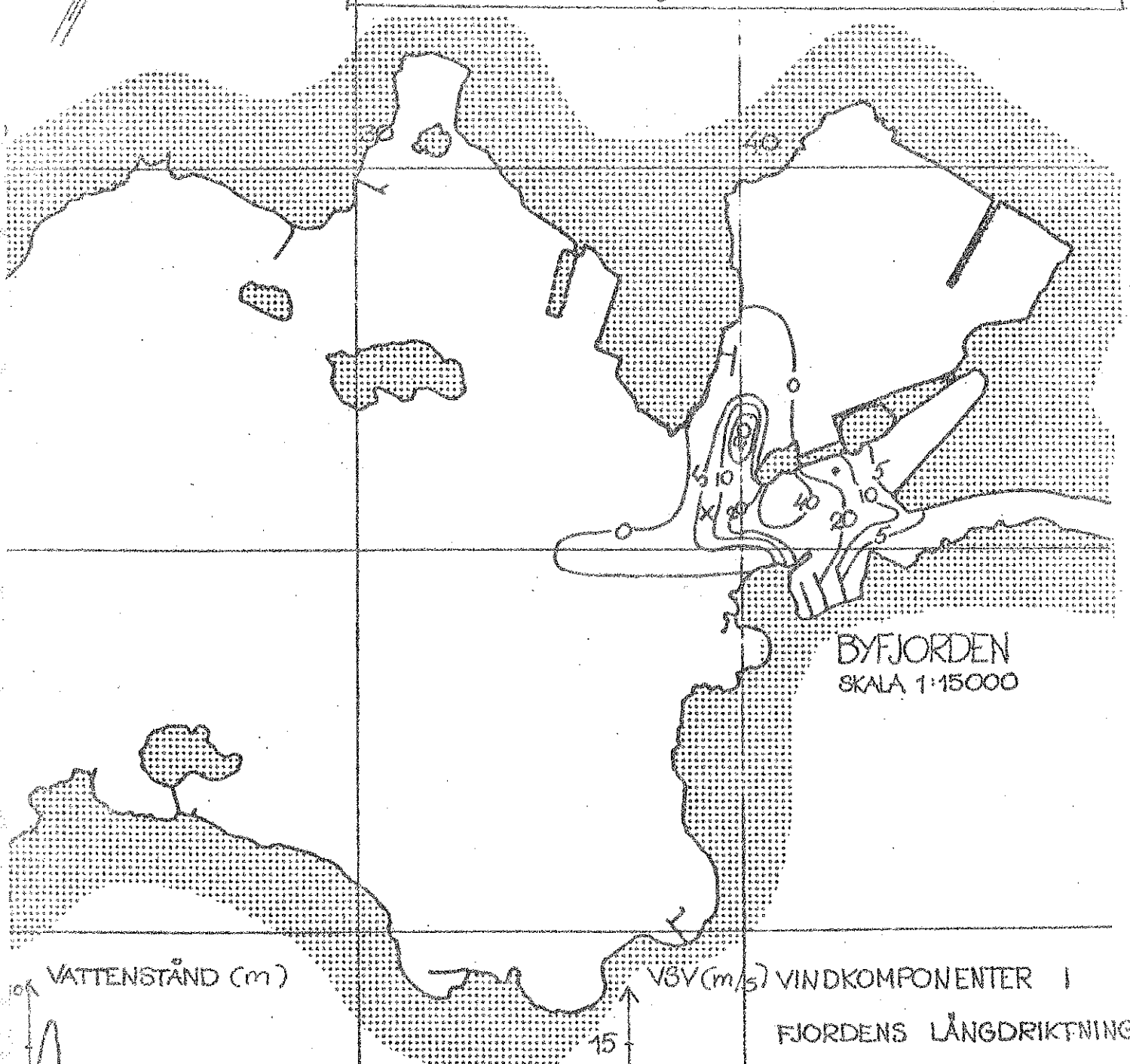
MULTIPLIKATOR:

X = DJUPPROFIL

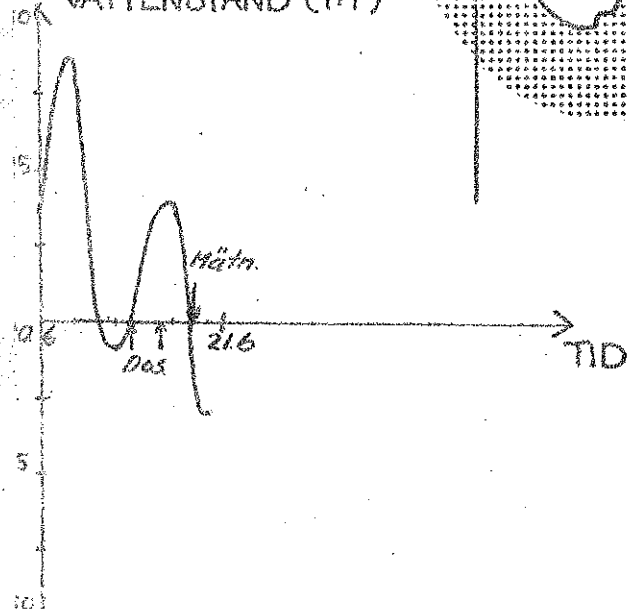


DOBERING: Σ ANM
MÄNGD: 1,6 L
TID: 20.6-71 kl 12⁰⁰-15⁰⁰

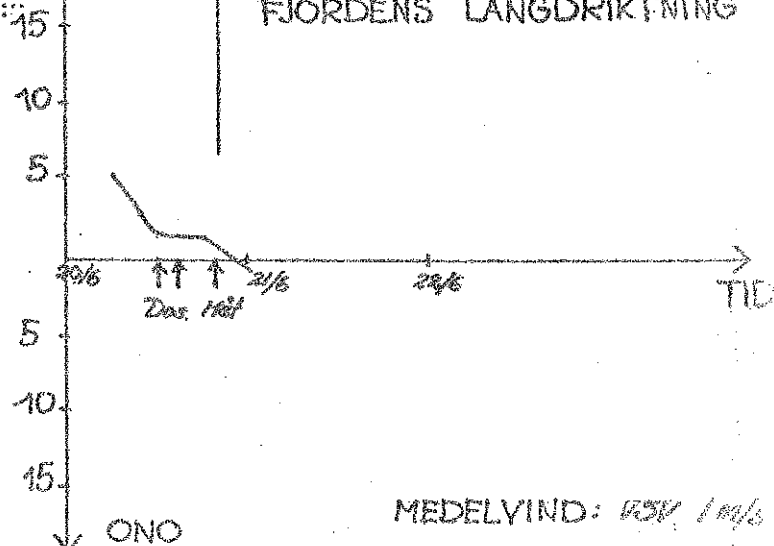
MÄTNING: 1
TID: 20.6-71 kl. 19⁰⁰-20⁰⁰
MULTIPLIKATOR: 10⁻¹⁰ X = DJUPPROFIL



VATTENSTÄND (m)



VSV (m/s) VINDKOMponenter 1
FJORDENS LÅNGDRIKTNING

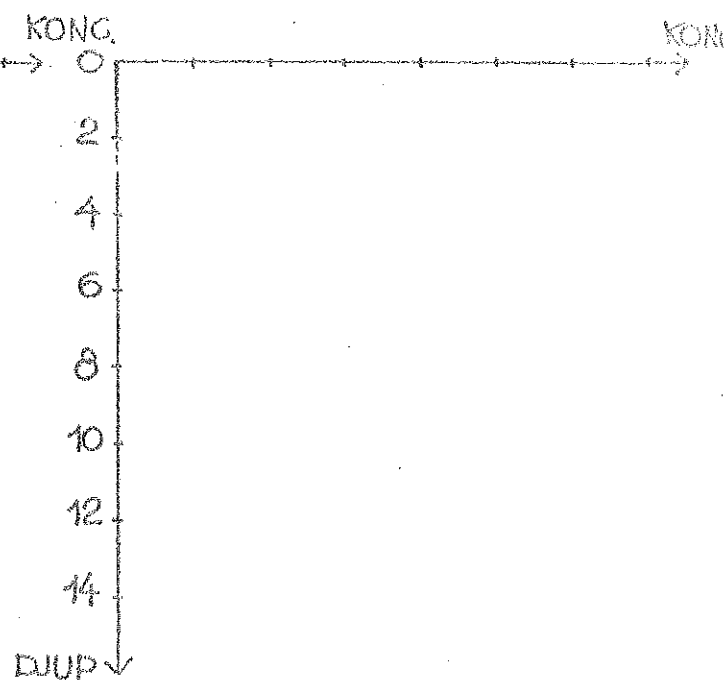
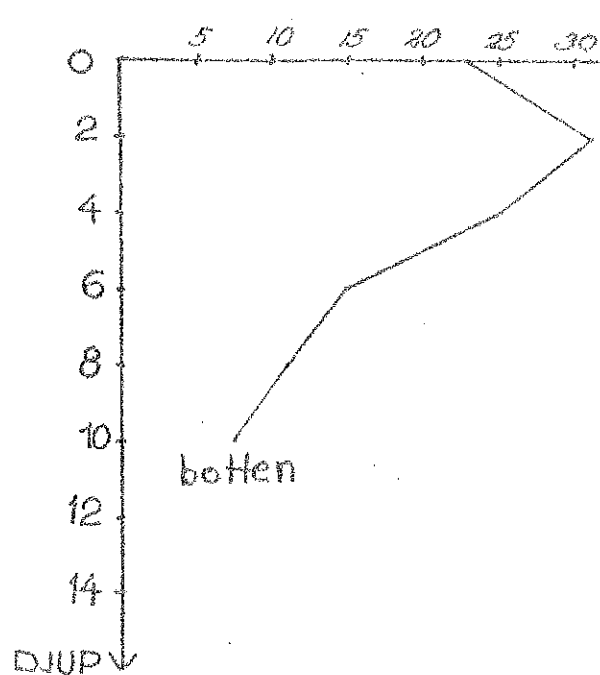


MEDELVIND: 12.5V / m/s

DJUPPROFILER

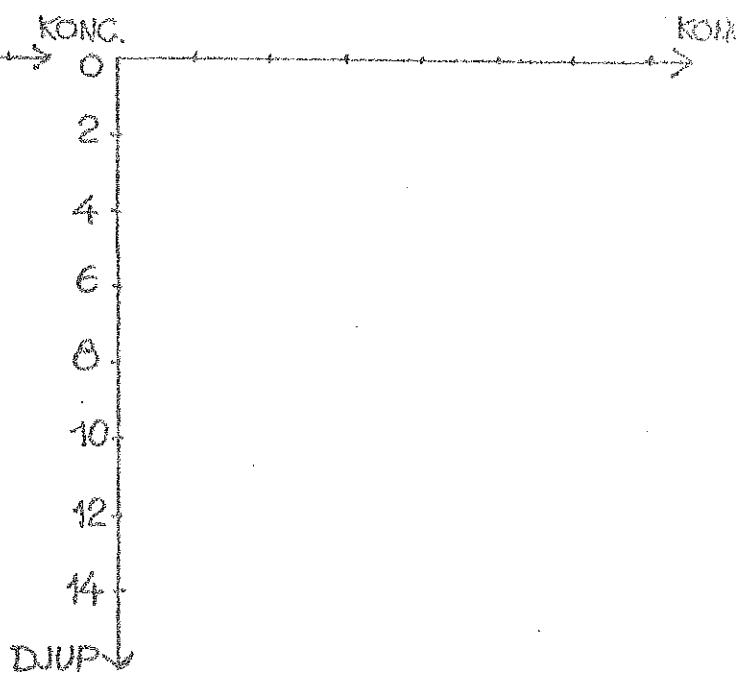
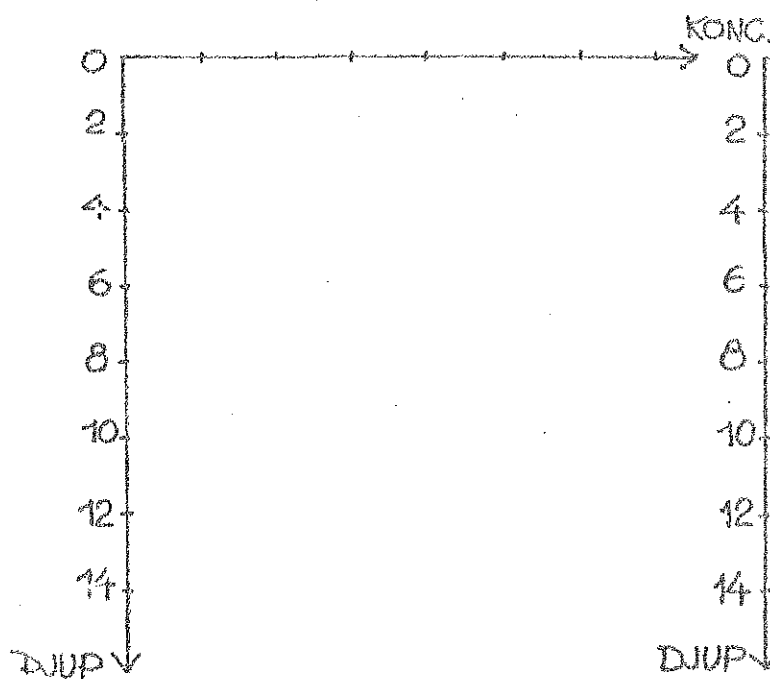
TID: 20/6 - 71 kl. 20:20
 KOORD: 39/1

TID:
 KOORD:



TID:
 KOORD:

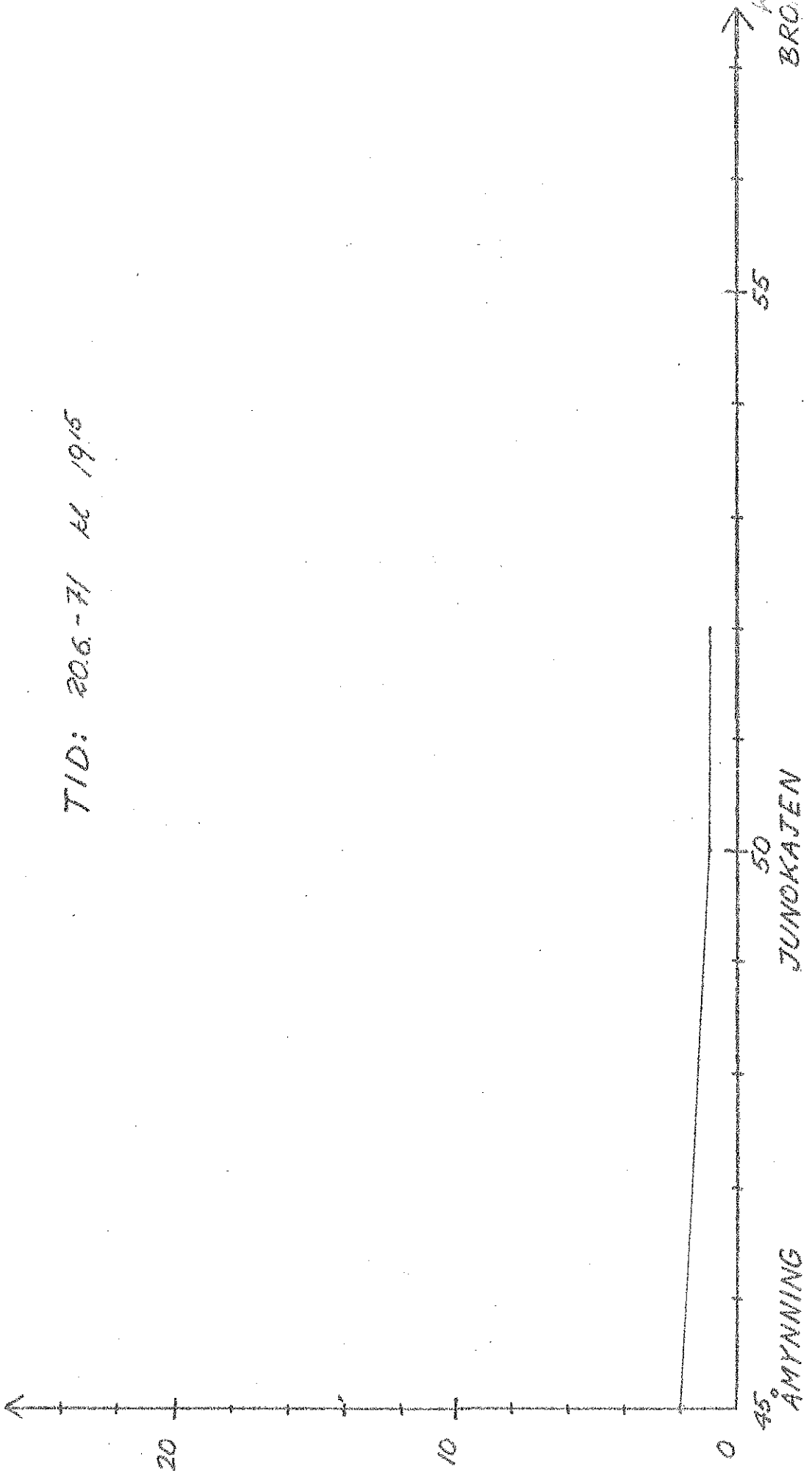
TID:
 KOORD:



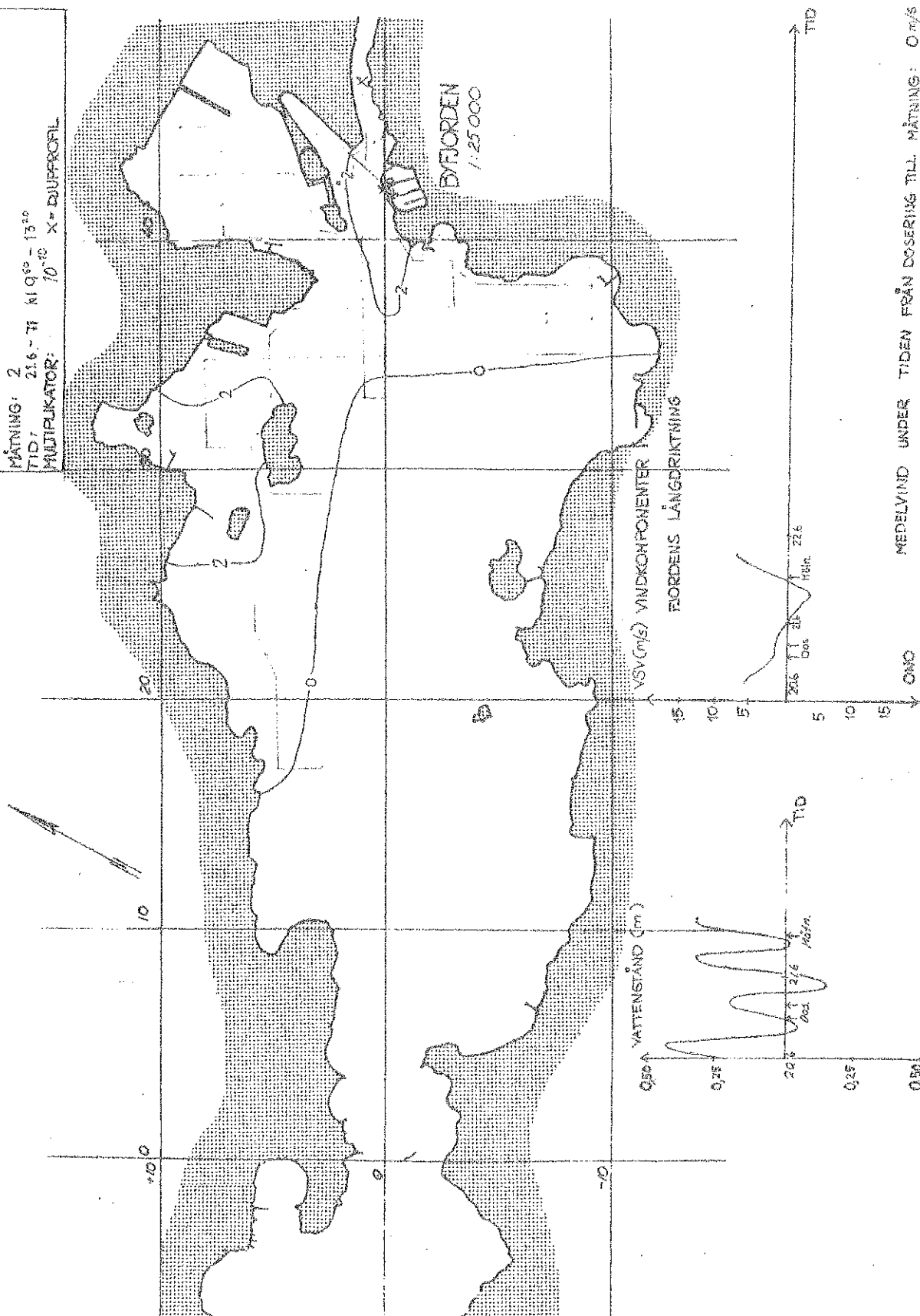
KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÅVEÄN

TID: 20.6.-71 kl 19¹⁵

KONC. 10^{-10}



DOSERING: 2 ANS
 MÅNGD: 168
 TID: 20.6-71 kl 12³⁰-15⁵⁰
 MÄTNING: 2
 TID: 21.6-71 kl 9⁵⁰-13²⁰
 MULTIPLIKATOR: 10⁻²⁰ X = DUFFPROFIL

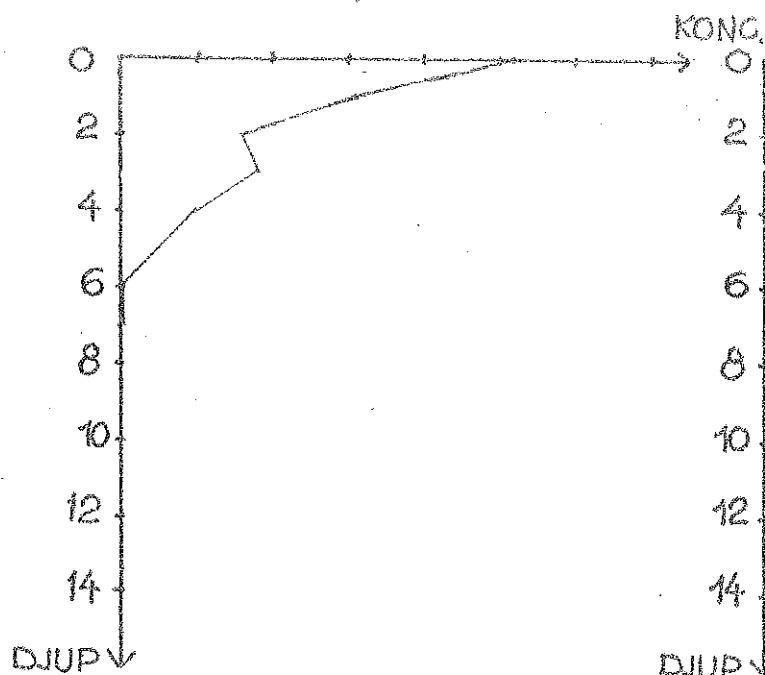


MEDELVIND UNDER TIDEN FRÅN DOSERING TILL MÄTNING: 0 m/s

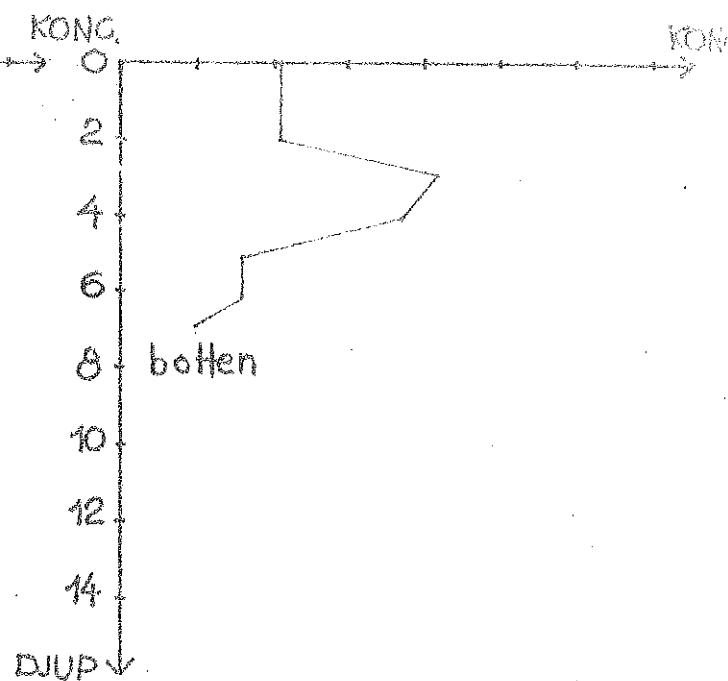
DJUPPROFILER

TID: 21.6-71 kl 12¹⁰

KOORD: 42/+0,5

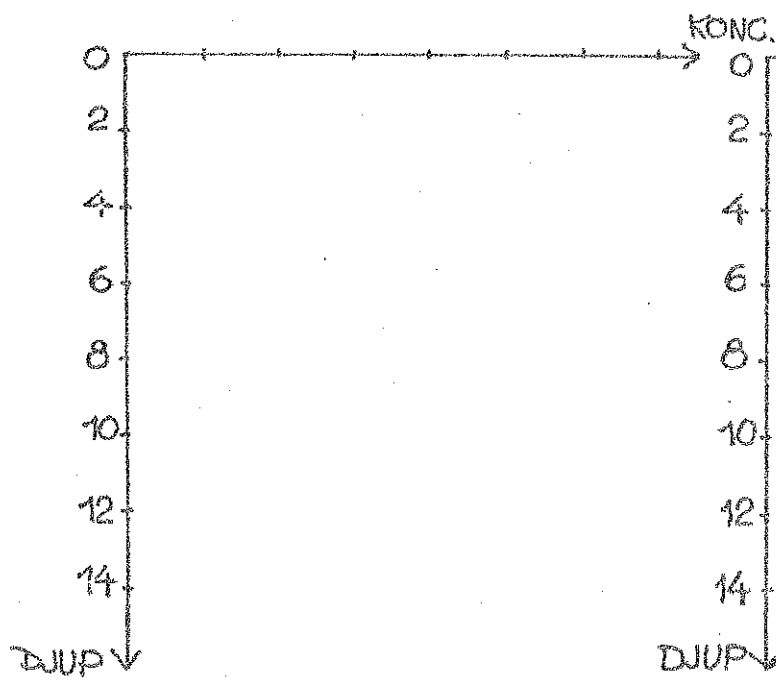
TID: 21.6-71 kl 13¹⁰

KOORD: 47/+0,5



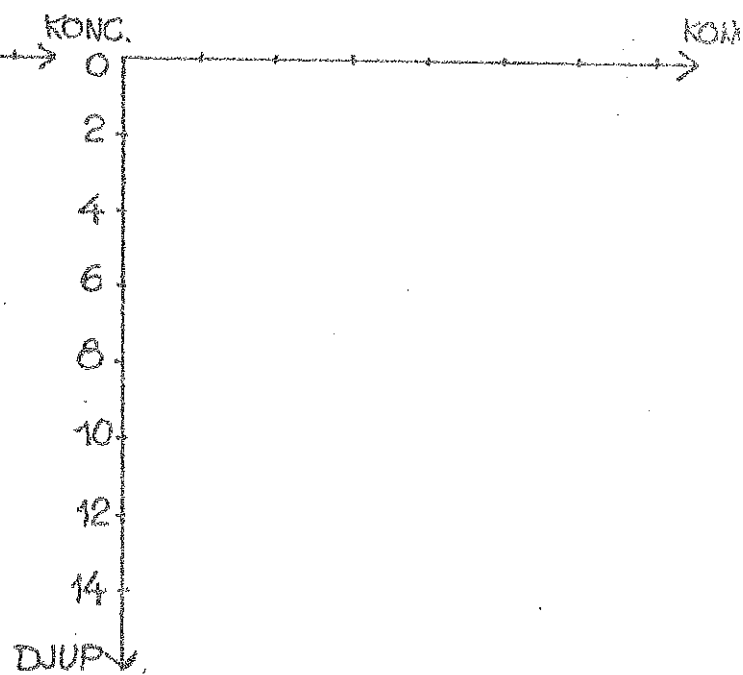
TID:

KOORD:



TID:

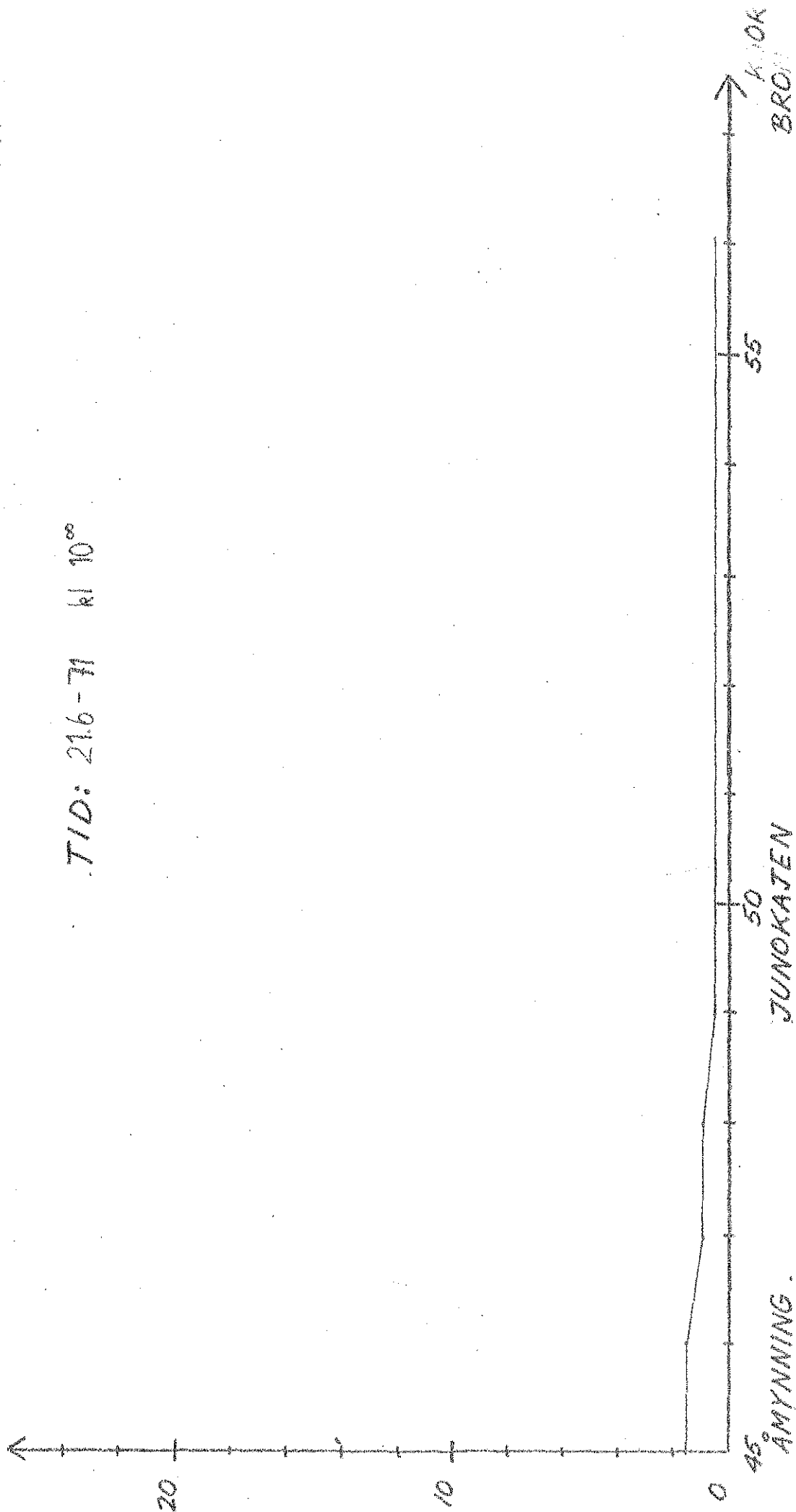
KOORD:



KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÄN

TID: 21.6-71 kl 10⁰⁰

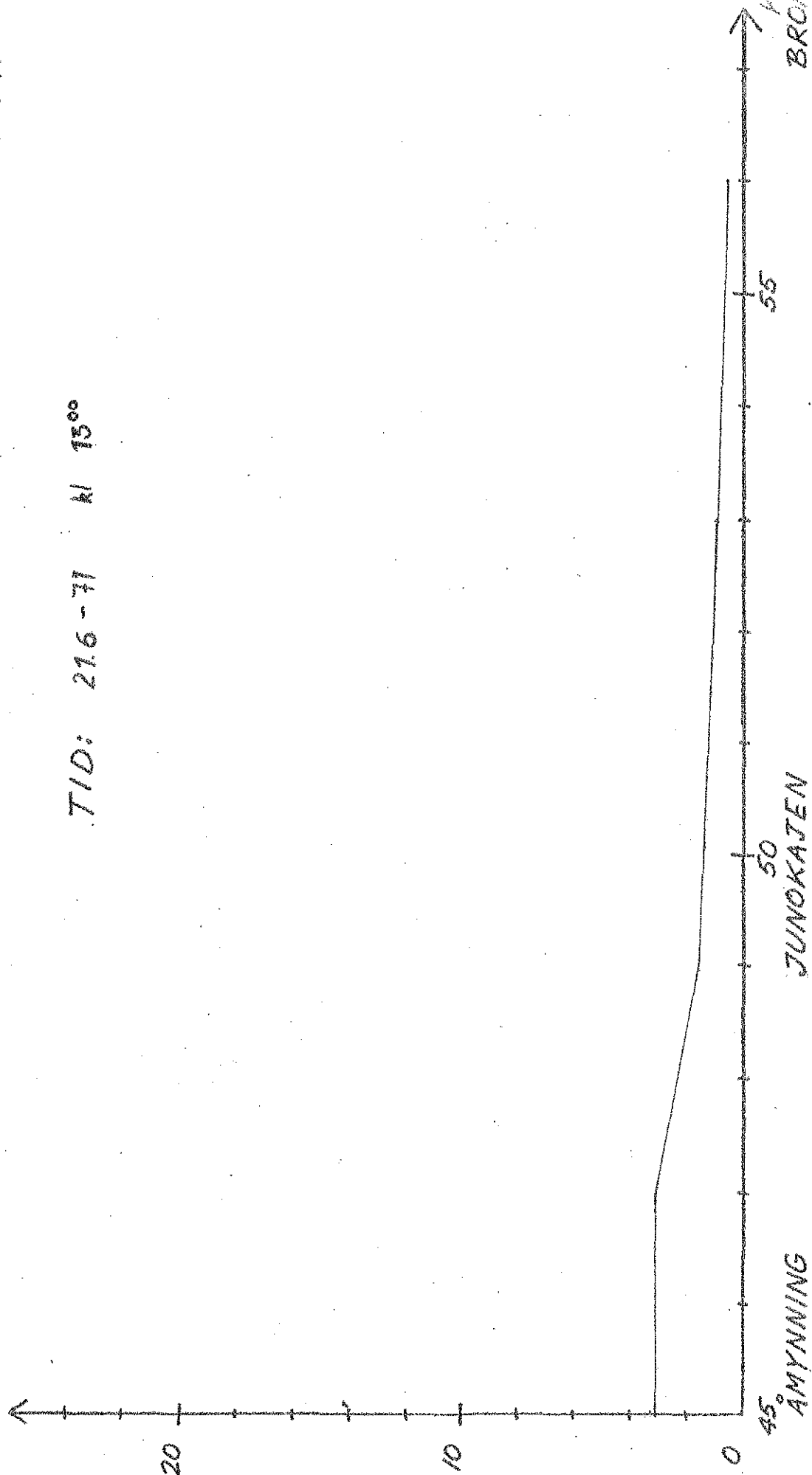
KONC. 10⁻¹⁰



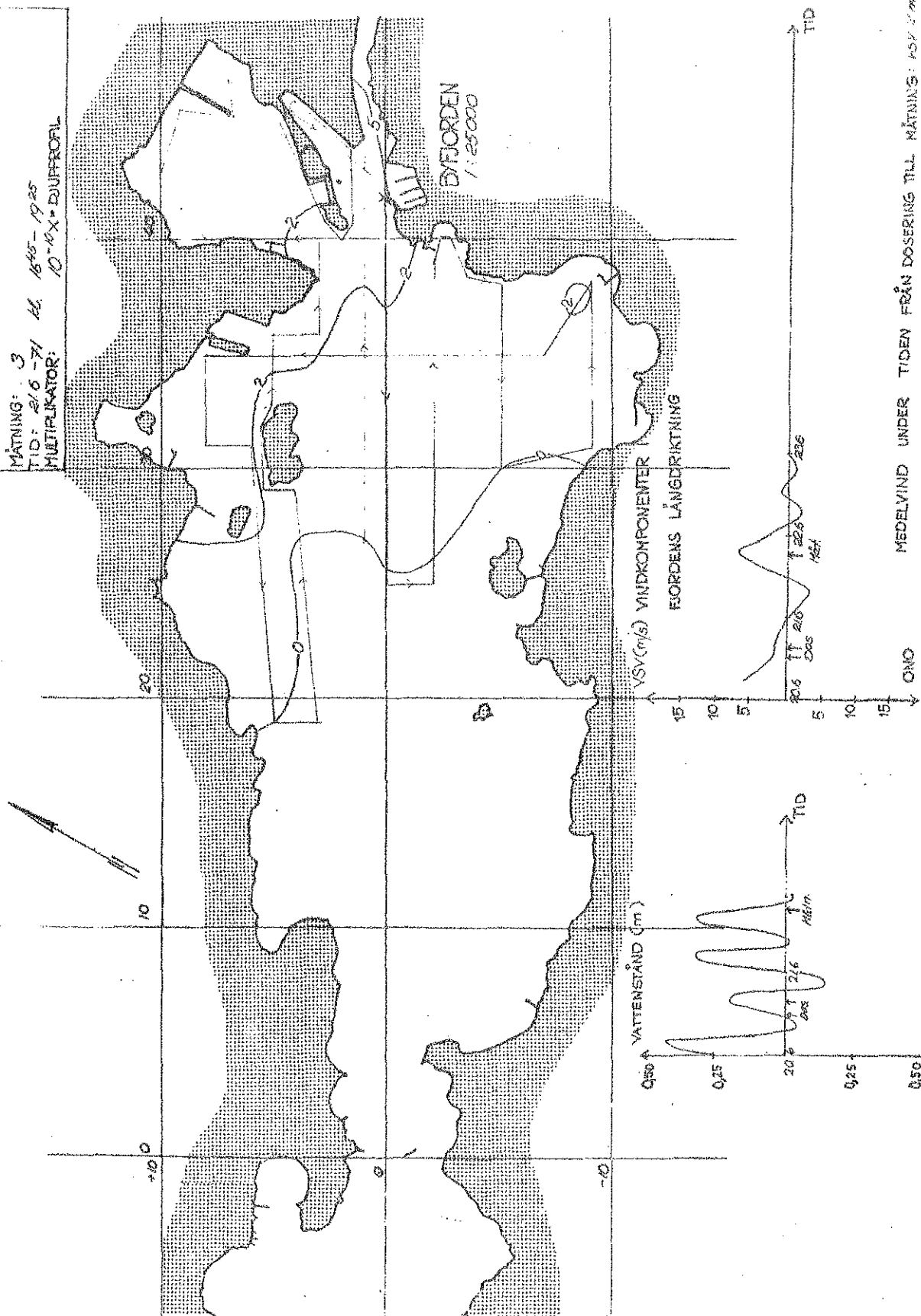
KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

TID: 21.6 - 77 kl 13⁰⁰

KONC. 10⁻¹⁰



DOSERING: 2 ANM.
 MÅNGD: 16 L
 TID: 20.6-71 kl. 12.30-15.00
 MÄTNING: 3
 TID: 2/6-71 kl. 16.45-17.25
 MULTIPLIKATOR: 10⁻¹⁰ X = DUFFPROFIL



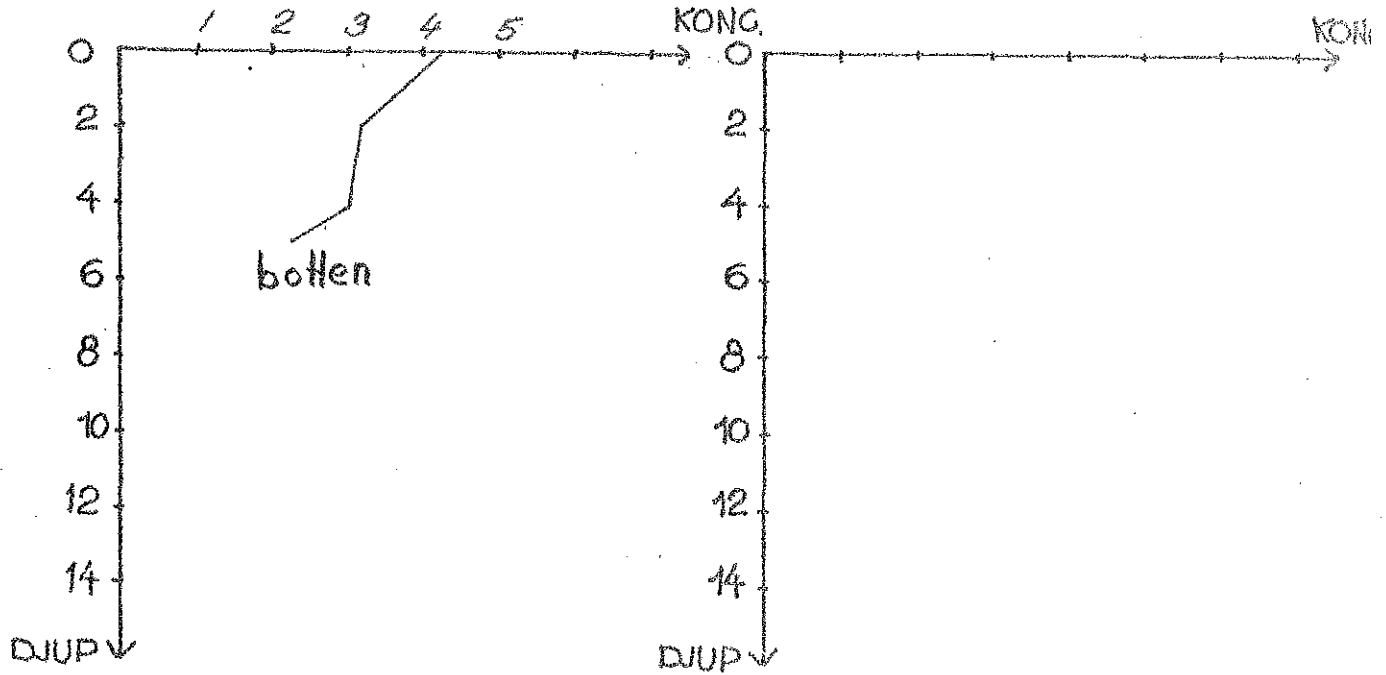
DJUPPROFILER

TID: 21/6-71 kl 1925

KOORD: 42/0

TID:

KOORD:

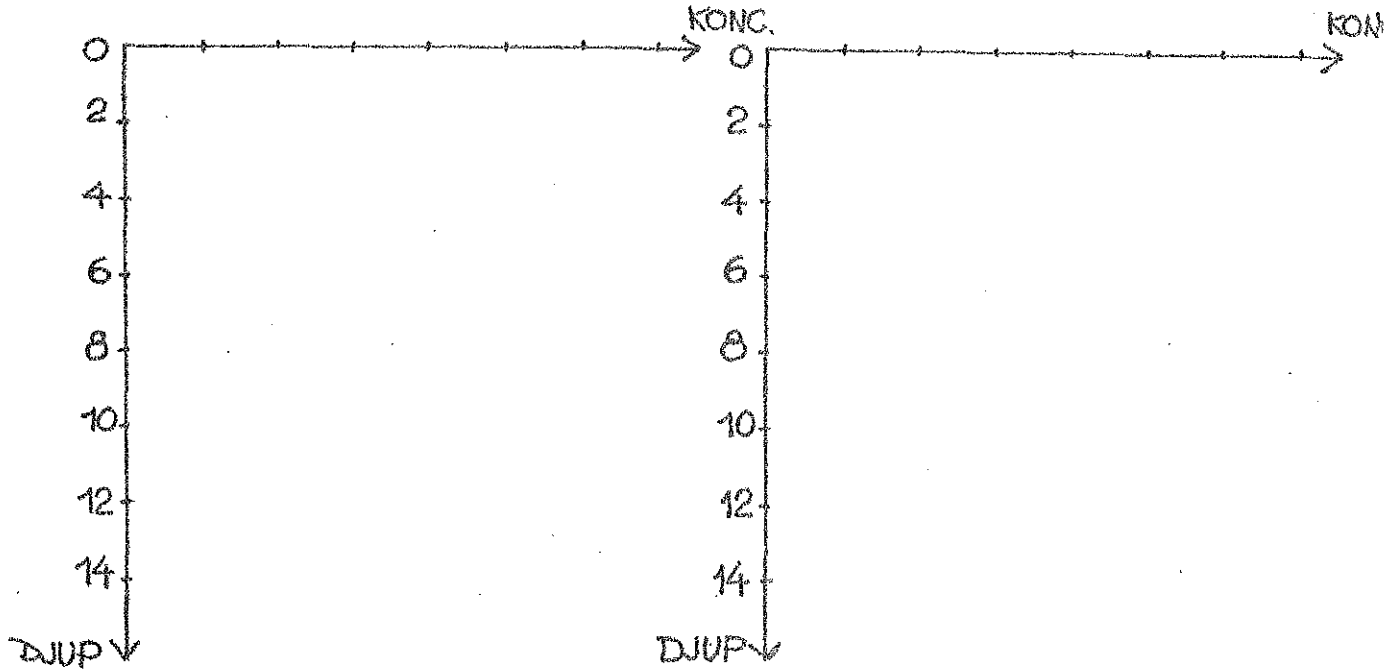


TID:

KOORD:

TID:

KOORD:



KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

TID: 21/6-71 kl 17⁰⁰

KONC. 10⁻¹⁰



20

10

0

45°

ÅMYNNING

50

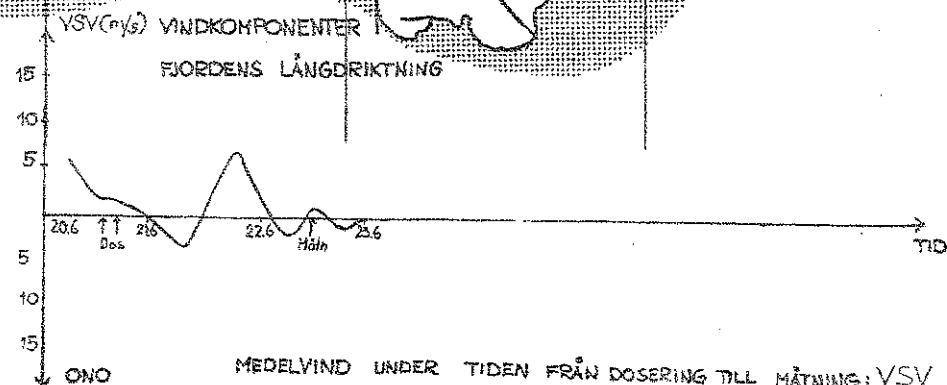
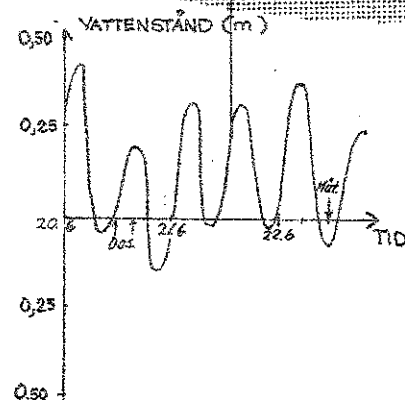
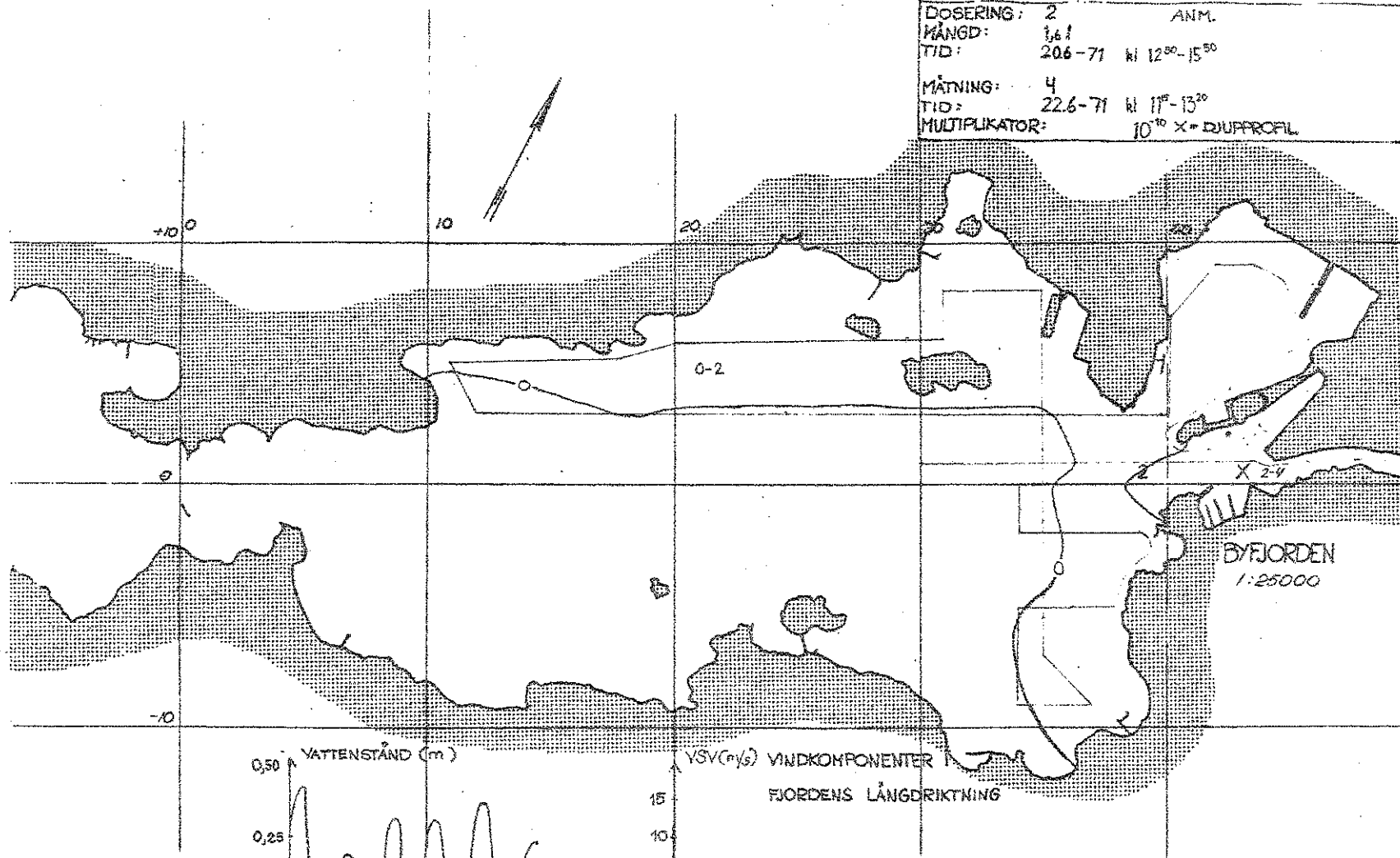
JUNOKAJEN

55

100m

BROEN

DOSERING: 2 ANM.
 MÄNGD: 1,6 l
 TID: 20.6-71 kl 12⁰⁰-15⁵⁰
 MÄTNING: 4
 TID: 22.6-71 kl 11⁰⁰-13⁰⁰
 MULTIPLIKATOR: 10⁻¹⁰ X = DJUPPROFIL



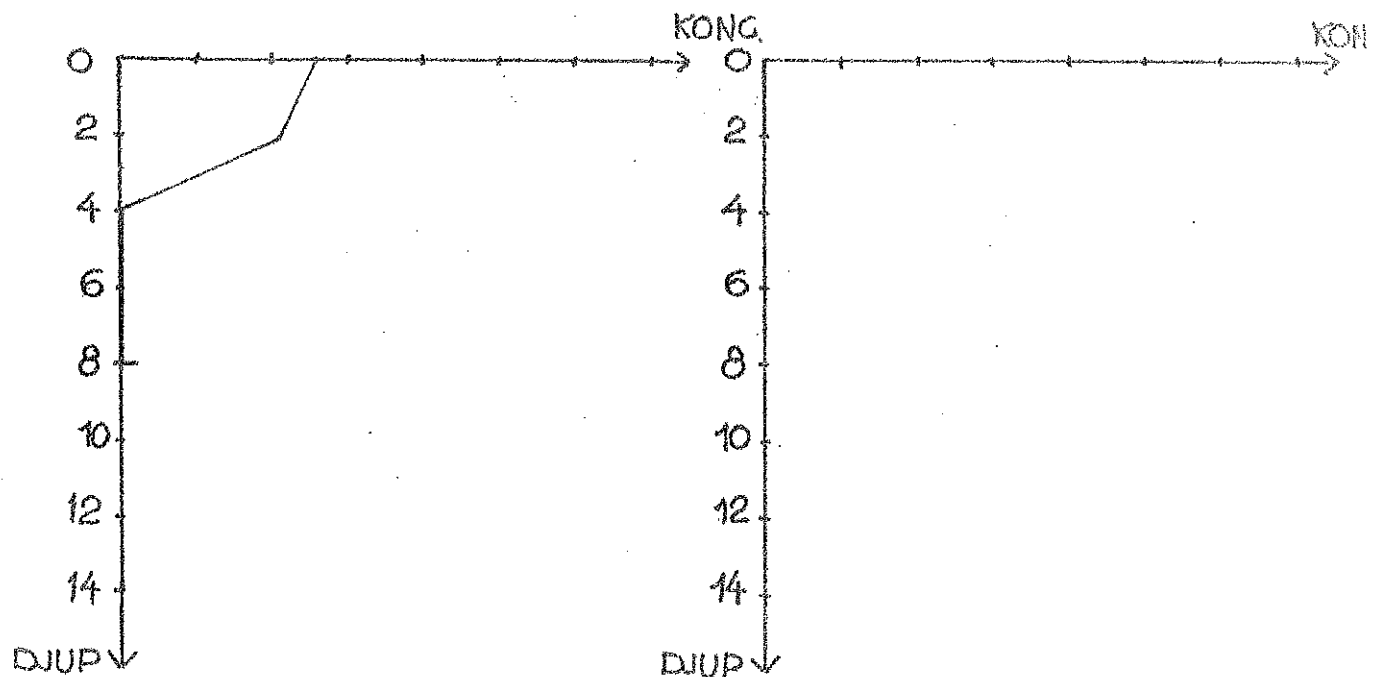
MEDELVIND UNDER TIDEN FRÅN DOSERING TILL MÄTNING: VSV 1m/s

DJUPPROFILER

71.

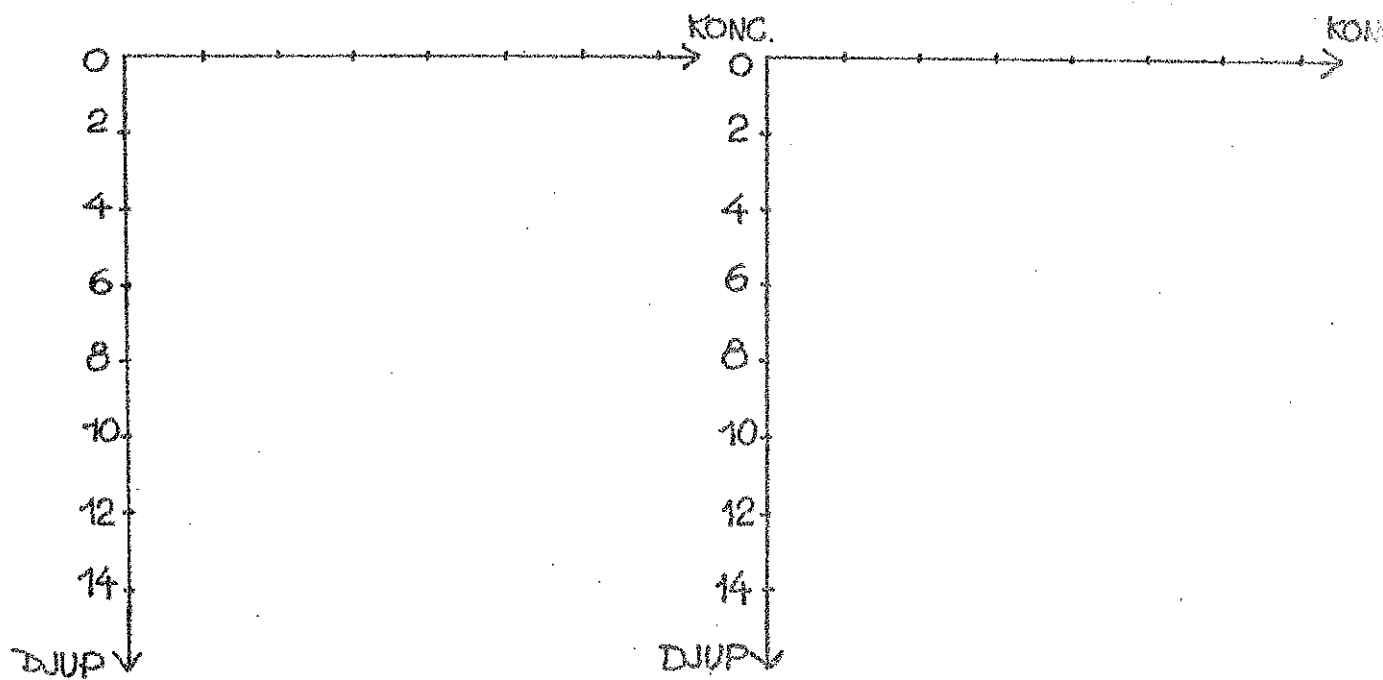
TID: 22.6-71 kl. 13²⁰
 KOORD: 43/-0,5

TID:
 KOORD:



TID:
 KOORD:

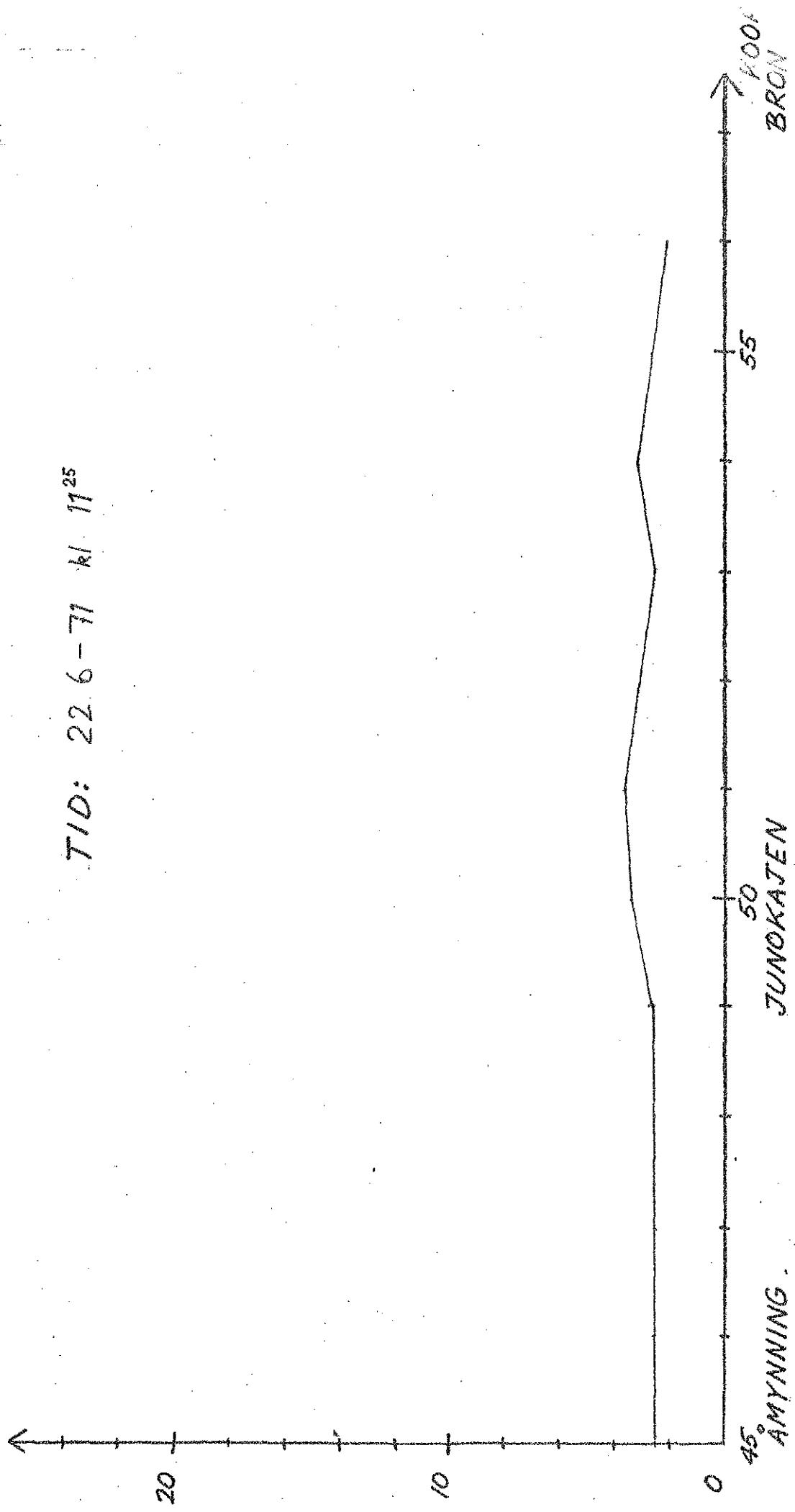
TID:
 KOORD:



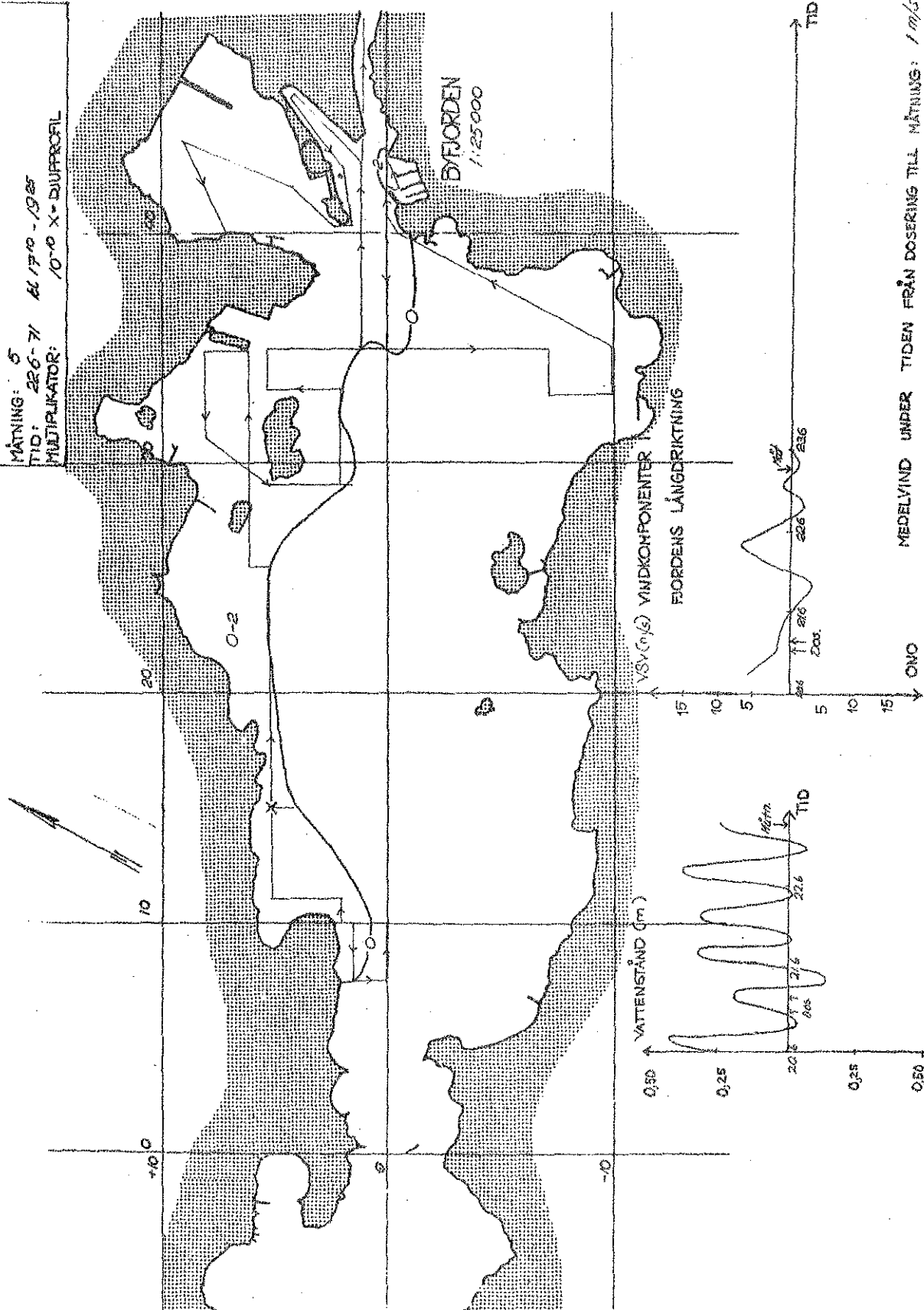
KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

TID: 22.6-77 kl 11²⁵

KONG. 10⁻¹⁰



DOSERING: 2 ANM
 MÅNGD: 16-L
 TID: 206-71 kl 1230-1530
 MÄTNING: 5
 TID: 226-71 kl 1710-1925
 MULTIPLIKATOR: 10-0 X= DJUPPROFIL



MEDELVIND UNDER TIDEN FRÅN DOSERING TILL MÄTNING: 1 m/s 16V

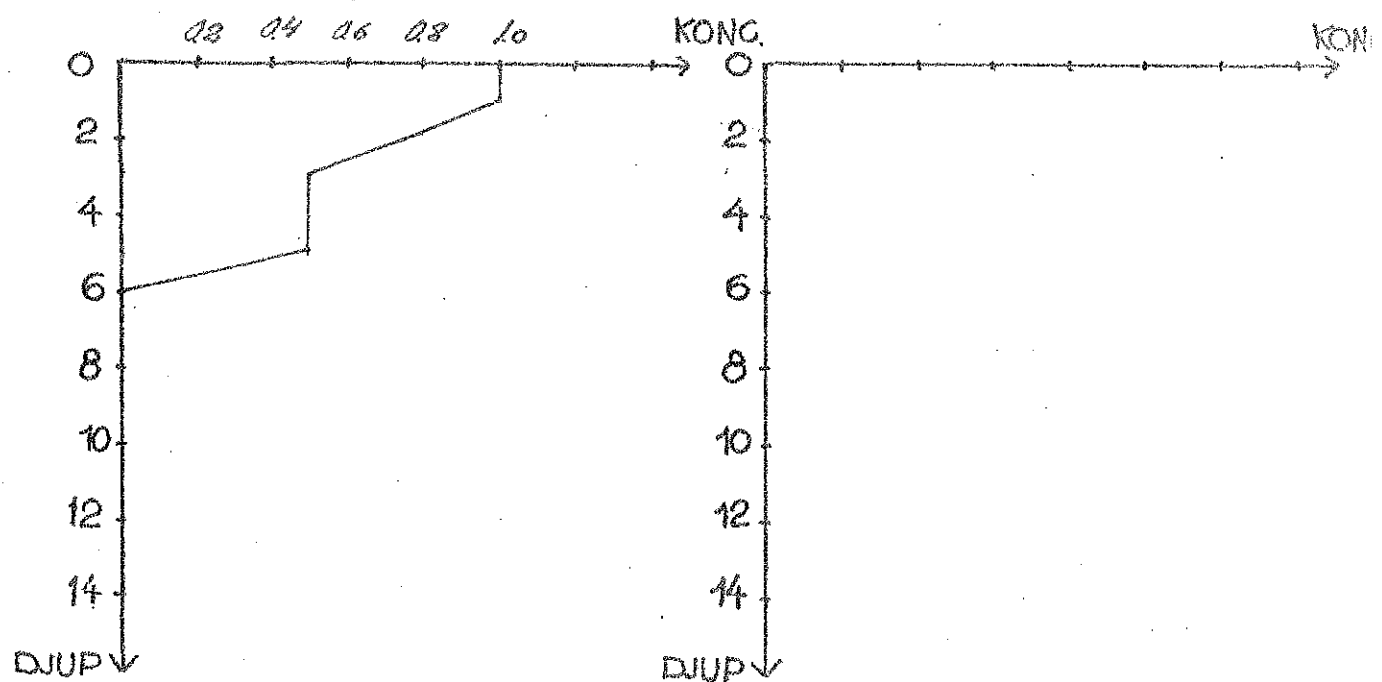
DJUPPROFILER

TID: 22/6-71 kl 1730

KOORD: 15/5

TID:

KOORD:

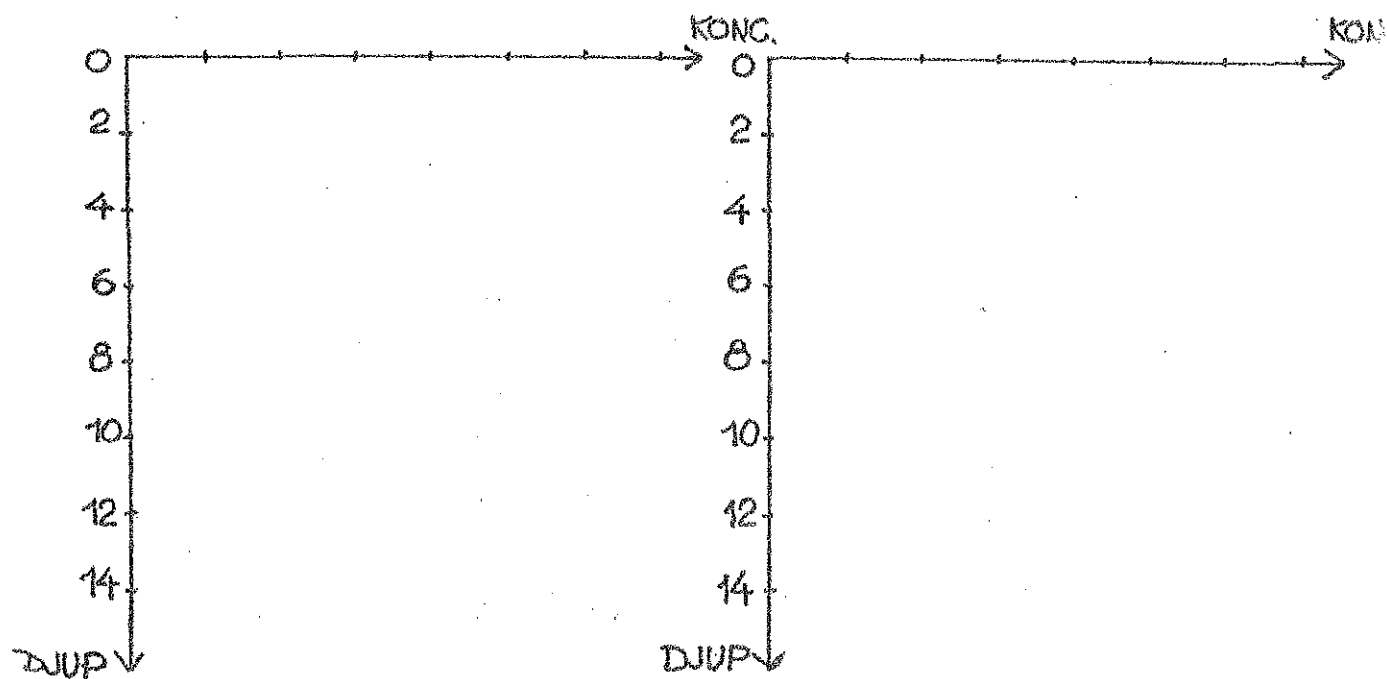


TID:

KOORD:

TID:

KOORD:



KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÄN

TID: 22/6-71 kl. 19.25

KONC. 10^{-10}



20

10

0

45°

ÅMYNNING

50

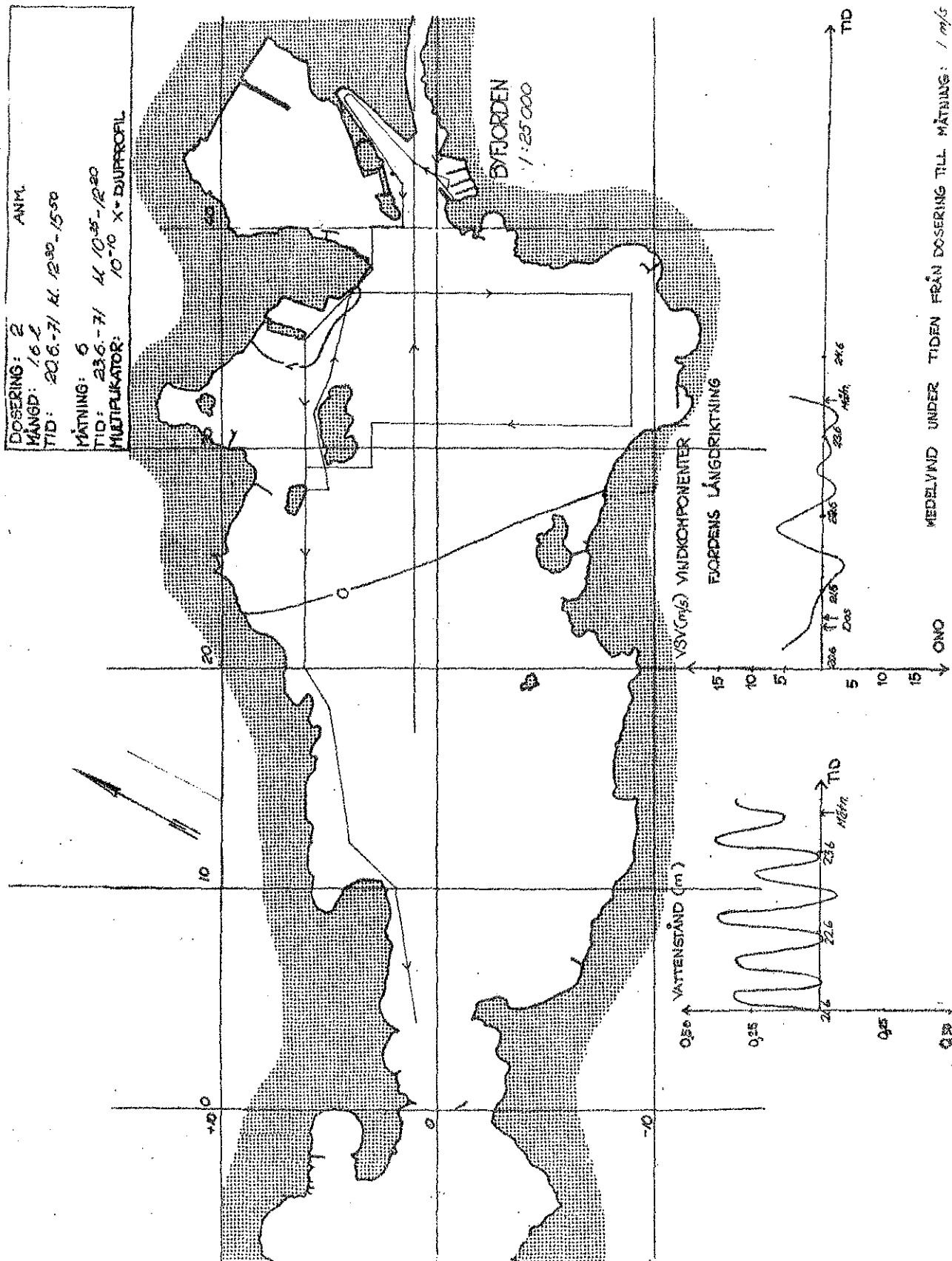
JUNOKAJEN

55

100

BRON

DOSERING: 2 ANM.
 MÅNGD: 16 L
 TID: 20.6-71 kl. 12:30-15:50
 MÄTNING: 6
 TID: 23.6.-71 kl. 10:35-12:20
 MULTIPLIKATOR: 10⁻¹⁰ X-DUPROFIL



MEDELVIND UNDER TIDEN FRÅN DOSERING TILL MÄTNING: 1 m/s 6.51

KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

TID: 23.6-71 kl. 10.55

KONC. 10^{-10}

↑

20

10

0

45°

ÅMYYNNING

50

JUNOKAJEN

55

KOORD.
BRON

KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

TID: 23.6-71 kl. 19¹⁰

KONC. 10⁻¹⁰

↑

20

10

0

45°

ÅMYYNNING.

