



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Institutionen för vattenbyggnad

Meddelande nr 73

Examensarbete 1972:3

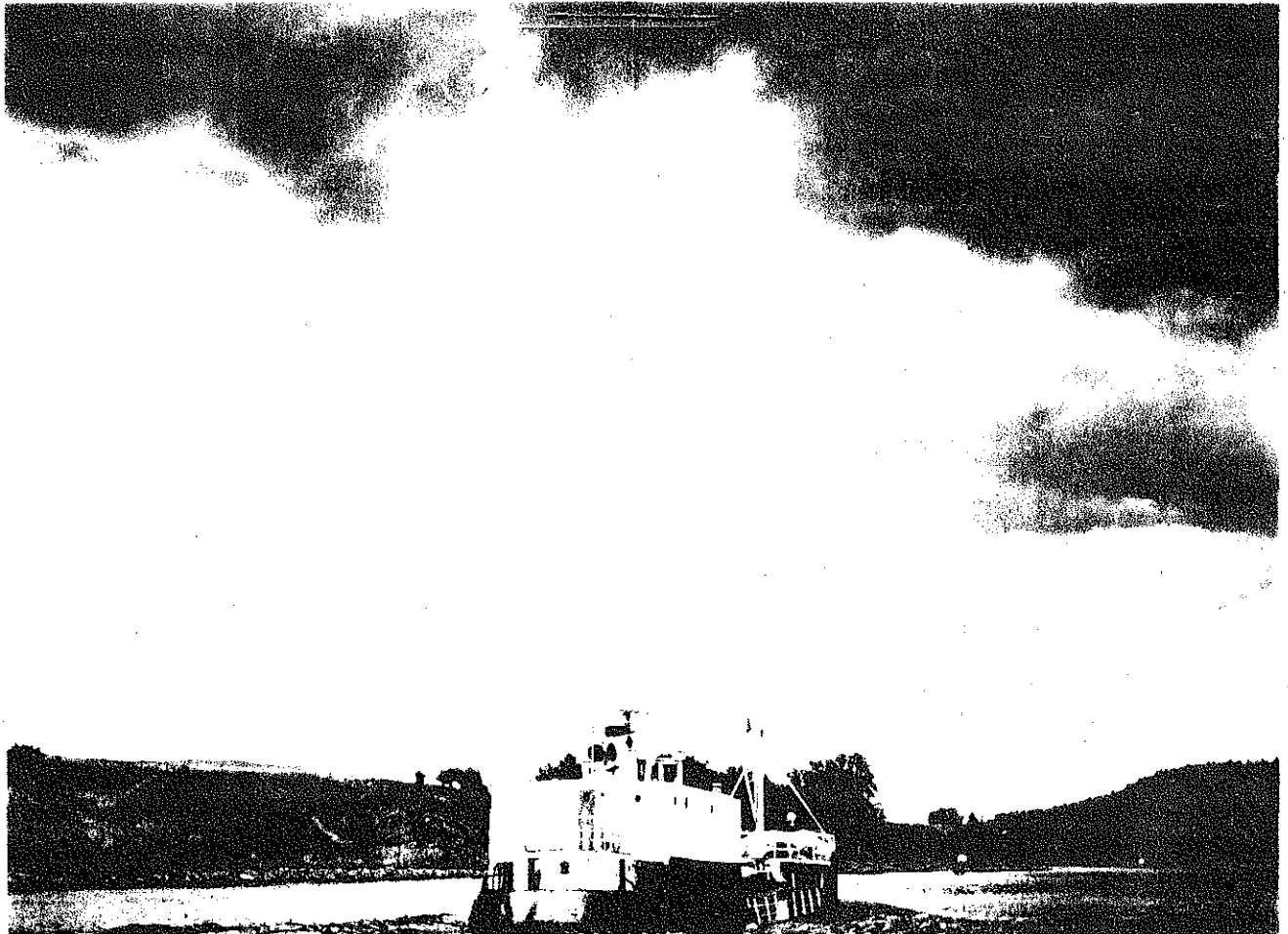
GÖTA ÄLV

Undersökning av longitudinell dispersion

utförd av

Göran Bergman

Bengt Vernmark



PROGRAM

Examensarbete 1972:3 i vattenbyggnad vid Chalmers Tekniska Högskola

GÖTA ÄLV, undersökning av longitudinell dispersion
Teknologerna Göran Bergman och Bengt Vernmark

Allmänt

Göta Älv, som rinner mellan Vänersborg och Göteborg, är Sveriges största vattendrag (vår enda flod med vedertagen måttstock). Den 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 / 1 / vilken naturligt kompletteras av spårämnesförsök i fält, vilka utföres som examensarbeten.

1. Inblandning av biflöde i älven (examensarbete 1972:2)

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 täthetsskill-

nader mellan älven och biflödet.

2. Undersökning av longitudinell dispersion

Försöket avser att studera longitudinell dispersion i älven och därvid ge upplysningar om verkliga flyttider längs hela älvloppet, avsnörning och fördröjning i vikar och andra sammanhängande problem som berör vattenmassornas rörelser.

Försöket utföres lämpligen så att en "vattenpropp" av några hundra meters längdmärks med Rhodamin genom dosering tvärs älven vid Vänersborg. Rhodaminmolnets läge och utbredning inmätes med jämna mellanrum under hela dess färd längs älven (ca 2 dygn). Två-tre försök utföres, ommöjligt vid olika vattenföring, och mätdata jämföres med dispersions-teorier.

Det aktuella examensarbetet kommer vid något tillfälle att samordnas med en Göta Älvundersökning som Statens Naturvårdsverk, Undersökningslaboratoriet planerar att utföra tillsammans med berörda länsstyrelser naturvårdssektioner samt Göta Älvs vattenvårdsförbund.

Handledare: Doc. Klas Cederwall och civ. ing. Torbjörn Svensson

Litteratur

- 1 Cederwall, K.: "Göta Älv en hydrologisk analys av transport och blandningsprocesser". CTH, vattenbyggnad, medd. nr. 63, 1971.
- 2 Feuerstein et al.: "Flourescent tracers for dispersion measurements". Trans. ASCE, vol. 89 No. SA 4, 1963.
- 3 SMHI: "PM angående Turners fluorometer".
- 4 Turners fluorometermaunal.

