



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
INSTITUTIONEN FÖR VATTENBYGGNAD
Meddelande nr 68

GÖTA ÄLV

En hydrologisk analys
av transport- och blandningsprocesser

Del B Fältmätningar

Examensarbete 1972:2

Göteborg

Examensarbeten 1972:2 (Moment 2 nedan)

Fältmätningar i Göta Älv

Allmänt

Göta Älv, som rinner mellan Vänersborg och Göteborg, är Sveriges största vattendrag och har utomordentlig betydelse för västsveriges näringsliv och vattenhushållning. Bland de olika intressenter som gör anspråk på älven kan nämnas Göteborgs stad (råvattentäkt), kanaltrafiken, kraftintressen, industrier som nyttjar älven som recipient samt allmänna natur- och miljövårdsintressenter. De olika krav på bl. a. vattenföringar, vattenkvalitet och regleringsamplitud som dessa intressenter har är delvis motstridiga och en avvägning dem emellan måste göras. Mot bakgrund av den intensiva miljövårdsdebatten och de olägenheter i form av "smakstötar" i dricksvattnet som göteborgarna fått känna på, har därför Göta Älvs vattenvårdsförbund tagit initiativet till en utredning om transport- och blandningsprocesser i älven. En teoretisk analys har utförts [ref] vilken naturligt kompletteras av spårämnesförsök i fält, vilka utföres som examensarbeten.

1. Inblandning av biflöde i älven

Erfarenheten från andra håll visar att den laterala inblandningen av ett biflöde (eller ett avloppsutsläpp i strandkanten) sker mycket långsamt, vilket kan ha stor betydelse för placering av vattenintag, badplatser etc. Försöket utföres för två olika biflöden, ett större t. ex. Slumpån och ett mindre t. ex. Nolån. Spårämnet, Rodamin B, doseras i biflödet så långt upp att homogen blandning skett före utflödet i älven. Doseringen utföres kontinuerligt under så lång tid att spårämnets utbredning i älven kan fastställas vid stationärt förhållande. Försöket utföres vid olika vattenföringar och resultatet jämföres med existerande teorier. Temperaturen mäts för att konstatera eventuella täthetsskillnader mellan älven och biflödet.

2. Märkning av en vattenmassa vid Vänersborg

Försöket avser att ge upplysningar om verkliga flyttider längs hela älvoloppet, avsnörning och fördröjning i vikar samt longitudinell spridningshastighet.

Försöket utföres lämpligen så att en "vattenpropp" av några hundra meters längd märks med Rodamin genom dosering tvärs älven vid Vänersborg.

Rodaminmolnets läge och utbredning inmättes med jämna mellanrum under hela dess färd längs älven (ca 2 dygn). Två-tre försök utföres, om möjligt vid olika vattenföring, och mätdata jämföres med dispersionsteorier.

Litteratur

- [1] Cederwall, K.: "Göta Älv, en hydrologisk analys av transport- och blandningsprocesser". CTH, vattenbyggnad, medd.nr. 63, 1971.
- [2] Feuerstein et al.: "Fluorescent tracers for dispersion measurements". Trans. ASCE, Vol. 89 No. SA4, 1963.
- [3] SMHI: "PM angående Turners fluorimeter".
- [4] Turners fluorimetermanual.

Göteborg i februari 1972


Klas Cederwall

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | Sida |
|--|------|
| 1. Inledning | 1 |
| 1.1 Målsättning | 1 |
| 1.2 Göta älv allmänt | 1 |
| 2. Mätutrustning | 3 |
| 2.1 Allmänt | 3 |
| 2.2 Fluorometern och dess verkningsätt | 3 |
| 2.3 Övrig mätutrustning | 5 |
| 2.4 Doseringsutrustning | 5 |
| 3. Rodamin B 200 | 7 |
| 3.1 Allmänt | 7 |
| 3.2 Temperaturberoende | 7 |
| 3.3 Inverkan av vattnets beskaffenhet | 7 |
| 3.4 Fotokemisk avklingning | 8 |
| 4. Teori | 9 |
| 4.1 Lateral spridning av kontinuerligt utsläpp | 9 |
| 4.2 Initialinblandning | 12 |
| 5. Mätningar vid Nolån | 13 |
| 5.1 Nolån allmänt | 13 |
| 5.2 Göta älv vid Nolån | 13 |
| 5.3 Mätmetodik | 13 |
| 5.4 Utförda doseringar och mätningar | 15 |
| 5.5 Beräkningar | 22 |
| 5.6 Övrigt | 27 |
| 6. Mätningar vid Slumpån | 30 |
| 6.1 Slumpån | 30 |
| 6.2 Göta älv vid Slumpån | 31 |
| 6.3 Utförda doseringar och mätningar i älven | 32 |
| 6.4 Utströmning i älven | 36 |
| 7. Sammanfattning | 41 |

Bilagor

- 2.1 Kalibreringsdiagram
- 3.1 Effekt av temperaturen på Rodamin B
- 3.2 Avklingningsprov
- 5.1 - 5.7 Sektion 1 - 7, koncentrationsdiagram
- 5.8 Vattenföringar i Göta älv
- 5.9 Sektionernas läge nedströms Nolån
- 6.1 Hastighetsfördelning i Göta älv
- 6.2 - 6.12 Sektion 1 - 5, koncentrationsdiagram
- 6.13 - 6.14 Vattenståndet vid L. Edet
- 6.15 Sektionernas läge nedströms Slumpån

1. INLEDNING

1.1 Målsättning

Detta examensarbete ingår som en del av en större undersökning av transport- och blandningsprocesser i Göta älv. [1]

Tidigare försök har visat att den laterala inblandningen i ett vattendrag av ett biflöde, eller avloppsutsläpp i strandkanten, sker mycket långsamt. Detta kan ha stor betydelse för utformning och placering av utsläppsanordningar, vattenintag etc.

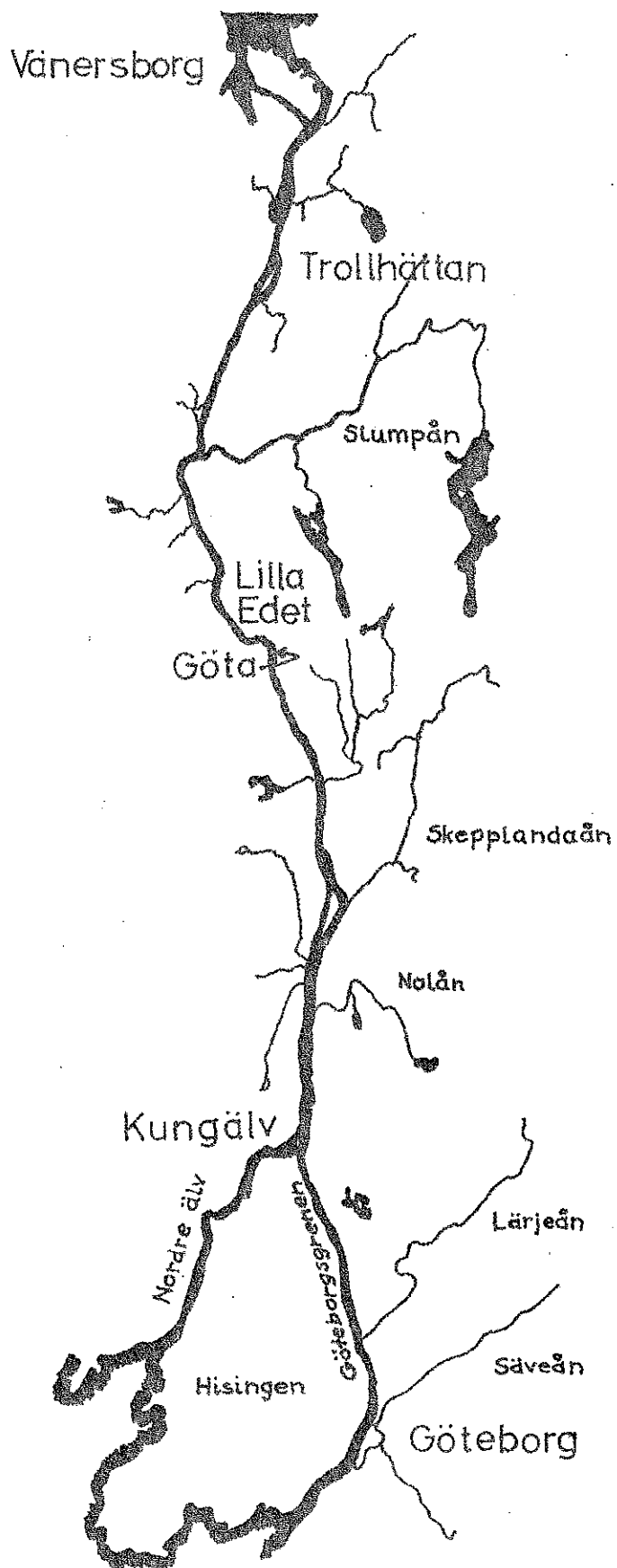
Målsättningen för examensarbetet är att studera inblandningen av ett stort och ett litet biflöde i Göta älv. Som undersökningsobjekt valdes Slumpån resp. Nolån, i vilka spårämnesmätningar utfördes. Åarnas vatten märktes då med spårämnet Rodamin B 200, vilket sedan detekterades i älven m. h. a. en fluorometer.

1.2 Göta älv allmänt

Göta älv är med en medelvattenföring vid Vänerns utlopp av ca $550 \text{ m}^3/\text{s}$ Sveriges vattenrikaste älv. Vid utloppet ur Vänern har nederbördsområdet en yta av 46.830 km^2 , varav 18,6% är sjöar. Största delen av sjöarealen upptas av Vänern med en yta av 5.550 km^2 . Vid mynningen i havet är nederbördsområdet totalt 50.180 km^2 med en längd i nordsydlig riktning av 55 mil och en bredd i östvästlig riktning av ca 18 mil. Mellan Vänern och havet har Göta älv en längd 92,5 km.

Efter ett relativt rakt lopp från Vänern till Kungälv med fall vid Vargön (5m), Trollhättan, (33 m) och Lilla Edet (4 m) delar sig älven vid Bohus i två grenar. De båda grenarna omsluter ön Hisingen. I den norra delen Nordre älv går större delen av totala vattenföringen. Enligt regleringsbestämmelserna får vattenföringen i Göteborgsgrenen inte understiga vissa minimivärden, detta för att undvika saltvattenuppträngning i vattenintaget vid Lärjeholm till Göteborg stads vattenverk. (Se fig. 1.1).

Figur 1.1



Vid utformningen av den nuvarande älvfåran har landhöjningsförloppet haft avgörande betydelse. I älvdalens nordliga delar mellan Trollhättan och Göta har den gamla fjordbotten redan höjts avsevärt över havsytans nivå. Älven har här skurit sig ner och bildat en relativt trång fåra med höga erosionsskadade strandbrinkar. Söderut har dalgången en annan karaktär. Här ligger på många ställen den ursprungliga sedimentationsytan under havets nivå. Detta gör att översvämningssplan finns på båda sidor om älven (se profiler bilaga 5.1-5.7) Strömstråket begränsas även här av branta sidor men dessa ligger fortfarande helt under vattenytan.

Sammanfattningsvis kan man säga att de sydligare delarna av Göta älv befinner sig i ett tidigare utvecklingsstadium jämfört med de nordligare.

2. Mätutrustning

2.1 Allmänt

För att bestämma spårämneskoncentrationer i älven kan två metoder tillämpas. Den ena metoden bygger på upptagning av vattenprover i olika punkter och analys av dessa vid en fast mätstation på land. Vid den andra metoden, som i detta fall användes, sker koncentrationsbestämningen direkt på platsen i en båt där hela mätutrustningen placeras. Vatten från önskat djup pumpas då m.h.a. slangar genom mätinstrumentet, där mätutslaget kontinuerligt kan avläsas.

2.2 Fluorometern och dess verkningssätt

2.2.1 Funktionssätt

För fältmätningarna användes en fluorometer av typen G K Turner Associates Model 111 Fluorometer. Till denna hör dels en dörr för mätning med genomströmningskuvett och dels en för mätning med fast kuvett.

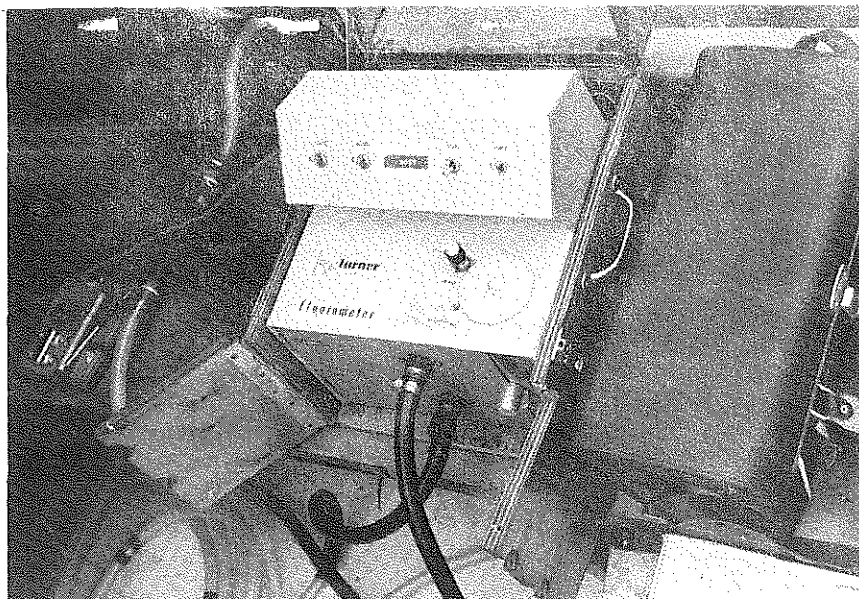


Bild 2.1 Turners fluorometer

Instrumentet utgörs i princip av en självbalanserande optisk brygga där ljus som emitteras från spårämnet vid belysning av detta mätes genom att jämföra dess effekt med en referensstråles effekt på en fotomultiplikator. Denna fotomultiplikator påverkar en bländare som vrids så att effekterna av referensstrålen och det fluorescanta ljuset blir lika. Vridningen som avläses på en skiva, är proportionell mot provets fluorescens.

Vattenprovet belyses i en kuvett med en kvicksilverlampa med primärfilter för ingående ljus och sekundärfilter för utgående ljus framför fotomultiplikatorn.

2.2.2 Uppvärmningstid

Normalt skall enligt instruktionen instrumentet inte behöva längre uppvärmningstid än ca 2 min.

Tidigare erfarenheter har emellertid visat att störande drift förekommit efter så lång uppvärmningstid som 20 min. Detta har då givit sig till känna som språngvisa förändringar i utslaget. Vid genomströmningsmätningar då eventuell drift hos instrumentet inte kan kontrolleras kan en uppvärmningstid på 30 min vara nödvändigt.

2.2.3 Kalibrering

Kalibrering av fluorometern utfördes med ett portabelt 800 W; 220 Volts elverk som spänningskälla. Dess spänning nedtransformerades m.h.a

en omvandlare till 110 volt. Då fluorometern är mer känslig för frekvensvariationer än spänningsvariationer, kalibrerades för 50 Hz och 260 Volt på elverket. Både dörr med genomströmningsskuvett och fast kuvett användes. Kalibreringen började på koncentrationen 10^{-11} och utfördes stegvis upp till 10^{-7} genom successiv tillsats av 10^{-6} - eller 10^{-3} -lösningar. Fluorometerns känslighet regleras med en hålbländare som har fyra lägen: 30 x, 10 x, 3 x och 1 x. Dessa mätområdesrelationer är endast ungefärliga, varför kalibrering måste ske av alla fyra mätområdena. Nollställning utfördes mot svart plexiglasstav. Kalibreringsdiagrammen (bilaga 2.1) gäller för temperaturen $18,5^{\circ}\text{C}$.

Vid användning av fluorometern bör mätområde väljas så att utslaget kommer att ligga över 20 enheter, eftersom kalibreringskurvorna är osäkra och icke linjära under detta värde på samtliga mätområden.

2.3 Övrig mätutrustning

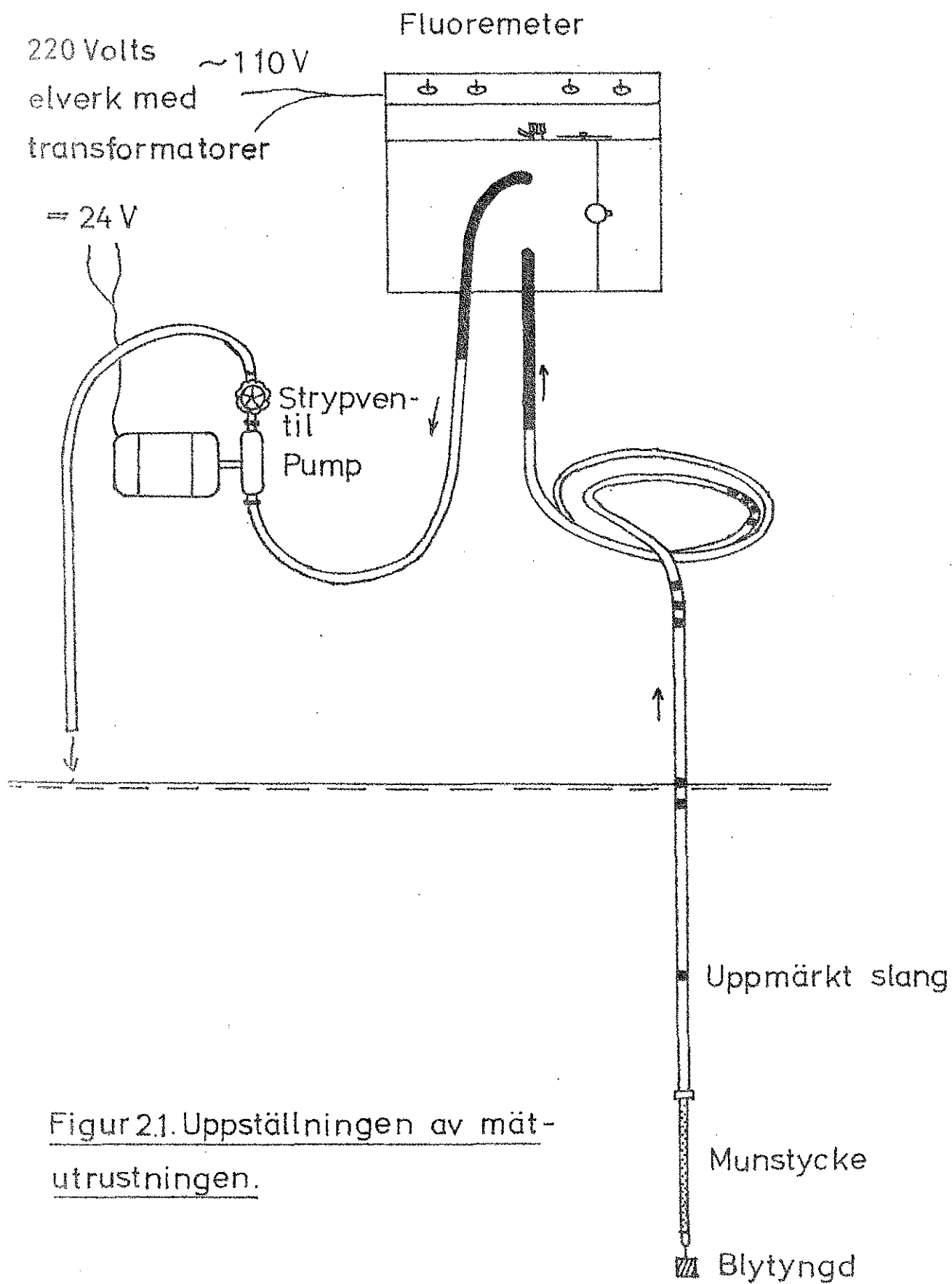
Som mätbåt använde vi Göteborgs vattenverks åttapersoners plastbåt utrustad med en utombordsmotor på 12 hk.

Det portabla elverket som användes som strömkälla uppställdes i fören och avskärmades för att minska det irriterande bullret. Elverket lämnade 220 Volt både till fluorometern och en 12-Voltspump av märket Jabsco. Mellan elverket och pumpen inkopplades därför en transformator. Pumpen användes för uppumpning av vatten från aktuellt djup till genomströmningsskuvetten i fluorometern. Vattnet pumpades genom en plastslang med insugningsmunstycke. Munstycket hölls på rätt nivå med hjälp av en blytyngd. För att undvika luftbubblor i slangarna kopplade vi in en strypventil på pumpens trycksida. Uppställningen framgår schematiskt av fig. 2.1.

För uppskattning av flöden i Nolån använde vi en stångflygel och för bestämning av hastighetsfördelningen i älven en Ekmanflygel.

2.4 Doseringsutrustning

Vid mätningarna använde vi Rodamin B 200 som spårämne. Dess egenskaper framgår av kapitel 3. Rodaminet doserades vid kontinuer-



Figur 21. Uppställningen av mät-
utrustningen.

ligt flöde med hjälp av en trefas kolvdoseringspump typ Micor-Max. Kapaciteten hos denna är variabel och tycks dessutom för en viss inställning variera med koncentrationen hos spårämnet. Vid höga koncentrationer finns dessutom risk för viss igensättning vid långvariga doseringar. Maximal kapacitet ligger på ca 1,6 ml/s.

Spårämnet utspäddes till önskad doseringskoncentration i ett 300-liters doseringskärl.

3. RODAMIN B 200

3.1 Allmänt

Rodamin B 200 är ett katjonfärgämne bland phtaleinerna med formeln $C_{28}H_{31}O_3N_2Cl$. Adsorptionsmaximum ligger i det gröna och fluorescensmaximum i det röda våglängdsområdet. Med fluorometer kan rodamin spåras i koncentrationer ned till 10^{-11} .

3.2 Temperaturberoende

Fluorescensen sjunker med höjd temperatur enligt följande formel

$$F = F_0 \cdot e^{-nt} \quad \text{där}$$

F = aktuell fluorescens i enheter

F_0 = motsvarande fluorescens i enheter vid viss referenstemperatur.

n = en för rodamin karaktäristisk konstant, vilken, enl. ref. [3] bestämts till $-0,027^{\circ}C^{-1}$. Bilaga 3.2.

3.3 Inverkan av vattnets beskaffenhet

3.3.1 Bakgrund

Storleken och variationen av eventuell bakgrundsfluorescens bestämmer till större del valet av lämpligt spårämne för ett vatten.

Två typer av bakgrund som är av stor betydelse definieras som:

- a) Verklig bakgrund orsakad av naturligt förekommande ämnen med egenskaper liknande spårämnet.
- b) Bakgrund som huvudsakligen orsakas av interferensfenomen hos suspenderat material. Vid mätningarna i älven kunde ingen bakgrundsfluorescens uppmätas.

3.3.2 pH-värde

Fluorescensen hos rodamin har visat sig vara oberoende av pH-värden mellan 5 och 10. Utanför detta område fås däremot en markant minskning. pH-värdet i älven är ungefär 6-8.

3.3.3 Salthalt

Rodaminets fluorescens påverkas inte av salthalter under 35 ‰.

3.3.4 Adsorption

Adsorption sker enligt

$$\frac{x}{m} = k \cdot c^{1/b} \quad \text{där}$$

x = mängden adsorberat spårämne

m = mängden adsorberande material

e = spårämneskoncentrationerna vid jämvikt

k och b är konstanter

På grund av den höga grumligheten i Göta älv och dess biflöden kan adsorption av spårämnet befaras. Grumligheten ger emellertid upphov till ljusspridning i fluorometern, vilket i viss utsträckning uppväger adsorptionen. Då adsorptionen också är svår att kvantitativt bestämma, försummas adsorptionens inverkan vid tolkning av resultaten.

3.4 Fotokemisk avklingning

Halveringstiden för rodamin är 31 timmar i solsken och ungefär 5 gånger längre i mulet väder. Avgörande för den fotokemiska påverkan är väderleken, djupet under vattenytan, samt vattnets ljusgenomsläpplighet.

I slutet av maj gjorde vi ett avklingningsförsök i Göta älv under drygt en vecka. Resultatet framgår av bilaga 3.2 och visar att avklingningen på grund av den mycket höga grumligheten är obetydlig trots att försöket avser endast 1 meters djup.

4. TEORI

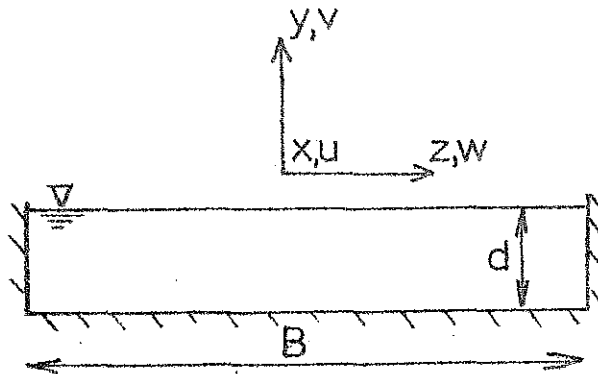
4.1 Lateral spridning av kontinuerligt utsläpp

Betrakta en rak älvsträcka med rektangulär sektion där kontinuerligt utsläpp sker i mitten av älvfåran. Under förutsättning att blandningszonerna inte har nått fram till älvkanterna kan spårämnets koncentrationsfördelning uttryckas av följande diffusionsekvation:

$$\frac{\delta c}{\delta t} + u \frac{\delta c}{\delta x} = \frac{\delta}{\delta x} (\mathcal{E}_x \frac{\delta c}{\delta x}) + \frac{\delta}{\delta y} (\mathcal{E}_y \frac{\delta c}{\delta y}) + \frac{\delta}{\delta z} (\mathcal{E}_z \frac{\delta c}{\delta z}) \quad (1)$$

Där c är spårämneskoncentration och \mathcal{E}_x , \mathcal{E}_y och \mathcal{E}_z är turbulenta diffusionskoefficienter. Koordinaterna definieras av fig. 4.1 :

Fig. 4.1



Vid stationära förhållanden är $\frac{\delta c}{\delta t} = 0$. Om man försummar diffusionen i x-led, vilken kan visas vara liten i jämförelse med blandningen i tvärled, fås

$$u \frac{\delta c}{\delta x} = \frac{\delta}{\delta y} (\mathcal{E}_y \frac{\delta c}{\delta y}) + \frac{\delta}{\delta z} (\mathcal{E}_z \frac{\delta c}{\delta z}) \quad (2)$$

Genom ett moment-integralförfarande varvid varje term multipliceras med z^2 och integreras över hela bredden fås om u , \mathcal{E}_y och \mathcal{E}_z inte anses variera med z

$$u \cdot \frac{\delta \sigma_1^2}{\delta x} = \frac{\delta}{\delta y} (\mathcal{E}_y \frac{\delta \sigma_1^2}{\delta y}) + 2\mathcal{E}_z M \quad (3)$$

$$\text{där } \sigma_1^2 = \int_{-\infty}^{\infty} z^2 c \, dz \quad \text{och} \quad M = \int_{-\infty}^{\infty} c \, dz$$

Integrering över hela djupet ger

$$\frac{1}{d} \int_0^d u \frac{\delta \sigma_1^2}{\delta x} dy = \frac{2}{d} \int_0^d \bar{\mathcal{E}}_z M dy \quad (4)$$

På ett visst avstånd x_0 från den kontinuerliga källan kommer spårämnet att fördelas likformigt över djupet och man kan försumma både variationer i M och σ_1 med y . För $x > x_0$ är alltså M i princip konstant och σ_1 varierar endast med x . Man kan nu skriva

$$U \frac{\delta \sigma_1^2}{\delta x} = 2 M \cdot \bar{\mathcal{E}}_z \quad (5)$$

där $\bar{\mathcal{E}}_z$ och U är medelvärden över djupet av \mathcal{E}_z och u . Med $\sigma_1^2/M = \sigma^2$, den normaliserade variansen av spårämnets sidoutbredning erhålls

$$\bar{\mathcal{E}}_z = \frac{1}{2} U \frac{d\sigma^2}{dx} \quad (6)$$

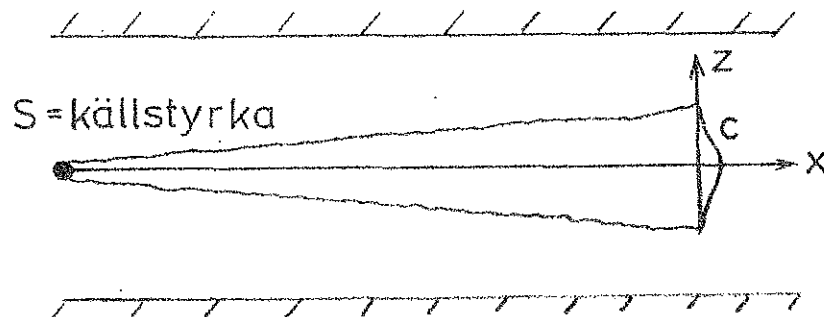
Teorin visar alltså att σ^2 varierar linjärt med avståndet från källan.