50

JUNOKAJEN

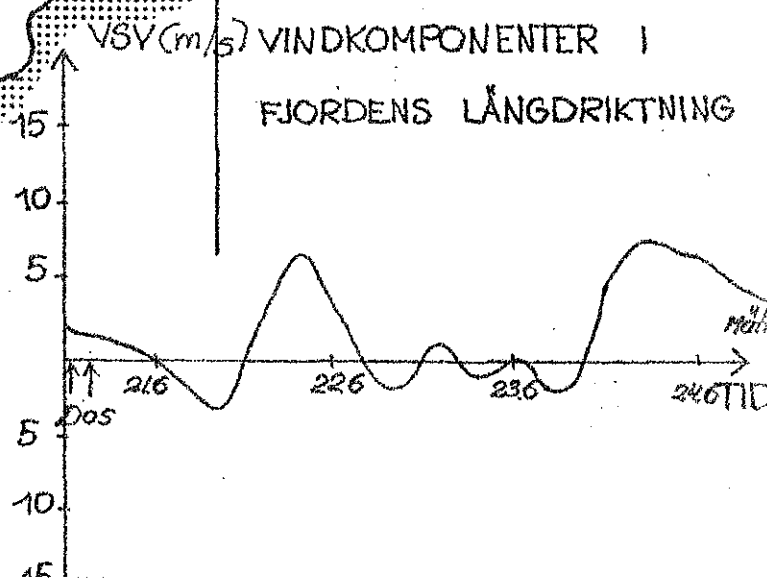
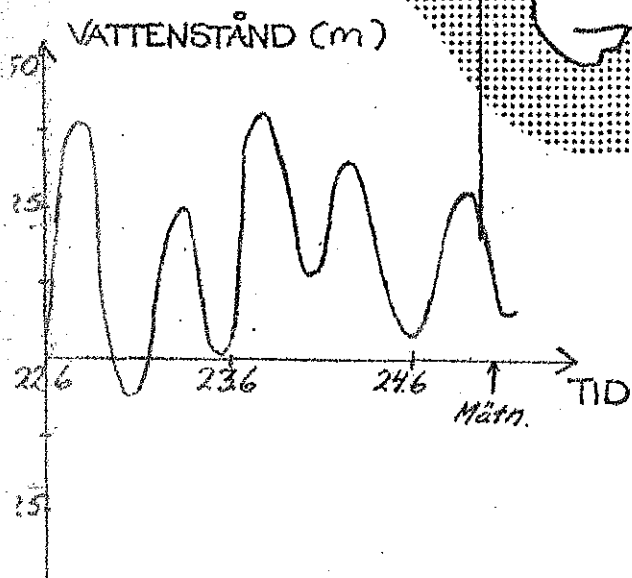
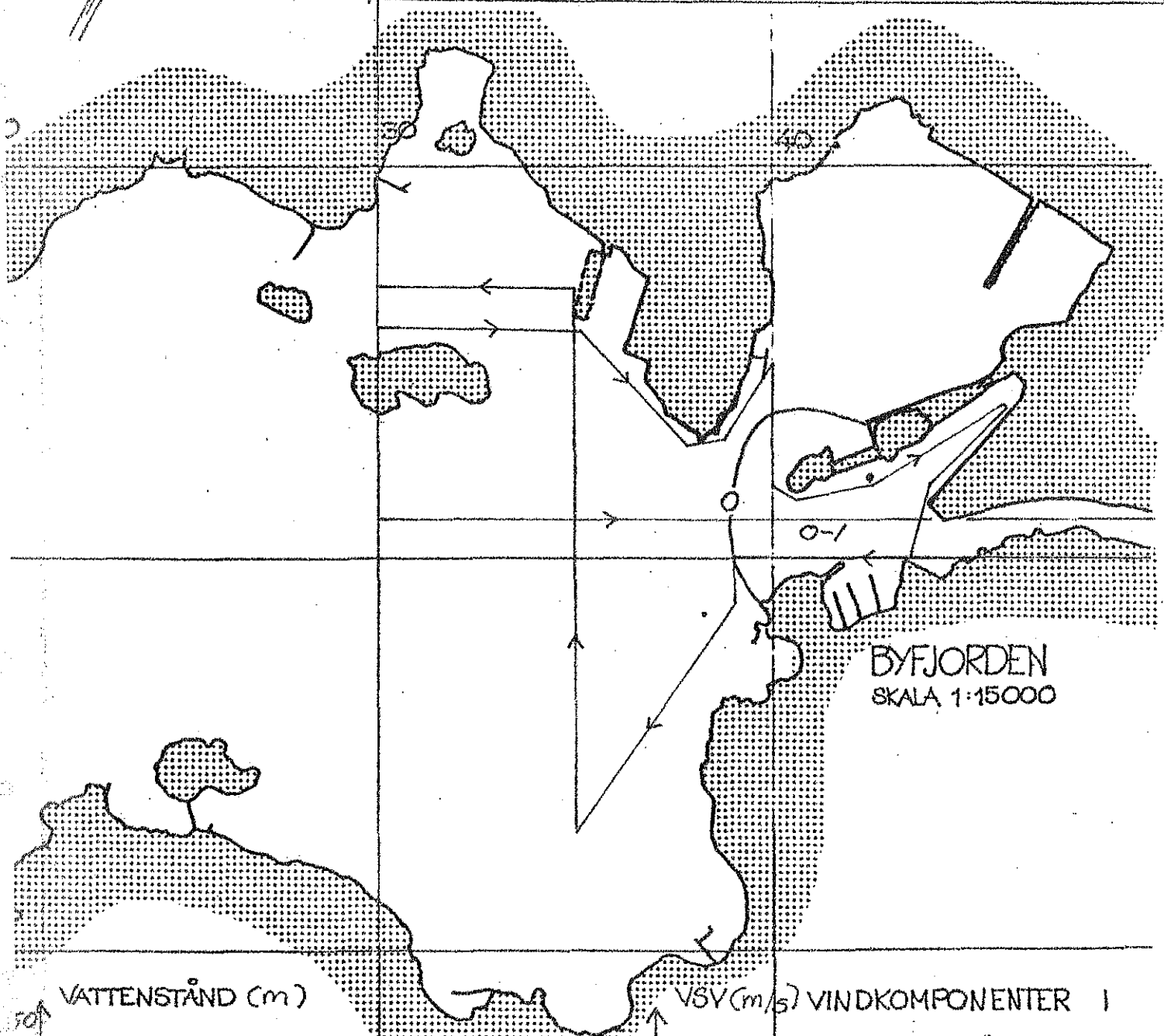
55

↑ KOORD.
BRON

79.

DOSERING: 2 ANM.
MÄNGD: 1,6 l
TID: 20.6.-71 kl 12³⁰-15⁵⁰

MÄTNING: 8
TID: 24.6.-71 kl. 10³⁵-11⁴⁰
MULTIPLIKATOR: 10⁻¹⁰ X = DJUPPROFIL



KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

TID: 24.6.-71 kl. 10.50

KONC. 10^{-10}



20

10

0

45°

ÅMYNNING

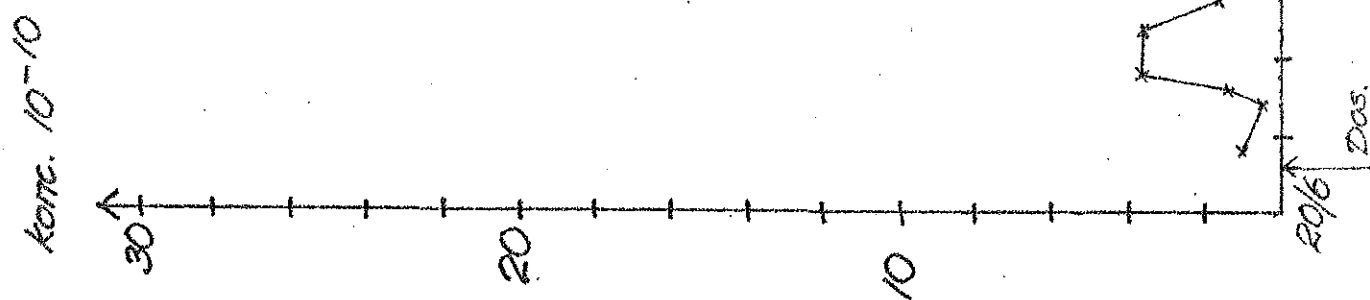
50

JUNOKAJEN

55

KOORD.
BRON

Koncentration tvårs Jurokajen (50/41)
 korrigerad m.h.t. avklingning, som
 funktion av tiden.
 Dosering: 2



6.4 Dosering 3

Doseringstid:	28/6 1971 kl 17.33 — 30/6 1971 kl 17.05
Rodaminlösning:	5 l rodamin, 250 l vatten Koncentration: 1:50
Effektiv doseringstid:	2852 min = 47 h 32 min
Vattenföring utloppsledning:	13,6 l/s
Pumpkapacitet:	1,48 ml/s
Koncentration rörmynning:	$2,2 \cdot 10^{-6}$
Initialutspädning i recipienten (enl kap. 3.2)	20 ggr
Koncentration ytan:	$1,1 \cdot 10^{-7}$
Inlagringsdjup:	Ytan
Avklingningskoefficient:	$e^{-0,026 T}$

Mätningar:

Tid	Ytmätning	Djupprofil antal	Avklingning	Sid.
28/6 kl 21.20-21.55	x		x	84
29/6 kl 09.10-11.00	x	1	x	85-86
29/6 kl 18.20-20.05	x	1		87-89
30/6 kl 10.00-12.40	x	1	x	90-92
30/6 kl 18.00-19.55	x	1		93-95
1/7 kl 11.05-14.00	x	1	x	96-98
2/7 kl 11.30-13.55	x		x	99-100

Anm. Problem med elförsörjning. Vid sista mätningen användes bly-accumulatorer som elkälla.

Kommentar: Starka västliga vindar medför att spridningen sker relativt långsamt. I och med att vinden efter ca 1 dag avtar betydligt och växlar riktning sker uttransporten snabbare. Rodaminmolnets tyngdpunkt försköts åt norra resp södra stranden, beroende på rådande vindriktning. Den större doseringsmängden medförde att vi kunde registrera spridningen över hela fjorden. Efter 4 dygn hade molnets perifera delar nått Sunningen.

Den vertikala omblandningen sker långsamt. Ned till 2 meters djup är omblandningen fullständig men under denna nivå minskar koncentrationen snabbt med djupet. I detta fall medför de växlande vindförhållandena att någon större ytvattentransport och därmed förknippad cirkulation ej hinner utbildas.

Koncentrationen av rodamin i Bäveån var låg under hela perioden.

Avklingningskoefficienten var återigen något över medelvärdet.

DOSERING: 3

ANM.

MÄNGD: 5 L

TID: 29.6-71 kl. 17³³ — 30.6-71 kl. 17⁰⁵

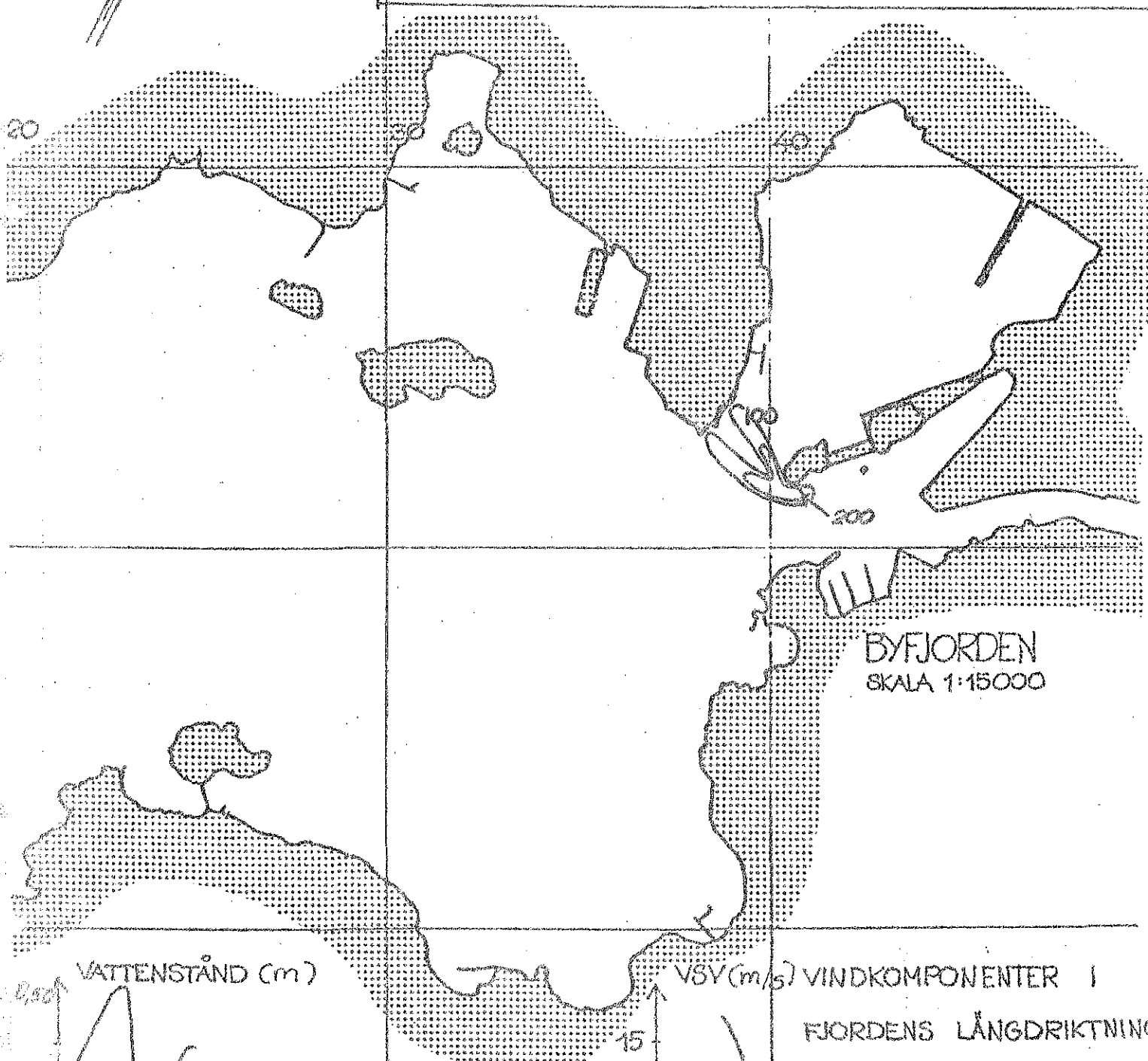
84.

MÄTNING: 1

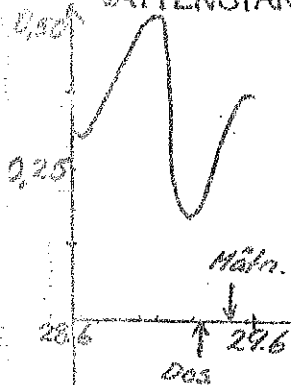
TID: 29.6-71 2/30 — 2/55

MULTIPLIKATOR: 10-10

X = DJUPPROFIL

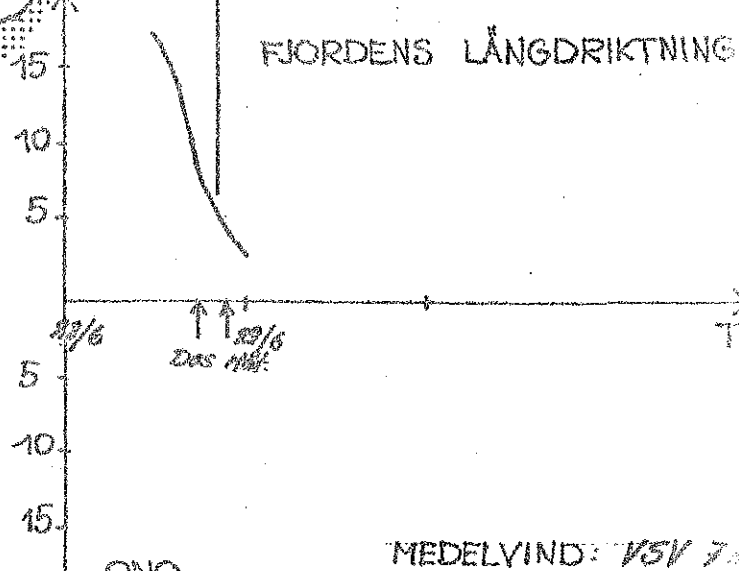


VATTENSTÅND (m)



VSV (m/s) VINDKOMPONENTER I

FJORDENS LÅNGDRIKTNING



MEDELVIND: VSV 7

LOSERING: 3

ANM.

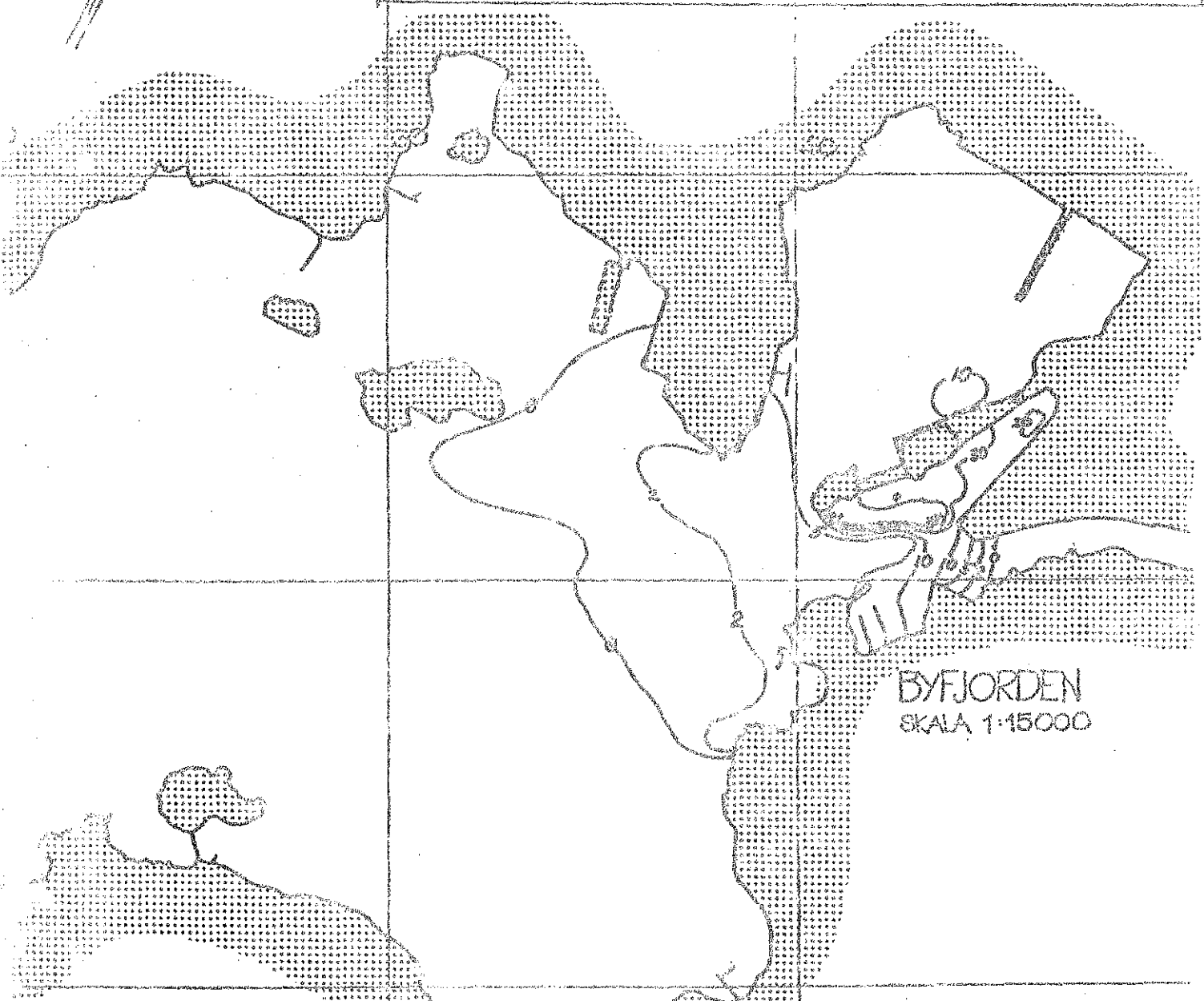
MÄNGD: 5 L

TID: 22.6.-71 kl. 17.33 - 30.6.-71 kl. 17.05

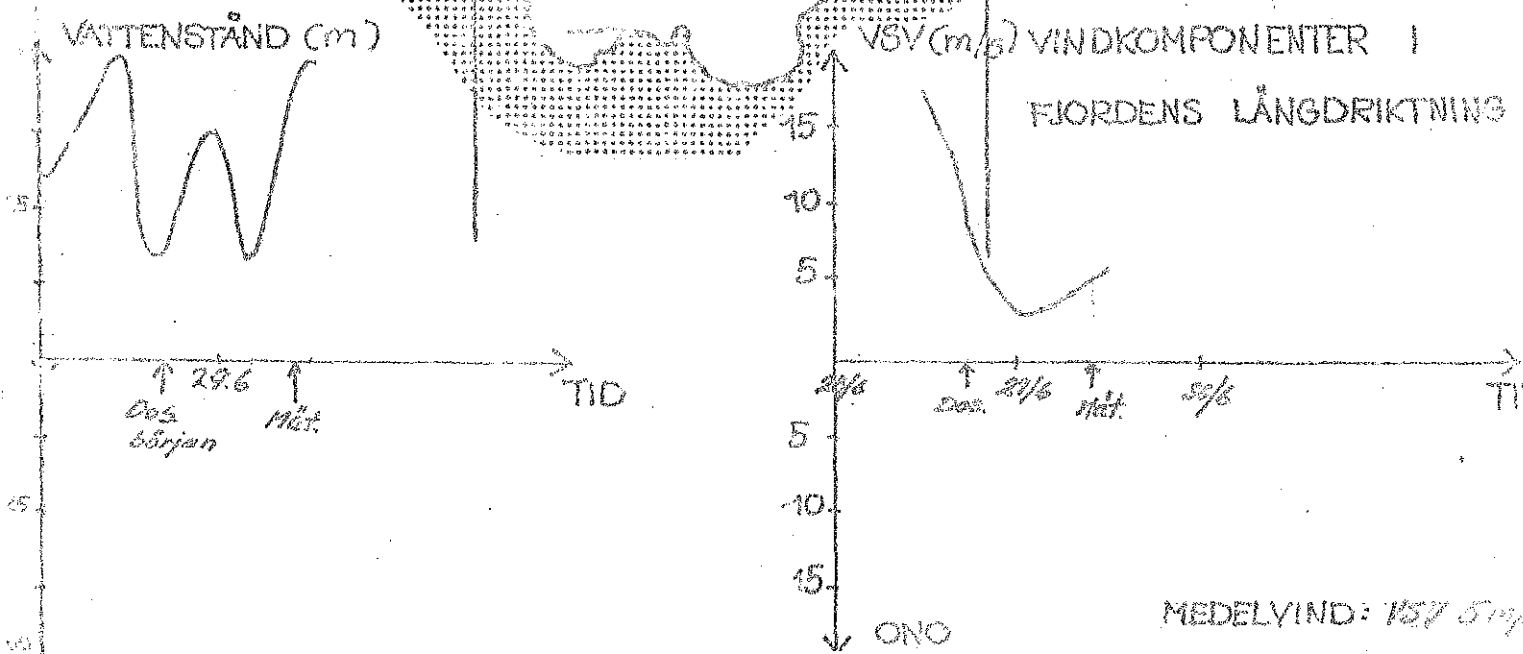
MÄTNING: 2

TID: 29.6.-71 kl. 9.10 - 11.00

MULTIPLIKATOR: 10⁻¹⁰ X = DJUPPROFIL



BYFJORDEN
SKALA 1:15000

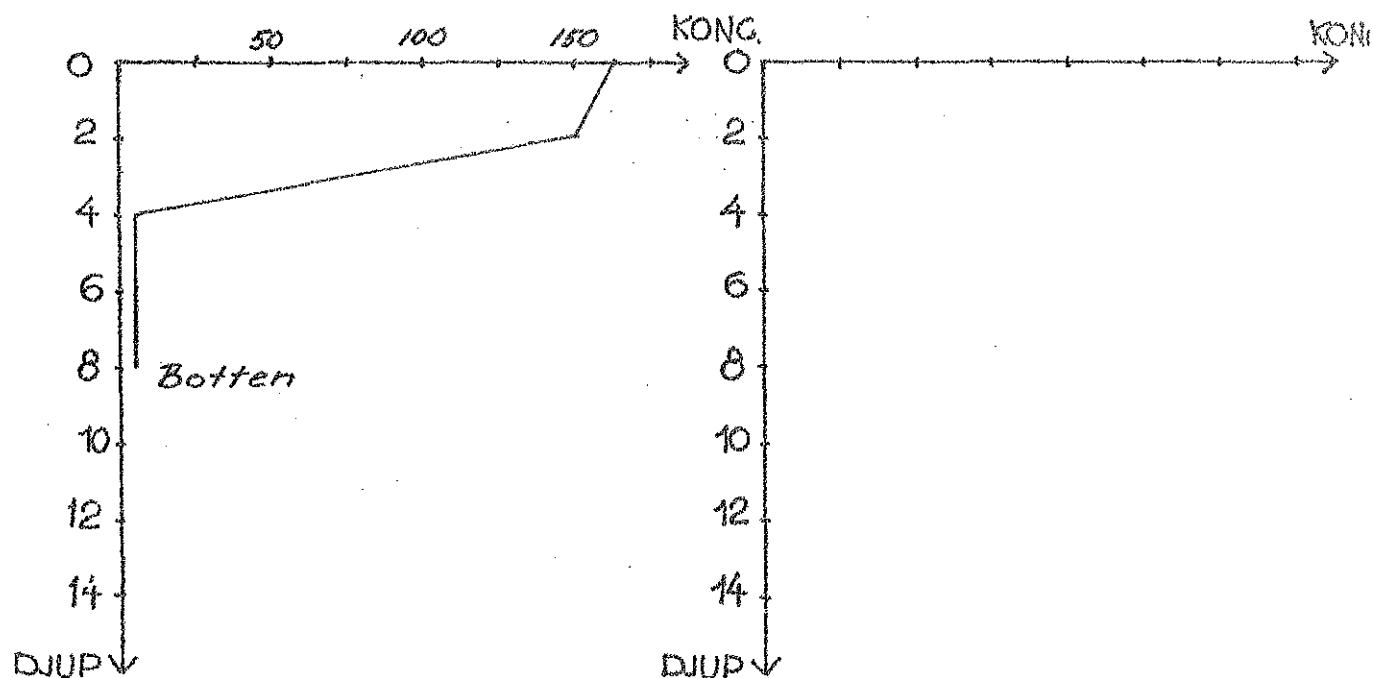


MEDELVIND: 15.7 m/s

DJUPPROFILER

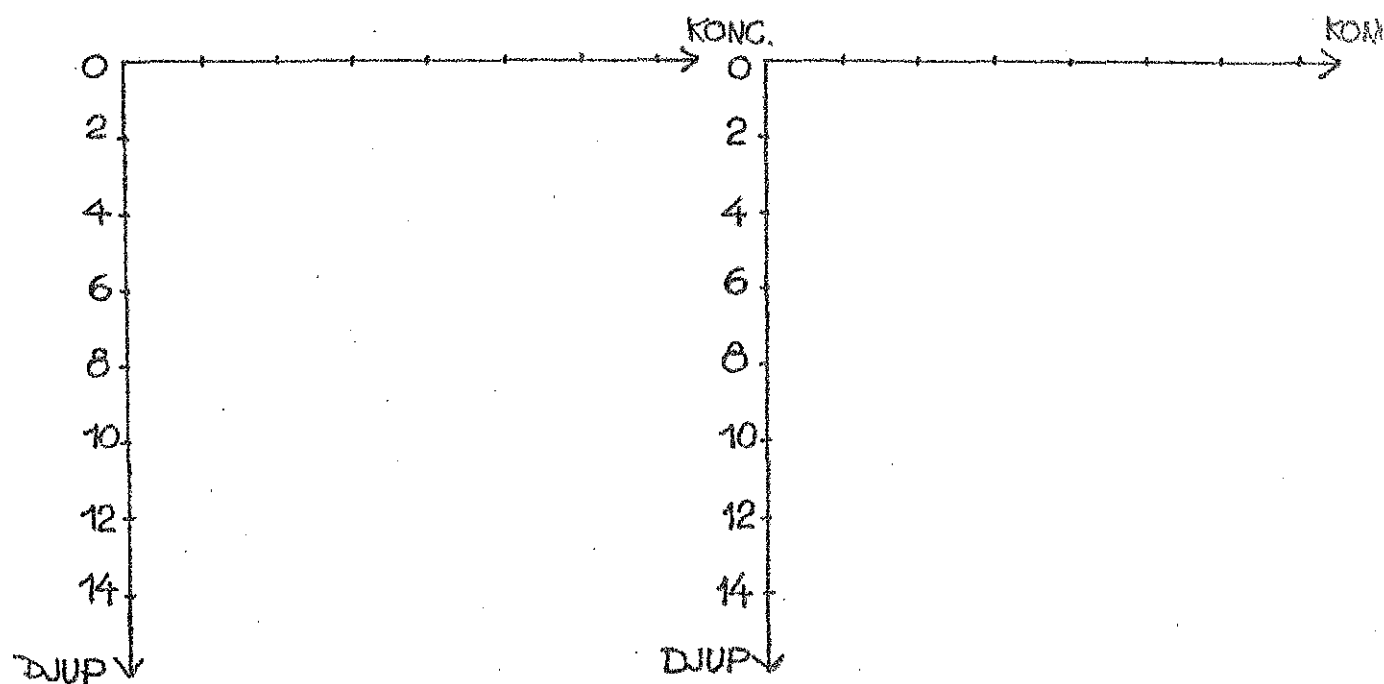
TID: 29.6-71 kl. 11⁰⁰
KOORD: 41/1.5

TID:
KOORD:



TID:
KOORD:

TID:
KOORD:



DOGERING: 3

ANM.

MÄNGD: 5 L

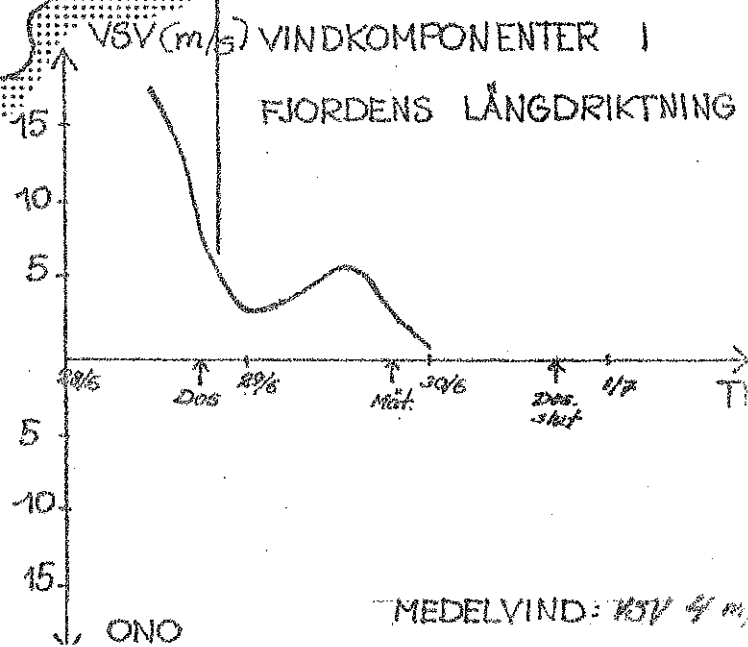
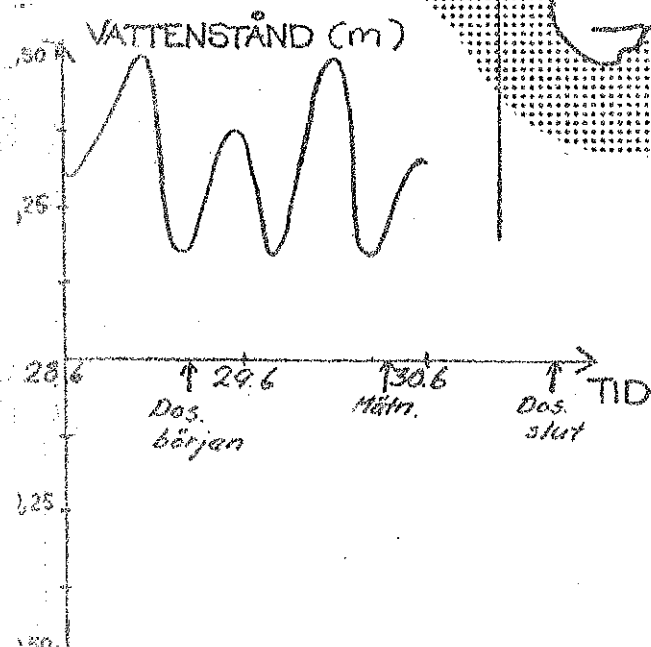
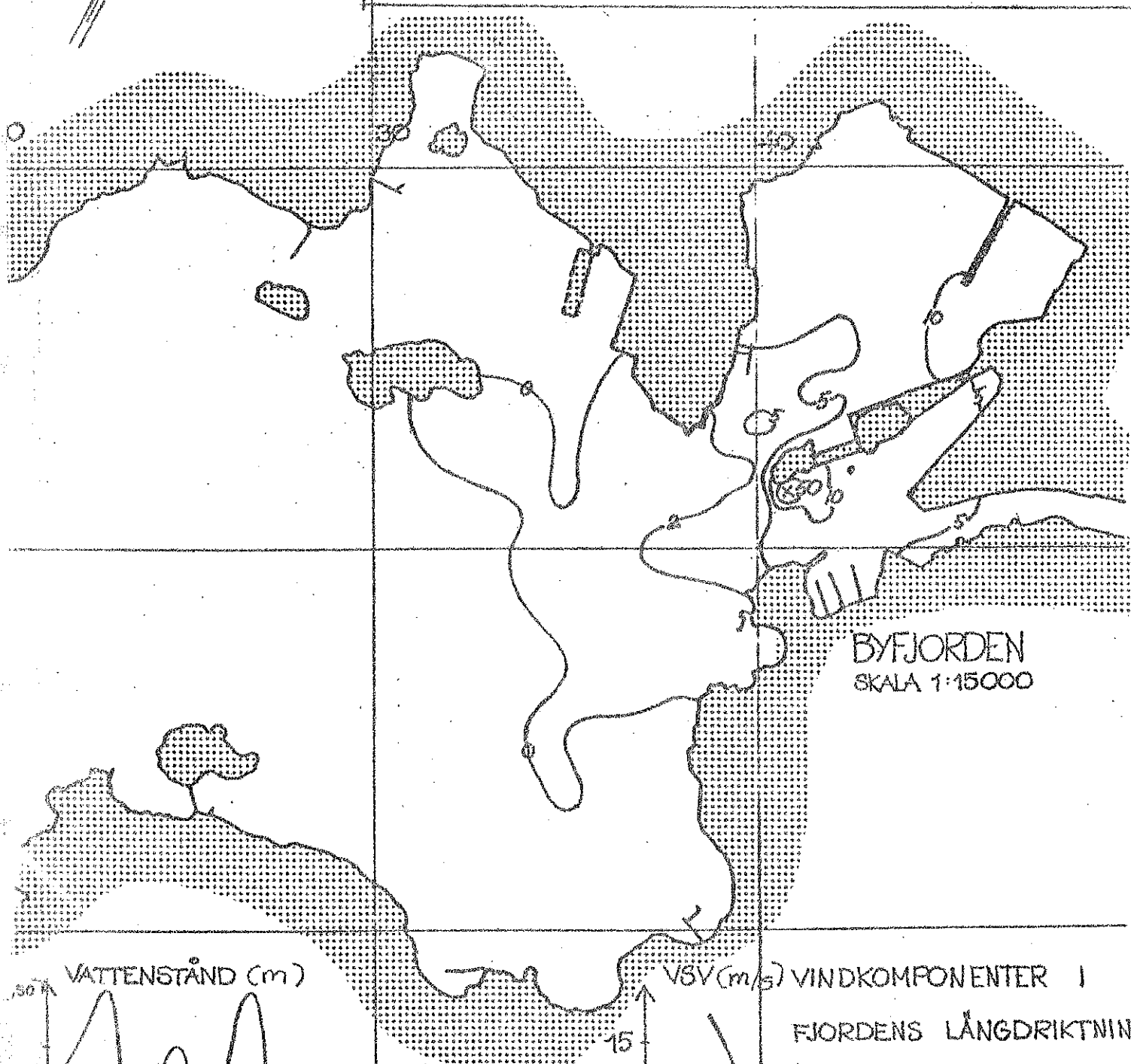
TID: 28.6.-71 kl. 17³³ - 30.6.-71 kl. 17⁰⁵

87.

MÄTNING: 3

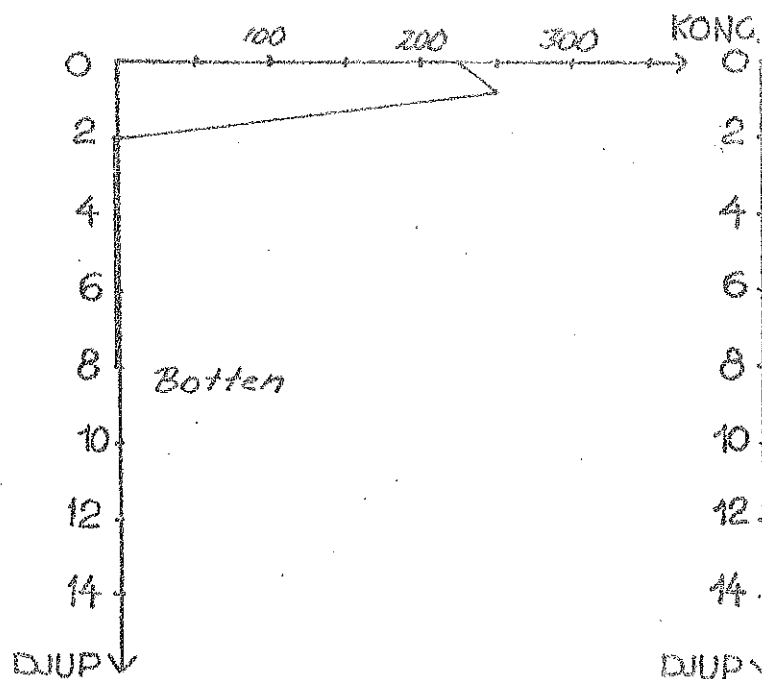
TID: 29.6.-71 kl. 18²⁰ - 20⁰⁵

MULTIPLIKATOR: 10-10 X = DJUPPROFIL

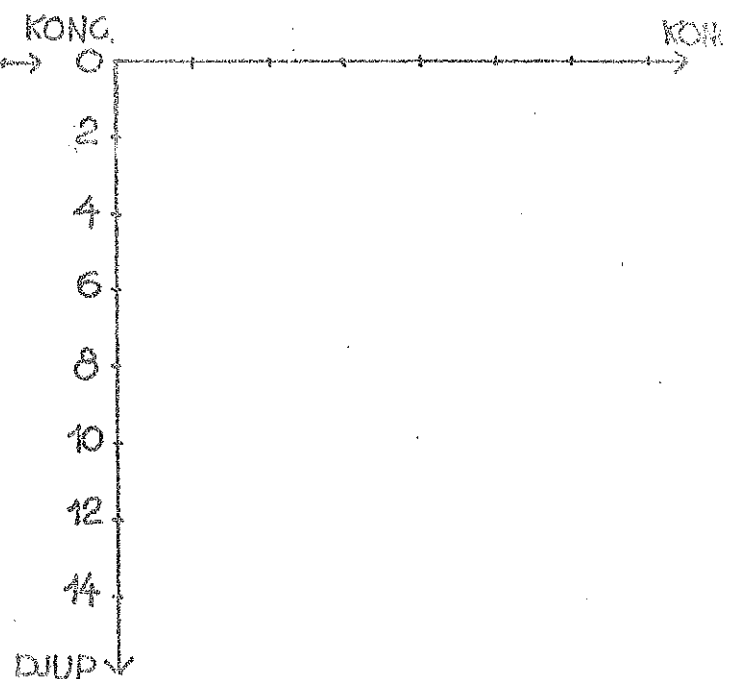


DJUPPROFILER

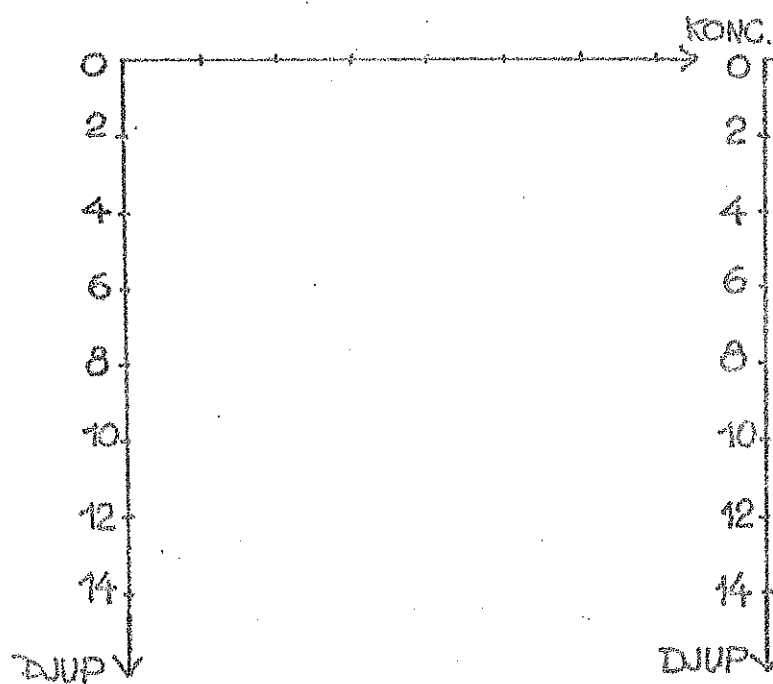
TID: 29.6-71 kl. 20¹⁰
 KOORD: 41/1,5



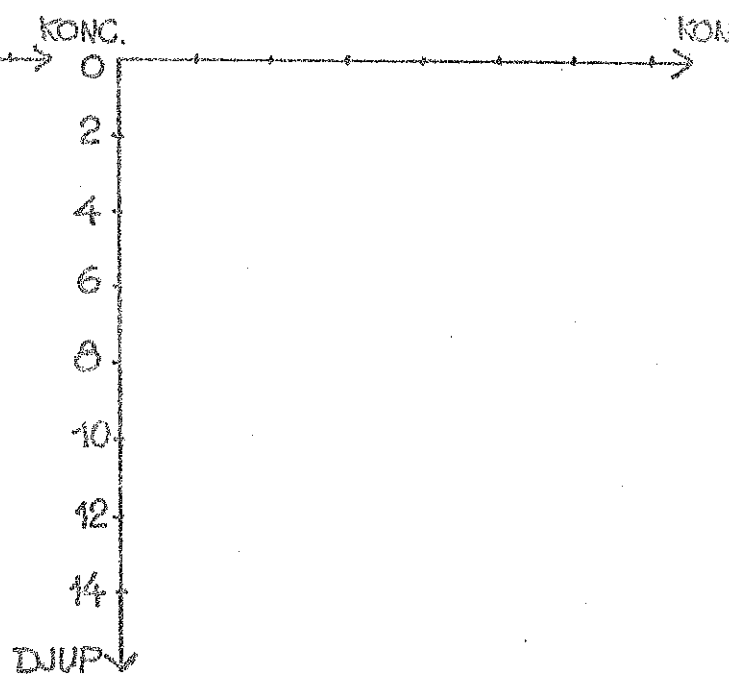
TID:
 KOORD:



TID:
 KOORD:

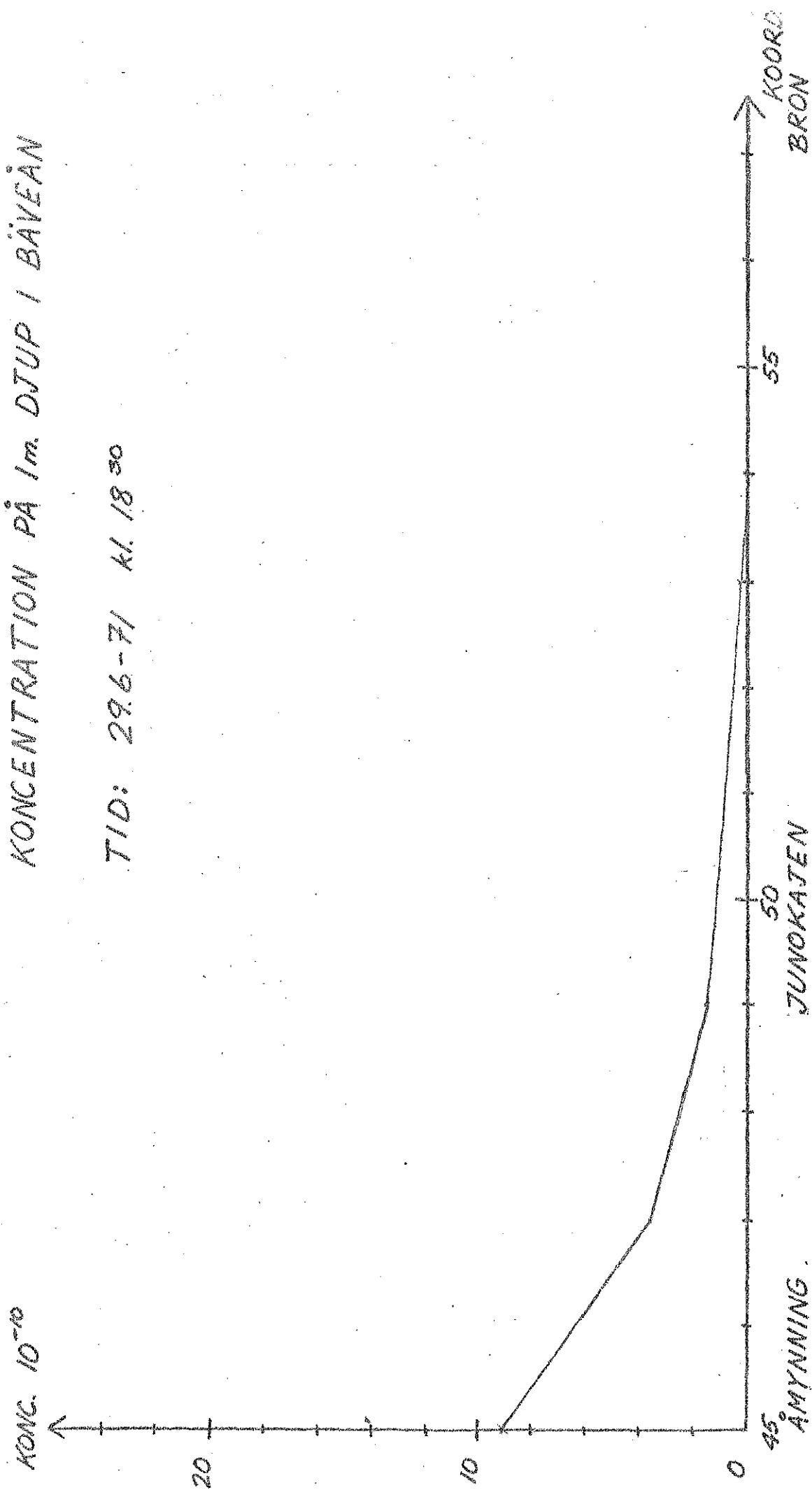


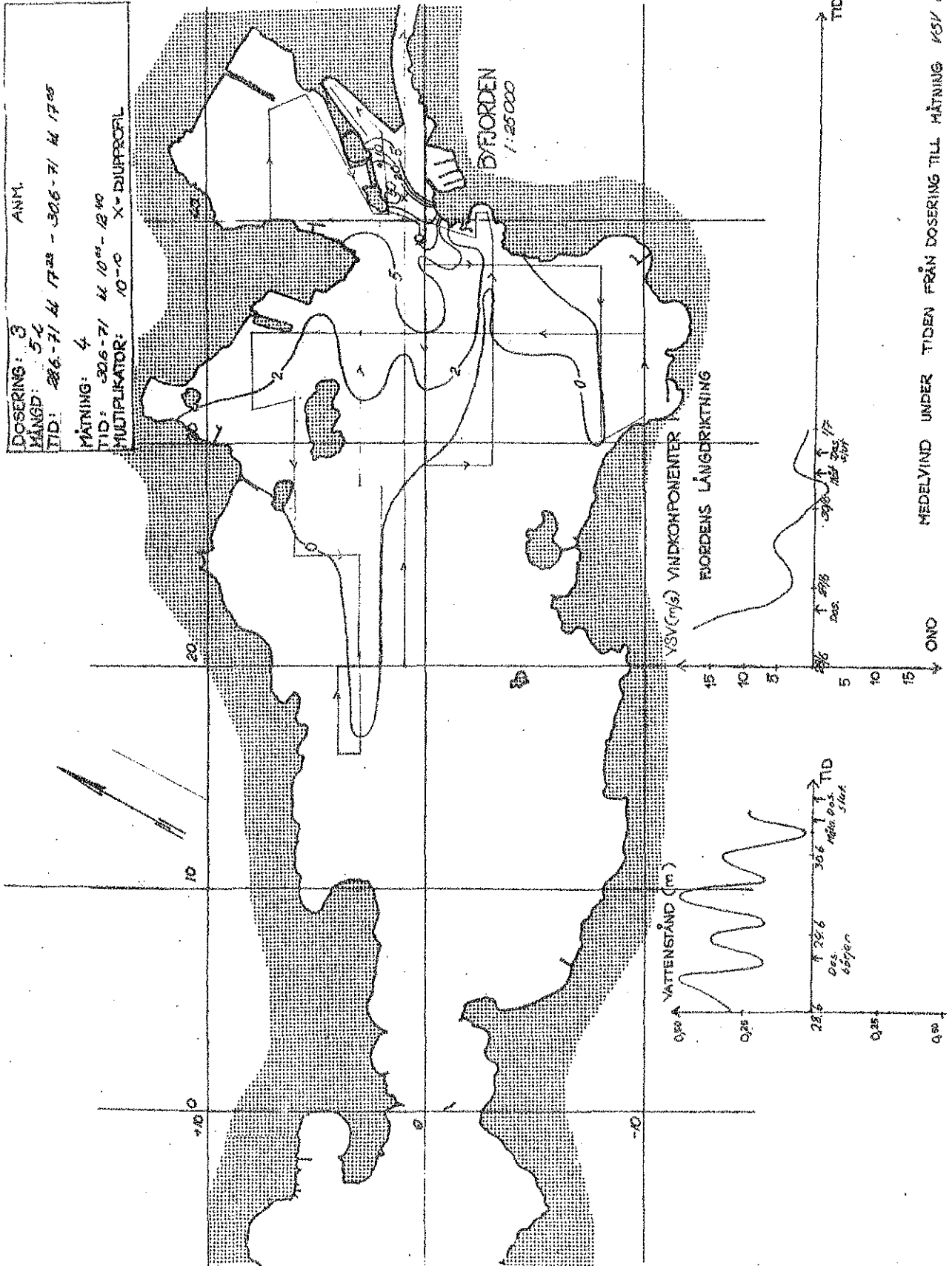
TID:
 KOORD:



KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

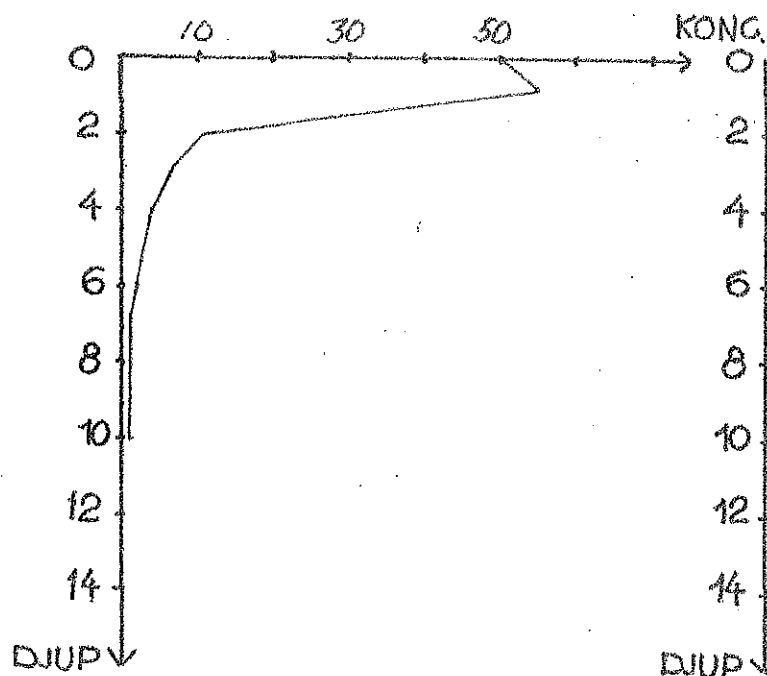
TID: 29.6-71 kl. 18³⁰



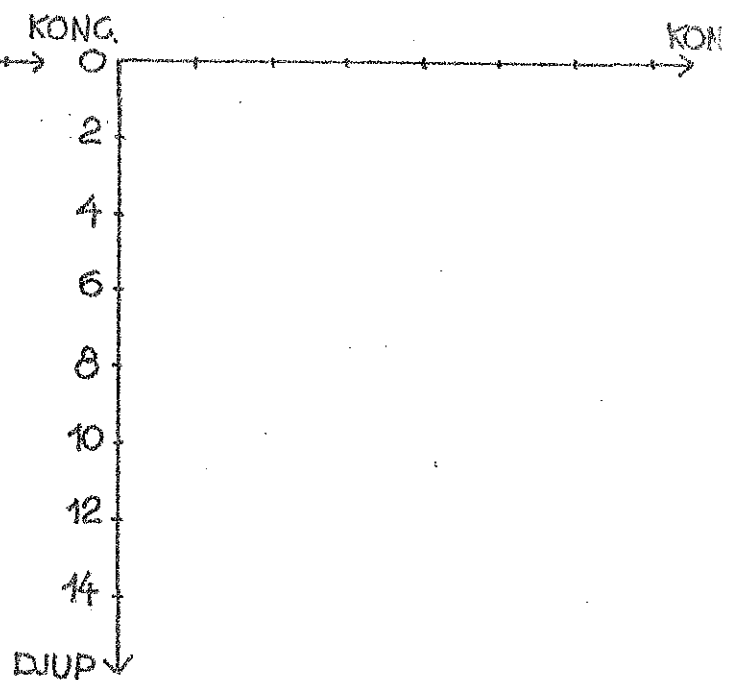


DJUPPROFILER

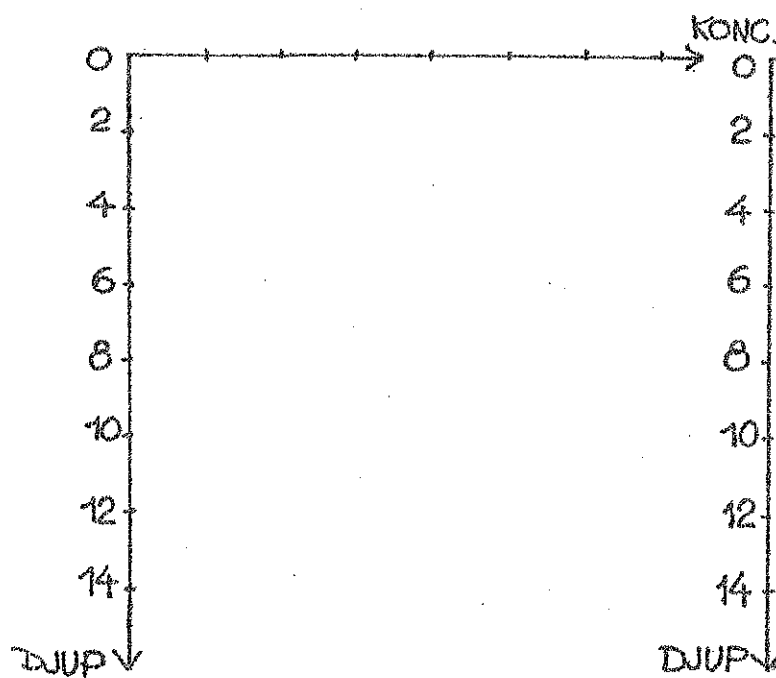
TID: 30.6-71 kl. 12⁴⁰
 KOORD: 41/1



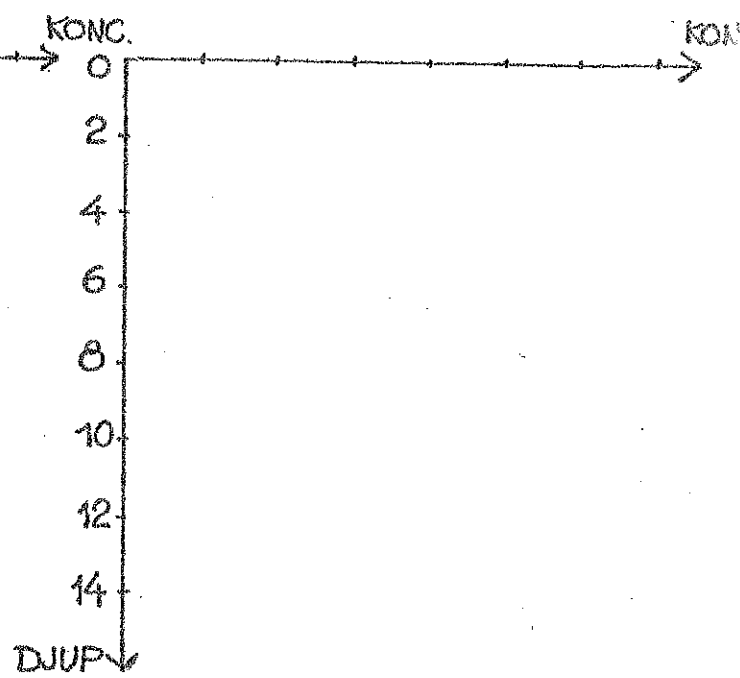
TID:
 KOORD:



TID:
 KOORD:



TID:
 KOORD:



KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

TID: 30.6-7/ 10¹⁵

KONC. 10⁻¹⁰



20

10

0

45°

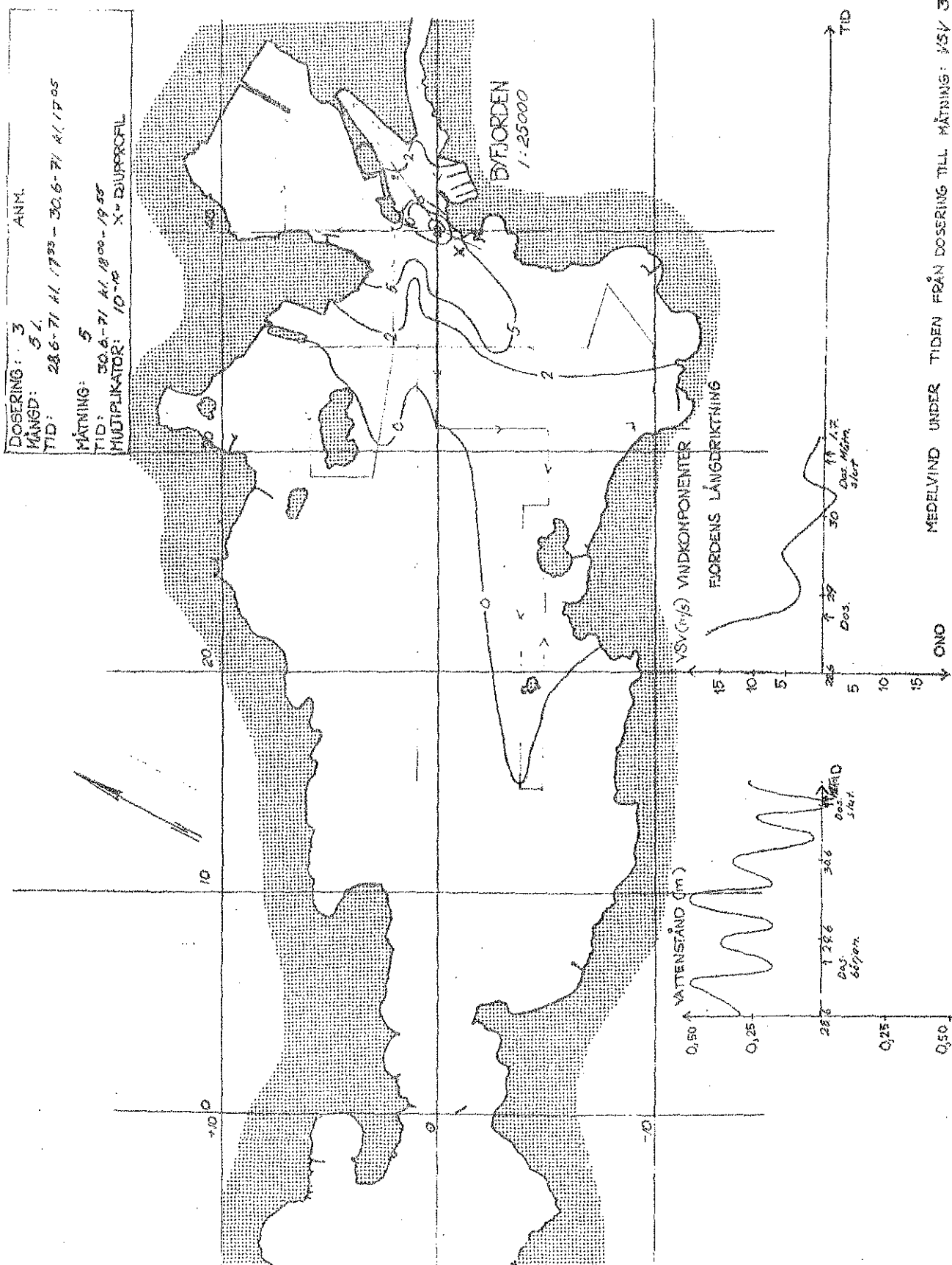
ÅMYNNING.

50

JUNOKAJEN

55

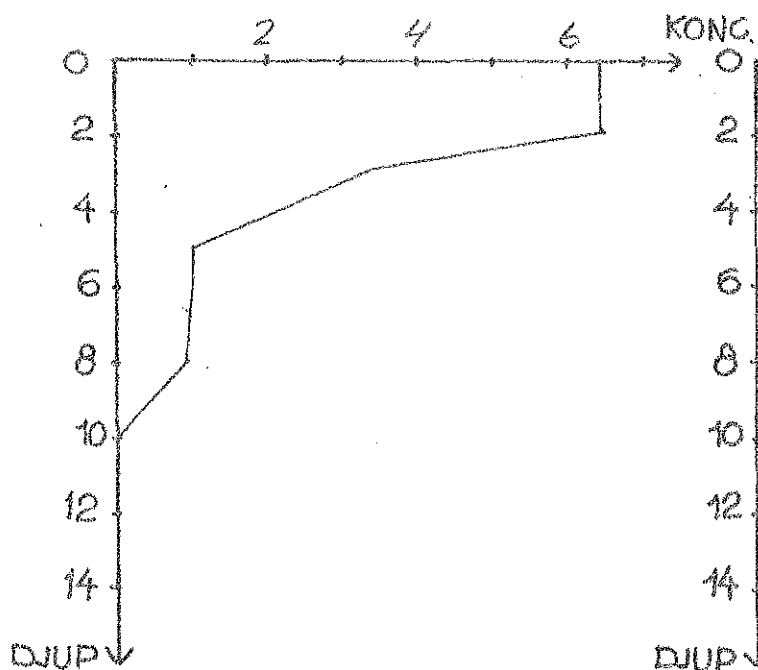
KOOND.
BRON



DJUPPROFILER

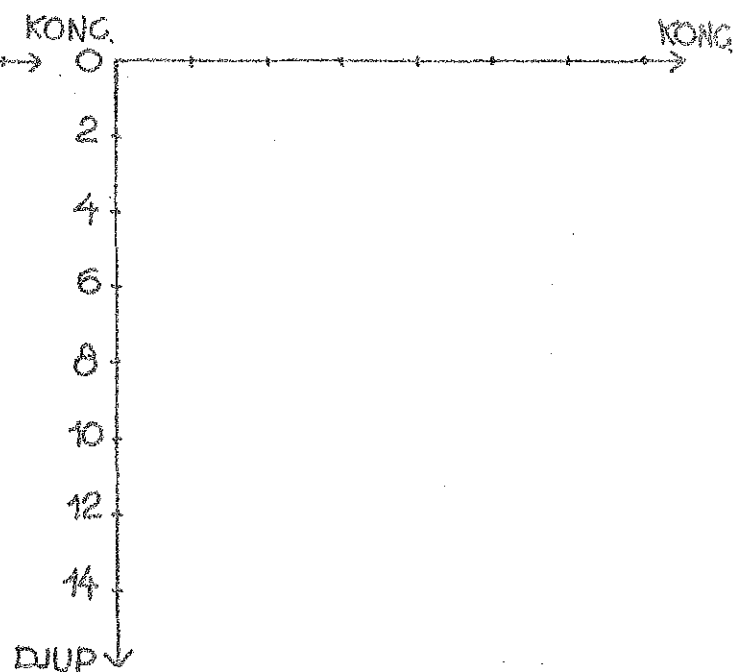
TID: 30.6-71 kl. 1955

KOORD: 39/-1



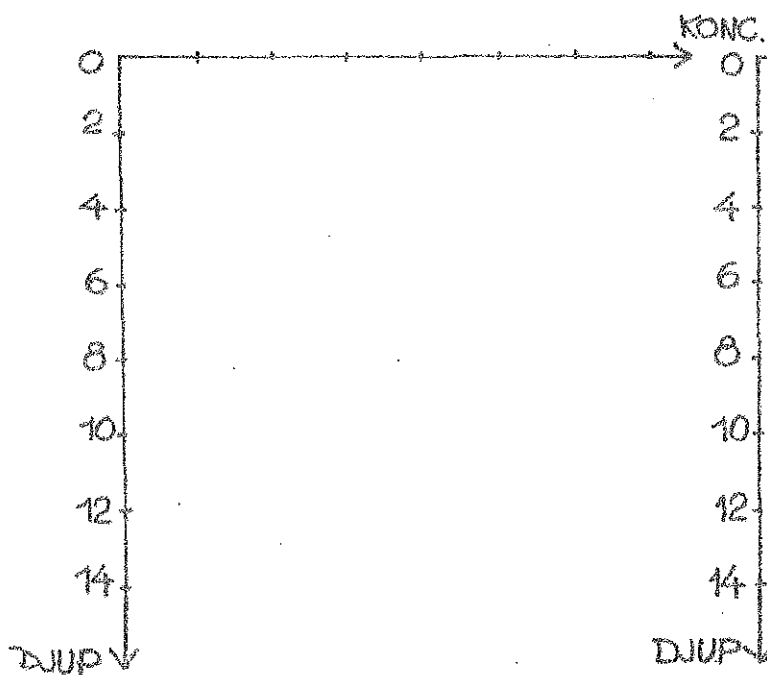
TID:

KOORD:



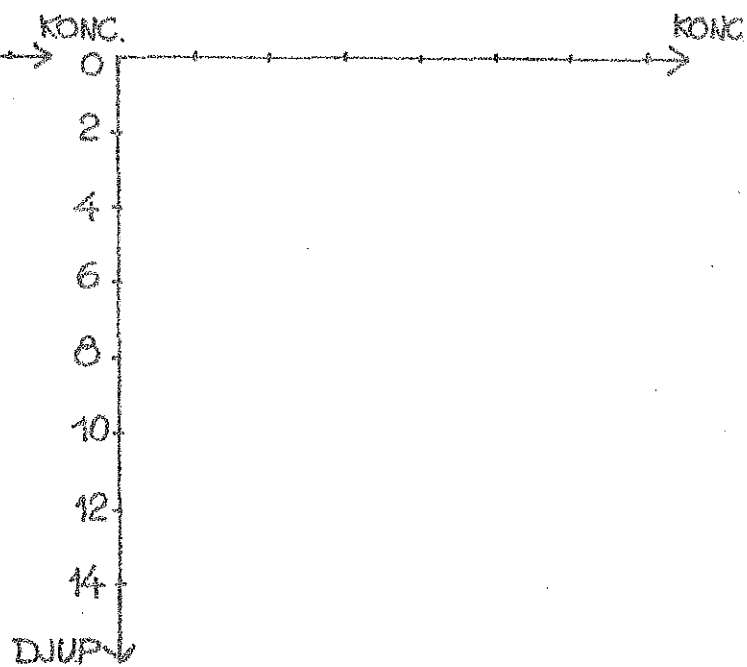
TID:

KOORD:



TID:

KOORD:



KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÅVEÄN

TID: 30.6.-71 kl. 18¹⁵

KONG. 10⁻¹⁰



20

10

0

45°

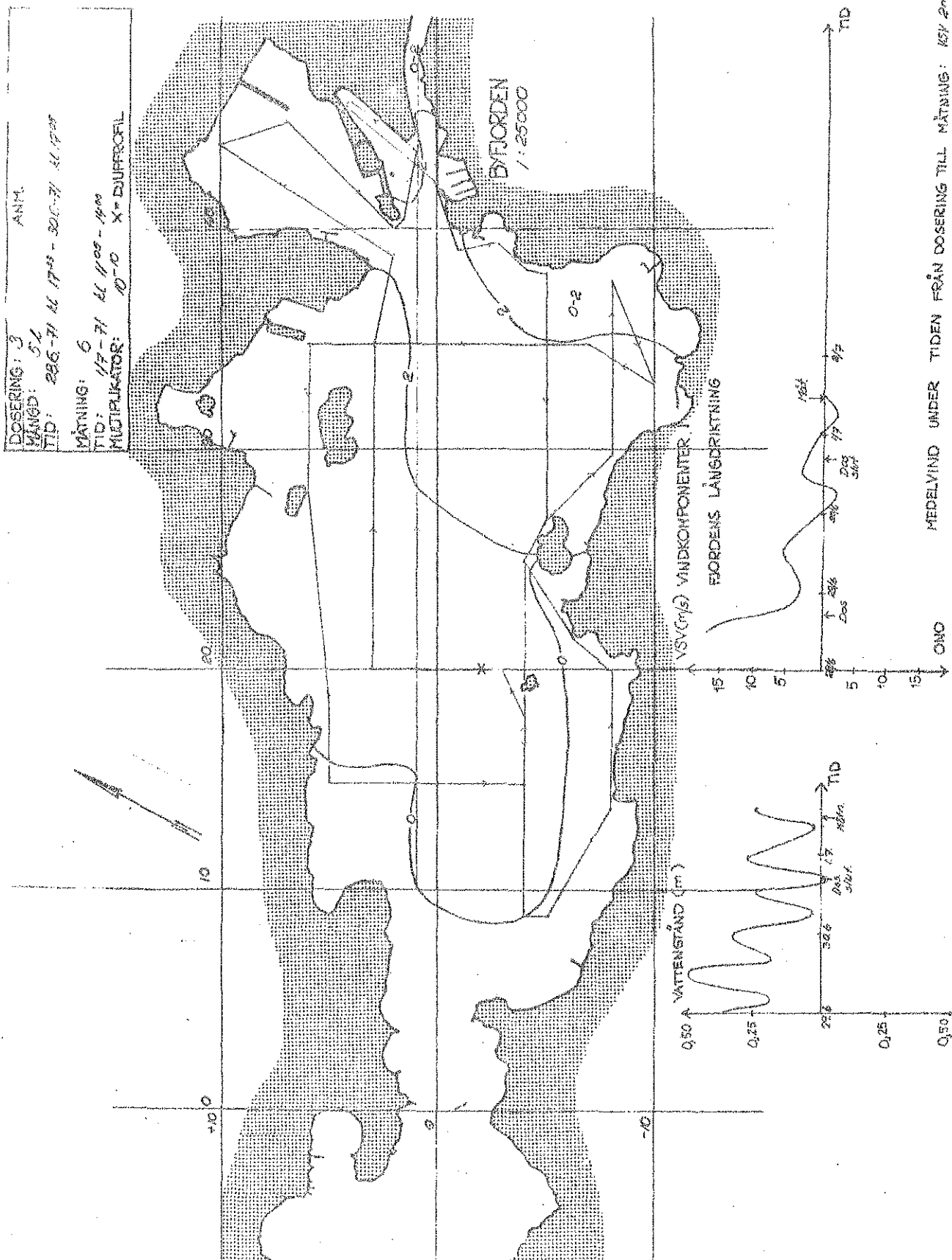
ÅMYYNNING.