5

Fischer: "Longitudinal Dispersion in Laboratory and
Natural Streams". Keck Lab. CALTECH,
Report No R-12, 1966.

Göteborg i februari 1972

A handwritten signature in cursive script, appearing to read 'Klas Cederwall', written in dark ink.

Klas Cederwall

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING
 - 1.1 Göta Älv allmänt
 - 1.2 Målsättning
 - 1.3 Övriga undersökningar
 - 1.3.1 Statens Naturvårdsverk
 - 1.3.2 VA-verkets kontrollstationer
 - 1.3.3 Tidigare undersökningar

2. TEORI, LONGITUDINELL DISPERSION I EN ÄLV
 - 2.1 Allmänt
 - 2.2 Dispersionsteori

3. ALLMÄNT OM SPÄRÄMNEN

4. RHODAMIN B200
 - 4.1 Allmänt
 - 4.2 Temperaturkänslighet
 - 4.3 Bakgrundsnivå
 - 4.4 Adsorption vid förekomst av suspenderat material
 - 4.5 Fotokemisk avklingning

5. MÄTMETODIK OCH MÄTUTRUSTNING
 - 5.1 Dosering
 - 5.2 Mätutrustning
 - 5.3 Fluorometern
 - 5.3.1 Fluorescens
 - 5.3.2 Funktion
 - 5.3.3 Uppvärmning
 - 5.3.4 Kalibrering
 - 5.3.5 Stabilitet och känslighet

6. MÄTNINGAR OCH KOMMENTARER
 - 6.1 Provdosering
 - 6.2 Försök I

11. SAMMANFATTNING
12. LITTERATURFÖRTECKNING
13. KONTAKTER

BILAGEFÖRTECKNING

- 1:1 Skrivarremsa från registrering av puls vid två av VA-verkets mätstationer
- 5:1 -5:2 Kalibreringsdiagram
- 7:1-7:3 Djupprofiler
- 7:4 Tvärsnittsareans variation längs älven.
- 7:5-7:6 Kontroll av rhodaminmängd
- 8:1 Flyttider
- 8:2 -8:5 Vattentappning i Trollhättan resp Lilla Edet
- 8:6 Medelhastigheter
- 8:7 Vattenstånd i havet
- 8:8 Medelhastigheter jämförda med en tidigare undersökning.
- 10:1-10:4 Utvärdering av dispersionskoefficient
- 10:5 - 10:8 Max, koncentrationens förändring med tiden.
- 10:9-10:16 Utvärdering av dispersionskoefficient
- 10:17-10:33 Spårämnesfördelning längs älven, alla fullständiga inmätningar.

P R A V S /

Givni efter Kongl: May:tt nådigst wil / at Cronans Rattmhee:
 och Skipspenningar / wld lilla Edhet / ifrån den Daghen samma Slusa / wthi detta innewarande Åhr / försärdiga:
 häras och beräknas stole / aff hwar Godz / så ock Fageloster / som der up- och nedersöre gängne äre / och
 efter passerandes warda. Gifwen Stockholm den 28. Septembris 1642.

Nämlich wthi hwitt Mynt /

Sinder	Tolf öre	En stor Vädt medh Brännwedh	Fyrahv fyra öre
Ulah	Tolf öre	En mindre Vädt medh Brännwedh	Fy öre
Spanmähl	Half öre	En toom Vädt	Fyra öre
Ära Järn	Half öre	En Mast ifrån tughu sex och til tughu Palmer	Fio öre
Ära Nötter	Ett fierdedels öre	Dito ifrån tughu och til sexten Palmer	Sex öre
Ärund Draggh-Järn	Half öre	Dito ifrån sexten och til tolf Palmer	Fyra öre
Ärund Stång-Järn	Half öre	En Tolfst Spyrer	Fyra öre
Ärund Ledh	Half öre	Ett Tusend Boomsparrar	Twå öre
Ärund Järn	Tolf öre	En Tolfst Cleplanter	Fyra öre
Ärund	Ett öre	En Tolfst Kuruplanter	Twå öre
Ärund Drechubar	Twå öre	En Tolfst Vällar	Twå öre
Ärund Beckstin	Ett öre	En Tolfst Sägghelod	Tre öre
Ärund Kockubar	Ett öre	Femtyo Tolfst Bräder	Tughu öre
Ärund Beerstin	Half öre	Ett Tusend Lächte	Twå öre
Ärund Kallstin	Ett fierdedels öre	Ett Tusend Tunneskastwer	Twå öre
Ärund Kammfista eller Jaat	Sex öre	Ett Hundrade Wandstalar	Ett öre
Ärund Spada	Sex öre	Dubbelt Sägghelod eller Bealmas	
Ärund Wgn	Fyra öre	Palmas / och efter Proportionett i ti längd och	
Ärund Mjöl	Twå öre	stuchheet betalas efter Palm-valet / lqfa som	
Ärund Öl	Tolf öre	före skrifwit står om Mast	
Ärund Salt	Tolf öre	Aff annat Frädwärte / som Skaps och Huiswår-	
Ärund Sill	Tolf öre	le / så ock lång Bränd Wedh / gifwes för	
Ärund Rista Glas	Twå öre	hwarje Ferm / eller så mycket på en gång kan	
Ärund Sleppund Hampa	Fyra öre	komma igenom Slusan	Fyra öre

Högstbemt: S: Kongl: May:tt så ock Sweriges Riktes respectivè, Förmyndare och Regering.

Brähe
 i A. Marskens ställe.

Gustaff Horn
 i A. Marskens ställe.

Clas Flemming
 i A. Marskens ställe.

Åxel Örenstierna
 S. R. Cansler.

Gabriel Örenstier
 S. R. Cansler.

Lilla Edets slusstaxa af den 28 september 1642



Övre slussen i Trollhättan sett ifrån norr.