Lösningen till (2) kan skrivas som

$$C = \frac{M}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

$$\text{där } \sigma^2 = 2 \bar{\mathcal{E}}_z \tau = 2 \bar{\mathcal{E}}_z \cdot \frac{x}{U} \quad (8)$$

om koncentrationen inte påverkas av älvstränderna



Figur 4.2

Om S betecknar källstyrkan dvs den mängd (massa) av föroreningar (i detta fall spårämnet) som släpps ut per tidsenhet, erhålles av kontinuitetsskäl

$$M \cdot d \cdot dx = S \cdot d\tau \quad (9)$$

där vattendjupet d antages konstant.

Vi har alltså förutsatt att spårämnet är väl omblandat i vertikal-led.

c mätes i massa per volymsenhet.

Eftersom $dx = U \cdot d\tau$ fås (9) till

$$M = \frac{S}{d \cdot U} \quad (10)$$

Koncentrationen C (djupmedelvärde) kan nu skrivas som funktion av x och z , ty (8) och (10) införes i (7), vilket ger:

$$C(x, z) = \frac{S}{d \cdot U \sqrt{4\pi \bar{\epsilon}_z \frac{x}{U}}} \cdot e^{-\frac{z^2}{4\bar{\epsilon}_z \frac{x}{U}}} \quad (11)$$

Om nu utsläppet sker i strandkanten i stället för mitt i älven, kan vi använda superpositionsförfarande, ty grundekvationen (1) är linjär.

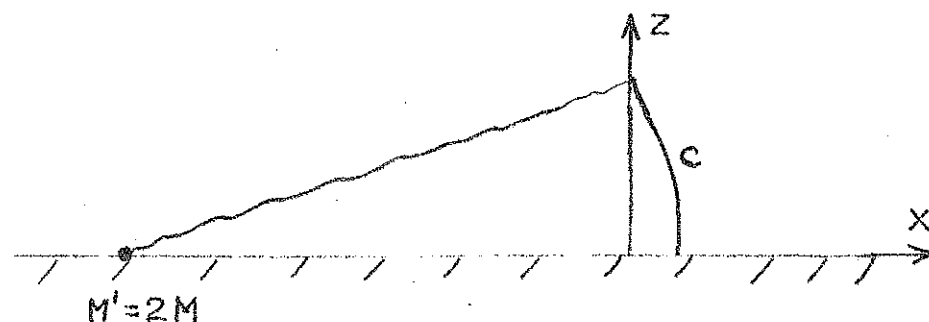


Fig. 4.3. Spridning av spårämne i strandkanten

Då fås

$$C = \frac{M'}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} \quad (12)$$

Speglning sker i älvstranden, så att $M' = 2M$ enl. ovan

$$\therefore C(x; z) = \frac{2S}{d U \sqrt{4\pi \xi_z \frac{x}{U}}} \cdot e^{-\frac{z^2}{2\xi_z \frac{x}{U}}} \quad (13)$$

Se vidare ref. [1]

4.2 Initialinblandning

Ovanstående teori avser kinematiska punktutsläpp utan dominerande källegenskaper. Verkliga utsläpp, speciellt biflöden, får alltid en dynamisk initialinblandning. För att teorin skall gälla måste då källan flyttas virtuellt ett stycke uppströms.

De parametrar som kan tänkas påverka ett biflödes initialinblandning är följande:

$$q_r = \frac{q_{\text{biflöde}}}{q_{\text{älv}}}, \quad \text{förhållandet mellan vattenföringen i biflöde och huvudflöde.}$$

$$q_r \cdot v_r = \frac{q_{\text{biflöde}} \cdot v_{\text{biflöde}}}{q_{\text{älv}} \cdot v_{\text{älv}}}, \quad \text{motsvarande förhållande mellan impulsflödena.}$$

$$F = \frac{v}{\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho} g d}}, \quad \text{ett densimetriskt Froudes tal där } v = \text{hastigheten i huvudflödet, } \Delta\rho = \text{rel. densitetsdiff.}$$

d = vattendjup i huvudflöde.

⊙ biflodets anlopsriktning relativt älven.

På grund av hastighetsfördelningen i en älv, med högre hastigheter i mitten än längs stränderna, kommer den initiella inblandningen att ha stor betydelse för den fortsatt spridningen. Ju större initiella inblandning desto snabbare blir den fortsatta inblandningen.

5. MÄTNINGAR VID NOLÅN

5.1 Nolån allmänt

Som det mindre biflödet att studera valdes Nolån, vilken mynnar i Göta älv vid Nol.

Ån har ett nederböransområde av 53 km^2 och en reglerad medelvattenföring vid mynningen på ca $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Vid Alafors sammanflyter åns två största delflöden. Det ena och åtminstone under torrperioder, största flödet är här reglerat vid en liten kraftstation (max 325 kW, 20 m fallhöjd) som endast kör dagtid. Det andra flödet är oreglerat och har endast efter regnperioder nämnvärt flöde. Vattenföringen i ån är härav mycket varierande.

Vid Nol finns två mindre forsar varav ett ca 500 m från mynningen användes vid dosering av spårämnet.

Vattnet är p g a kommunala utsläpp och industriutsläpp mycket grumligt.

I åns mynning ligger en småbåtshamn och muddring skedde här, strax innan vi började mätningarna, så att åns vatten avlänkas en aning nedströms.

5.2 Göta älv vid Nolån

Geologiskt sett är älven yngre i söder än i norr. Söder om Nolåns mynning har älven breda översvämningsplan med ett vattendjup mindre än en meter. Dessa är i regel rikligt beväxta med vass, ibland ända ut till djupfåran, och utgör lugnvattenområden med låg vattenomsättning.

Djupet i själva strömfåran uppmätte vi i en sektion till maximalt 19,5 m, men varierar normalt mellan 8 och 12 meter. Älven har ett rakt lopp ända ned till Bohus. Bredden inklusive översvämningsplan varierar mellan 200-320 m. Djupfårans bredd är 140 - 240 m.

5.3 Mätmetodik

För att uppnå stationära förhållanden vid mätningarna skulle vi enligt förutsättningarna använda oss av kontinuerlig dosering och eftersträva homogen inblandning av spårämnet i ån vid mynningen. Detta fordrar dels att flödena i ån och älven är konstanta, dels att

doseringen sker så långt uppströms eller på sådant sätt att ordentlig inblandning i ån erhålls före mynningen. Det senare villkoret kunde vi uppfylla genom att dosera vid en fors ungefär 500 m från mynningen, Av körjournaler från maskinisten vid Alafors kraftstation framgår att flödena under de aktuella mättiderna är relativt konstanta varför även det förra villkoret kan anses godtagbart uppfyllt.

Mätningarna utfördes i fasta sektioner med 800-1.000 meters mellanrum. De olika sektionernas utseende framgår av koncentrationsdiagrammen bilaga 5.1 - 5.7 och deras lägen framgår av bilaga 5.9.

För avståndsbestämning i lateralled använde vi en uppmärkt lina som spändes mellan stranden och båten.



Bild 5.1 Mätning med lina

5.4 Utförda doseringar och mätningarDosering I

| | | |
|--------------------------|--------------------|----------------------------------|
| Datum | | 3.5.72 |
| Väder o. vind | | Mulet hela dagen Nordlig vind |
| Temp. | Göta älv | 8,6 °C |
| | Nolån | 11,3 °C |
| Dos. konc. | | 1:50 |
| Dos. mgd. | | 1,67 ml/s |
| Vattenföring Nolån | Flygel Spårämne | 0,9 m ³ /s |
| Vattenföring Göta älv | | 225 m ³ /s |

Kommentar till tabellen:

Temperaturen är konstant hela dagen i älven, medan för Nolån är det angivna värdet ett medelvärde för dagen.

Vattenföringen i Nolån är bestämd överslagsmässigt medelst flygel och noggrannare genom spårämnesmätning.

Älvens vattenföring är ett dagsmedelvärde.

MÄTNINGAR:Sektion 1

Mycket osäkra värden erhöles p g a stora svängningar hos rodaminstråket.

Vid ett tillfälle gick koncentrationen upp till $5 \cdot 10^{-9}$ för att ögonblicket efteråt sjunka till noll. Utslag erhöles ut till 40 meter från katalys brygga.

Sektion 2

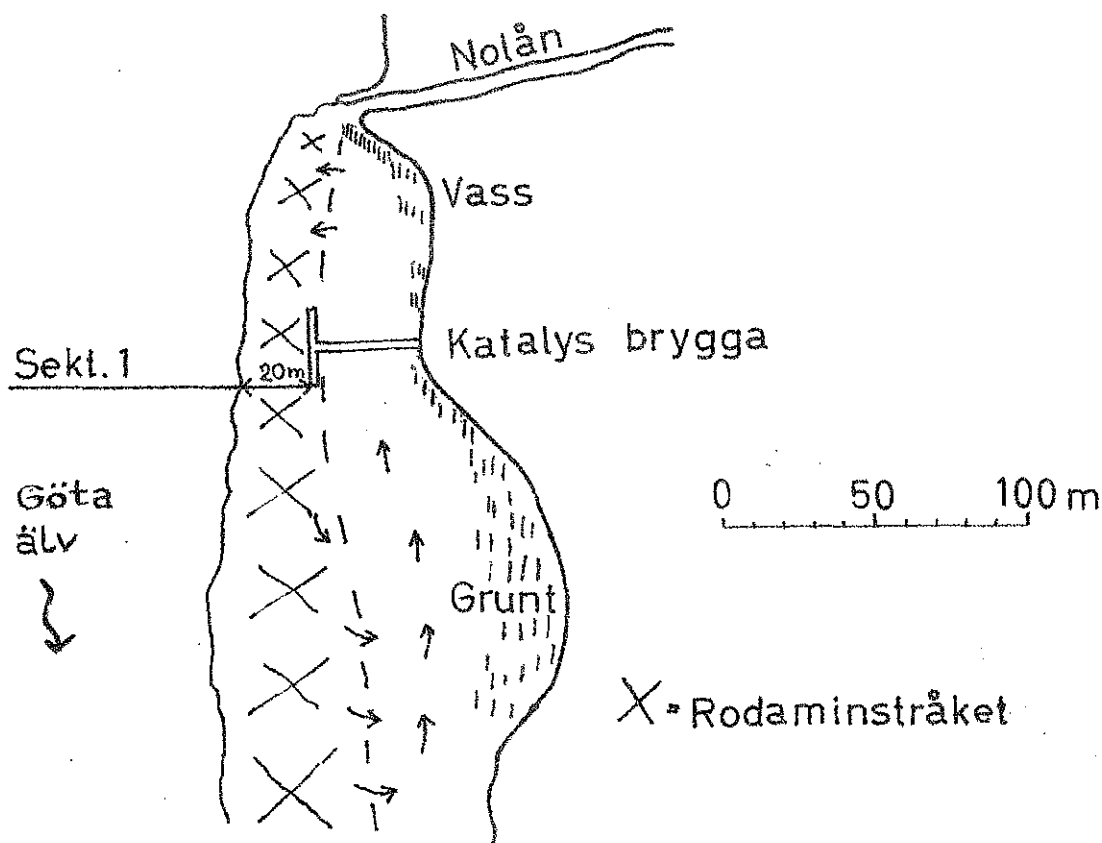
Rodaminet låg i ett stråk 50-120 m från en brygga vid västra stranden med max. mätutslag 13 på känsligaste mätområdet, vilket motsvarar konc. $5 \cdot 10^{-10}$. Mätvärdena är stabila hela vägen, d v s man erhöll ingen fluktuation som i sektion 1. Det maximala utslaget är dock alltför litet för att vara godtagbart, då mätutslaget bör vara minst 20 för att utvärderingen skall vara riktigt tillförlitlig, (se även sid 5).

Sektion 3

Då mätningen i sektion 2 var klar började vi mäta direkt i den 3:e sektionen. Några mätutslag fick vi dock inte, varför vi väntade en timme då vi antog att stationära förhållanden inte uppnåtts. Mellan sektion 2 och 3 finns nämligen en liten "vik" som kan avlänka Nolåns vatten innan det når fram till sektionen. Då mätningarna återupptogs fick vi mätutslag som var lite mindre än de som uppträtt i sektion 2. 40 meter ut gick det att mäta och maximala värdet var ca 4,5 på 30X-skalan, motsvarande konc. ca $3 \cdot 10^{-10}$.

Sektion 2 b

En sektion mellan 2 och 3 mättes för att se om spårämne ackumulerats i den långgrunda viken. Värdet erhöles till 50 m ut från stranden; maxutslaget var 6; vattendjupet i viken endast 0,5 - 1,0 meter. Jämför resultatet för sektion 2 där inga mätutslag hade erhållits för det grunda området ut till ca 50 m från stranden. 1 1/2 timma senare erhålls dock utslag i sekt. 2 b som ligger nedströms sekt. 2. Man kan alltså anta att den grunda viken "fyllts upp" under tiden mätningarna har pågått och att denna skett enligt figur 5.1.



Figur 5.1 Initialinblandningen i Göta älv, dos. I .

Praktiska resultat av doseringen

Erfarenheten av doseringen var att koncentrationen hos den kont. doseringen måste ökas och att doseringen bör inledas på kvällen före själva mätdagen. Det senare för att stationära förhållanden skulle kunna uppnås. Mätutrustningen fungerade oklanderligt men det är något tidsödande att mäta djupprofiler.

I övrigt gav mätningen inte tillräckligt för att inblandningsförloppet skulle kunna bedömas annat än i initialskedet.

Dosering II

| | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|
| Datum | 6.5 - 7.5 | |
| Väder o. vind | Soligt, svag vind | |
| Dos. konc. | 1:20 | |
| Dos. mgd. | 1,67 ml/s | |
| Vattenföring Nolån | Flygel Spårämne | ca 50 l/s ej mätt |

Kommentar:

Doseringen skedde över natten, mätningen var tänkt att utföras den 7.5.

Praktiska resultat av doseringen6.5 - 9.5

Som framgår av ovan var vattenföringen i Nolån mycket låg. På söndagsmorgonen var Nolån intensivt röd och risk fanns att småbåtarna i hamnen skulle rödfärgas. Doseringen avbröts därför och mätningarna inställdes för dagen.

Att vattenföringen var så lång berodde på att inget regn hade fallit på en tid och att kraftverket i Alafors var avstängt över helgen. Nästa dosering måste alltså ske på en vardag, då kraftverket är i drift.

Det rödfärgade vattnet väckte uppmärksamhet i Nol och klagomål inkom till hälsovårdsnämnden på orten.

Vi införde en annons i GP som var menat att upplysa allmänheten om spårämnesmätningarna i Nolån och Göta älv. Dessutom beslöt vi att före varje dosering rapportera detta till hälsovårdsnämnden.

16.5

Låg vattenföring i Nolån ända till kl. 10.00 på f.m., då vattnet från Alafors kraftverk kommit ner till doseringsstället. Vid förfrågan hos maskinisten på kraftverket framkom att vattnet påsläppts kl. 07.00 på morgonen, alltså en flyttid på ca 3 timmer ner till doseringsstället. Vidare kom vi överens med maskinisten om att han nästa dag skulle köra igång kraftverket för fullt redan kl. 06.00, så att doseringen skulle kunna påbörjas vid niotiden. Det dåliga resultatet av föregående dosering lärde oss att dosering över natten är olämpligt vid tillfällen då nattflödet i ån p g a reglering är litet.

Dosering III

| | | |
|---------------|-----------------------------|------------------------|
| Datum | 17.5 | |
| Väder o. vind | Soligt, nordlig vind | |
| Temp. | Göta älv | + 11,0 °C |
| | Nolån | + 11,0 °C |
| Dos.konc. | 1:20 | |
| Dos.mgd. | 1,55 ml/s | |
| Vattenföring | Flygel | 0,2 m ³ /s |
| Nolån | Spårämne | 1,23 m ³ /s |
| Vattenföring | Göta älv | |
| | 316 - 507 m ³ /s | |

Kommentar:

Doseringen påbörjades kl. 08.40.

MÄTNINGAR:

Denna mätning gav ungefär samma resultat som vid dosering I, d v s osäkra värden vid sektion 1 och lång tid för utfyllning av den grunda viken nedströms sektion 2. Vattenomsättningen här är mycket långsam varför inblandningen är dålig och spridningen nedströms går sakta. Detta gjorde att vi endast fick låga mätutslag vid sektion 3 och inga alls vid sektion 4. Genom haveri på elverket förhindrades vi från att studera hur lång tid det behövdes för spårämnet att flyta längre nedströms.

Praktiska resultat av doseringen

Fortfarande var, som nämnts ovan, koncentrationsnivåerna väl låga, varför en fördubbling av dos.konc. ansågs lämplig. Dosering över natten var också ett nödvändigt villkor för att uppnå något så när stationära förhållanden vid själva mätningen. För att nattdosering skulle kunna ske måste vi invänta högvatten i Nolån, regn i 3 - 4 dagar skulle vara önskvärt. Ett tredje villkor för att kunna göra mätningen lite utförligare var att vattenföringen i älven var något mindre än vid t ex dos. III.

Ett avklingningsprov iordningställdes och testades på f.m och e.m., endast en liten avklingning kunde upptäckas, se bilaga 3.2.

Dosering IV

| | | |
|--------------------------|--------------------|--|
| Datum | | 23.5 kl. 20.30 - 24.5 |
| Väder o. vind | | Soligt på f.m., regn på e.m. Sydlig vind |
| Temp | Göta älv Nolån | 12,2 °C 13,5 °C kl. 10.15, 13,8 °C kl. 21.50 |
| Dos.konc. | | 1:10 |
| Dos. mgd. | | 1,67 ml/s |
| Vattenföring Nolån | Flygel Spårämne | 1,3 m ³ /s 1,70 m ³ /s |
| Vattenföring Göta älv | | Se bilaga 5.8 |

MÄTNINGAR:

Sektion 1, 150 m nedströms Nolån (bilaga 5.1)

Mätvärdena i sektionen är, som vid de tidigare doseringarna, fortfarande mycket instabila, men höga långt ut i älven. Inblandningen är dålig, men sektionen är ju belägen endast 150 m nedströms Nolån. Utslag på fluorometern har registrerats ända till 60 m ut från katalys brygga. Vattnet är ännu så rött att det går att se med blotta ögat, se bild 5.2.

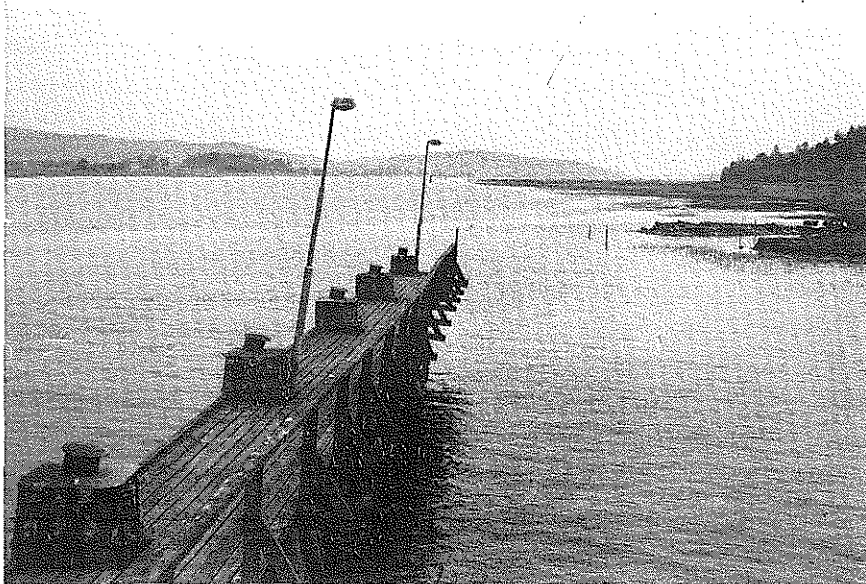


Bild 5.2 Nolåns mynning

Den relativt stora temperaturdifferensen ($1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) mellan ån och älven gör att en viss inverkan av täthetsdifferensen kan skönjas, se vidare kap. 5.6.

Sektion 2, 550 m från Nolån (bilaga 5.2)

Det grunda området verkar vara väl uppfyllt, eftersom mätutslagen här är av samma storleksordning som i djuprännan. Maximum vid 60 meters avstånd från stranden på ca 3 m djup.

Inblandningen i vertikalled ner till 6 meters djup verkar vara ganska bra ända ut till ca 120 m där fluorometern börjar ge instabila värden. Variationerna i mätutslag visar alltså att inblandningen i vertikalled är sämre här ute. Spårämnets diffusion i lateralled har gått ganska fort från sektion 1. Lateralspridningen har ökat från 60 m ut till 100 m ut i djuprännan, se vidare bilaga 5.2.

Temperaturdifferenserna är fullständigt utjämnade.

Sektion 3, 1.030 m från Nolån (bilaga 5.3)

Den laterala spridningen har ökat från 100 m i föregående sektion till hela 160 m. Mätutslagen i denna sektion företer dock ett betydligt mer osäkert intryck. Vi fick stora variationer på nästan alla avläsningar fr o m 40 m ut från bryggan.

Den vertikala omblandningen är ungefär som i sektion 2: ganska bra ner till 6 meters djup, men under detta djup kan inget spårämne upptäckas.

Fr o m denna sektion börjar älven smalna av.

Sektion 4, 1,880 m från Nolån (bilaga 5.4)

Denna sektion är en förträngning i älvfåran med mindre tvärsnittsarea och vattenhastigheterna är därmed högre. Spridningen har här nått precis tvärs älven. Spridningen i vertikalled är mycket jämn ned till 6 meter.

Stabila värden erhöles tvärs hela älven med maximum på 5 meters djup. På 8 meters djup har spårämne upptäckts 100 meter ut, detta är dock det enda som hittats så djupt.

Sektion 5, 2.530 m från Nolån

Koncentrationskurvan för sektion 5 har ett något underligt utseende, ty 2-metersnivån har ett maximum i mitten av djuprännan medan 4 och 6 meterskurvorna har sina max. vid den östra stranden. Tydligt är i alla fall att spårämnet nått tvärs älven, även om det ännu inte hunnit fylla upp det grunda området på den västra stranden. En viss reflektion från denna sida har också börjat göra sig gällande, ty kurvan har ett betydligt flackare utseende än vid tidigare sektioner.

Sektion 6, 4.530 m från Nolån (bilaga 5.6)

Spårämneskoncentrationen är högst där hastigheten är högst, vilket är ett bevis på att stationära förhållanden ännu inte uppnåtts.

Omblandningen i vertikalled är bra ner till ca 8 - 9 m, men inte riktigt fullständig ner till botten.

Sektion 7, 6.180 m från Nolån (bilaga 5.7)

Diffusionen i vertikalled och lateralled är här fullständig i djuprännan. Översvämningsplanet på västra sidan har dock inte hunnit "fyllas ut" i likhet med sekt. 5 och 6. Detta tyder på att den tid som åtgår för att uppnå stationära förhållanden, så här långt nedströms Nolån, är mycket lång.

Efter mätningen i sektion 7 gick vi ner till Göteborgsgrenen (ca 8 km) och gjorde ett försök att mäta in en sektion, några mätutslag fick vi dock inte.

5.5 Beräkningar

5.5.1 Impulsflödet

För att jämföra initialinblandningens effekt vid de olika doseringarna använder vi parametrarna enligt kap 4.2. Härvid kan man bortse från

$$\text{Froudes tal } F = \frac{v}{\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho} g d}}$$

då uppmätta densitetsdifferenser har varit försumbara.

Eftersom anloppsriktningen relativt älven är konstant kommer de styrande variablerna att bli:

$$q_r = \frac{q_{\text{biflöde}}}{q_{\text{älv}}} \quad \text{och} \quad q_r V_r = \frac{q_{\text{biflöde}} \cdot V_{\text{biflöde}}}{q_{\text{älv}} \cdot q_{\text{älv}}}$$

Tabellen nedan anger dessa parametrars värden vid de olika doseringarna. Här har även angetts det största avstånd från stranden vid sektion 1 som rodamin kunnat spåras. Man ser tydligt impulsflödets betydelse för utflödet i älven.

| | NOLÅN | | GÖTA ÄLV | | q_r $q_{än}/q_{älv}$ | v_r $V_{än}/V_{älv}$ | $q_r \cdot v_r$ | $q_r \cdot v_r \cdot 10^2$ | m ut från l |
|----------|----------------|--------------|----------------|--------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------|-------------------|
| | q m^3/s | v m/s | q m^3/s | v m/s | | | | | |
| Dos. I | 1,09 | 0,055 | 225 | 0,16 | $4,8 \cdot 10^{-3}$ | $34 \cdot 10^{-1}$ | $1,63 \cdot 10^{-3}$ | 0,16 | +40 |
| Dos. II | 0,05 | 0,003? | 350 | 0,25 | $1,4 \cdot 10^{-4}$ | $1,2 \cdot 10^{-2}$ | $1,7 \cdot 10^{-6}$ | 0,00017 | -20 |
| Dos. III | 1,23 | 0,062 | 400 | 0,29 | $3,1 \cdot 10^{-3}$ | $2,1 \cdot 10^{-1}$ | $6,5 \cdot 10^{-4}$ | 0,065 | +20 |
| Dos. IV | 1,70 | 0,085 | 145 | 0,10 | $1,2 \cdot 10^{-2}$ | $8,5 \cdot 10^{-1}$ | $1,0 \cdot 10^{-2}$ | 1,0 | +60 |

Vid doseringarna erhöles god initialinblandning endast vid den sista medan vid de tre första vattnet endast strök längs de grunda stränderna nedströms Nolån.

5.5.2 Diffusionskonstanten \bar{E}_z

5.5.2.1 Förutsättningar

För att beräkna den laterala diffusionskonstanten \bar{E}_z försökte vi tillämpa den teori som beskrivits i kapitel 4.1.

Denna teori bygger på följande förutsättningar:

- Inga densitetsdifferenser råder mellan de två vätskefaserna.
- Rak älv med rektangulär sektion, konstant tvärsnittsarea.
- Stationära förhållanden.
- Punktutsläpp utan dynamiska källegenskaper.

Är dessa förutsättningar uppfyllda?

- Densitetsdifferenserna är försumbara, se vidare kap. 5.6.1.

- Endast delvis uppfyllt. Älven är rak på det studerade avsnittet,

och sektionen skiljer sig inte mycket från en rektangulär sektion. Tvärsnittsarean däremot varierar märkbart.

- c) En viss kontroll av kontinuitetsvillkoret fås genom att jämföra rodaminflödet genom varje sektion.

$$\text{Approximativt fås } q_{\text{spårämne}} = \frac{Q_{\text{älv}}}{A_{\text{älv}}} \cdot M \cdot d_{\text{medel}}$$

där $Q_{\text{älv}}$ = älvens vattenföring
 $A_{\text{älv}}$ = älvens tvärsnittsarea
 d_{medel} = medeldjupet
 $M = \int_{-\infty}^{\infty} cdz$ enl. kap.