50

JUNOKAJEN

55

KOORD.
BRON

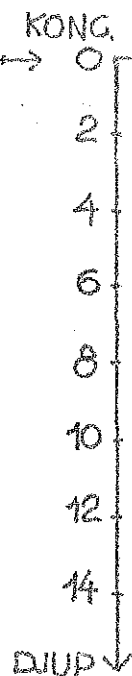


DJUPPROFILER

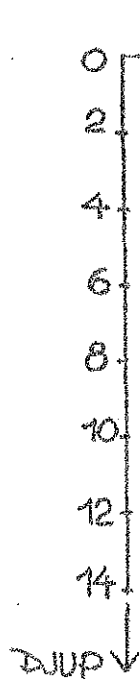
TID: 1.7.71 kl. 13.40
 KOORD: 20/-2



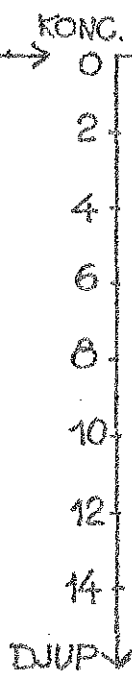
TID:
 KOORD:



TID:
 KOORD:



TID:
 KOORD:



KONCENTRATION PÅ 1m DJUP I BÄVEÅN

TID: 17-7/ kl. 1130

KONC. 10^{-10}



20

10

0

45°

ÅMYNNING.

50

JUNOKAJEN

55

KOKK2

BRON

DOSERING: 3 ANM. Batterier
 HÄNGD: 52
 TID: 286-71 kl 17:00 - 306-71 kl 17:05
 MÄTNING: 7
 TID: 27-71 kl 17:00 - 17:05
 MULTIPLIKATOR: 10-10 X = DUBBPROFIL



MEDELVIND UNDER TIDEN FRÅN DOSERING TILL MÄTNING: KSV 2 m/s

KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

TID: 2.7-7/ KL. 1300

KONC. 10^{-10}



20

10

0

45°

ÅMYNNING

50

JUNOKATEN

55

KOORD.
BRON

Koncentration tvärs Tunokajen (50/41),
 korrigerad m.h.t. avklingning, som
 funktion av tiden.

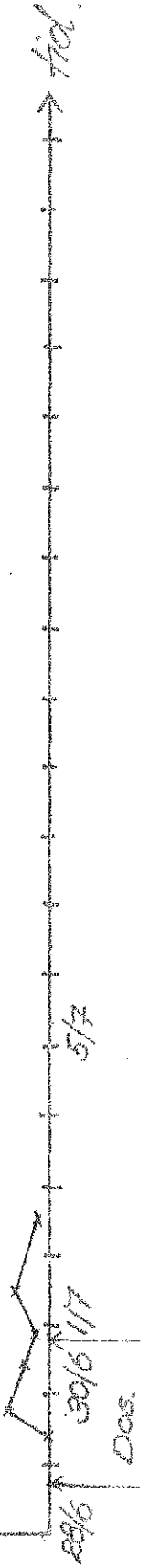
Dosering: 3

korr. 10^{-10}

30

20

10



6.5 Dosering 4

Doseringstid:	5/7 1971 kl 16.40 - 7/7 1971 kl 12.00
Rodaminlösning:	20 l rodamin, 120 l vatten
	Koncentration: 1:6
Effektiv doseringstid:	1800 min = 30 tim
Vattenföring utloppsledning:	14,2 l/s
Pumpkapacitet:	1,30 ml/s
Koncentration rörmynning:	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Initialutspädning i recipienten (enl kap. 3.2):	20 ggr
Koncentration ytan	$0,77 \cdot 10^{-6}$
Inlagringsdjup	Ytan
Avklingningskoefficient:	$e^{-0,025 T}$

Anmärkning: Pumpstopp natten till den 6/7 p.g.a. att pumpens ventiler igensattes. Sammanlagt driftstopp i 700 min = 11 h 40 min.

Mätningar:

Tid	Ytmätning	Djupprofil antal	Avklingning	Sid.
5/7 kl. 18.30	Synintryck			104
6/7 kl. 13.30	- " -			104
6/7 kl. 09.55-11.15	x		x	105-106
6/7 kl. 18.45-20.30	x	1		107-109
7/7 kl. 13.40-16.15	x		x	110-111
7/7 kl. 19.50-21.45	x	6	x	112-115
8/7 kl. 10.10-13.00	x	1		116-118
8/7 kl. 18.30-20.10	x	2		119-121
10/7 kl. 12.15-14.35	x	1	x	122-123
11/7 kl. 14.30-15.00	x		x	124
14/7 kl. 12.05-13.50	x	1	x	125-127
15/7 kl. 11.10-13.00	x	2	x	128-130
16/7 kl. 10.50-13.50	x	5	x	131-134
17/7 kl. 16.10-20.30	x	6	x	135-138
18/7 kl. 19.45-22.15	x	4	x	139-141
19/7 kl. 18.30-20.45	x	3	x	142-143
21/7 kl. 12.45-15.00	x	3	x	144-145
24/7 - 6/8		16		146-149

Anm. Tekniska fel uppstod på ordinarie mätbåt så att alternativutrustning måste användas. På grund av detta kunde ej doseringen följas upp som önskvärt vore. Den 11.7 var mätningen tvungen att avbrytas, då fel på oljesystemet uppstod på mätbåten.

Kommentar: De måttliga, västliga vindarna i mätperiodens början gav en jämn intransport av ytvatten över hela fjorden. Detta förklarar de höga koncentrationerna i hamnen och Bäveåns mynning. Uttransporten sker i detta fall genom returströmmar på djupare vatten. I och med att vinden avtog ökade den horisontella spridningen ut i fjorden. Vindkant-ring mot syd medförde en förskjutning av molnet mot norra stranden. Drygt en vecka efter doseringens slut var fjorden relativt väl omblandad, både i horisontell och vertikal led. Samtidigt registrerades för första gången koncentrationer utanför Sunninge sund.

Mätningarna den 14/7, 15/7 och 16/7 visar mycket dålig överensstämmelse, dels sinsemellan och dels vid jämförelse med mätning den 17/7. Anledningen kan vara dels att dessa tre mätningar utfördes med ett mindre bra elverk men också att övrig mätapparatur plötsligt visade för "höga värden". Det senare verifieras av att även avklingningsproven gav högre värden (se sid. 40). Mot slutet av perioden var molnet utspritt i stora delar av Havstensfjorden.

Koncentrationen i Bäveån är hög under doseringen och avtar därefter snabbt till en låg nivå och är sedan i stort sett konstant under resten av mätperioden. De djupprofiler som är tagna i Bäveåns utlopp visar inlagring på 2 meters djup, vilket förklaras av att Bäveåns ytvatten är sötare än det omblandade utsläppsvattnet.

Avklingningen under perioden var något högre än medelvärdet.

DOSERING: 4

ANM.

MÄNGD: 20 L

104

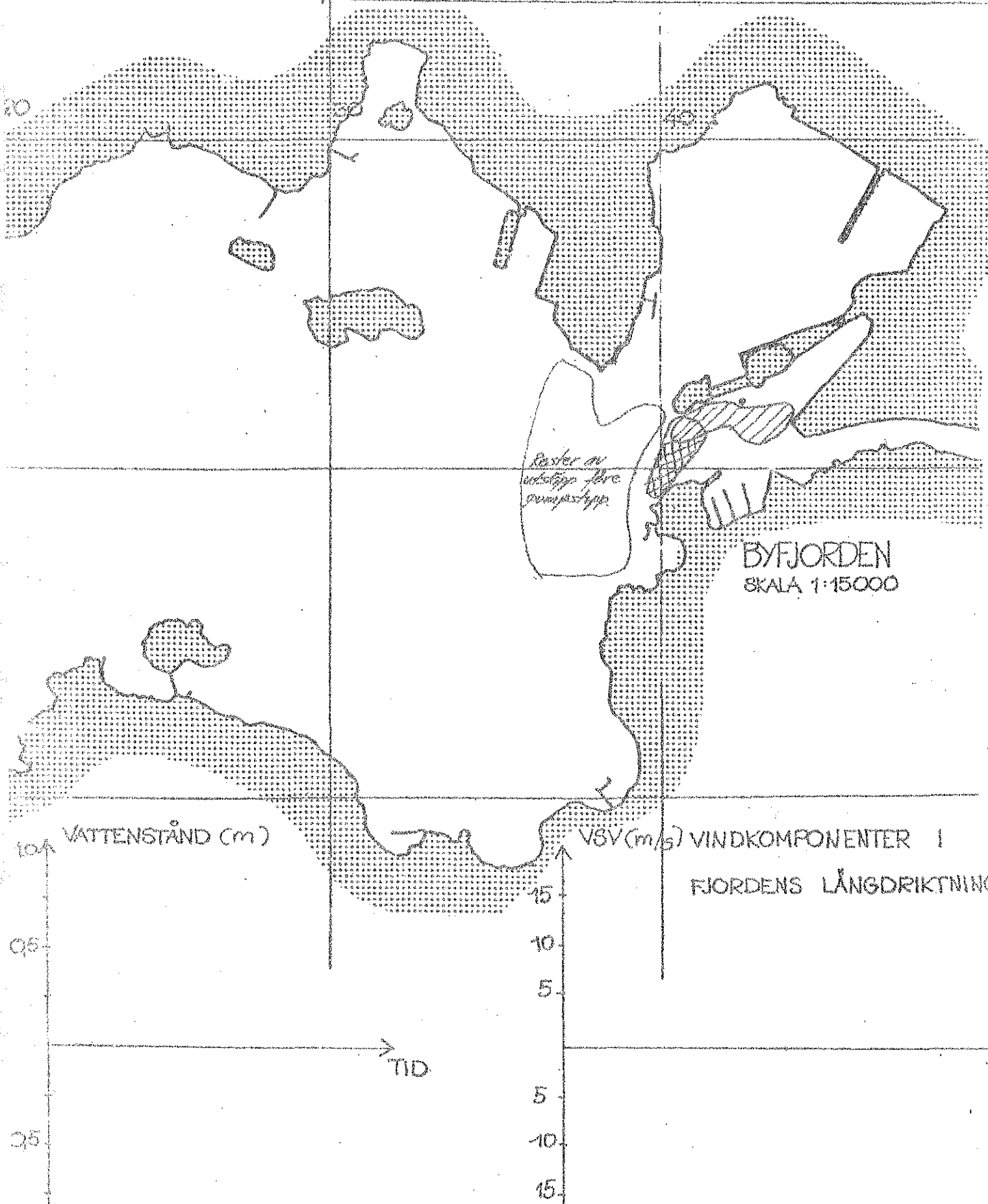
TID: 5.7 - 7/ kl 1540 - 6/7 kl. 1145 (flera pumpstopp)
6.7. kl. 1145 - 7.7. kl. 1200

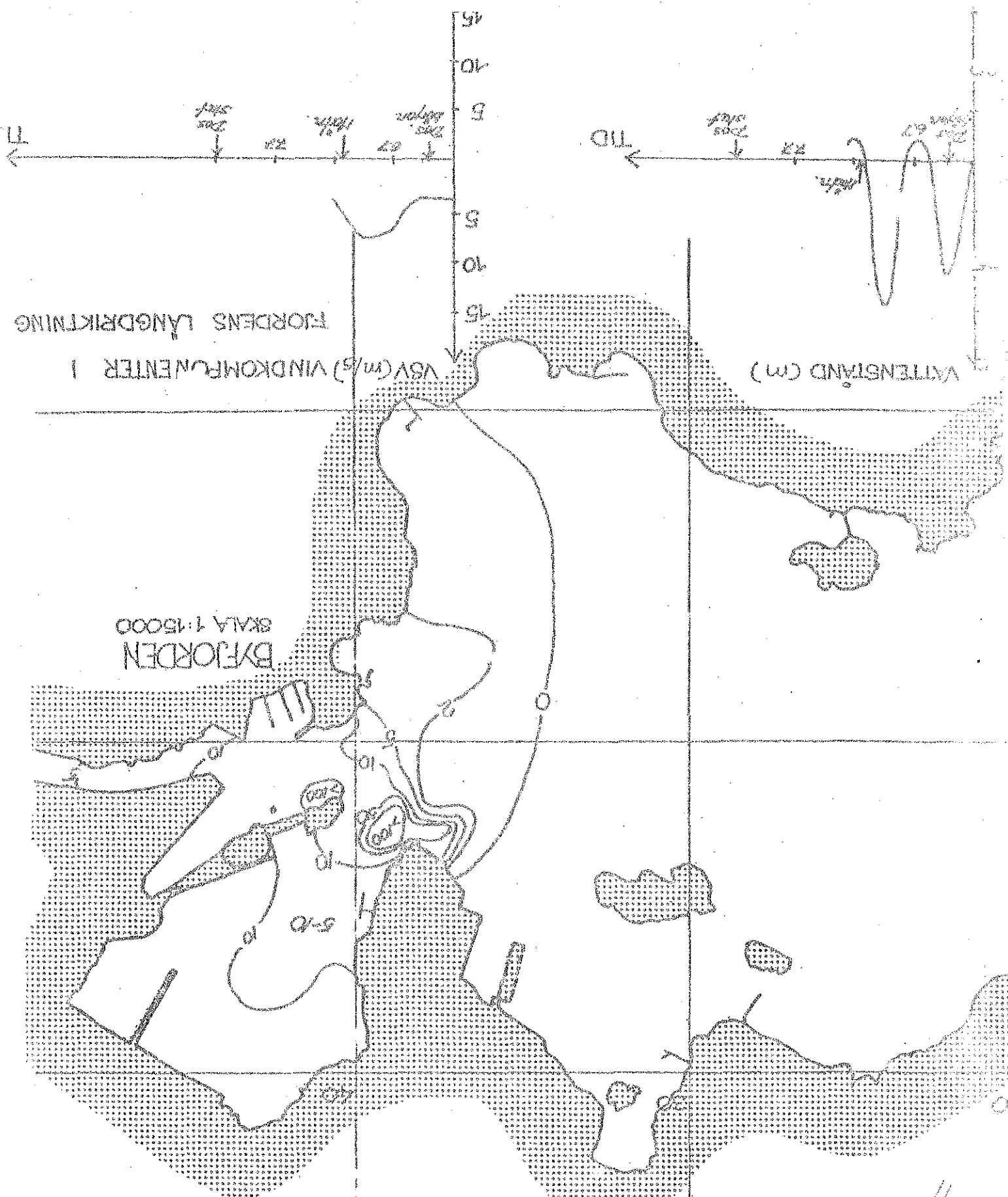
MÄTNING: Syrlig spridning

TID: 11.1830 och 5.7. 6.7. kl. 1330

MULTIPLIKATOR:

X = DJUPPROFIL



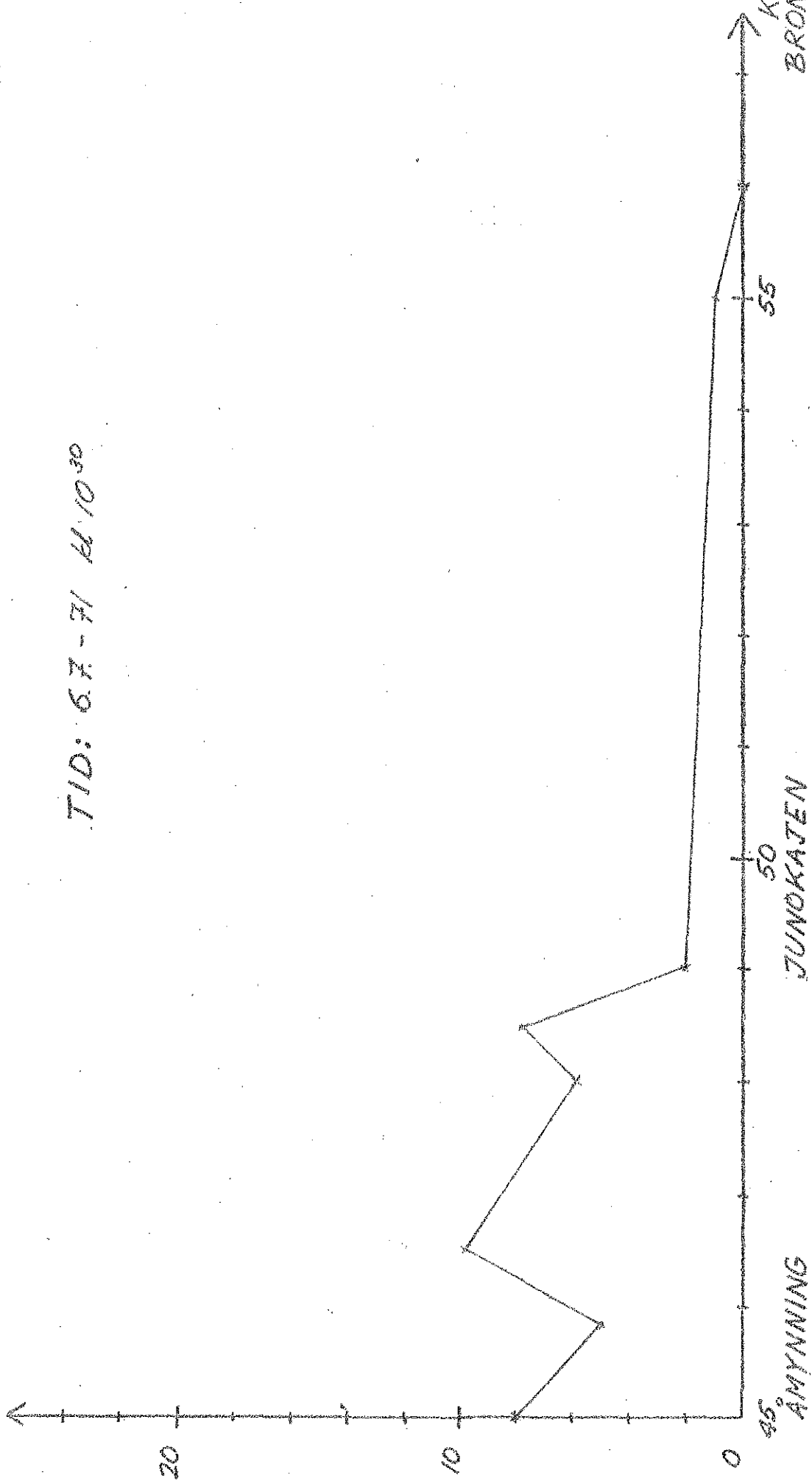


DOBERING: 4
 MANGD: 20.2
 TID: 57-21 N 1640 - 22 - 21 N 1200
 MÅTNING: 7
 TID: 6.7 - 21 955 - 11.5
 MULTIPLIKATOR: 0.0 X = DUBBELPROFIL

KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

TID: 6.7 - 71 kl 10³⁰

KONC. 10⁻¹⁰



DOSERING: 4

ANM.

MÄNGD: 20 l

TID: 5.7-71 kl 16⁴⁰ - 7.7-71 kl 12⁰⁰

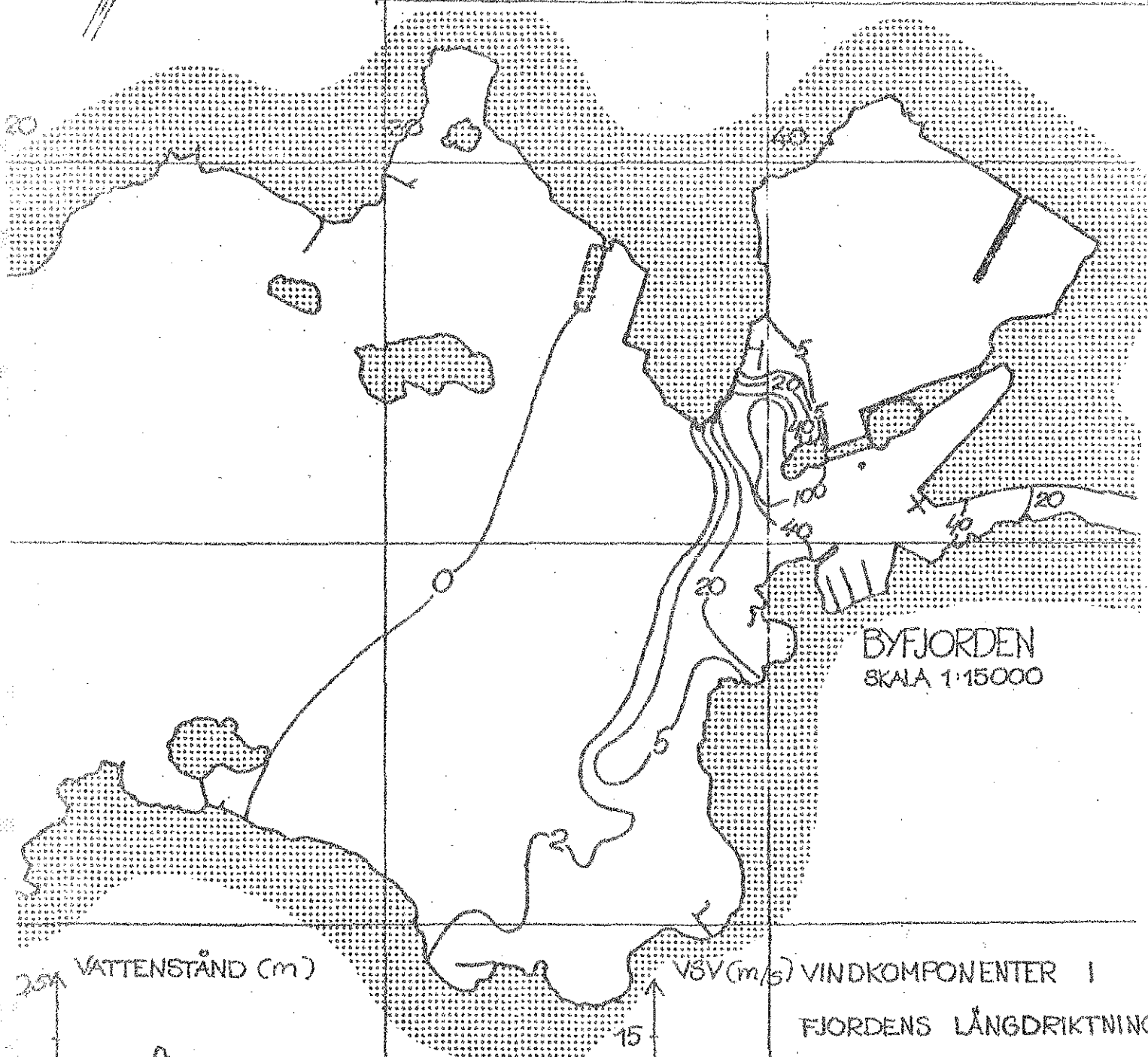
101.

MÄTNING: 2

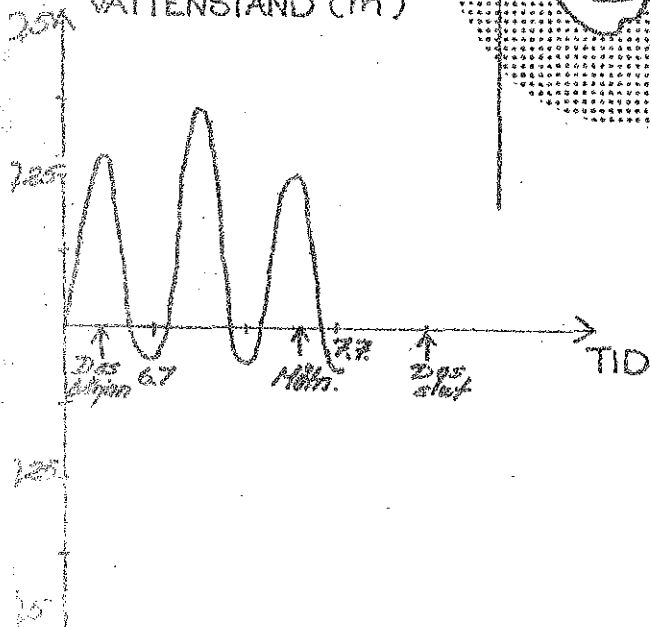
TID: 6.7-71 kl 18⁴⁵ - 20³⁰

MULTIPLIKATOR:

10^{-10} Y = DJUPPROFIL

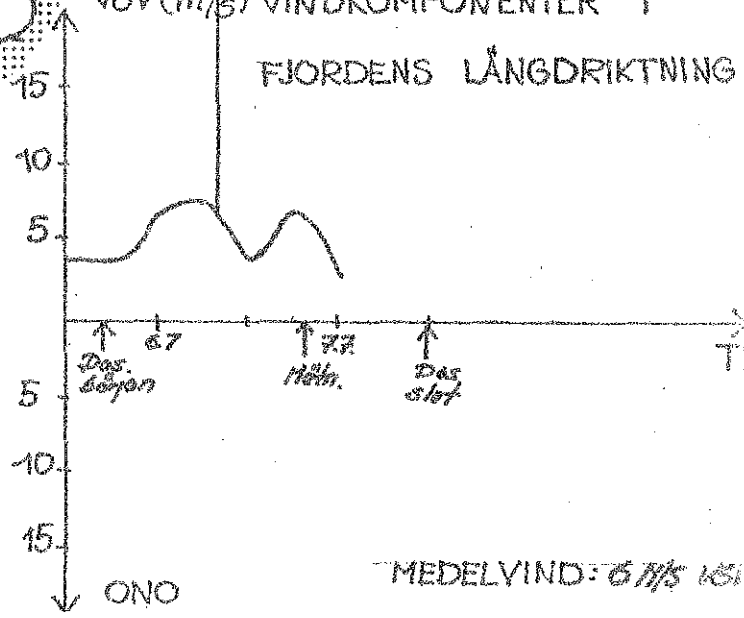


VATTENSTÄND (m)



VSV (m/s) VINDKOMPONENTER I

FJORDENS LÅNGDRIKTNING

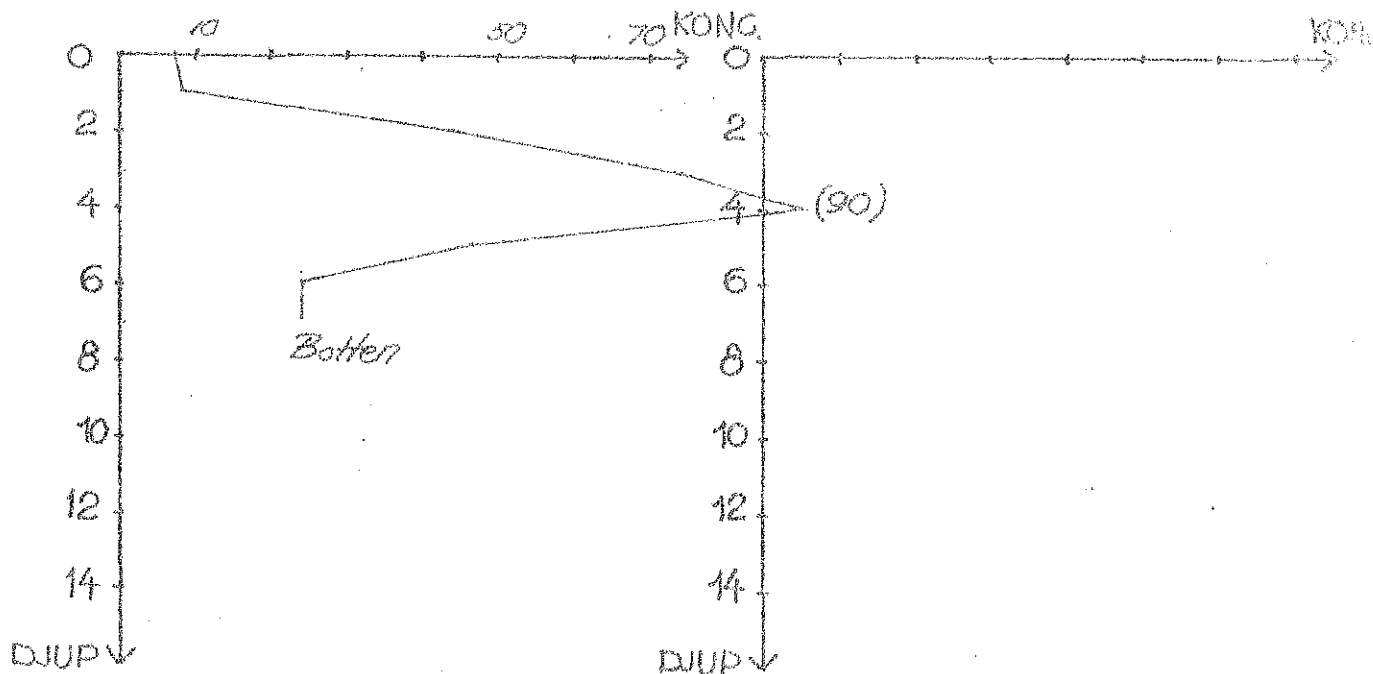


MEDELVIND: 6 m/s

DJUPPROFILER

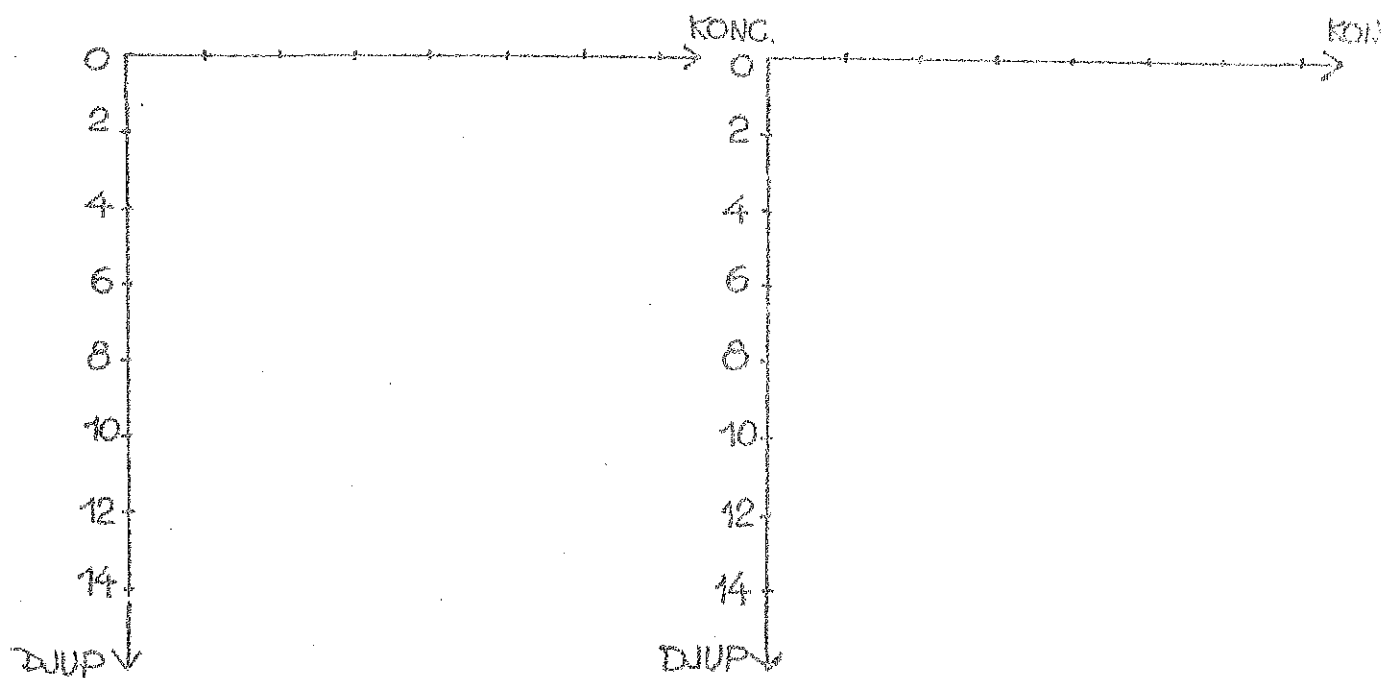
TID: 6.7-71 kl. 2040
 KOORD: 44/1

TID:
 KOORD:



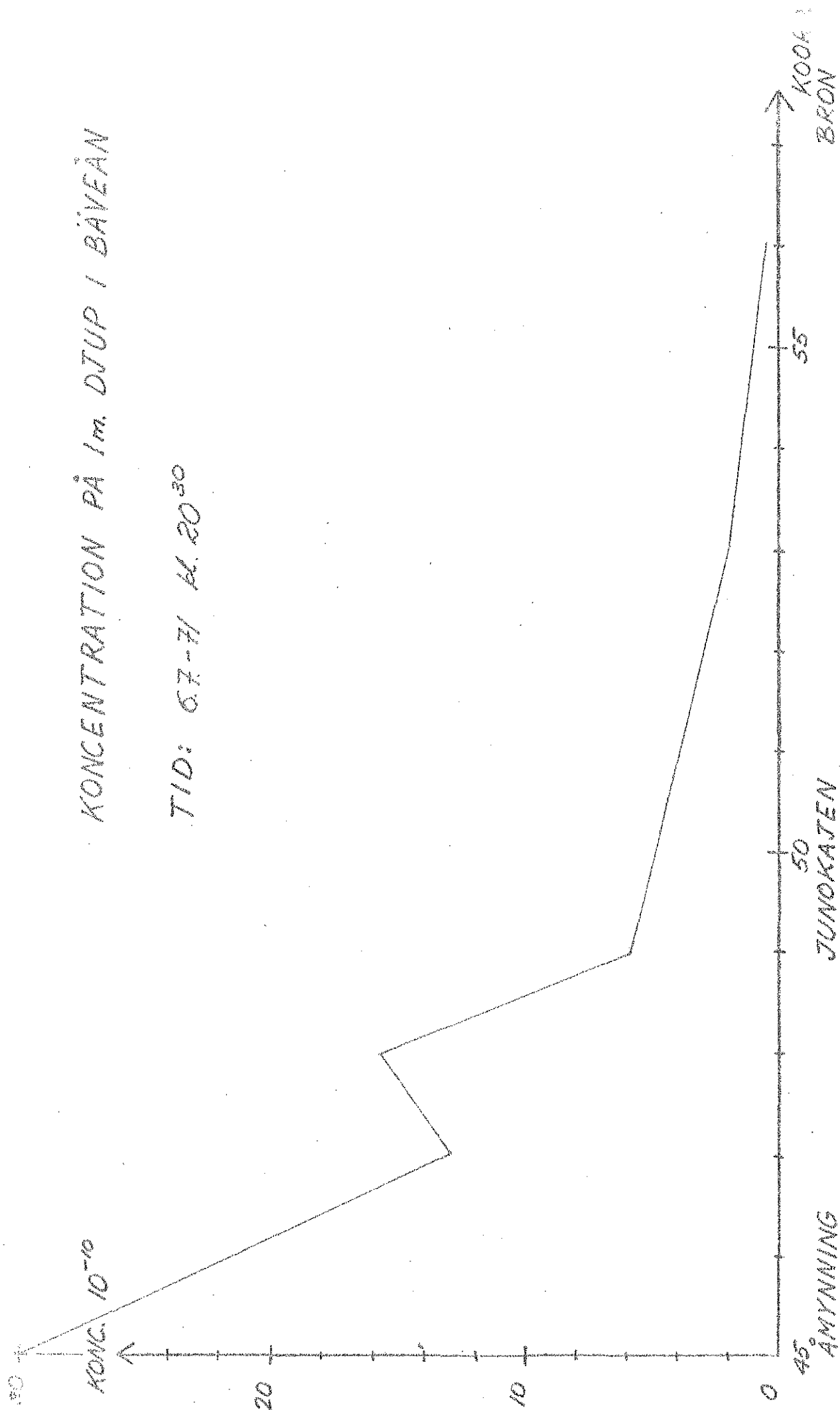
TID:
 KOORD:

TID:
 KOORD:



KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÄN

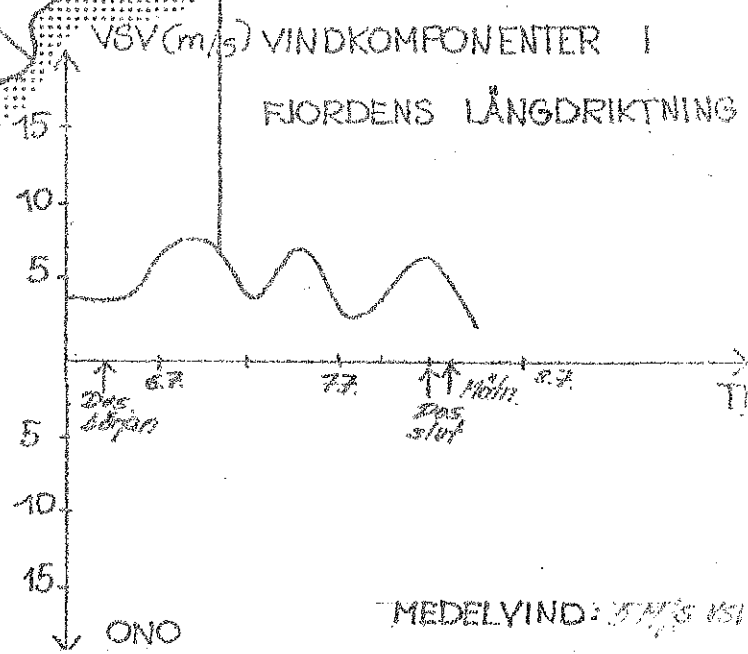
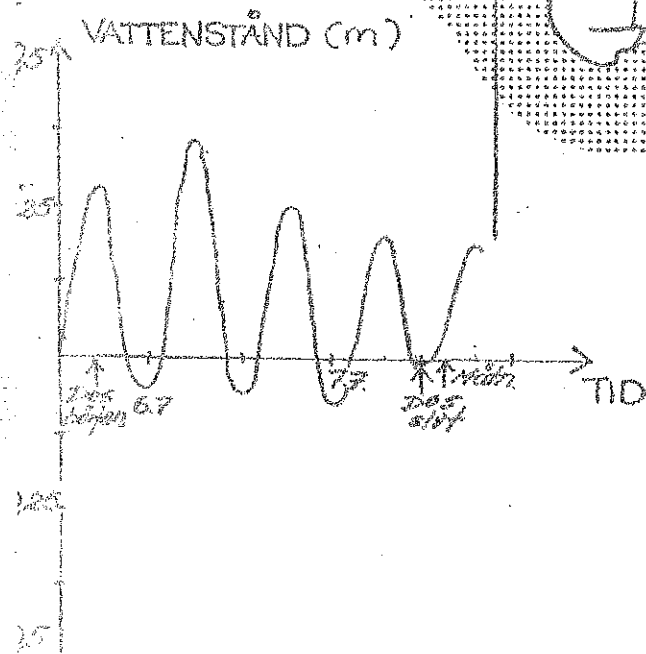
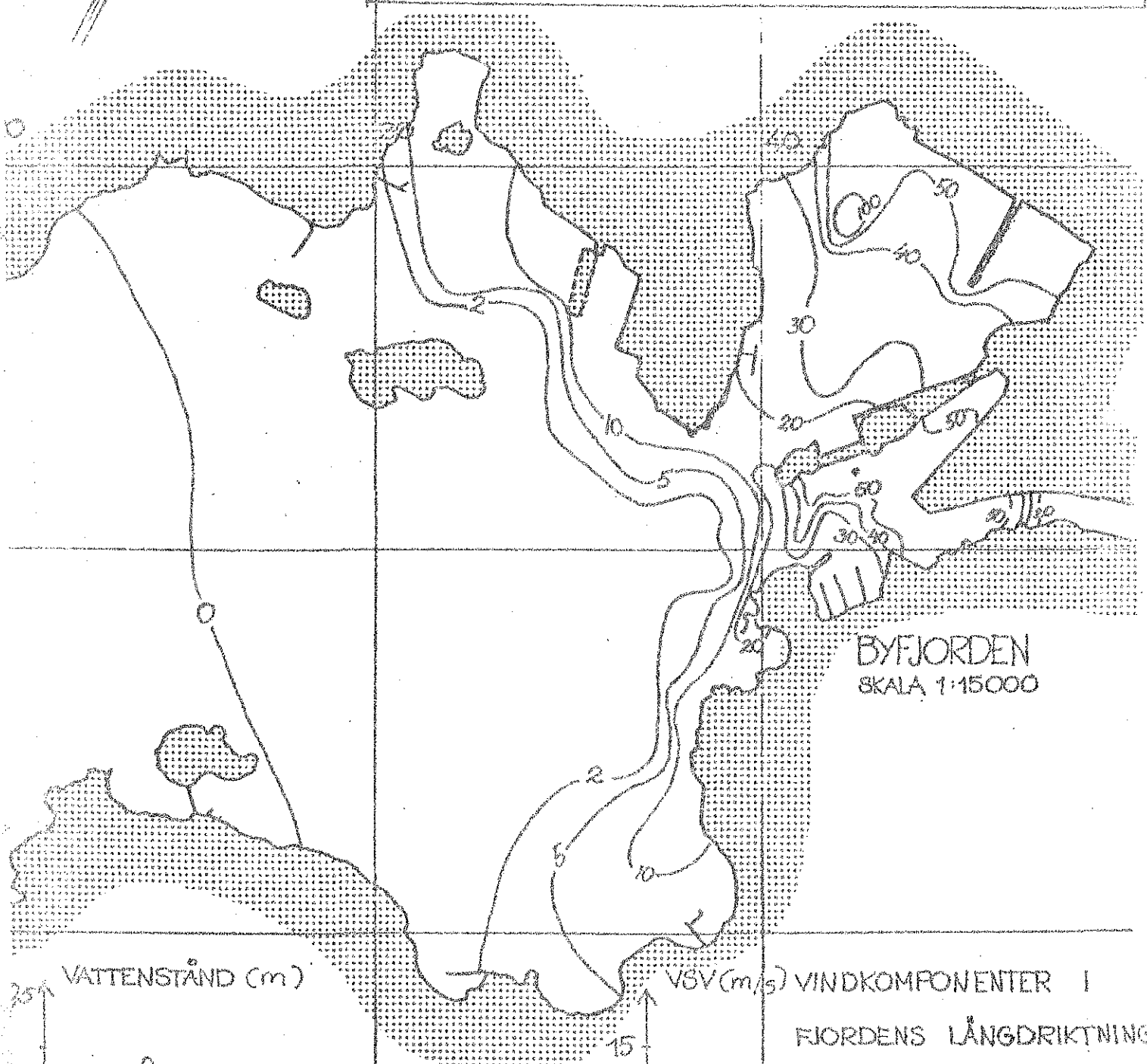
TID: 6.7-71 kl. 20³⁰



DOSERING: 4 ANM.
MÄNGD: 20 L
TID: 5.7-7/ kl 1640 - 7.7-7/ kl 1200

110.

MÄTNING: 3
TID: 7.7-7/ kl 1340 - 1615
MULTIPLIKATOR: 10⁻¹⁰ X = DJUPPROFIL



KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

TID: 7.7-7/ KL 16.15

KONC. 10^{-10}

↑

50

25

0

45°

ÄMYNNING

50

JUNOKAJEN

55

KOKK
BRON

DOSERING: 4

ANM.

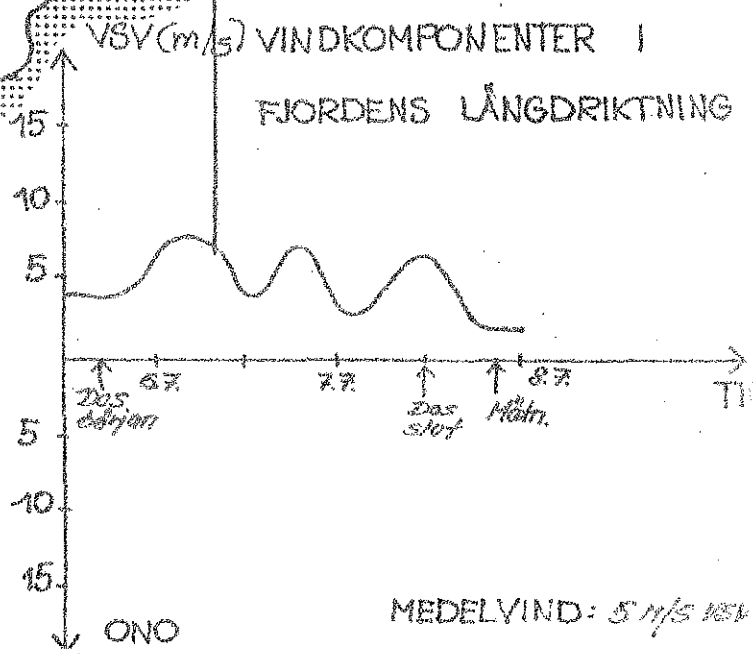
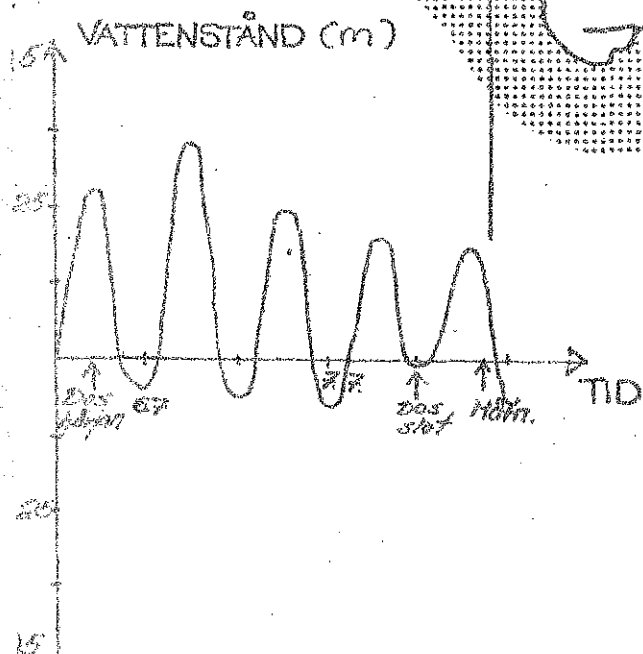
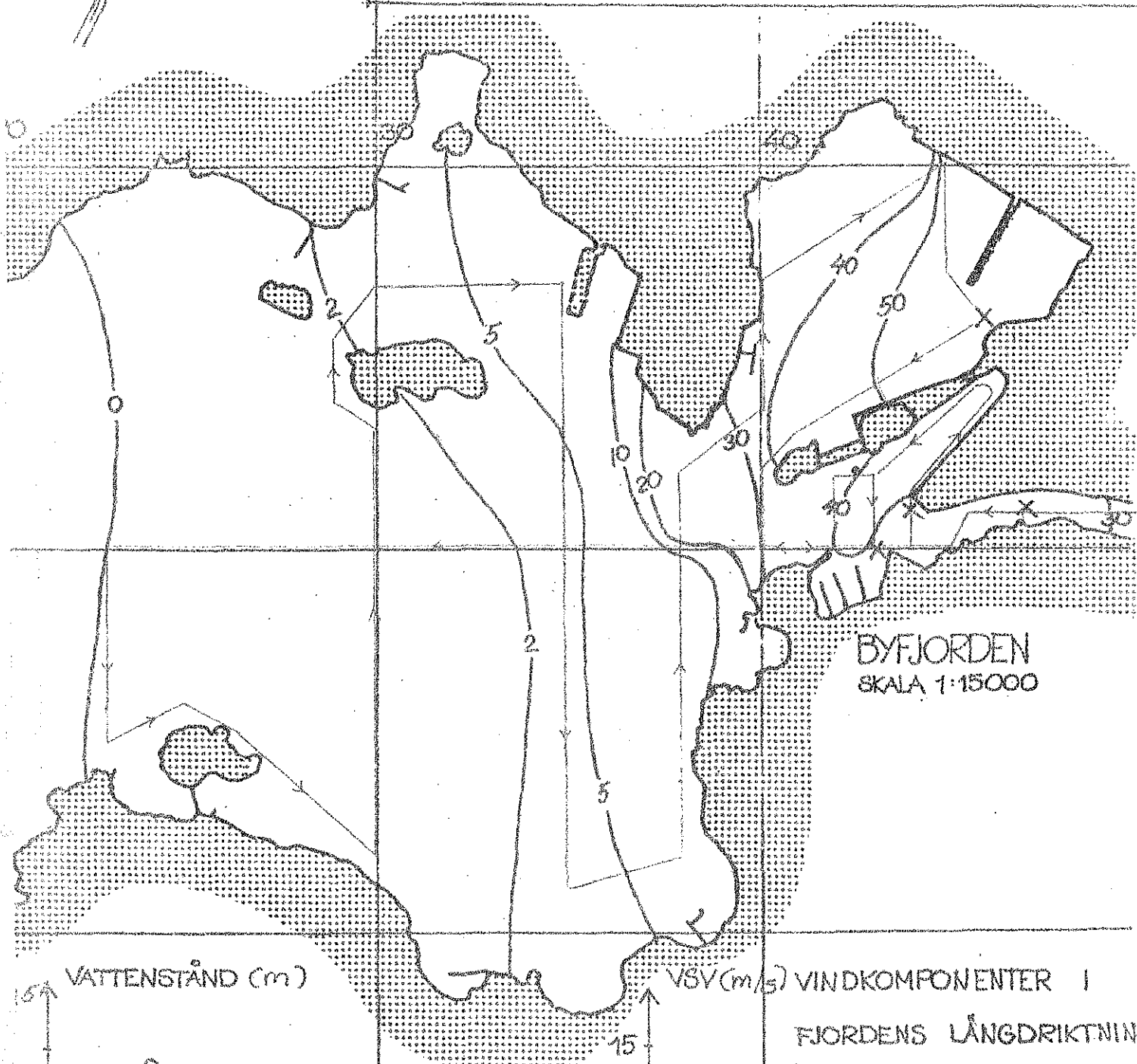
MÄNGD: 20 l

TID: 5.7-71 kl 16⁴⁰ - 7.7-71 kl 12⁰⁰

MÄTNING: 4

TID: 7.7-71 kl 19⁵⁰ - 21⁴⁵

MULTIPLIKATOR: 10⁻¹⁰ X = DJUPPROFIL

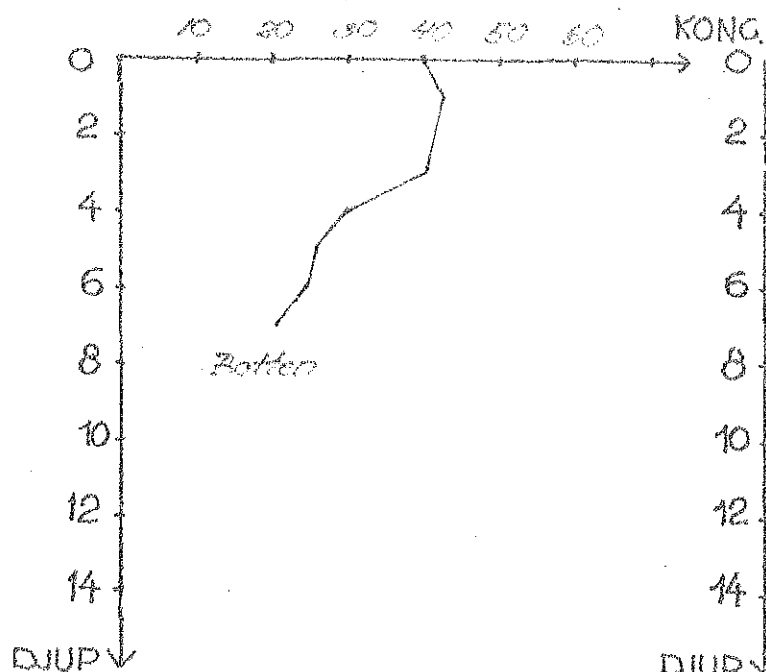


MEDELVIND: 5 m/s

DJUPPROFILER

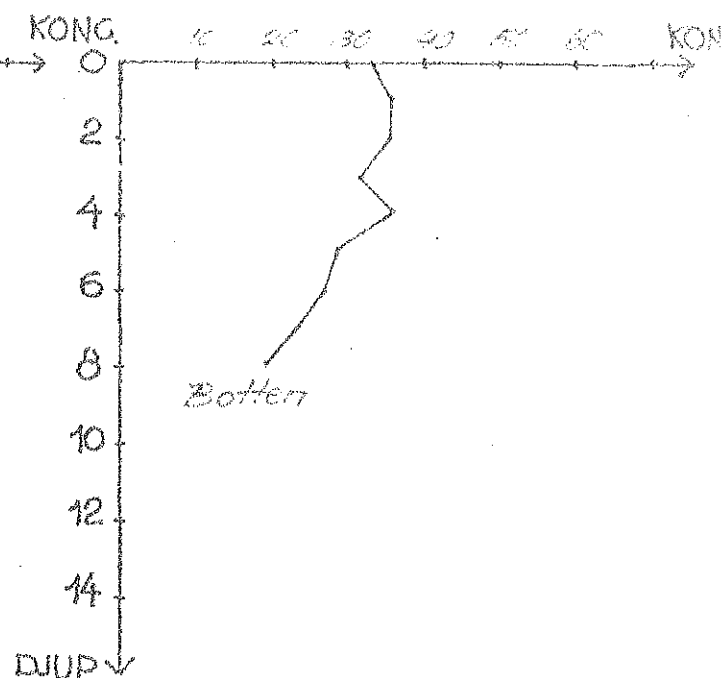
TID: 77-71 kl 1950

KOORD: 48,0



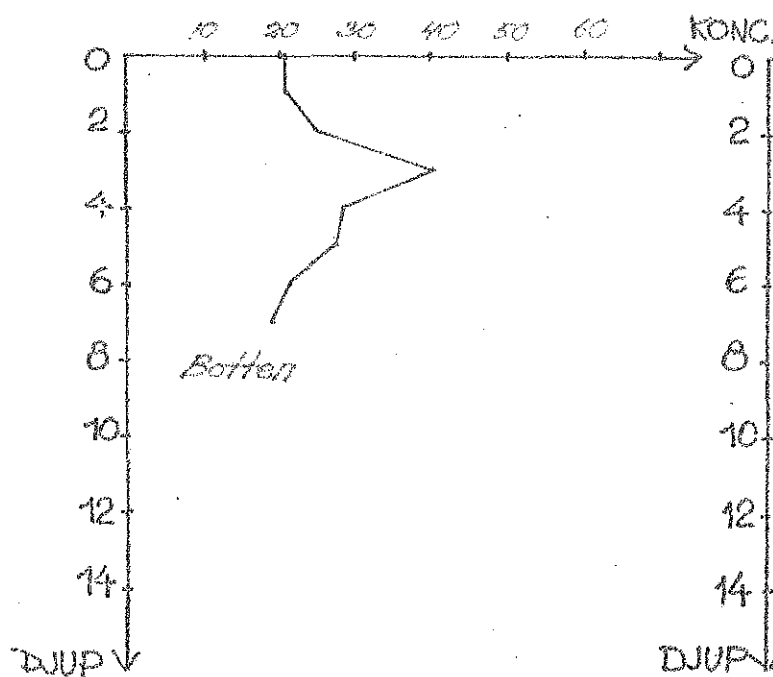
TID: 77-71 kl 2000

KOORD: 44,1



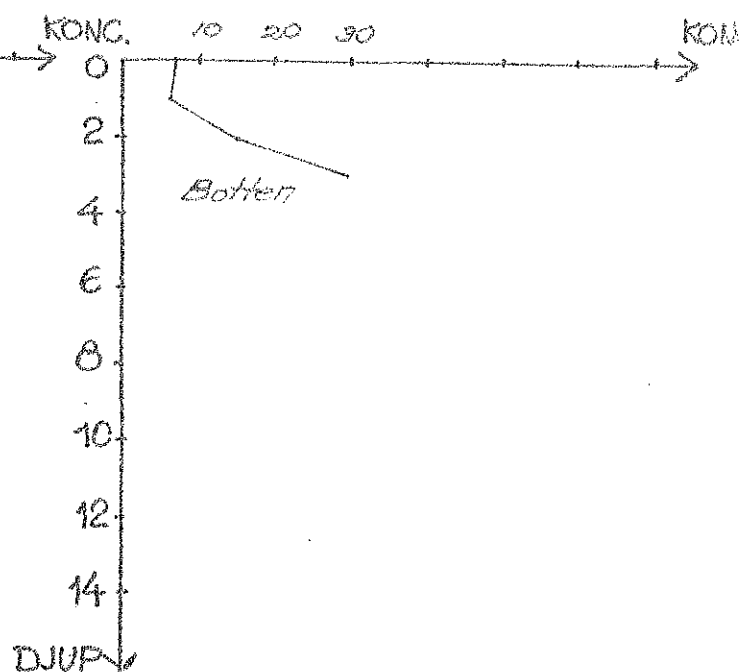
TID: 77-71 kl 2005

KOORD: 42,1



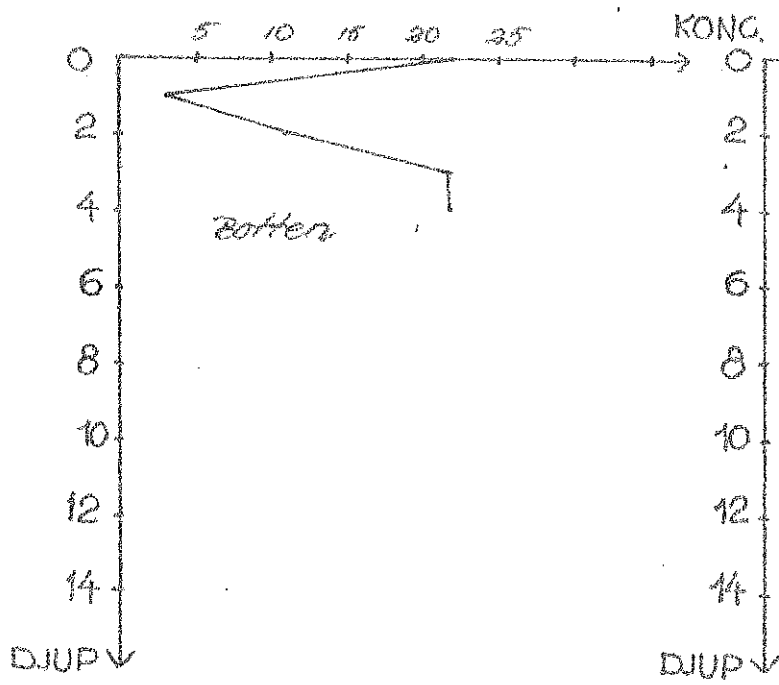
TID: 77-71 kl 2010

KOORD: 53,0

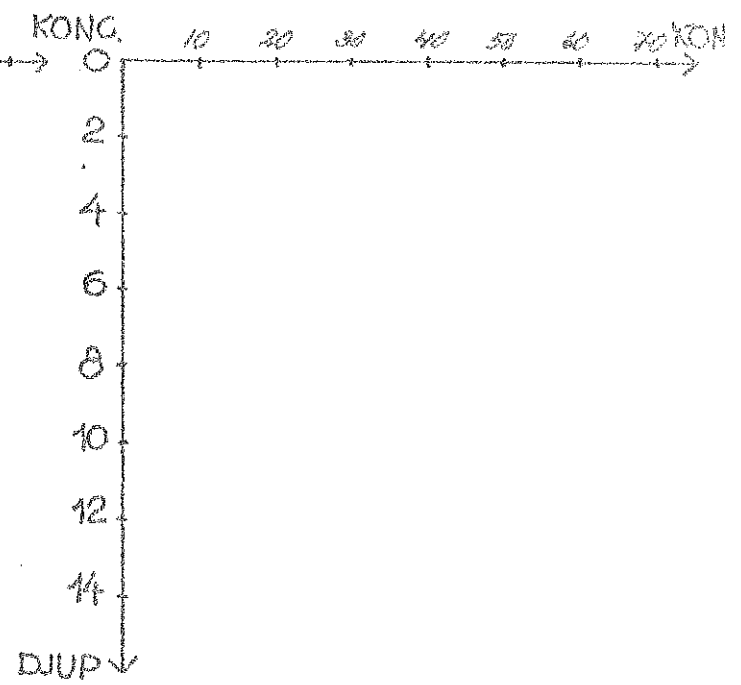


DJUPPROFILER

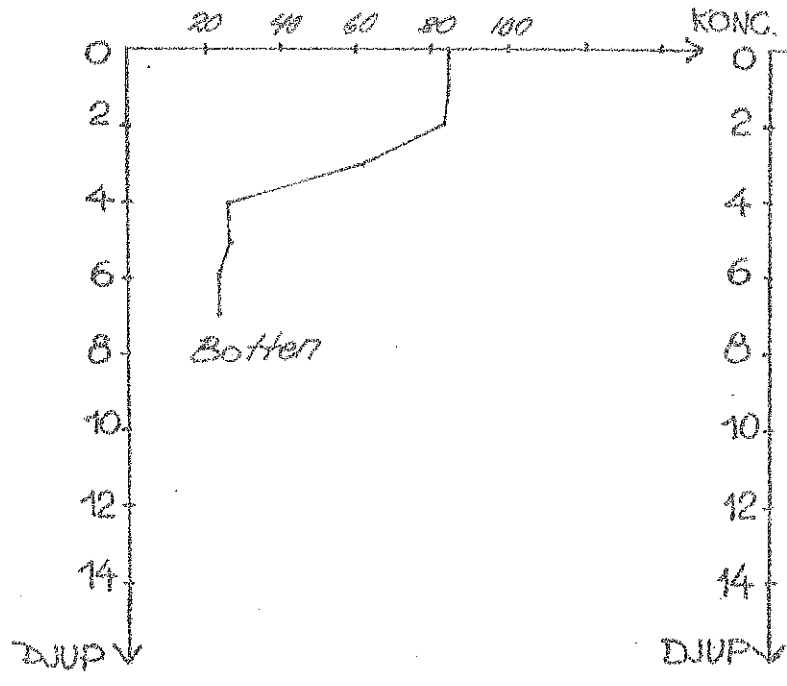
TID: 7.7-71 kl. 20²⁰
KOORD: 56/0



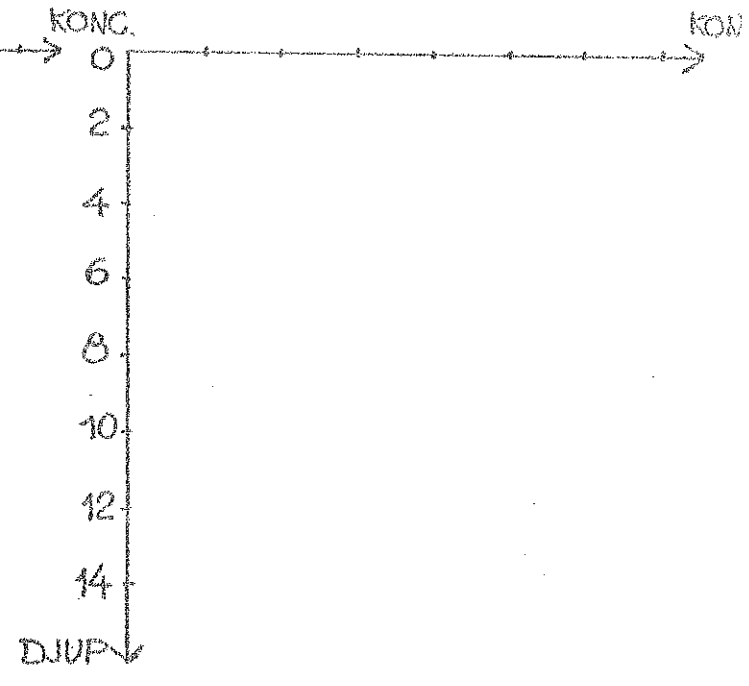
TID:
KOORD:

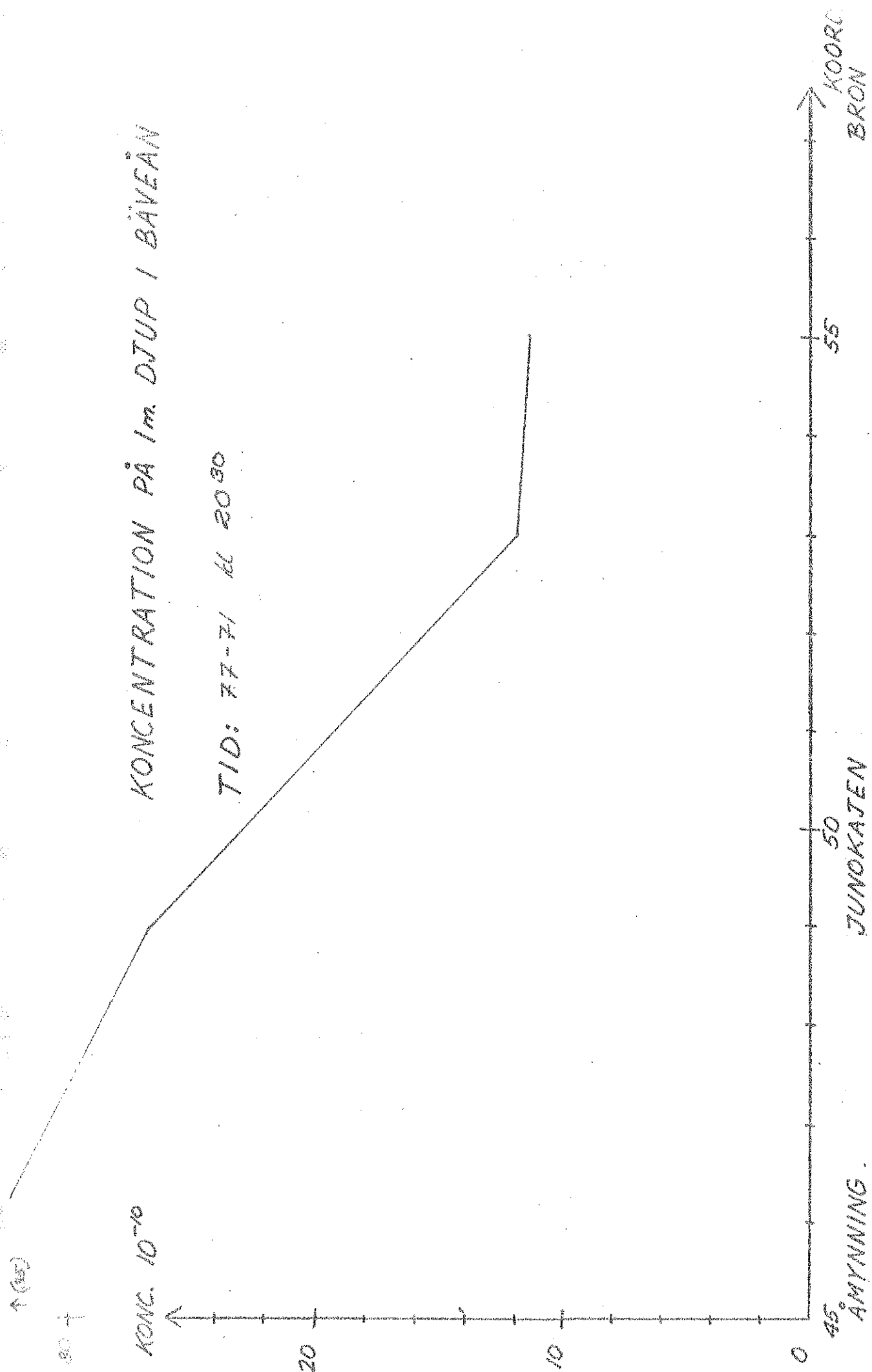


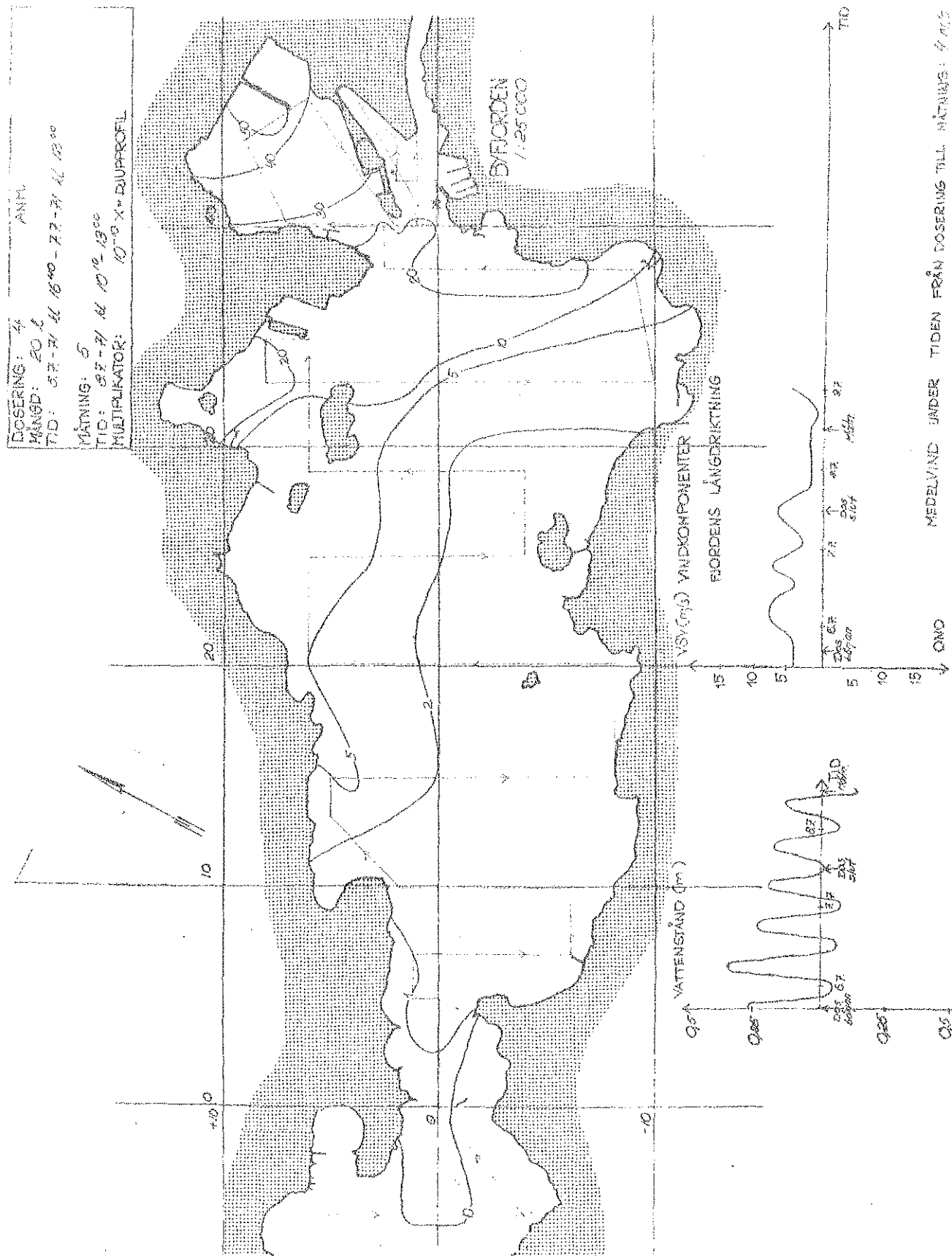
TID: 7.7-71 kl. 21²⁵
KOORD: 46/+6



TID:
KOORD:



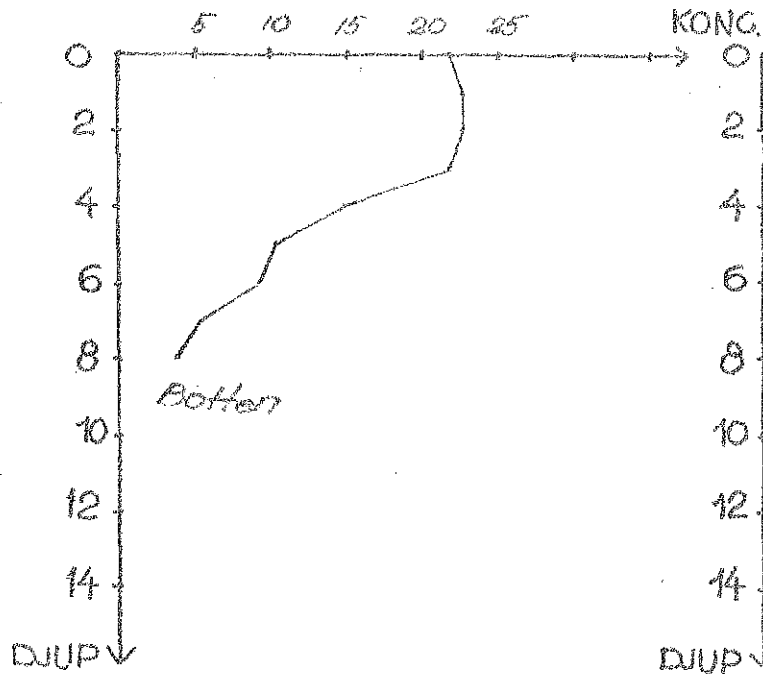




DJUPPROFILER

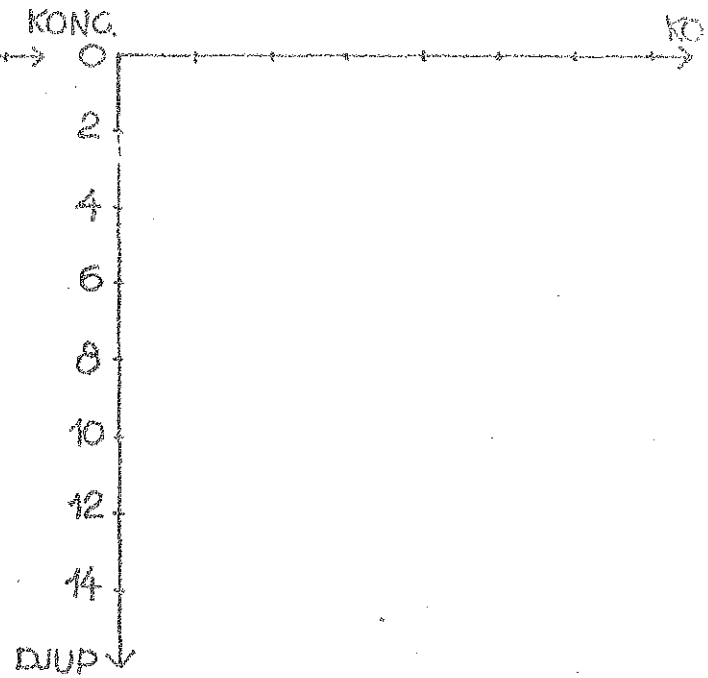
TID: 8.7-71 kl 1245

KOORD: 4110



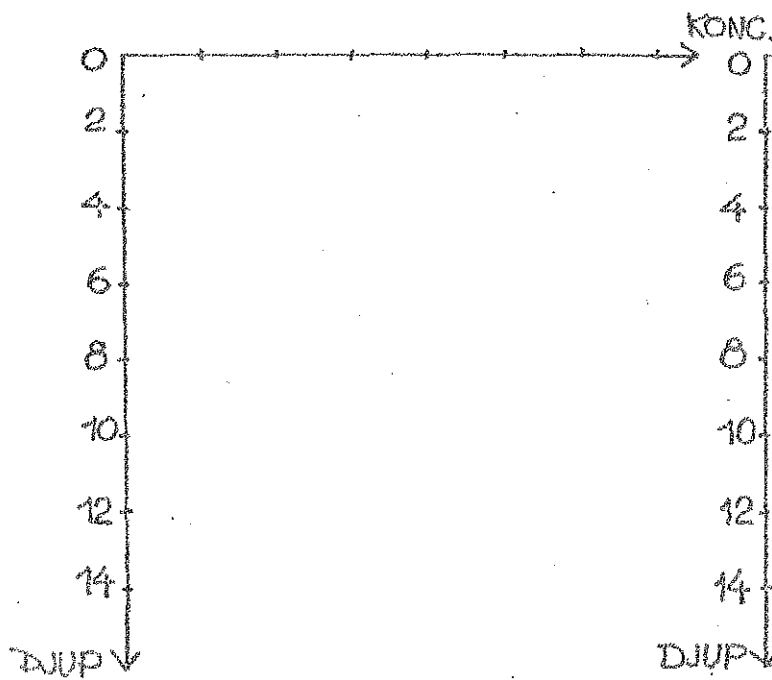
TID:

KOORD:



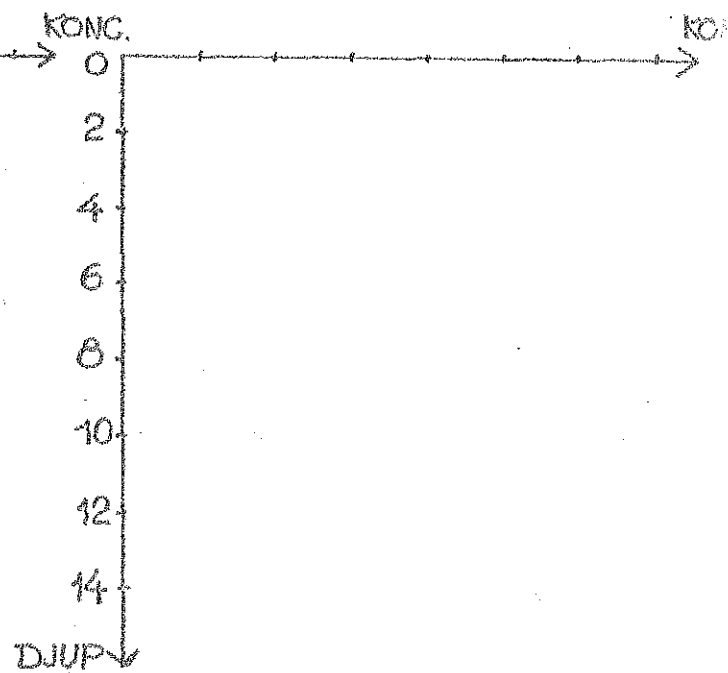
TID:

KOORD:



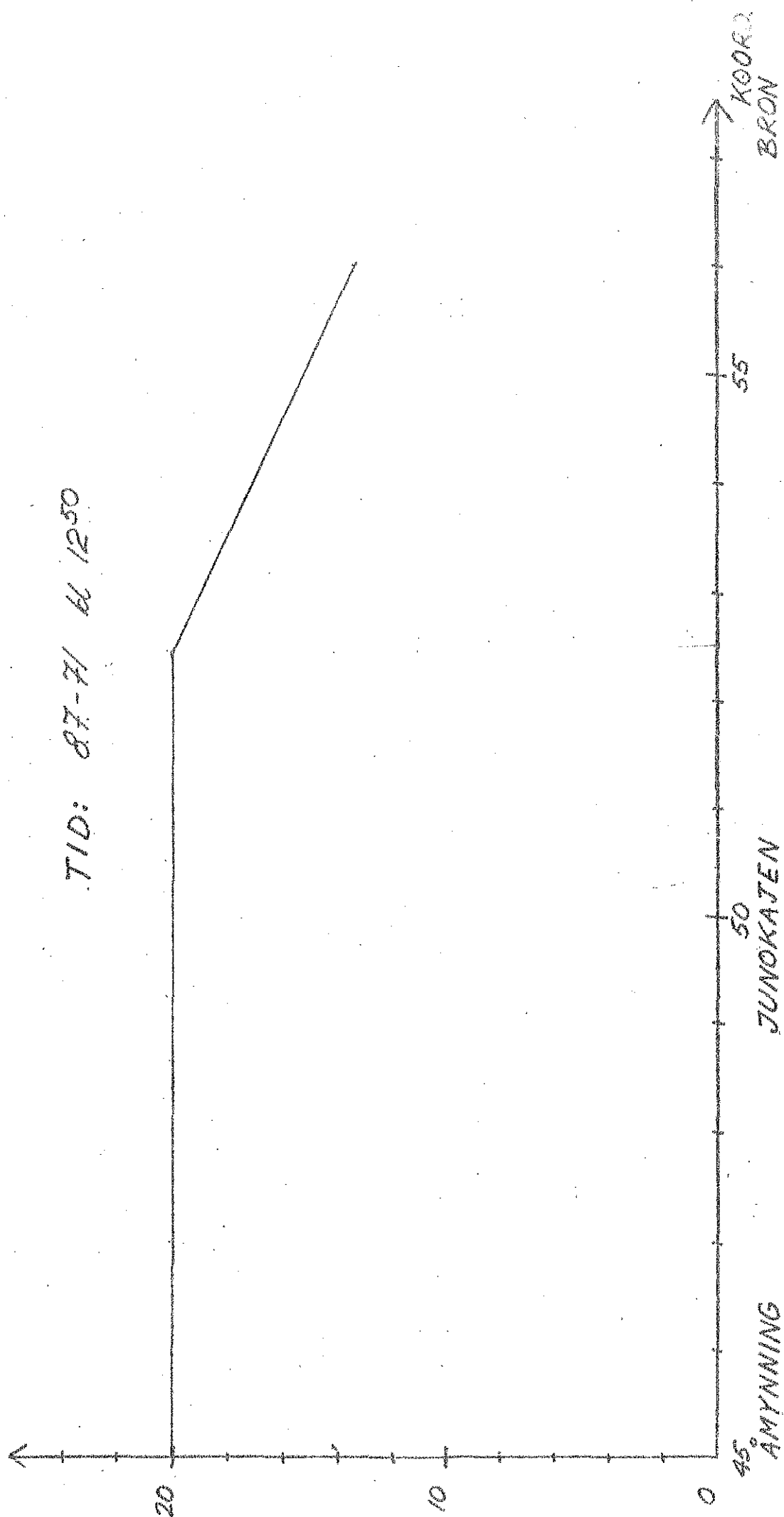
TID:

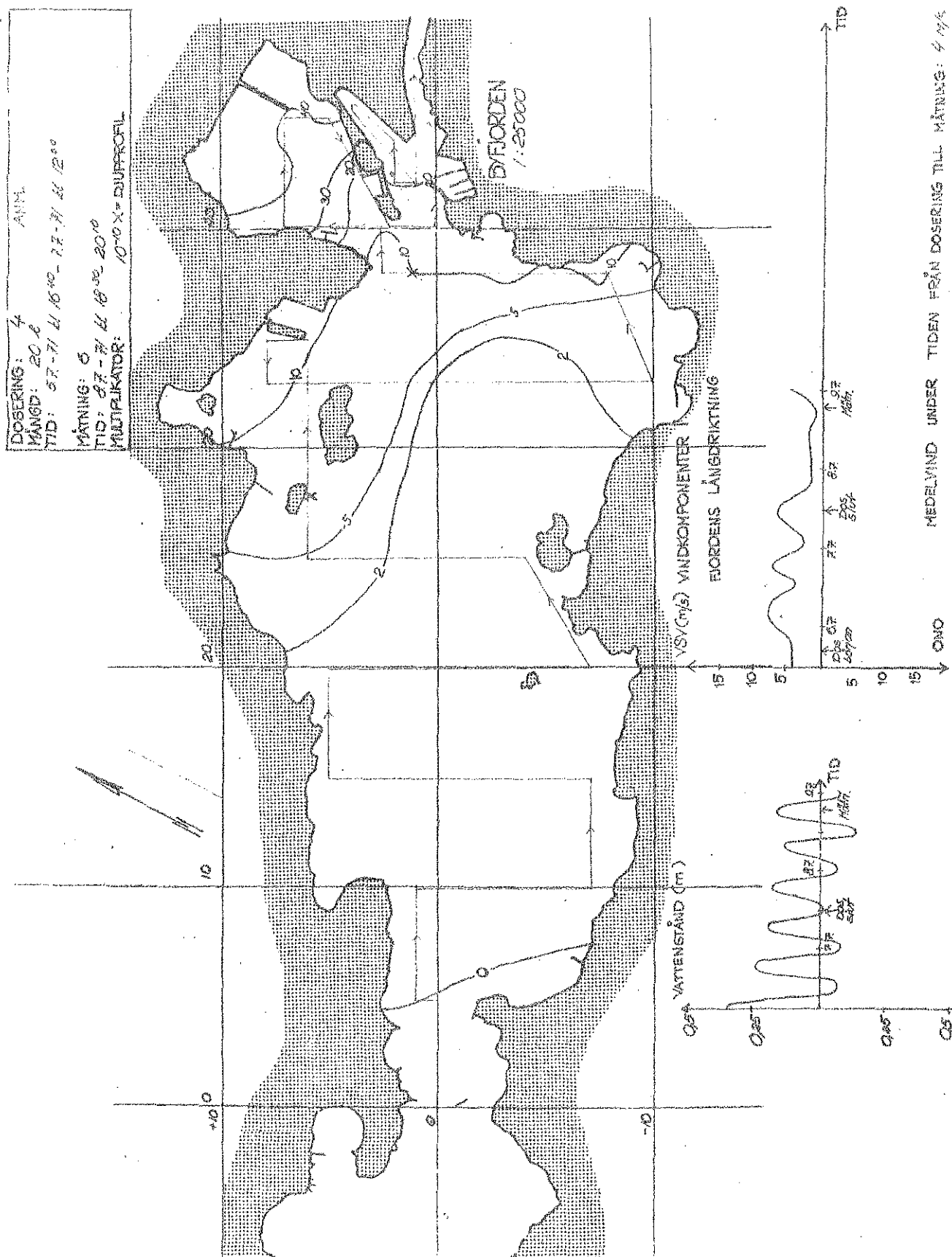
KOORD:



9-9-59

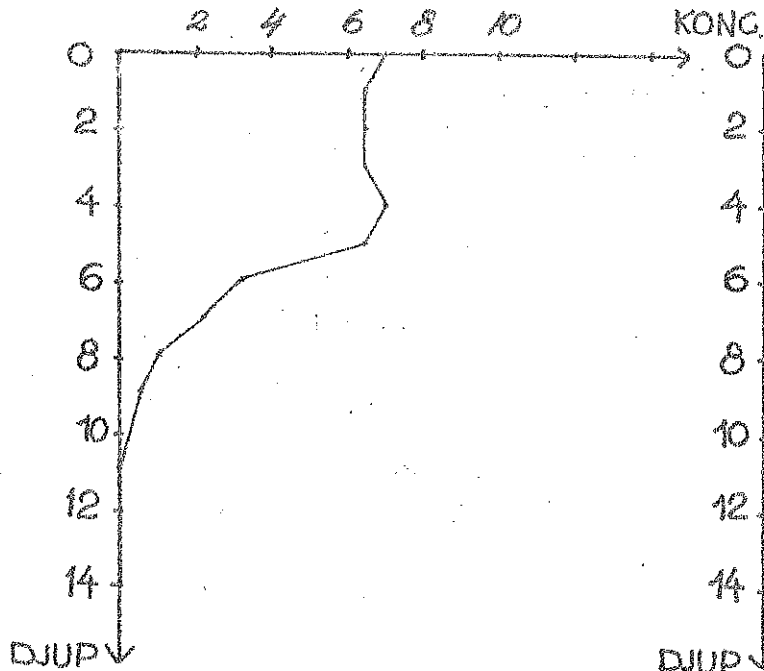
TID: 87-7161250



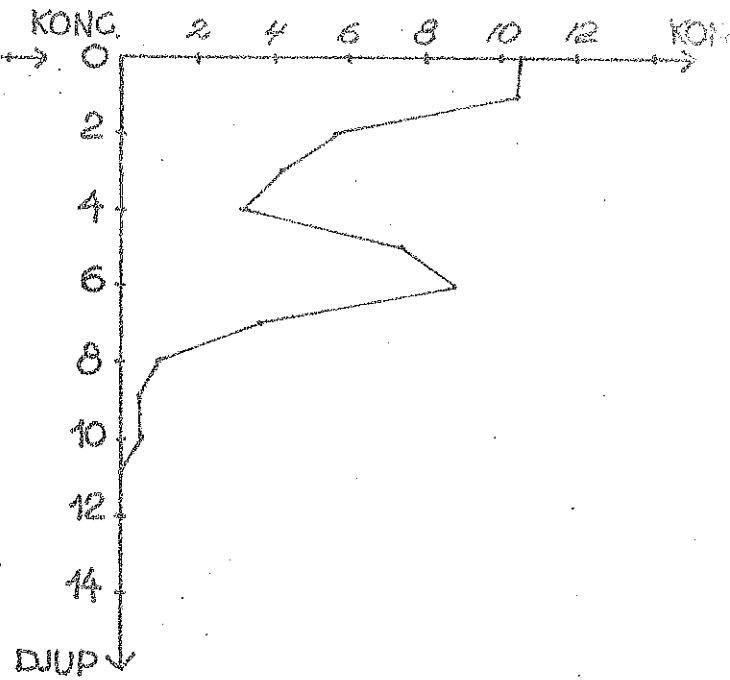


DJUPPROFILER

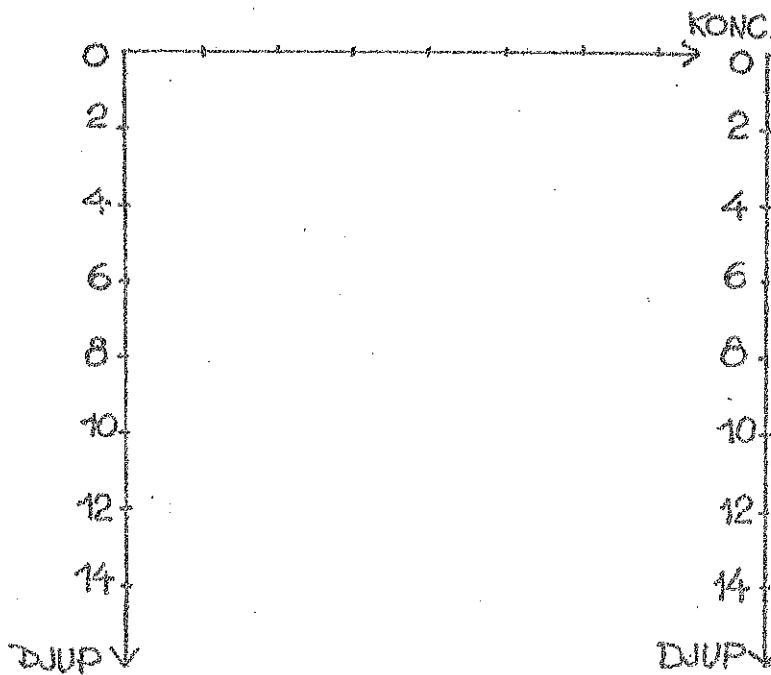
TID: 87-71 kl 1915
 KOORD: 28/6



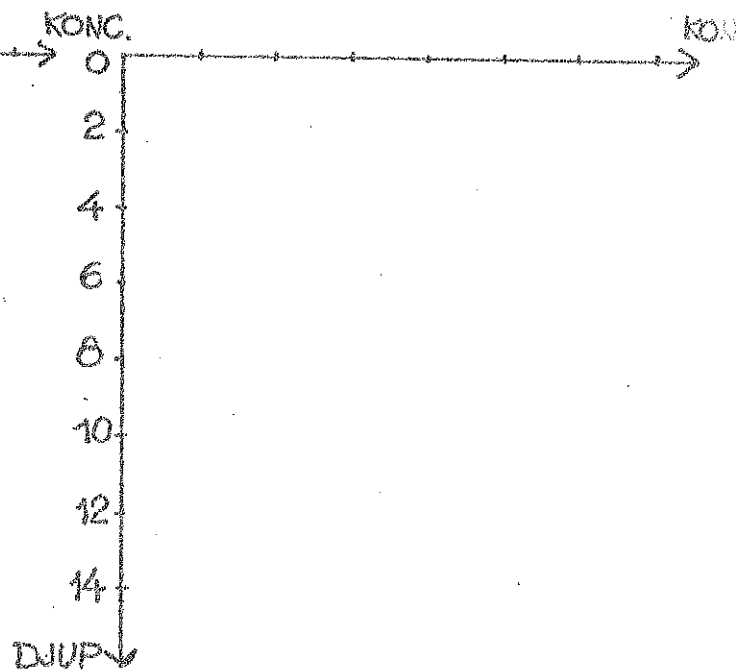
TID: 87-71 kl 1950
 KOORD: 38/1



TID:
 KOORD:



TID:
 KOORD:



KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

TID: 87-71 KL 20⁰⁰

KONC. 10⁻¹⁰

↑

20

10

0

45°

AMYNNING.

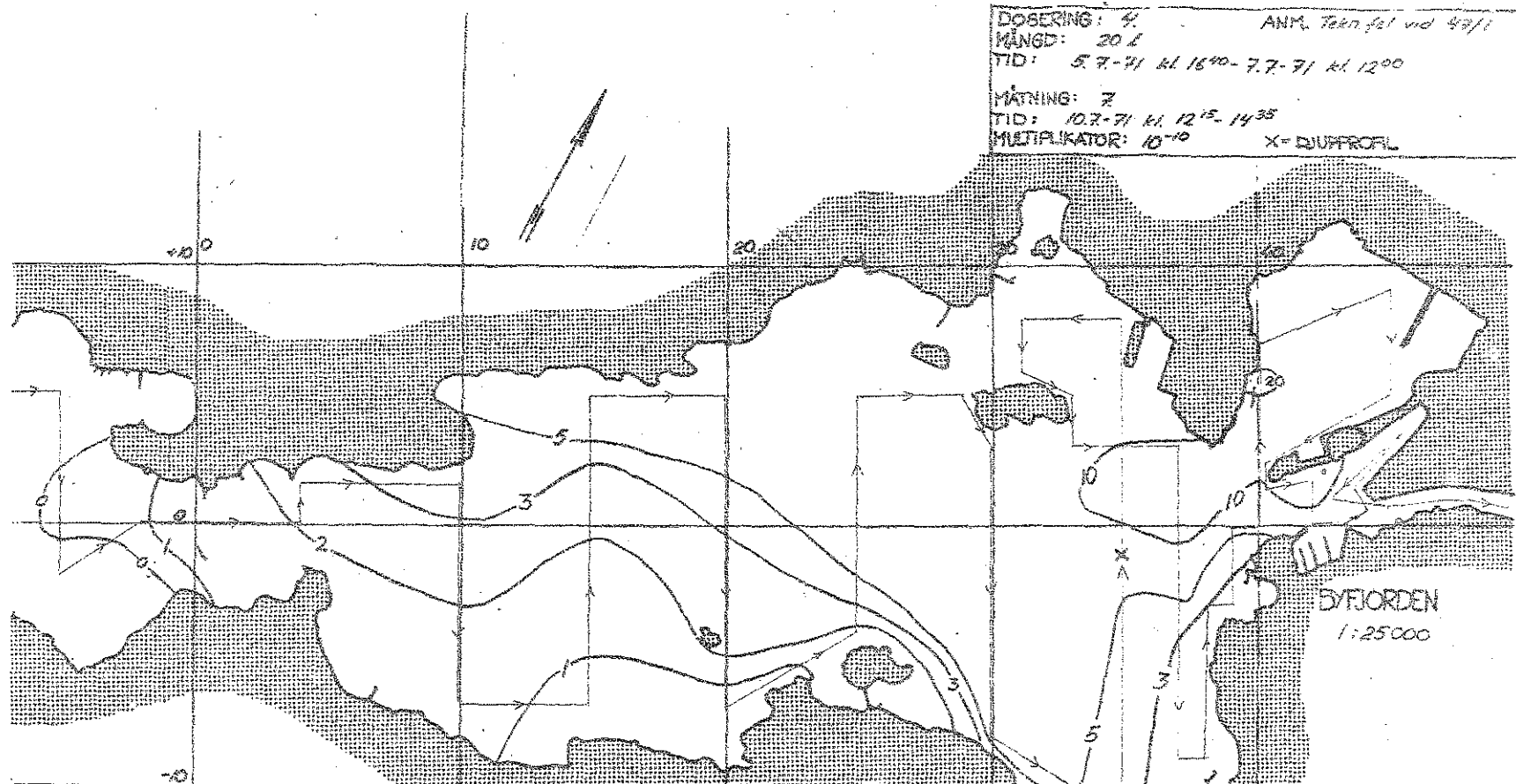
50

JUNOKAJEN

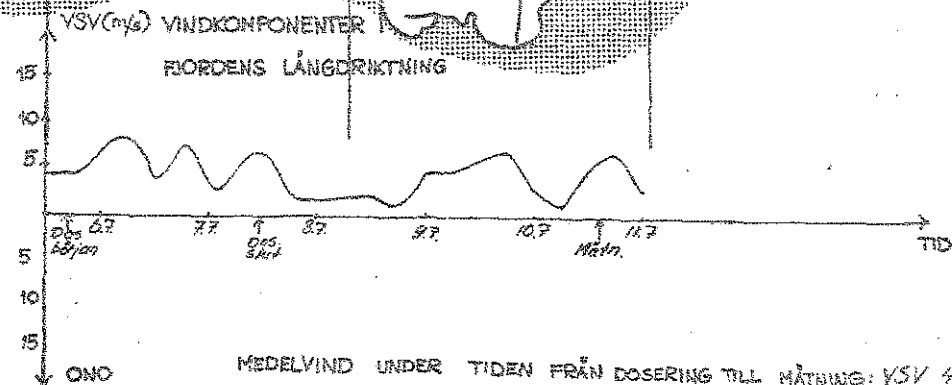
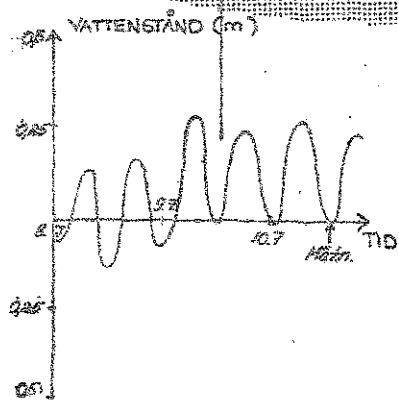
55

↑ KOOR.
BRON

DOSERING: 4 ANM. Tekn. fel vid 42/1
 MÄNGD: 20 l
 TID: 5.7-7/ kl 16⁰⁰-7.7-7/ kl 12⁰⁰
 MÄTNING: 7
 TID: 10.7-7/ kl 12¹⁵-14³⁵
 MULTIPLIKATOR: 10⁻¹⁰ X=DIJUPPROFIL



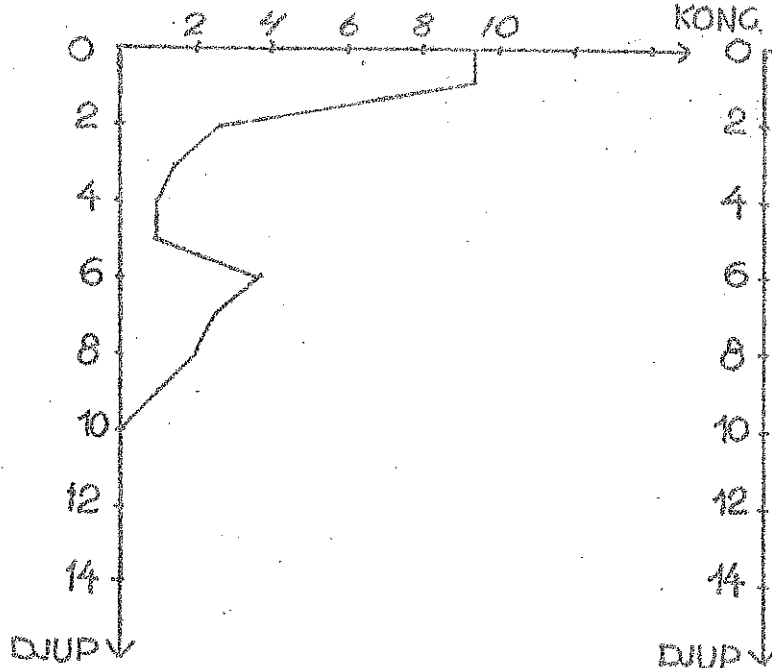
DYLFJORDEN
 1:25000



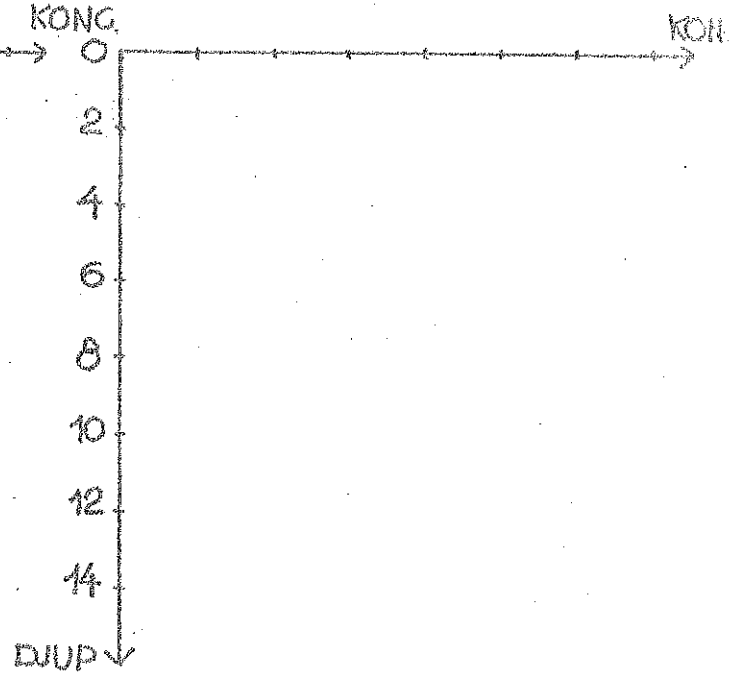
MEDELVIND UNDER TIDEN FRÅN DOSERING TILL MÄTNING: YSV 4 m/s

DJUPPROFILER

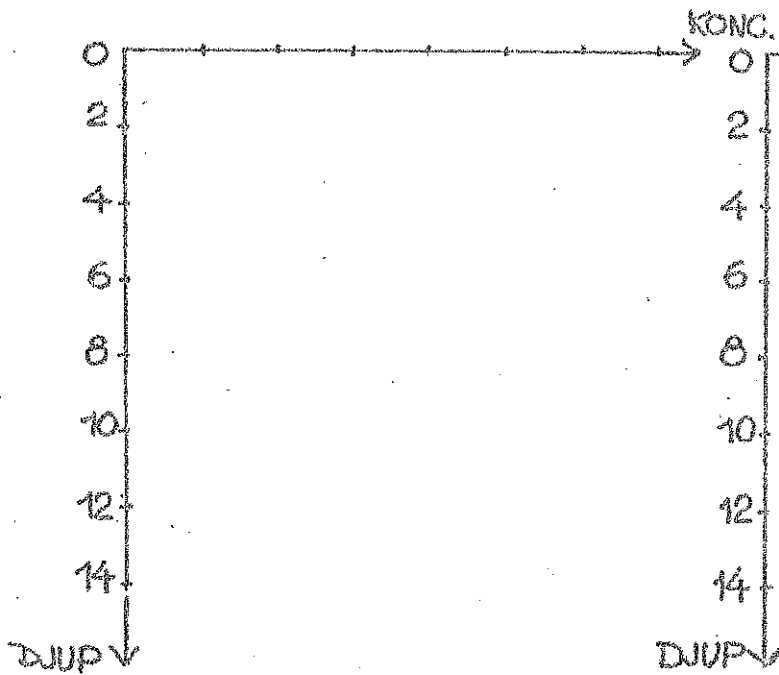
TID: 10.7 kl. 13⁴⁵
 KOORD: 35/-1



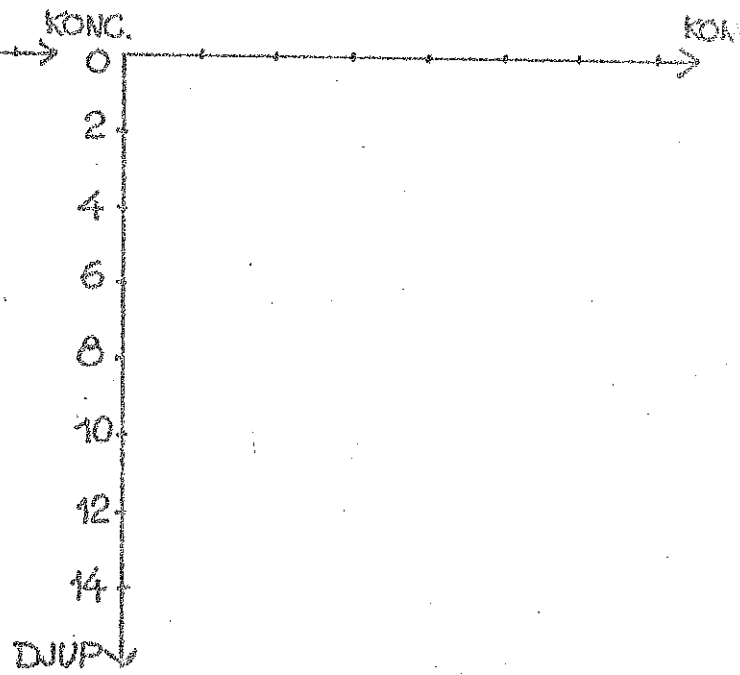
TID:
 KOORD:



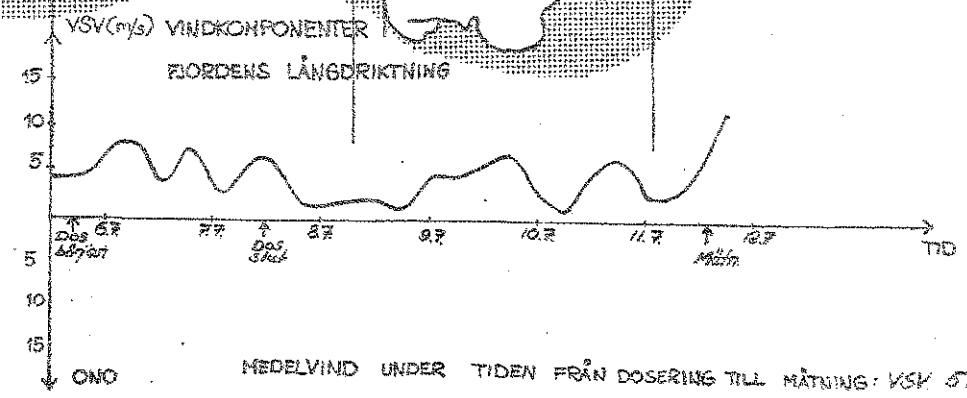
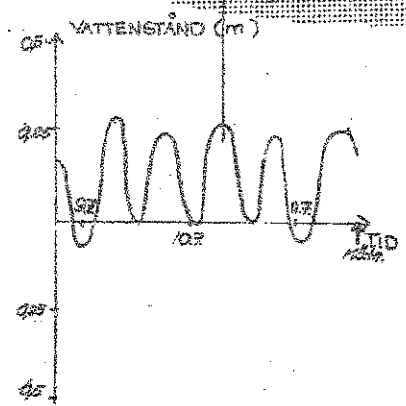
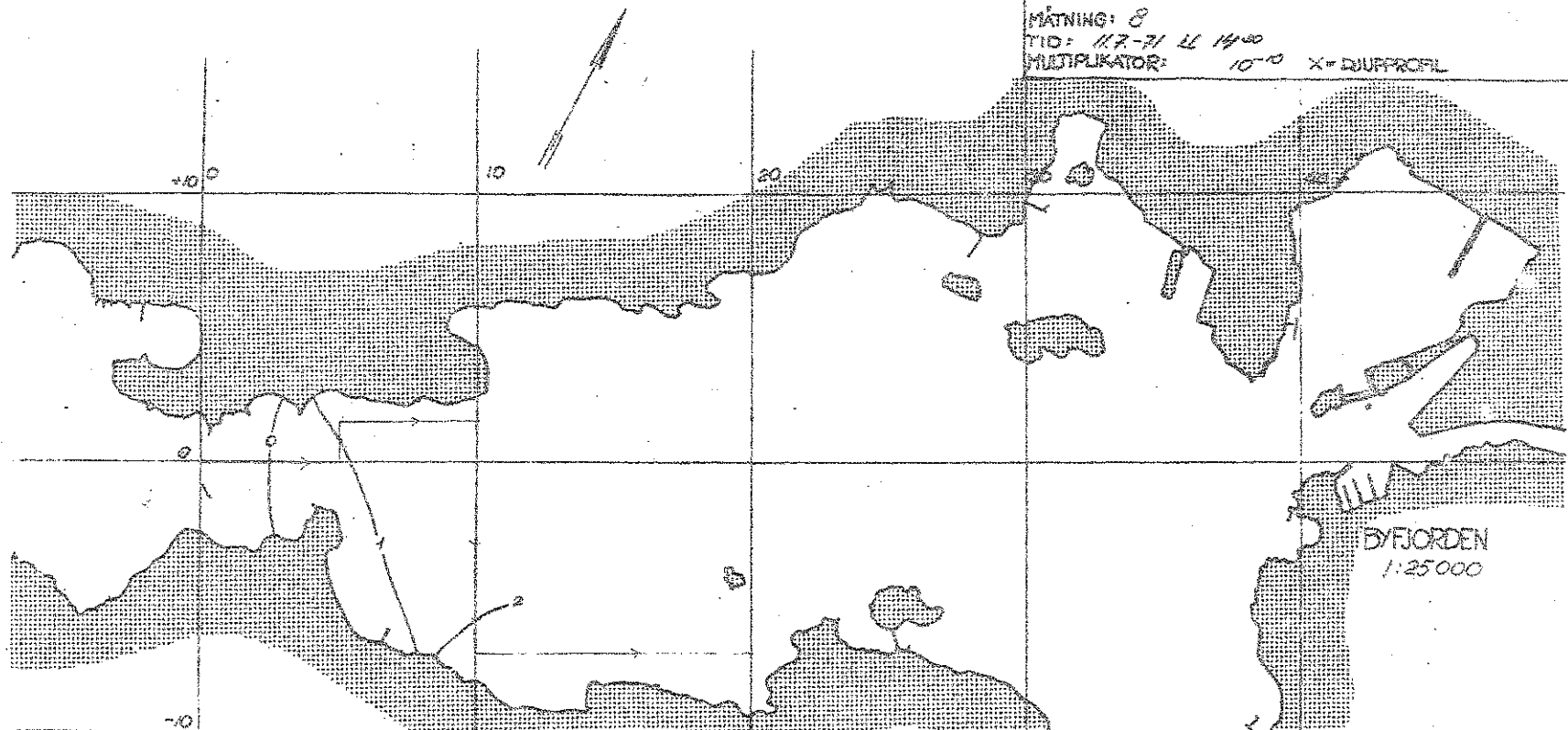
TID:
 KOORD:



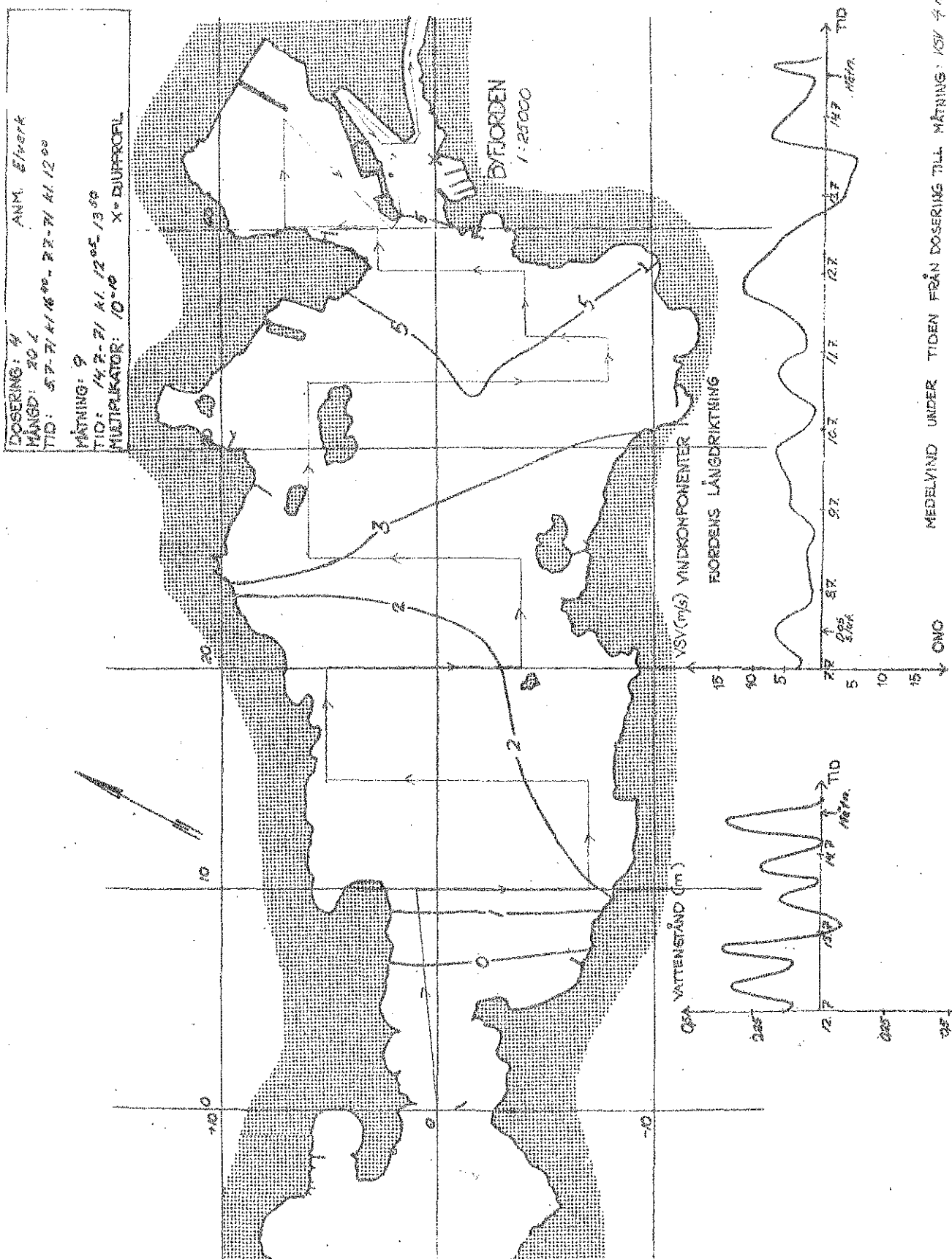
TID:
 KOORD:



DOSERING: 4 ANM. 766. 91 145 45/1-7
 MÄNGD: 20 L
 TID: 57-71 LL 16⁴⁰ - 77-71 LL 12⁴⁰
 MÄTNING: 8
 TID: 11.7-71 LL 14⁴⁰
 MULTIPLIKATOR: 10⁻¹⁰ X=DJUPPROFIL



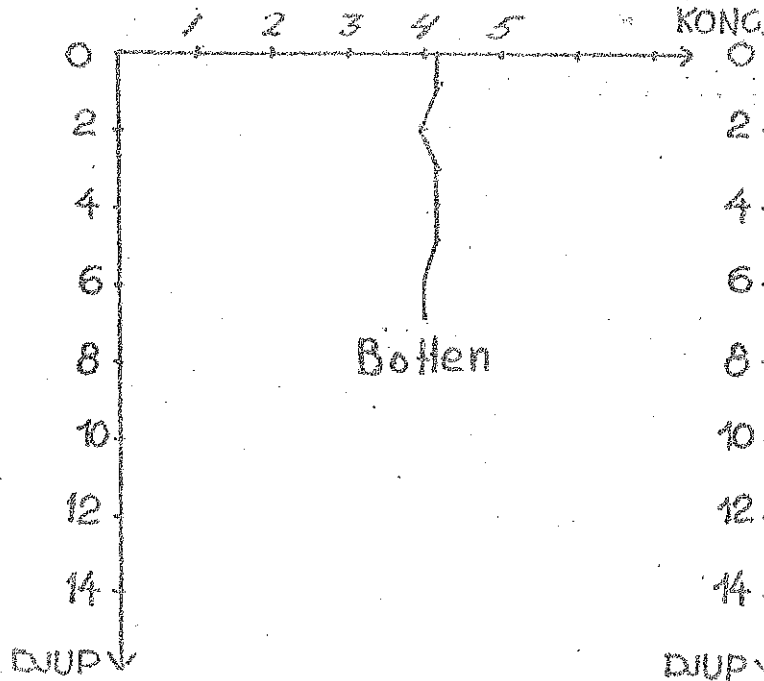
MEDELVIND UNDER TIDEN FRÅN DOSERING TILL MÄTNING: VSV 5 m/s



DJUPPROFILER

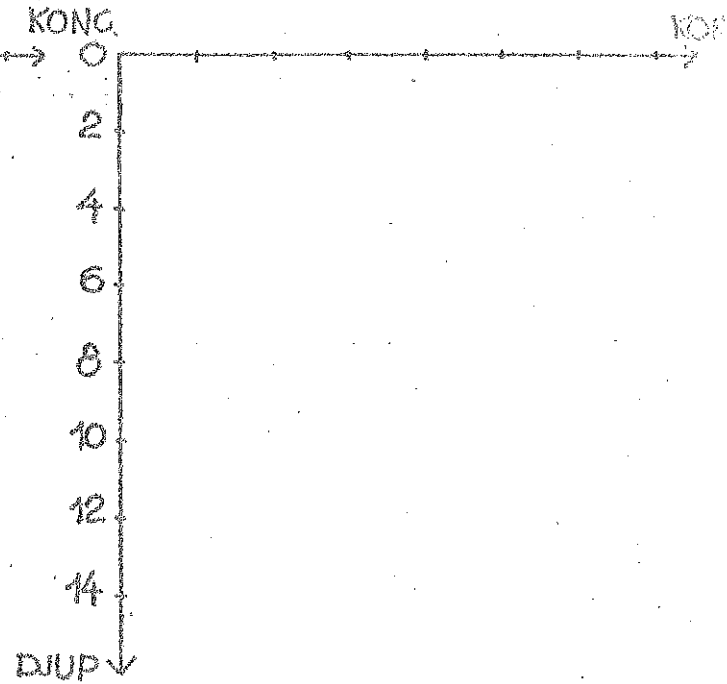
TID: 14.7.71 kl. 13.50

KOORD: 13/0



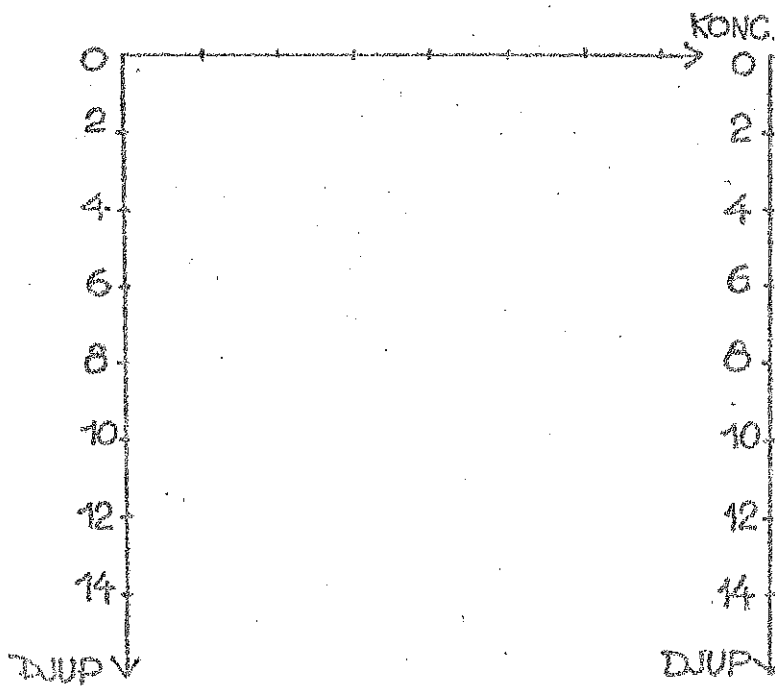
TID:

KOORD:



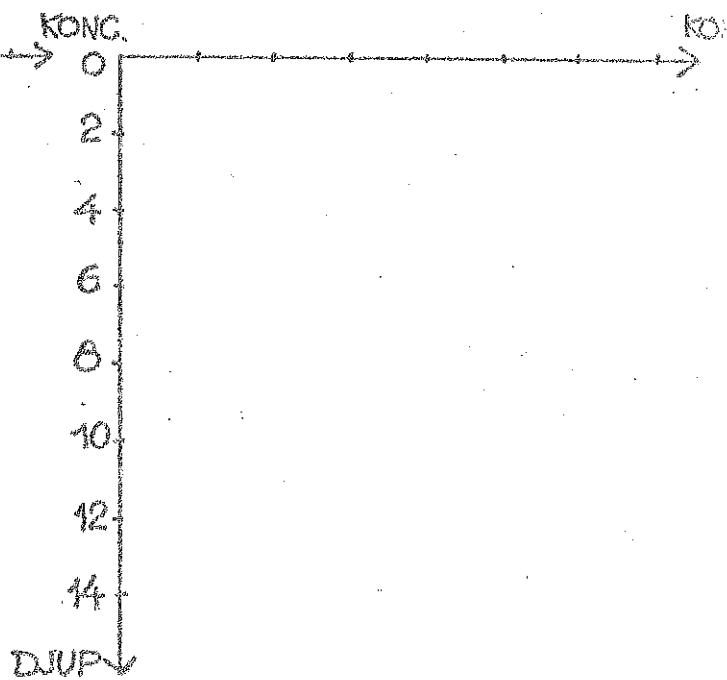
TID:

KOORD:



TID:

KOORD:



KONCENTRATION PÅ 1m DJUP I BÄVEÅN

TID: 14.7.-71 kl 13.30

KONC. 10^{-10}

↑

20

10

0

45°

ÅMYNNING

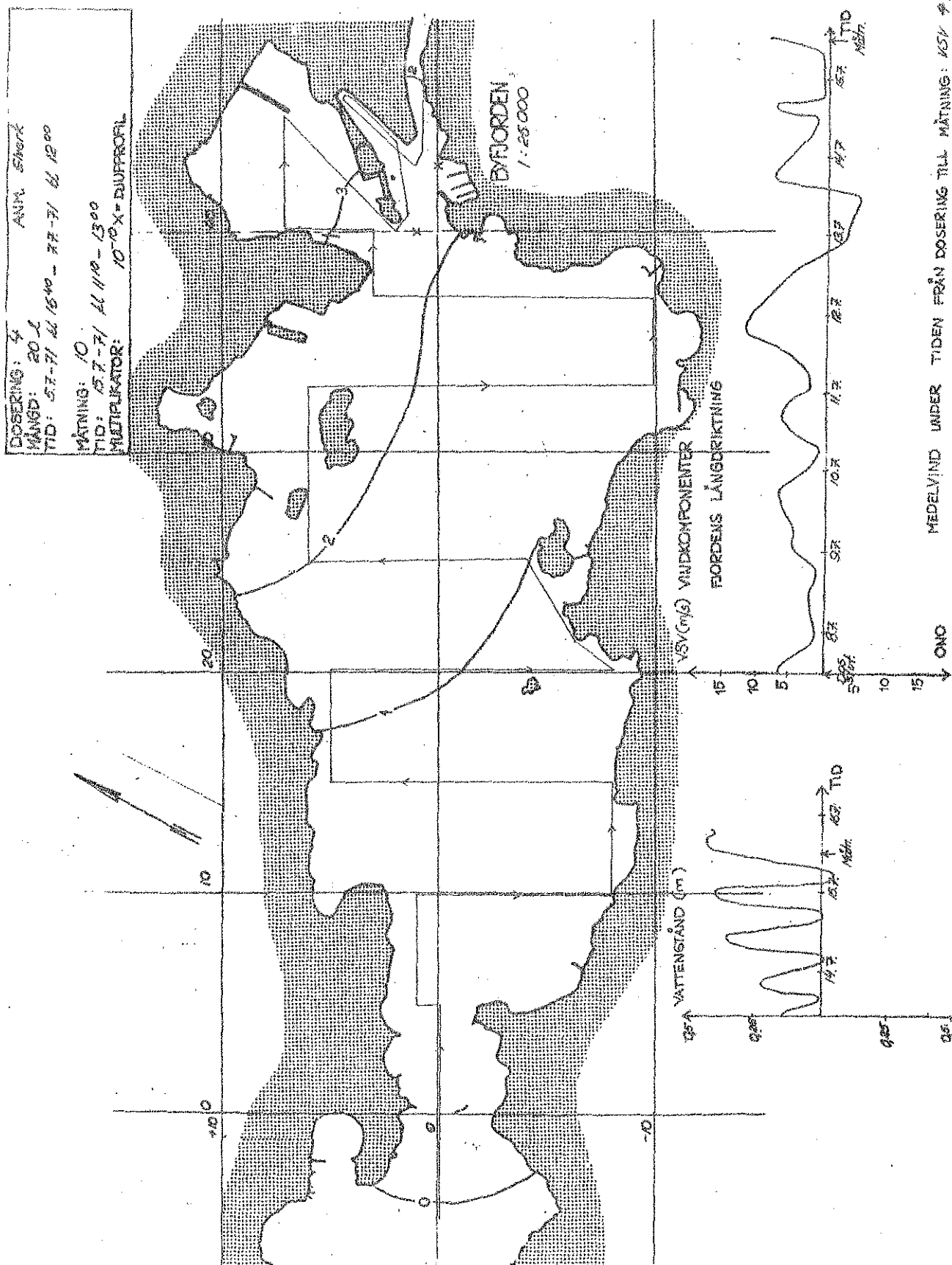
50

JUNOKAJEN

55

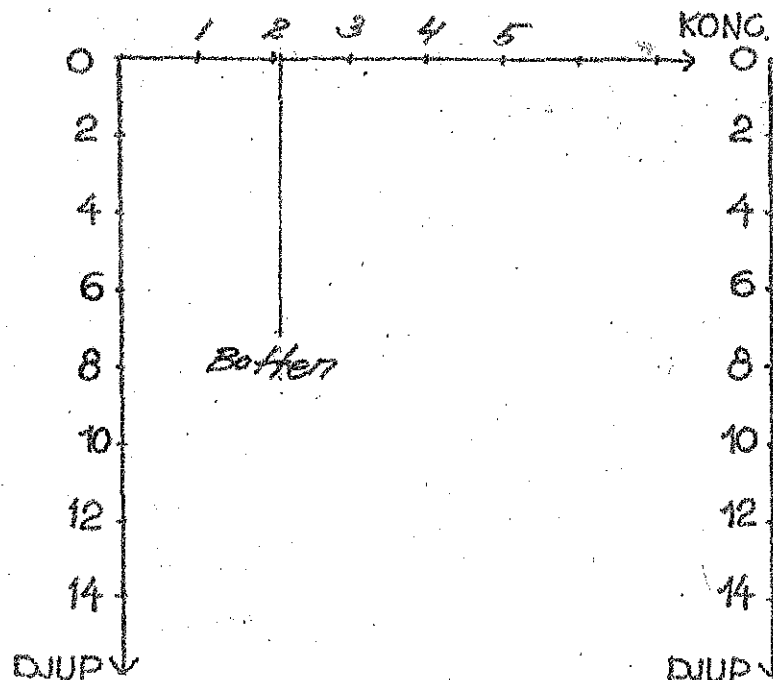
KOOR

BRON

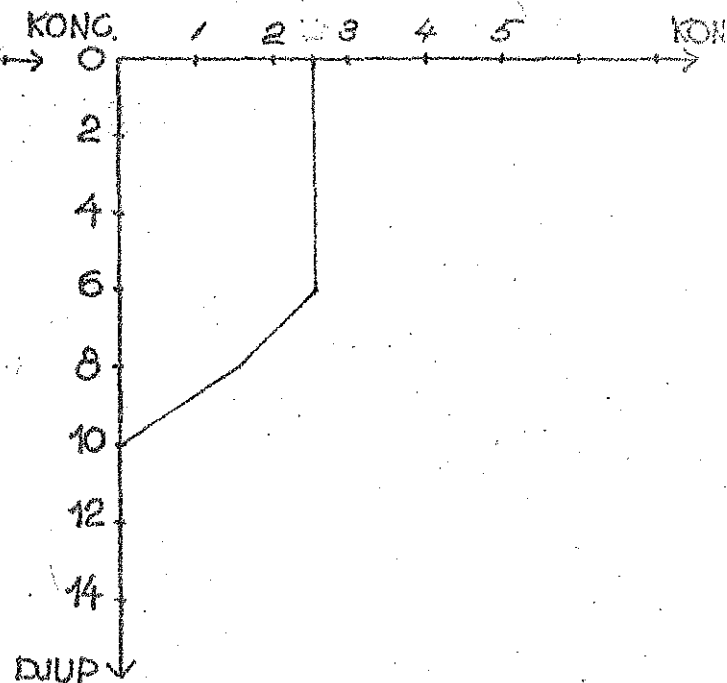


DJUPPROFILER

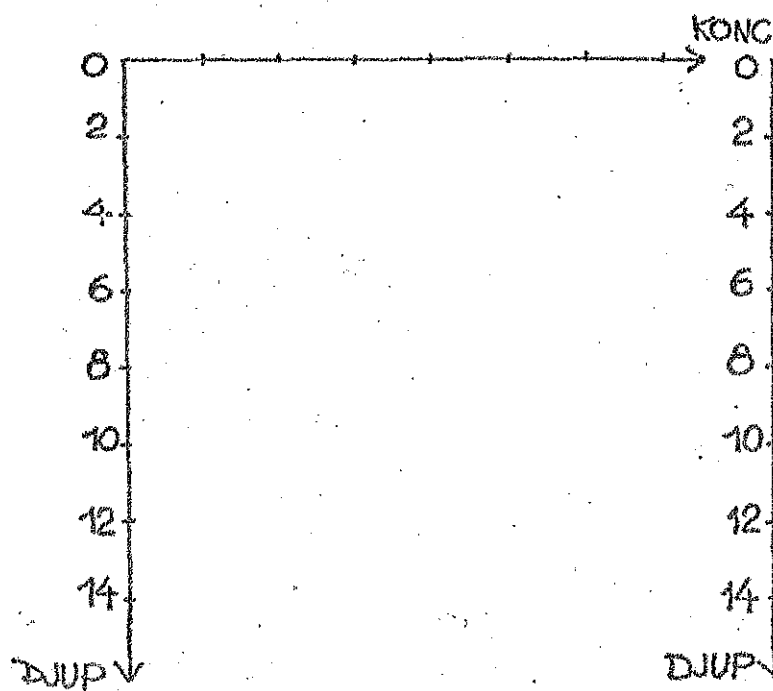
TID: 15.7-71 kl 13⁴⁰
 KOORD: 43/0



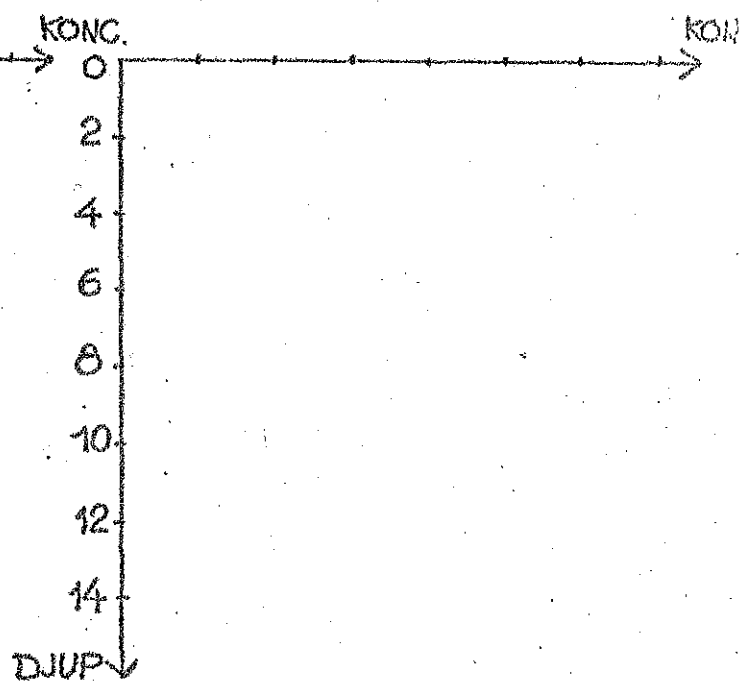
TID: 15.7-71 kl 13⁵⁰
 KOORD: 40/+1



TID:
 KOORD:



TID:
 KOORD:



KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

TID: 15.7-71 kl 1300

KONC. 10^{-10}

↑

20

10

0

45°

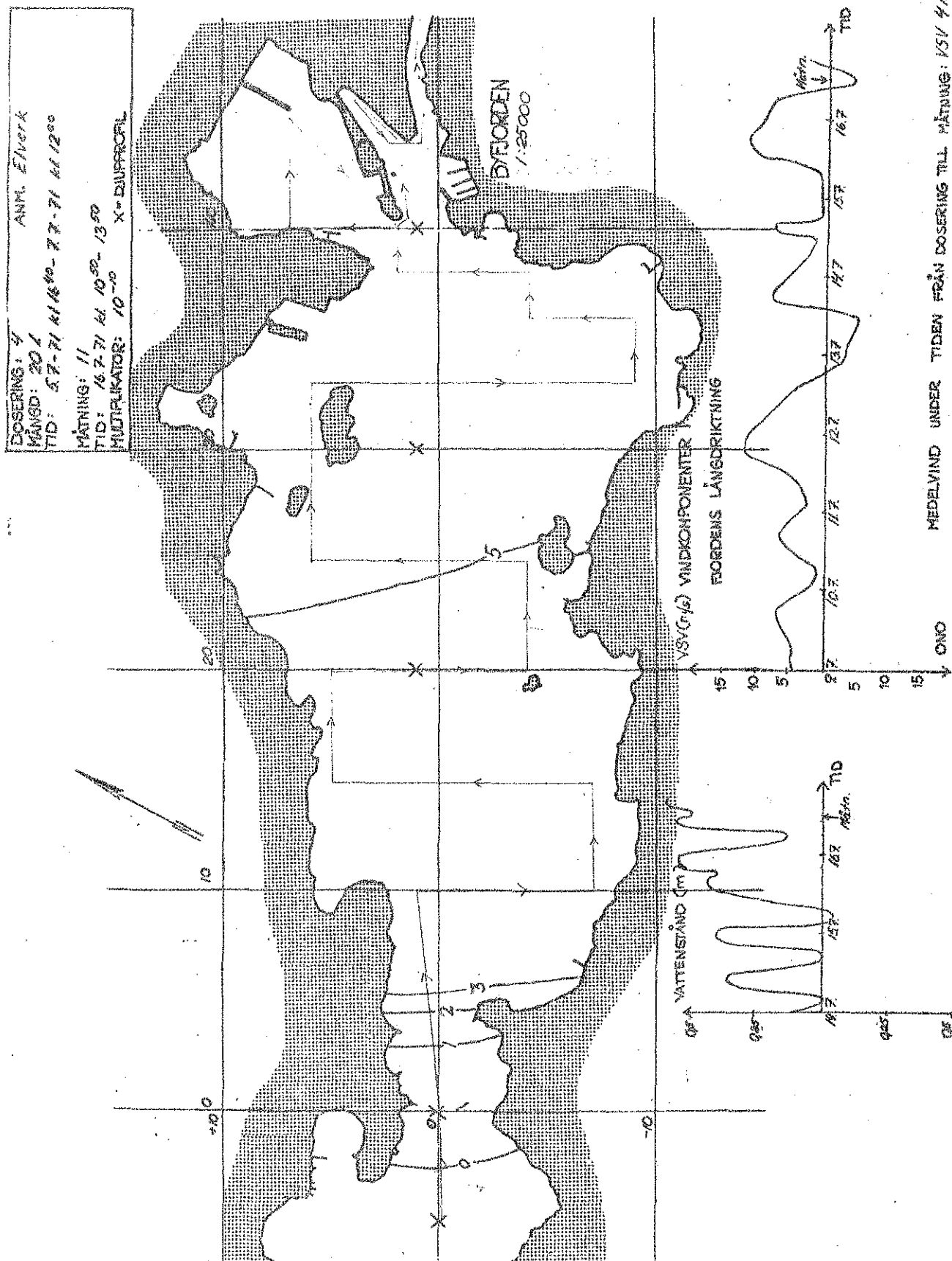
ÅMYNNING

50

JUNOKATEN

55

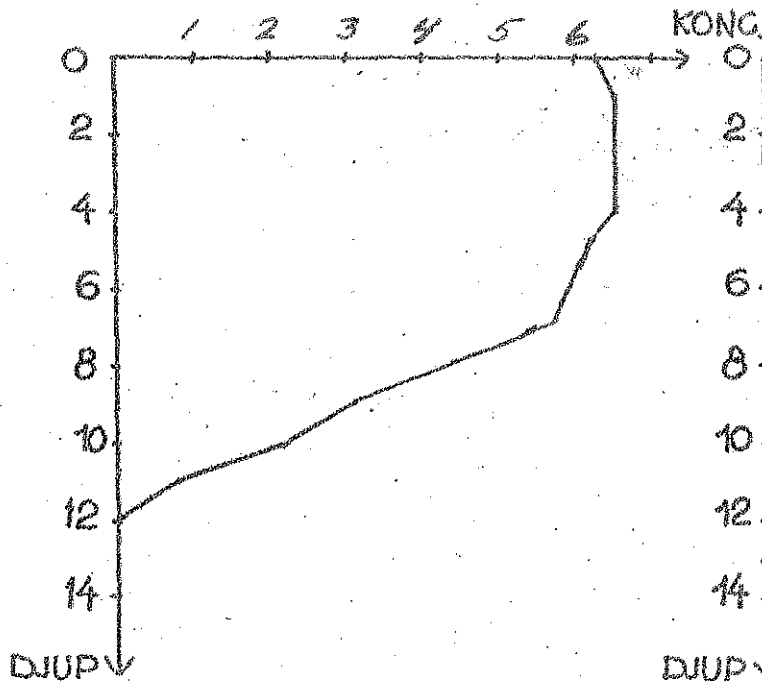
KÖÖLD.
BRON



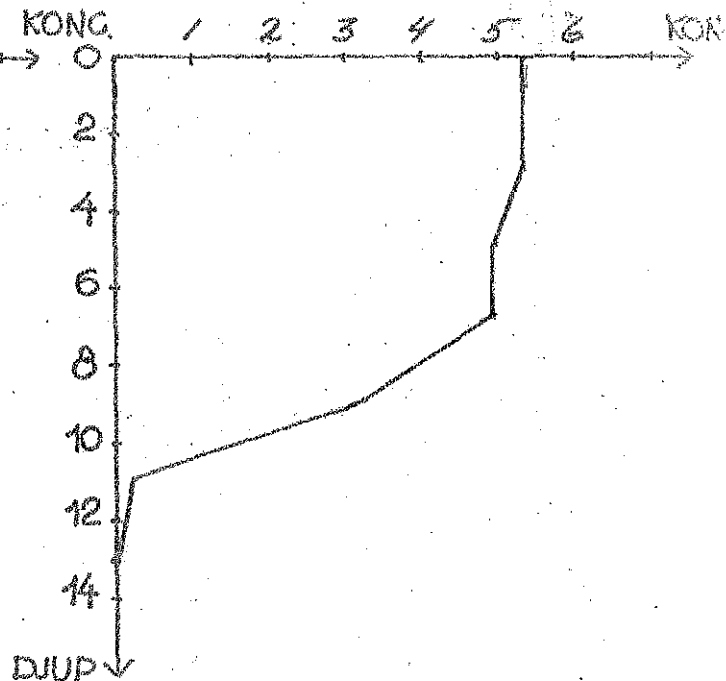
DJUPPROFILER

132.