1. INLEDNING

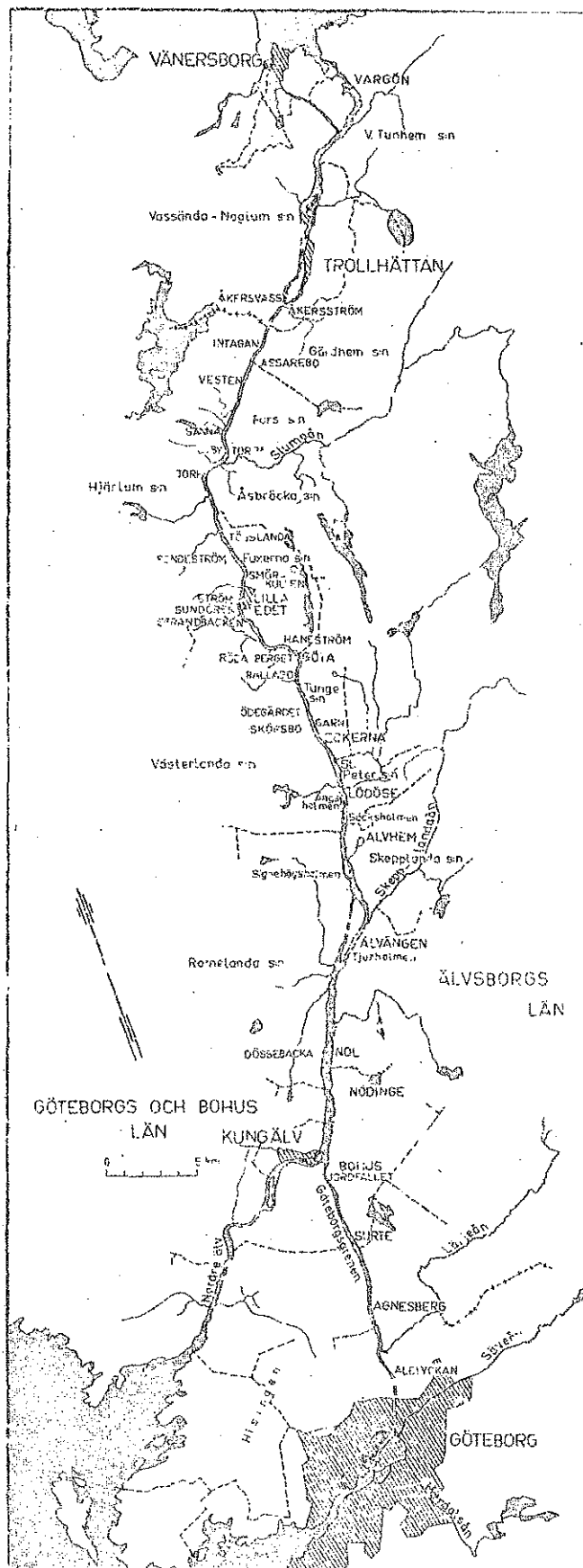
1.1 Göta Älv allmänt

"Som en mäktig pulsåder rinner Göta älf i sin dalgång, förbindande Sveriges och en av Europas största insjöar med hafvet, märklig såväl genom sin bredd och sin vattenmassa som ock genom dalgångens rätlinjiga förlopp och i någon mån genom den gaffelgrening som omsluter ön Hisingen". /13/.

Göta Älv är Sveriges enda flod i vedertagen bemärkelse.

Älven har sitt lopp huvudsakligen i nordlig riktning. Mellan Göteborg och Bohus rinner den i en låg lerslätt. Ovanför Bohus omges älven av lerterasser av växlande höjd för att vid Hjærtum-Torpa övergå i en markerad dalgång med mer slutna och högre bergväggar. Här böjer också älven av och sträcker sig i fortsättningen i ONO-riktning.

Vid Trollhättan når den Västgötsläätten och höjer sig ca 30 meter. Uppströms Trollhättan har älven karaktären av en slingrande och nästan sjölik flod. Strax nedströms Vargön delar den sig i två grenar och når slutligen Väneren.



För att vara en av Sveriges största råvattentäkt förundras man över den mängd industrier som släpper ut sitt avloppsvatten mer eller mindre orenat i älven. Dessutom är ju älven en betydande transportled, vilket medför bl a risk för oljespill.

Ovanför Trollhättan ligger ferrolegeringsverk, bilindustrier och pappersbruk. Mellan Trollhättan och Lilla Edet finns inga större industriutsläpp. Nedanför Lilla Edet ligger pappersbruk, varv, kemisk industri etc.

Vid Alelyckan ovanför Göteborg har så Göteborgs stad sitt vattenintag och stora risker för störningar finns alltså.