Resultatet framgår av nedan:

| | MI konc. rodamin per sek |
|-------------|-----------------------------|
| Doserad mgd | 0,167 |
| Sektion 1 | 0,180 |
| " 2 | 0,130 |
| " 3 | 0,094 |
| " 4 | 0,097 |

Av tabellen kan man anta fullständigt stationära förhållanden inte inträtt, men att storleksordningen är ungefär densamma, varför en beräkning av \bar{E}_z kan genomföras.

- d) Denna förutsättning är ej uppfylld, men då variansen, σ^2 , av spårämneskoncentrationen ökar rätlinjigt med avståndet från källan och \bar{E}_z är ett mått på lutningen inverkar ej en dynamisk effekt på beräkningen av \bar{E}_z . Däremot inverkar den på beräkningen av spridningen i en viss punkt nedströms. Härvid måste som tidigare nämnts källan flyttas virtuellt och ett stycke uppströms.

5.5.2.2 Beräkning av $\bar{\epsilon}_z$

Med hjälp av koncentrationsdiagrammen för dosering IV (bilaga 5.1 - 5.4) beräknas σ_1^2 och M varur $\bar{\epsilon}_z$ kunde beräknas enligt:

$$\bar{\epsilon}_z = \frac{1}{2} U \frac{d\sigma^2}{dx} \quad \text{ekv. (6) i kap. 4.1}$$

U fås från kap. 5.6.2

σ_1^2 och M beräknas grafiskt enl. nedan:

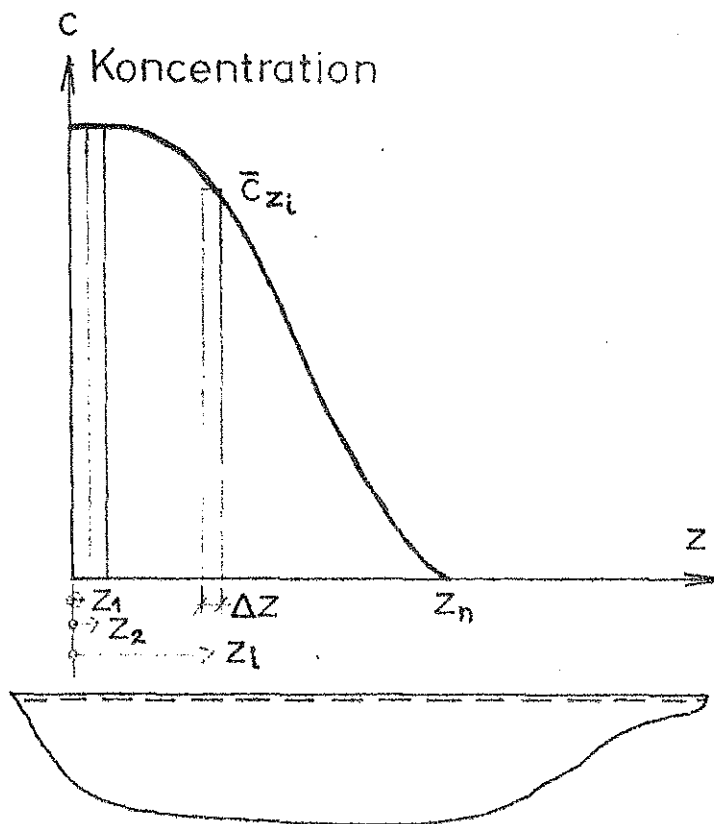


Fig. 5.2

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=1}^n z_i^2 \cdot \bar{C}_{zi} \cdot \Delta Z_i$$

där $\Delta Z_1 = \Delta Z_2 = \dots = \Delta Z_i$

$$\text{och } M = \sum_{i=1}^n \bar{C}_{zi} \cdot \Delta Z_i$$

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_1^2}{M}$$

Den teoretiska modellen visar att σ^2 varierar linjärt med avståndet x från källan.

Om σ^2 uppritas som funktion av x skall alltså teoretiskt en rät linje erhållas. Denna linjes lutning är $\frac{d\sigma^2}{dx}$; och \bar{E}_z kan beräknas. Resultatet framgår av figur 5.3.

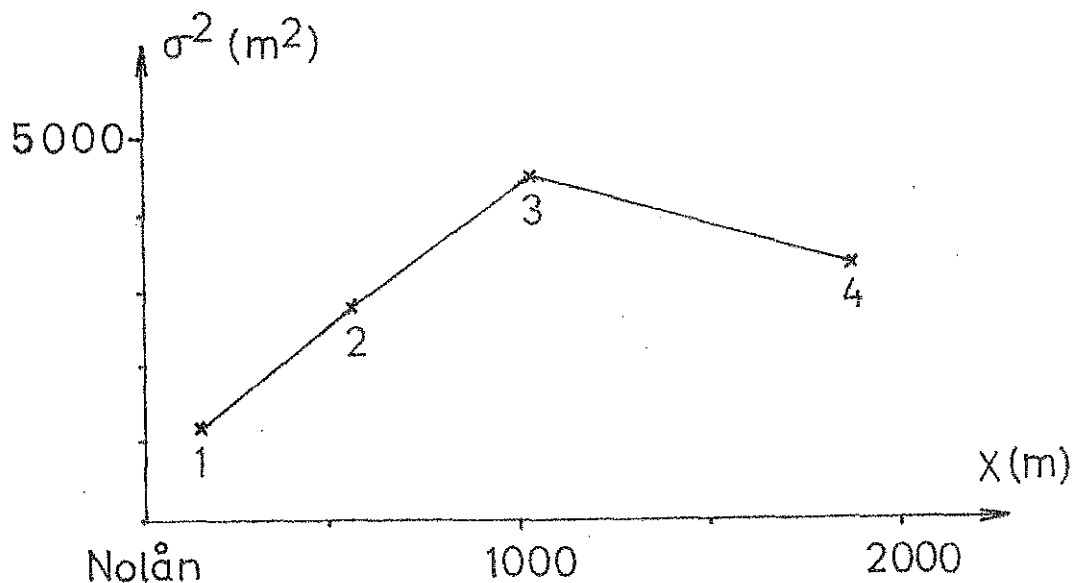


Fig. 5.3

Vid sektion 4 har spridningen nått tvärs älven och beräkningen av σ^2 blir därför mycket mer komplicerad nedströms denna sektion. Vidare är det tveksamt om stationära förhållanden har uppnåtts vid de tre sista sektionerna och därför har beräkning av σ^2 inte utförts för dessa.

Sektion 1-2

$$U = 0,5 \text{ m/s}; \Delta x = 400 \text{ m}$$

$$\Delta\sigma^2 = 2.880 - 1.160 = 1.720$$

$$\bar{E}_z = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot \frac{1.720}{400} = 1,07 \text{ m}^2/\text{s}$$

Sektion 2 - 3

$$U = 0,39 \text{ m/s}; \Delta x = 480 \text{ m}$$

$$\bar{E}_z = 0,68 \text{ m}^2/\text{s}$$

Sektion 3 - 4

Negativ diffusionskonstant!

En negativ diffusionskonstant är ju en orimlighet, detta tyder närmast på att någon eller några av de nämnda förutsättningarna inte är uppfyllda.

En förklaring till de stora avvikelserna kan vara att älvens tvärsnittsarea kraftigt förändras från sektion till sektion. Vid ökande sektionsarea divergerar flödet, vilket ger ett tillskott till σ^2 och tvärtom vid minskande area. Denna effekt kan också förklara varför σ^2 sjunker från sektion 3 till 4.

5.6 Övrigt

5.6.1 Densitetsskillnader Nolån - Göta älv

I sektion 1 har märkts en densitetsskillnad mellan åns vatten och älvens. Denna skillnad beror på att Nolån för det mesta varit några grader varmare än Göta älv. Det varmare Nolåvattnet har då lagt sig mera på ytan, se figur 5.4.

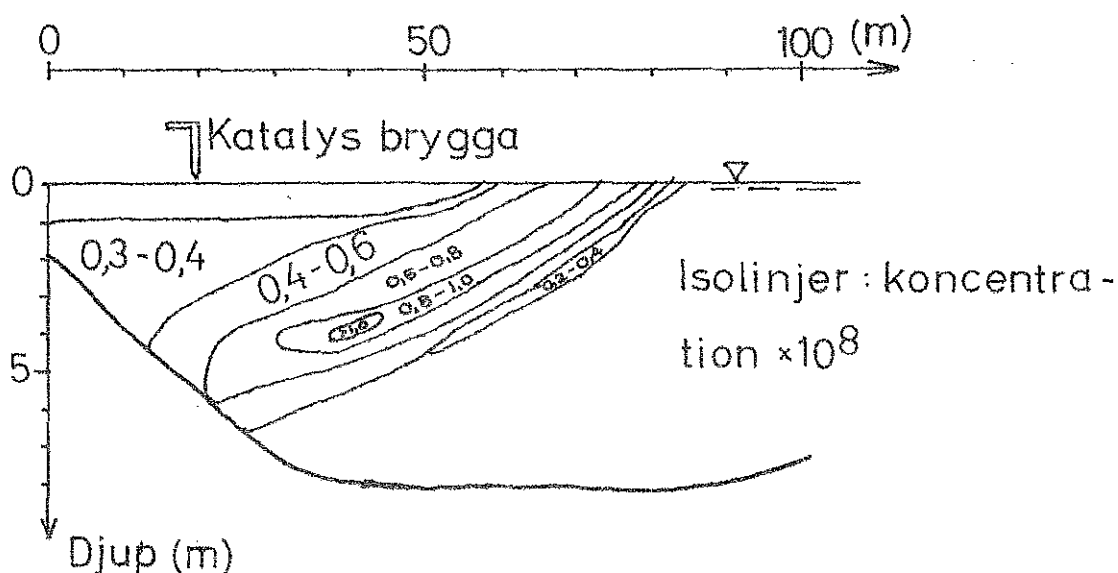


Fig. 5.4

Temperaturen i älven var under mätningen $+12,2^{\circ}\text{C}$ och i Nolån $+13,5 - 13,8^{\circ}\text{C}$. Differensen har snabbt utjämnat sig och i sektion 2 kunde ingen sådan effekt märkas.

Slamhalten i Nolån kan också ha gett en ökning av tätheten relativt älven.

5.6.2 Flyttider - flythastigheter

I anslutning till de kontinuerliga doseringarna gjorde vi ett försök att bestämma flythastigheterna mellan de olika sektionerna i älven. Bestämningen skedde genom en momentandosering av Rodamin i första sektionen. Flythastigheten beror på ett flertal faktorer, bl a vattenföringen, vattenståndet i havet och i viss mån också vindförhållandena. Detta framgår av tidigare uppmätningar.

| Station | Uppskattad flyttid | Flythastighet | Vst.havet | Tappning L Edet |
|-------------------------------|--------------------|---------------|-----------|-----------------------|
| Gamla Lödöse-Bohus varv 22 km | 22 h | 0,28 m/s | -0,60 m | 700 m ³ /s |
| | 8 | 0,76 " | " | 550 " |
| | 33 | 0,19 " | +0,60 m | 200 " |
| | 13 | 0,47 " | " | 550 " |

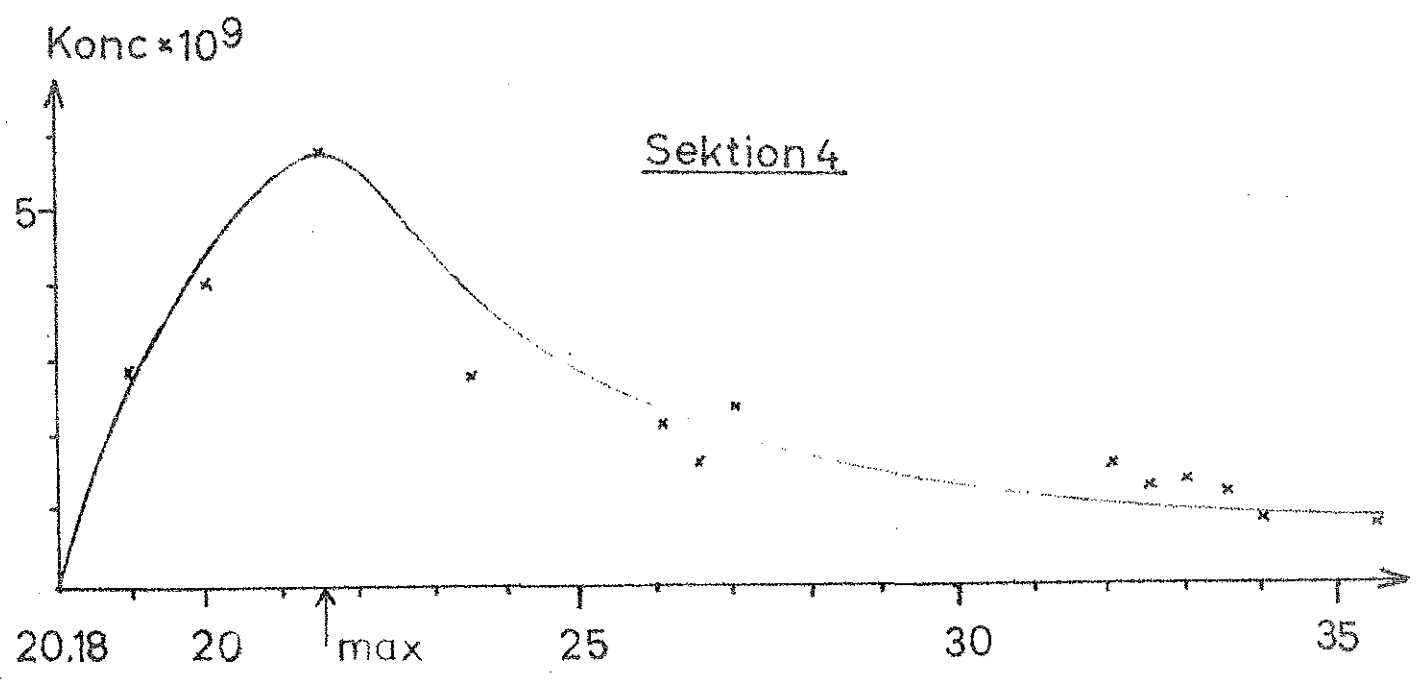
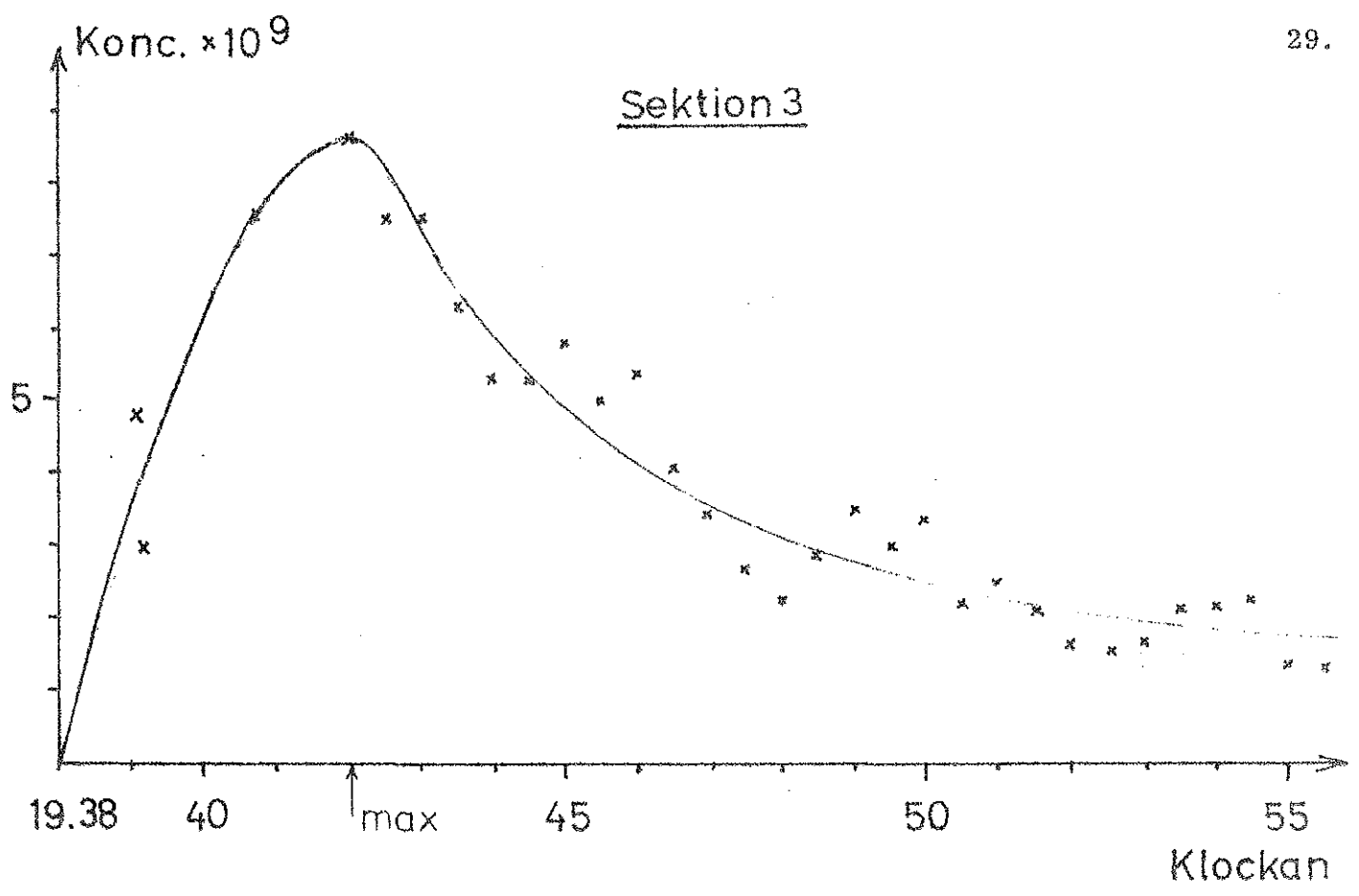
Momentandosering

Doseringen gjordes vid sektion 1 och 0,75 l koncentrerad Rodamin spilldes i svallet efter propellern. En 10 m lång "sträng" lades ut, på ett avstånd av ca 50 m från Katalys brygga. Kraftig rödfärgning av vattnet, varvid koncentrationen bedömdes vara så hög att mätning inte kunde ske i den andra sektionen. Risk fanns nämligen att slangarna skulle bli "nedsmittade". Spårämnesmolnet bedömdes alltså okulärt i denna sektion. Molnet följdes sedan ned till de andra sektionerna där inmätning skedde med fluorometer.

Spårämnesmolnet har "deformerats" i längsled genom den longitudinella dispersionen, se figur 5.5. Svårigheten att bestämma tyngdpunkterna på dessa kurvor är uppenbara, därför har valts att använda maxpunkterna, vid beräkning av flyttiderna.

| Sektioner | Avstånd | Flyttid | Flythastighet |
|-----------|---------|---------------|---------------|
| 1 - 2 | 400 | 13 min 30 sek | 0,50 m/s |
| 2 - 3 | 480 | 20 min 30 sek | 0,39 " |
| 3 - 4 | 850 | 39 min 30 sek | 0,37 " |

Alltså storleksordning 0,37 - 0,50 m/s. Tappningen i Lilla Edet är ungefär densamma som under dosering IV, varför dessa flythastigheter har använts vid beräkning av \bar{E}_z i kap. 5.5.2



Sektion 2: Maximum framme kl. 19.21,30

FIGUR 5.5 Momentandosering i Göta älv

6. MÄTNINGAR VID SLUMPÅN

6.1 Slumpån

Slumpån som mynnar i Göta älv vid Äsbräcka mellan Lilla Edet och Trollhättan är det största biflödet till älven. Dess källflöden är Lerumsån och Visslaån, vilka sammanrinner vid Velanda. SMHI:s mätstation vid Velanda visar en medelvattenföring av $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (275 km^2 , $4,4 \%$ sjöar).

Den sista forsen före mynningen i Göta älv finns vid Sjuntorp och ån är här reglerad vid ett kraftverk. Detta kör endast dagtid (06.30 - 15.15) och då med en vattenföring av ca $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Under torrperioder går endast en minimivattenföring på ca $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ förbi kraftverket under natt- och helgtid. Efter regnperioder kan dock spillflödena bli avsevärt större ($2 \text{ m}^3/\text{s}$).

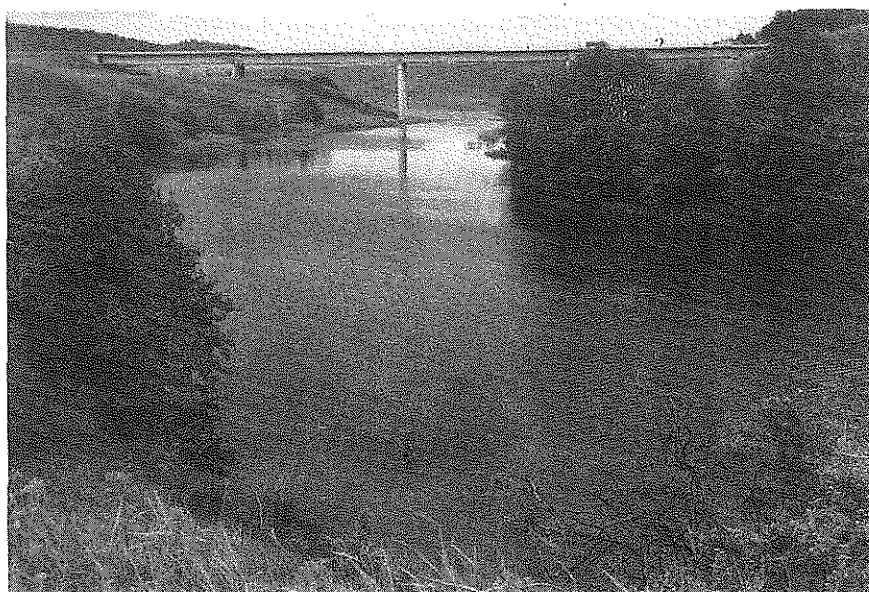


Bild 6.1 Slumpån

Nedströms Sjuntorp har ån ett meandrande lopp med mycket låg gradient varför vattenföringen här är starkt beroende av vattenståndet i Göta älv.

Vattenkvaliteten är p g a avloppsutsläpp mycket dålig. Vattnet är starkt brunfärgat.

6.2 Göta älv vid Slumpån

Mellan Trollhättan och Lilla Edet har Göta älvdalen en mycket särpräglad morfologi med branta erosionsskadade stränder, ravinbildningar och ärr efter större och mindre skred.

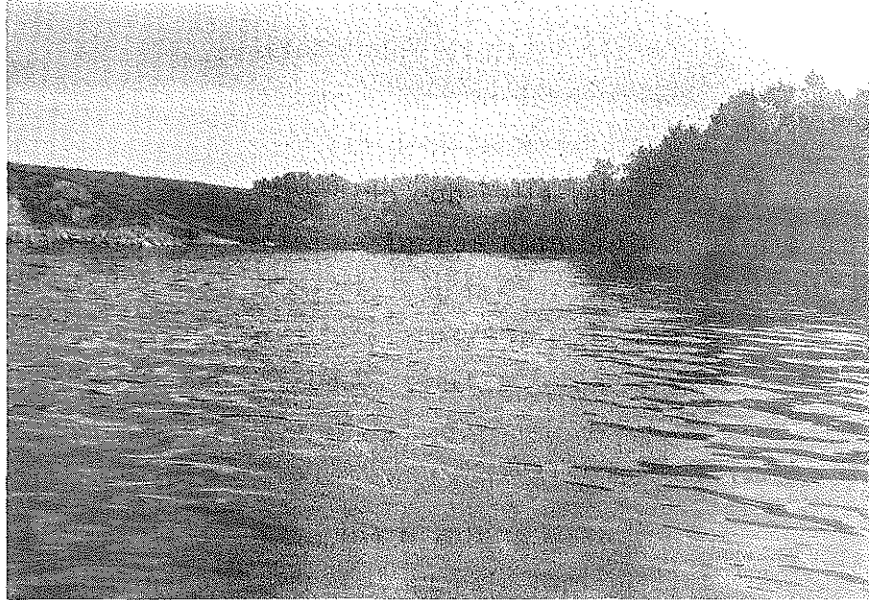


Bild 6.2 Slumpåns mynning

Vid Lilla Edet är älven uppdämd vid kraftverket där, (maxkapacitet $500 \text{ m}^3/\text{s}$) och regleringsamplituden är bestämd till intervallet +6,25 till +7,30 m.ö.h. Då kraftverket i Trollhättan utnyttjas som toppkraftverk med kraftigt varierande vattenföring som följd, kommer regleringsamplituden dagligen att utnyttjas utan större regelbundenhet. (Se bilaga 6.13 och 6.14). Eftersom kraftverken i älven samkörs, eftersträvas dock en avsänkning under natten av magasinet mellan Trollhättan och Lilla Edet, så att vattenföringar större än $500 \text{ m}^3/\text{s}$ kan magasineras utan spilltappning vid Lilla Edet. Stora flöden vid Trollhättan medför alltså en höjning av vattenståndet, varför flythastigheterna i älven vid detta avsnitt är tämligen konstanta. En uppmätning av hastighetsfördelningen vid Slumpåns mynning har gjorts, se bilaga 6.1.

Älven går vid Slumpåns mynning i två relativt kraftiga kurvor men har därefter ett 6 km långt rakt lopp ned till Lilla Edet. Bredden varierar mellan 100 - 200 m och djupet mellan 13 - 20 m.

6.3 Utförda doseringar och mätningar i älven

6.3.1 Allmänt

Att tillämpa kontinuerlig dosering vid Slumpåmätningarna visade sig vara i det närmaste omöjligt. Närmast mynningen belägna fors ligger ca 6 km uppströms och på åns låga gradient blir flyttiden vid dosering här mycket lång. Dessutom har vattenståndsvariationerna i älven inverkan på flödet ganska långt upp i ån. Vi observerade uppåtgående strömmar i ån vid stigande vattenstånd i älven, så långt upp som 3 km från mynningen. Dessa faktorer tillsammans med regleringen vid kraftverket i Sjuntorp gör att stationära förhållanden är mycket svåra att uppnå. I stället koncentrerade vi oss på momentandoseringar nära mynningen samt att försöka utröna litet om åns vattenutbyte.

Sammanlagt mätte vi på fyra doseringar, varav tre var doseringar om 2 liter i Slumpåns mynningsområde och en var en dosering under längre tid (ca 5 tim) vid kraftverket i Sjuntorp.

Mätningarna utfördes på följande sätt:

I en uppmätt sektion korsades älven med konstant hastighet. Var tionde eller femte sekund avlästes mätutslaget på fluorometern. Hänsyn till fördröjningen i slangarna togs genom att avläsningarna fortsatte tillräckligt länge efter framkomsten till motsatt sida.

Sektionernas lägen framgår av bilaga 6.15.