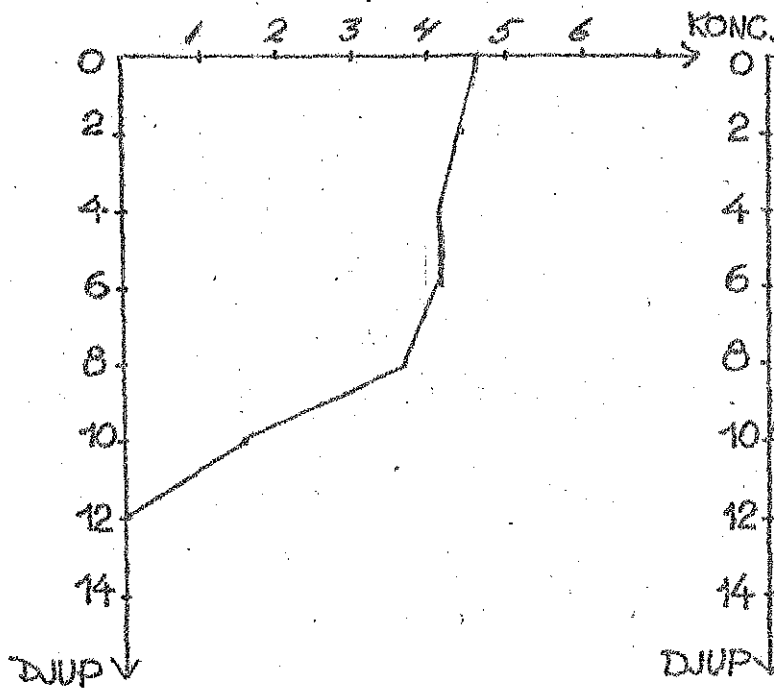
TID: 16.7-71 kl 10⁵⁰
KOORD: 40/1



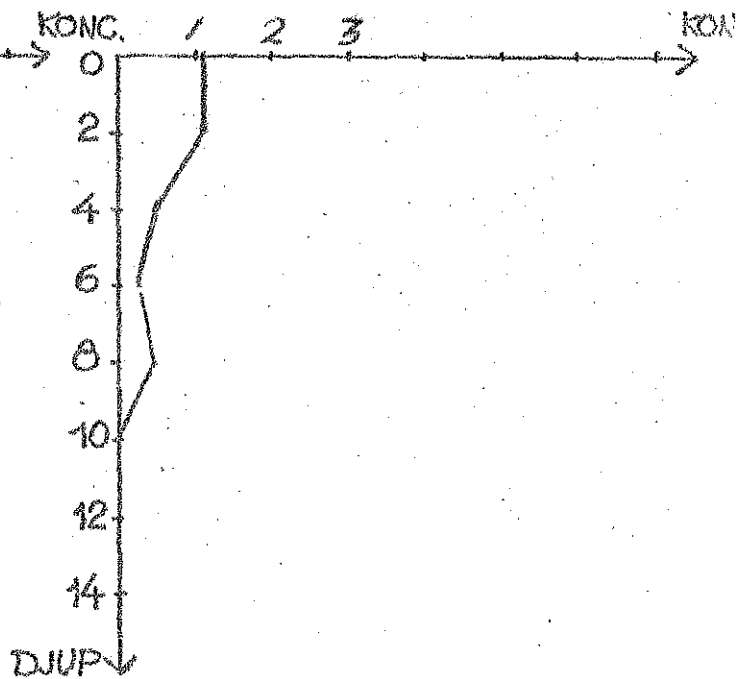
TID: 16.7-71 kl 11¹⁰
KOORD: 30/1



TID: 16.7-71 kl 11²⁵
KOORD: 20/1

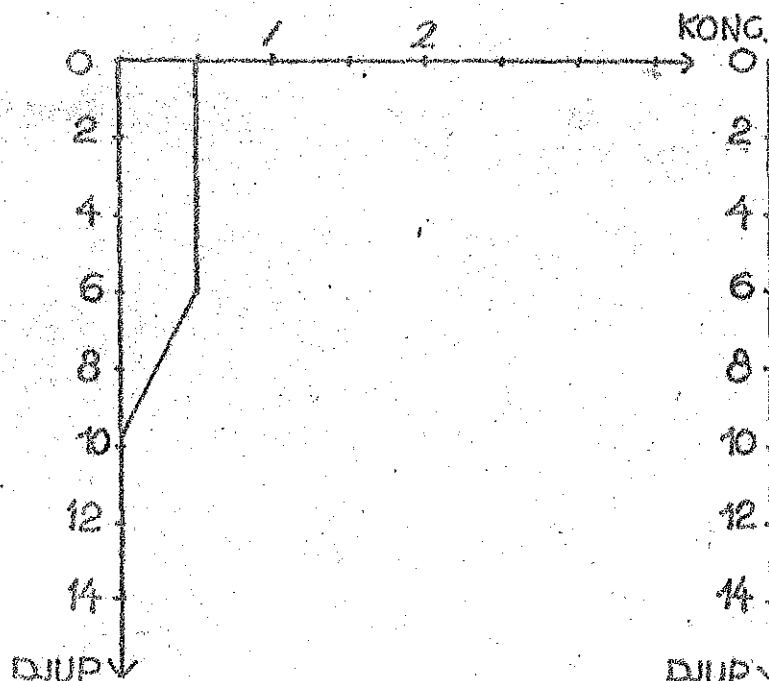


TID: 16.7-71 kl 11⁴⁰
KOORD: 0/0

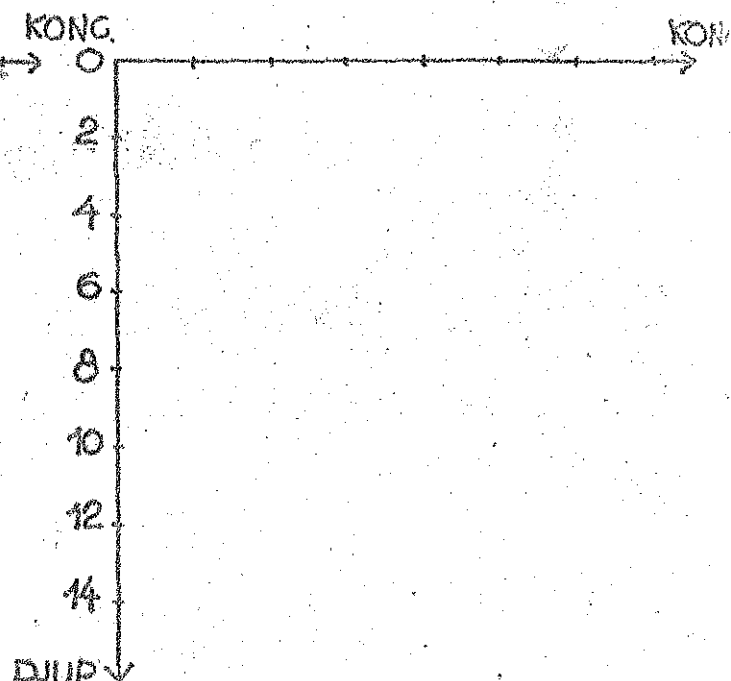


DJUPPROFILER

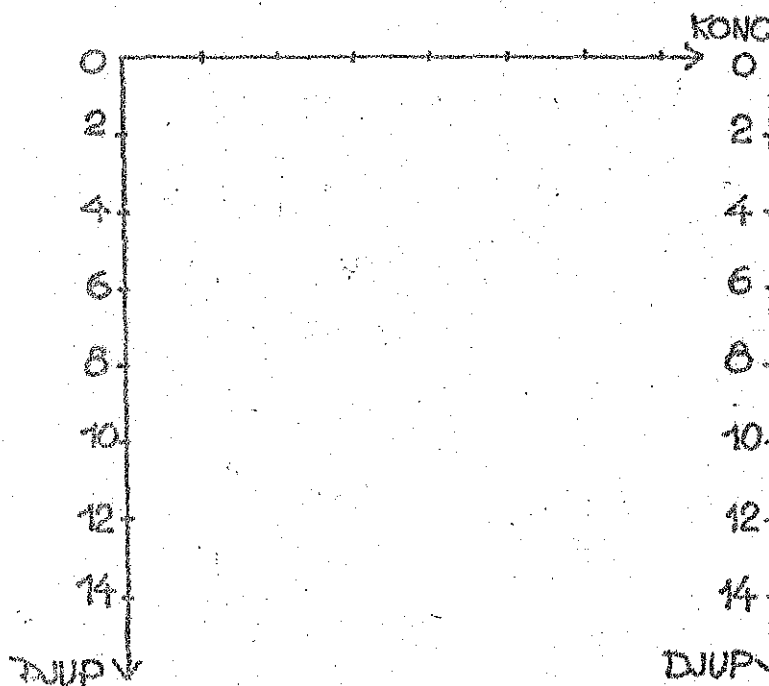
TID: 16.7-71 kl. 11.55
 KOORD: -5/0



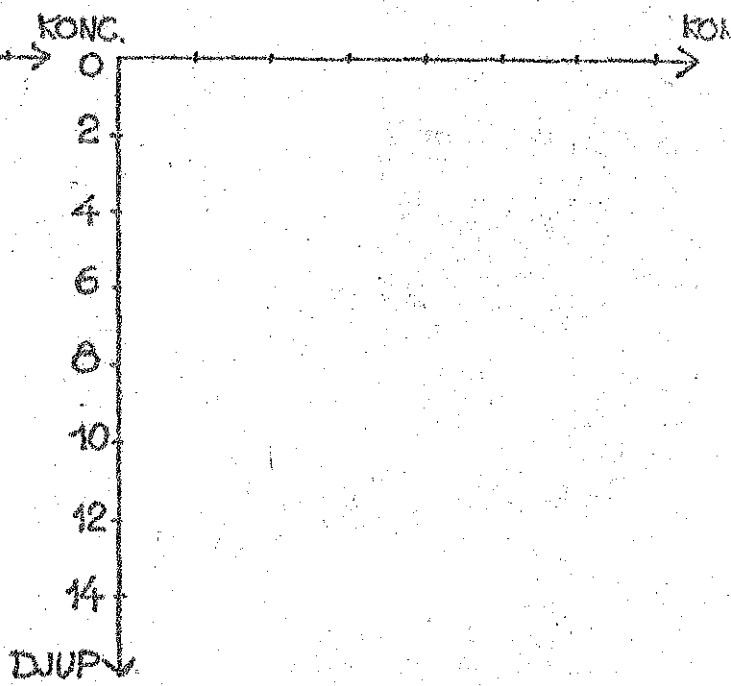
TID:
 KOORD:



TID:
 KOORD:



TID:
 KOORD:



KONCENTRATION PÅ 1m DJUP I BÄVEÅN

TID: 14.7.71 kl. 13³⁰

KONC. 10^{-10}



20

10

0

45°

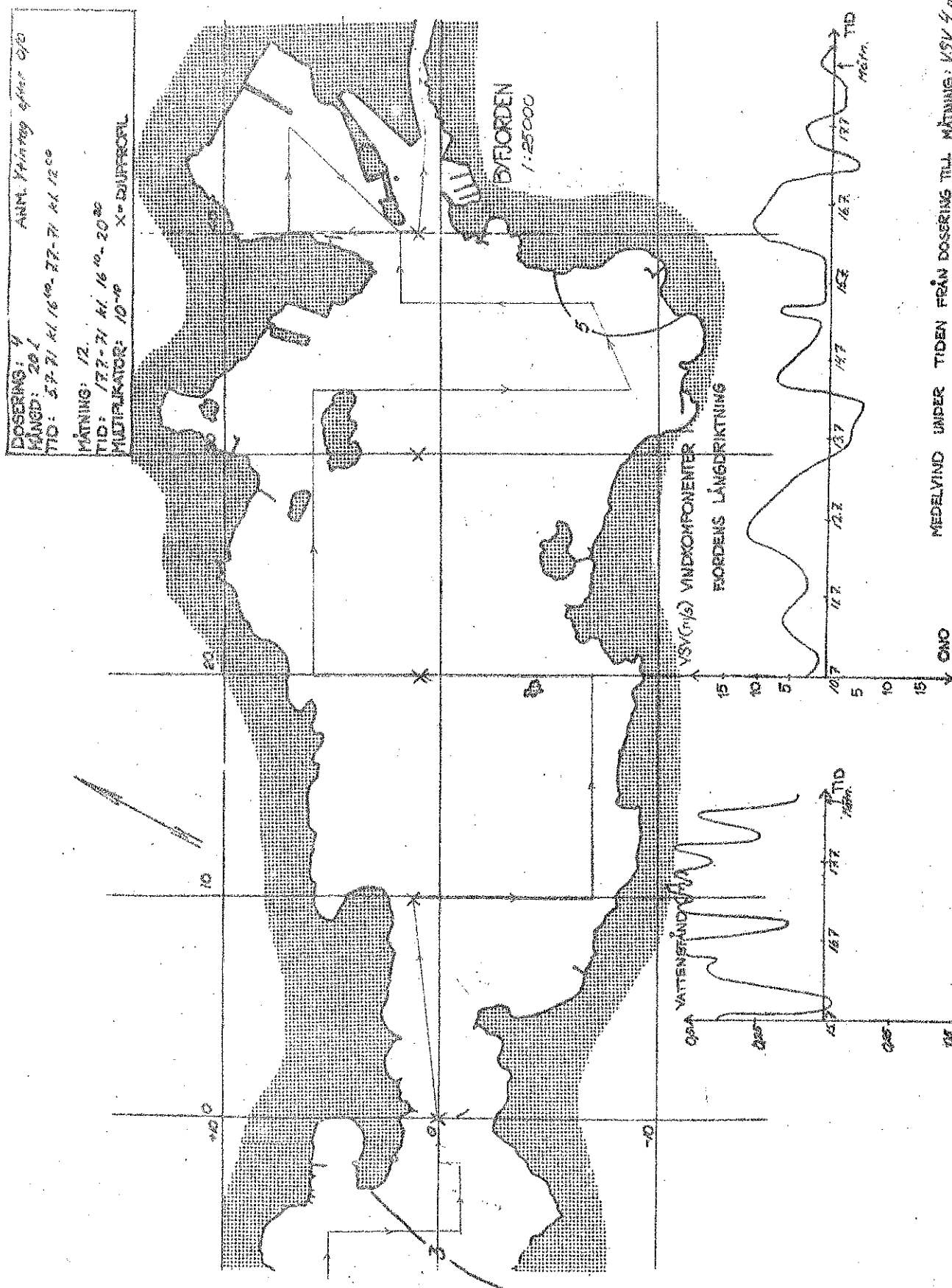
ÅMYNNING

50

JUNOKAJEN

55

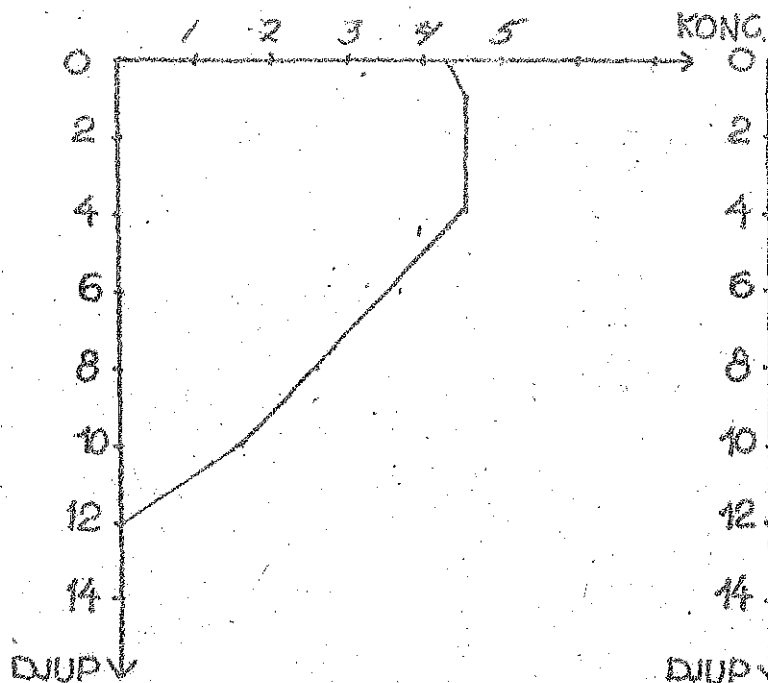
KOOR.
BRON



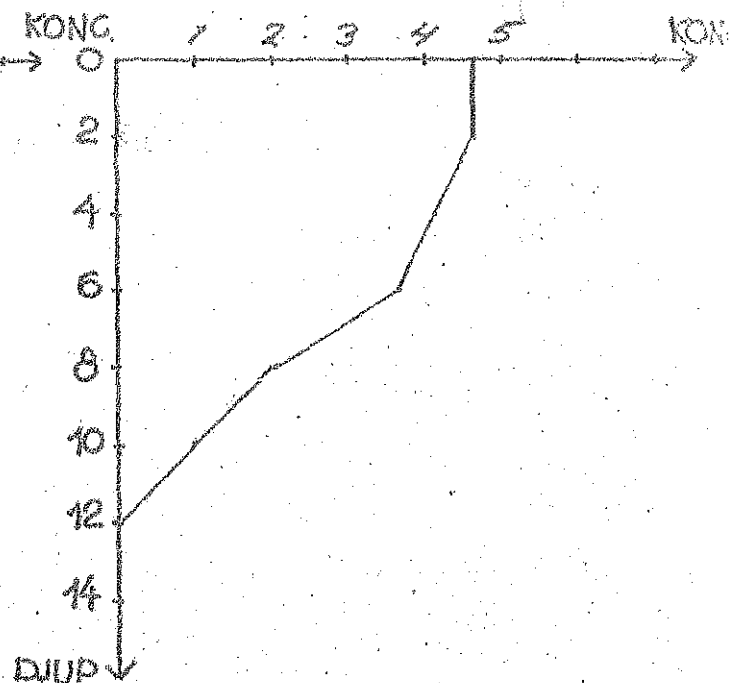
DJUPPROFILER

TID: 17.7-71 kl. 16¹⁵

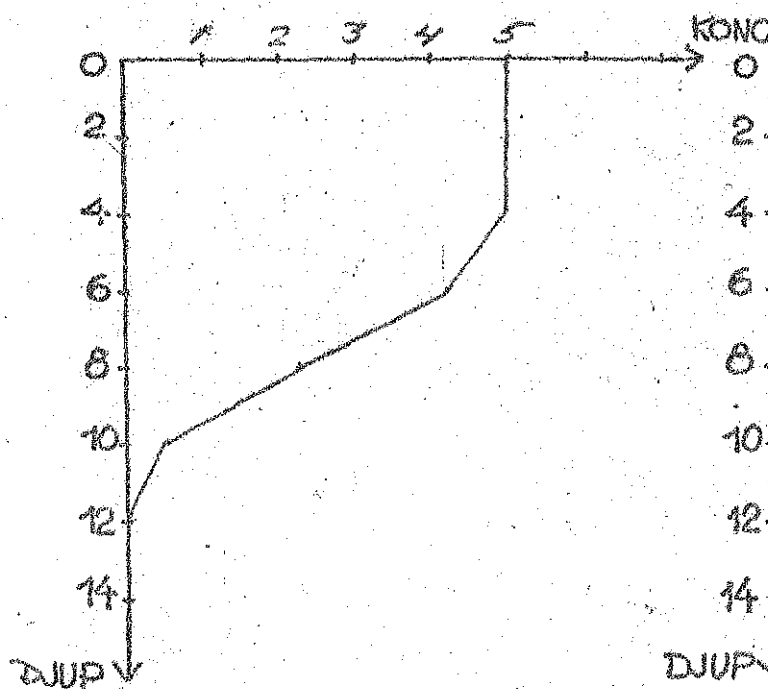
KOORD: 40/1

TID: 17.7-71 kl. 16³⁵

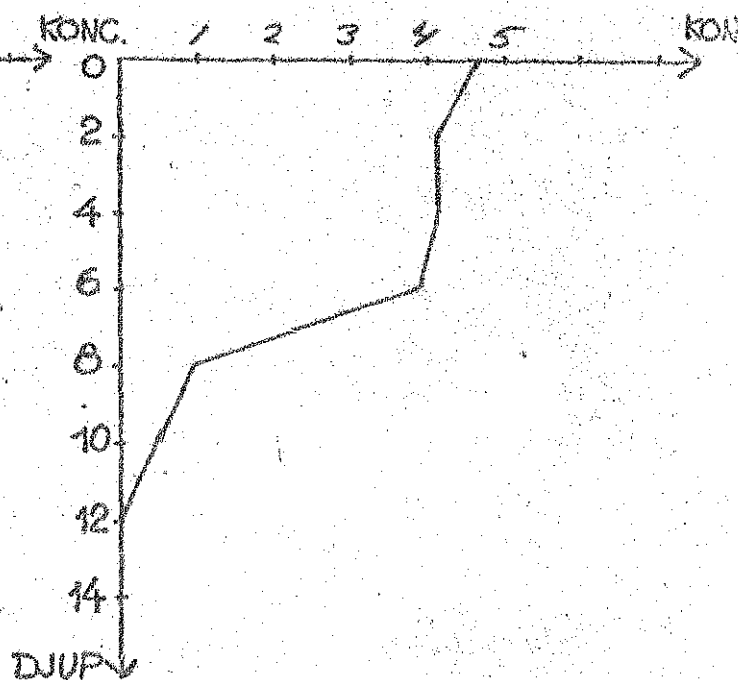
KOORD: 30/1

TID: 17.7-71 kl. 16⁴⁵

KOORD: 20/1

TID: 17.7-71 kl. 16⁵⁵

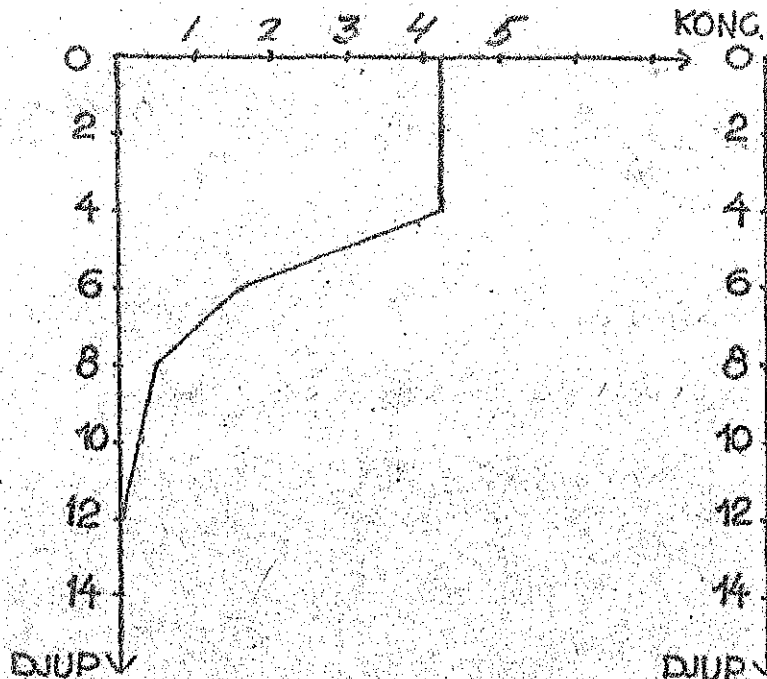
KOORD: 10/1



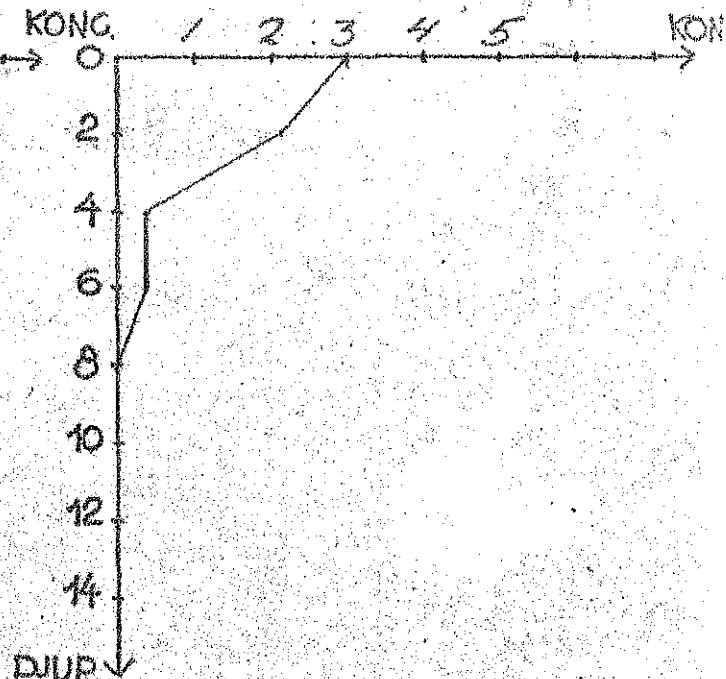
DJUPPROFILER

137.

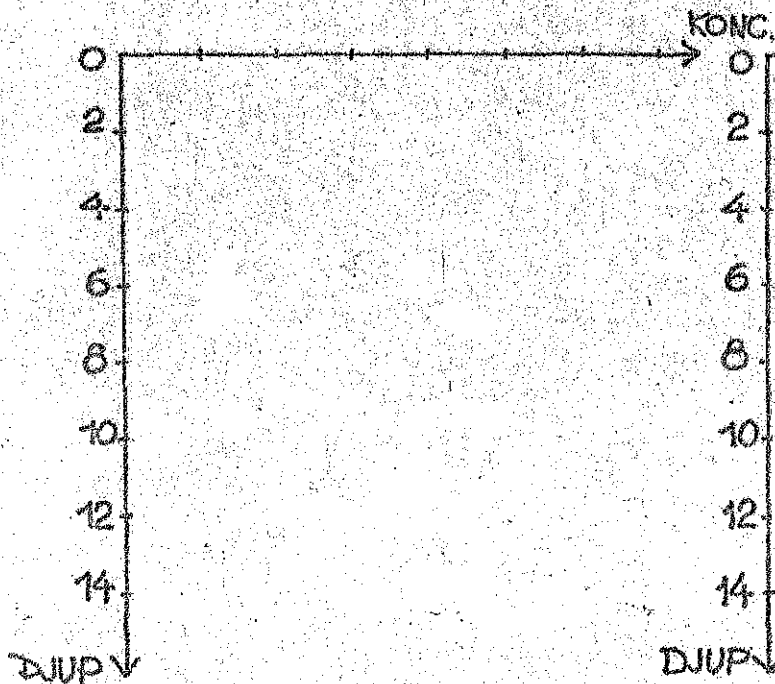
TID: 17.7-71 kl 17¹⁵
 KOORD: 0/0



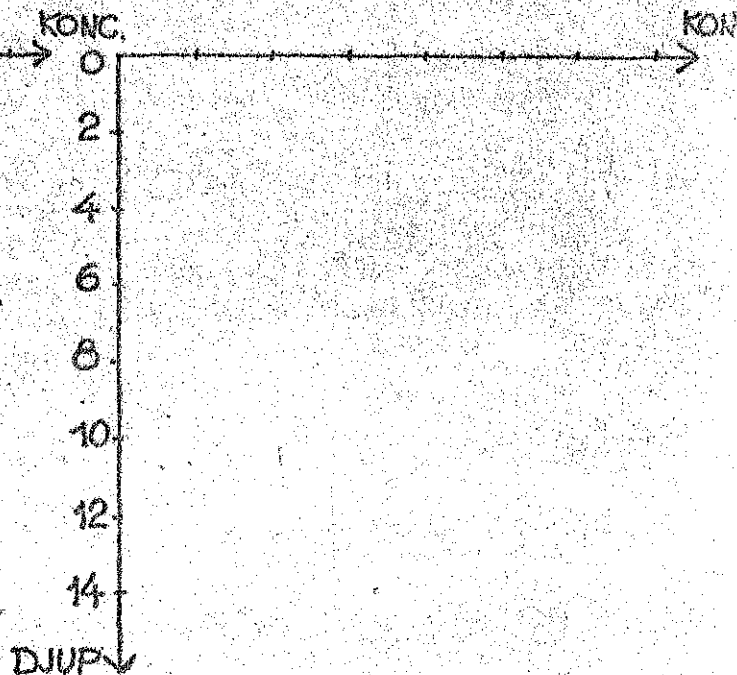
TID: 17.7-71 kl 17³⁰
 KOORD: -10/0



TID:
 KOORD:



TID:
 KOORD:



KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

TID: 17.7-71 kl. 20⁰⁰

KONC. 10^{-10}

↑

20

10

0

45°

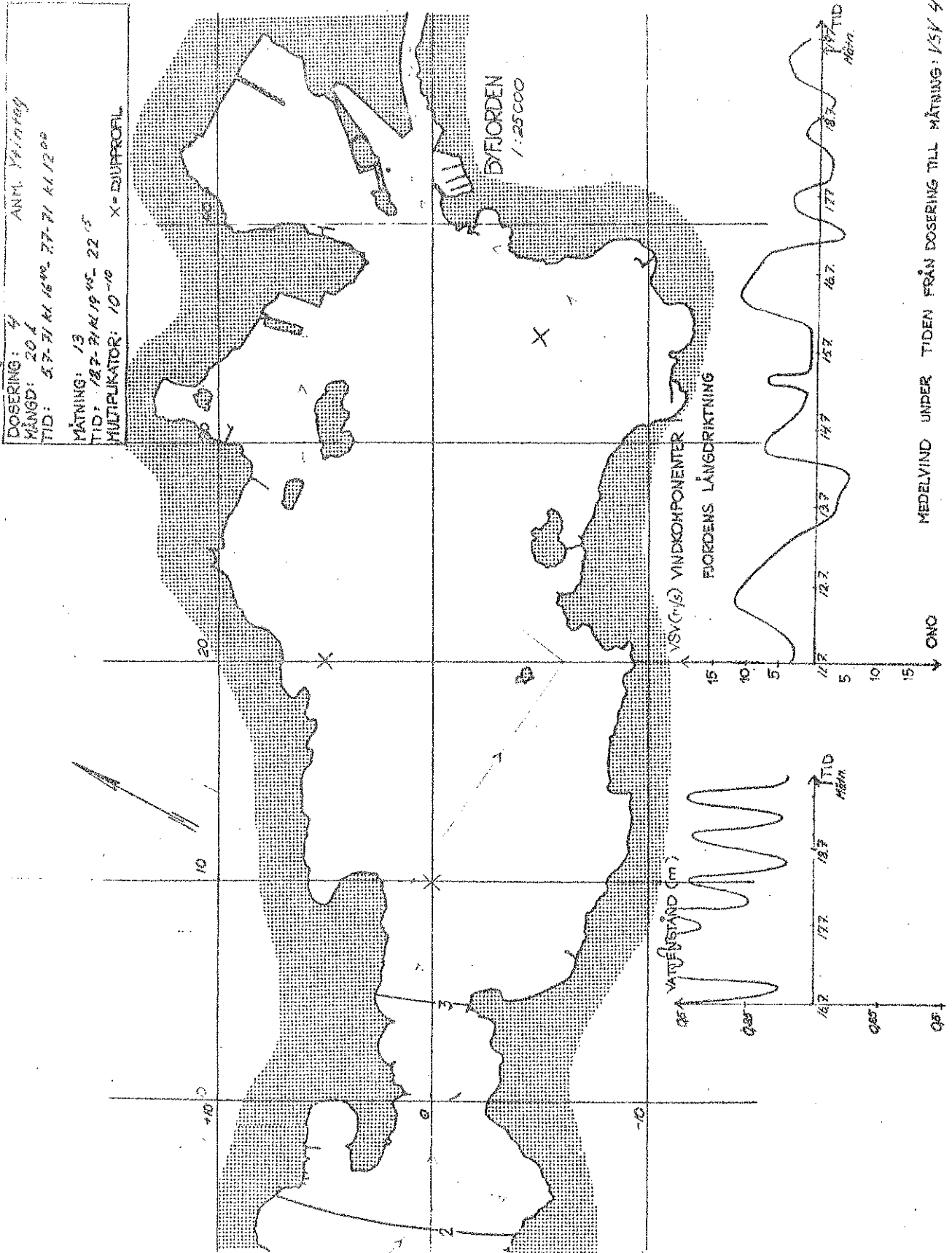
ÅMYNNING

50

JUNOKAJEN

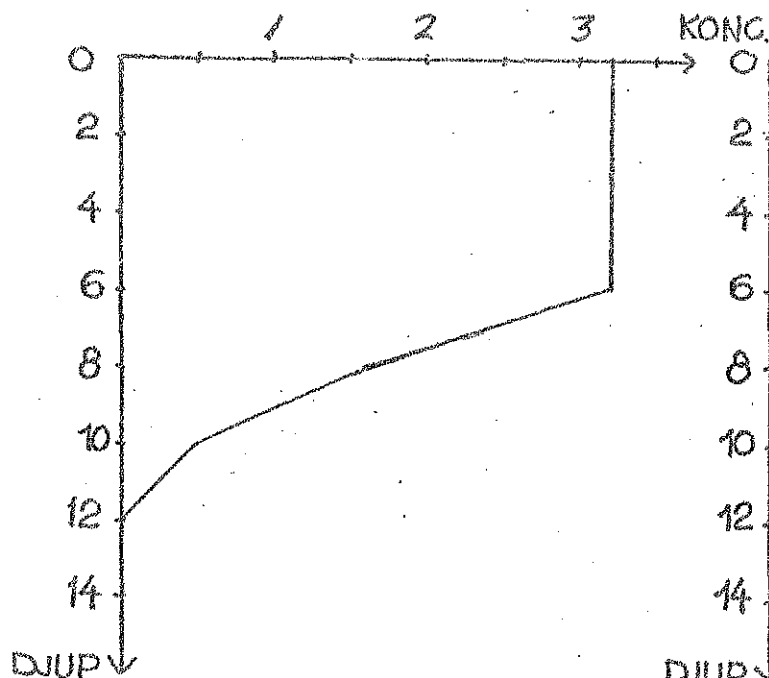
55

KOORD.
BRON

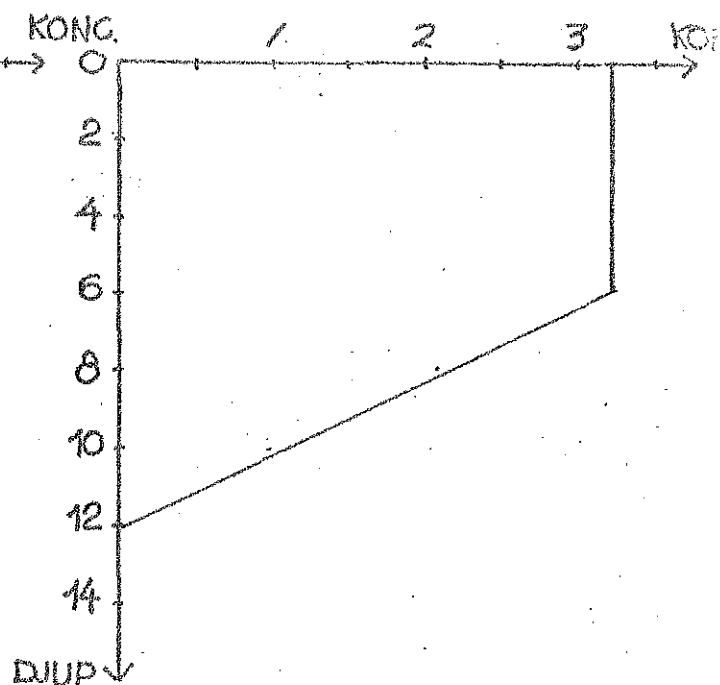


DJUPPROFILER

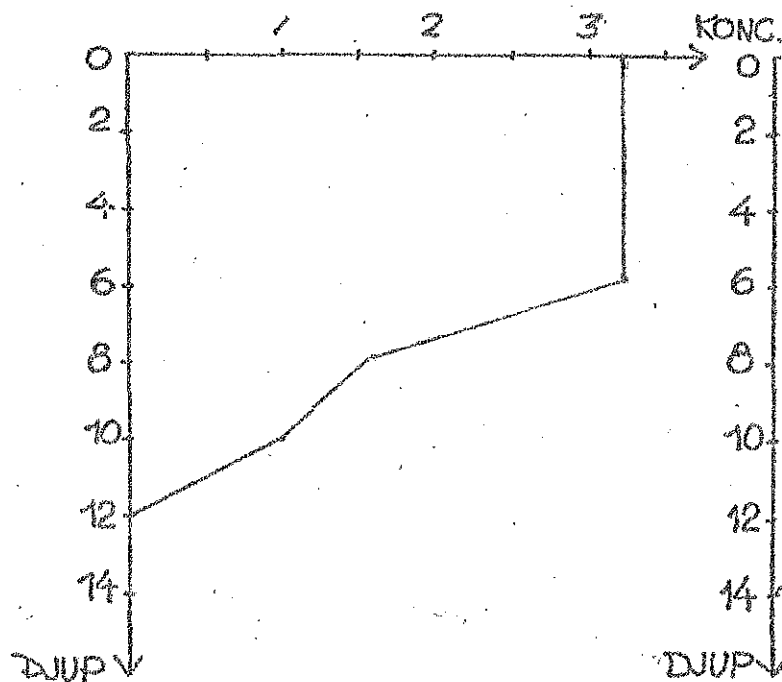
TID: 18.7.71 kl 19⁴⁵
 KOORD: 35/-5



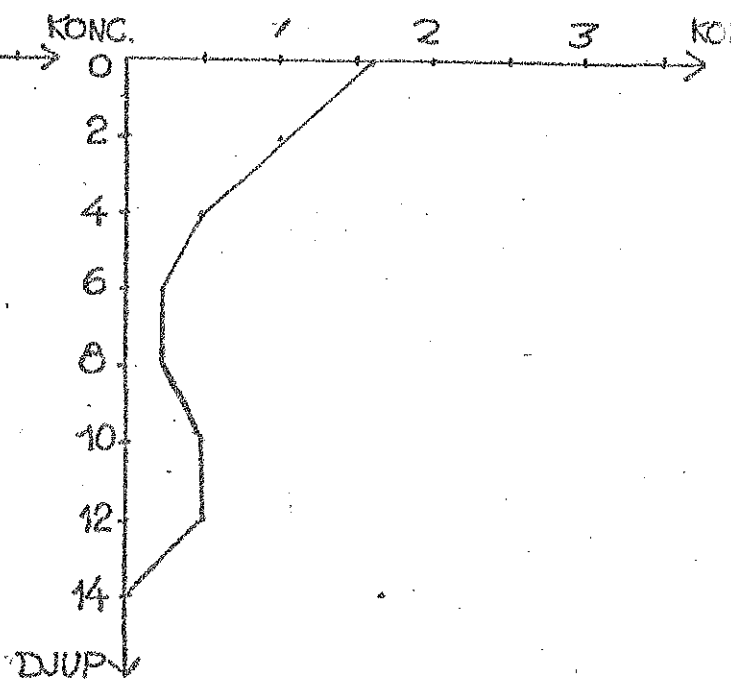
TID: 18.7.71 kl 20²⁰
 KOORD: 20/5



TID: 18.7.71 kl. 20²⁵
 KOORD: 10/0



TID: 18.7.71 kl. 20³⁰
 KOORD: -20/3



KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÄN

TID: 18.7-71 kl. 22⁰⁰

KONG. 10⁻¹⁰

↑

20

10

0

45°

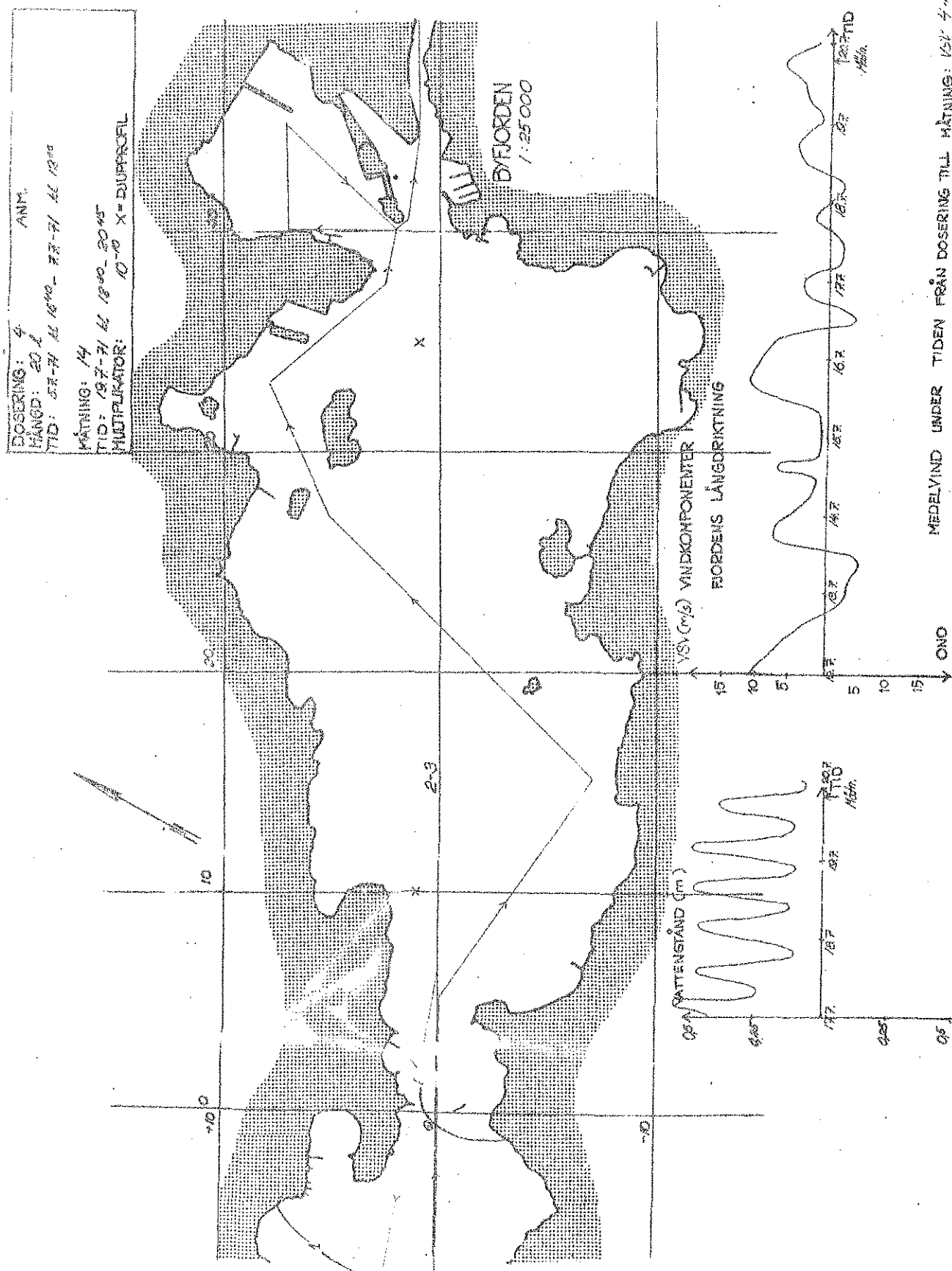
ÅMYNNING

50

JUNOKAJEN

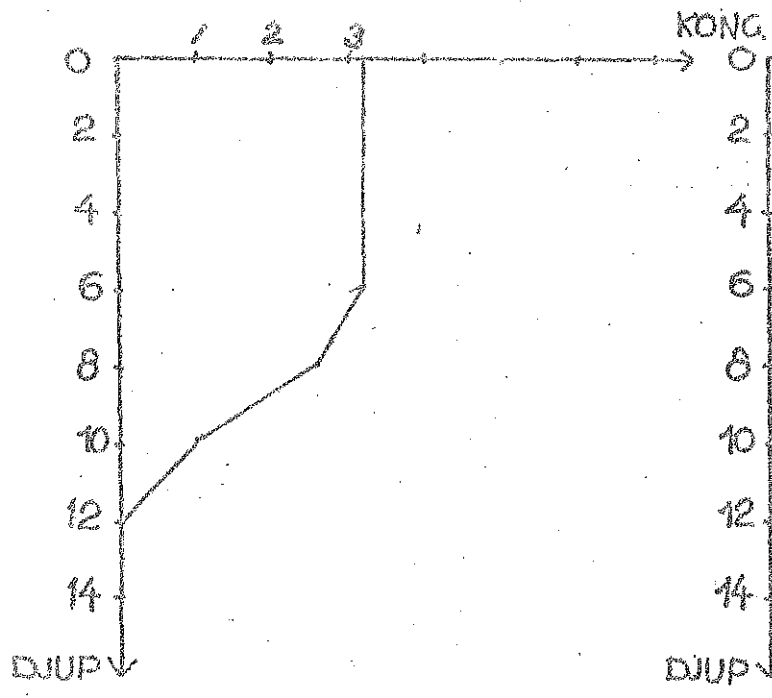
55

→ KOORD.
BRON

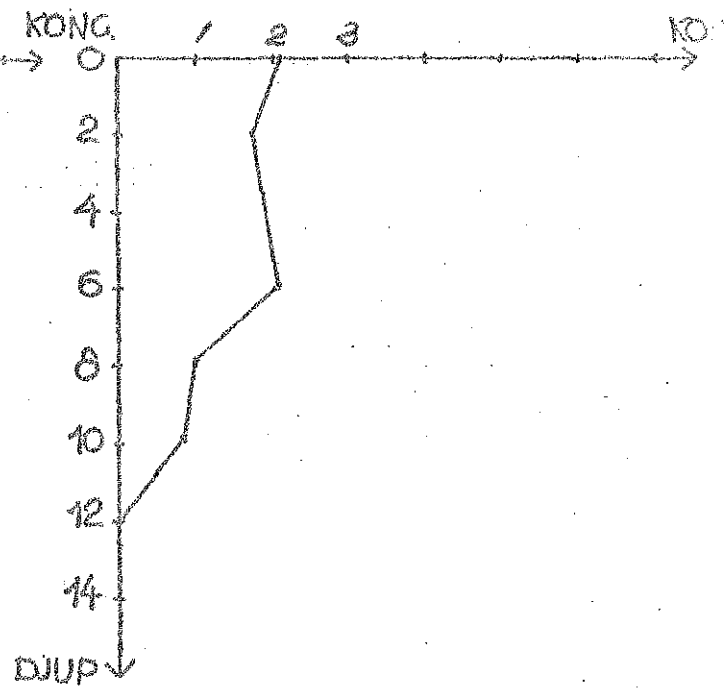


DJUPPROFILER

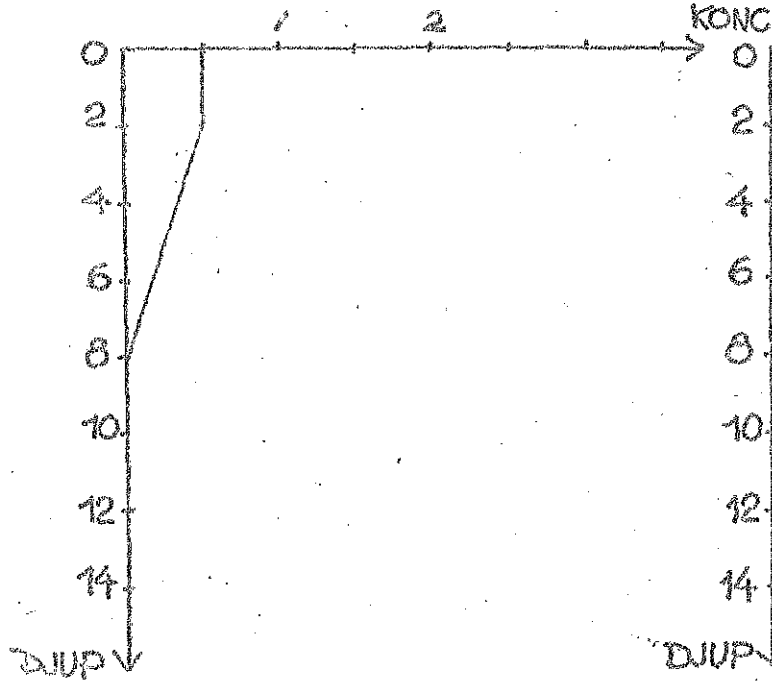
TID: 19.7-71 kl 18³⁰
KOORD: 35/1



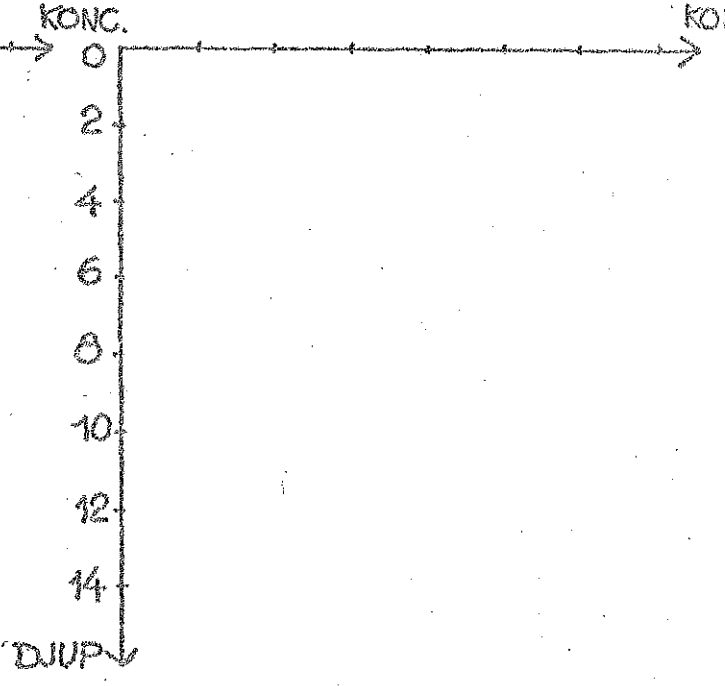
TID: 19.7-71 kl 18⁵⁵
KOORD: 10/1

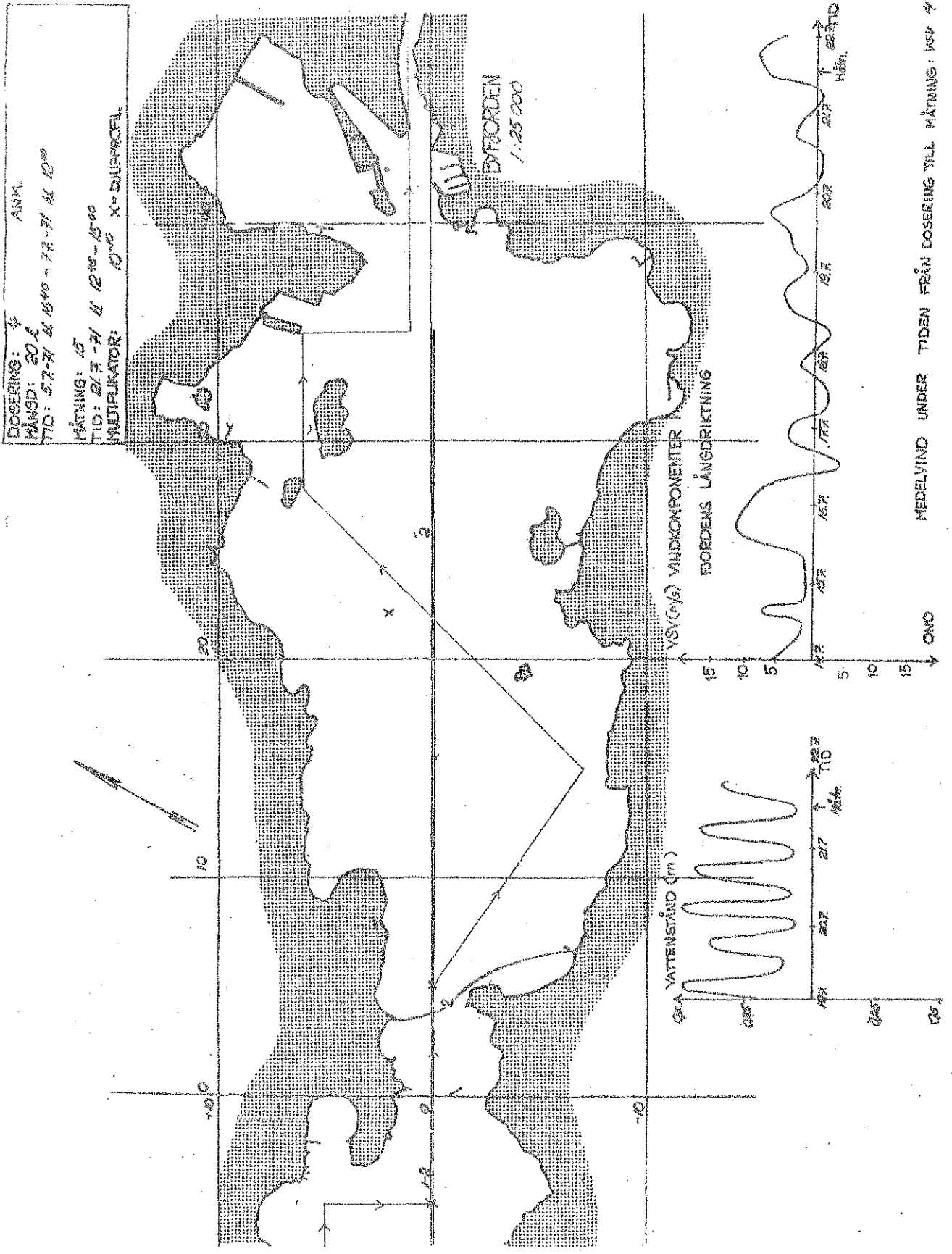


TID: 19.7-71 kl 19²⁵
KOORD: -20/+2



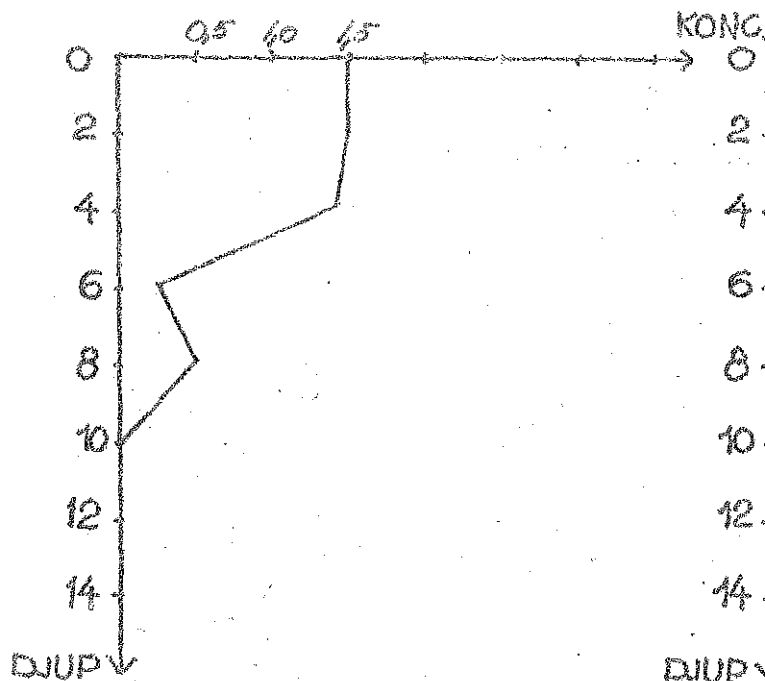
TID:
KOORD:



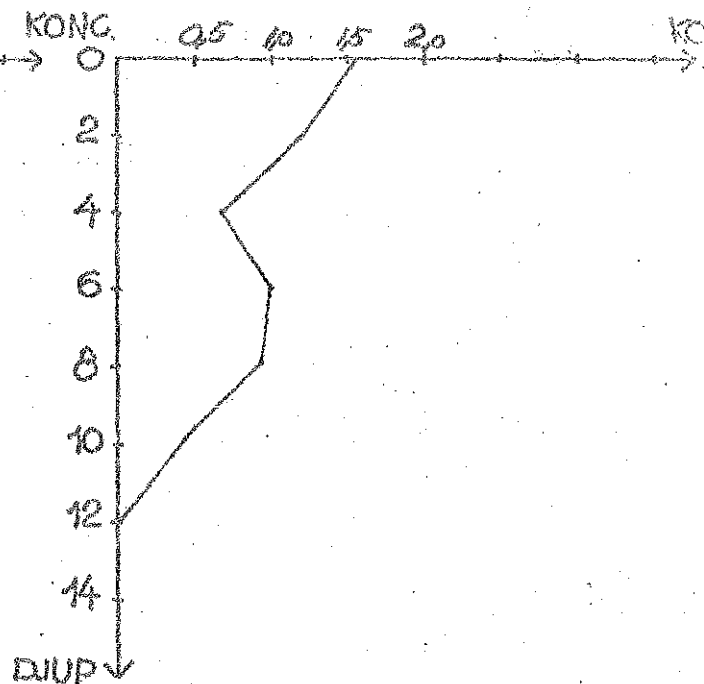


DJUPPROFILER

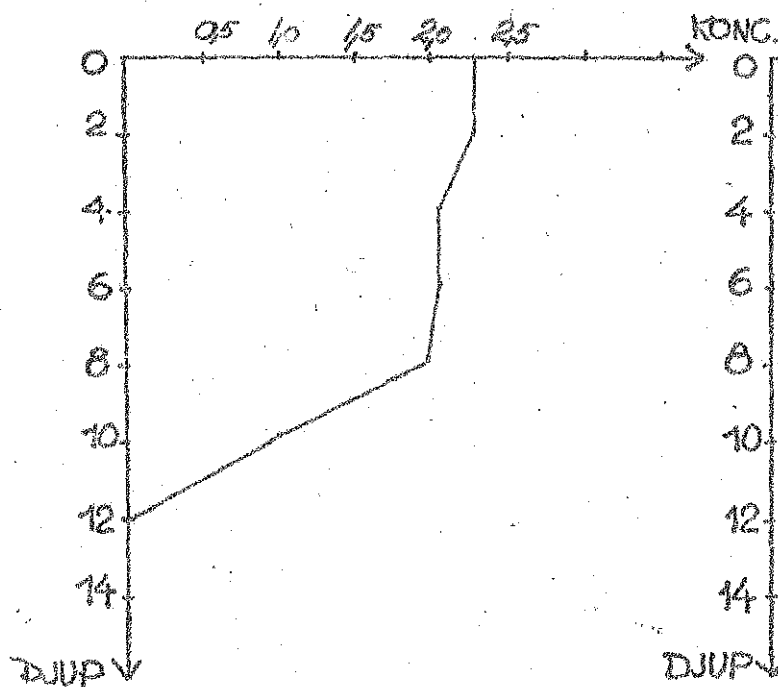
TID: 21.7-71 H 13⁴⁵
 KOORD: -5/0



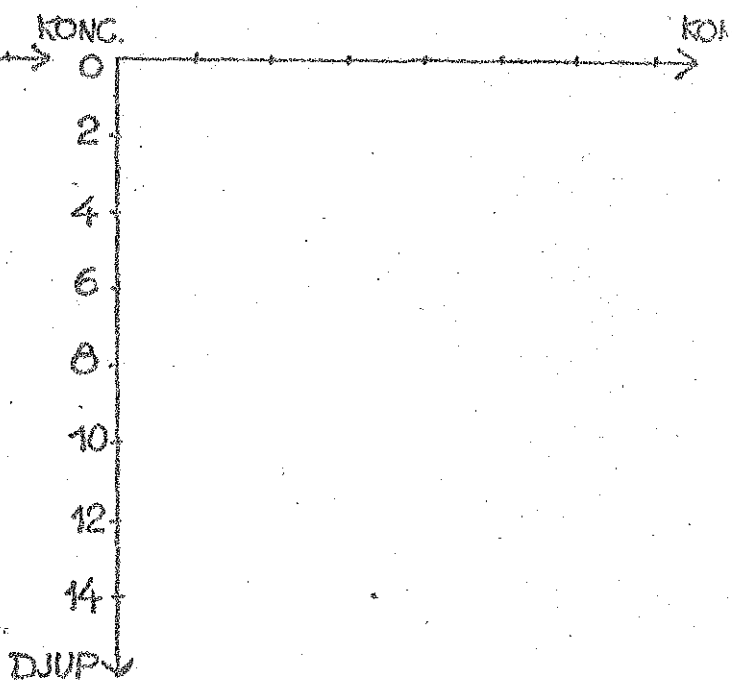
TID: 21.7-71 H 13⁵⁵
 KOORD: 5/0



TID: 21.7-71 H 14⁵⁰
 KOORD: 22/2



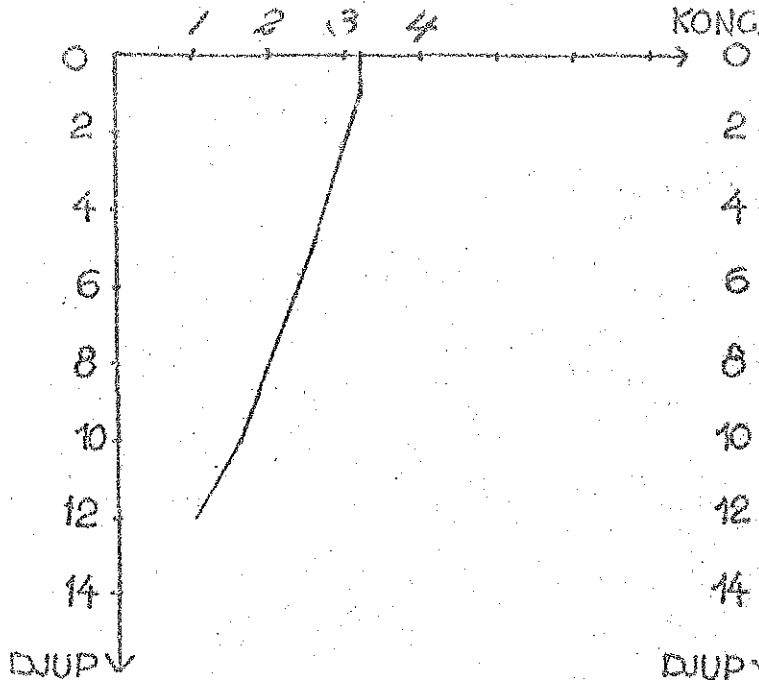
TID:
 KOORD:



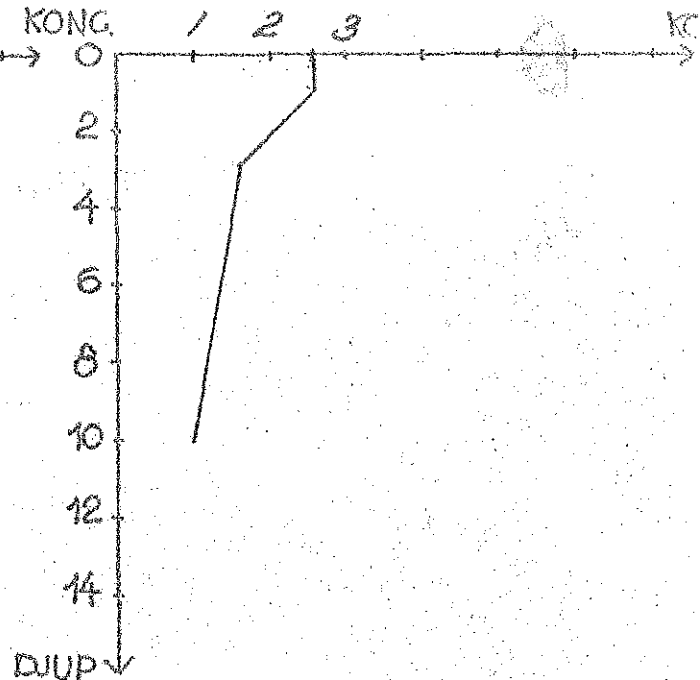
DJUPPROFILER

TID: 24.7.-71 kl. 17⁰⁰

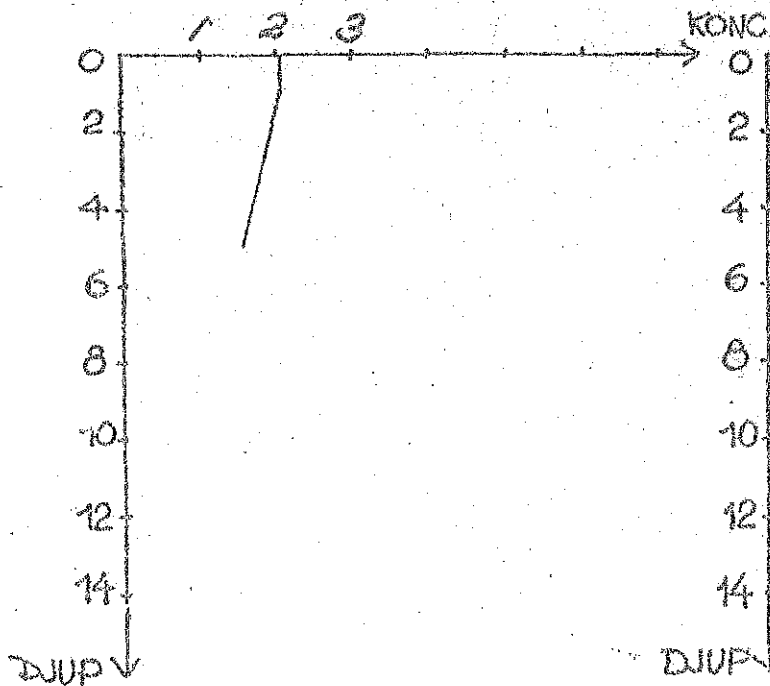
KOORD: 33/-3

TID: 24.7.-71 kl. 13³⁰

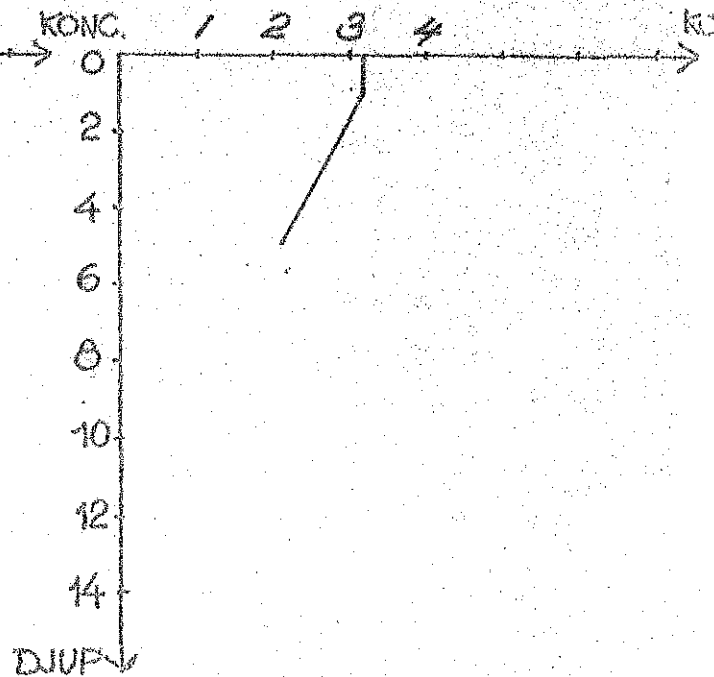
KOORD: 36/-2

TID: 25.7.-71 kl. 12⁰⁰

KOORD: 36/-4

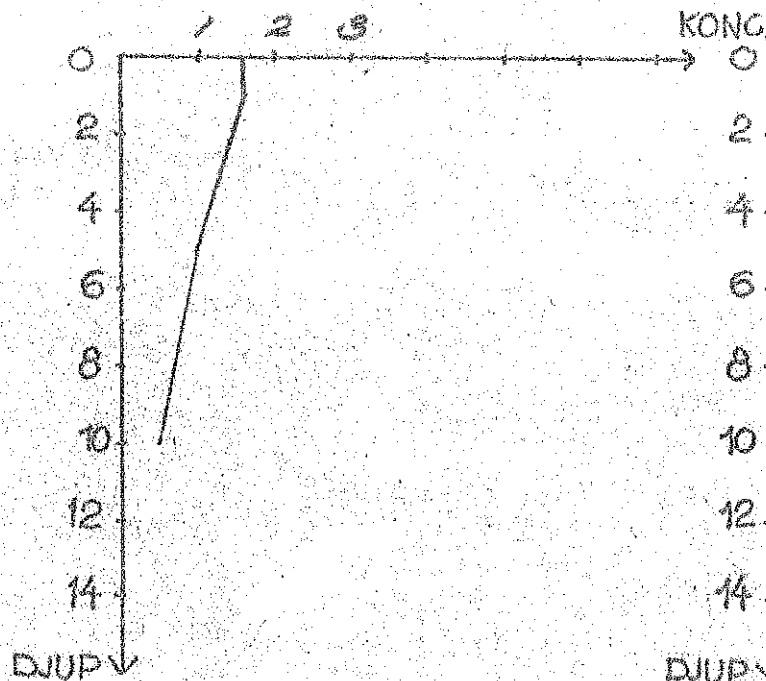
TID: 25.7.-71 kl. 15⁰⁰

KOORD: 30/-3

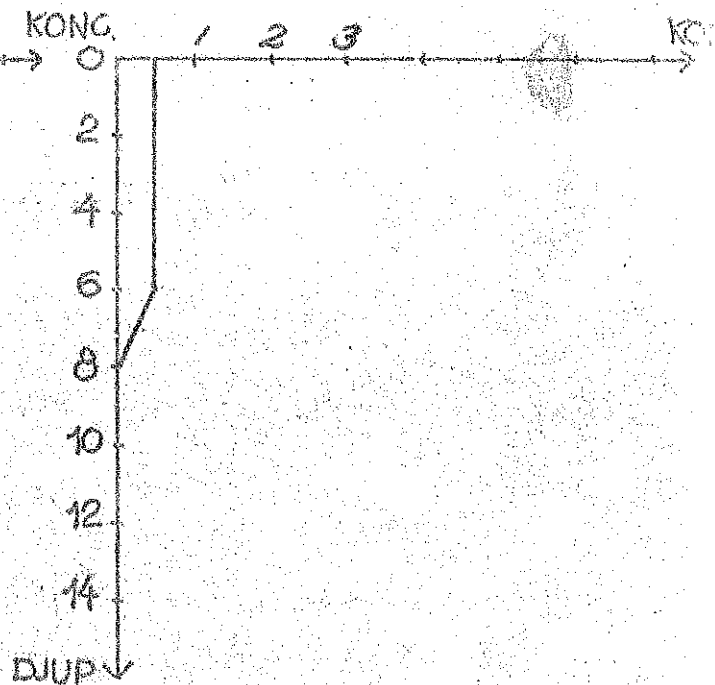


DJUPPROFILER

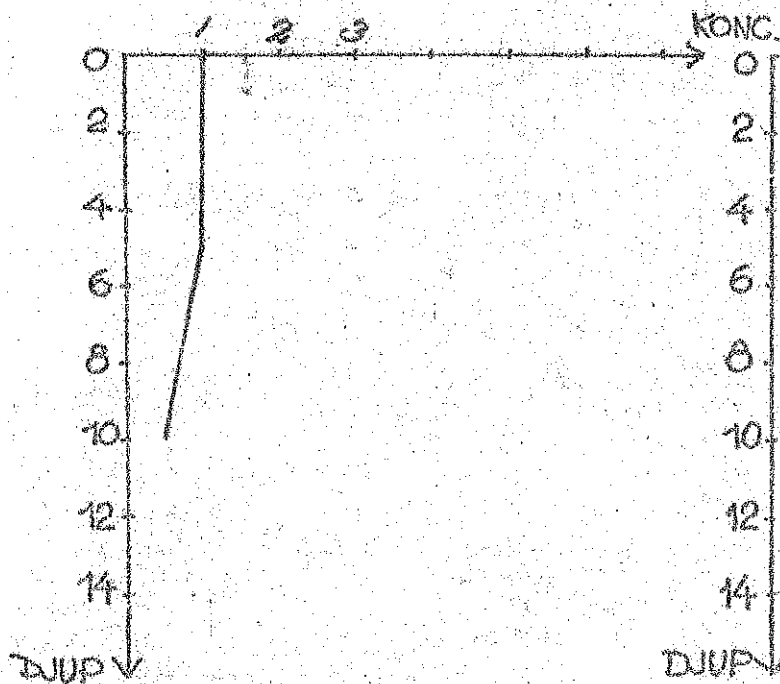
TID: 27.7-71 KL 16⁴⁰
 KOORD: 36/-4



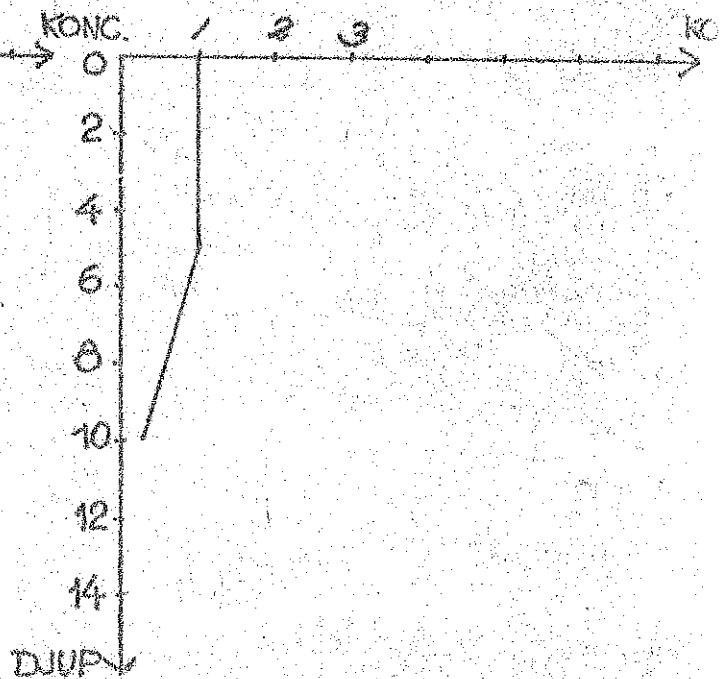
TID: 28.7-71 KL 11⁰⁰
 KOORD: 36/-5



TID: 28.7-71 KL 17⁴⁵
 KOORD: 25/+2



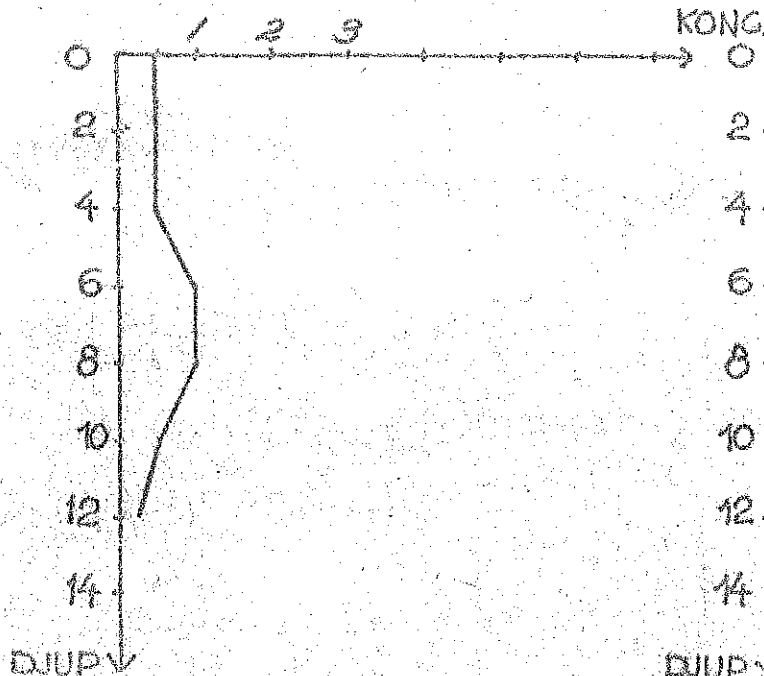
TID: 28.7-71 KL 18⁰⁰
 KOORD: 10/-2



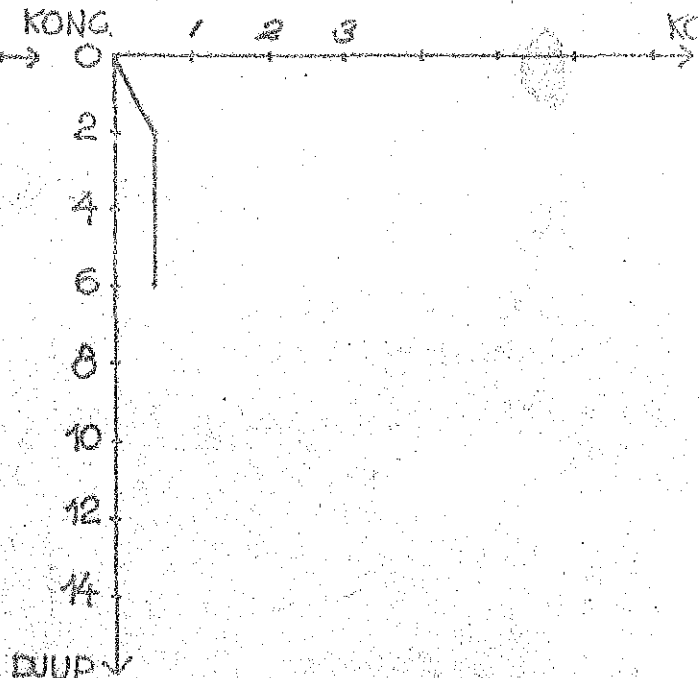
DJUPPROFILER

148.