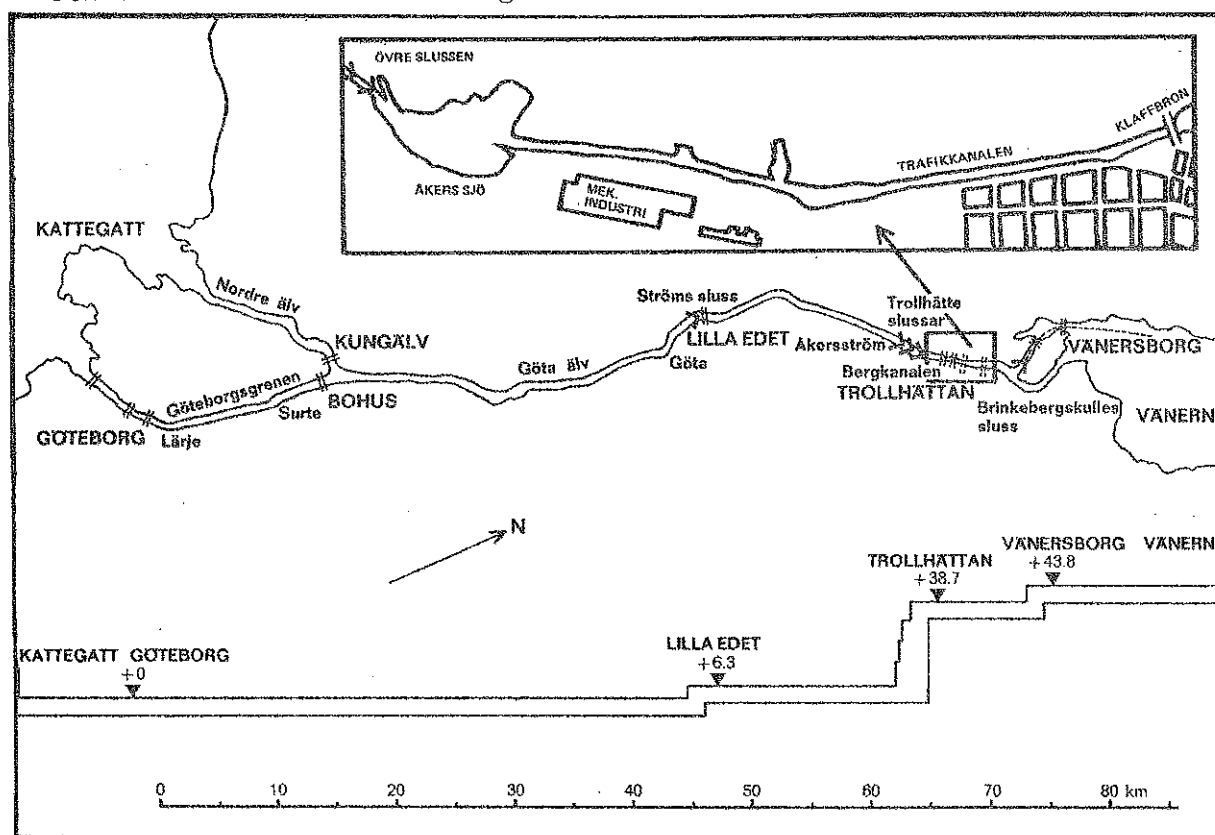


Fig. 1.1 Göta Älv i plan och profil

Göta Älv, huvudkaraktistika.

Avrinningsområde och sjöprocent

vid Vanern	46 830 km ²	o. 18,6 %
vid havet	50 180 km ²	o. 17,8 %

Högsta högvattenföring

840 m³/s

Medelvattenföring	550 m ³ /s
Lägsta lågvattenföring	286 "
Förhållande normal hög- vattenföring och normal lågvattenföring	1,4
Längd	92,6 km
Fallhöjd	44 m
Vargön	5 m
Trollhättan	32 m
Lilla Edet	7 m

1.2 Målsättning

Att studera hur en med spårämne märkt vattenmassa transporteras och förändras utmed älven från Vänersborg till Göteborg.

Märkningen sker med spårämnet Rhodamin B200, ett fluorescerande färgämne, som sedan detekteras med hjälp av en fluorometer.

Bakgrunden till denna undersökning är bl a de problem som kan uppstå för olika intressenter utmed älven vid en eventuell "miljö-olycka". Så-
dant okontrollerat spill kan ske i form av momentant eller kontinuerligt utsläpp. Ett momentant utsläpp motsvaras t ex av en tankbilsolycka, som kan ge omfattande förorening i älven under en kortare tid. Ett annat exempel på momentant utsläpp är en under viss tid ackumulerad förorening som plötsligt avstöttes från t ex en barkedabildning i älven. Exempel på kontinuerliga utsläpp kan vara föroreningsutsläpp från någon industri eller läckage från oljecisterner.

Resultatet frändessa Rhodaminmätningar skall kunna användas för att beräkna flyttider och utspädning av utsläppen, så att lämpliga åtgärder kan vidtagas, t ex vad gäller utformning av kontrollprogram för vattenkvalitetövervakning i älven.

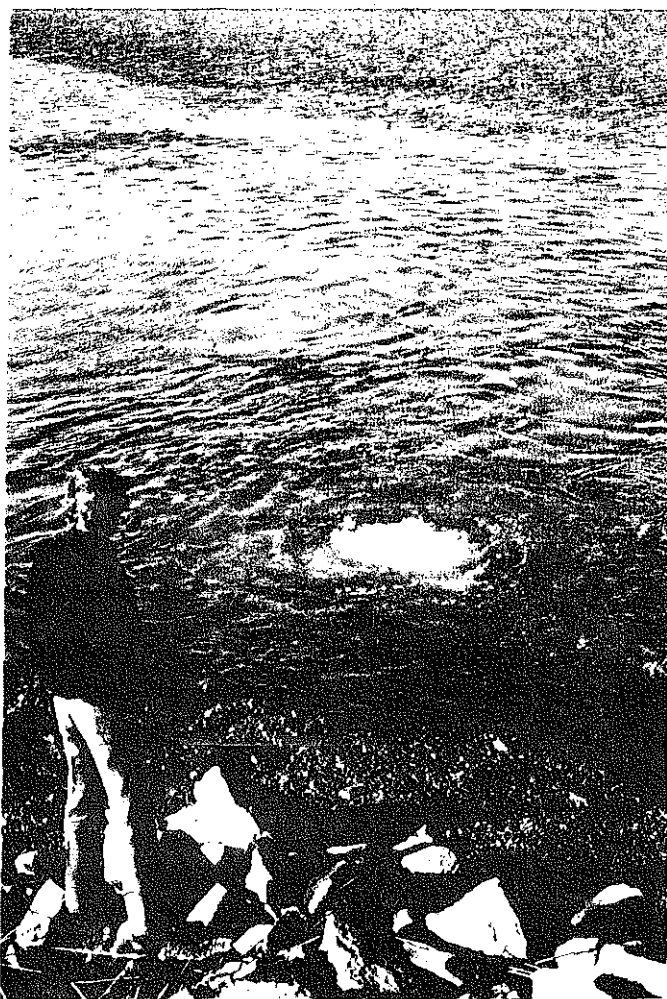


Fig 1:2 Avloppsutsläpp vid Stallbacka industriområde.

Resultatet kommer givetvis att gälla för just Göta Älv, men bör till viss del även kunna tillämpas på andra älvar av samma storleksordning.