6.3.2 Dosering I (21.6.1972)

Första doseringen utförde vi i Slumpån ca 250 m från mynningen i aktersvallet från båten. Härvid uppnåddes knappast nämnvärd inblandning i djupled då djupet i ån här är maximalt 5 m. Doseringen skedde kl. 10.25, varefter molnet mycket långsamt drev nedströms. Kl. 10.40 observerade vi att molnet vände och började tydligt förflytta sig uppströms. Uppåtströmmen som visserligen var långsam och av oss endast kunde observeras i ytan pågick till ca kl. 13.00. Molnet, som nu förflyttat sig till uppskattningsvis 300 m från mynningen, drev då relativt snabbt ut i älven och kl. 13.35 nådde fronten första mätsektionen 250 m nedströms mynningen. Av mätningarna här (bilaga 6.2) ser man att molnet strömmat förhållandevis långt

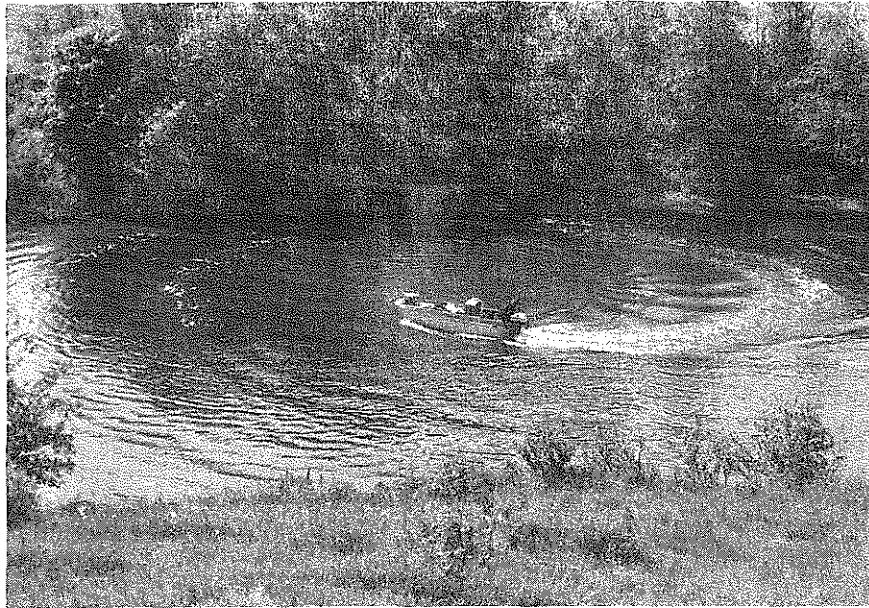


Bild 6.3 Momentandosering i Slumpån

ut i älven. Vi fick mätutslag t o m på västra sidan. På g a den ännu dåliga omblandningen var mätutslagen högst fluktuerande.

Mätsektion 2 ligger 1.200 m nedströms Slumpån, mitt i den andra skarpa kurvan. Man ser av diagrammen (bilaga 6.3) att de högsta koncentrationerna nu ligger på västra sidan. Detta får anses bero på den förskjutning av hastighetsmaximum mot yttersväng som fås på g a centrifugalkraften.

I områden där älven inte har ett approximativt rakt lopp fås en icke försumbar transversell hastighetskomponent. Dess inverkan på spridningen kan, om den försummas vid kalkylering, ge ett mycket för stort (eller för litet) värde på diffusionskonstanten.

En tredje mätsektion var belägen efter kurvan 2,2 km nedströms Slumpån. (Bilaga 6.4). Här fick vi utslag över hela älvbredden med maxkoncentration i mitten. Omblandningen i djupled tycks vara god.

I alla tre sektionerna ser man en förskjutning i tiden så att koncentrationsmaximum först ligger längre ut i älvfåran, där hastigheten är högre och därefter flyttas in mot stränderna, där rester av spårämnet kan finnas kvar lång tid efter att huvuddelen av molnet passerat.

6.3.3 Dosering 2 (22.6.1972)

Denna dosering utfördes kl. 09.35 på samma plats och på samma sätt som föregående. Molnet drev långsamt nedströms och nådde mynningen

kl. 10.40. Spridningsbilden i mynningen framgår av fig. 6.1. Av figuren ser man att molnet inte strömmar ut i älvfåran utan mest stryker längs stranden. Detta framgår också av mätdiagrammen för sektion 1 (bilaga 6.5 - 6.6). Rodaminrester finns kvar längs stränderna vid mätsektionen så lång tid som fem timmar efter utströmningen. T o m i ån fanns rodamin kvar.

Mätutslagen vid sektion 2 var hela tiden mycket låga och koncentrerade till östra stranden (bilaga 6.8).

Vid sektion 3 fick vi ännu 4 timmar efter utströmningen inga mätbara koncentrationer.

6.3.4 Dosering 3 (27.6.1972)

Dosering (2 liter) skedde kl. 16.40 alldeles vid mynningen. Molnet drev snabbt ut i älven och nådde sektion 1 kl. 16.55. Spridningsbilden i mynningen framgår av fig. 6.2.

Första mätningen gjordes i sektion 2 kl. 17.27. Av resultatet (bilaga 6.8 - 6.11) kan man anta att utflödet denna gång varit större än vid dosering 2 men mindre än vid dosering 1 eftersom koncentrationskurvorna nu ligger längre ut i älven än vid dosering 1. Hastighetsfördelningens inverkan framgår tydligt av tidsförskjutningen.

Vid sektion 3 tycks molnet något förskjutet åt västra sidan.

Sista mätningen på molnet gjorde vi i en sektion 4, 6 km nedströms Slumpån. Omblandningen i djupled var här relativt god, utom i de djupaste partierna. Även i tvärled verkade omblandningen god. P g a bensinbrist kunde vi dock ej observera spridningen tillräckligt länge.

6.3.5 Dosering 4

Kontinuerlig dosering i Slumpån vid Sjuntorp den 27.6 kl. 10.00 - 15.00.

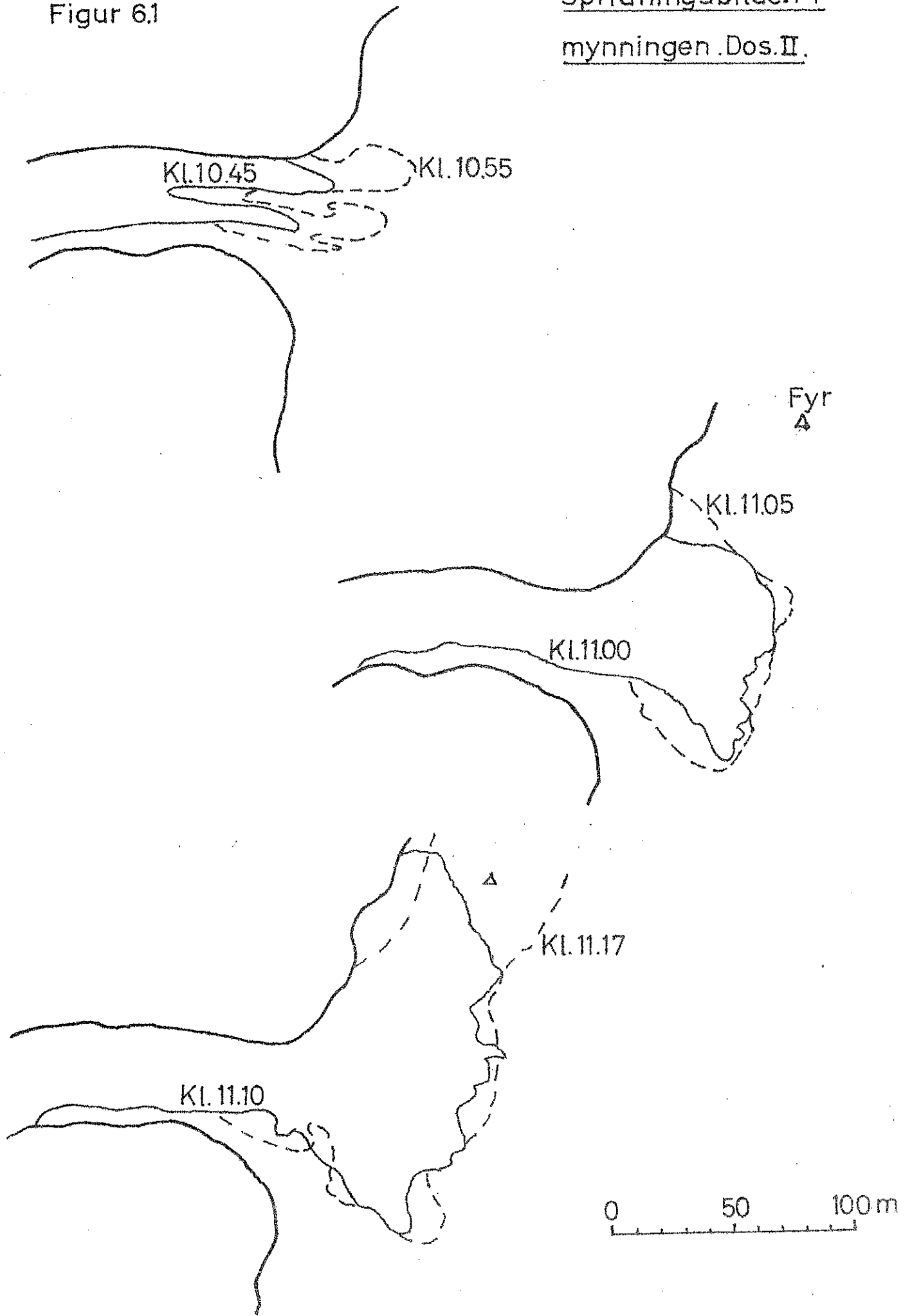
Doseringskoncentration: $1,0 \cdot 10^{-1}$

Doserad mängd: 1,67 ml/s

Vattenföring: ca $5 \text{ m}^3/\text{s}$

Som tidigare nämnts rinner vattnet mycket långsamt i ån. Dock är de första två kilometrarna efter kraftverket rakare och mer snabbflytande än de resterande ner till mynningen. Inverkan av vattenståndsvariationerna är dessutom mindre här.

Figur 6.1



Sammanlagda flyttiden till mynningen (6 km) blev drygt två dygn. Under denna tid gjorde vi upprepade mätningar i ån för att bestämma förflyttning och utspädning av molnet.

I samband med doseringen mätte vi koncentrationen i ån en bit nedströms för att uppskatta flödet. Detta gav resultatet $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (jämför ovan $5 \text{ m}^3/\text{s}$).

Under molnets förflyttning nedströms noterades hela tiden minskad maxkoncentration och förlängning av molnet.

Vid vissa tillfällen observerade vi uppåtströmning i ån. I mynningen kunde man lätt skilja på älvvatten och åvatten, varför älvvattnets inträngning kunde noteras. Ett exempel på detta visas i fig. 6.2, där vid ett tillfälle älvvatten trängt in (åtminstone i ytan) 250 - 300 m. Efter denna inträngning oscillerade vattnet ut och in med minskad amplitud.

6.4 Utströmning i älven

6.4.1 Allmänt

Jämförs rodaminmolnets rörelser i ån och älvvattnets inträngning med vattenståndsvariationerna enligt pegeldiagram vid Lilla Edet (bilaga 6.13, 6.14) kan man se att förändringarna här är av ungefär samma frekvens men med en tidsförskjutning på 30 - 60 mm. Amplituden är emellertid mindre och utjämnad.

Man kan anta att ju större och snabbare en avsänkning är desto snabbare blir utströmningen. Om man relaterar utströmningen vid momentandoseringsarna till motsvarande vattenståndsvariationer får man följande resultat:

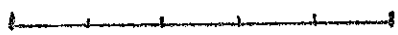
Vid doseringen den 21.6 och 27.6 var utströmningen god. Av diagrammen ser man en samtidig snabb avsänkning av magasinet. Vid doseringen den 22.6 var utströmningen dålig, vilket kan förklaras med att vattenståndet i magasinet då var relativt konstant. Detta var också fallet den 29.6 då det "kontinuerliga" molnet nådde mynningen, varför Slumpåvattnet strök längs älvstranden. (Fig. 6.3). Utslag på fluorometern erhöles då vid sektion 1 till ca 60 m ut. 250 m längre nedströms i älven var utbredningen endast 15 m från stranden. Detta studerades under en tid av ca 2 1/2 timmar varunder ingen nämnvärd förändring observerades. Vid sektion 2 kunde under denna tid inget spårämne återfinnas. Möjligen gick inblandningen så långsamt att spårämnet inte hann så långt ner under denna tid.

FIGUR 6.2, VATTENUTBYTET I SLUMPÅNS MYNNINGDEN 28.6 KL. 18.10-18.25

Slumpån

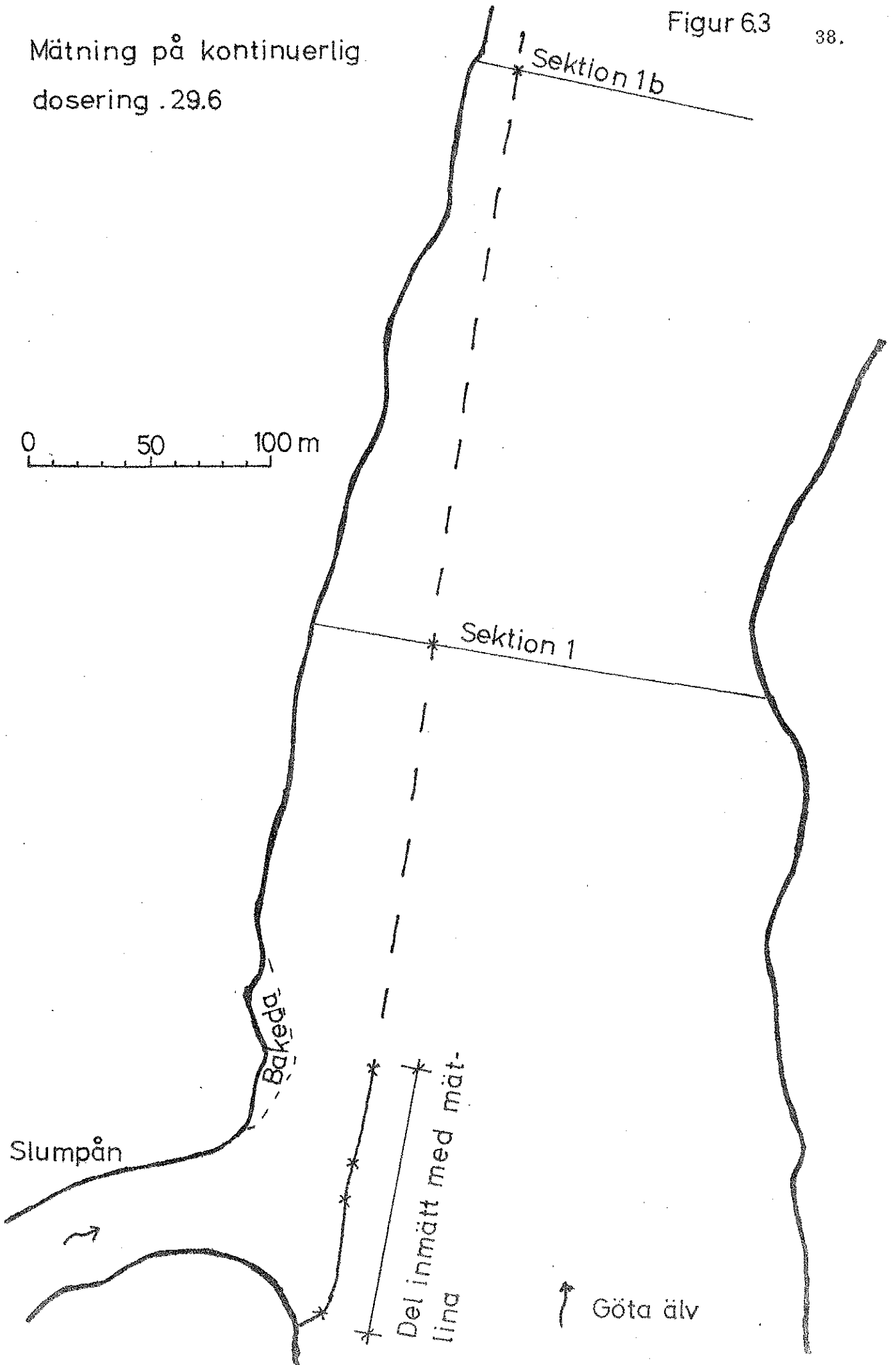
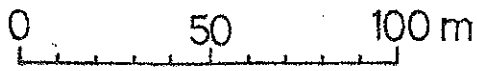
- = Älvsvattnets maxi-
mala inträngning
kl.18.10
- - - - - = Inträngning kl.18.25

0 10 20 30 40 50 meter



Göta Älv

Mätning på kontinuerlig dosering .29.6



6.4.2 Impulsflöden

För att jämföra förhållandena vid de olika doseringarna kan vi använda oss av samma metod som vid Nolåmätningarna, dvs förhållandet mellan impulsflödena för älven och ån. Vid Slumpån är förhållandet dock betydligt mer komplicerade. Här kommer nämligen de snabba vattenståndsvariationerna in i bilden. Att teoretiskt beräkna inverkan av dessa fordrar kännedom om hur ån töms och fylls vid en sänkning resp, höjning av vattenståndet i älven. Mekanismen i samband med detta kräver dock ett mer ingående studium än vad examensarbete medger och därför har vi nöjt oss med en översikt av de olika inblandningsförlopp som kan tänkas förekomma vid Slumpån.

De parameterar som styr inblandningsförloppet är följande:

$$\begin{cases} \text{Stort basflöde i ån} \\ \text{Litet basflöde i ån} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{Stort flöde i älven} \\ \text{Litet flöde i älven} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{Sjunkande vattenstånd i älven} \\ \text{Konstant} & \text{"} & \text{"} & \text{"} \\ \text{Stigande} & \text{"} & \text{"} & \text{"} \end{cases}$$

Allmänt gäller, som tidigare nämnts, att utströmningen är snabbast och initialinblandningen därmed effektivast när impulsflödet

$$q_r \cdot V_r = \frac{q_a \cdot V_a}{q_{\text{älv}} \cdot V_{\text{älv}}} \quad \text{är störst.}$$

Flödet i ån vid mynningen är sammansatt av ett basflöde q_b och ett flöde som uppkommer p g a vattenståndsvariationerna i älven. Det senare flödet kan vid vissa kombinationer av ovanstående parametrar vara motriktat och större än basflödet, vilket medför uppströmsriktat flöde i mynningsområdet, se figur 6.3.

Kombination av ovanstående parametrar ger:

- a) Vid givet basflöde i ån gäller vid konstant vattenstånd i älven att relativa impulsflödet ökar vid minskat flöde i älven och tvärtom.
- b) Vid givet basflöde och givet flöde i älven ökar relativa impulsflödet vid sjunkande vattenstånd och minskar och kan t o m bli negativt vid stigande vattenstånd.
- c) Givet flöde och konstant vattenstånd i älven ger ökat relativt impulsflöde vid ökat basflöde

Den effektivaste initialblandningen fås alltså vid samtidigt stort basflöde och låg vattenföring i älven samt sjunkande vattenstånd.

Vilken av parametrarna basflöde, älvsflöde, och vattenståndsvariation som är starkast är svårt att bedöma. Av tidigare nämnda observationer framgår dock att en snabbt stigande vattenyta ger större inåtriktat flöde än basflödet under dagtid.

Eftersom basflödet i ån minskar avsevärt under nätterna, då kraftverket stängs av, kan man vänta sig försämrade utströmning nattetid. Som tidigare nämnts eftersträvas dock en avsänkning av magasinet mellan Trollhättan och Lilla Edet nattetid, vilket i viss mån skulle kunna uppväga detta.

Vid tillfällen med låg vattenutströmning kan man anta att åvatten ackumuleras i mynningsområdet för att sedan hastigt strömma ut vid en snabb avsänkning av älvsvattenståndet. Inblandningen av åvattnet blir därvid snabb, men koncentrationen av t ex en förening i åvattnet blir högre än vid motsvarande kontinuerligt utflöde.

7. SAMMANFATTNING

Av avgörande betydelse för inblandningen av biflöden i Göta älv är tydligen relativa impulsflödet

$$q_r = \frac{q_a \cdot V_a}{q_{\text{älv}} \cdot V_{\text{älv}}}$$

Det har konstaterats att vid lågt impulsflöde biflodets vatten kommer att flyta längs älvstränderna och endast mycket långsamt inblandas i huvudflödet. Vid högre impulsflöde fås en bättre initiell inblandning och därmed en snabbare fortsatt spridning. Detta har noterats vid mätningarna både vid Nolån och Slumpån.

Den effektivaste inblandning av Nolåvattnet erhålls vid samtidigt lågt flöde i älven och högt flöde i ån t ex efter en regnperiod.

Vid Slumpån beror utflödet till stor del på vattenståndsförändringarna i älven. Vid sjunkande vattenstånd fås bästa utflödet medan vid stigande vattenstånd låg inblandning eller t o m inströmning erhålls. Detta innebär uppstackning av t ex avloppsutsläpp i ån under vissa perioder så att dess koncentration i älven vid en efterföljande utströmning blir högre jämfört med kontinuerlig utströmning. Ett eventuellt avloppsutsläpp bör alltså hellre placeras direkt i älven än i ån.

En allmän jämförelse av blandnings- och spridningsförhållandena vid Slumpån och Nolån ger att inblandningen går snabbare vid Slumpån än vid Nolån. Detta har som främsta orsaker följande.

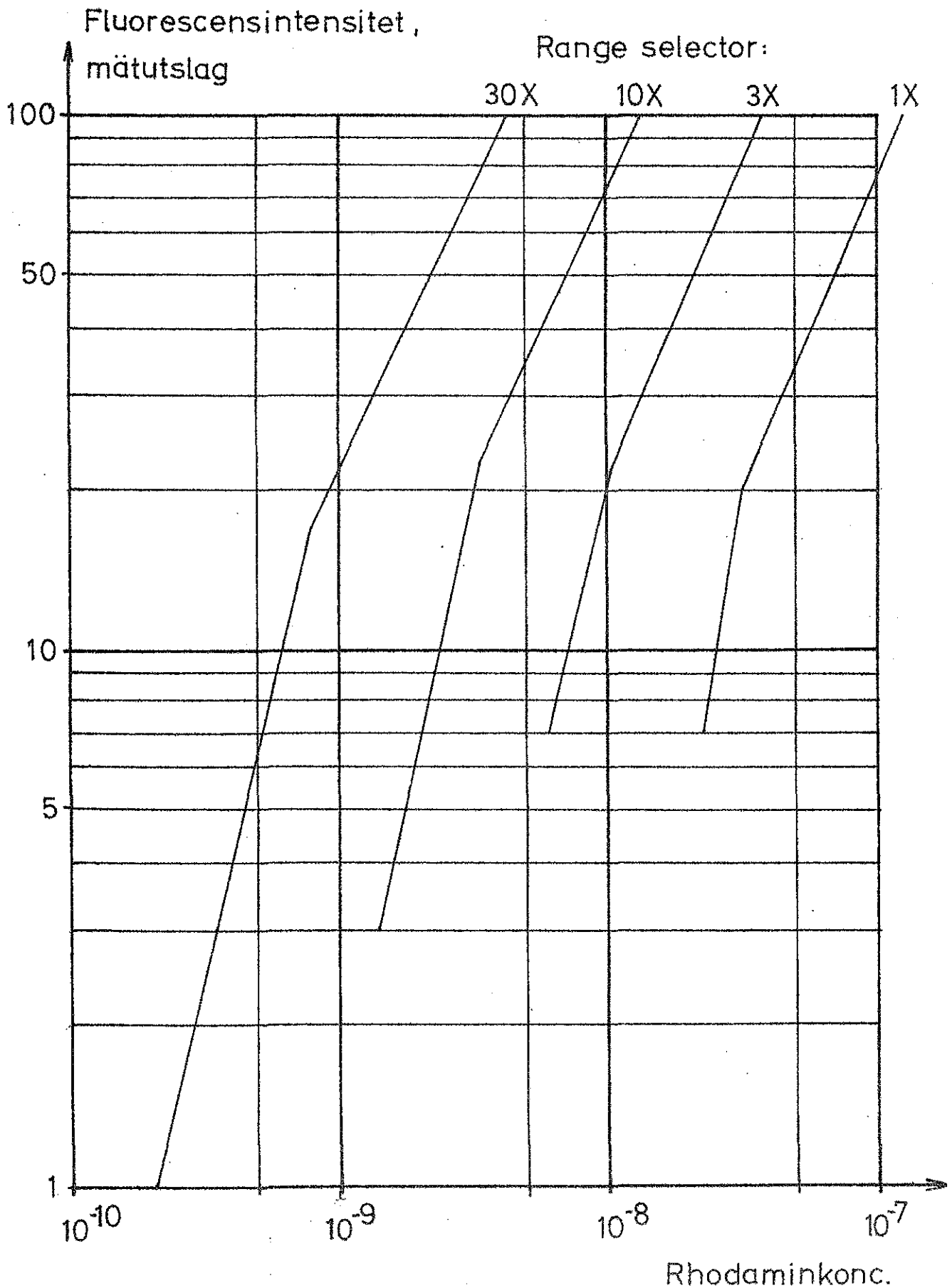
- 1) Slumpån är betydligt större än Nolån, vilket betyder större relativt impulsflöde och därmed bättre initiell inblandning.
- 2) Älvloppet är vid Nolån relativt rakt medan det vid Slumpåns mynning går i två kraftiga krökar. Det senare ger, som tidigare nämnts, ett betydande tillskott till spridningen genom de laterala hastighetskomponenter som härvid uppkommer.
- 3) Flythastigheten i älven är i allmänhet högre vid Slumpån än vid Nolån och dessutom saknas här de stora lugnvattenområden som finns vid Nolån.

Särskilt vid mätningarna vid Nolån framkom att uppnående av fullständigt stationära förhållanden är i det närmaste omöjligt eller tar mycket lång tid i anspråk. Detta beror bl a på relativt snabba variationer i flödet och att vattenutbytet i grundvattenområdena är långsam. Stationära förhållanden hinner därför inte uppnås förrän nästa ändring i vattenföringen inträffar.

REFERENSER

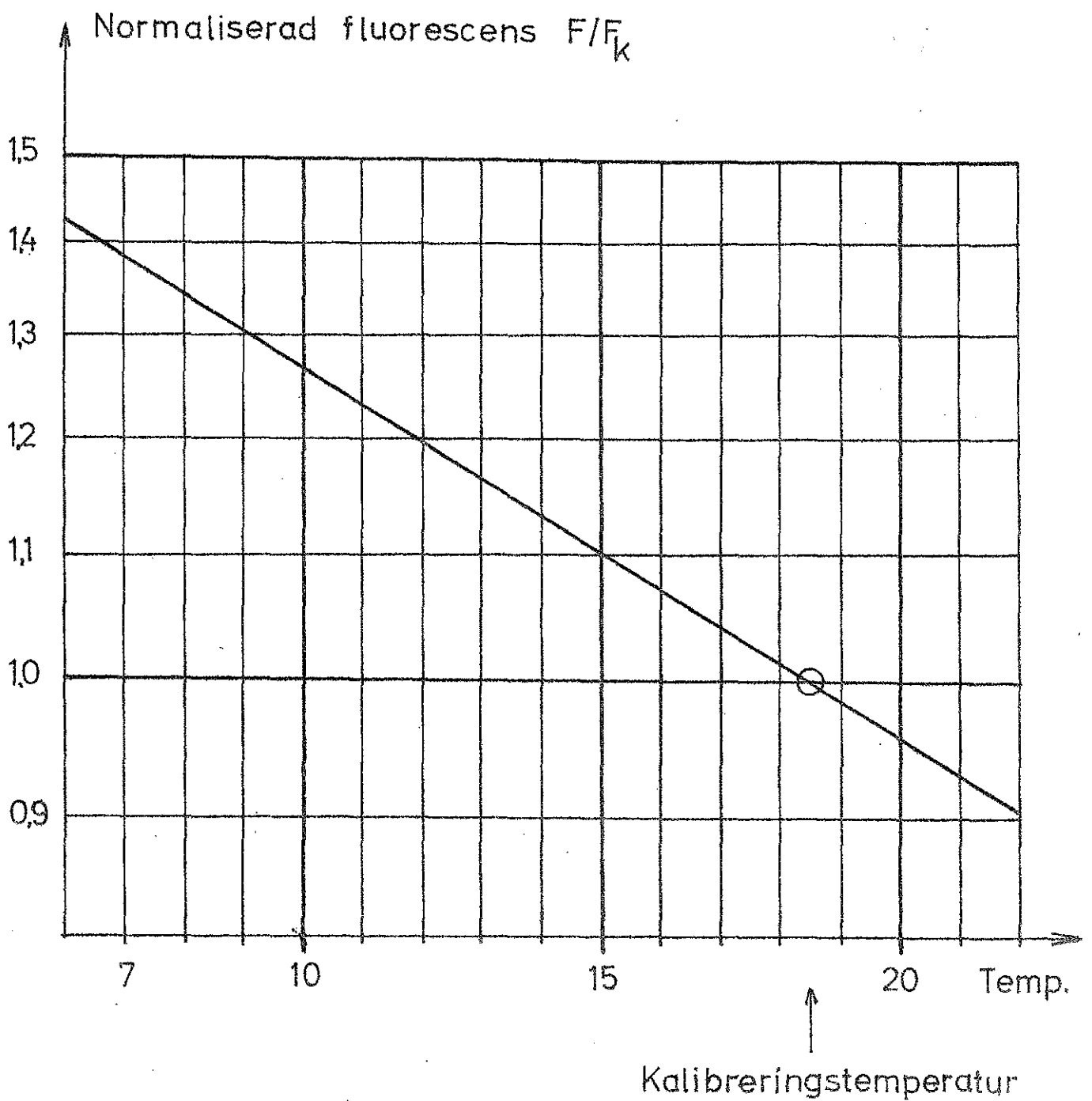
- [1] Cederwall K: "Göta älv. En hydrologisk analys av transport och blandningsprocesser". CTH, Vattenbyggnad, Medd. nr. 63 1971
- [2] Holley et al. : "Some aspects of analyzing transverse diffusion in rivers". Journal of Hydraulic Research 10, 1972 No 1.
- [3] Feuerstein et al. : "Fluorescent tracers for dispersion measurements". Trans. ASCE vol. 89, No SA4, 1963.
- [4] SMHI: "PM angående Turners fluorometer".
- [5] G K Turner Associates: "Operating and service manual Model III Fluorometer".