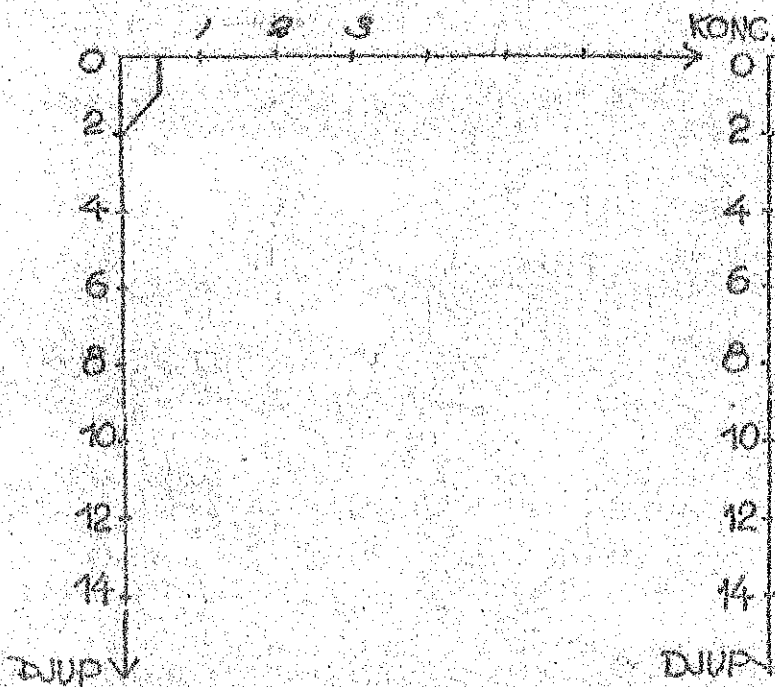
TID: 29.7-71 kl 12⁰⁰
KOORD: 36/-4



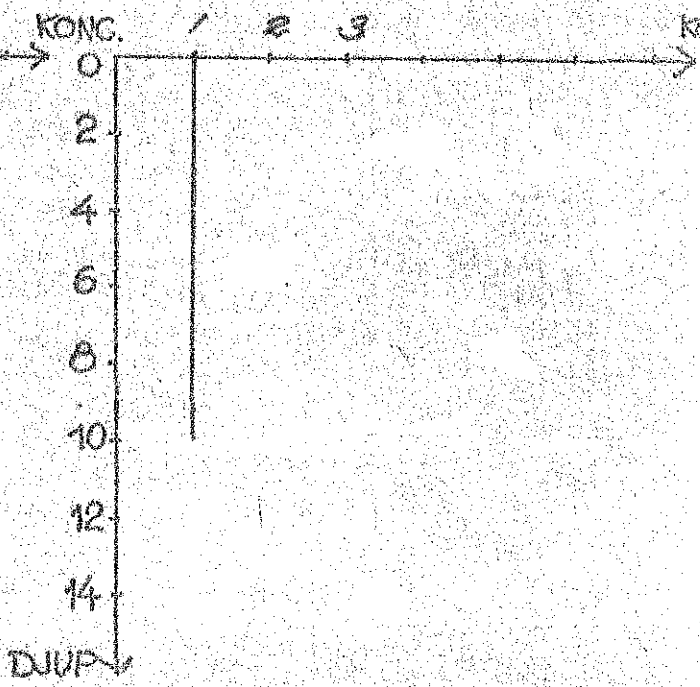
TID: 30.7-71 kl 9⁰⁰
KOORD: 36/-4



TID: 28-71 kl 17⁰⁰
KOORD: 36/-4



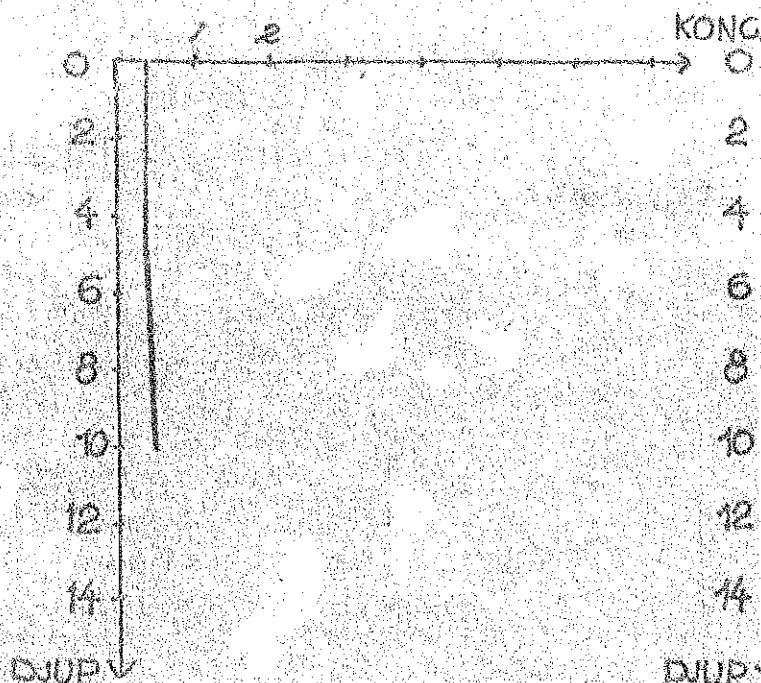
TID: 28-71 kl 21¹⁵
KOORD: 7/-2



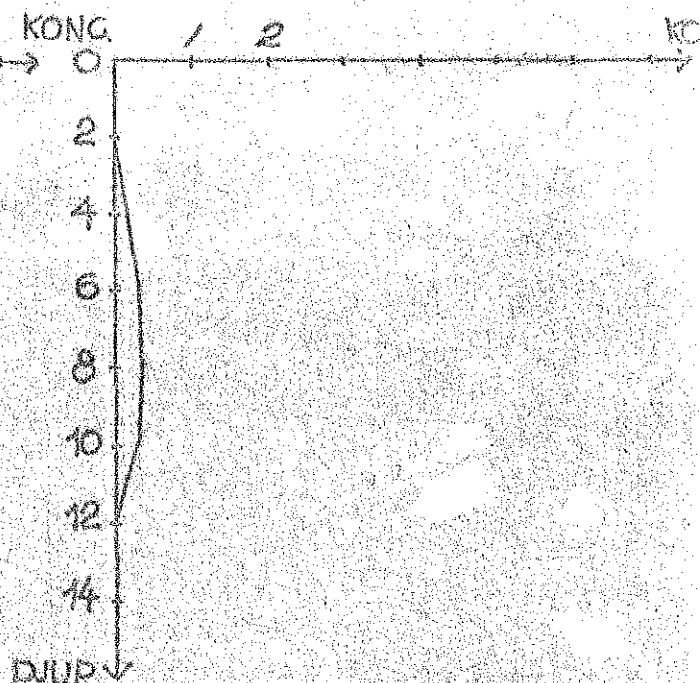
DJUPPROFILER

149.

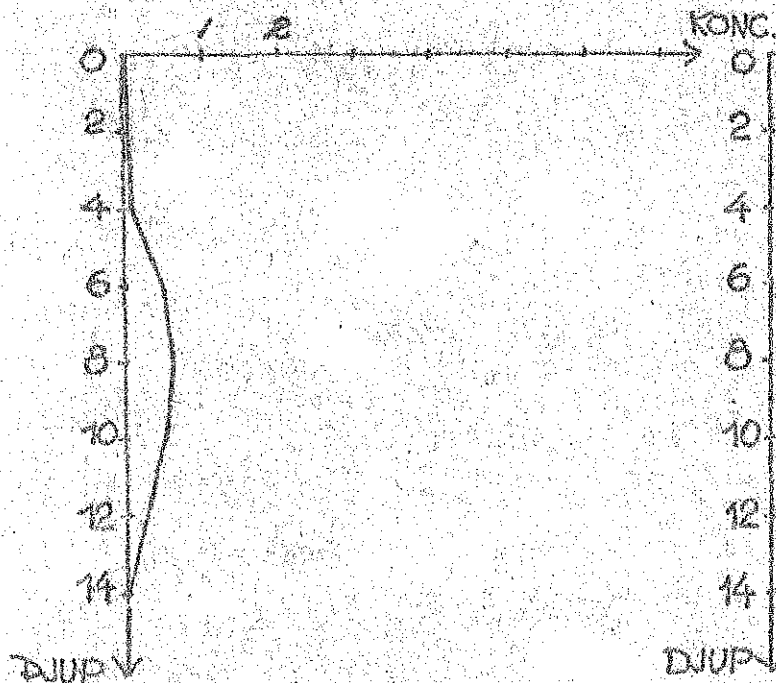
TID: 28-71 kl 22⁰⁰
KOORD: 30/0



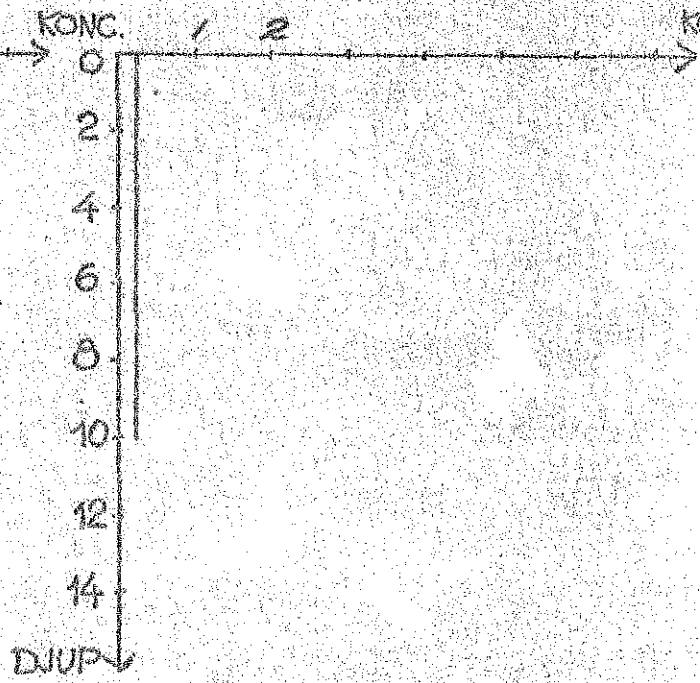
TID: 58-71 kl 11⁰⁰
KOORD: 33/-5



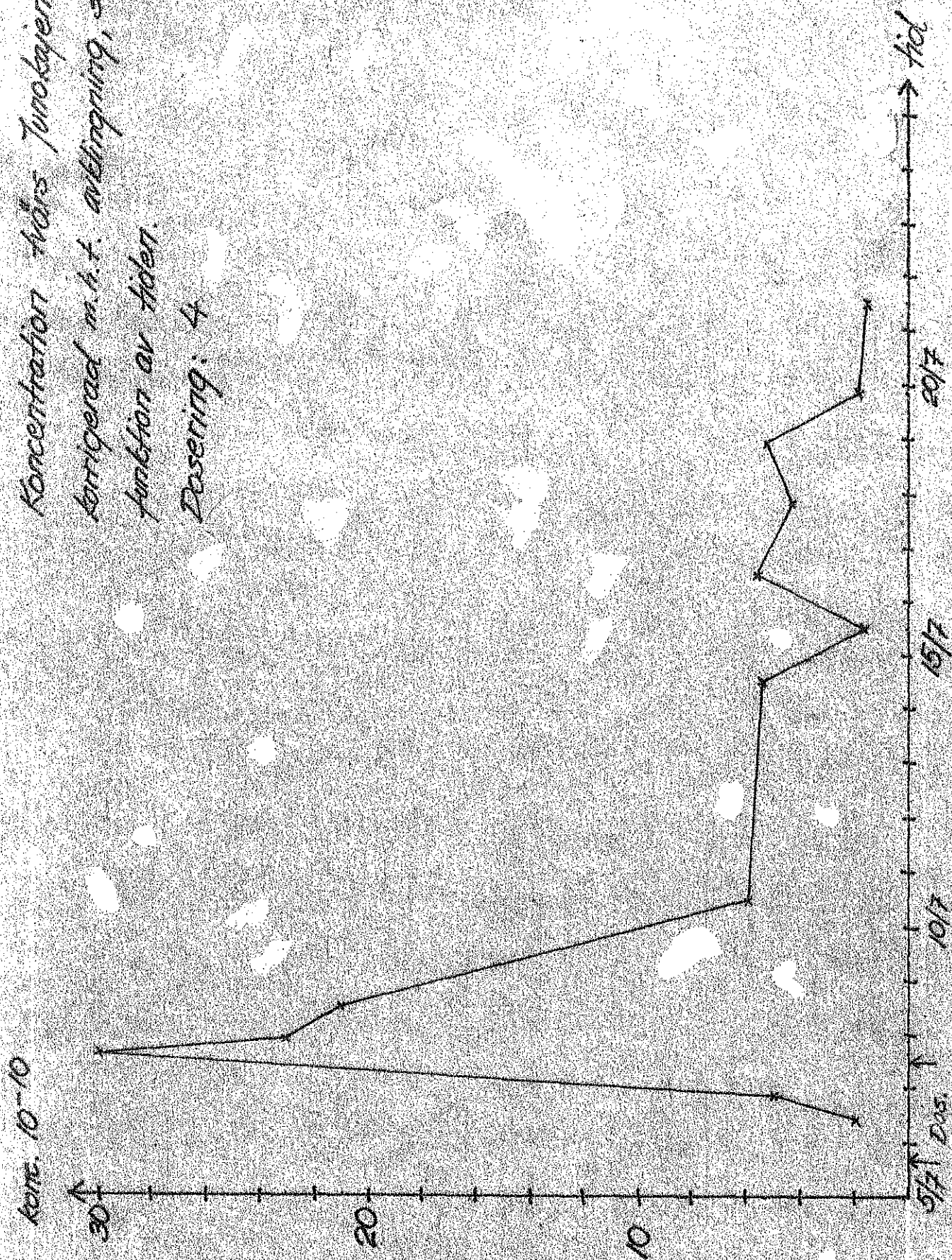
TID: 68-71 kl 11³⁰
KOORD: 33/-5



TID: 48-71 kl 8³⁰
KOORD: 36/-4



Koncentration av H_2O_2 (30/1),
 korrigerad m.h.t. avklingning, som
 funktion av tiden.
 Dosering: 4



6.6 Dosering 5

Doseringstid:	6/8 1971 kl. 12.40 - 8/8 1971 kl. 16.40
Rodaminlösning:	16 l rodamin, 224 l vatten
	Koncentration: 1:14
Effektiv doseringstid:	2705 min = 45 h 05 min
Vattenförling utloppsledning:	14,4 l/s
Pumpkapacitet:	1,48 ml/s
Koncentration rörmynning:	$0,74 \cdot 10^{-5}$
Initialutspädning i recipienten (enl kap. 3.2):	20 ggr
Koncentration ytan:	$0,37 \cdot 10^{-6}$
Inlagringsdjup:	Ytan
Avklingningskoefficient:	$e^{-0,015 T}$

Anmärkning: Pumpstop 6/8 kl 9.00-14.25 på grund av att elektriska motorn i pumpen brann. Även 8/8 kl. 15.30-16.15 då ventilererna rengjordes.

Mätningar:

Tid	Ytmätning	Djupprofil antal	Avklingning	Sid.
8/8 kl. 13.50-17.00	x		x	153-154
9/8 kl. 11.05-13.50	x	3		155-157
10/8 kl. 10.00-12.05	x	3		158-160
11/8 kl. 12.30-15.40	x	3	x	161-163
12/8 kl. 16.00-19.25	x	4	x	164-166
13/8 kl. 13.30-16.30	x	4	x	167-169
14/8 kl. 09.30-12.15	x	3	x	170-172
16/8 kl. 17.15-20.10	x	3	x	173-175

Anm. Natten mellan 8/8 och 9/8 slet sig den flotte, vid vilken avklingningsproverna var upphängda. Flotten drev in på land, varvid flaskorna krossades. Nytt ställ med ny blandning i flaskor tillverkades. 11/8 upphängdes det nya flaskstället vid aktern på en lastbåt som låg uppankrad utanför Skeppsviken. Koncentrationen på de nya proverna var 10^{-8} .

Kommentar:

Spridningen i ytan sker relativt snabbt och 5 dagar efter doseringens början registreras rodamin utanför Sunninge sund. Detta tyder på en snabb uttransport av ytvatten, vilket stämmer dåligt överens med tidigare iakttagelser med liknande vindförhållanden.

Den vertikala omblandningen sker förhållandevis långsamt och hinner aldrig utbildas fullständigt, vilket även tyder på en uttransport av ytvatten. Enligt tidigare mätningar med liknande yttre betingelser som de i denna dosering, borde utspädningen ske långsamt i horisontalled, medan omblandningen i vertikalled borde bli god. Detta sker emellertid inte. Förklaringen till detta är svår att finna. Det bör dock noteras att salthalten i Havstensfjordens ytvatten är ca 2 ‰ högre än motsvarande salthalt i Byfjorden, vilket skulle kunna innebära att strömmarna blir enligt fig. 23.

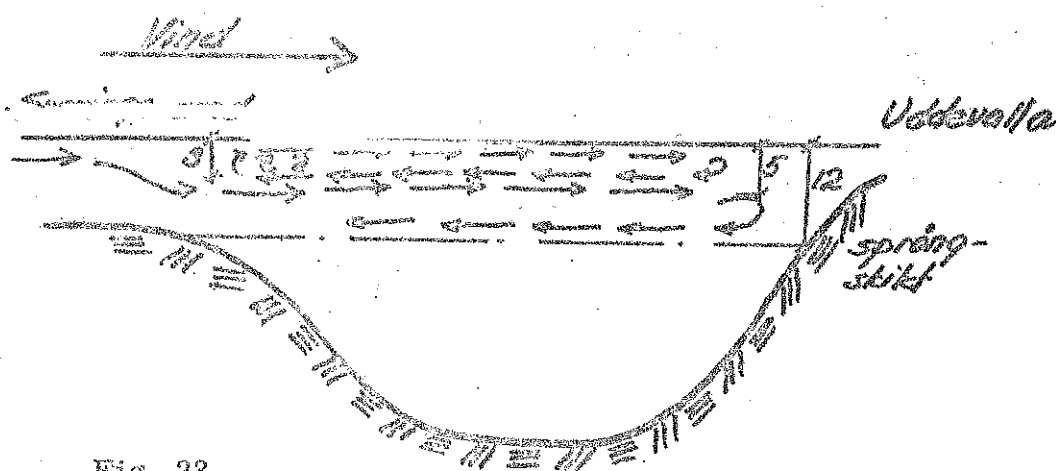


Fig. 23

En cirkulation av denna typ skulle kunna orsaka den uppmätta spridningen. Vid tidigare doseringar var salthalten i hela ytskiktet ungefär lika i Byfjorden och i Havstensfjorden. Tyngdpunkten i molnet förskjutes omväxlande mot norra resp södra stranden i samband med att vinden växlar mellan sydvästlig och nordvästlig.

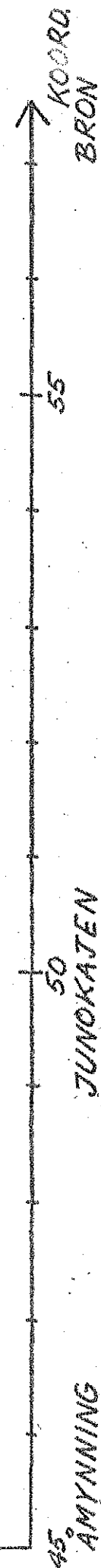
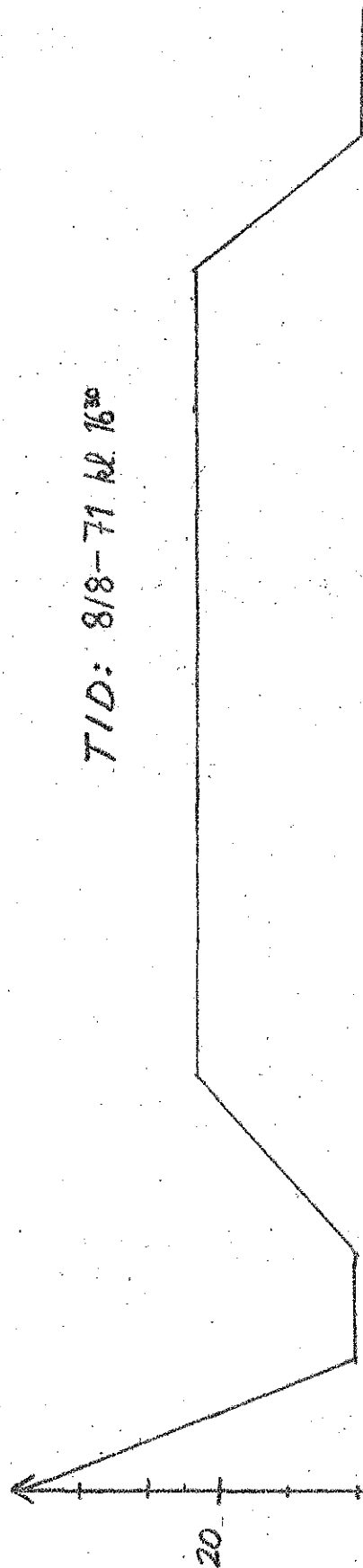
Under och strax efter doseringen är koncentrationen i Bäveån hög. Anmärkningsvärt är de höga koncentrationerna långt uppe i ån. 2 dygn efter doseringens slut minskar koncentrationen snabbt till en låg nivå och är därefter i stort sett konstant.

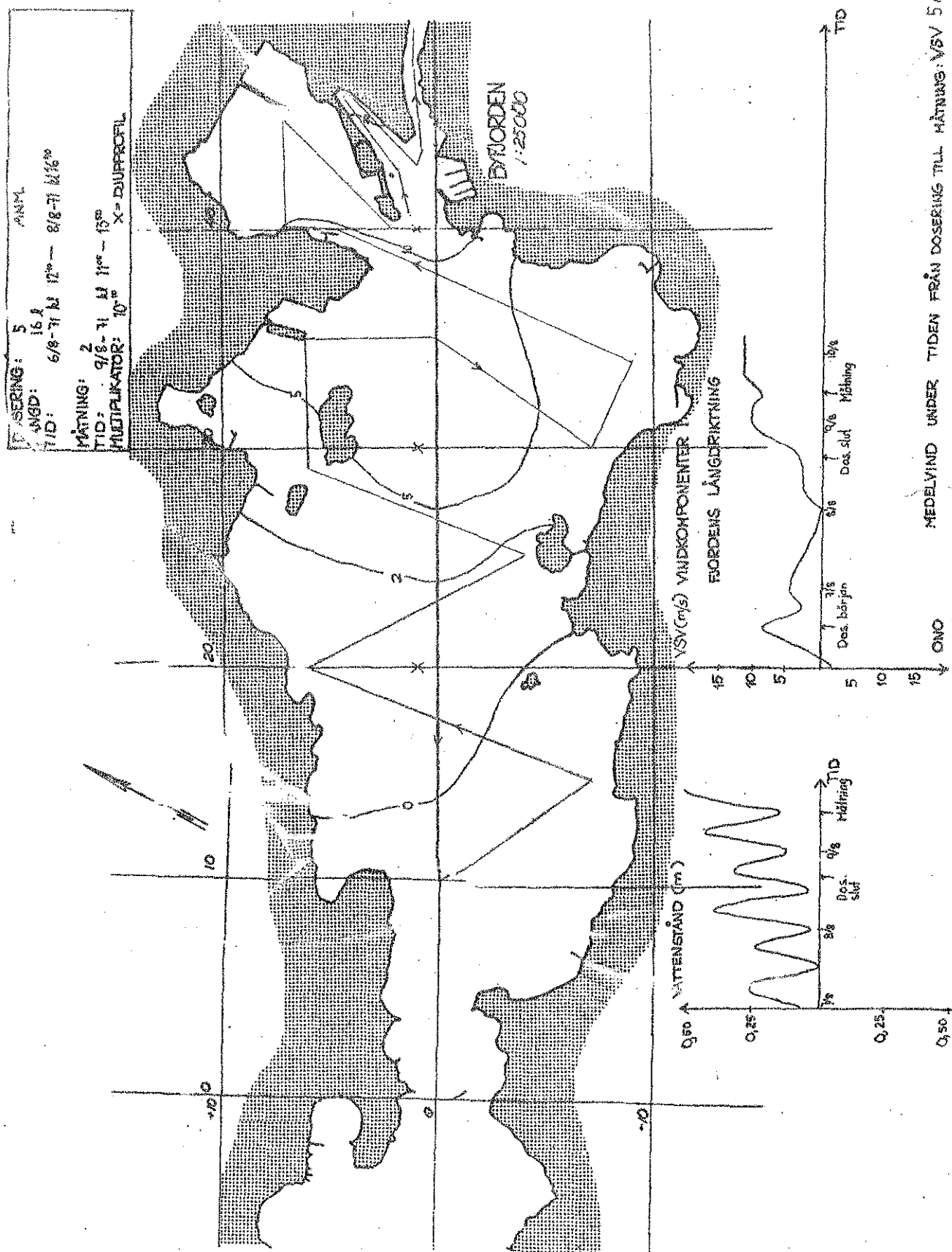
Avklingningen under perioden var lägre än medelvärdet beroende på ihållande mulet väder.

KONCENTRATION PÅ 1m DJUP I BÄVEÅN

TID: 8/8-71 kl 16³⁰

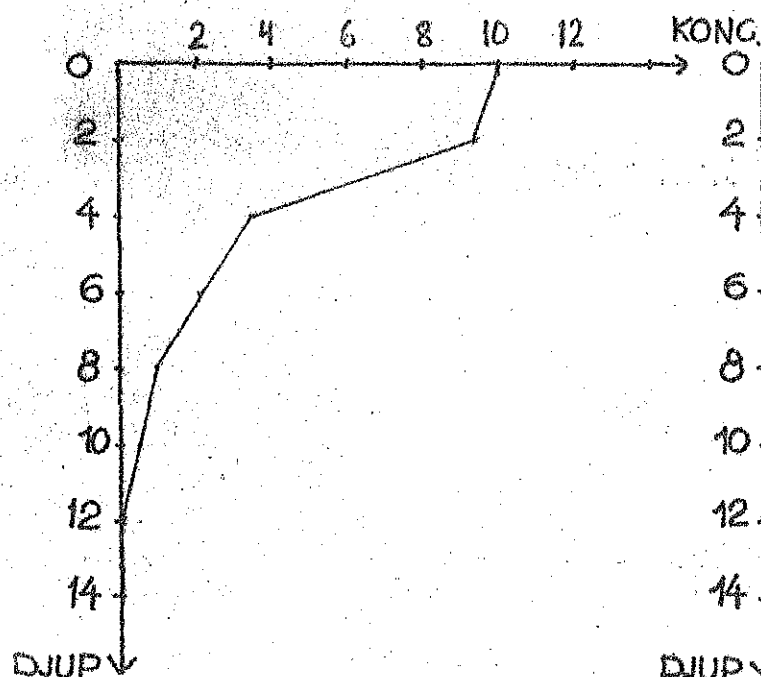
KONC. 10⁻¹⁰



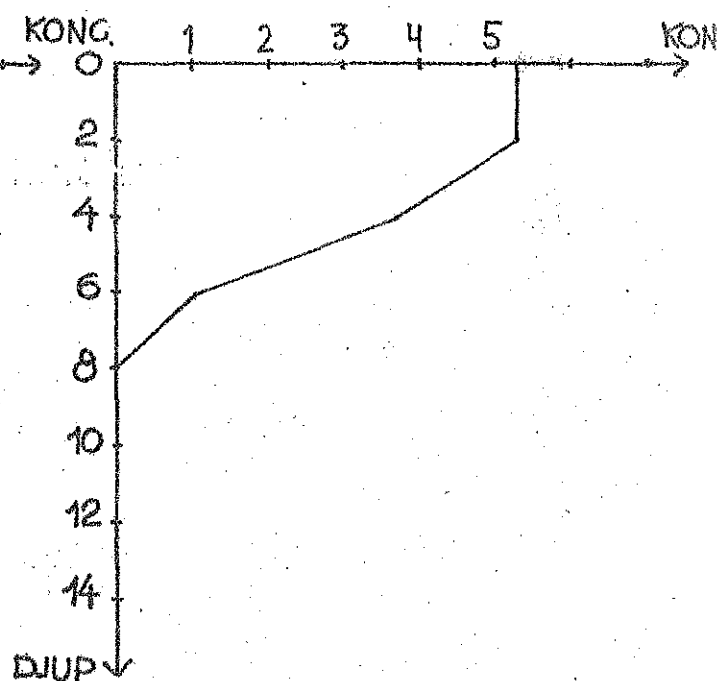


DJUPPROFILER

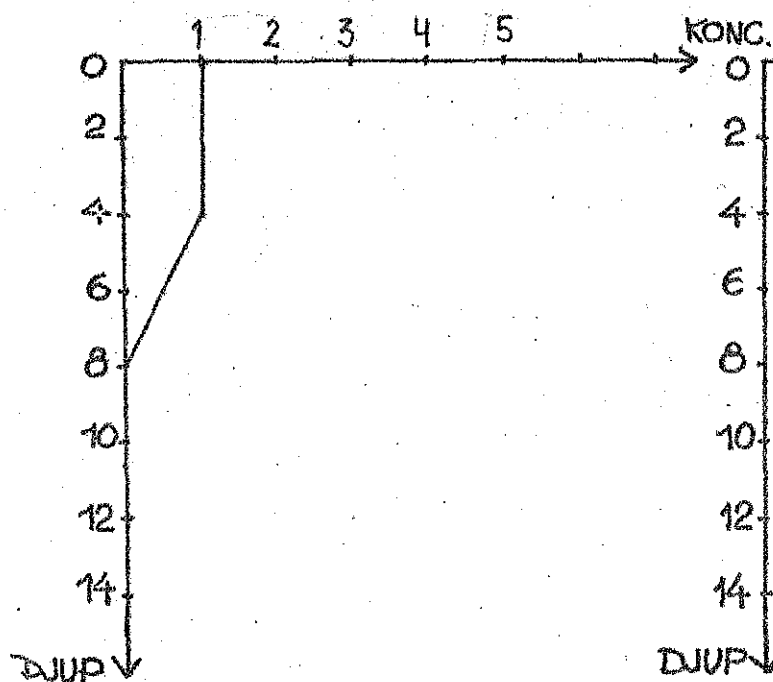
TID: 9/8-71 kl 13¹⁰
 KOORD: 40/+1



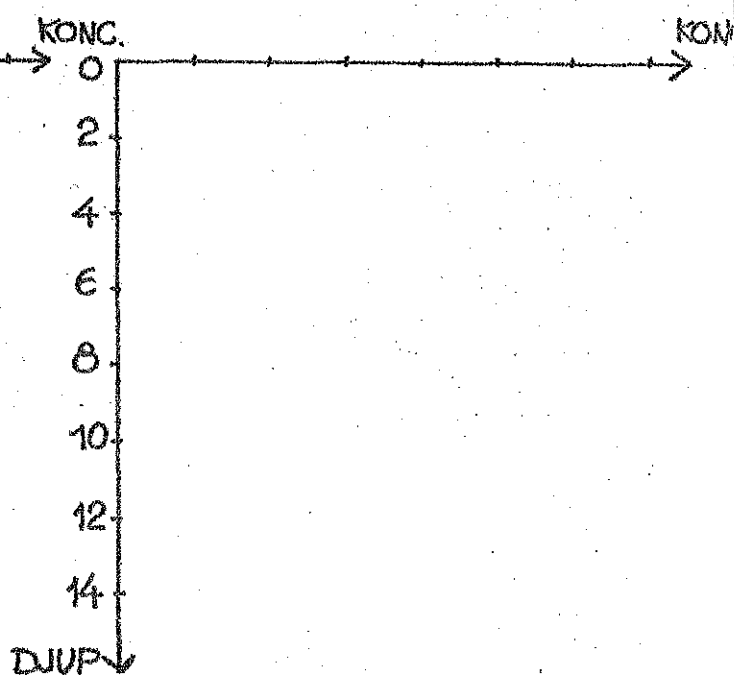
TID: 9/8-71 kl 13³⁰
 KOORD: 30/+1



TID: 9/8-71 kl 13⁴⁰
 KOORD: 20/+1



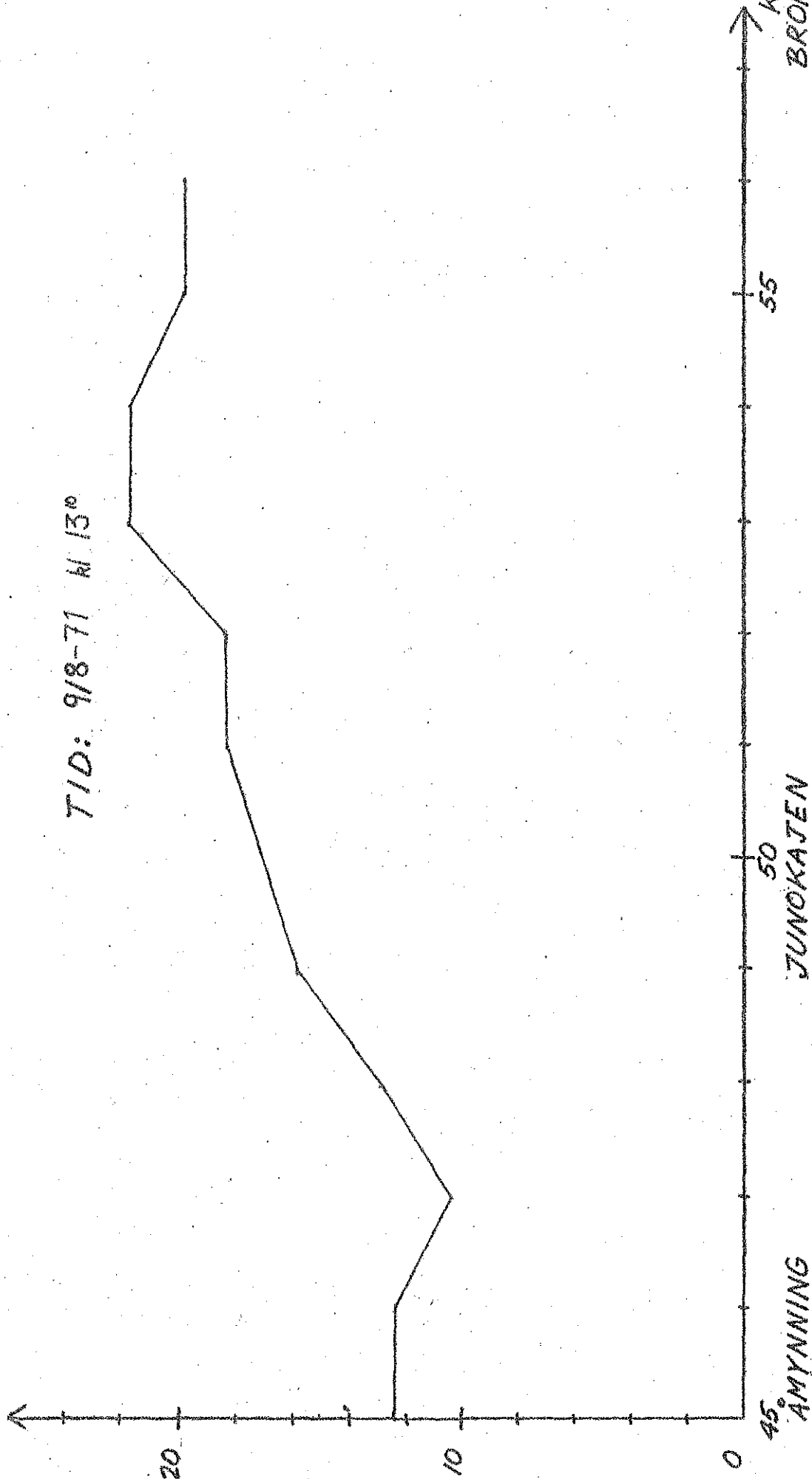
TID:
 KOORD:



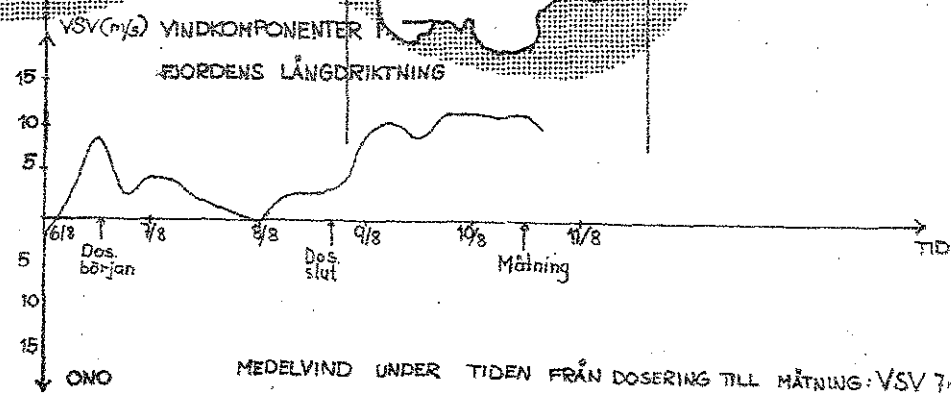
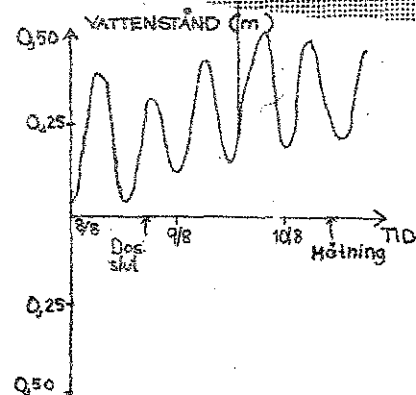
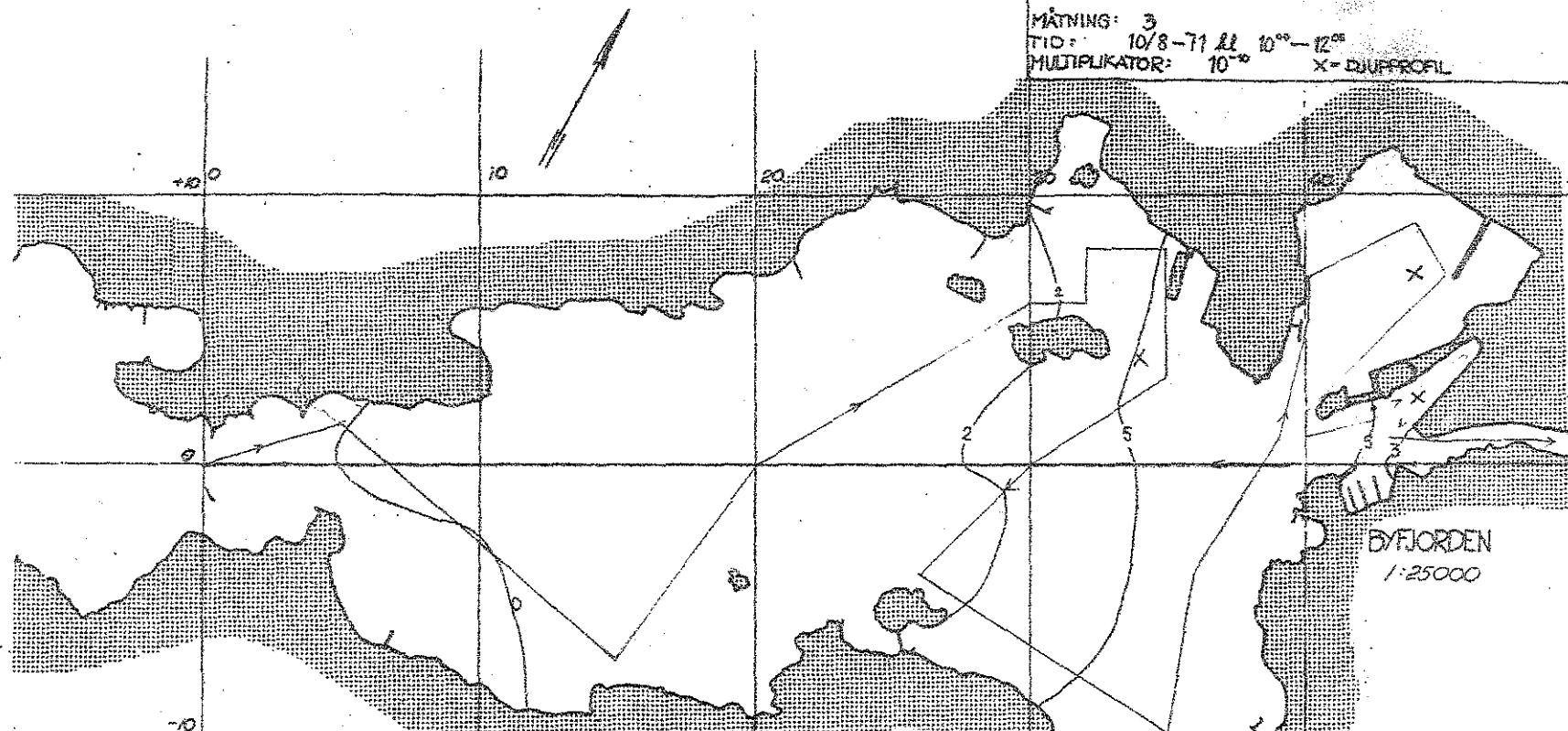
KONCENTRATION PÅ 1m DJUP I BÄVEÅN

TID: 9/8-71 kl 13⁰⁰

KONC. 10⁻¹⁰

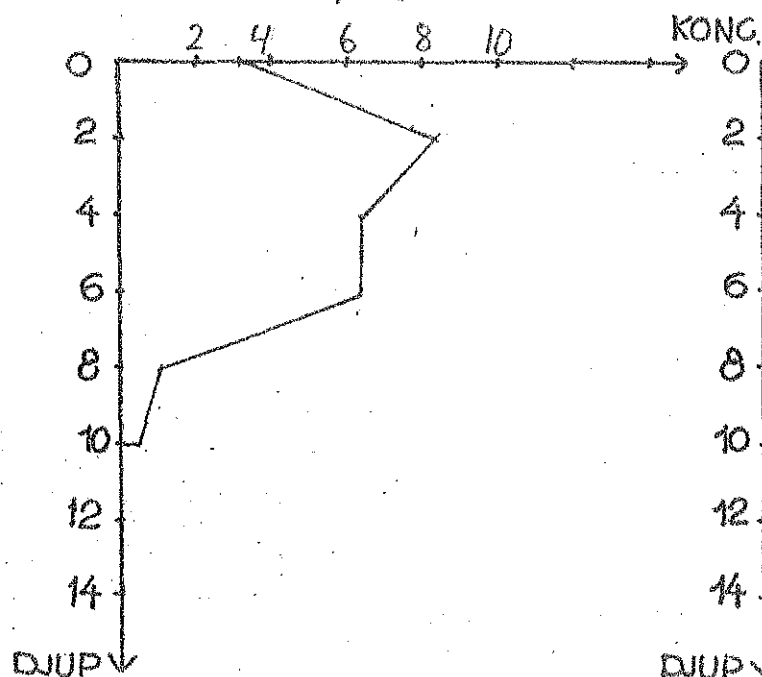


DOSERING: 5 ANM
 MÄNGD: 16,8
 TID: 6/8-71 kl 12⁰⁰ - 8/8-71 kl 16⁰⁰
 MÄTNING: 3
 TID: 10/8-71 kl 10⁰⁰ - 12⁰⁰
 MULTIPLIKATOR: 10⁻¹⁰ X = DJUPPROFIL

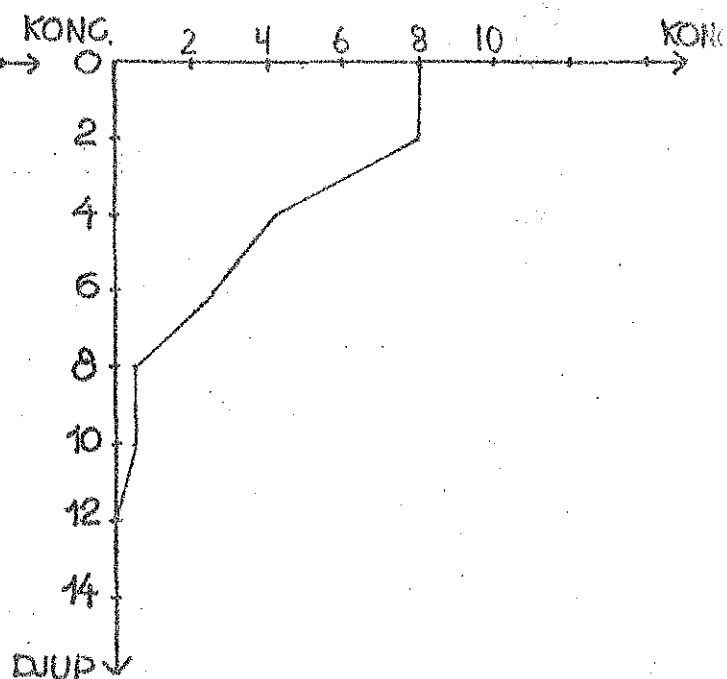


DJUPPROFILER

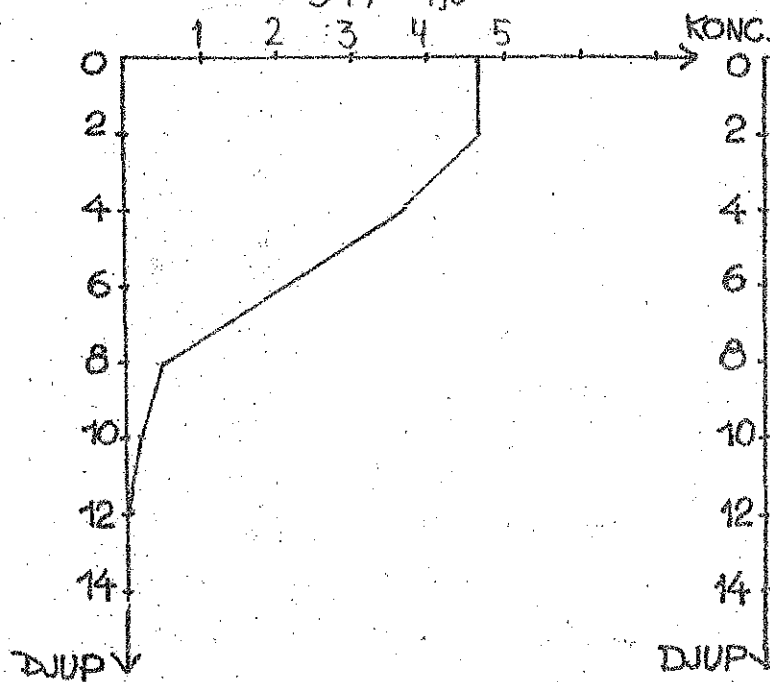
TID: 10/8-71 kl. 12¹⁵
 KOORD: 44/+2,5



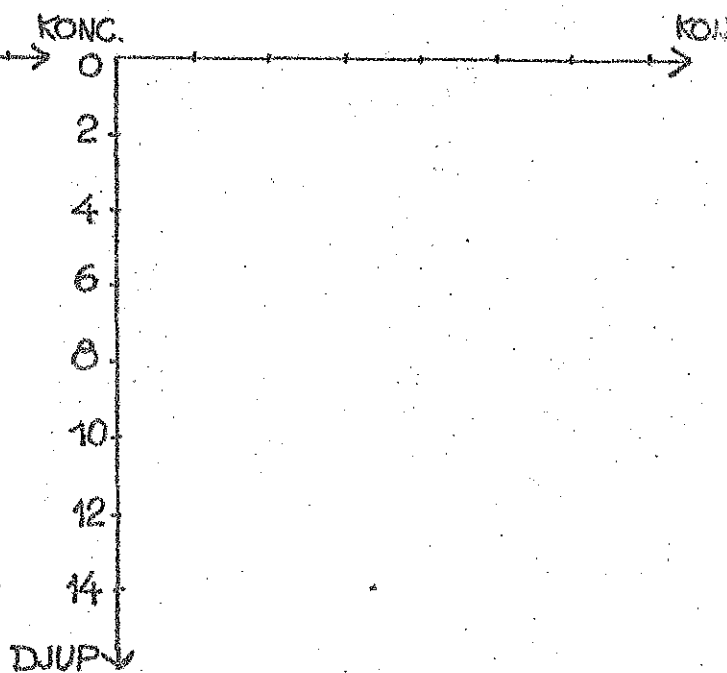
TID: 10/8-71 kl. 12³⁰
 KOORD: 44/+7



TID: 10/8-71 kl. 12⁴⁵
 KOORD: 34/+4,5



TID:
 KOORD:



KONCENTRATION PÅ 1m DJUP I BÄVEÅN

TID: 10/8-71 kl 12⁰⁰

KONC. 10⁻¹⁰



20

10

0

45°

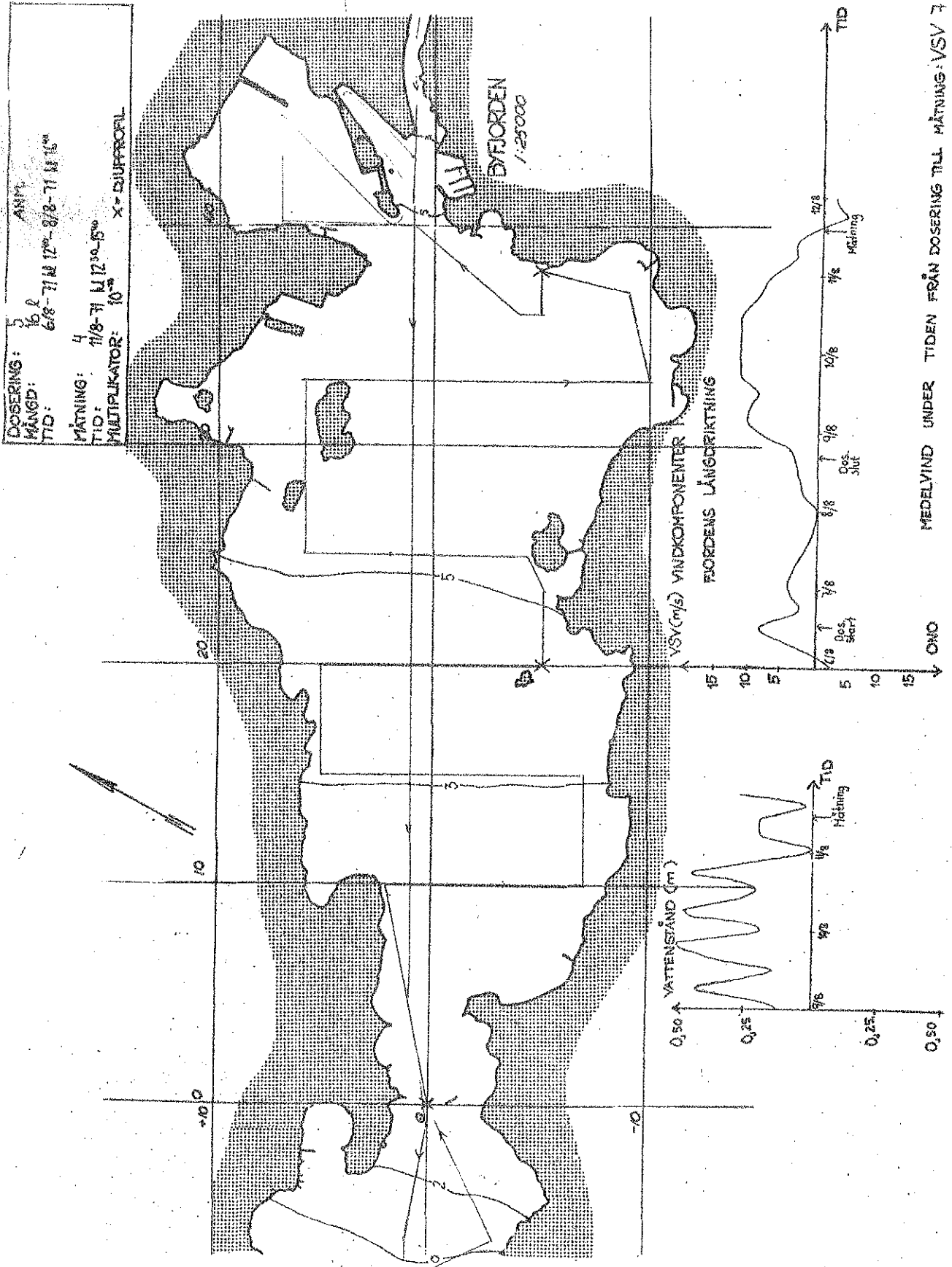
ÅMYNNING

50

JUNOKAJEN

55

KOORD.
BRON

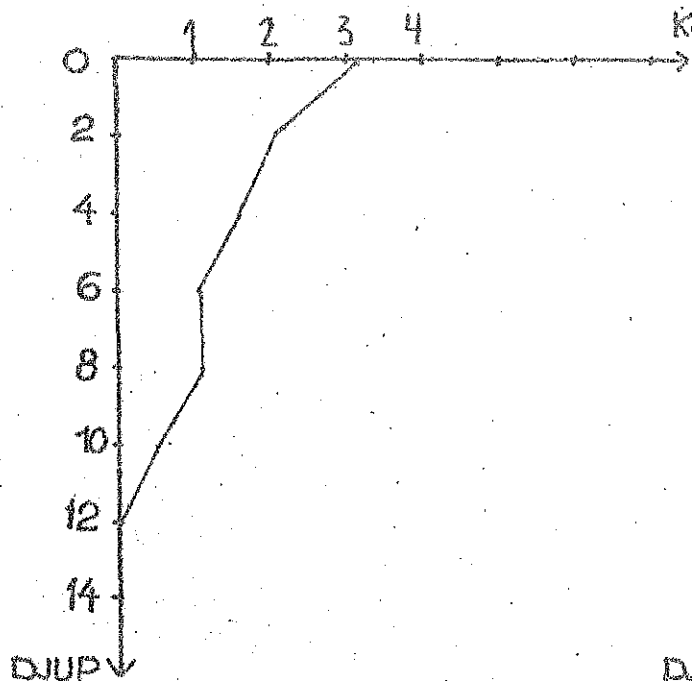


DJUPPROFILER

162.

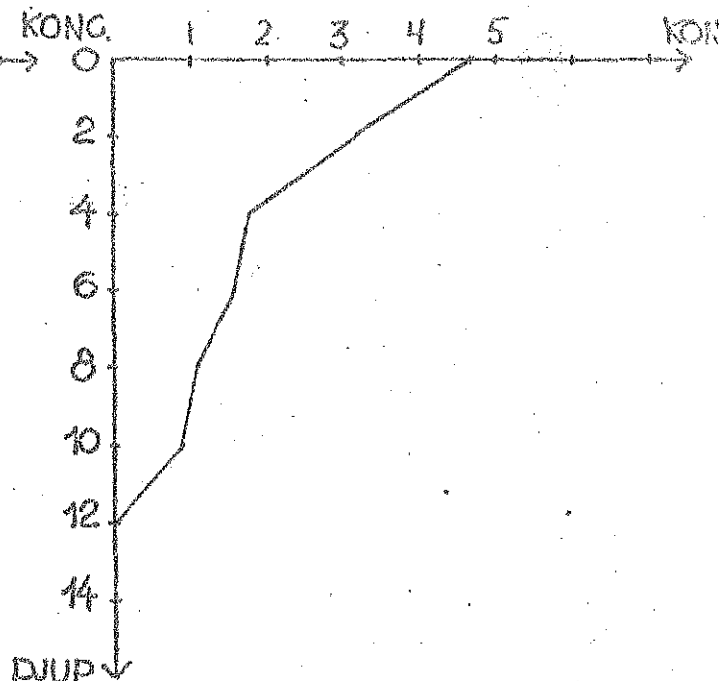
TID: 11/8-71 kl 13¹⁵

KOORD: 0/0



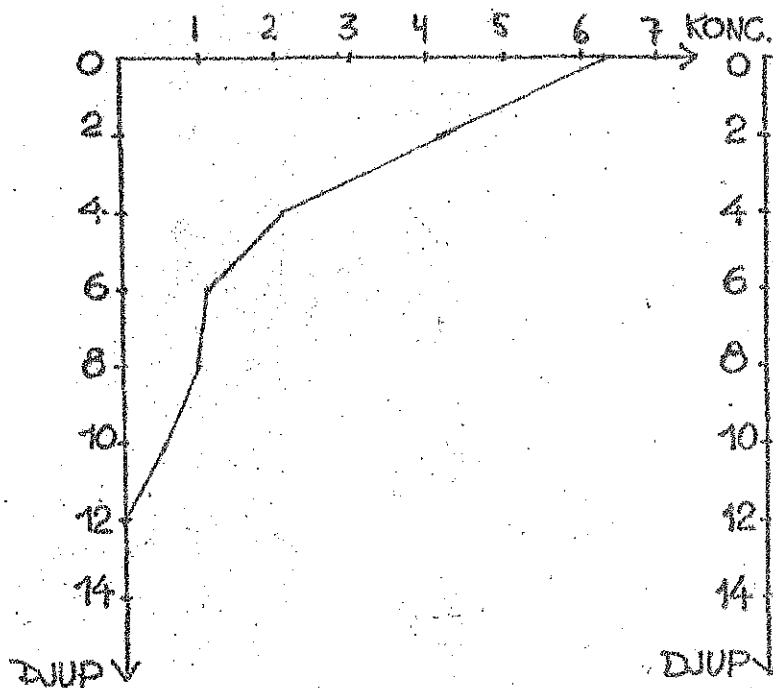
TID: 11/8-71 kl 14²⁰

KOORD: 20/-5



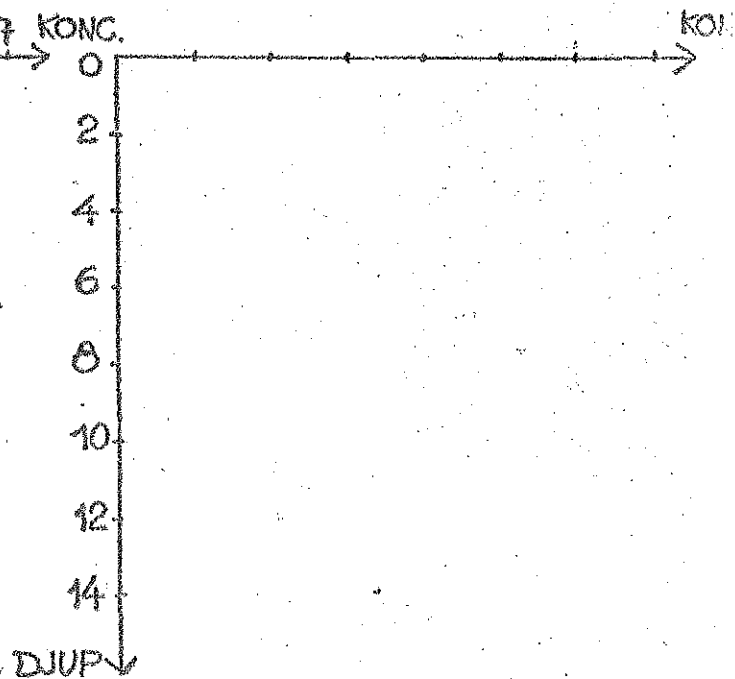
TID: 11/8-71 kl 15¹⁰

KOORD: 38/-5



TID:

KOORD:



KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

TID: 11/8-71 kl 12⁰⁰

KONC. 10^{-10}

↑

20

10

0

45°

ÅMYNNING

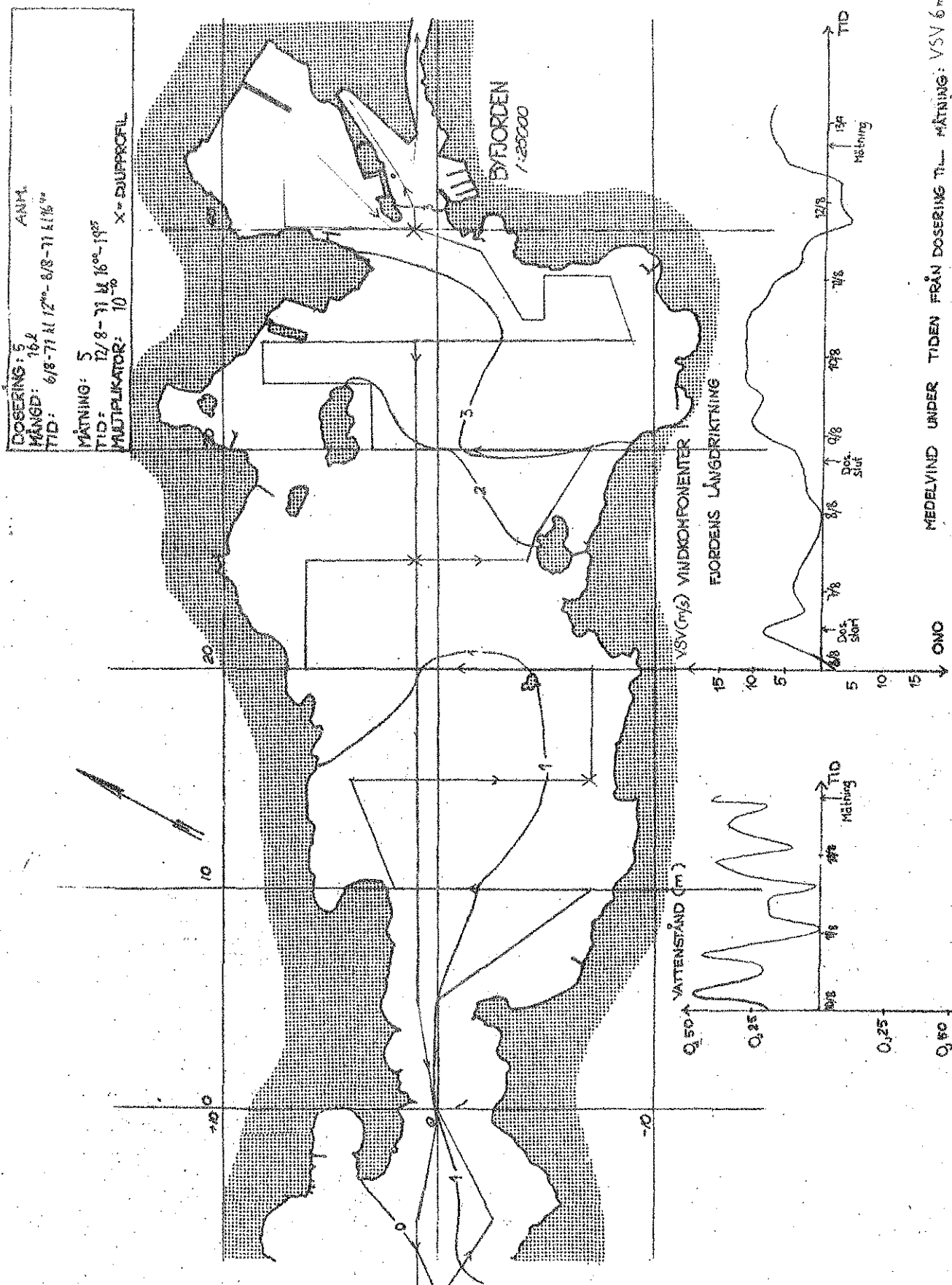
50

JUNOKAJEN

55

KOORD

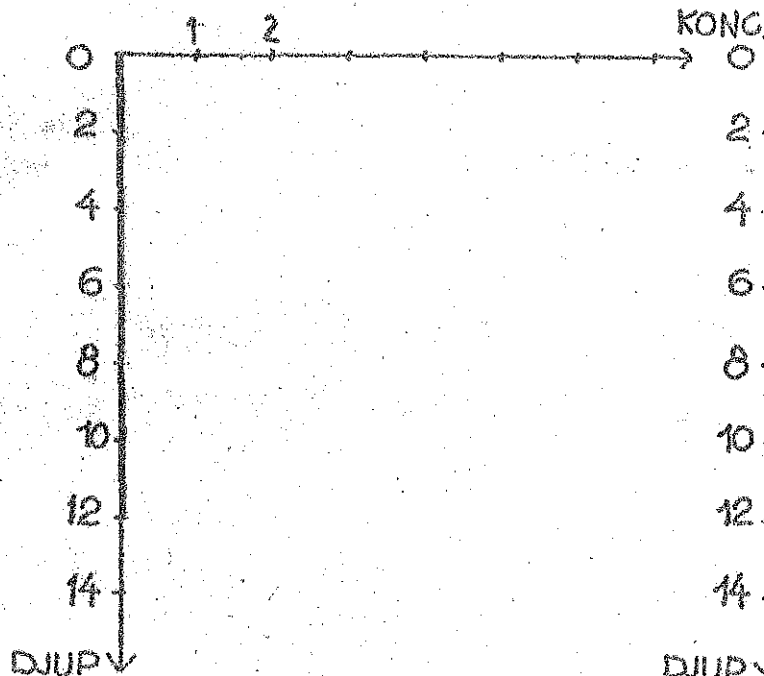
BRON



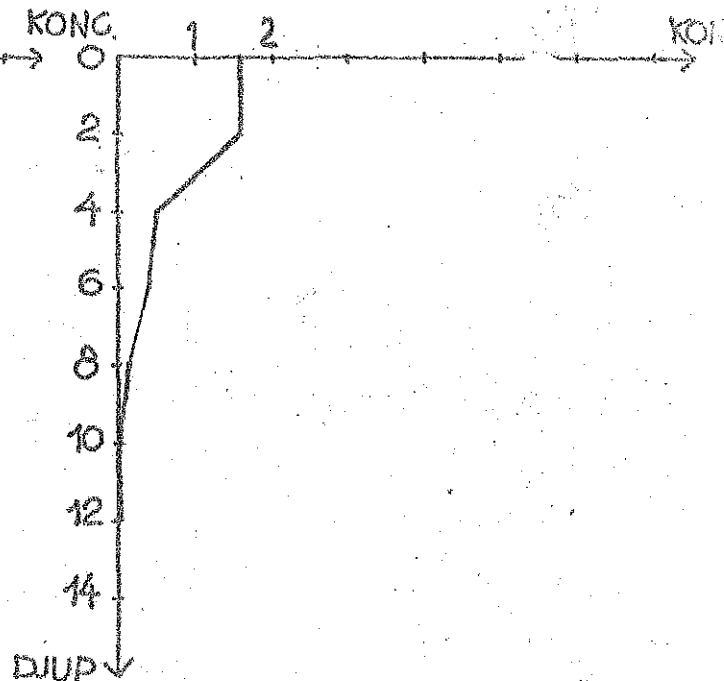
DJUPPROFILER

165.