1.3 Övriga undersökningar

1.3.1 Statens Naturvårdsverk

Parallellt med en dosering och efterföljande inmätning, kommer Naturvårdsverkets undersökningslaboratorium att följa vårt "vattenpaket", och på sträckan Trollhättan-Göteborg ta en serie vattenprover. Proverna kommer omedelbart att genomgå en kemisk-biologisk analys ombord på

undersökningslaboratoriet Ancyclus. Med hjälp av dessa analyser kan man utläsa hur vattenmassan förändras.

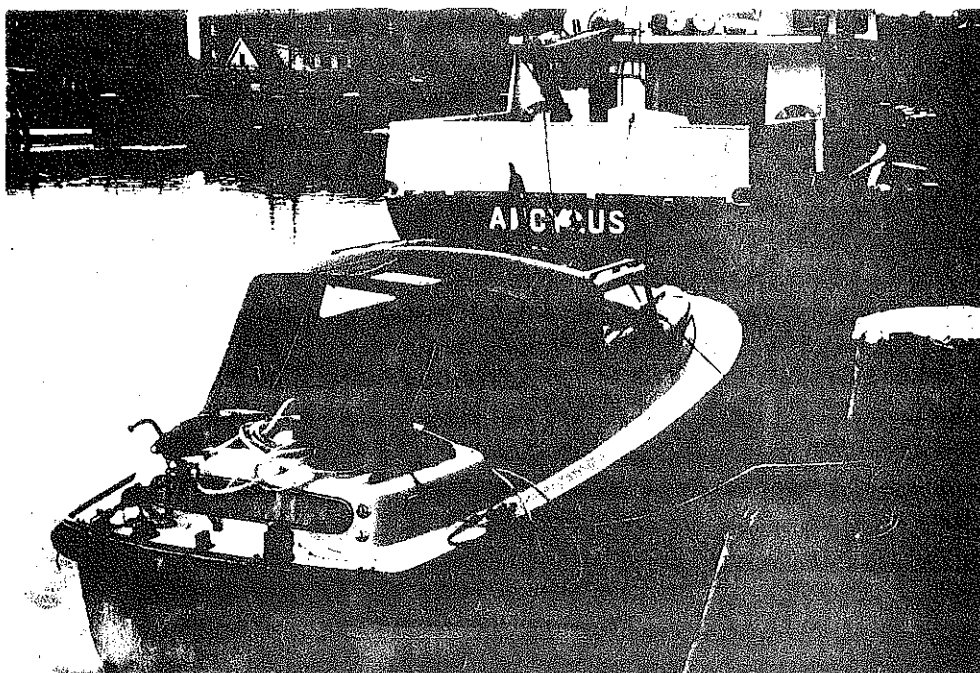


Fig 1:3 Institutionens mätbåt och Naturvårdsverkets undersökningslaboratorium Ancyclus vid kaj i väntan på att Rhodaminmolnet skall passera Lilla Edet.



Fig 1:4 Ancyclus med provtagningsjolle nedanför Kungälvs fästning.

På land kommer vid fasta provningsstationer, att upptagas prover under längre tid.

1.3.2 VA-verkets kontrollstationer

För att undersöka älvvattnets fysikaliskt-kemiska tillstånd och för att grovt kunna registrera främmande utsläpp har VA-verket 6 st fasta mätstationer. (Vänersborg, Trollhättan, Lilla Edet, Nol, Surte och Lärjeholm).

Mätstationerna, som är automatiska, kontrolleras 1 gång i måndagen då skrivarremsor bytes. De två stationerna vid Surte och Lärjeholm fungerar som direkta varningsstationer och ger jämförbara registreringar vid Alelyckan, se bilaga 1:1.

Övriga prover är 24 timmars prover, vilket betyder att ett ämne som vid provtagningspunkten i älven uppträder med kort varaktighet och hög koncentration kommer att "spädas ut" under själva provtagningen och det registrerade medelvärdet kan då ligga långt under koncentrationsmaximum i älven.

För att komplettera dessa stationer och för att kunna ta stickprover vid speciella älvsektioner t ex i anslutning till industriavlopp, har VA-verket införskaffat 3 st rörliga mätstationer. Förutom ledningsförmåga och pH-värde tas kontinuerligt prov i glasflaska samt till kolfiler. Tungmetallanalys, extraktion av det aktiva kolet och analys av de organiska komponenterna kan utföras.

I samband med en av spårämnesmätningarna kommer dessa stationer att kalibreras och kontrollköras. Stationsplaceringarna kommer då att vara de i / 1/ föreslagna.