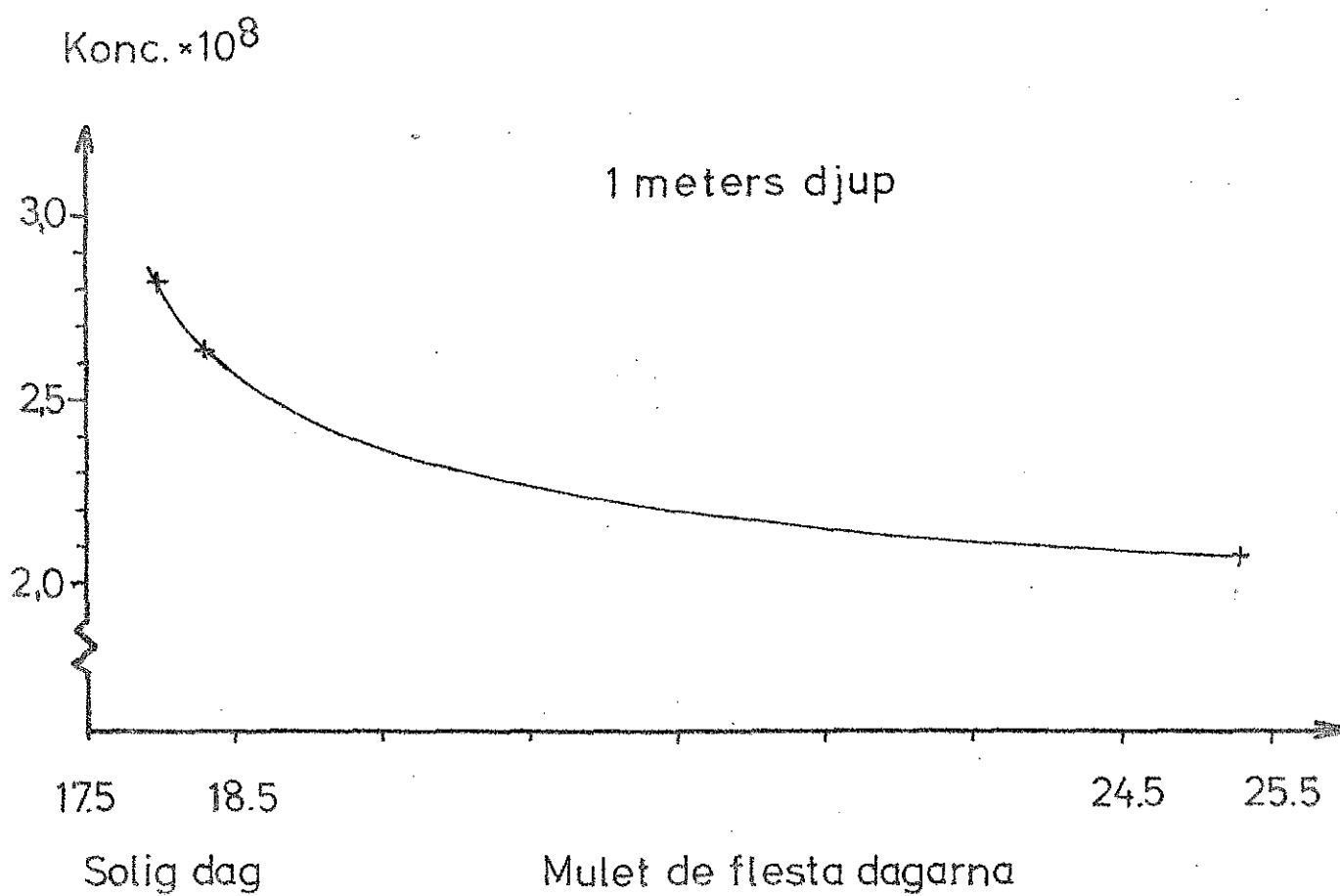
Samband mellan fluorescens och Rhodamin-
koncentration vid genomströmning.



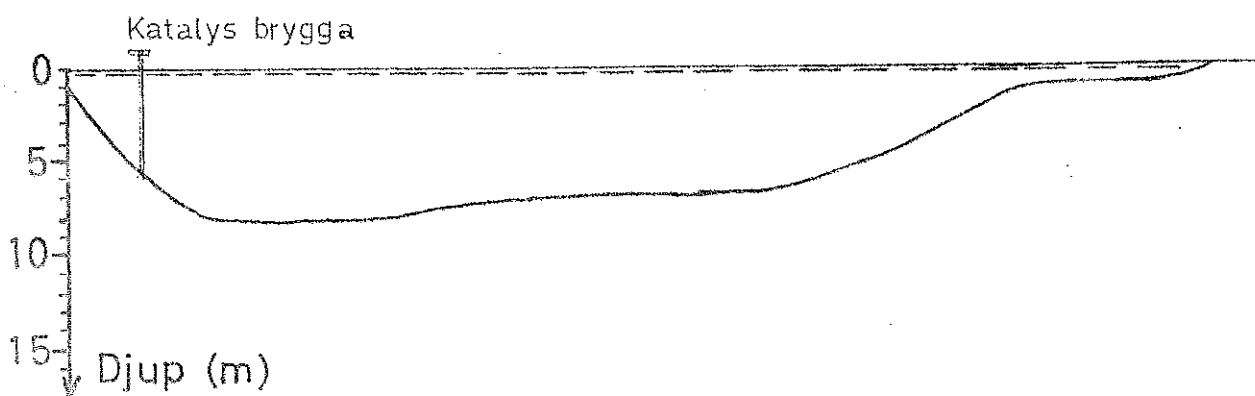
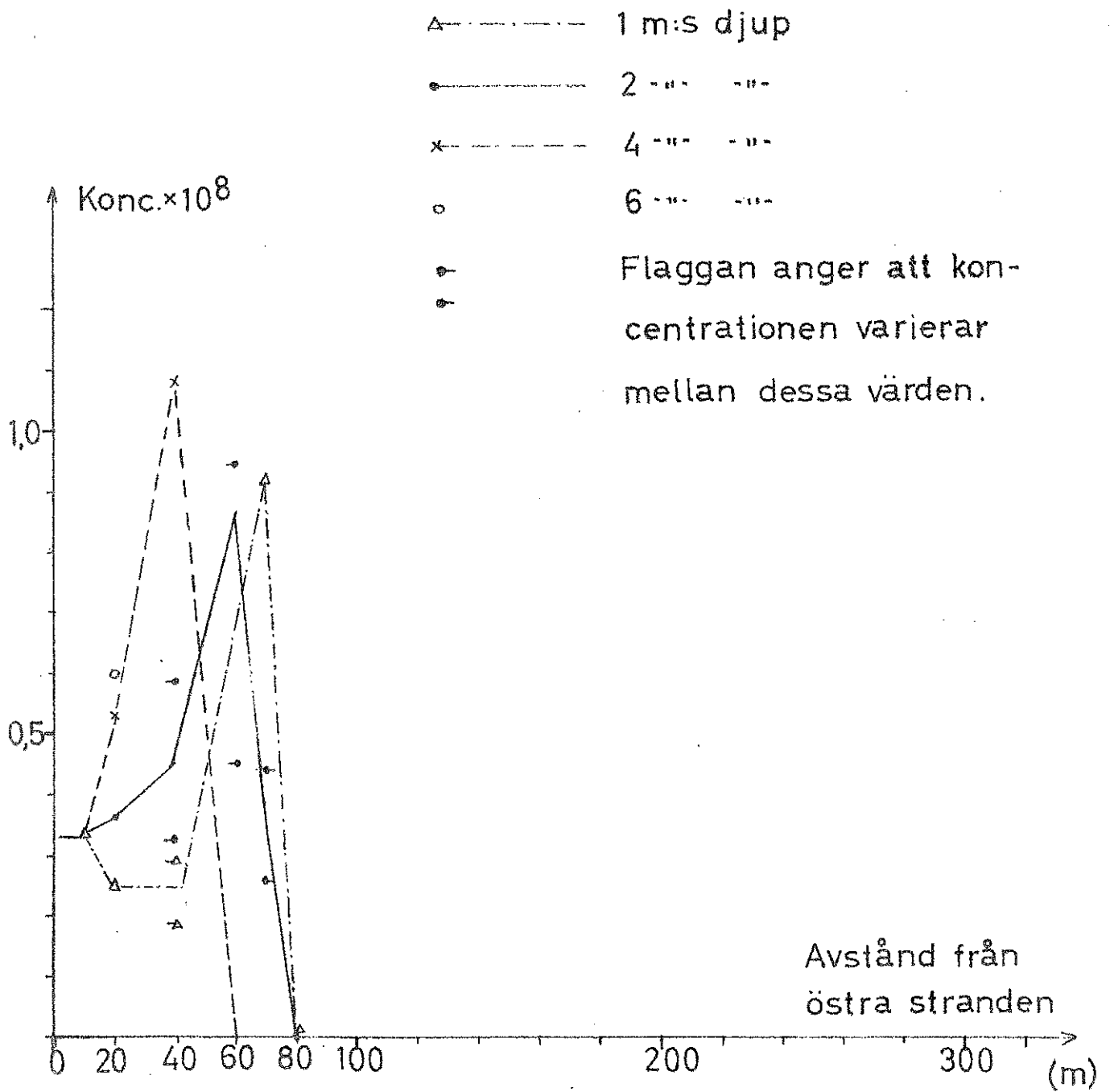
Fluorescensen varierar enligt: $F = F_k \cdot e^{nt}$

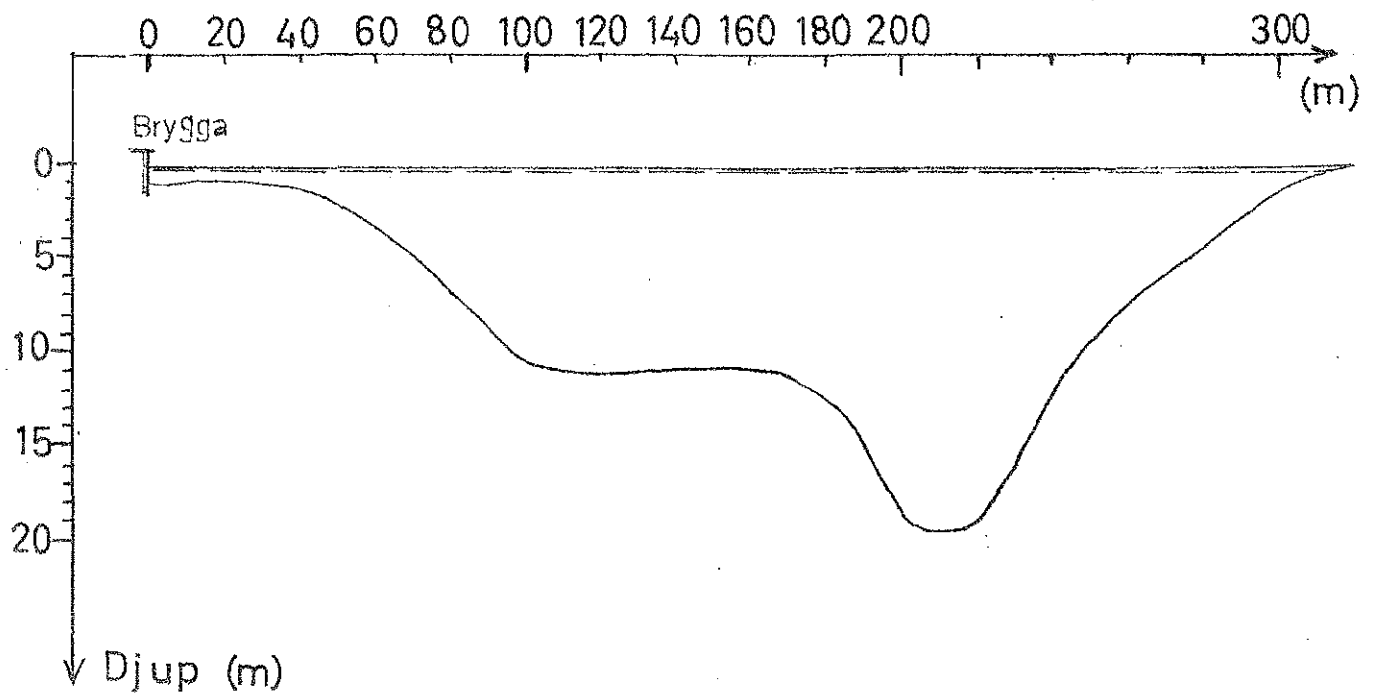
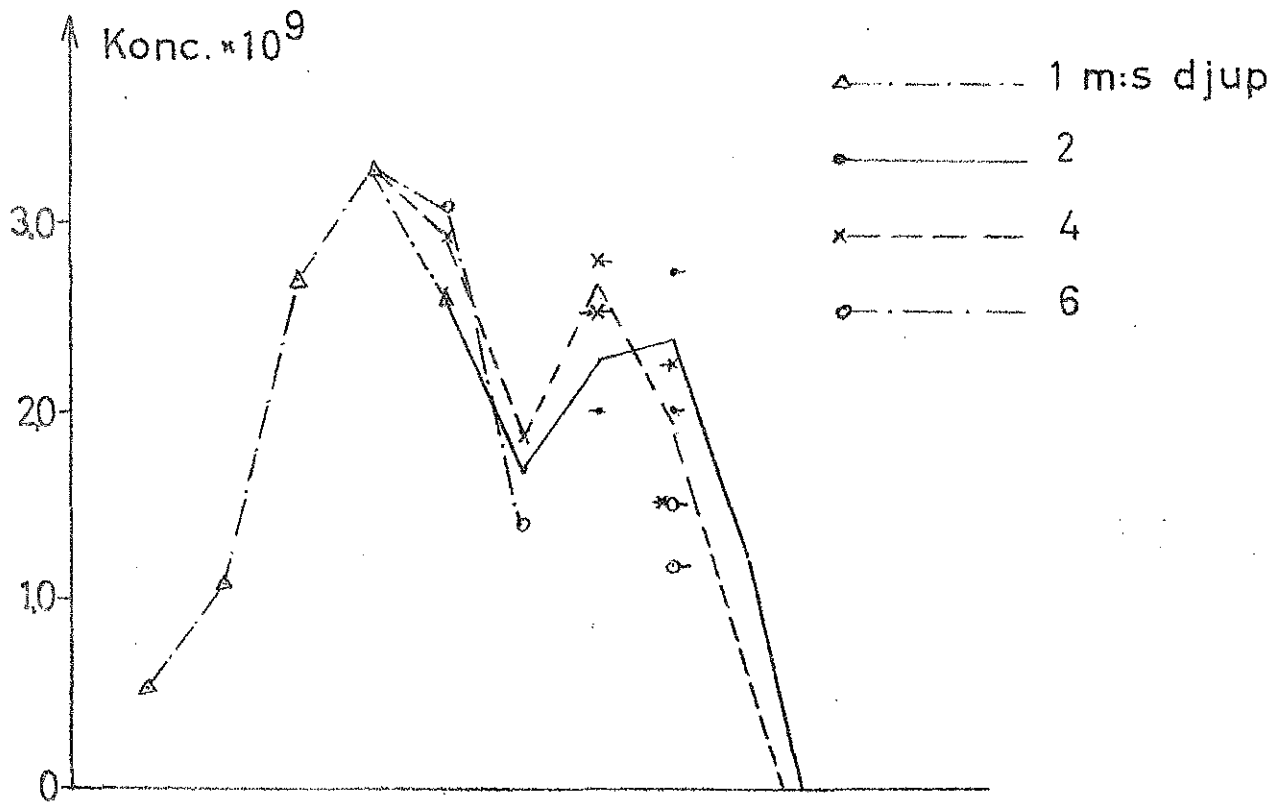
där $n = -0,027 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$



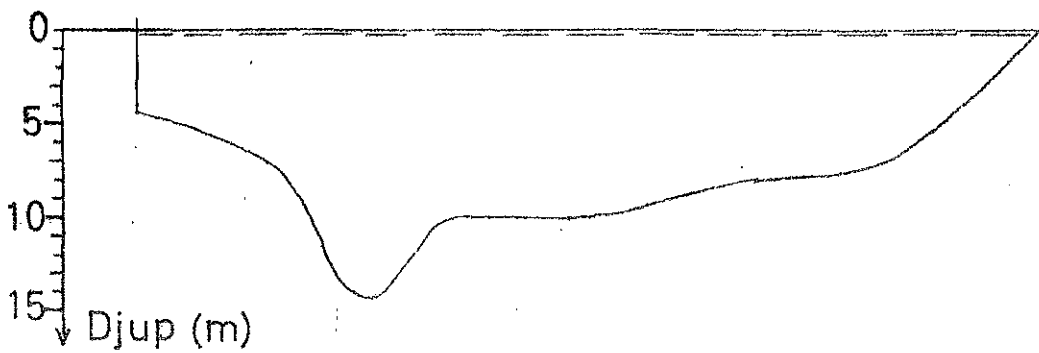
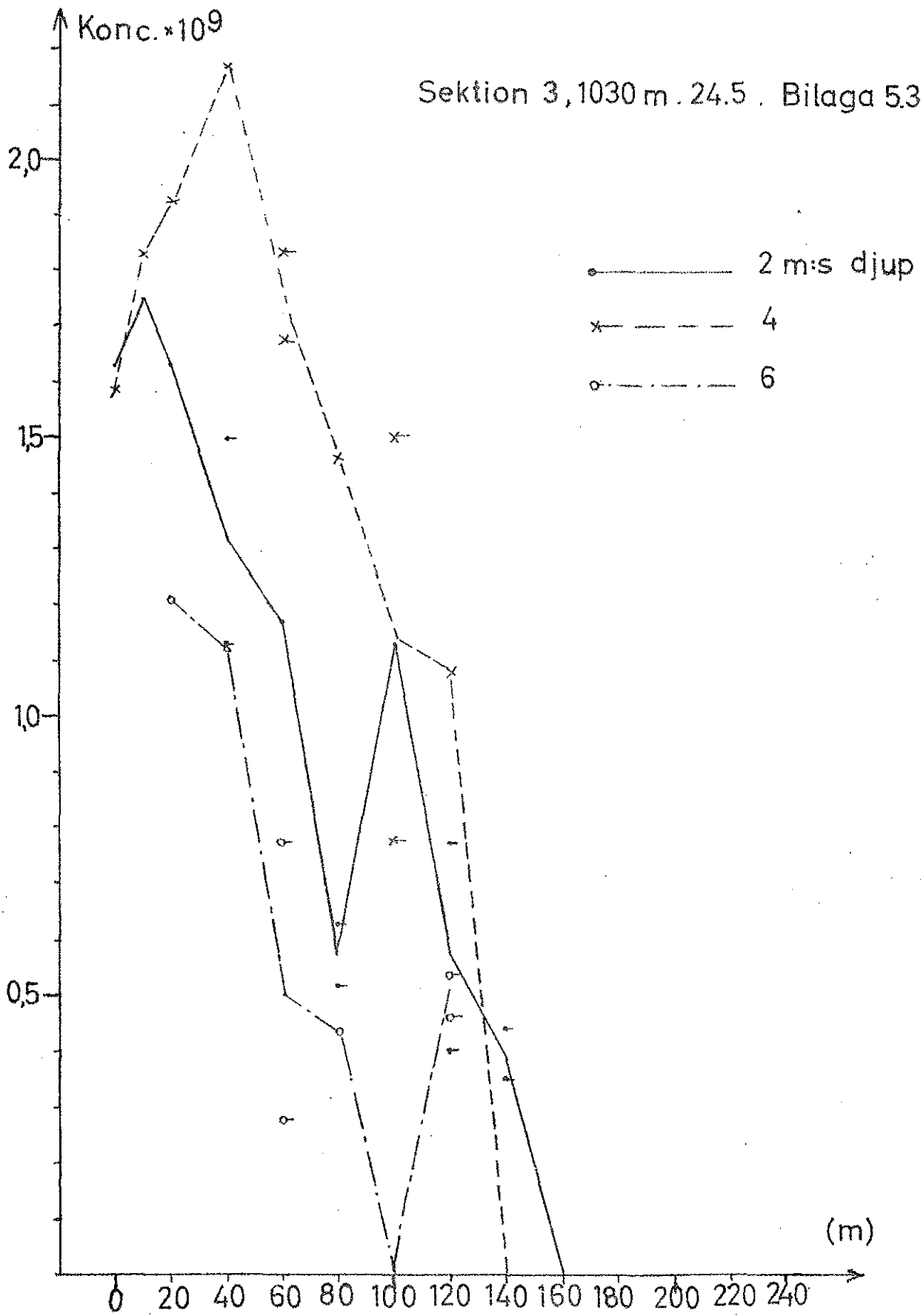


Sektion 1, 150 m nedströms Nolån. Dosering IV, 245-72

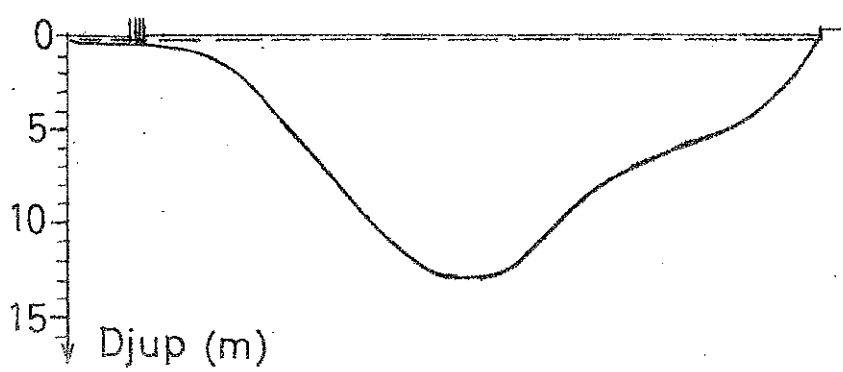
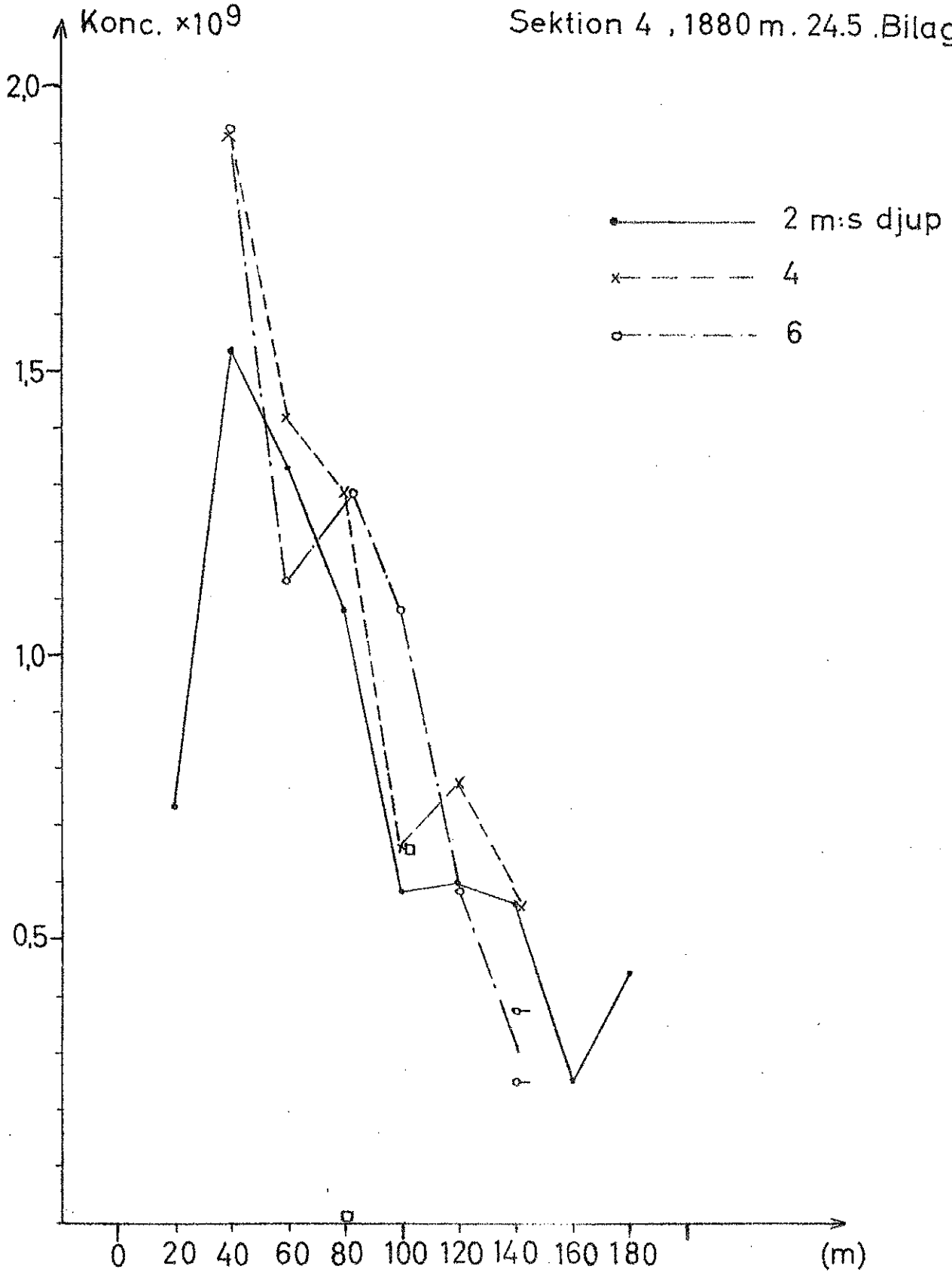