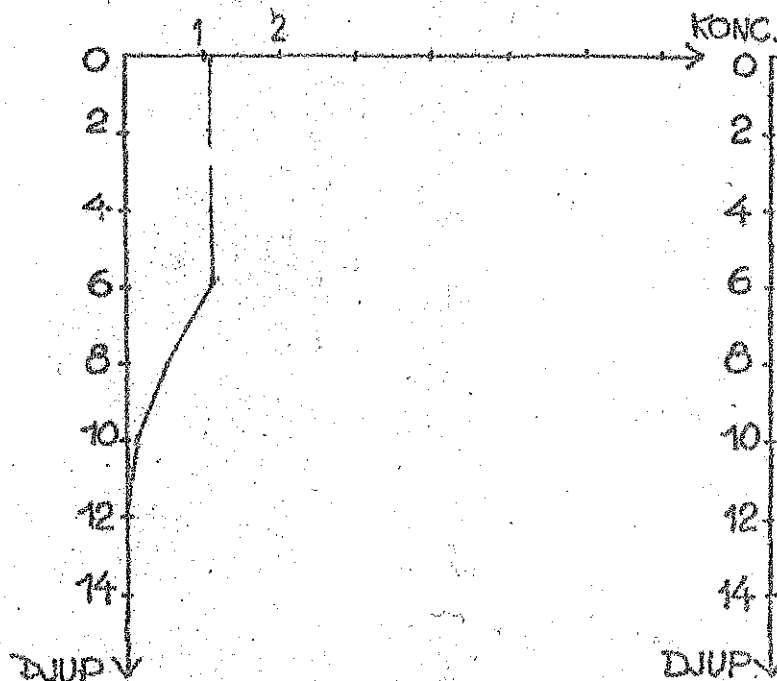
TID: 12/8 kl 16⁴⁰
KOORD: -10/+1



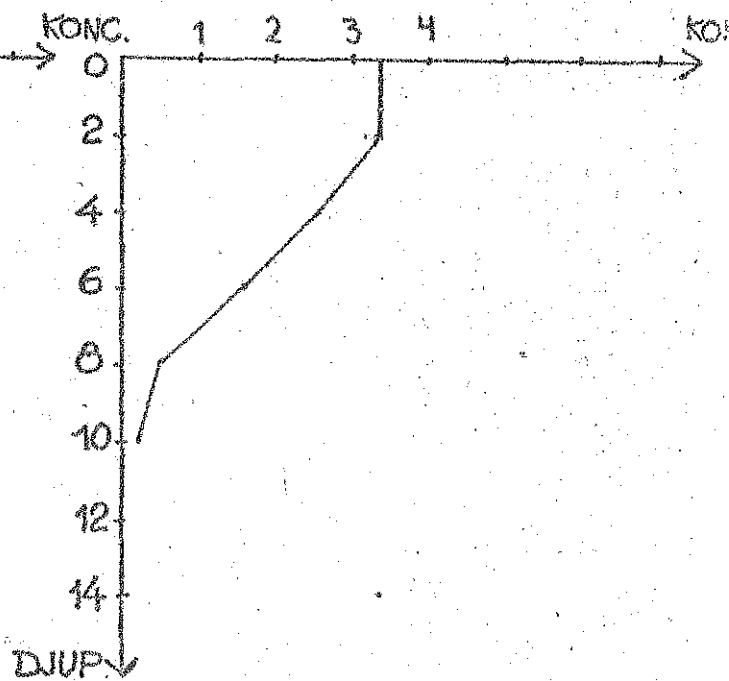
TID: 12/8 kl 17¹⁵
KOORD: 15/-7



TID: 12/8 kl 17⁴⁰
KOORD: 25/+1



TID: 12/8 kl 19²⁰
KOORD: 40/+1



KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

TID: 12/8 kl 1930

KONC. 10^{-10}



20

10

0

45°

ÅMYYNNING

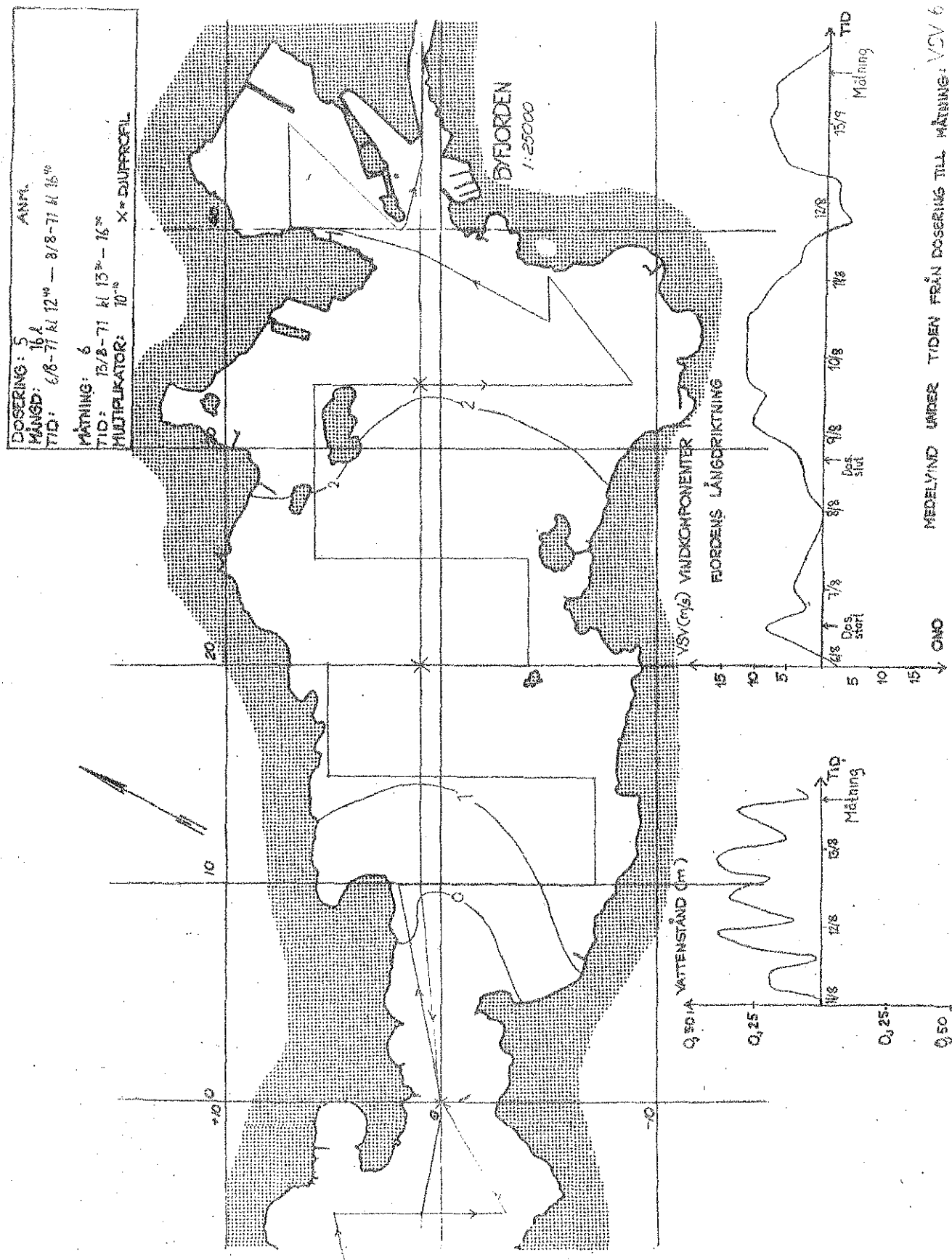
50

JUNOKAJEN

55

KOORD.

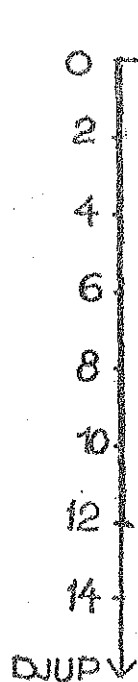
BRON



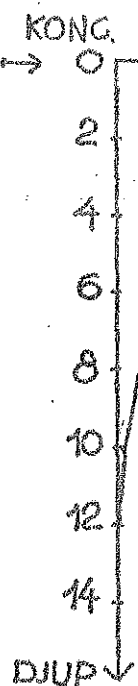
DJUPPROFILER

168.

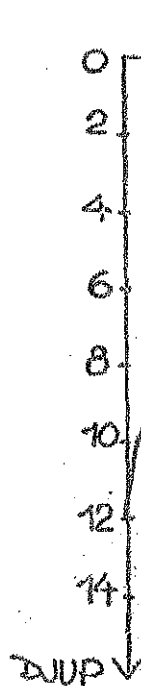
TID: 13/8 kl 14⁰⁰
KOORD: 0/0



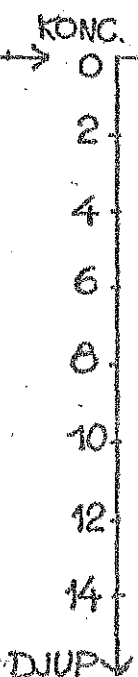
TID: 13/8 kl 15¹⁰
KOORD: 20/+1



TID: 13/8 kl 15⁴⁵
KOORD: 33/+1



TID: 13/8-71 kl 16³⁰
KOORD: 49/+05



KONCENTRATION PÅ 1m. DJUP I BÄVEÅN

TID: 13/8 kl 1330

KONC. 10^{-10}



20

10

0

45°

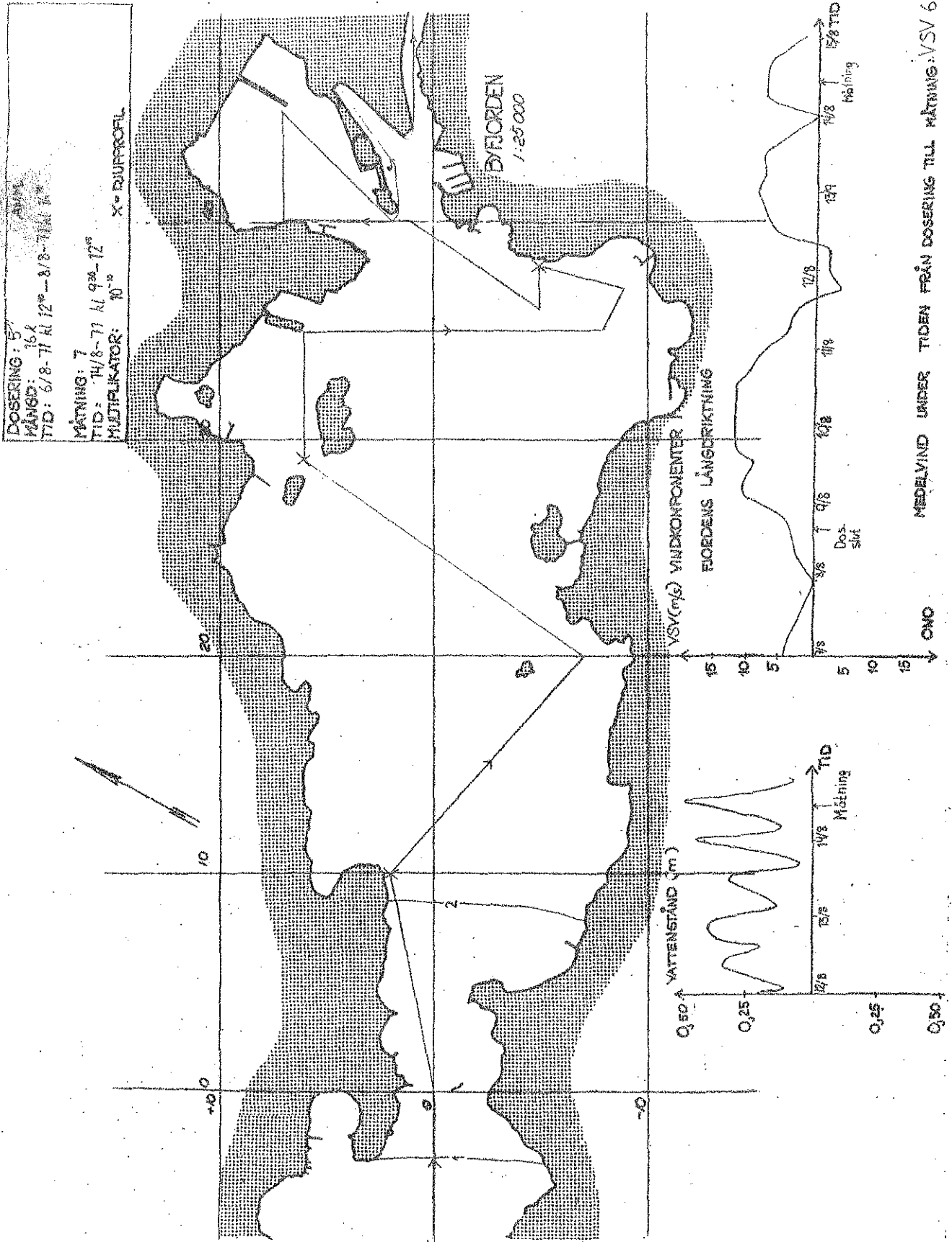
ÅMYNNING

50

JUNOKAJEN

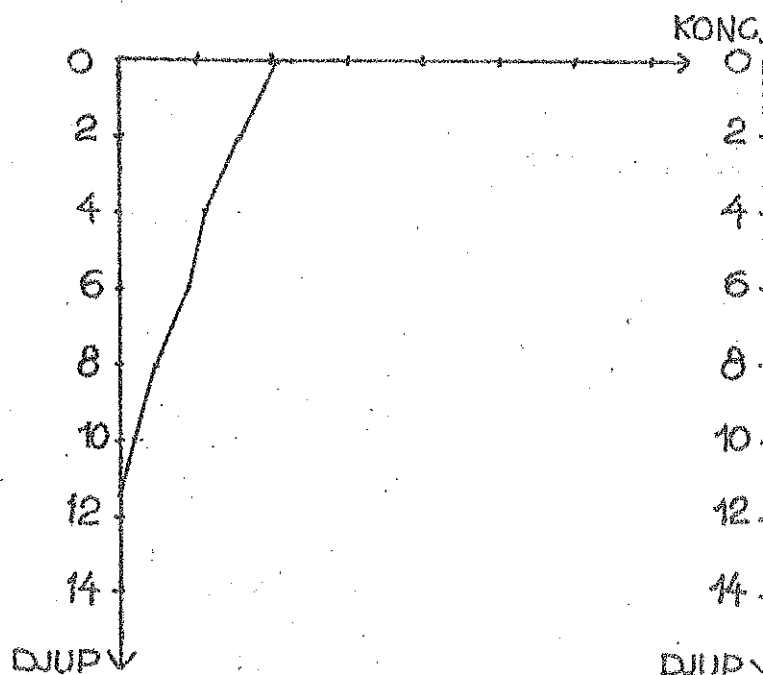
55

KOOR
BRON

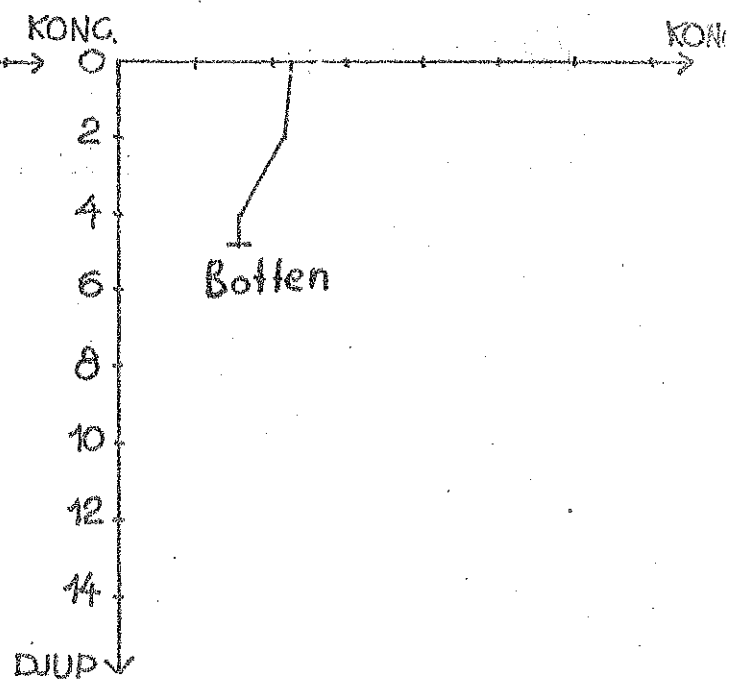


DJUPPROFILER

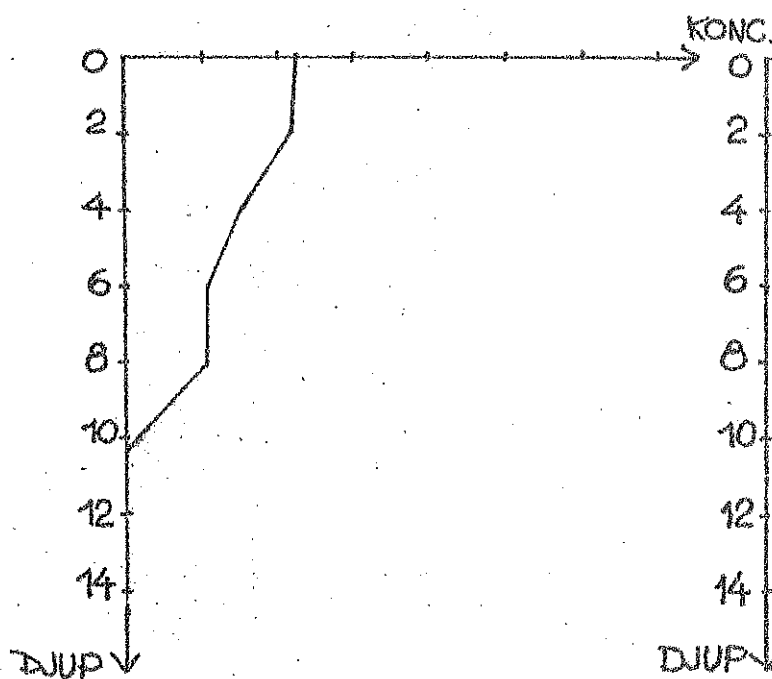
TID: 14/8-71 kl 9⁵⁵
 KOORD: 10/+2



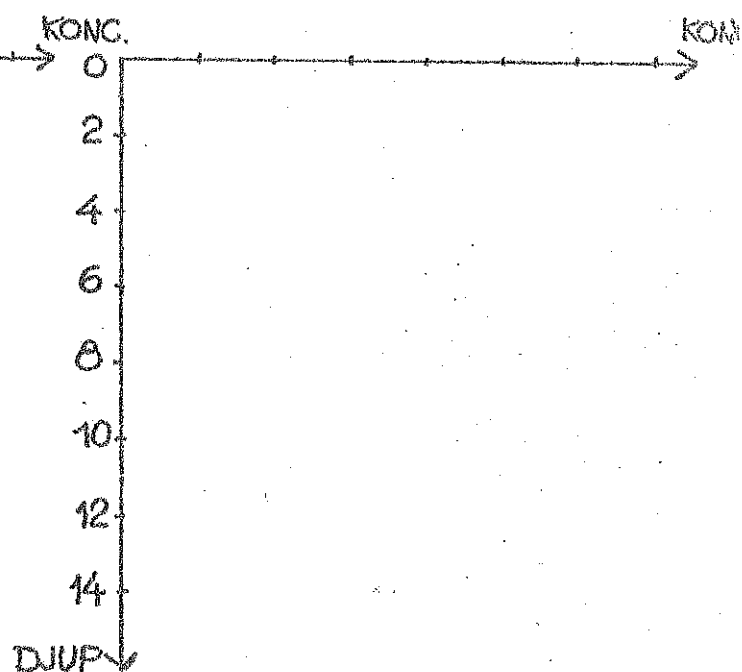
TID: 14/8-71 kl 10²⁰
 KOORD: 29/+6



TID: 14/8-71 kl 11³⁵
 KOORD: 38/-5



TID:
 KOORD:



KONCENTRATION PÅ 1m DJUP I BÄVEÄN

TID: 14/8-71 kl 12¹⁵

KONC. 10^{-10}

↑

20

10

0

45°

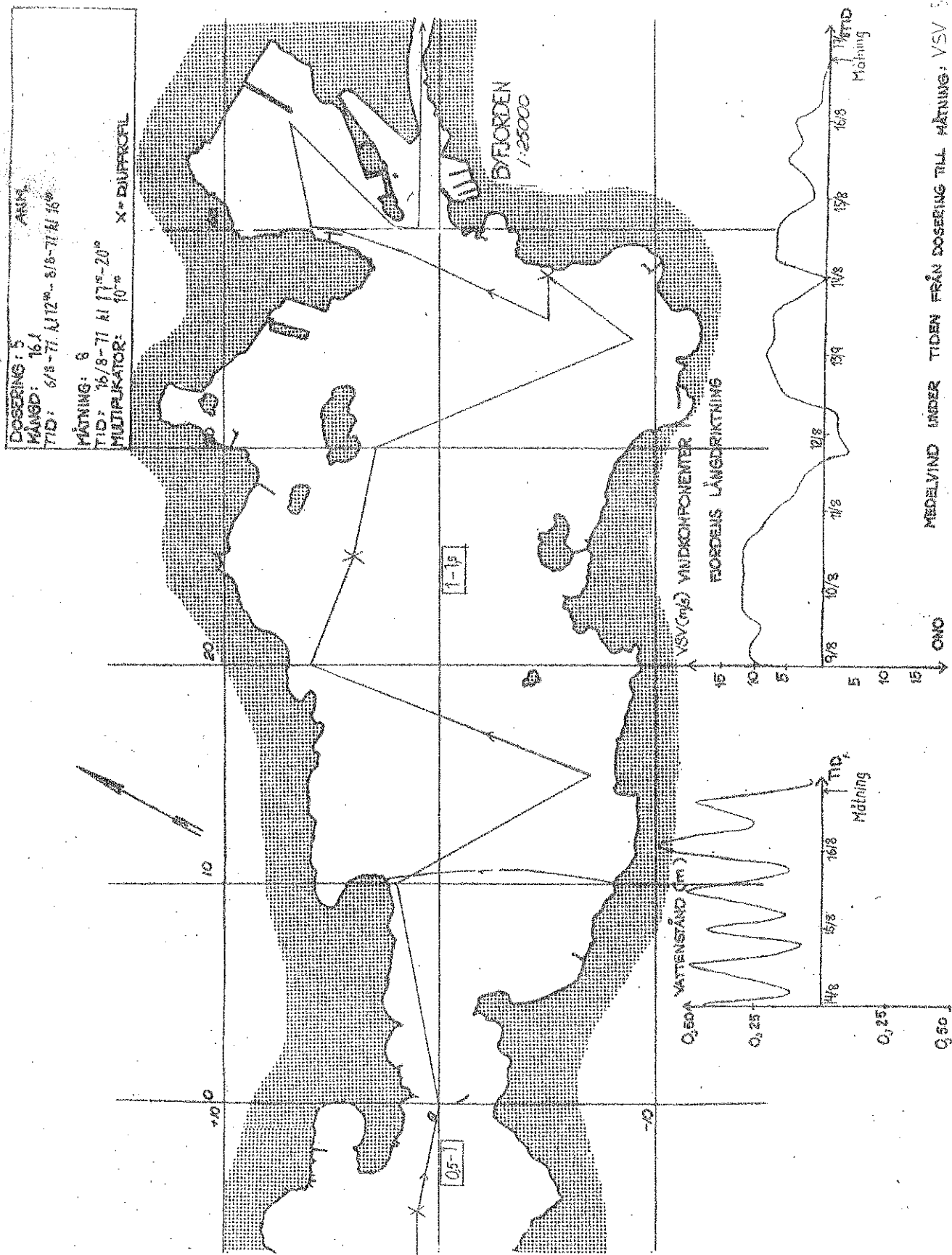
ÅMYYNNING

50

JUNOKAJEN

55

KOORD
BRON

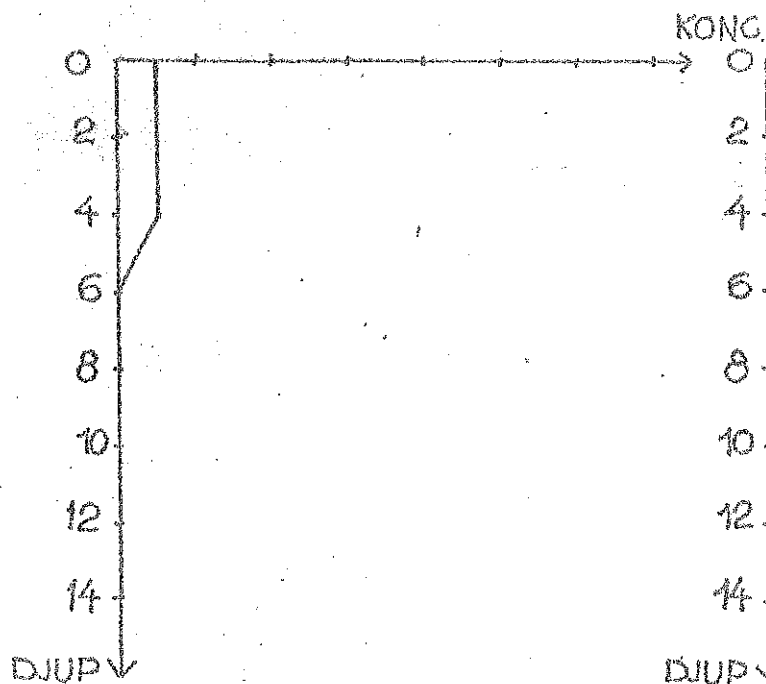


DJUPPROFILER

174

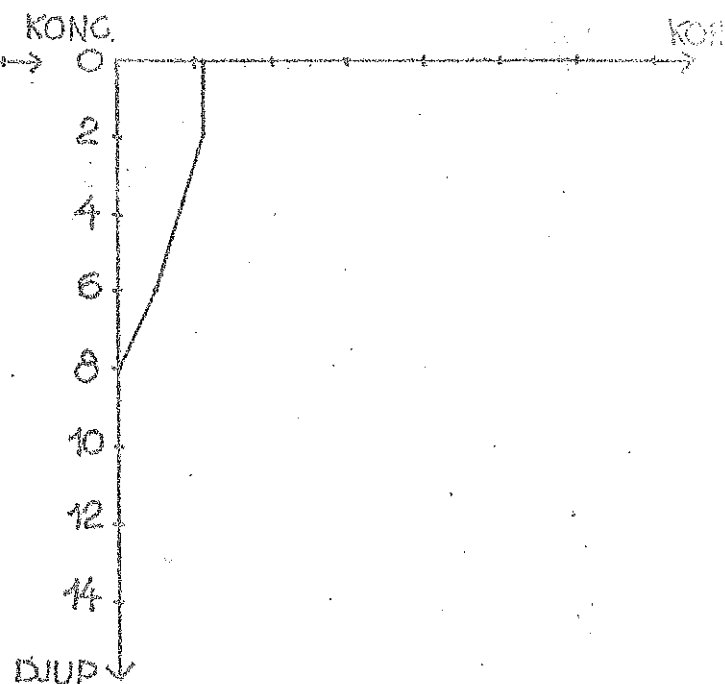
TID: 16/8-77 kl 17²⁵

KOORD: -5/+1



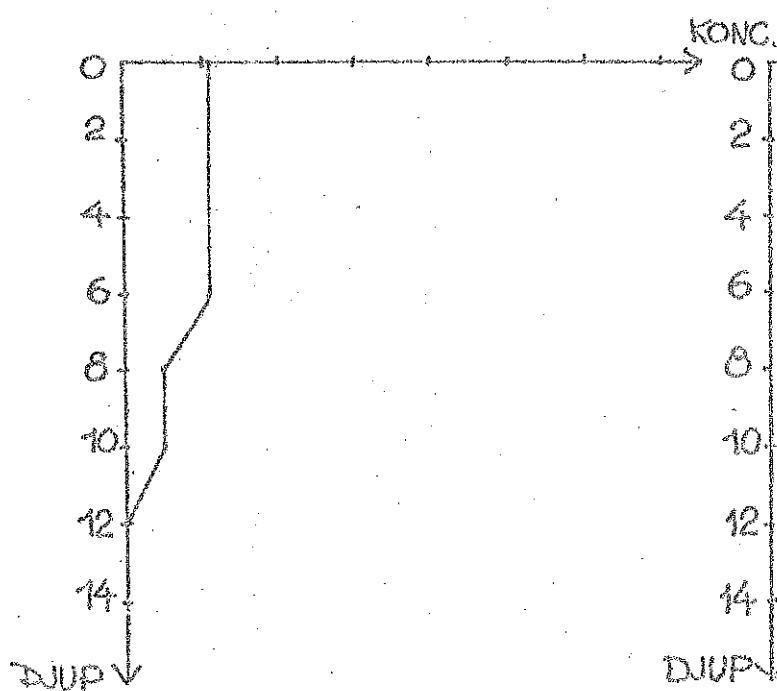
TID: 16/8-77 kl 18⁰⁰

KOORD:



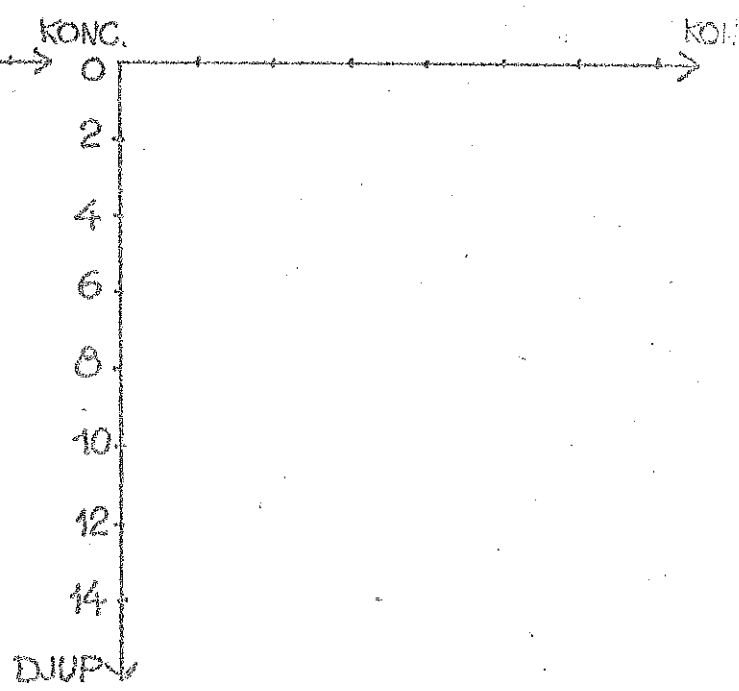
TID: 16/8-77 kl 18⁵⁵

KOORD: 38/-6



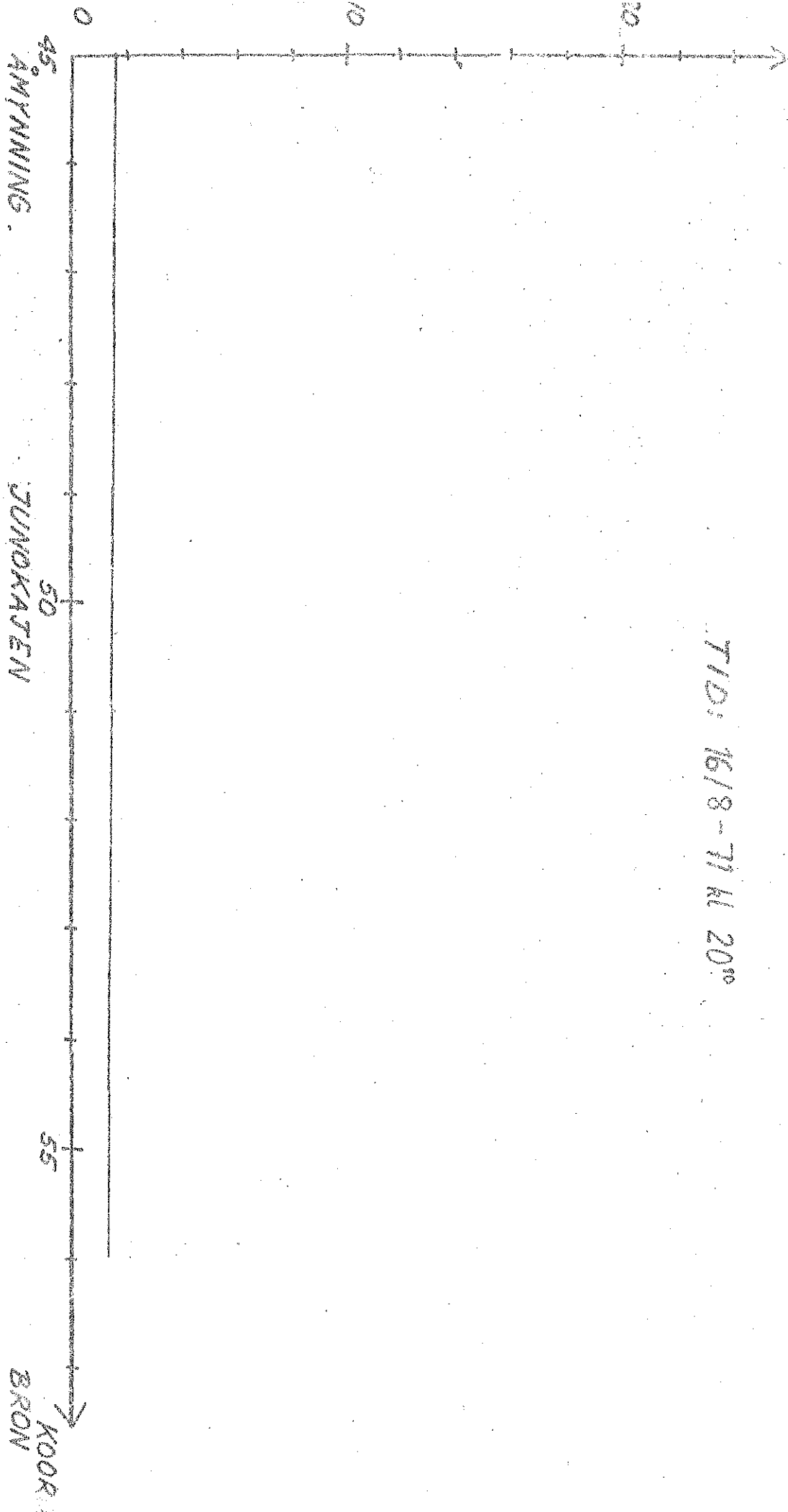
TID:

KOORD:

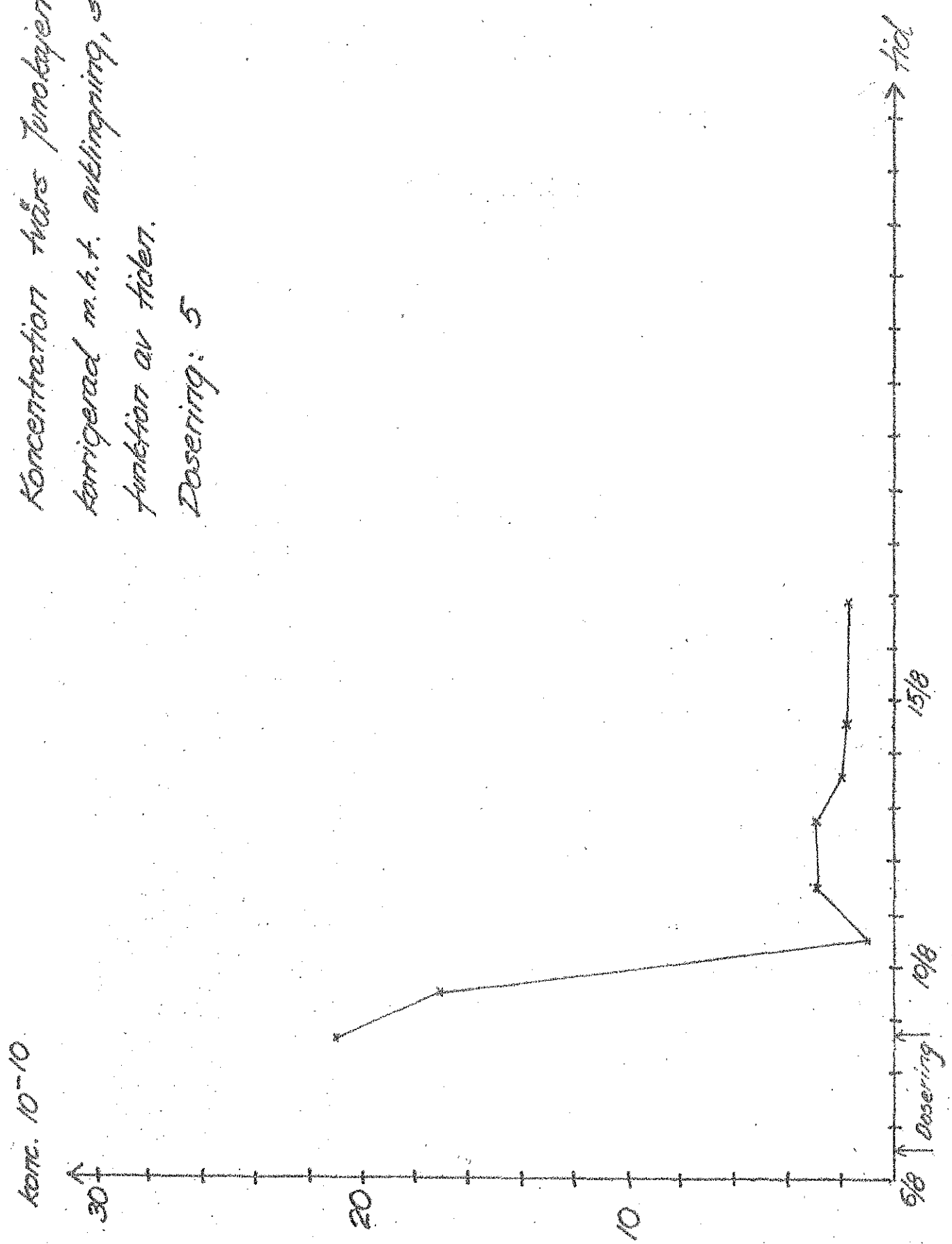


KONCENTRATION PÄ 1m. DJUP I BÄVEÄN

TID: 16/8 - 77 kl 20⁰⁰



Koncentration tvärs Tenokajen (50/1+1),
 korrigerad m.h.t. avblingsning, som
 funktion av tiden.
 Dosering: 5



6.7 Dosering 6

Doseringstid:	20. 8. 1971 kl. 11.00 - 23. 8. 1971 kl. 04.05
Rodaminlösning:	25 l rodamin, 250 l vatten
	Koncentration: 1:10
Effektiv doseringstid:	3155 min = 52 h 35 min
Vattenföring utloppsledning:	14,6 l/s
Pumpkapacitet:	1,45 ml/s
Koncentration rörmynning:	$0,99 \cdot 10^{-5}$
Initialutspädning i recipienten (enl kap. 3.2)	12 ggr
Koncentration 2 m:s djup:	$0,83 \cdot 10^{-6}$
Inlagringsdjup:	2 m
Avklingningskoefficient:	$e^{-0,017 T}$

Anmärkning: Pumpstopp 20/8 kl. 23.00 - 21/8 kl. 8.35 och flera kortare stopp under den 22/8 alla beroende på att pumpens ventiler var igensatta.

Mätningar

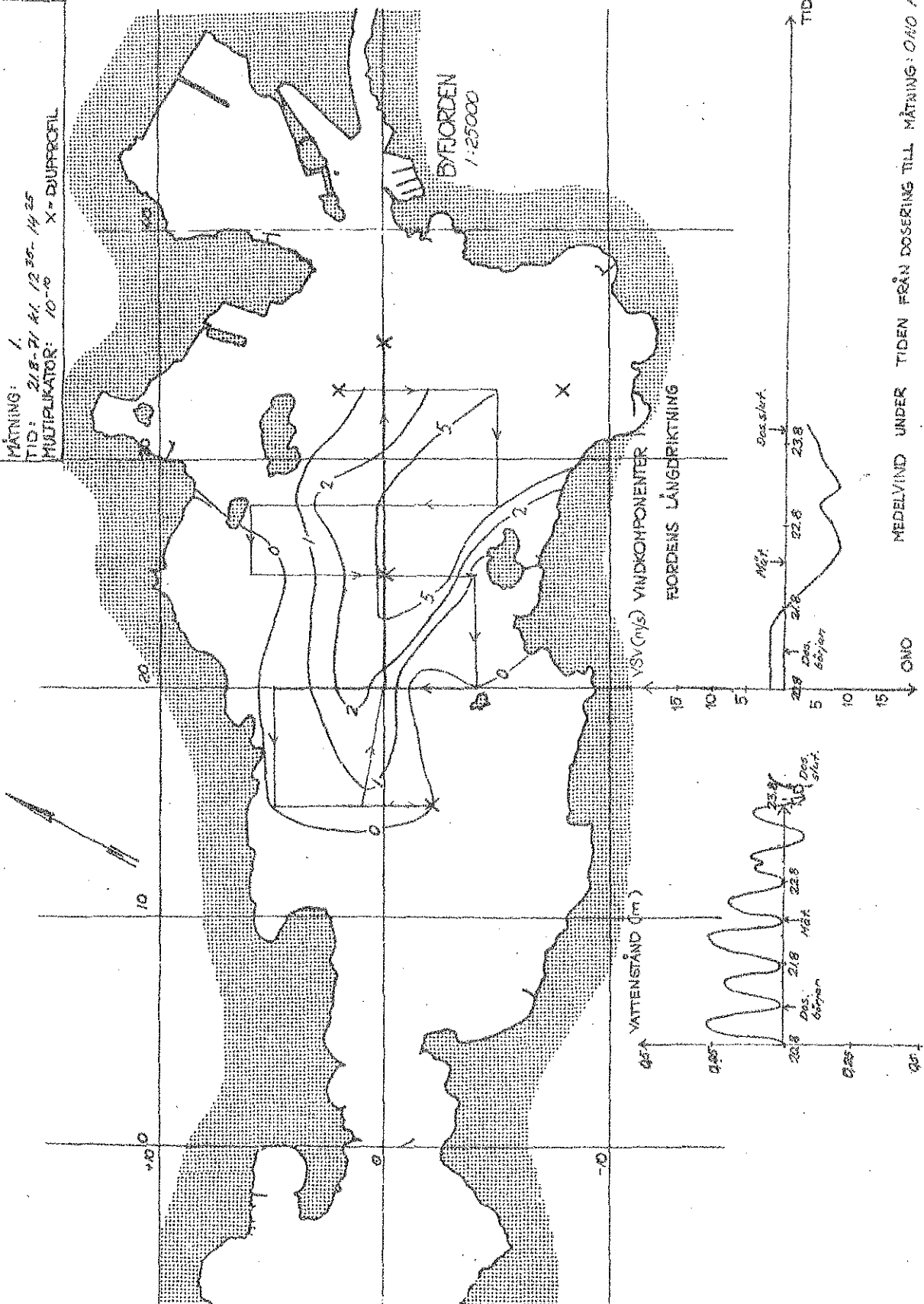
Tid	Ytmätning	Djupprofil antal	Avklingning	Sid.
21. 8. kl. 12.35 - 14.25	x	5	x	178-180
23. 8. kl. 15.55 - 20.20	x	8	x	181-183
24. 8. kl. 17.00 - 20.15	x	2	x	184-185
25. 8 kl.		3		186
3. 9 kl.		1		187

Anm. Tekniska fel orsakade att doseringen ej kunde uppföljas i initialskedet i den omfattning som vore önskvärt.

Kommentar: Hårda ostliga vindar medförde mycket snabb uttransport av det i ytan inlagrade rodaminmolnet. 2 dagar efter doseringens början registrerades rodamin utanför Sunninge Sund. De ihållande vindarna gjorde att nästan all rodamin försvann ut i Havstensfjorden. Inom 3 dagar efter doseringens slut hade i stort sett allt ytvatten i Byfjorden utbyts.

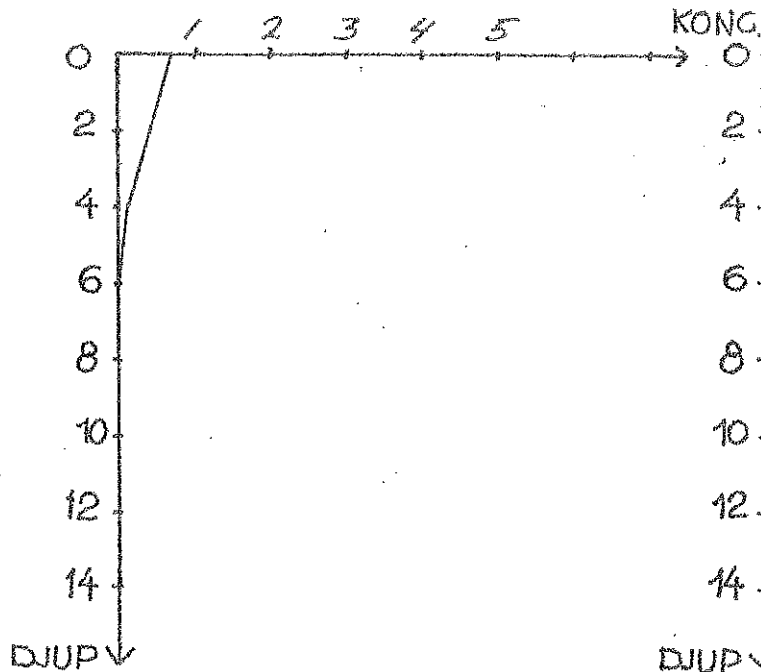
Vattenståndet var mycket lågt. Den vertikala omblandningen var ringa. Efter den 24/8 växlade vinden till västlig, varvid kvarvarande mängd rodamin blandades väl i vertikalled. Både tillfördes en mycket liten mängd doserat vatten. Avklingningen lägre än normalt beroende på mulet väder.

DOSERING: 6.
 MÄNGD: 25 L
 TID: 20.8-71 kl. 11.00 - 23.8-71 kl. 4.05
 MÄTNING: 1.
 TID: 21.8-71 kl. 12.35 - 14.25
 MULTIPLIKATOR: 10⁻¹⁰ X = DIAPYCNOMETER

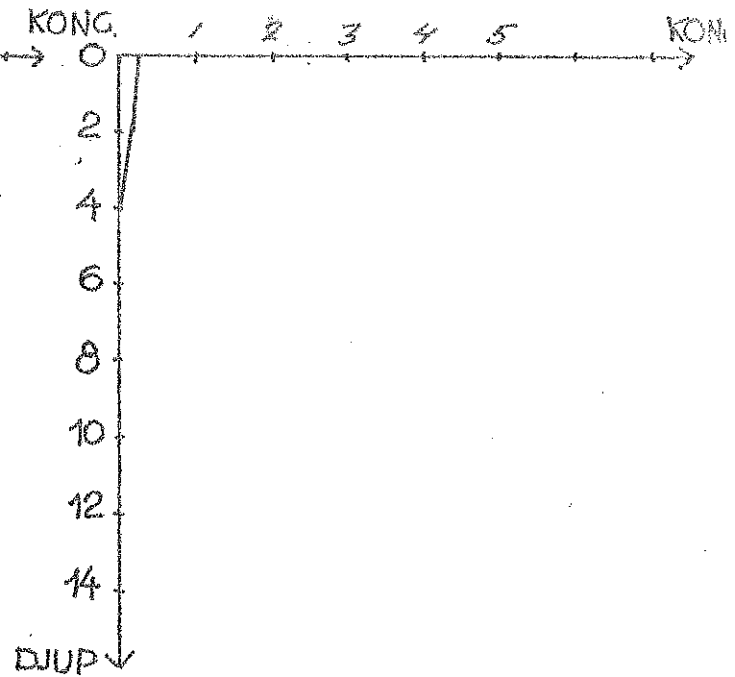


DJUPPROFILER

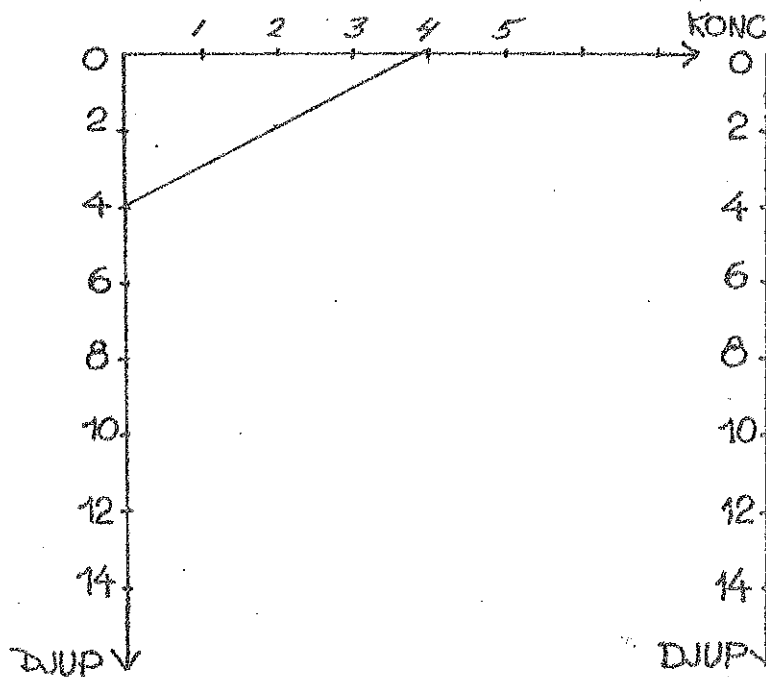
TID: 21.8-71 kl. 12³⁵
 KOORD: 33/2



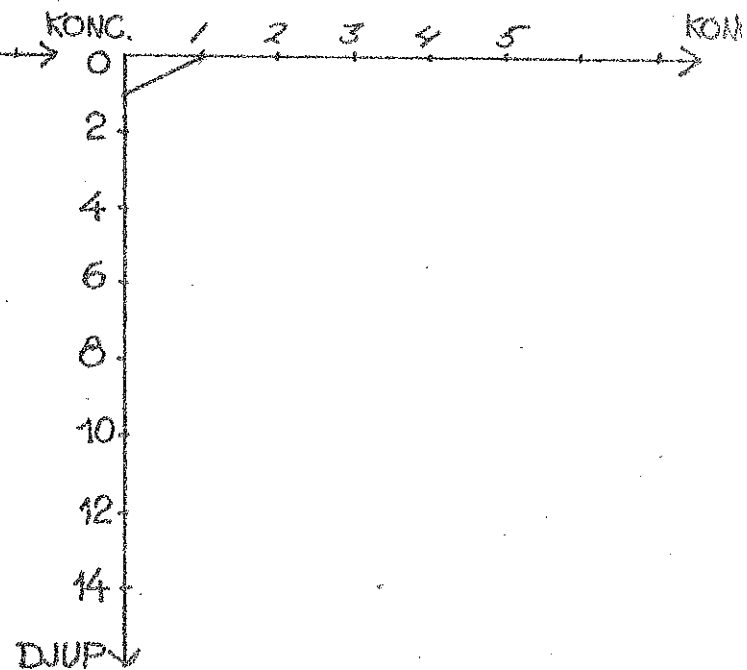
TID: 21.8-71 kl. 13²⁰
 KOORD: 15/-2



TID: 21.8-71 kl. 13⁴⁰
 KOORD: 25/0



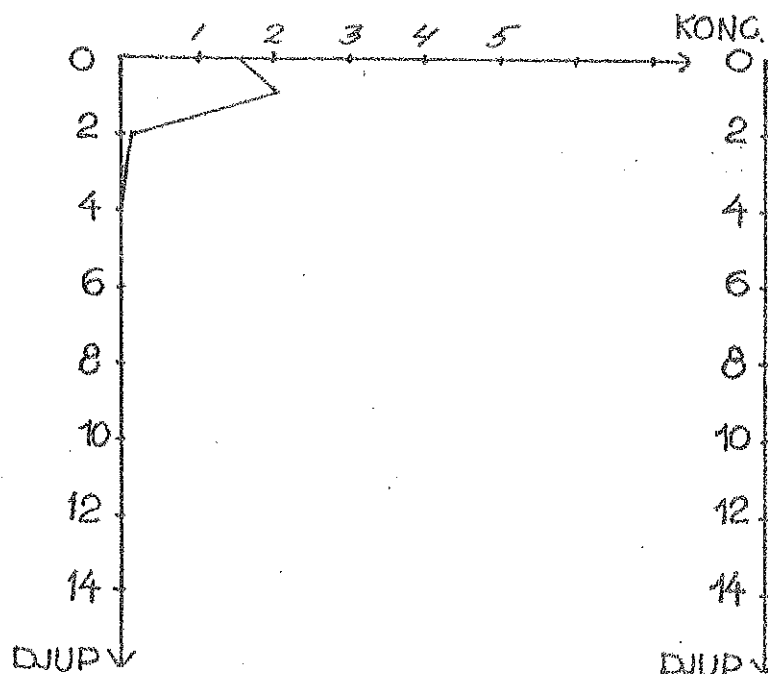
TID: 21.8-71 kl. 13⁵⁵
 KOORD: 35/0



DJUPPROFILER

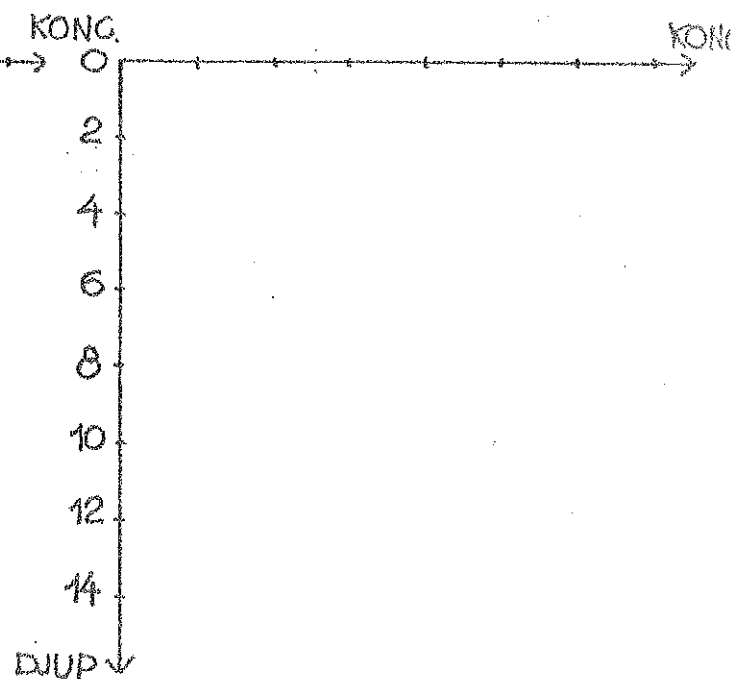
TID: 21.8-71 kl 14⁰⁰

KOORD: 33/-8



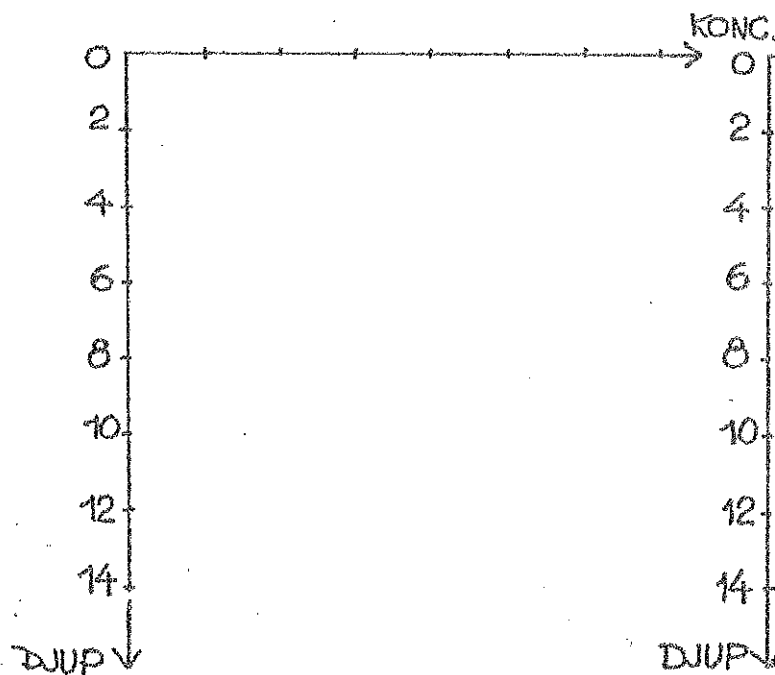
TID:

KOORD:



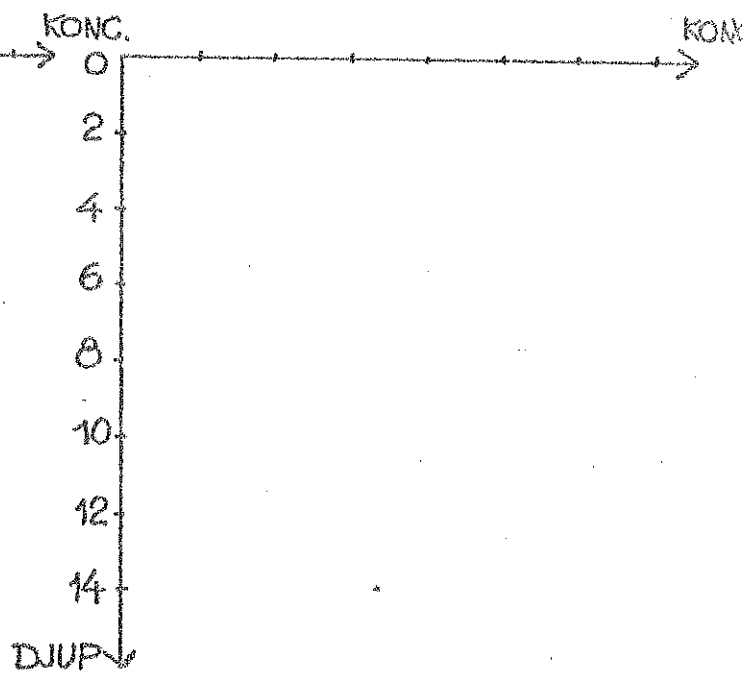
TID:

KOORD:

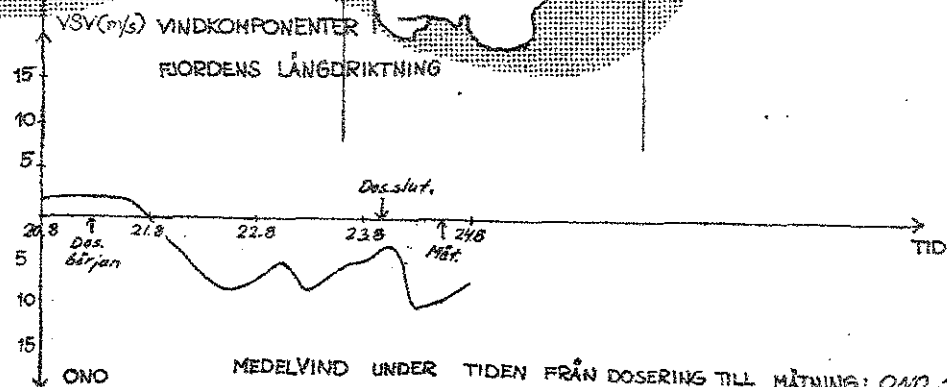
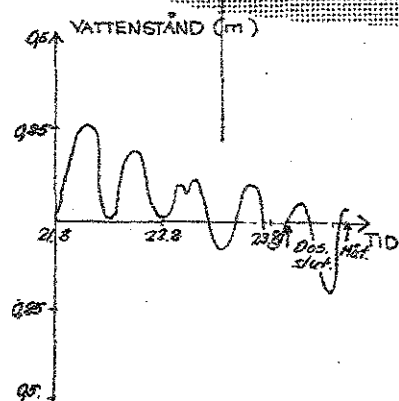
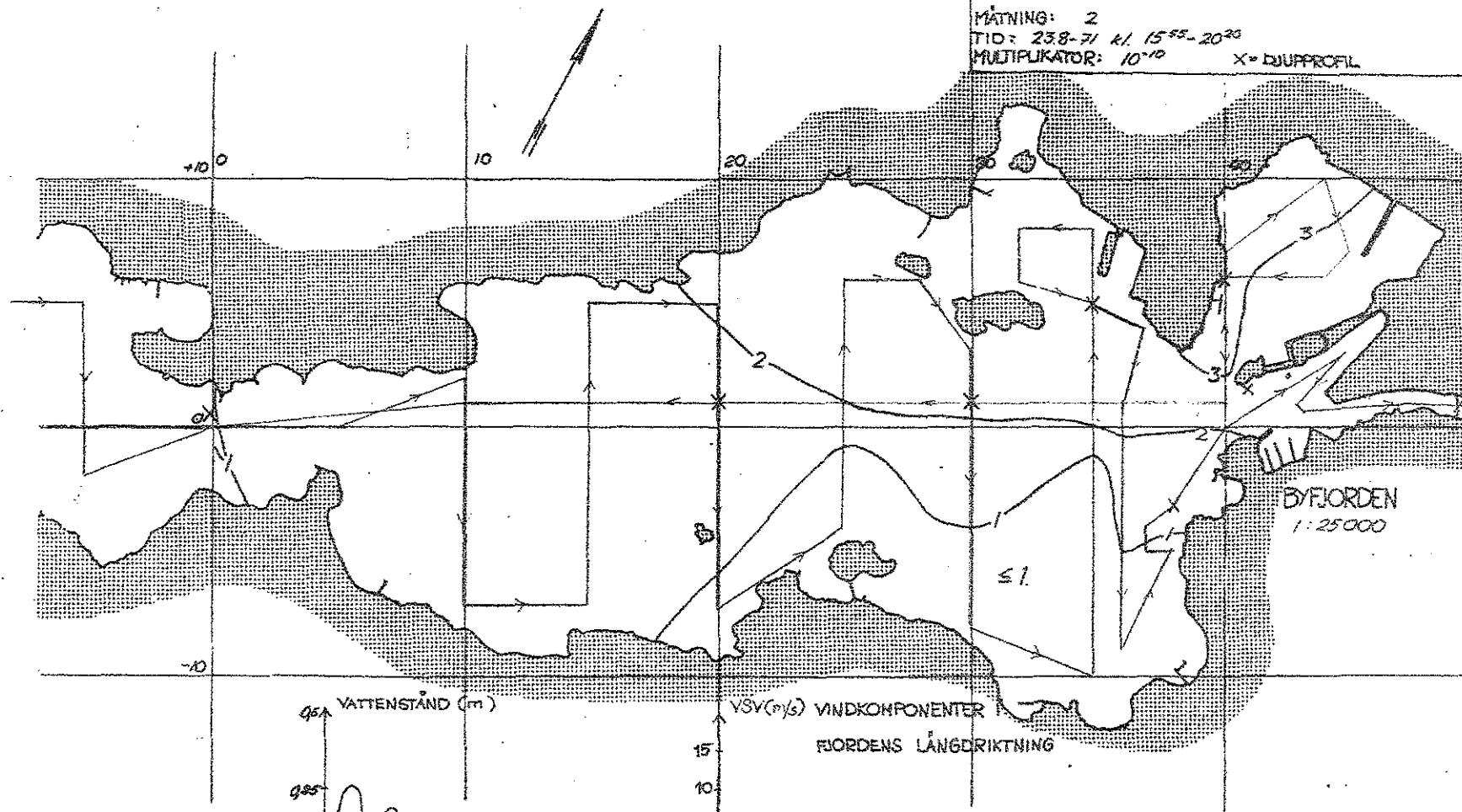


TID:

KOORD:



DOSERING: 6 ANM.
 MÅNGD: 25 L
 TID: 20.8-71 kl. 11⁰⁰ - 23.8-71 kl. 4⁰⁰
 MÄTNING: 2
 TID: 23.8-71 kl. 15⁵⁵ - 20²⁰
 MULTIPLIKATOR: 10⁻¹⁰ X = DJUPPROFIL

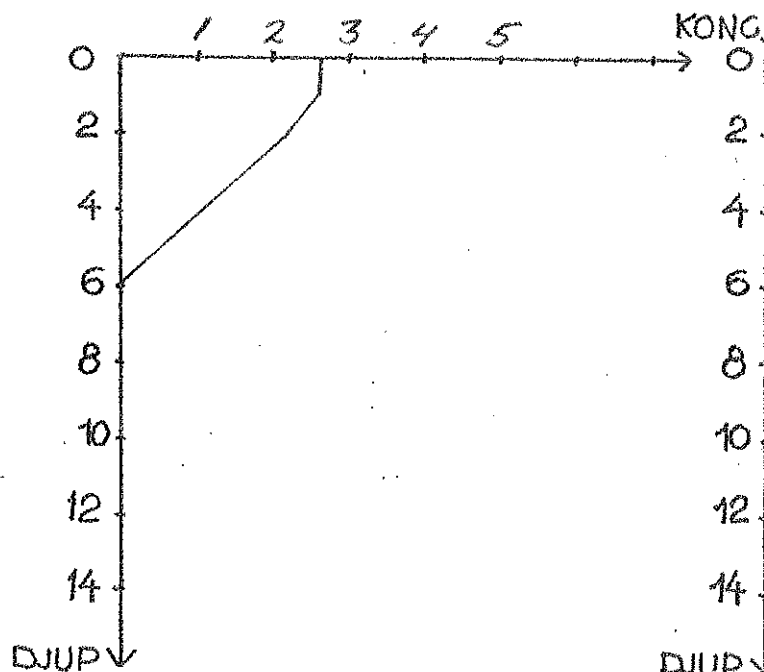


DJUPPROFILER

182.

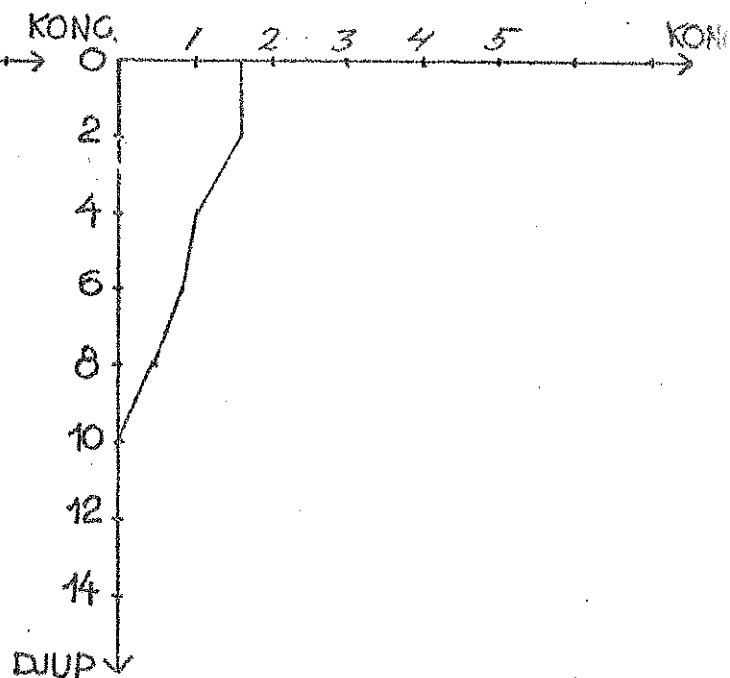
TID: 23.8-71 kl 16¹⁰

KOORD: 30/1



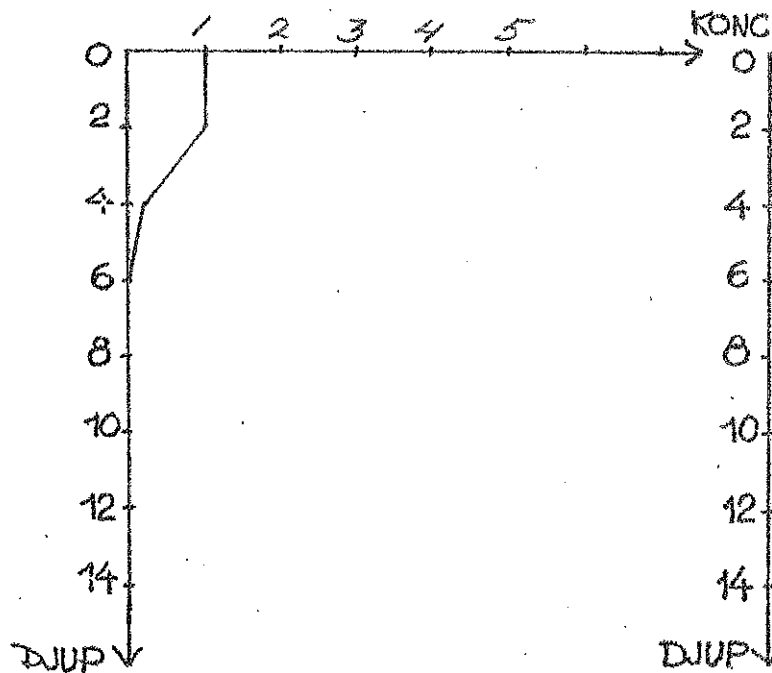
TID: 23.8-71 kl 16²⁰

KOORD: 20/1



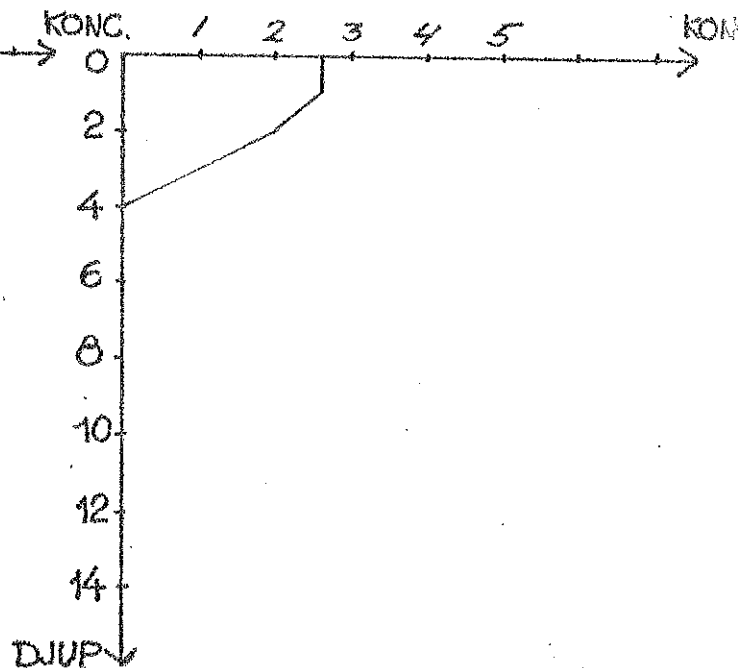
TID: 23.8-71 kl 16⁴⁰

KOORD: 0/0,5



TID: 23.8-71 kl 18⁵⁵

KOORD: 35/5

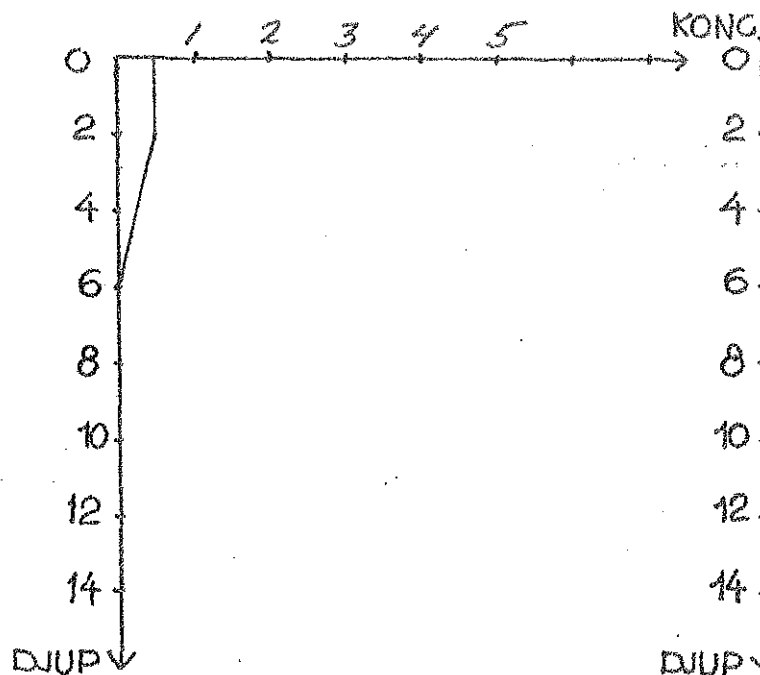


DJUPPROFILER

183.