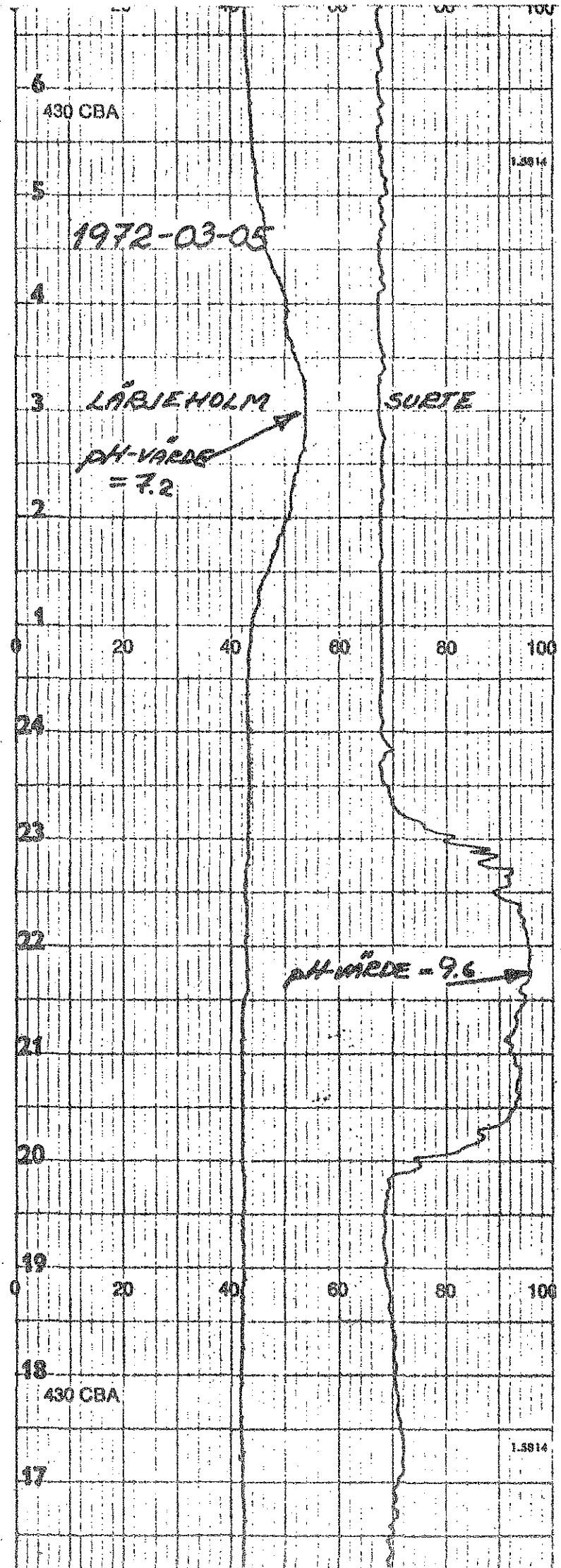
1.3.3 Tidigare undersökningar

Ett biflödes eller avloppsutsläpps laterala inblandning i ett vattendrag har undersökts och gav till resultat att inblandningen sker mycket långsamt.

I examensarbete nr 1972:2, på Institutionen för vattenbyggnad, hade man för avsikt att studera inblandningen av ett stort och ett litet biflöde i Göta Älv. Detta gjordes genom spårämnesmätningar i Slumpån resp Nolån /7/.

Vidare har gjorts en undersökning som skall redovisa spridningsbetingelserna i älven beträffande existerande avloppsutsläpp från EKA. /10/.

Skrivarremsa ifrån
registrering av puls vid
mätstationerna Surte
och Lärjeholm.



2. TEORI, LONGITUDINELL DISPERSION I EN ÄLV

2.1 Allmänt

Longitudinell dispersion definieras som den spridning i älvens längdled ett föroreningsmoln kommer att genomgå under sin transport nedför älven /1/.

Denna spridning åstadkommes av den kombinerade verkan av turbulent diffusion och differentiell advektion, dvs hastighetsskillnader i sektionens tvärsnitt. Den senare effekten är dominerande och töjer så att säga ut ett föroreningsmoln i längsled.

Föroreningar som släpps ut i strandkanten, kommer till en början att transporteras endast i en liten del av sektionens tvärsnitt. Efter hand sprids emellertid molnet över hela sektionen, samtidigt som det deformeras av hastighetsgradienter i lateral- och vertikalled. Detta inledandet skede, vars blandningsförlopp är tredimensionellt, är på grund av utsläppsförhållanden och älvsektionens utseende mycket svårt att behandla teoretiskt.

När molnet efter detta skede täcker hela sektionen, sker i huvudsak en endimensionell longitudinell blandning och töjning av molnet, så kallad dispersion.

Sir G. I. Taylor var den förste att studera dispersionsförloppet, teoretiskt såväl som experimentellt (1954). Han studerade spridning av ämnen i turbulent rörflöde, och utgick därvid från det teoretiska uttrycket för hastighetsfördelningen i ett tvärsnitt.

Teorin har sedan vidareutvecklats för kanaler och naturliga vattendrag av Elder, Fisher med flera.

2.2 Dispersionsteori

Utgångspunkten för den teoretiska behandlingen av dispersionen är den allmänna diffusionsekvationen

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial c}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial c}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial c}{\partial z}) \dots (1)$$

med K_x , K_y och K_z konstanta fås

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = K_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \dots (2)$$

där c är en lokal koncentration av "spårämnet" från källan

K_x , K_y , K_z är turbulenta diffusionskoefficienter

u , v , w är lokala hastigheter i x , y resp z -led.

Koordinatsystemet väljes så att x -riktningen sammanfaller med älvens längsriktning, y är lateral koordinat och z vertikal.

Integreras ekv (2) över ett tvärsnitt, A i yz -planet, kan den resulterande ekvationen skrivas

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + U \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} (A \cdot D \cdot \frac{\partial \bar{c}}{\partial x}) \dots (3)$$

där D är en dispersionskoefficient beroende av

bl a hastighetsfördelning och K_y , K_z

\bar{c} är medelkoncentrationen över tvärsnittet

U är motsvarande medelhastighet

A är tvärsnittsarea

x är koordinat längs älven

Om tvärsnittets form eller storlek ej varierar utmed älven, reduceras ekv (3) enl följande

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + U \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} = D \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2} \dots (4)$$

vilken för ett momentant utsläpp vid $x = 0$ och $t = 0$ har lösningen

$$\bar{c} = \frac{M}{A \sqrt{4 \cdot \pi \cdot D t}} \cdot e^{-\frac{(x-U \cdot t)^2}{4 D t}} \dots (5)$$

M är utsläppt mängd spårämne (förorening), vilken teoretiskt skall fördelas jämnt över tvärsnittet i ett oändligt tunt segment, Δx , i utsläppssektionen.

Maximalkoncentrationen i det märkta vattenpaketet kommer att sjunka under transporten nedför älven. Ur ekv (5) framgår att då $x = U \cdot t$ (molnets centrum) gäller

$$\bar{c}_{\max} = \frac{M}{A \sqrt{4\pi Dt}} \sim \frac{1}{\sqrt{t}} \quad \dots (6)$$

Som tidigare nämnts kan dispersionskoefficienten teoretiskt beräknas om hastighetsfördelningen och diffusionskoefficienterna i y- och z-riktningen är kända. För turbulent rörflöde blir resultatet

$$D_{\text{rör}} = 10,1 \cdot u_* \cdot r \quad /1/$$

där $u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$ är friktionshastigheten
r är rörets radie

För en oändligt bred kanal (endast vertikala hastighetsgradienter) fås följande

$$D_{\text{kanal}} = 5,9 \cdot u_* \cdot d \quad /1/$$

där d är djupet

I en naturlig kanal eller flod ger emellertid hastighetsgradienten i lateral-led den dominerande dispersionseffekten. Den styrande parametern bör då vara $u_* \cdot B$, där B är flodens bredd. Oftast anges dock dispersionskoefficienten som funktion av $u_* R$, där R är hydrauliska radien.