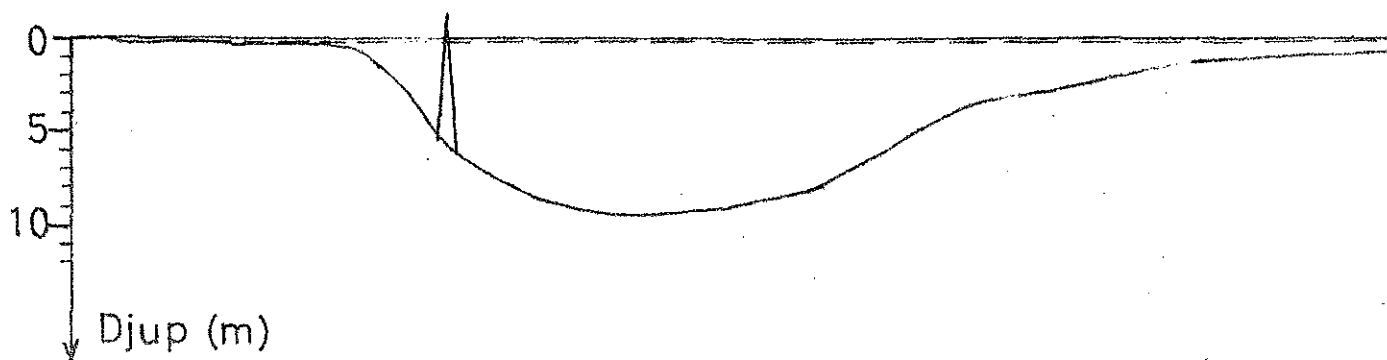
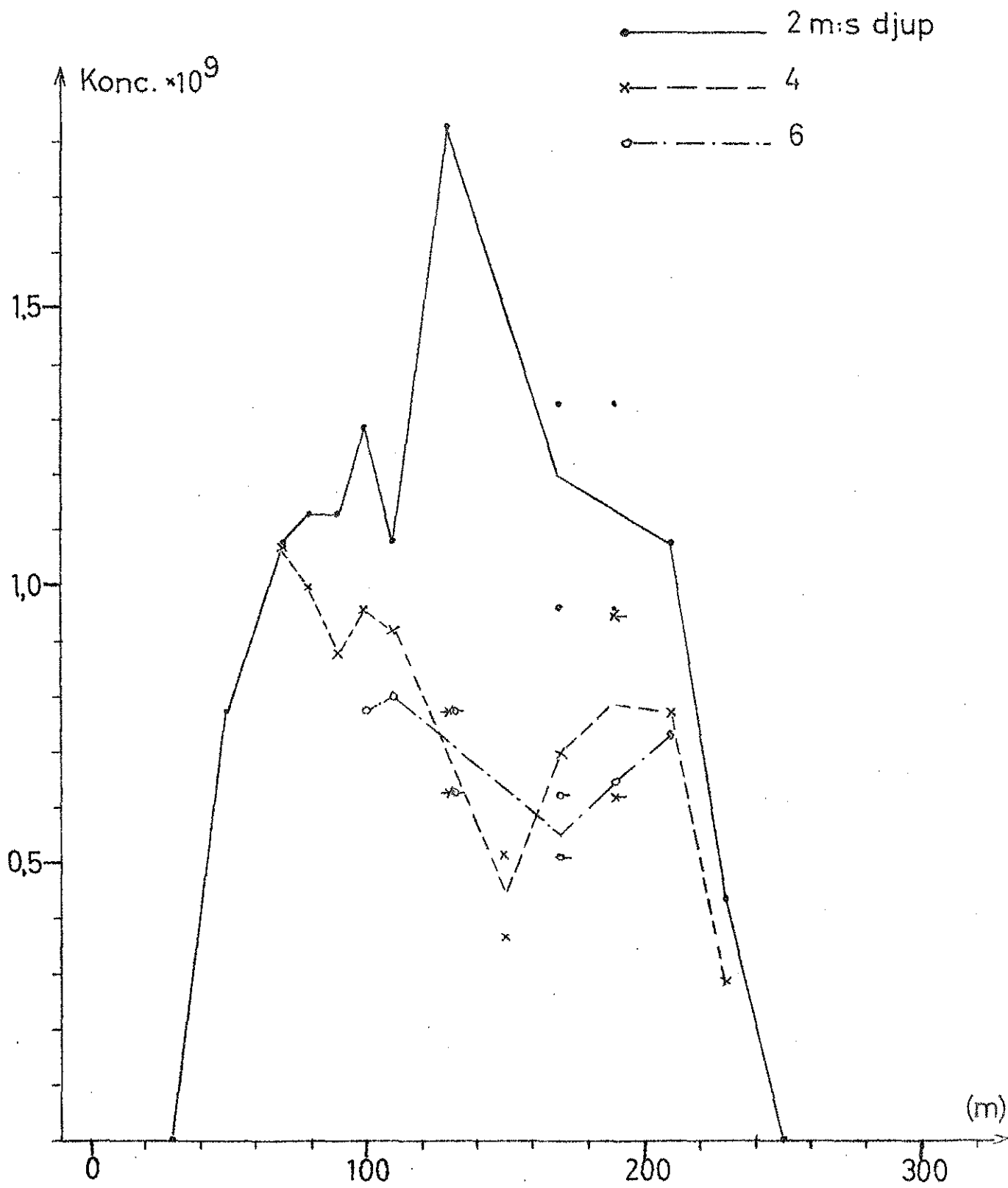


Sektion 3, 1030 m. 24.5. Bilaga 5.3

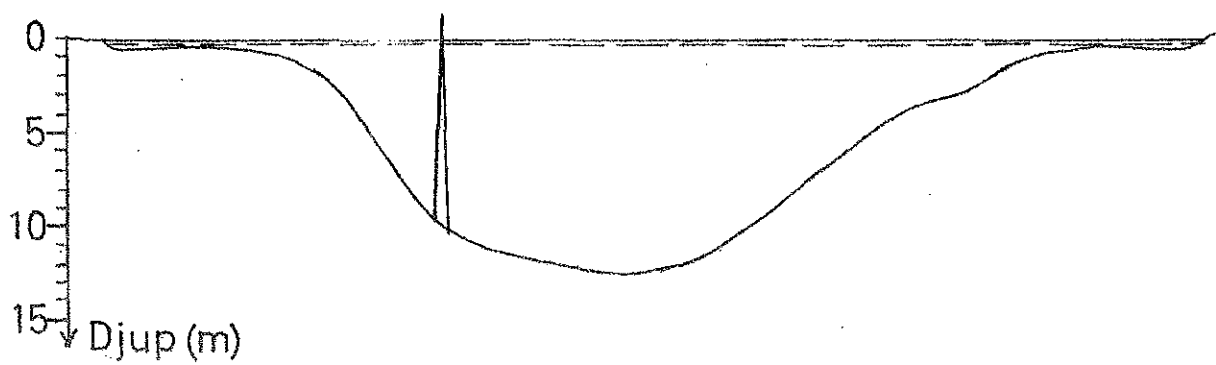
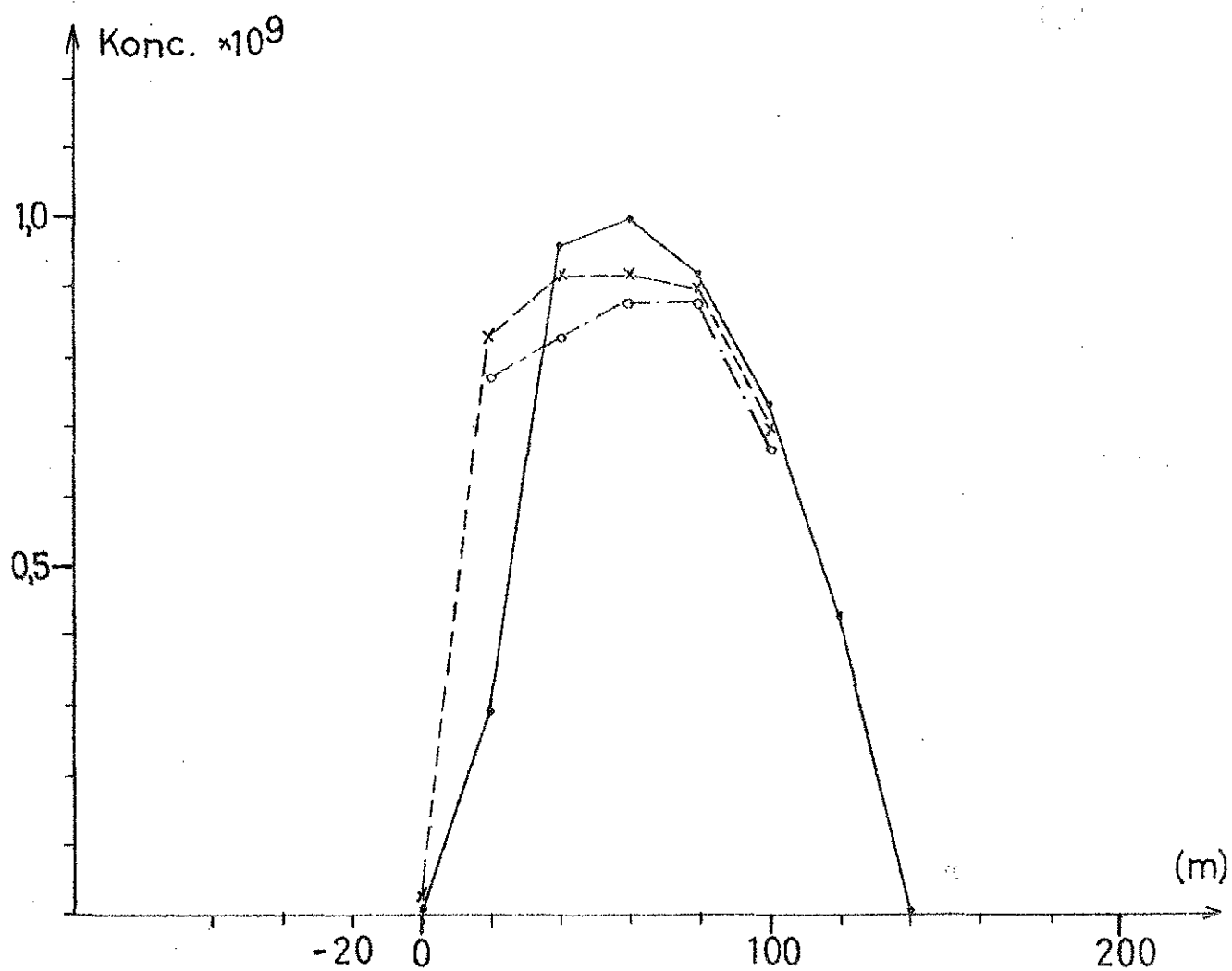


Sektion 4 , 1880 m. 24.5 .Bilaga 54

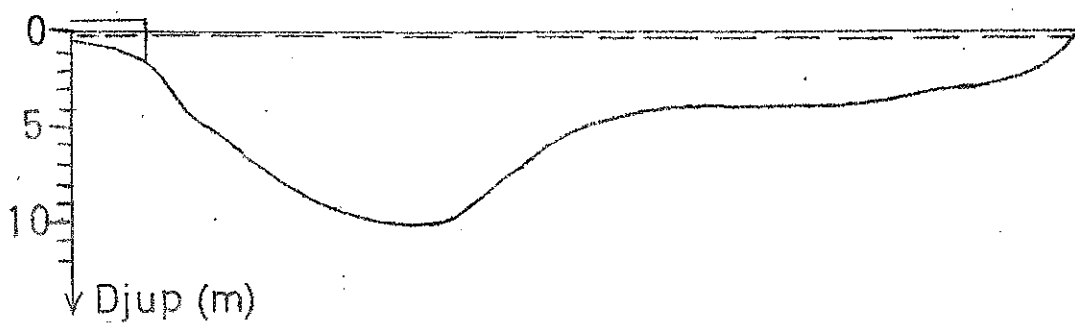
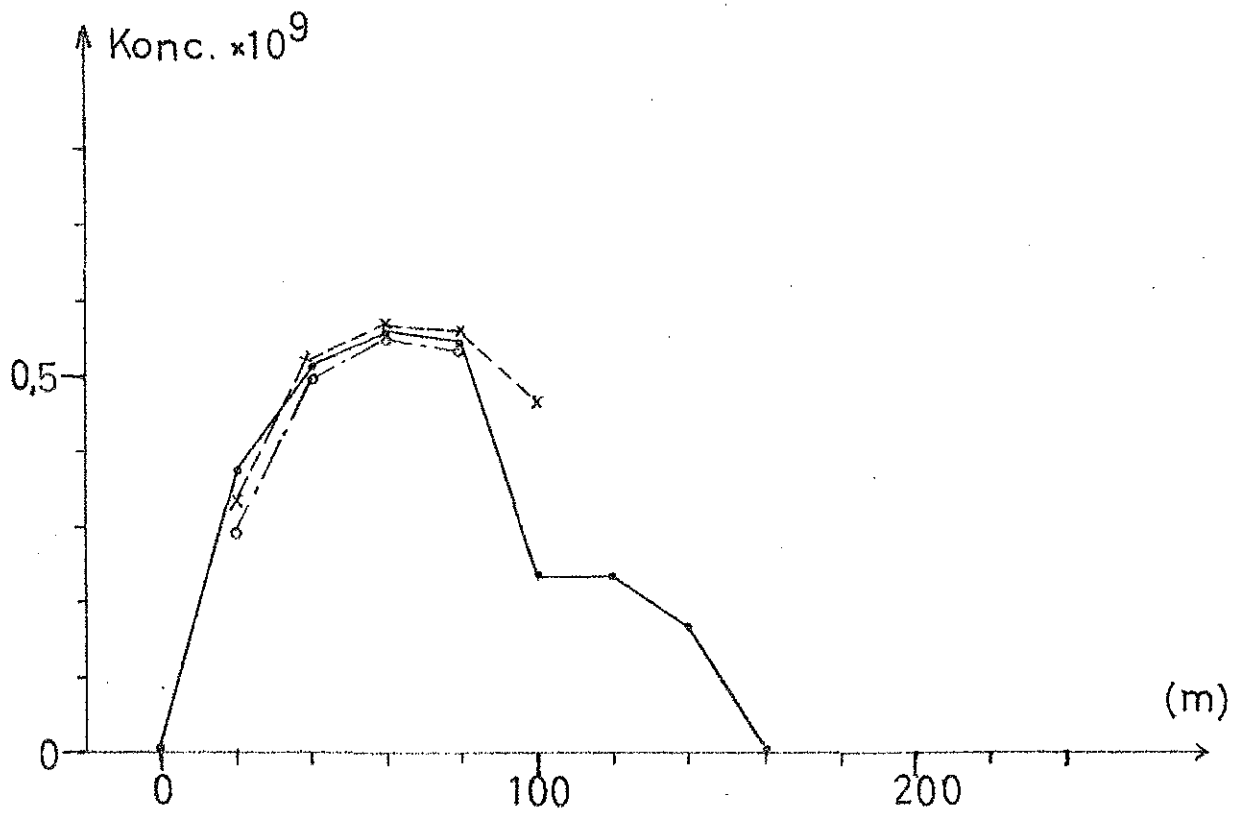




- 2 m:s djup
- x- 4
- o- 6



- — 2 m:s djup
- x - - - 4
- - - - 6



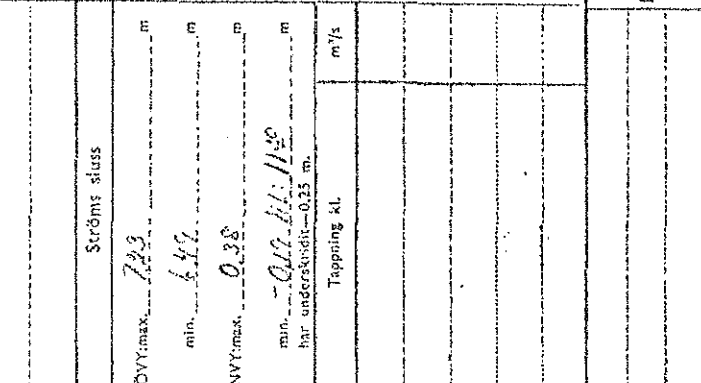
| Kl. | Avbördad vattenmängd i Lilla Edet | | | | Fyllning i skärmans motvattenkylor | | Vattenmängd i Götaborgsjören | | | Ströms klass vattenstånd vid timmens slut | | Dygn | Öber-rende dygn | Före regn-dags-dygn | Efter regn-dags-dygn | |
|-------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------|------------------------------|---------------------|---------------------|---|-----|------|-----------------|---------------------|----------------------|--|
| | Turbiner och Ströms sluss | Västra skärmans utskötsel | Västra skärmans utskötsel vid ströms | Västra skärmans utskötsel vid ströms | Östra | Västra | Temp. medel-värde | 24 timmar | | ÖVY | NVY | | | | | |
| | | | | | | | | 3600 m ³ | 3600 m ³ | | | | | | | |
| 0-1 | 219 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 789 | 132 | 3067 | 122 | 659 | -433 | | | |
| 1-2 | 219 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 811 | 135 | 3080 | 128 | 579 | -200 | | | |
| 2-3 | 217 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 822 | 137 | 3092 | 129 | 61 | -18 | | | |
| 3-4 | 217 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 826 | 138 | 3104 | 129 | 61 | -15 | | | |
| 4-5 | 216 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 825 | 138 | 3115 | 130 | 61 | -06 | | | |
| 5-6 | 214 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 804 | 137 | 3105 | 130 | 61 | -06 | | | |
| 6-7 | 195 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 805 | 137 | 3120 | 130 | 61 | -06 | | | |
| 7-8 | 146 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 781 | 132 | 3159 | 130 | 61 | -10 | | | |
| 8-9 | 147 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 758 | 126 | 3078 | 129 | 61 | -15 | | | |
| 9-10 | 148 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 736 | 113 | 3087 | 129 | 60 | -18 | | | |
| 10-11 | 144 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 712 | 119 | 3034 | 128 | 60 | -19 | | | |
| 11-12 | 143 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 687 | 115 | 2994 | 127 | 61 | -11 | | | |
| 12-13 | 143 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 680 | 113 | 3032 | 128 | 58 | -19 | | | |
| 13-14 | 144 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 679 | 113 | 3012 | 126 | 87 | -19 | | | |
| 14-15 | 175 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 692 | 115 | 3006 | 125 | 706 | -17 | | | |
| 15-16 | 418 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 721 | 120 | 3024 | 126 | 16 | 014 | | | |
| 16-17 | 443 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 758 | 126 | 2999 | 127 | 01 | 31 | | | |
| 17-18 | 112 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 748 | 128 | 2996 | 127 | 699 | 05 | | | |
| 18-19 | 116 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 780 | 130 | 3054 | 127 | 306 | 02 | | | |
| 19-20 | 157 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 787 | 131 | 3052 | 127 | 13 | 02 | | | |
| 20-21 | 156 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 779 | 130 | 3051 | 127 | 07 | 00 | | | |
| 21-22 | 196 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 762 | 128 | 3081 | 127 | 609 | -19 | | | |
| 22-23 | 199 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 757 | 125 | 3058 | 127 | 07 | 00 | | | |
| 23-24 | 199 | 1 | 1 | 1 | 38 | 38 | 132 | 752 | 127 | 3041 | 127 | 07 | 00 | | | |

Vänligt söndagsdygn
Söndagsdygn med inskränkt arbetsid
Heldagsdygn

Vattenmängd i Götaborgsjören
Timmedelvärdet svårt höjningen ligger
6 timmars medelvärdet grön höjningen ligger
24 timmars medelvärdet röd höjningen ligger

Ströms klass
ÖVY: max. 7223 m
min. 642 m
NVY: max. 0.38 m
min. -0.12 m till 11.2 m
har understrykt = 0.25 m

Tappning kl. m/y



Lilla Edet den 25/5 1916

[Handwritten signature]

Regl. best. inom C 4 d
äro riktigt för tillämpas Ja Nej

Regl. best. inom C 5 kor tillämpas Ja Nej

Tappning genom östra skärmans utskötsel
och reservatören har försäkrats Ja Nej

Sektionernas läge
nedströms Nolån

Dösebacka

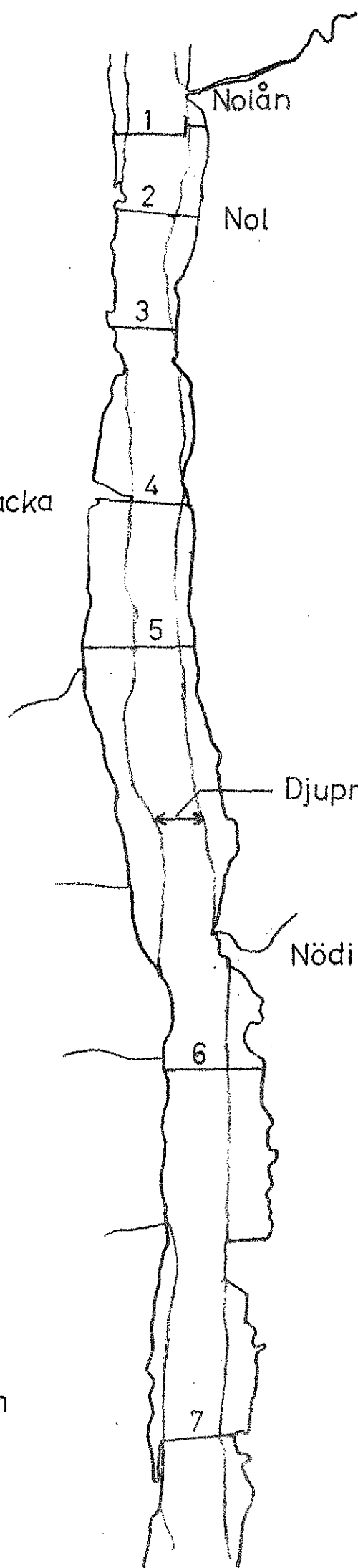
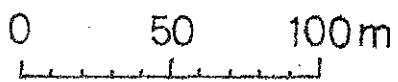
Nolån

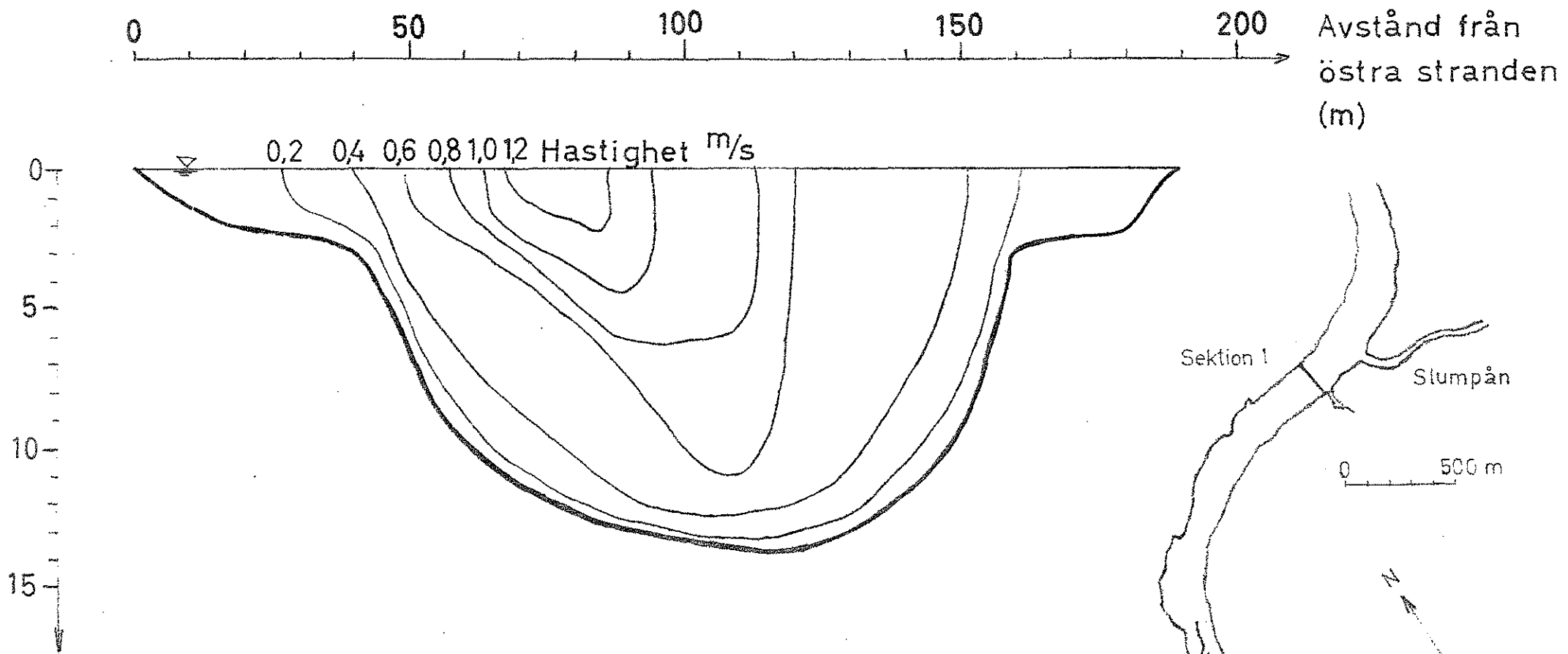
Nol

Djupränna

Nödinge

Skala 1:25000





Sektion 1. Hastighetsfördelning den 29.6 kl. 15.40-17.00

Bilaga 6:1

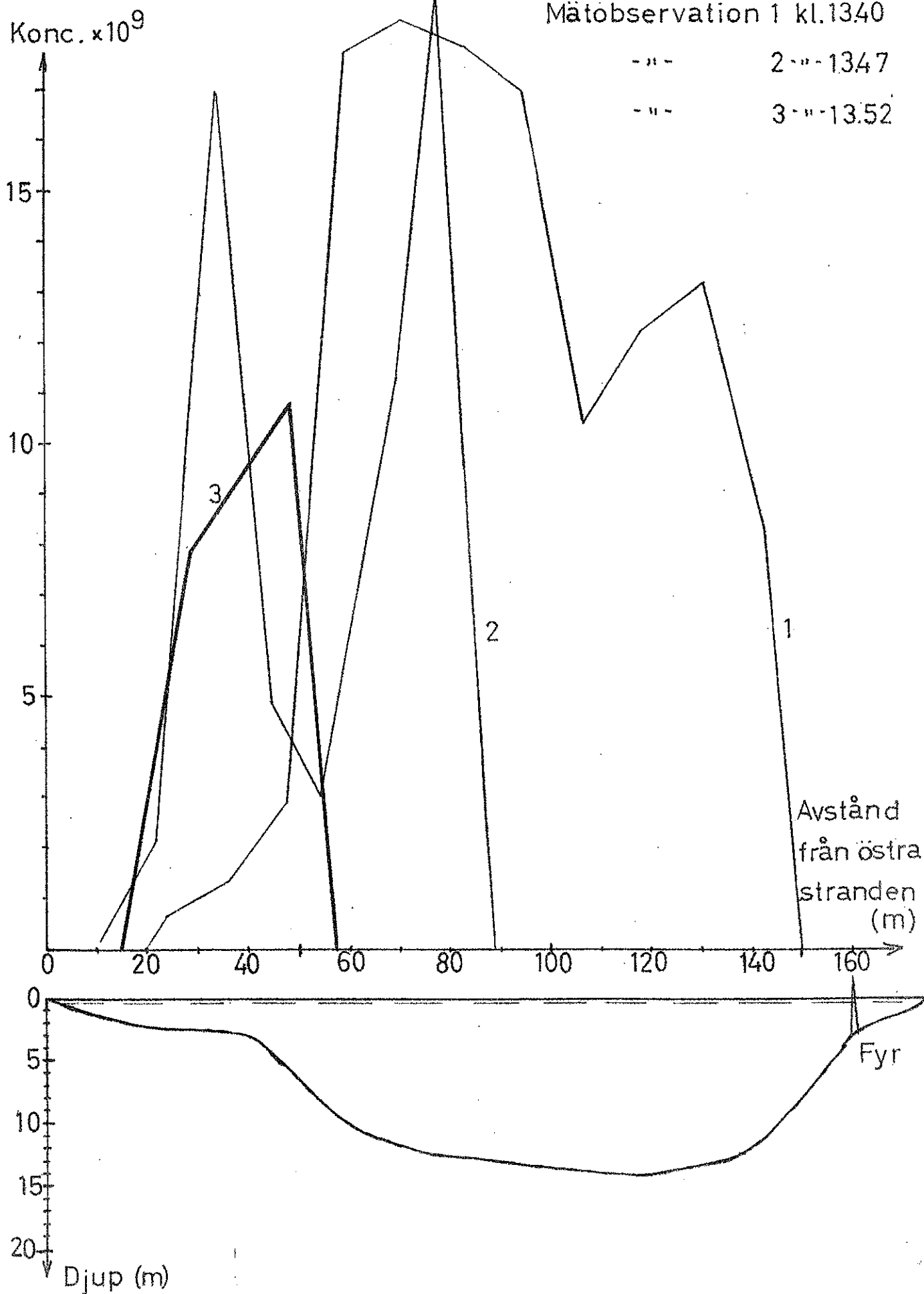
Sektion 1, 240 m nedströms Slumpån. Dos. I , 21.6 -72