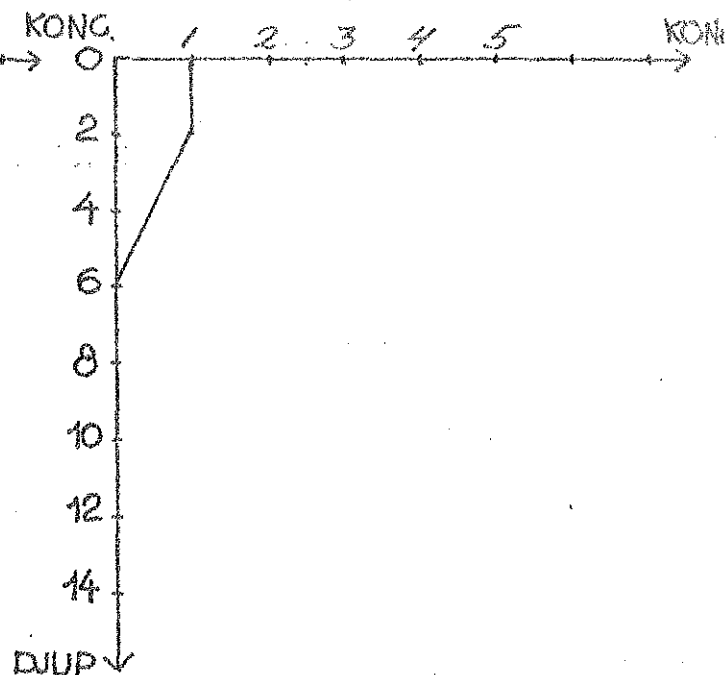
TID: 23.8-71 kl 17⁰⁰

KOORD: -20/5



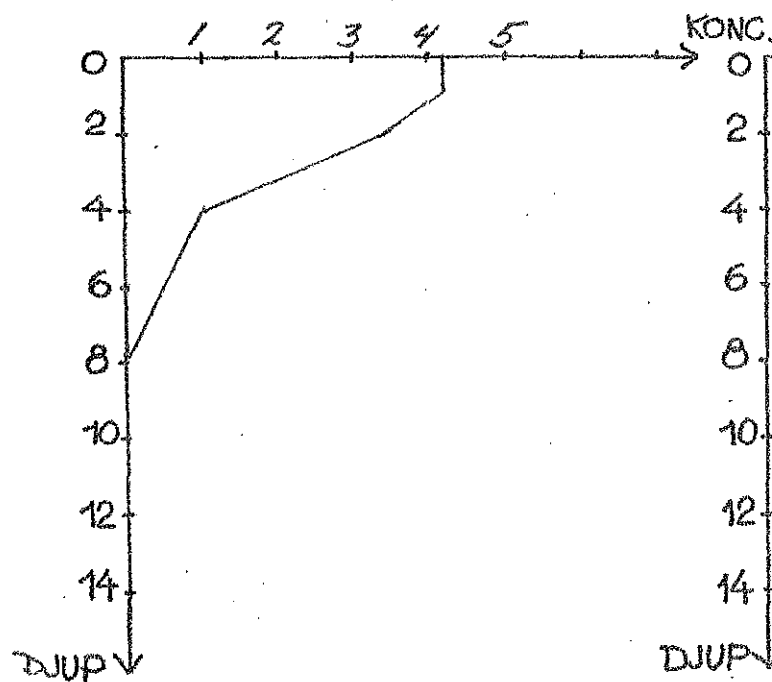
TID: 23.8-71 kl 19²⁰

KOORD: 38/-3



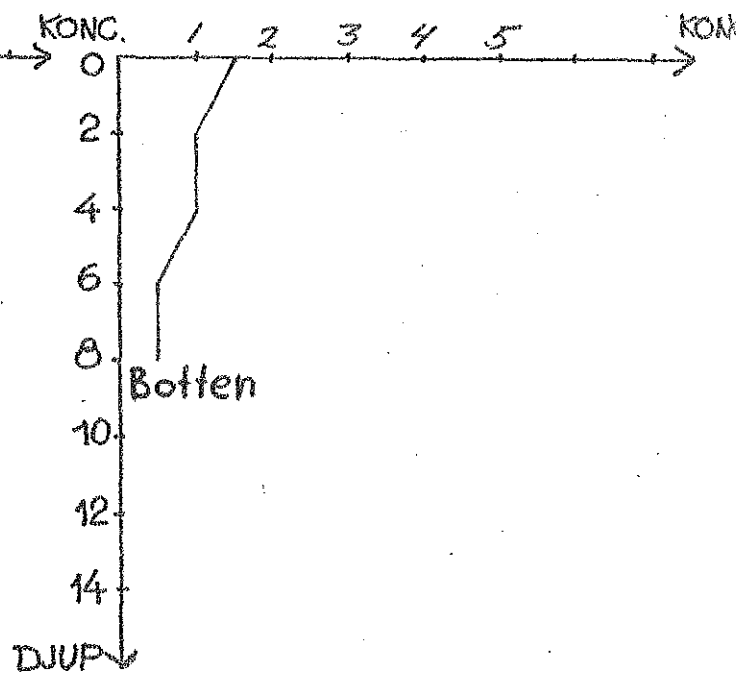
TID: 23.8-71 kl 19⁵⁵

KOORD: 40/6

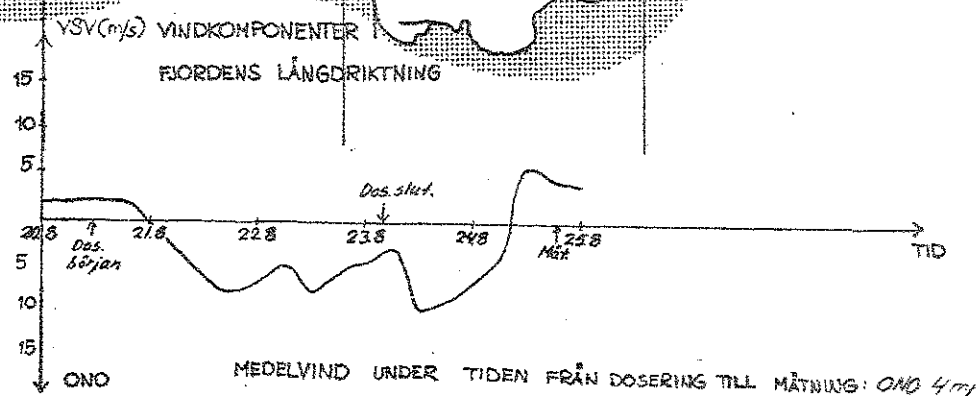
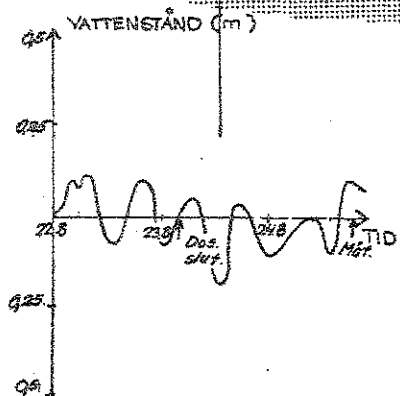
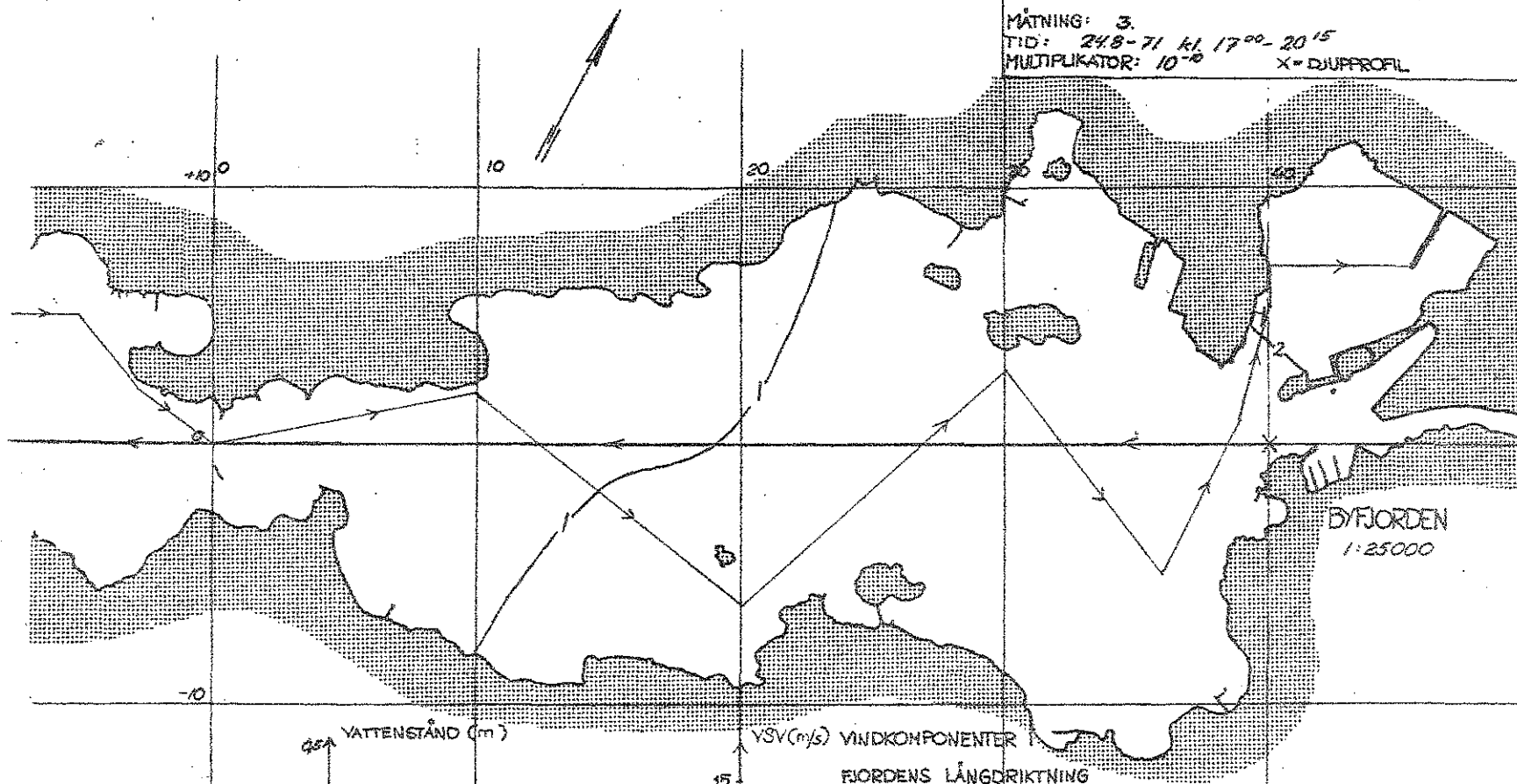


TID: 23.8-71 kl 20¹⁰

KOORD: 41/2

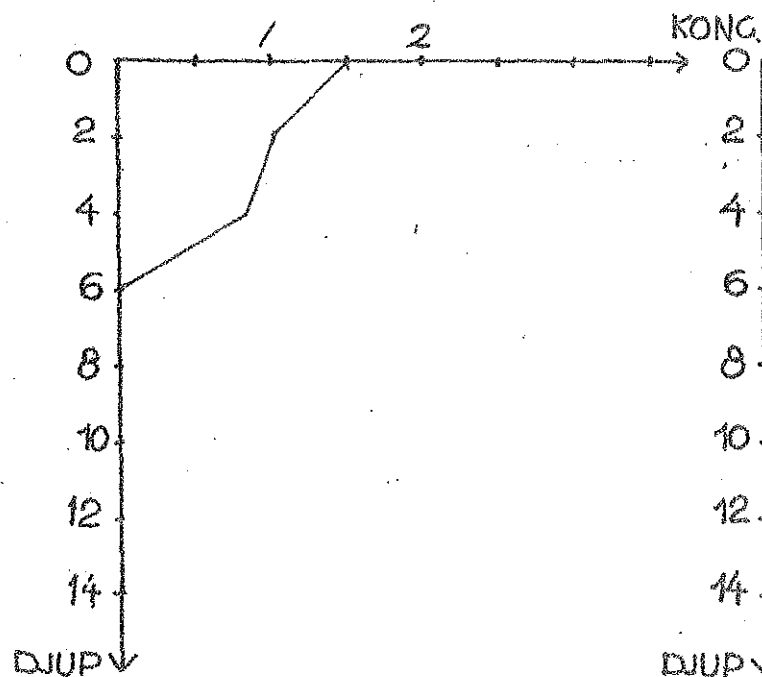


DOSERING: 6 ANM.
 MÄNGD: 25 l
 TID: 20.8-71 kl. 11⁰⁰ - 23.8-71 kl. 4⁰⁵
 MÄTNING: 3.
 TID: 24.8-71 kl. 17⁰⁰ - 20¹⁵
 MULTIPLIKATOR: 10⁻¹⁰ X=DJUPPROFIL

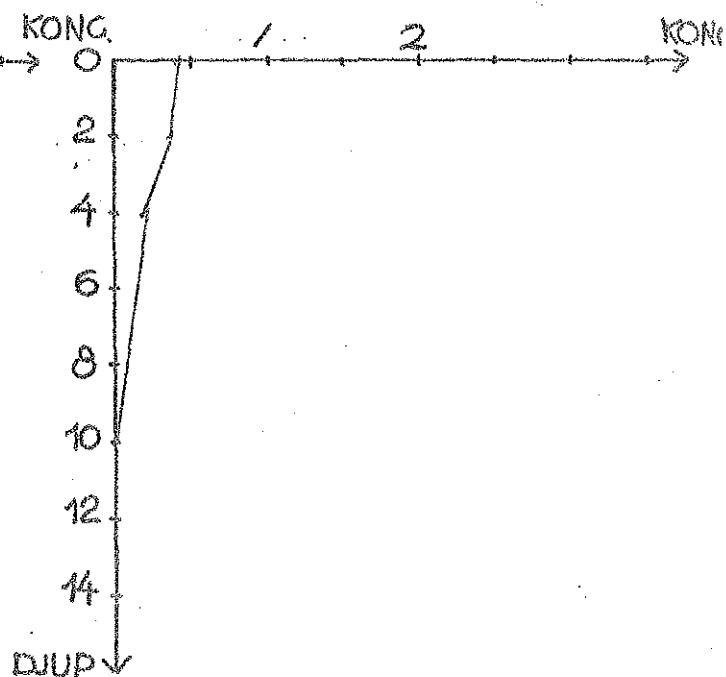


DJUPPROFILER

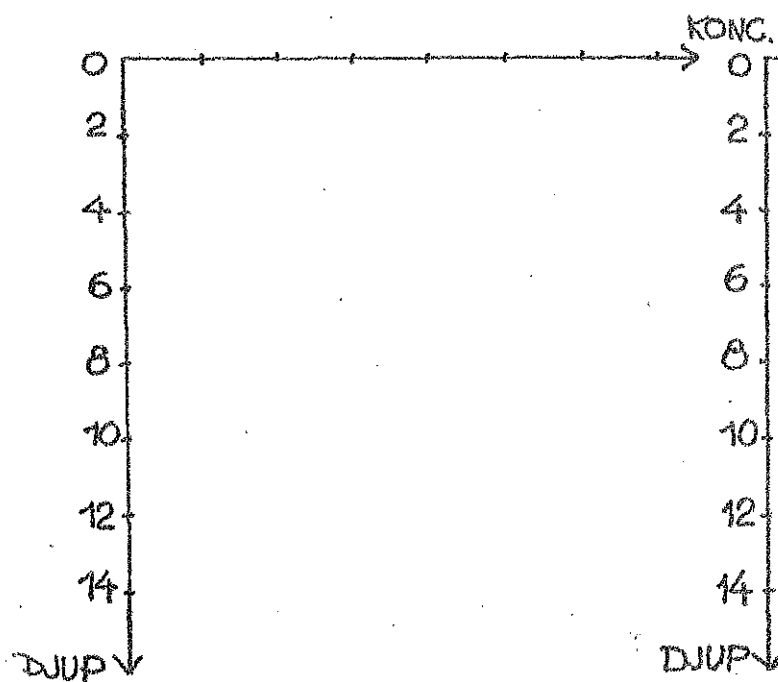
TID: 24.8-71 kl. 17⁰⁰
 KOORD: 40/0



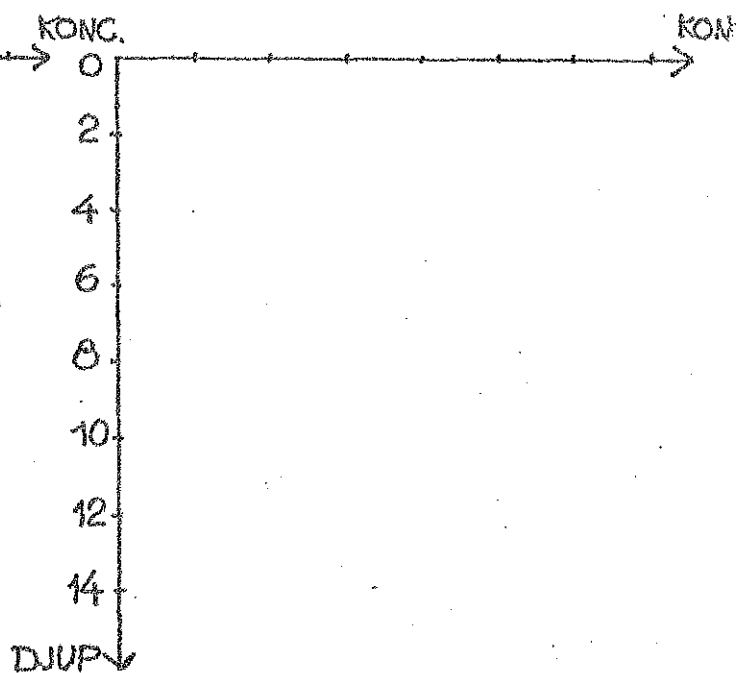
TID: 24.8-71 kl. 18⁴⁵
 KOORD: -35/5



TID:
 KOORD:



TID:
 KOORD:

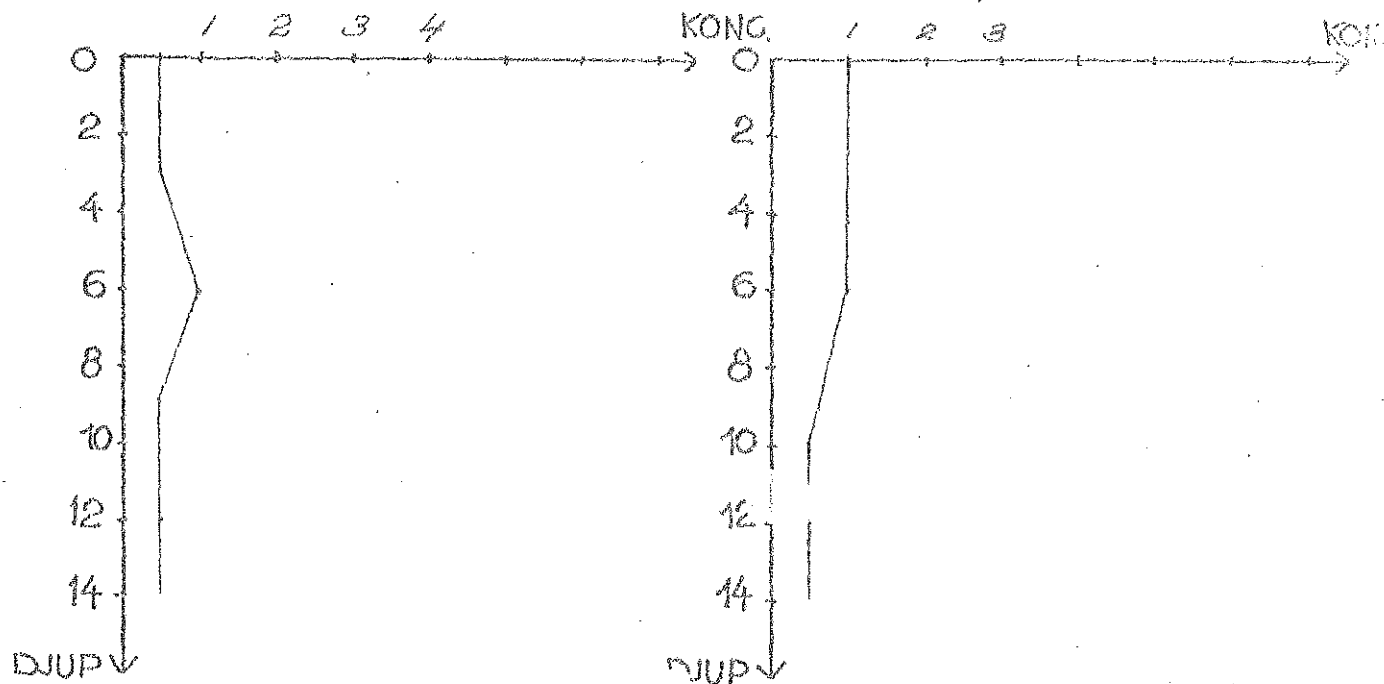


DJUPPROFILER

136.

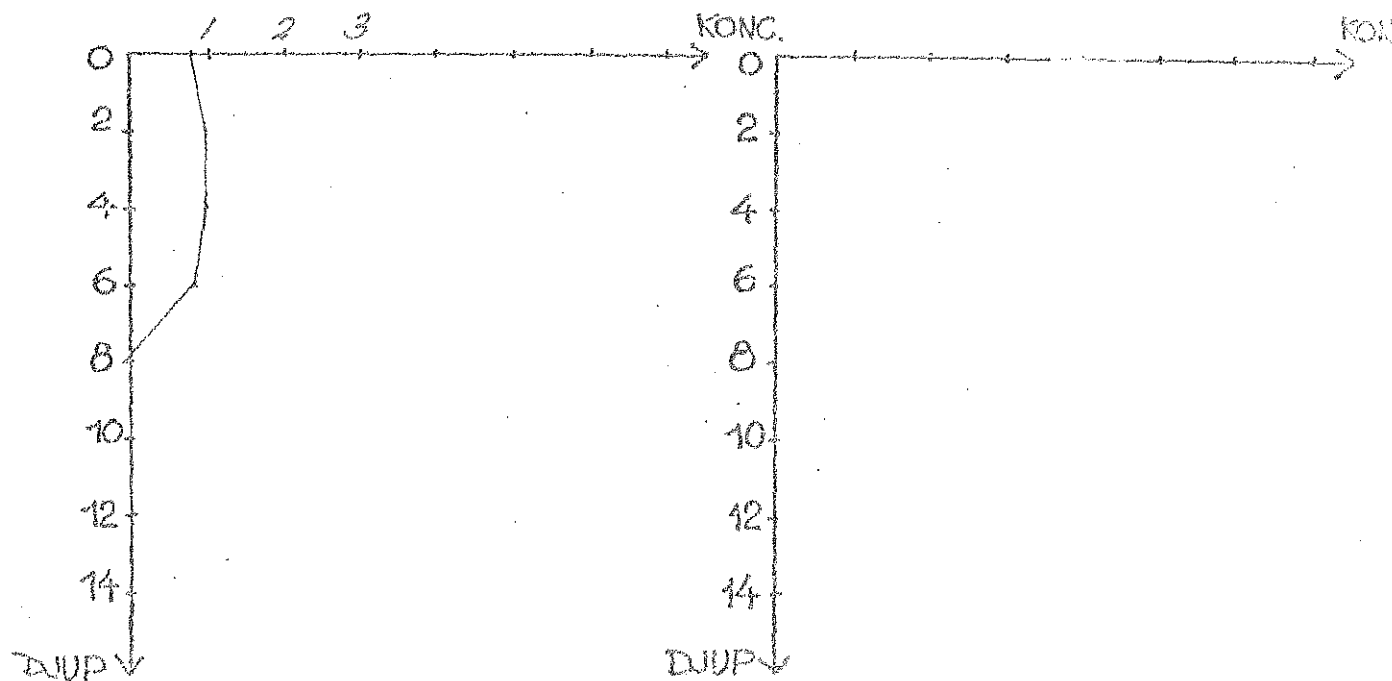
TID: 25.8-71 41
KOORD: 15/0

TID: 25.8-71
KOORD: 29/-5



TID: 25.8-71
KOORD: 38/-5

TID:
KOORD:

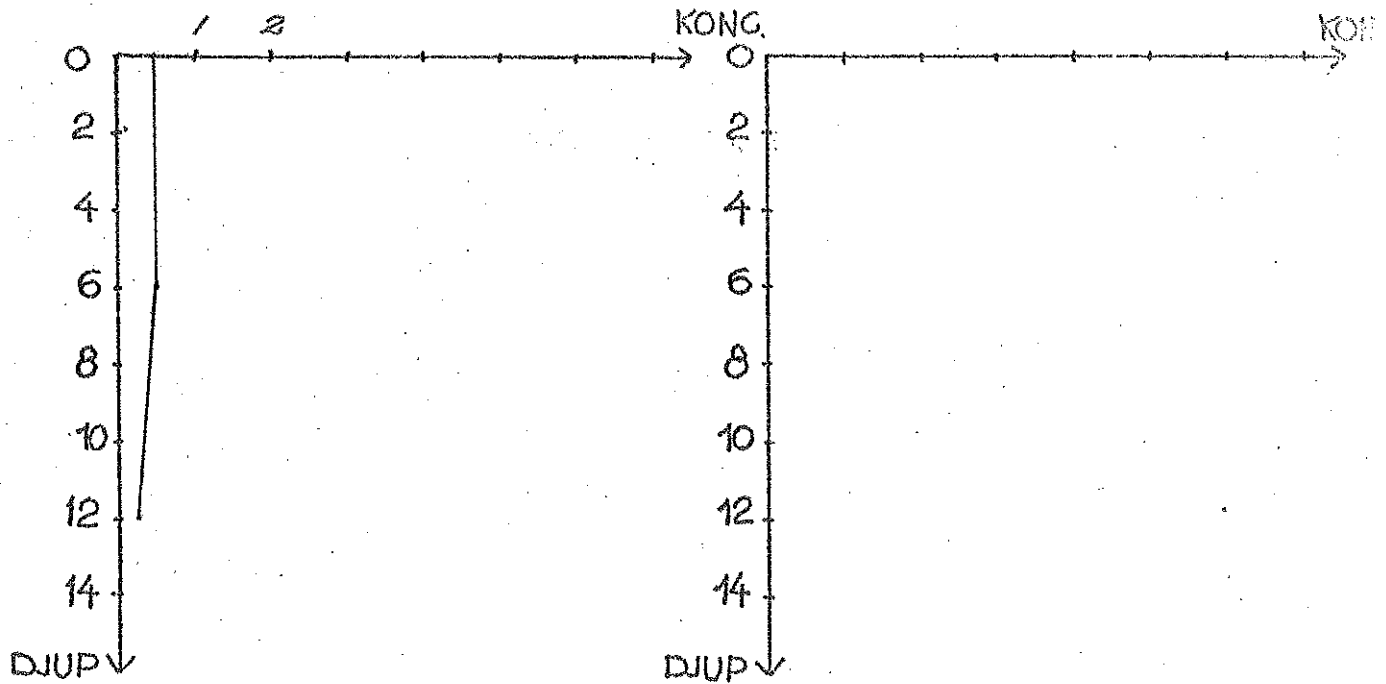


DJUPPROFILER

187.

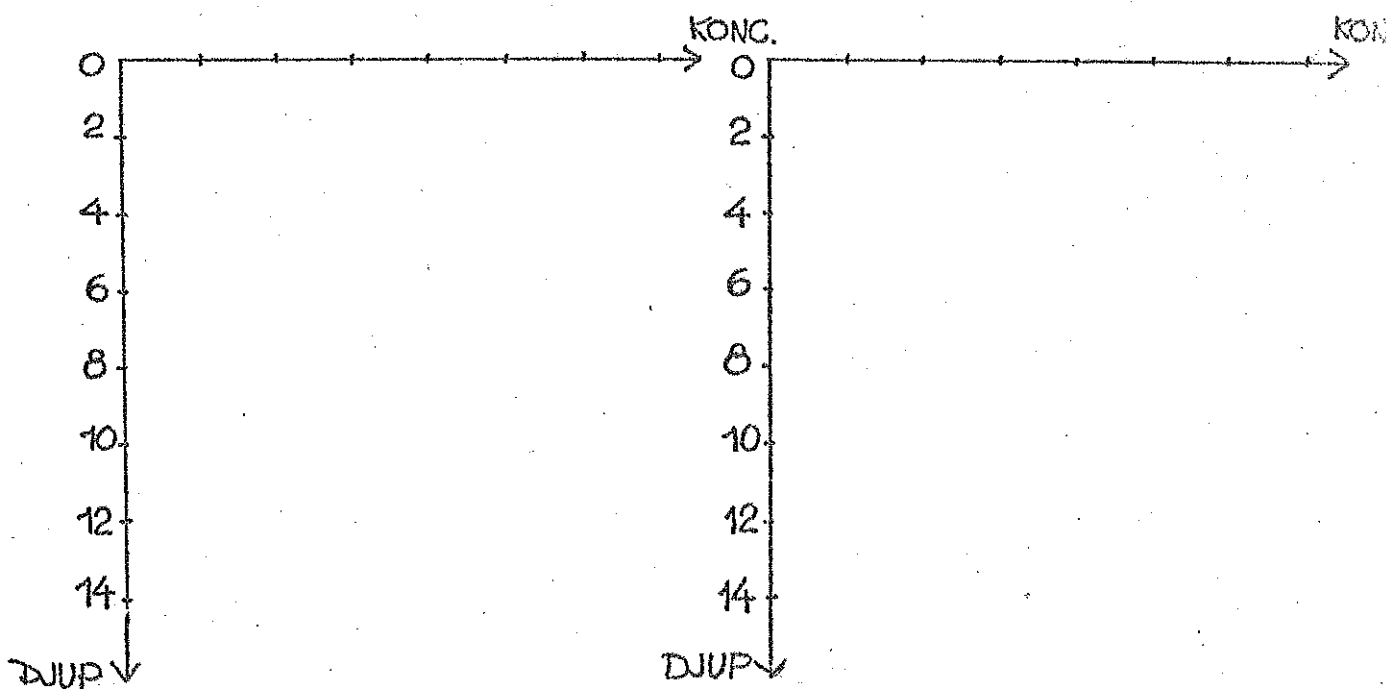
TID: 3.9-71
KOORD: 38/-5

TID:
KOORD:



TID:
KOORD:

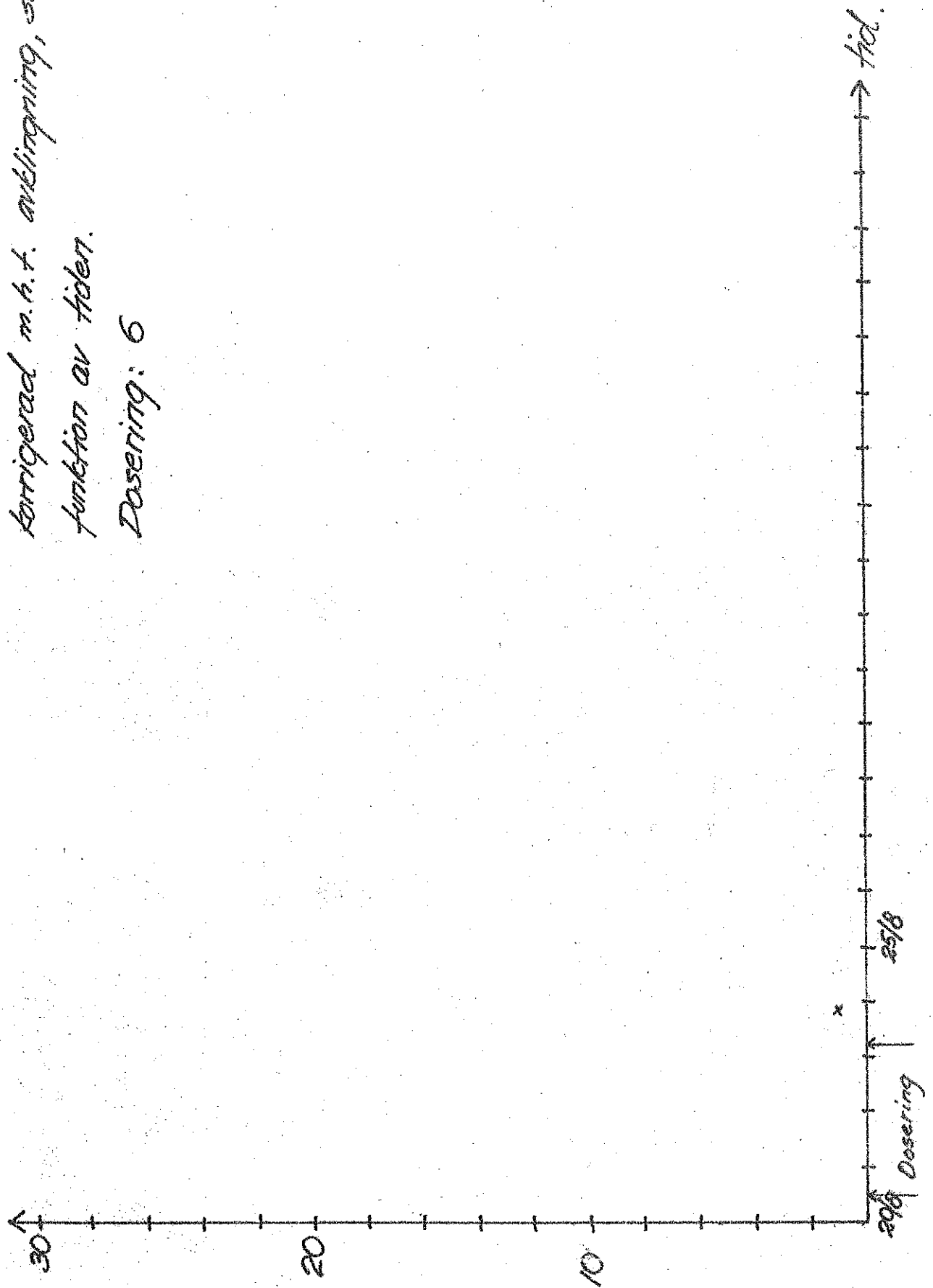
TID:
KOORD:



Konzentration wars Turabayen (50/41)

korrigerad m.h.t. avvikning, som funktion av tiden.

Dasering: 6



7. UTVÄRDERINGAR

7.1 Tillämpning av diffusionsteorin

Den numeriska lösningen till diffusionsekv. $\frac{\Delta C}{\Delta t} + u_x \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{A_x} \frac{\partial}{\partial x} (A_x K_x \frac{\partial C}{\partial x})$ kan skrivas i differensform

$$\frac{\Delta C}{\Delta t} + u_x \frac{\Delta C}{\Delta x} = \frac{1}{A_x} \frac{\Delta}{\Delta x} (A_x K_x \frac{\Delta C}{\Delta x}) \quad (12)$$

Termen $u \frac{\Delta C}{\Delta x}$ beror huvudsakligen på tidvattengenererade och vinddrivna strömmar. Betraktar man en längre tidsperiod kan tidvattnets inverkan försummas. Vindpåverkan kan ge en nettoström på vissa nivåer även under längre perioder. Vid beräkningarna kan denna inverkan dock antas ingå i diffusionstermen. Dessutom har vi en resulterande genomströmning av sötvatten, vilken i vårt fall försummas.

Vi betraktar en fjord med konstant sektion. Då blir A_x konstant. Ekv. (12) kan om K_x antages vara konstant sålunda omskrivas till

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\Delta}{\Delta x} (K \frac{\Delta c}{\Delta x}) = K \frac{\Delta^2 c}{\Delta x^2} \quad (13)$$

Ekv. (3); $N = -k \frac{\partial c}{\partial s}$ kan omskrivas till:

$$q = u_x \cdot A_x \cdot c = A_x \cdot K_x \frac{\Delta c}{\Delta x} \quad (14)$$

där q är totala nettotransporten av spårämne per tidsenhet genom den betraktade sektionen. Om vi sålunda löser ekv. (13) genom differensräkning kan vi få ett värde på K . Detta insättes i ekv. (14) varvid q kan beräknas.

Dosering 4 är den mest tillämpbara eftersom spårämnet var tillbart under lång tid. Något som liknar fortvarighetstillstånd kan anse ha uppkommit. Det betraktade elementet väljes till +10 ± +30 dvs mitt i fjorden.

Använda mätvärden:

		Koncentration i koordinat		
		Multipl = 10^{-10}		
		0	20	40
17/7	17.00		4	
19/7	19.00		3	3
21/7	13.00		2	

$$\begin{aligned}\frac{\Delta c}{\Delta t} &= \frac{c(x=20, t=21/7) - c(x=20, t=17/7)}{\Delta t} = \frac{(2-4) 10^{-10}}{92 \cdot 3600} \\ &= -0,6 \cdot 10^{-15}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\Delta^2 c}{\Delta x^2} &= \frac{c(x=0, t=19/7) - 2c(x=20, t=19/7) + c(x=40, t=19/7)}{\Delta x^2} = \\ &= \frac{2 - 2 \cdot 3 + 3}{(2 \cdot 10^3)^2} = -0,25 \cdot 10^{-16}\end{aligned}$$

$$k_x = \frac{-0,6 \cdot 10^{-15}}{-0,25 \cdot 10^{-16}} = 24 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\begin{aligned}\frac{\Delta c}{\Delta x} &= \frac{c(x=0, t=19/7) - c(x=40, t=19/7)}{\Delta x} = \frac{(2-3) 10^{-10}}{4 \cdot 10^3} = \\ &= -0,25 \cdot 10^{-13}\end{aligned}$$

Insättning i ekv. (14)

$$q = u_x A_x \cdot c - A_x \cdot K_x \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

Termen $u_x A_x \cdot c$ anses ingå i diffusionstermen.

A_s = Arean i element +10 - +30 ovan språngskiktet

$$(12 \text{ m djup}) = 16\,400 \text{ m}^2$$

Ekvation (14) ger att utbytet mellan de betraktade elementen kan skrivas:

$$Q \Delta c = A_x K_x \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

$$Q = \frac{A_x K_x}{\Delta x}$$

$$Q = \frac{16\,400 \cdot 24}{200} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$$

Av diffusion orsakat vattenutbyte är alltså ekvivalent med en nettoström på $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Detta värde är dock behäftat med stor osäkerhet, eftersom mätutrustningens mätnoggrannhet $\pm 0,5$ enheter starkt påverkar resultaten.

Ovanstående tillämpning får endast ses som en exemplifiering av teorin i kap. 3.3 för att påvisa de möjligheter som finns att bestämma diffusionens storlek.

7.2 Tillämpning på teorin om "välblandad modell"

Som underlag för beräkningar har planimetrering utförts för vissa utvalda mätningar under hela mättiden på dosering 4, se tabell sid. 192-195. Byfjorden och inre delen av Havstensfjord har indelats i segment från koordinat -10 till 0, 0 till +10, +10 till +20, +20 till +30 och koordinat $> +30$ inklusive del av Bäveån. Koncentration och spridningsdjup har erhållits från respektive mätkartor och inmätt mängd rodamin för varje sektion har beräknats. Mängderna har korrigerats med hänsyn till avklingning och proportionerats med en faktor verklig mängd rodamin/beräknad mängd rodamin, då den inmätta och beräknade mängden rodamin för det mesta var större än den utsläppta mängden. För näst sista ytmätningen har den verkliga mängden uppskattats till 19 l medan vid den sista ytmätningen ingen sådan korrigering gjorts, då inmätt mängd ansetts ha överensstämmt med verklig mängd. Diagram har uppritats visande rodaminets koncentration och spridning som funktion av tiden från dosering, se sid. 196-198.

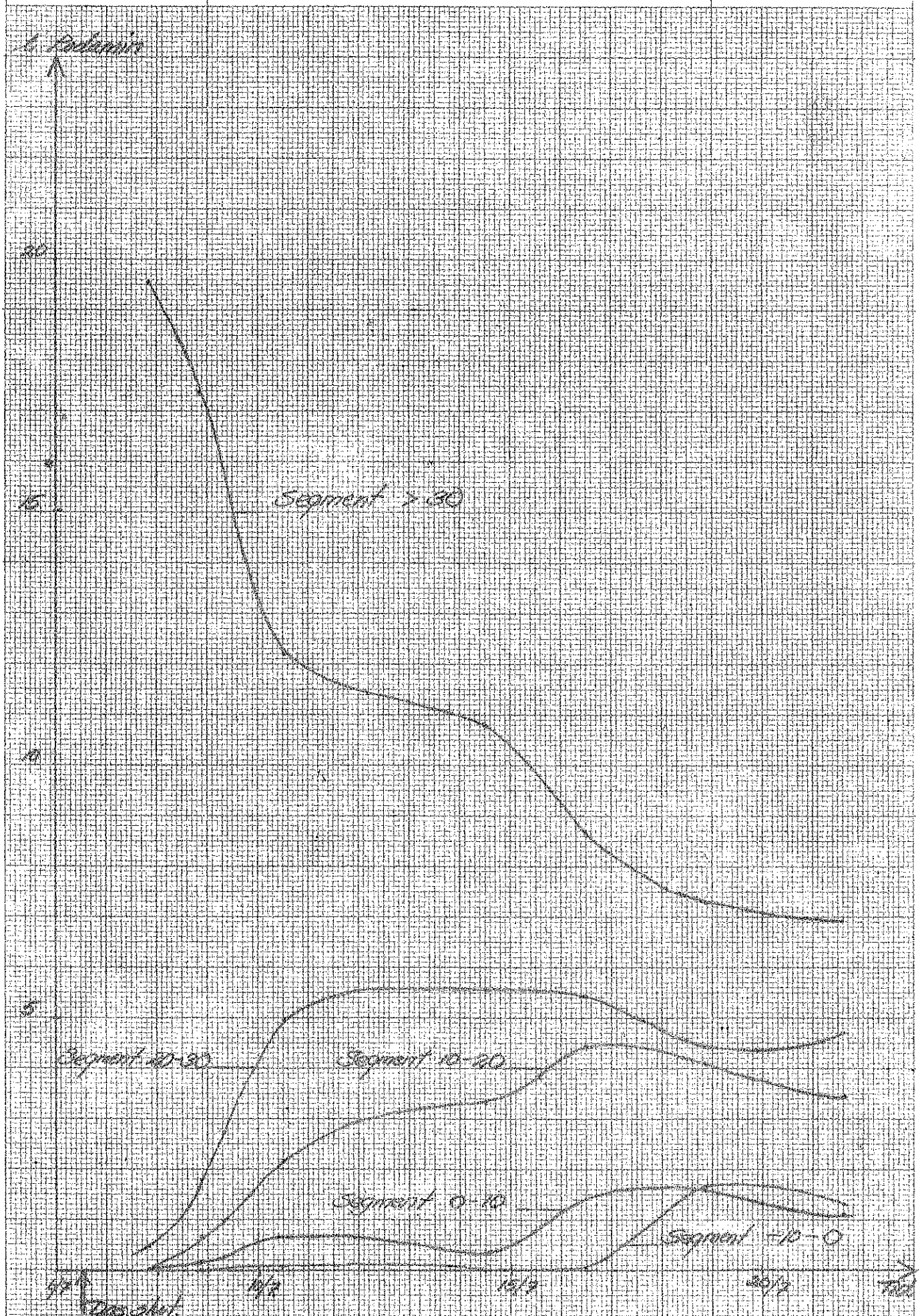
Diagrammen kan användas för fortsatta beräkningar av det diffusiva utbytet i fjorden. Man ser bl.a. att en någorlunda väl omblandning av rodaminet har skett efter en tid av knappt 2 veckor. Koncentrationen har då sjunkit från $6 \cdot 10^{-10}$ till $2 \cdot 10^{-10}$, dvs en utspädning på 3 ggr. Mätningar utförda strax efteråt visar en närmast fullständig omblandning ned till 2 meters djup i fjorden. Dessa resultat är dock ej redovisade på diagrammen. På sid. 196 ser man också att tiden för det doserade vattnet att ta sig ut till segment -10 - 0, dvs Sunninge Sund, var 10 dygn.

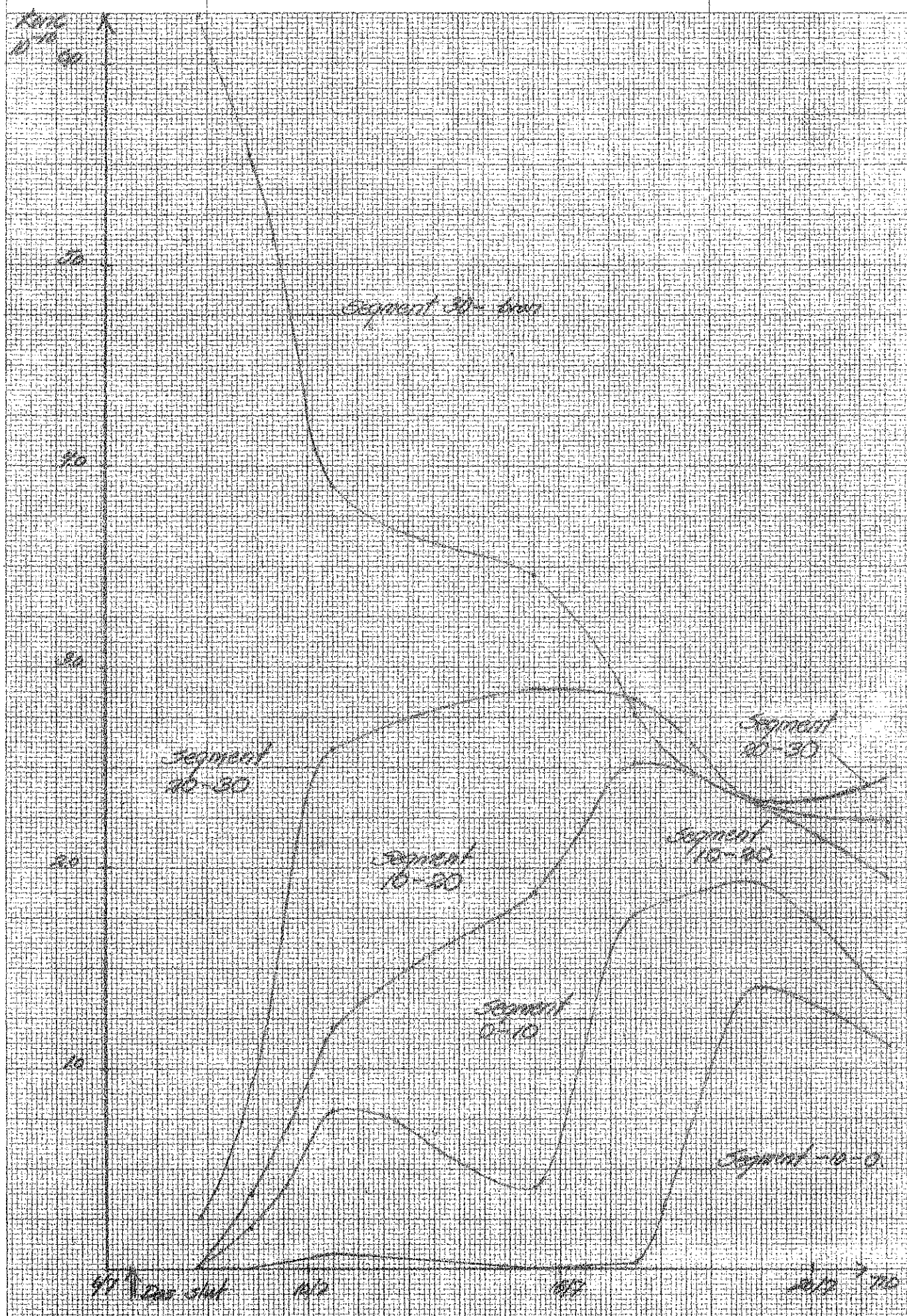
Tid Mättn område	Yta (km ²)	Spridn.- djup (m)	Konc. (10 ⁻¹⁰)	Roda- min (l)	Avkl. - koeff. e ^{-NT}	Rod. e ^{-NT}	Korr. rod. (l)	%	Med. konc. (10 ⁻¹⁰)
7/7 21.00									
4/20	1.130	10	0.75	0.85	0.97	0.88	0.49	2.45	0.26
4/30	0.489	10	0.75	0.37					
	0.532	10	3	1.60					
	0.557	10	7	3.89					
	0.089	10	14	0.13					
	0.089	10	25	0.22					
	0.356	8	35	10.00					
	0.244	8	45	8.80					
	0.200	8	50	8.00					
Bäveån	0.0038	6	15	0.33					
	0.023	6	25	0.34					
				33.68	0.97	34.70	19.51	97.55	6.24
				34.53			20.00		
8/7 19.30									
6/0	0.355	6	1.0	0.21	0.95	0.22	0.16	0.7	0.20
6/10	1.470	6	1.0	0.88	0.95	0.93	0.66	3.3	0.37
6/20	1.020	6	1.0	0.61					
	0.333	6	3.5	0.70					
	0.244	6	7.5	1.10					
				2.41	0.95	2.54	1.79	9.0	0.93
6/30	0.355	6	1.0	0.21					
	0.423	6	3.5	0.83					
	0.621	6	7.5	2.80					
	0.489	6	15.0	4.40					
	0.267	6	25	4.00					
	0.156	6	35	3.27					
	0.267	6	45	7.22					
Bäveån	0.023	6	25	0.34					
				23.07	0.95	24.30	17.39	87	5.55
							20.00		
				26.57					

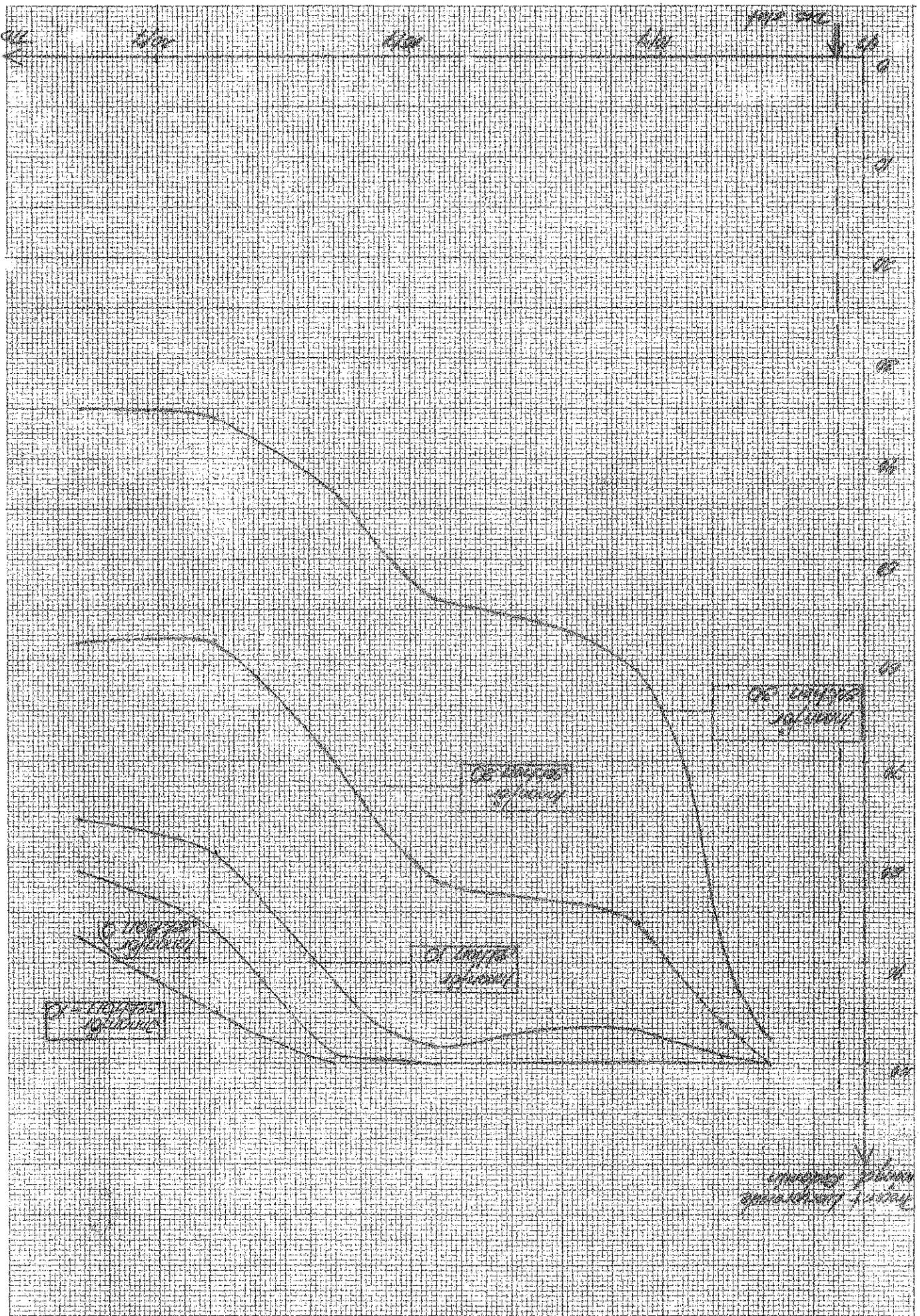
Tid Matn område	Yta (km ²)	Spridn. djup (m)	Konc. (10 ⁻¹⁰)	Roda- min (l)	Avkl. - koeff. e-NT	Rod. e-NT	Korr. rod. (l)	%	Med. konc. (10 ⁻¹⁰)
10/7 13.00									
7/-10	0.156	5	0.5	0.04					
	0.045	5	1.5	0.03					
				0.07	0.91	0.08	0.08	0.2	0.07
7/0	0.422	5	1.5	0.32					
	0.200	5	2.5	0.25					
	0.067	5	4.0	0.13					
				0.60	0.91	0.66	0.63	3.2	0.79
7/10	0.244	5	0.5	0.06					
	0.435	5	1.5	0.38					
	0.333	5	2.5	0.42					
	0.178	5	4.0	0.36					
	0.222	5	7.5	0.83					
				2.00	0.91	2.20	2.12	10.6	1.20
7/20	0.067	5	0.5	0.02	0.02				
	0.134	5	1.5	0.10					
	0.178	5	2.5	0.22					
	0.134	5	4.0	0.27					
	1.090	5	7.5	4.10					
				4.71	0.91	5.19	4.97	25	2.59
7/30	0.222	5	2.5	0.28					
	0.267	5	4.0	0.54					
	1.380	5	7.5	5.18					
	0.66	5	15.0	4.95					
	0.045	5	20.0	0.45					
Bäveån	0.038	5	5.0	0.10					
				11.50	0.91	12.61	12.20	61	3.90
				1.88					
						20.00			

Tid Mät- område	Yta (km ²)	Spridn. djup (m)	Konc. (10 ⁻¹⁰)	Roda- min (l)	Avkl. - koeff. e ^{-NT}	Rod. e ^{-NT}	Korr. rod. (l)	%	Med. konc (10 ⁻¹⁰)
14/7 13.00									
9/0	0.206	8	0.5	0.08					
	0.111	8	1.5	0.13					
				0.21	0.83	0.25	0.33	1.5	0.41
9/10	1.042	8	1.5	1.25					
	0.422	8	2.5	0.84					
				2.09	0.83	2.52	3.30	16.5	1.87
9/20	0.312	8	1.5	0.38					
	0.821	8	2.5	1.64					
	0.466	8	4.0	1.49					
				3.51	0.83	4.23	5.55	28.0	2.89
9/30	1.510	6	4.0	3.64					
	1.062	6	5.0	3.18					
Bäveån	0.053	5	4.0	0.11					
				6.93	0.83	8.35	10.82		
				9.74			20.00		
16/7 12.00									
11/-10	0.111	10	0.5	0.06	0.79	0.08	0.04	0.9	0.03
11/0	0.134	10	0.5	0.06					
	0.067	10	1.5	0.10					
	0.067	10	2.5	0.17					
	0.100	10	4.0	1.60					
				1.93	0.79	2.44	1.42	7.1	1.77
11/10	1.470	10	4.0	5.86	0.79	7.40	4.43	22.0	2.52
11/20	0.578	10	4.0	2.32					
	1.020	10	5.0	5.10					
				7.42	0.79	9.40	5.45	27.0	2.84
11/30	2.580	9	5.0	11.60					
Bäveån	0.053	6	5.0	0.16					
				11.76	0.79	14.90	8.66	43.0	2.76
				27.03			20.00		

Tid Måtn område	Yta (km ²)	Spridn. djup (m)	Konc. (10 ⁻¹⁰)	Roda- min (l)	Avkl. - koeff. e ^{-NT}	Rod. e ^{-NT}	Korr. rod. (l)	%	Med. konc. (10 ⁻¹⁰)
13/7 21.00									
13/-10	0.468	8.0	1.5	0.56	0.74	2.14	1.70	8.5	1.40
				1.02					
				1.58					
13/0	0.222	8.5	2.5	0.47	0.74	2.15	1.71	8.6	1.93
				1.12					
				1.59					
13/10	1.470	8.5	3.0	3.73	0.74	5.05	4.02	20.1	2.32
13/20	1.600	8.5	3.0	4.10	0.74	5.53	4.40	21.9	2.32
13/30	2.580	8.5	3.0	6.58					
Bäveån	0.053	6	3.0	0.10	0.74	9.00	7.17	35.9	2.33
				6.68					
				17.68			19.00		
21/7 14.00									
15/-10	0.978	6	1.5	0.88	0.68	1.29	1.29	6.5	1.11
15/0	0.244	7	1.5	0.26	0.68	1.25	1.25	6.3	1.35
				0.59					
				0.85					
15/10	1.470	8	2.0	2.35	0.68	3.45	3.45	17.2	1.96
15/20	1.600	9.5	2.0	3.04	0.68	4.47	4.47	22.4	2.45
15/30	2.580	9	2.0	4.65					
Bäveån	0.053	6	2.0	0.06	0.68	6.93	6.94	34.6	2.22
				4.71					
				11.83			17.40		







Rodamlingd som funktion av tiden
för dosering 4.

En av förutsättningarna för att teorin om "välblandad modell" skall vara applicerbar, är att rodaminet är väl omblandat i hela fjordens ytskikt. Detta uppfylldes bara från slutet av våra mätningar på dosering 4. Enstaka djupprofiler har dock tagits efter det att våra mätningar avbrutits. Med dessa som underlag har en medelkoncentration C_f ned till 12 meters djup i fjorden bestämts. Beräkningen har här skett i 2 meters intervall. Värden på kvoten C_f/C_o har inprickats i ett lin-log-diagram (se sid. 201) där C_o är koncentrationen vid den tidpunkt då teorin för den välblandade modellen börjar användas. I den tillämpade beräkningen nedan har denna tidpunkt valts till den 18 juli. Inmätta mängder rodamin, kvoten C_f/C_o och medelkoncentrationen C_f redovisas i tabellform nedan.

Datum	Inmätt mängd rodamin (l)	Avklingn. - koefficient (e^{-NT})	Rod/ e^{-NT}	C_{medel}	C_f/C_o
18/7	16,10	0,74	21,80	3,7	1,0
21/7	10,95	0,68	16,10	2,7	0,74
24/7	11,80	0,64	18,40	3,1	0,84
25/7	11,03	0,62	17,80	3,0	0,82
27/7	5,83	0,58	10,10	1,7	0,46
28/7	3,49	0,57	6,1	1,03	0,28
29/7	3,83	0,55	7,0	1,19	0,32
30/7	2,08	0,54	3,86	0,66	0,18
2/8	1,85	0,49	3,78	0,64	0,17
4/8	1,38	0,47	2,94	0,50	0,15
5/8	1,02	0,46	2,22	0,38	0,10

Ur diagram sid. 201 erhålles $C_f/C_o = 0,094$ efter en tid av 20 dagar. Detta värde används för att lösa ekv. (10)

$$\frac{C_f}{C_o} = e^{-\frac{E + Q_s}{V_f} \cdot t}$$

där V_f är volymen av fjorden mellan 0 - 12 m:s djup.

$$V_f = 59 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$t = 20 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ sek.}$$

$$0.094 = e^{-\frac{E + Q_s}{59 \cdot 10^6} \cdot 20 \cdot 24 \cdot 3600}$$

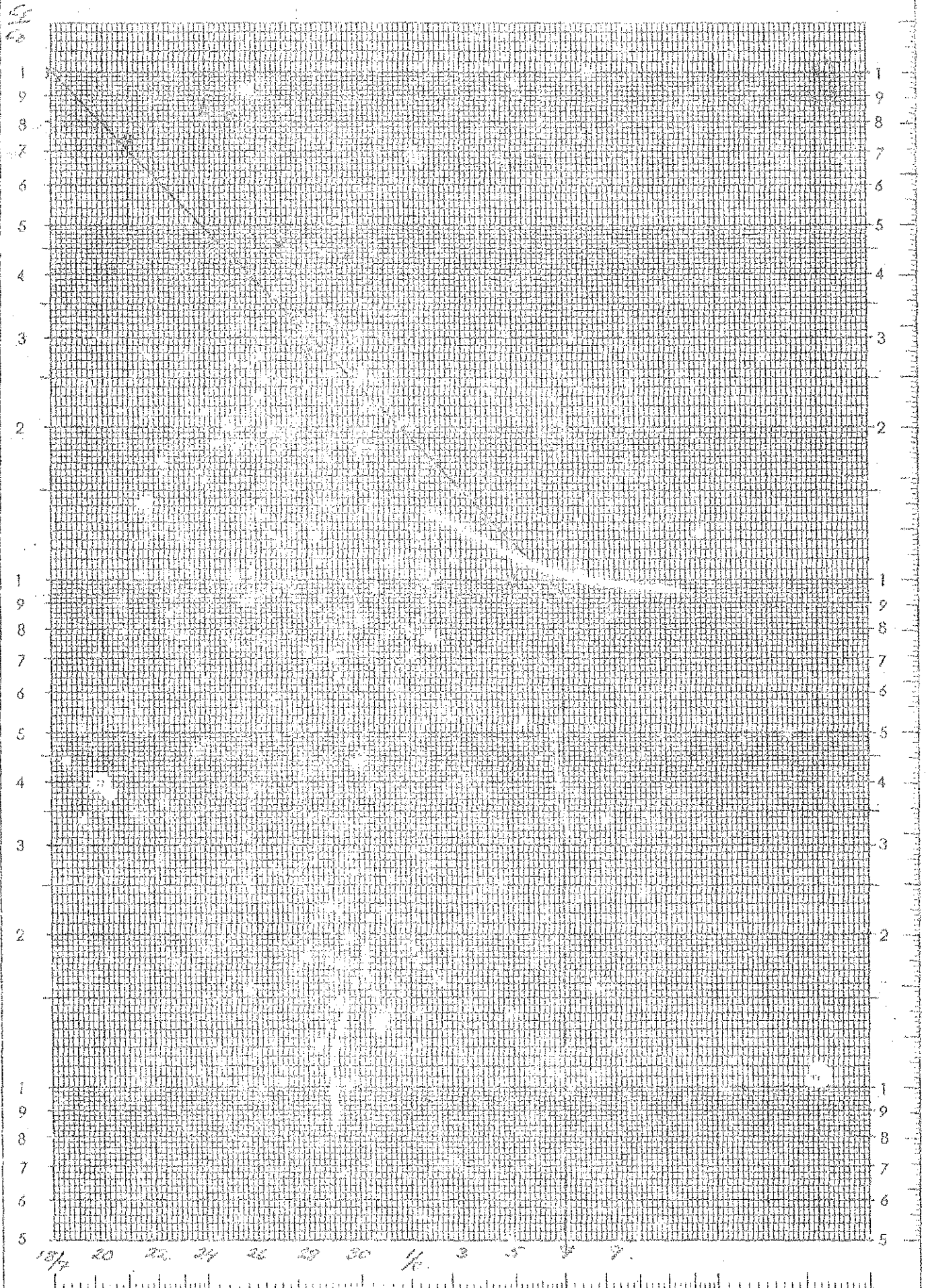
$$E + Q_s = 80 \text{ m}^3/\text{s}$$

Q_s är av storleksordningen $1 \text{ m}^3/\text{s}$ varför värdet på utbyteshastigheten E blir $79 \text{ m}^3/\text{s}$. Om djupet i stället väljes till 10 m fås $E + Q_s = 70 - 75 \text{ m}^3/\text{s}$. Dessa värden är vid jämförelse med tidigare funna värden stora. Enligt forskningsrapport till SNV 1970 [10] skulle, utgående från medelhastighetsprofiler, den beräknade utbyteshastigheten vara $40 \text{ m}^3/\text{s}$. Beräkningar utförda på totala fosforbalansen i fjorden har enl. civ. ing. Torbjörn Svensson likaledes gett utbyteshastigheter av storleksordningen $40 \text{ m}^3/\text{s}$. En förklaring till den höga utbyteshastigheten kan vara den sämre noggrannheten hos mätapparaturen vid de låga koncentrationer som det här var fråga om. Troligt är emellertid att utbyteshastigheten under vissa förhållanden överstiger $40 \text{ m}^3/\text{s}$.

Fig. 27

Tids-koncentrationsdiagram för
dosering 4 enl. ekv. (10).

201.



8. SAMMANFATTNING

Uddevalla Kommun har för sitt planerade avloppsutsläpp önskat få en uppfattning om var det skall placeras. Två alternativa utsläppspunkter ansågs lämpliga att studera närmare, dels en på ca 6 meters djup och dels en på ca 30 meters djup. Vår uppgift var att undersöka hur spridningen av avloppsvattnet blev vid utsläpp på 6 meters djup. För att simulera ett eventuellt framtida avloppsutsläpp släppte vi ut sötvatten genom ett munstycke på detta djup. Rodamin tillsattes för att kunna spåra sötvattnets utbredning i Byfjorden. Uppmätta rodamin-koncentrationer kan således sägas vara ett mått på föroreningarnas koncentrationer.

Utförda mätningar har visat att spridningen av spårämnet är starkt beroende av meteorologiska och hydrologiska betingelser. Speciellt vindens styrka och riktning betyder mycket. Västliga vindar medför att de största koncentrationerna registreras i Bäveån och hamnområdena, under det att östliga vindar orsakar en transport av ytvatten ut till Havstensfjorden. Tyngdpunkten av rodaminmolnet förskjutes dessutom mot den strand, mot vilken vinden blåser. Det har inte gått att finna något generellt spridningsmönster, som skulle vara oberoende av vinden. Efter ca en vecka har rodaminet nått Sunninge Sund vid västliga vindar, medan det vid östliga tar ca 2 dygn.

Omblandningen i vertikalled visar inte heller enhetligt mönster. Vid ihållande, ej nödvändigtvis starka, västliga vindar synes det emellertid som om en god omblandning i fjordens ytvattenskiikt erhålles. Förklaringen till detta torde vara att det då sker en jämn intransport av ytvatten, som i sin tur alstrar en returström på djupare nivå. Se figur 28.

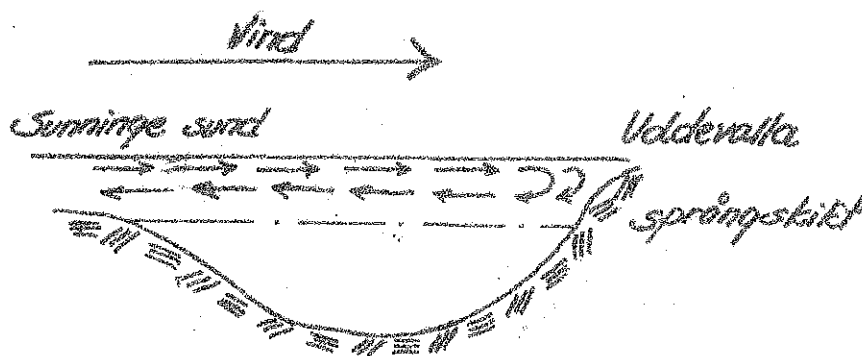


Fig. 28

Vid övriga vindförhållanden sker den vertikala omblandningen betydligt långsammare. Koncentrationen är då störst mellan ytan och 2 meters djup, medan den därunder snabbt avtager och är noll vid språngskiktet. Speciellt tydligt märks detta vid ostliga vindar med ett strömsystem enligt fig. 29.

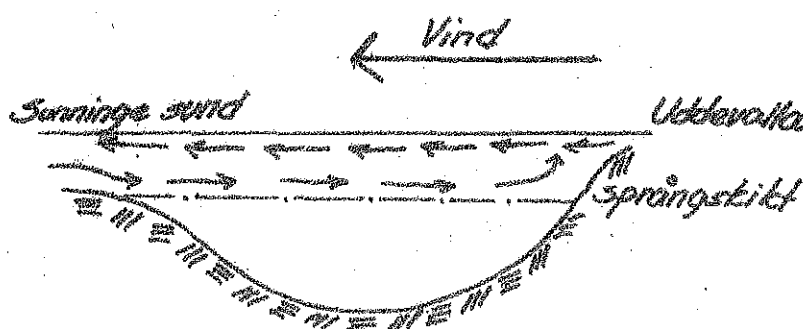


Fig. 29

Under sommaren dominerar västliga vindar, medan under övriga årstider ostliga vindar är mer frekventa. Den initialutspädning och inlagringsnivå som fås med det studerade utsläppsförfarandet beror på fjordens täthets-skiktning, vilken varierar med årstiden. Tätheten bestäms i huvudsak av salthalten vilken i ytskiktet regleras av sötvattentillrinningen och salthalten i Havstens fjord, vilken varierar något, främst beroende på vind och lufttrycksvariationer. Speciellt vintertid kan språngskiktet i Havstensfjorden lyftas över tröskelnivån, vilket åstadkommer motsvarande effekt i Byfjorden. En följd av detta är att möjligheten till inlagring av avloppsvatten under ytan i Byfjorden ökar under vinterperioden.

Under språngskiktet har inget spårämne upptäckts. Vid tillfällen med större sötvattentillförsel uppträdde ett sekundärt språngskikt på ungefär 2 meters djup vid Bäveåns mynning. Detta medför att vid vårflod och vid kraftig nederbörd torde avloppsvattnet inlagras vid ca 2 meters djup.

Sammanfattningsvis kan följande fastslås beträffande ett eventuellt avloppsvattenutsläpp på 6-10 meters djup. Under sommaren kommer avloppsvattnet att stiga till ytan. Höga koncentrationer uppträder i Bäveån och hamnområdet i samband med västliga vindar. Under övriga årstider transporteras

avloppsvattnet snabbare ut mot Sunninge sund i samband med större frekvens av ostliga vindar och större sötvattenflöde. Inlagring kommer tidvis att ske på 2 m:s djup, vilket innebär sämre initialutspädning. Å andra sidan får man då ett relativt opåverkat ytvattenskikt.

För att välja lämpligaste utsläppspunkt för Uddevalla Kommun måste en noggrann jämförelse göras med "Ahlström, A., Johansson, J. O., Schilling, P.-O.: Simulering av avloppsutsläpp i Byfjordens bottenvatten. Examensarbete 1971:4". Redan nu kan emellertid vissa skillnader mellan de två alternativen påpekas.

Ytutsläpp är mer beprövade och dess verkan är lättare att förutsäga. Ytutsläppet är också mindre kostnadskrävande ur både drift- och anläggningssynpunkt. Denna form av utsläpp medför en kontinuerlig uttransport av avloppsvatten till Havstensfjorden i motsats till djuputsläpp, där uttransporten sker vid speciella tillfällen. Risk föreligger därför att koncentrationen av avloppsvatten vid dessa tillfällen blir högre i ytvattnet vid djuputsläpp än vid ytvattenutsläpp. Normalt blir dock mängden avloppsvatten i ytvattnet betydligt lägre vid djuputsläpp än vid ytutsläpp.

I avloppsvattnet finns en del närsalter. När dessa tillförs det ljusrika ytskiktet fås förutsättningar för en kraftig algproduktion, vilken syns som en grumling av vattnet. Vid en eventuell bakterieförorening kan ytvattenutsläpp innebära smittorisk i samband med bad. Det bör dock observeras att det här anförda föreligger i betydligt större omfattning nu än vid det planerade framtida ytvattenutsläppet. Ur fiskesynpunkt är troligtvis djuputsläpp att föredraga, eftersom den annars ökade algproduktionen medför sämre syreförhållanden och större förekomst av s. k. sumpfisk på bekostnad av bättre fisksorter.

LITTERATURFÖRTECKNING

- [1] Sjöberg, Anders: Prognosering av spridning och blandning av avloppsvatten i kustområden. Inst. f. vattenbyggnad, CTH.
- [2] Albertsson et al: "Diffusion of submerged jets". Trans. ASCE, Vol. 115, (1950), p. 639-697.
- [3] Cederwall och Rahm: "Havsutsläpp av avloppsvatten", Väg- och vattenbyggaren nr 6, 1963.
- [4] Harremoes, P.: Recipientundersøgelse for Helsingør og Helsingborgs kommuner, Rapport nr 7, 1967. Isotopcentralen, Köpenhamn.
- [5] Cederwall, Klas: "Spridningsförsök med spårämnen", Väg- och vattenbyggaren, nr 1-2, 1966.
- [6] Göransson och Svensson: "Byfjordsundersökningen 1971. Vattenomsättning". Forskningsredogörelse: Projekt 7-77/71.
- [7] Hedin, Munthe och Persson: "Spårämnesförsök i Byfjorden". Examensarbete i vattenbyggnad 1970:1.
- [8] Andersson, T., Palm, T., Plith, C.: "Sötvattenpåverkan på Byfjorden under vårflod". Examensarbete 1971:2.
- [9] Operating and Service Manual Model III Fluorometer Printed G.K. Turner Associates.
- [10] Göransson och Svensson: Forskningsrapport till SNV 1970.
- [11] Ahlström, A., Johansson, J.-O., Schilling, P.-O.: Simulering av avloppsutsläpp i Byfjordens bottenvatten. Examensarbete 1971:4.