Uppmätta värden på D_{flod} varierar mellan 50 och 700 $u_* R$

För bestämning av D vid fältmätningar med märkta vattenmassor, kan ekv (7) nedan användas (härledd ur dispersionsekv)

$$D = \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} \sigma_x^2 \quad \dots (7)$$

där t är tid från dosering

σ_x^2 är variansen för koncentrationsfördelningen utmed älven.

Denna ekv förutsätter att koncentrationsfördelningen i x -led vid givna tidpunkter är känd.

Alternativt kan man använda följande ekv

$$\sigma_x^2 = U^2 \sigma_t^2 \quad \dots (8)$$

där σ_t^2 är variansen i koncentrationsfördelning med avseende på tiden i en fixpunkt.

Ur ekv (7) och (8) fås

$$D = \frac{1}{2} U^2 \frac{\sigma_2^2 - \sigma_1^2}{t_2 - t_1} \quad \dots (9)$$

där t är flyttider

σ_1^2 och σ_2^2 är registrerade varianser hos spårämnesmolnet i sektionerna 1 och 2.

Ekv (9) användes när man känner spårämneskoncentrationens tidsfördelning i två olika sektioner.

Medelkoncentrationen $\bar{c} = f(x)$ vid ett visst tillfälle är enligt ekv (5) gaussformad, medan koncentrationspulsen, då spårämnesmolnet (föroreningen) passerar en fast mätcell $\bar{c} = f(t)$, ger en sned fördelning.

Fronten på molnet kommer att inmätas vid tiden t_1 och slutet på molnet vid tiden t_2 . Då $(t_2 - t_1) > 0$ gäller att $(\sigma_2^2 - \sigma_1^2) > 0$, varav inses att koncentrationskurvan ej blir symmetrisk. Se fig 2:1 nedan

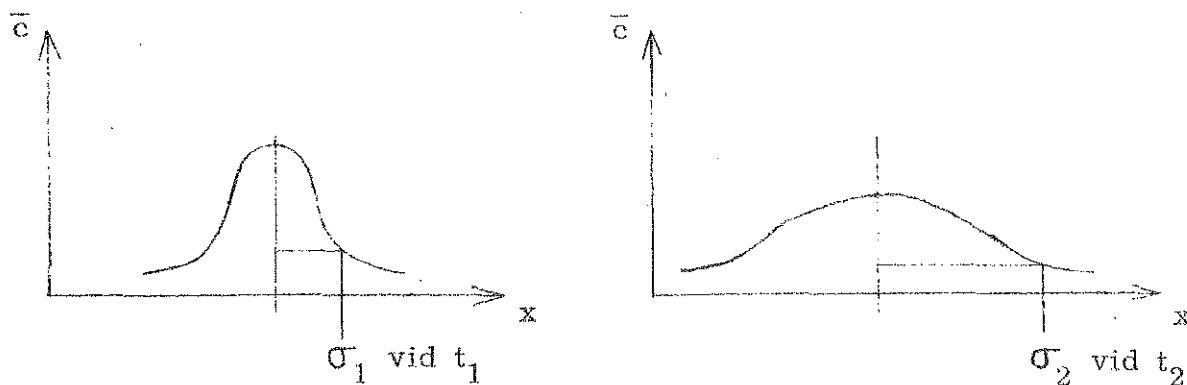


Fig 2:1 Koncentrationsfördelningskurvan vid tiden t_1 och t_2 .

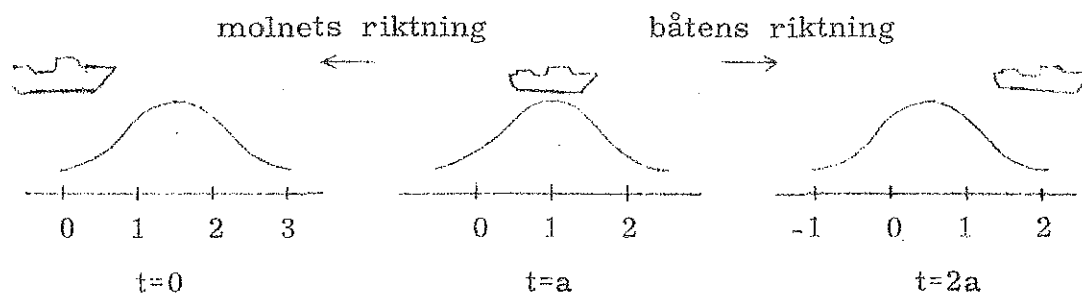
Denna snedhet kommer i verkligheten att bli större än den teoretiska.

Vissa delar av det märkta vattnet stannar kvar i vikar och oregelbundenheter och återförs senare till huvudfåran. Denna effekt som ej representeras av den matematiska modellen kallas "svanseffekt".

Vi har försökt inmäta den gaussformade koncentrationsfördelningen $\bar{c} = f(x)$. Detta har gjorts genom att passera igenom hela molnet så snabbt som möjligt och samtidigt registrera koncentrationen.

Tidsskillnaden mellan inmätning av front och svans är strax efter dosering mycket liten, men kan vid sista inmätningen vara upp mot 1,5 - 2,0 tim. Då erhålles en snedfördelning som är mindre än vid mätning med fast mätpunkt, där inmätningstiden är 4-5 gånger längre. Samtidigt som variansen förändras med tiden, förflyttar sig molnet under inmätningen. Om koncentrationskurvan registreras i förhållande till ett fast koordinatsystem, erhålles skenbart en lägre varians σ_x^2 om inmätningen sker under färd uppför älven, vilket efterföljande exempel avser att visa.