Utströmning kl.13.30

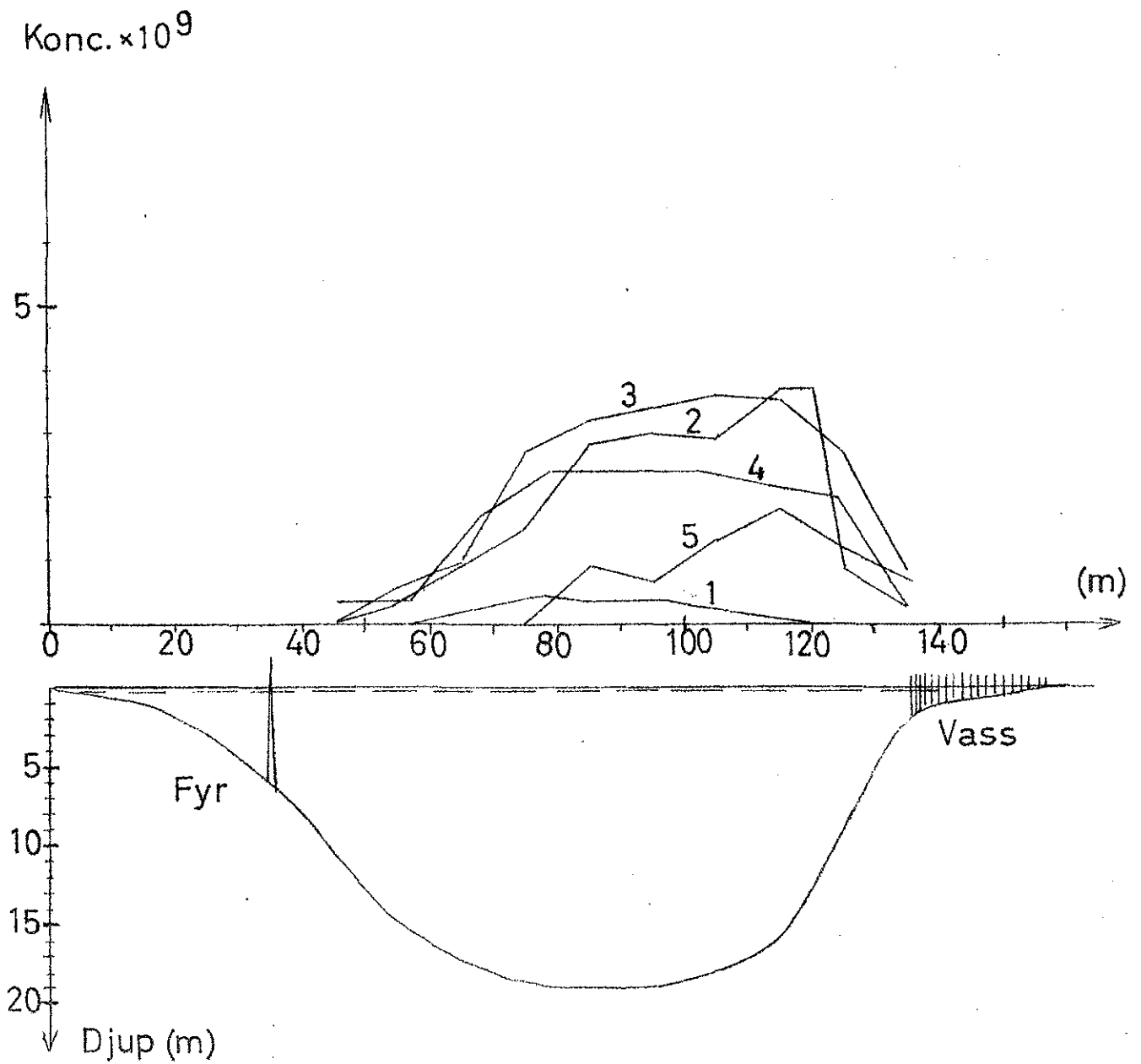
Mätobservation 1 kl.13.40

--- 2 --- 13.47

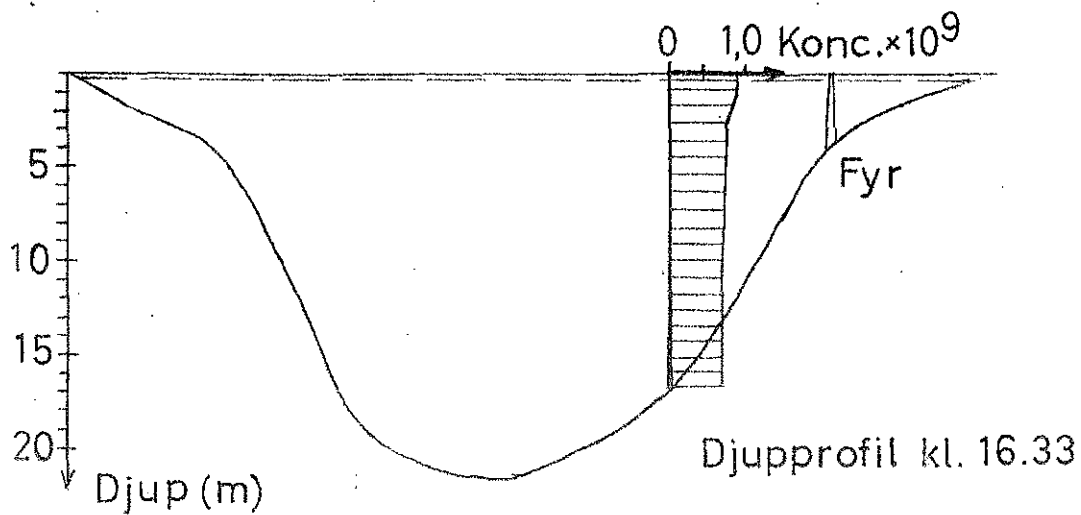
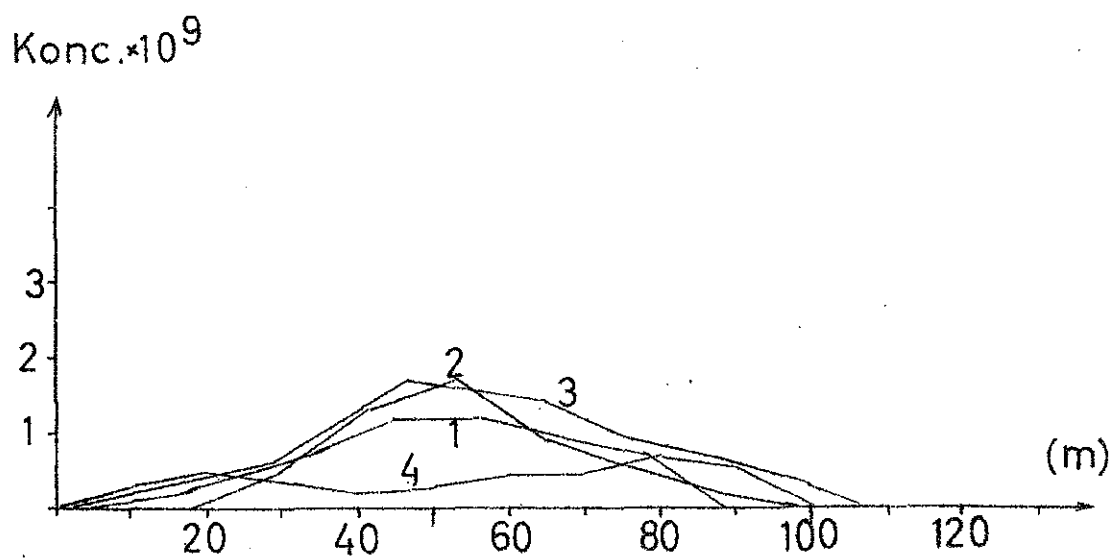
--- 3 --- 13.52



| | |
|----|-----------|
| U | kl. 13.30 |
| M1 | "- 14.20 |
| M2 | "- 15.02 |
| M3 | "- 15.10 |
| M4 | "- 15.20 |
| M5 | "- 15.25 |

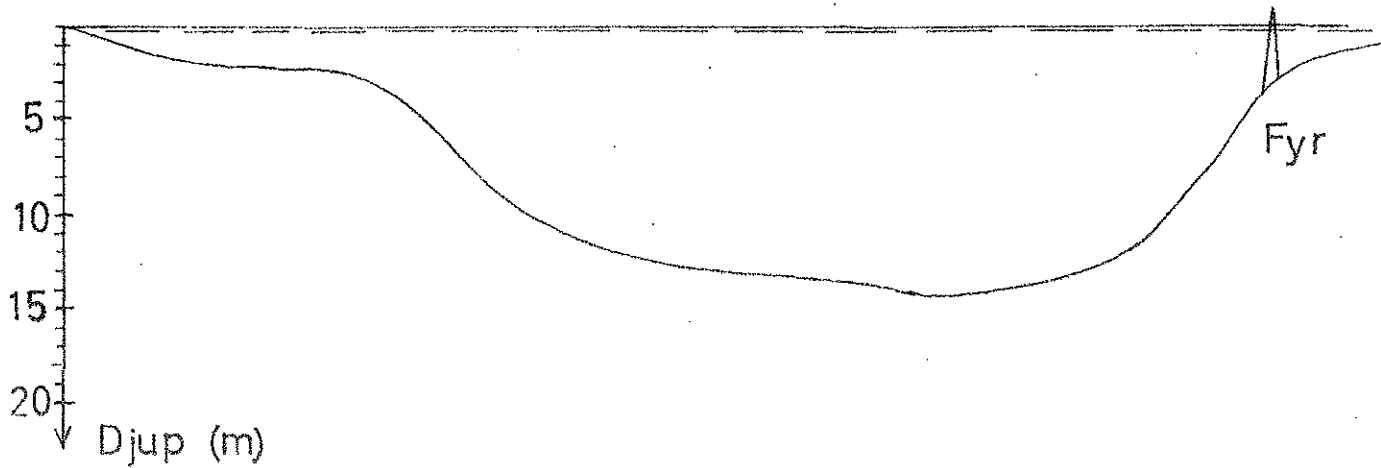
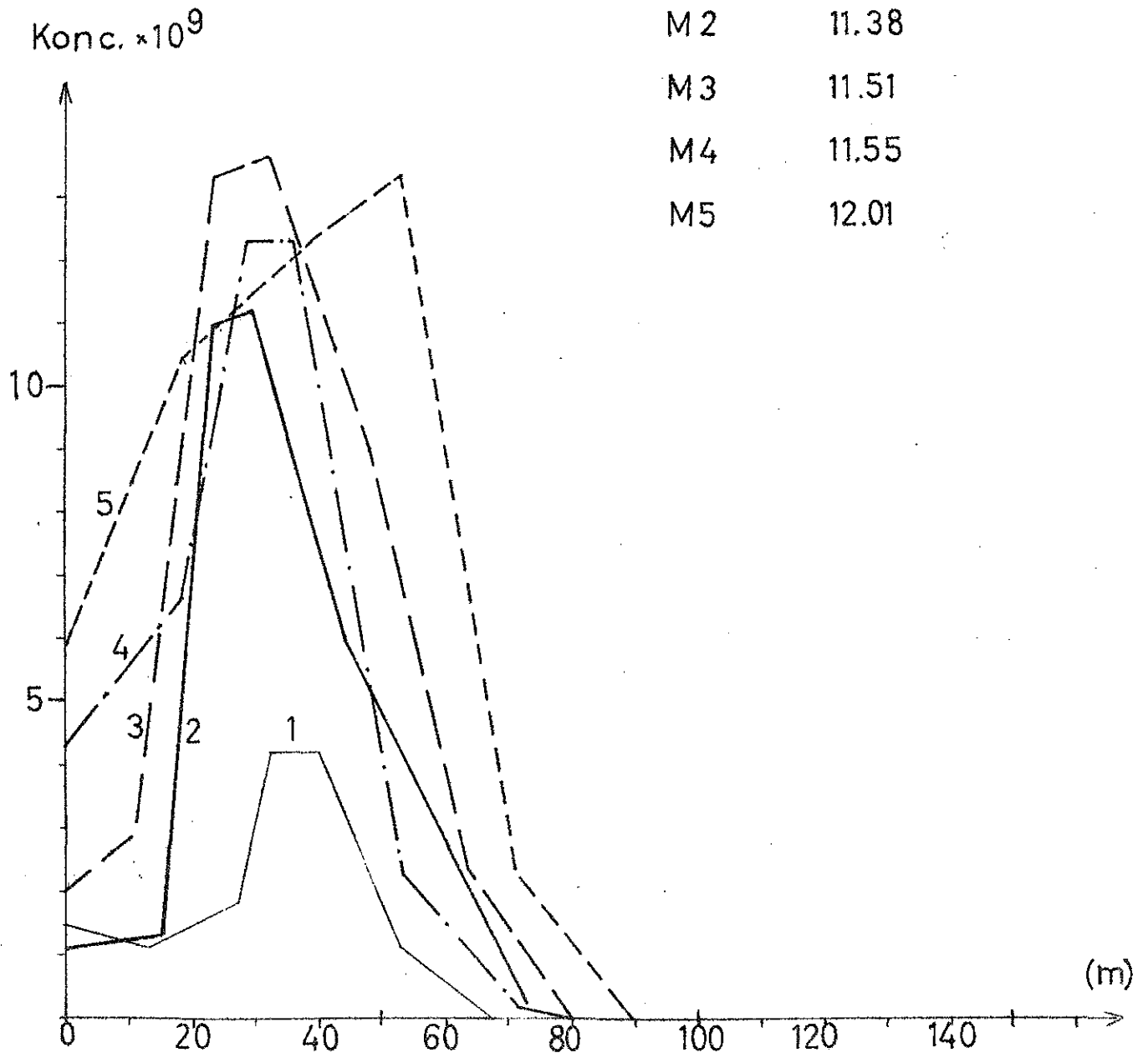


| | |
|----|----------|
| U | kl.13.30 |
| M1 | 16.04 |
| M2 | 16.08 |
| M3 | 16.12 |
| M4 | 16.20 |



Sektion 1, 240 m nedströms Slumpån, Dos. II, 22.6 -72 Bilaga 6.5

| | |
|----|-----------|
| U | kl. 10.40 |
| M1 | 11.35 |
| M2 | 11.38 |
| M3 | 11.51 |
| M4 | 11.55 |
| M5 | 12.01 |



U kl.10.40

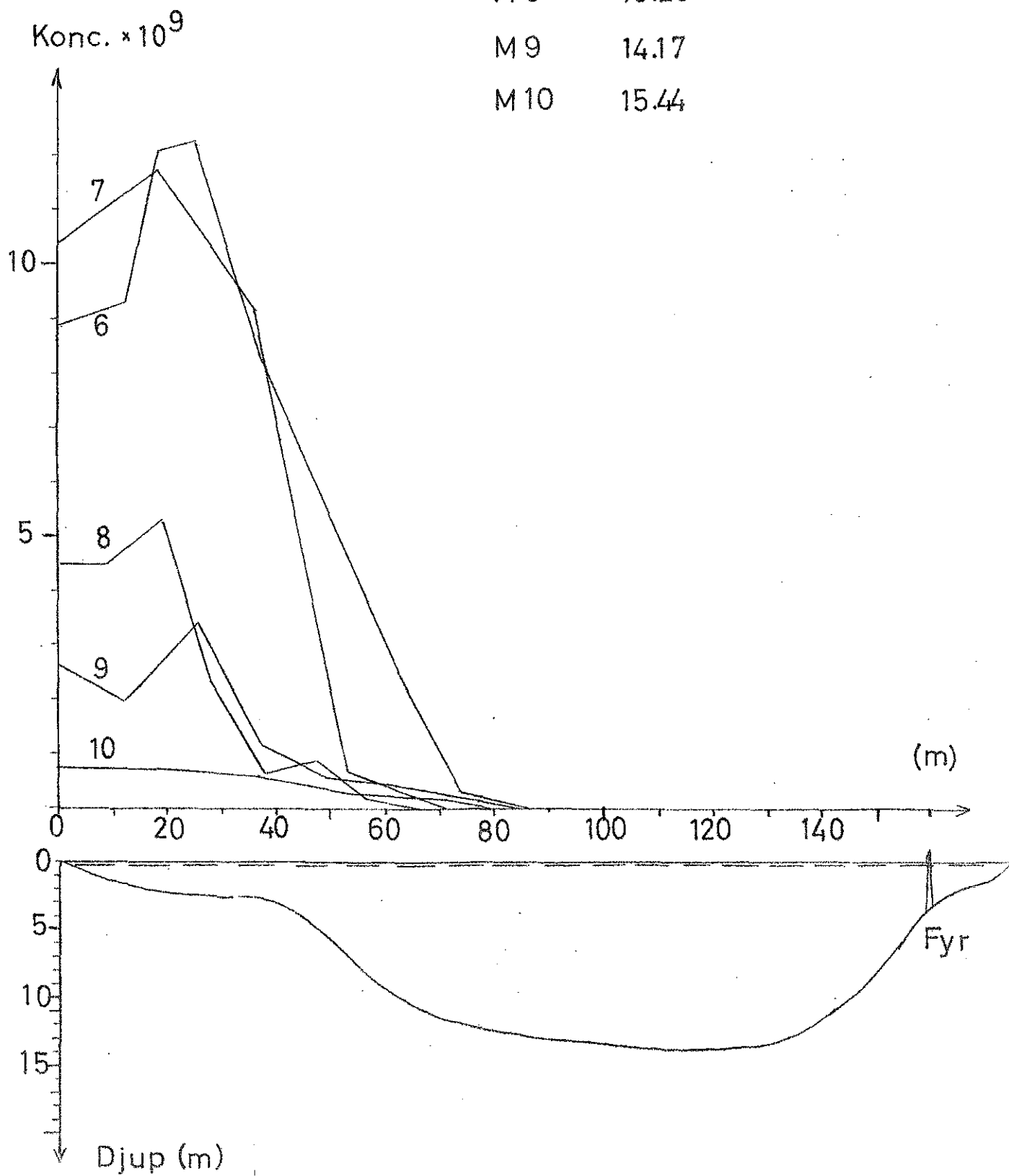
M6 12.16

M7 12.27

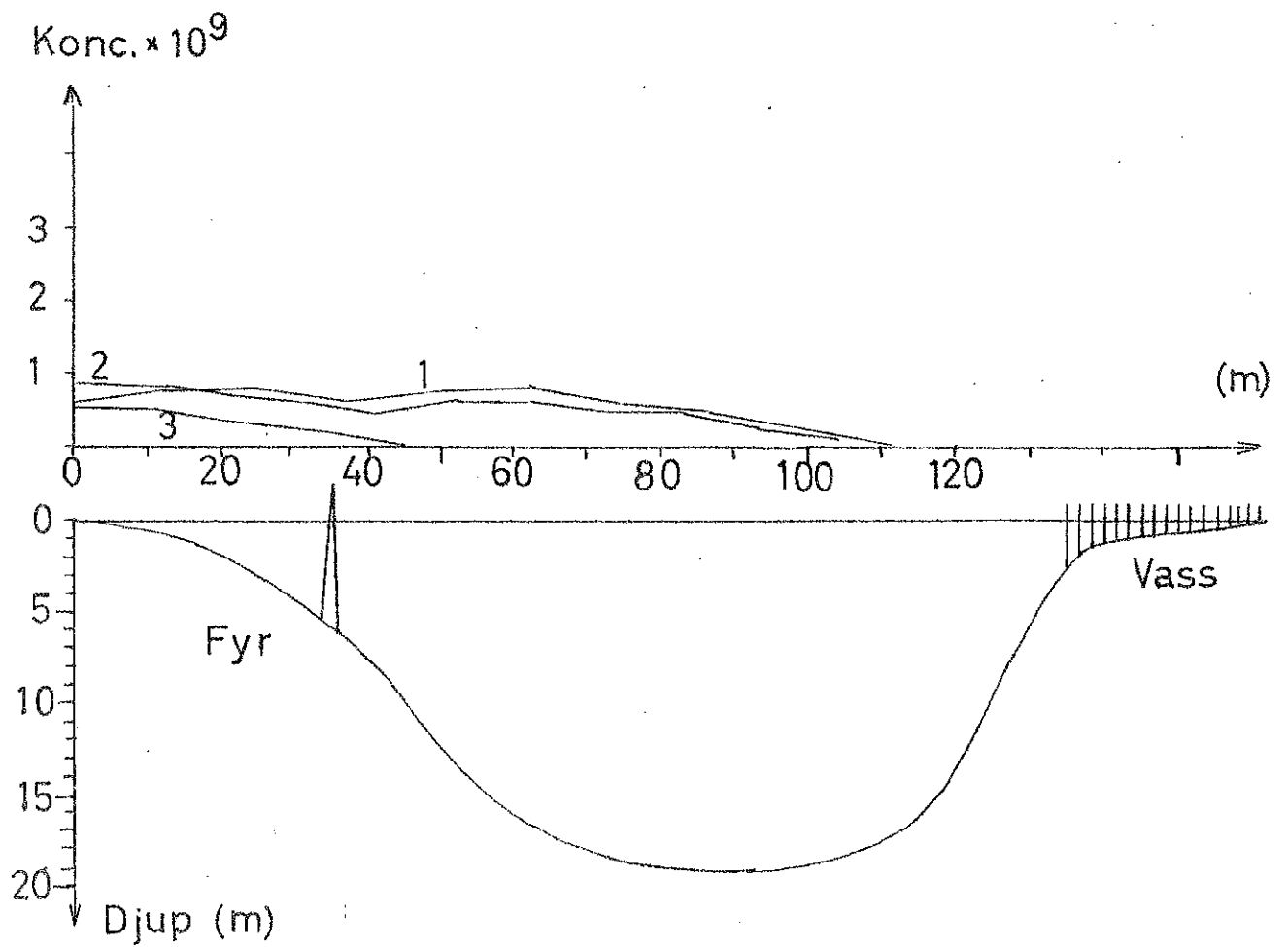
M8 13.23

M9 14.17

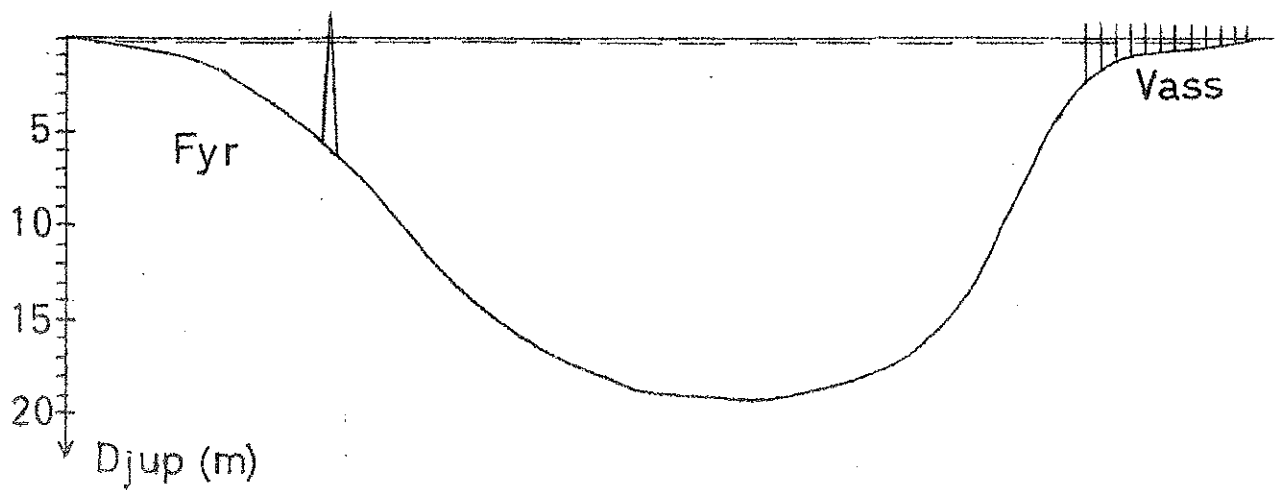
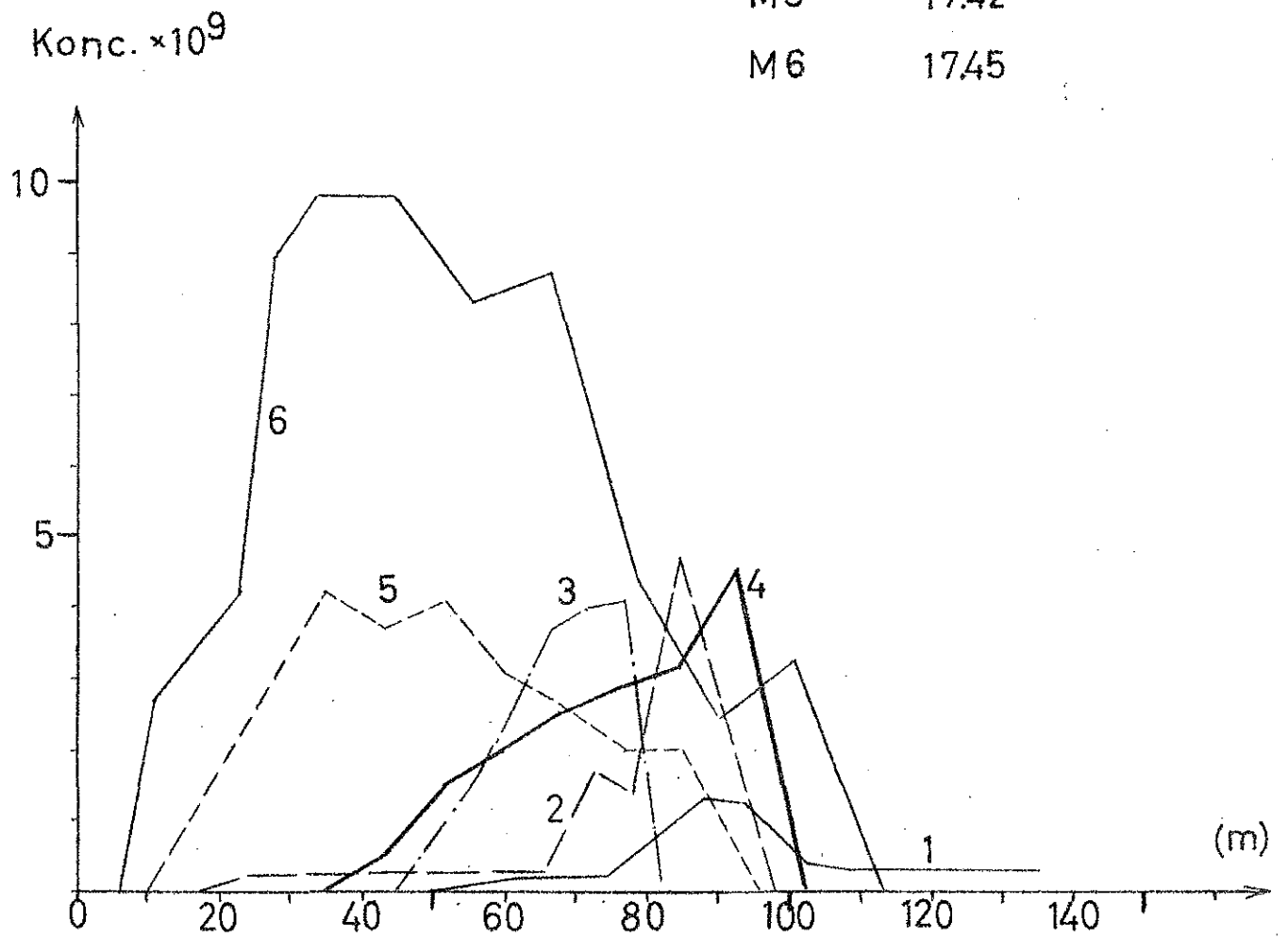
M10 15.44



| | |
|----|----------|
| U | kl.10.40 |
| M1 | 12.36 |
| M2 | 12.58 |
| M3 | 13.40 |

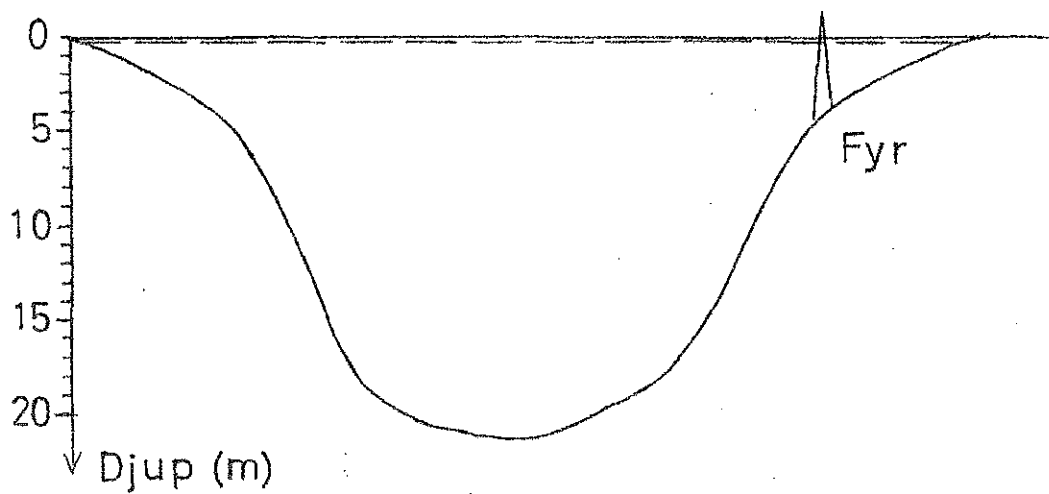
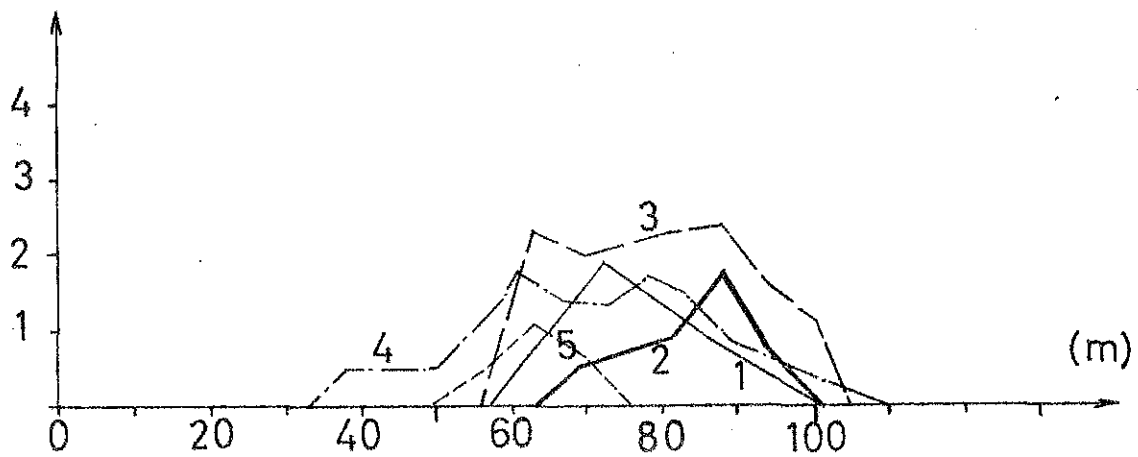


| | |
|----|-----------|
| U | kl. 16.40 |
| M1 | 17.27 |
| M2 | 17.30 |
| M3 | 17.33 |
| M4 | 17.36 |
| M5 | 17.42 |
| M6 | 17.45 |

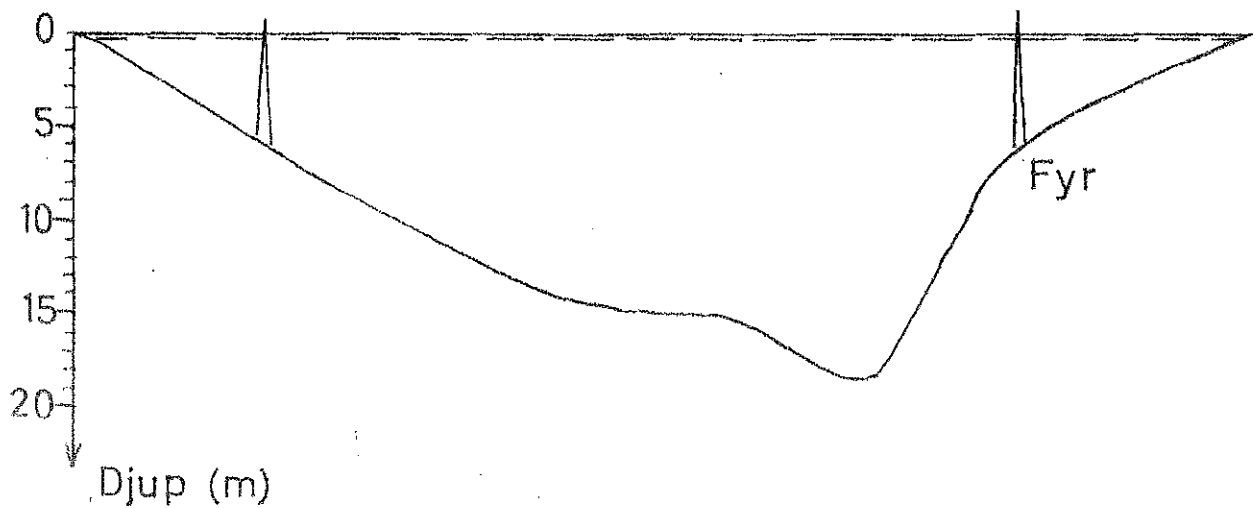
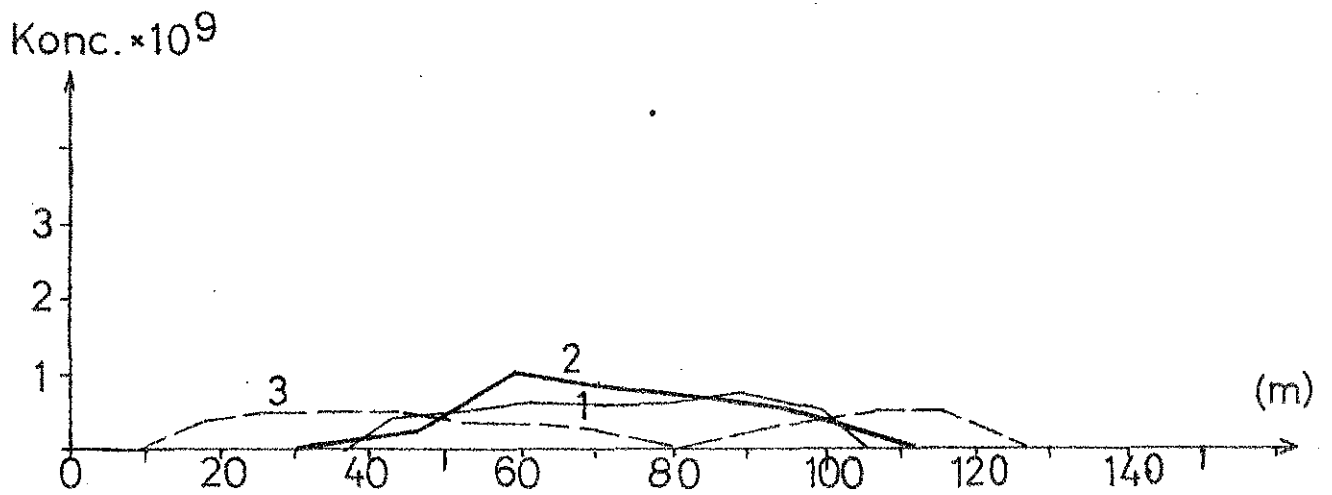


| | |
|----|-----------|
| U | kl. 16.40 |
| M1 | 18.11 |
| M2 | 18.14 |
| M3 | 18.17 |
| M4 | 18.25 |
| M5 | 18.30 |

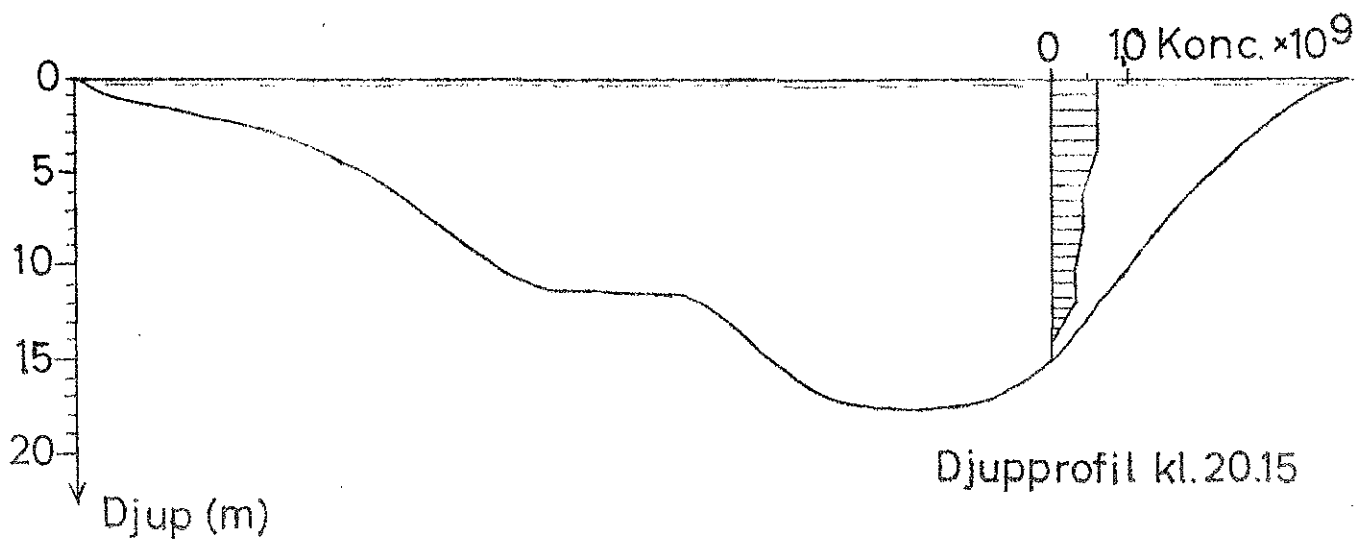
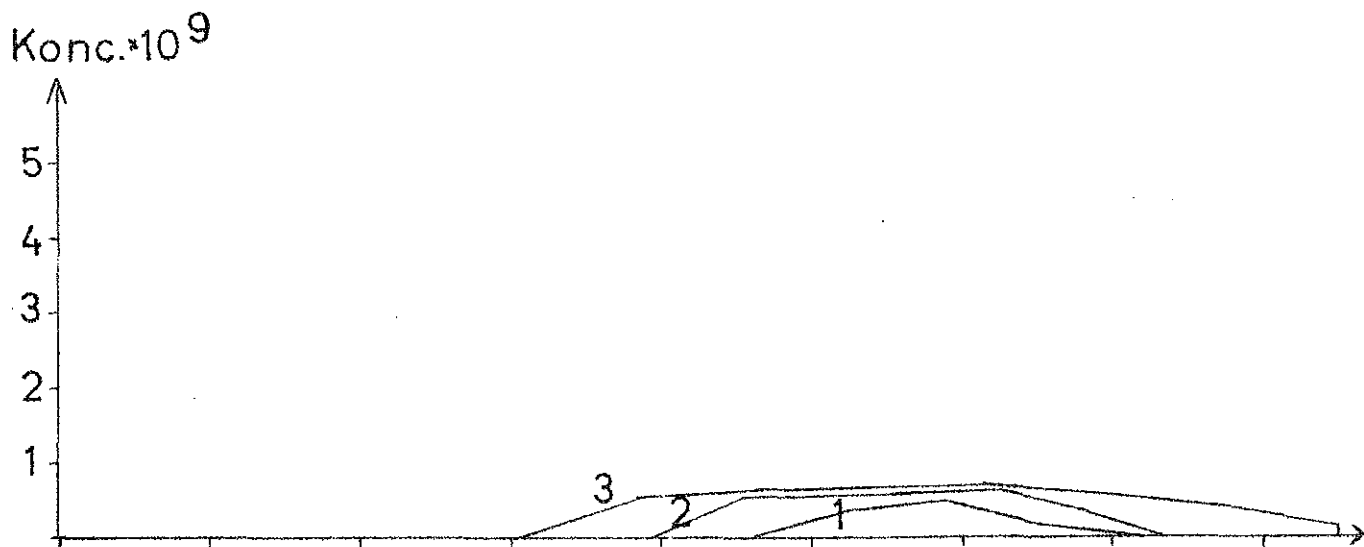
Konc. $\times 10^9$



| | |
|----|-----------|
| U | kl. 16.40 |
| M1 | 19.08 |
| M2 | 19.18 |
| M3 | 19.30 |

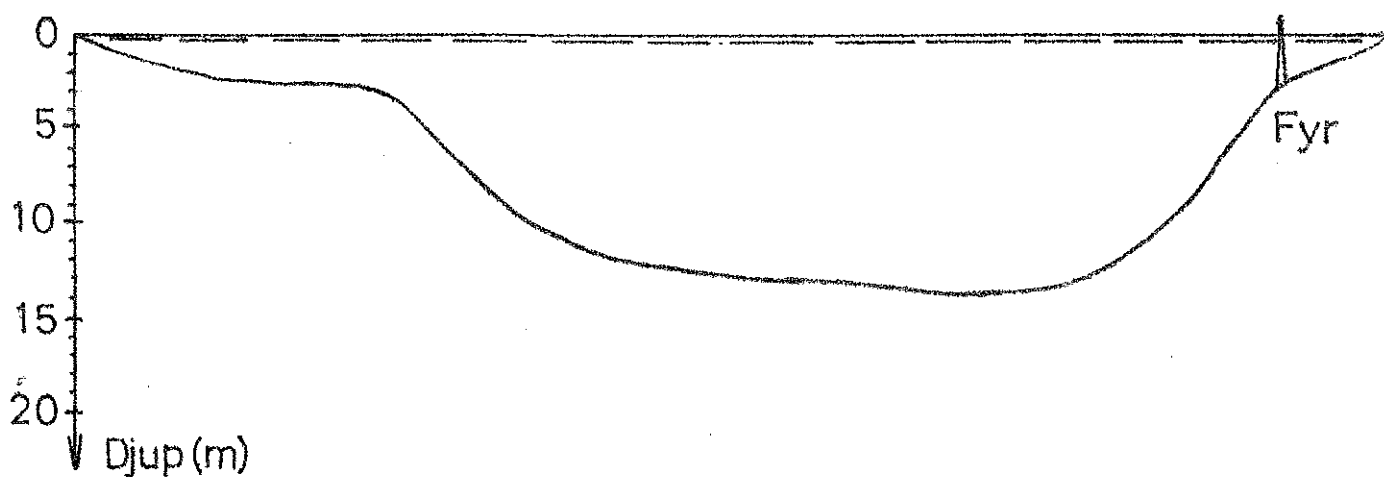
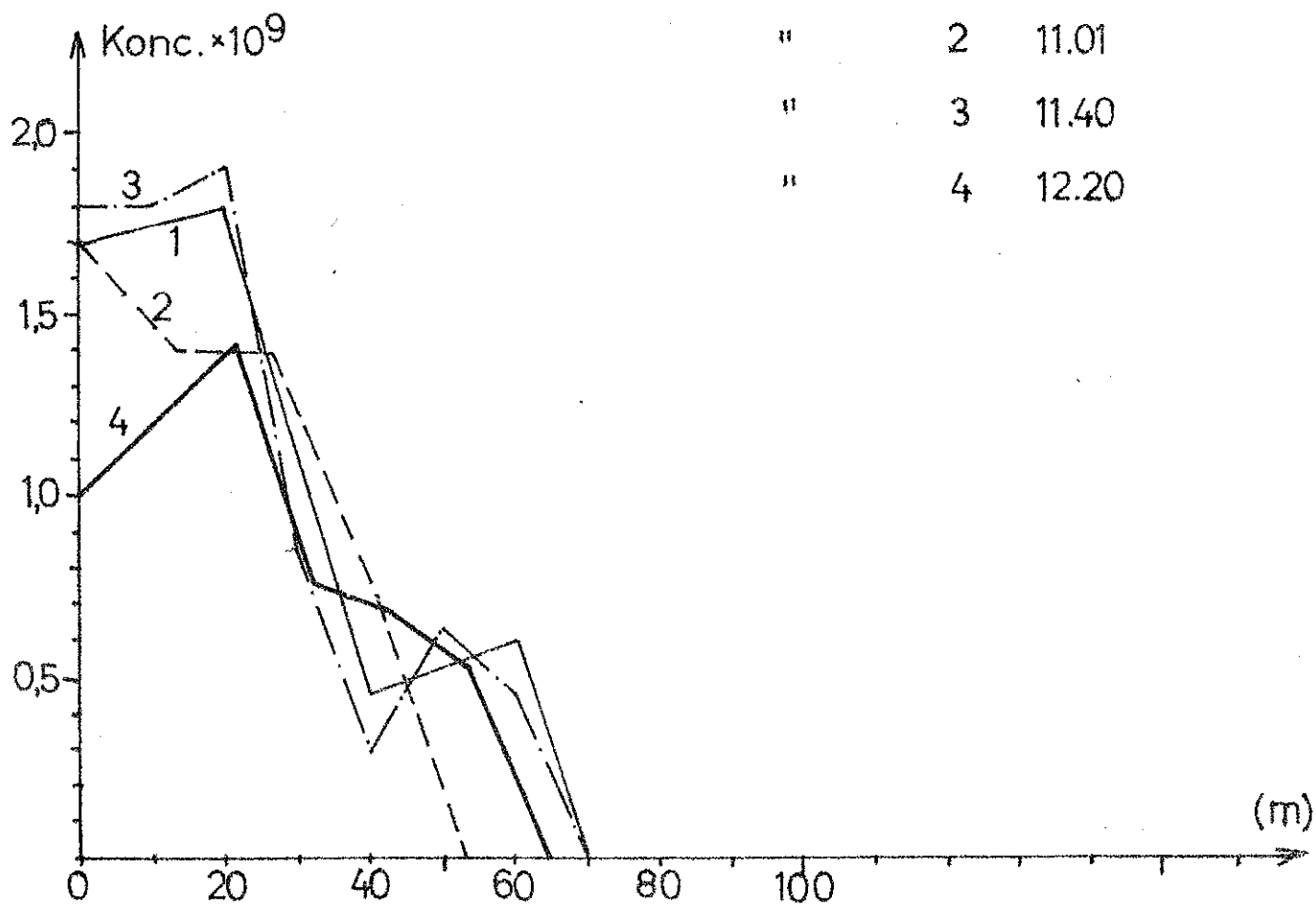


| | |
|----|-----------|
| U | kl. 16.40 |
| M1 | 19.59 |
| M2 | 20.05 |
| M3 | 20.24 |



Sektion 1 , 240m . Kontinuerlig dosering , 29.6 -72 . Bilaga 6.12

Mätobservation 1 kl. 10.45



24

12

24

12

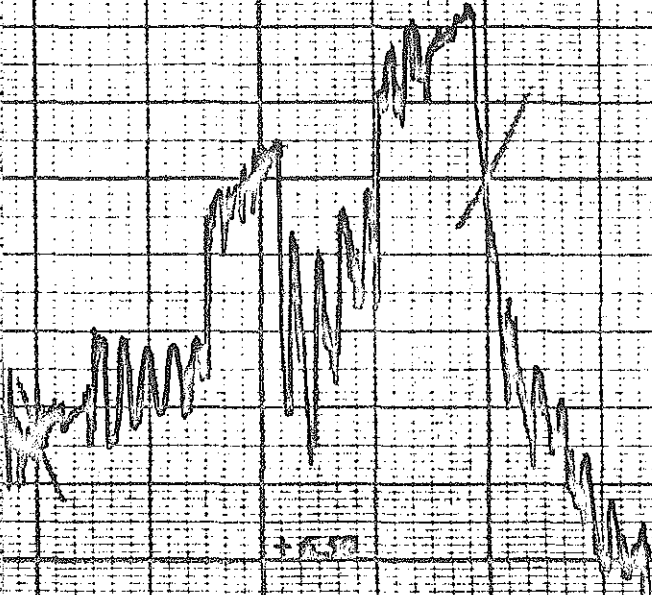
24

+ 8.00

~~WALK DOWN STATION~~

~~TO 1073 12.02.1964 - 646~~

+ 7.50



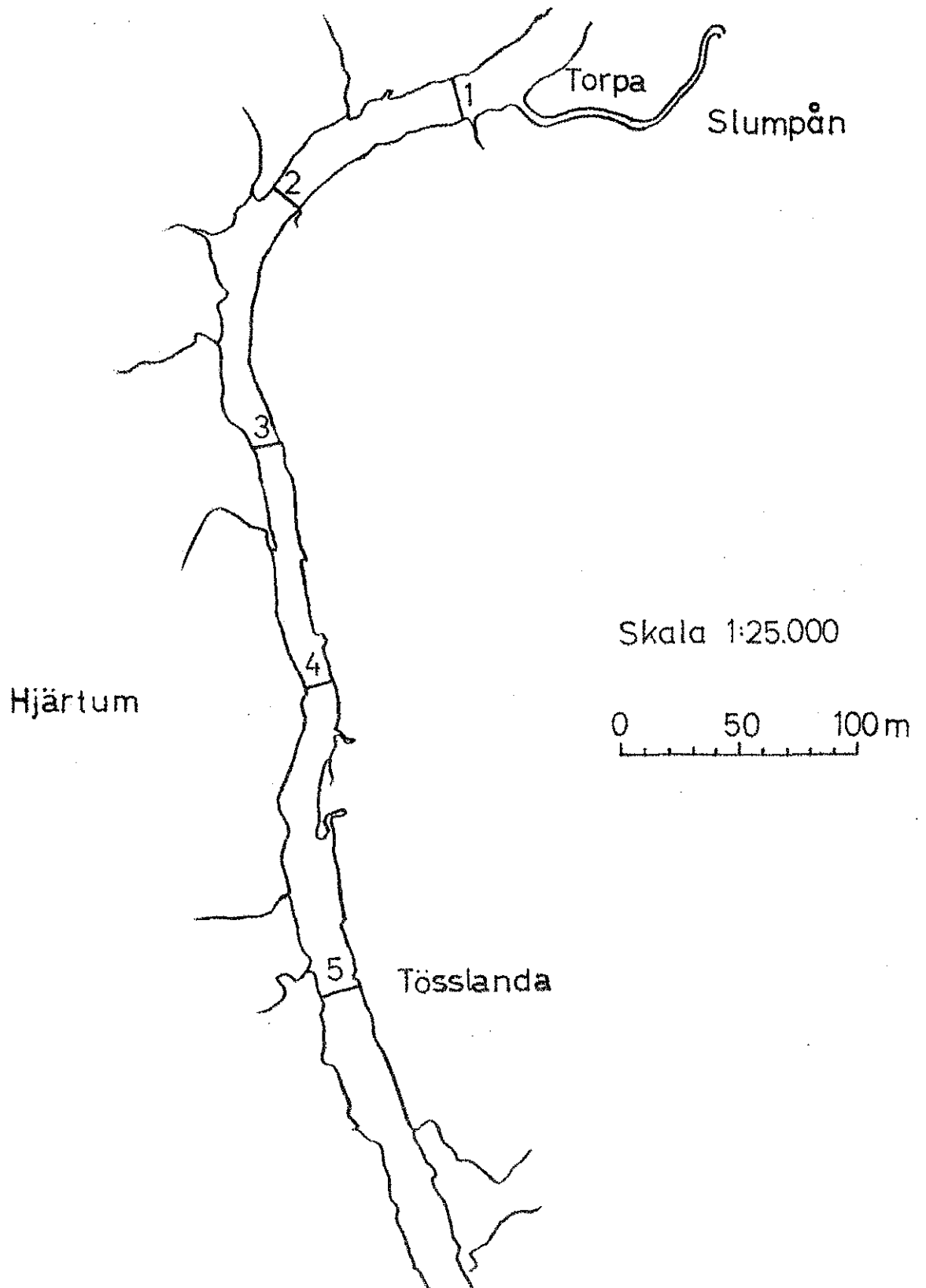
+ 7.00

+ 6.50

+ 6.00

2 / 7.50

3 / 7



41. Rahm, L.: Hydrauliska recipientfrågor inom vattenvården. 1967.
42. Cederwall, K.: Hydraulics of marine waste water disposal, 1968. (Doktorsavhandling).
43. Orienteringskurs i naturmiljövård. 1969.
44. Cederwall, K. och Hansen, J.: Tracer Studies on Dilution and Residence Time Distribution in Receiving Waters. 1968.
45. Cederwall, K. och Sjöberg, A.: Kylvattenutsläpp från värmekraftverk. 1969.
46. Miljökunskap. V. T. 1970.
47. K. Cederwall: Instability of Surface Water Waves. 1970.
48. Cederwall, K.: The Oslo Fjord. A model for circulation and diffusion of discharged sewage. 1970.
49. Sjöberg, A.: Djuputsläpp bättre i fjordar? 1970.
50. Sjöberg, A. och Carstens, T: Trapping of outfall constituents behind sills. 1970.
51. Rodesjö, B., Rohdin, L. och Ringqvist, S-E.: Strömkorsmätningar i Byfjorden. Ex. arb. 1970:2.
52. Gilljam, C. och Österlind, B.: Strömkors. Ex. arb. 1970:5.
53. Lindestam, B. och Ljunggren, O.: Hydrologisk undersökning av ett mindre nederbördsområde med speciell inriktning på enhetshydrografens tillämpning. Ex. arb. 1970:10.
54. K. Cederwall och John D. Ditmars: "Analysis of Air-bubble Plumes". 1970. Utgiven vid Cal. Tech. USA
55. K. Cederwall: "Dispersion Phenomena in Coastal Environments." 1970. Utgiven vid Cal. Tech. USA.
56. K. Cederwall: "A research appointment at the California Institute of Technology. 1971.
57. K. Cederwall: "Horizontal Surface Discharge of Warm Water Jets". PO 1, Proc. of the A. S. C. E., Jan. 1971.
58. K. Cederwall: "Mål och medel i miljövård". Väg- och vattenbyggaren nr. 3, 1971.
59. Lars Bergdahl: Ice Pressure against Light Houses. Juni 1971.
60. K. Cederwall: Buoyant Slot Jets Into Stagnant or Flowing Environments. Utgiven vid Cal. Tech. USA. April, 1971.

Meddelanden från institutionen för vattenbyggnad

Chalmers tekniska högskola

61. K. Cederwall: "Utloppsledningar". 1971.
62. K. Cederwall: "A Float Diffusion Study". Särtryck från Water Research. 1971.
63. GÖTA ÄLV. Interimsrapport 1971. Av K. Cederwall.
64. K. Cederwall: Modeling Water Movements and Diffusion in Lakes. 1972.
65. S. Häggström: Ingenjörstekniska aspekter på värmeutsläpp från värmekraftverk. Rapport från en kurs vid M. I. T. sommaren 1971. 1972.
66. K. Cederwall: "Dimensional considerations applied to some diffusion problems", Maj 1972.
67. K. Cederwall: Flödesmodeller för icke-stationär transitering av vatten. 1972
68. GÖTA ÄLV. Fältmätningar. Examensarbete 1972 : 2
av Olle Claesson och Leif-Göran Larsson.