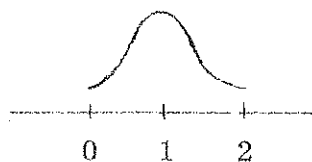
Exempel



Molnets hastighet $U=1/2a$

I exemplet är för enkelhets skull koncentrationsfördelningskurvan gaussformad.

Relativt ett fast koordinatsystem fås följande kurva



Motsatt förhållande gäller vid färd nedför älven. Vid utvärdering av mätdata måste hänsyn tas till dessa effekter.

3. Allmänt om spårämnen

Ett idealt spårämne för ytvattenundersökningar bör ha följande egenskaper

skall följa vattnets rörelser utan att adsorberas (av t ex suspenderat material)

skall vara påvisbart i mycket låga koncentrationer

får ej reagera kemiskt med vattnet eller däri lösta eller suspenderade ämnen

får ej vara hälsofarligt eller medföra skador på växt- och djurliv.

om spårämnet ej är konservativt så bör avklingningen vara relativt lagbunden.

skall kunna anskaffas utan svårighet och till rimlig kostnad

Spårämnen kan indelas i

- | | |
|---------------------------|---|
| 1. tekniska | a) organiska färgämnen
b) starka elektrolyter
c) radioaktiva isotoper
d) diverse andra spårämnen |
| 2. naturligt förekommande | a) stabila isotoper
b) radioaktiva isotoper
c) salt, lignin, syre, bakterier |

1 a. Organiska färgämnen med fluorescens är vanligast vid vattenundersökningar. Flera olika ämnen finns, varav vissa kan påverkas av detergenter.

Uranin (fluorescensen varierar kraftigt med pH men ringa med temperaturen; förstörs av starkt oxiderande ämnen och ljus samt påverkas av bakterieverksamhet. Detekteringsgräns 0.00001 ppm (10^{-11})).

Rhodamin B200 (varierar ej med pH i området 5-10. Jämfört med Uranin är det mer temperaturberoende, påverkas mindre av ljus och bakterieverksamhet. Adsorptionen kan vara betydande. Detekteringsgräns 0.00001 ppm (10^{-11}))

Sulforhodamin G Extra (fluorescensen är konstant inom ett vidsträckt pH-område. Påverkas ej av ljus och oxiderande ämnen. Detekteringsgräns 0.00004 ppm ($4 \cdot 10^{-11}$))

Pontacyl Brilliant Pink B (varierar ej med pH i området 5-10; är temperaturberoende samt påverkas ringa av ljus. Adsorptionen är ringa. Detekteringsgräns 0.0002 ppm ($2 \cdot 10^{-10}$)).

1 b. Starka elektrolyter användes företrädesvis vid grundvattenundersökningar.

1 c. Radioaktiva isotoper gamma- eller beta-emitterande. De mest känsliga mätningarna kan göras med gamma-emitterande (utstrålande) isotoper. Nackdelen är att de måste transporteras skyddat och att de har kort halveringstid. ^{51}Cr -EDTA är en gamma-emitterande isotop som använts ofta. Det mest ideala radioaktiva spårämnet i vatten är tritium, ^3H . Halveringstiden är 12 år och det adsorberas i ringa mängd. Användes speciellt vid grundvattenundersökningar. Nackdelen med tritium är att en icke önskad "kontaminering" uppstår. Detta medför alltså en störning av de naturliga tritiumnivåerna, vilket kan omöjliggöra senare mätningar.

1 d. Färgade sporer och detergent har använts för att spåra grundvattenflöden.

2 a. Stabila isotoper användes för undersökning av geografiskt ursprung på grundvatten t ex deuterium.

2 b. Radioaktiva isotoper t ex radonisotopen 222, tritium ^3H , kol ^{14}C används vid åldersbestämning , produktionsanalyser m m.

2 c. Naturligt förekommande spårämnen som ej är isotoper.

Vi behöver spårämnet för att kunna "märka" en viss vattenmassa i älven och på så sätt bestämma denna vattenmassas transport- och blandningsförlopp (utspädningar, medelhastigheter, flyttider osv.)

4. RHODAMIN B200

Eftersom användandet av radioaktiva isotoper kräver rigorösa säkerhetsbestämmelser och specialutbildad personal uteslöts denna mätmetod.

I stället valdes ett organiskt färgämne Rhodamin B200, vilket enligt Feuerstein et al /2/ är fördelaktigt jämfört med andra fluorescerande spårämnen. Ytterligare en fördel var att institutionen för vattenbyggnad CTH hade en utvecklad metod för mätning med Rhodamin.

4.1 Allmänt

Rhodamin, ett artificiellt spårämne, är ett katjonfärgämne bland phtaleinerna med formeln $C_{22}H_{31}O_3N_2Cl$.

Ämnet har följande positiva egenskaper.

har hög detektbarhet och kan spåras i koncentrationer ned till 10^{-11} .

kvantitativa mätningar kan göras i konc. $5 \cdot 10^{-10}$

är ej giftigt

påverkas ej av variationer i pH mellan 5-10.

påverkas ej av salthalter lägre än 35 ‰.

är relativt billigt

En av de största nackdelarna är att ämnet är otrevligt att handskas med. Det är mycket svårt att avlägsna från kläder och utrustning. Vidare är rhodaminets fluorescerande egenskaper temperaturberoende och ämnet har en benägenhet att adsorberas på partiklar i vattnet. Dessutom avklin- gar fluorescensen genom fotokemisk påverkan med tiden .

4.2 Temperaturkänslighet

Fluorescensen hos en rhodaminlösning ökar med sjunkande temperatur /4/ enligt följande samband.

$$F = F_0 \cdot e^{n(t-t_0)}$$

där

F = aktuell fluorescens

F_0 = motsvarande fluorescens vid viss referenstemperatur t_0 .

n = en karakteristisk konstant. För rhodamin är

$$n = -0.027 \text{ C}^{-1} \text{ enligt /2/.$$

t = provets temperatur

Ovanstående samband visas i nedanstående diagram ur vilket korrektionsfaktorn fås direkt.

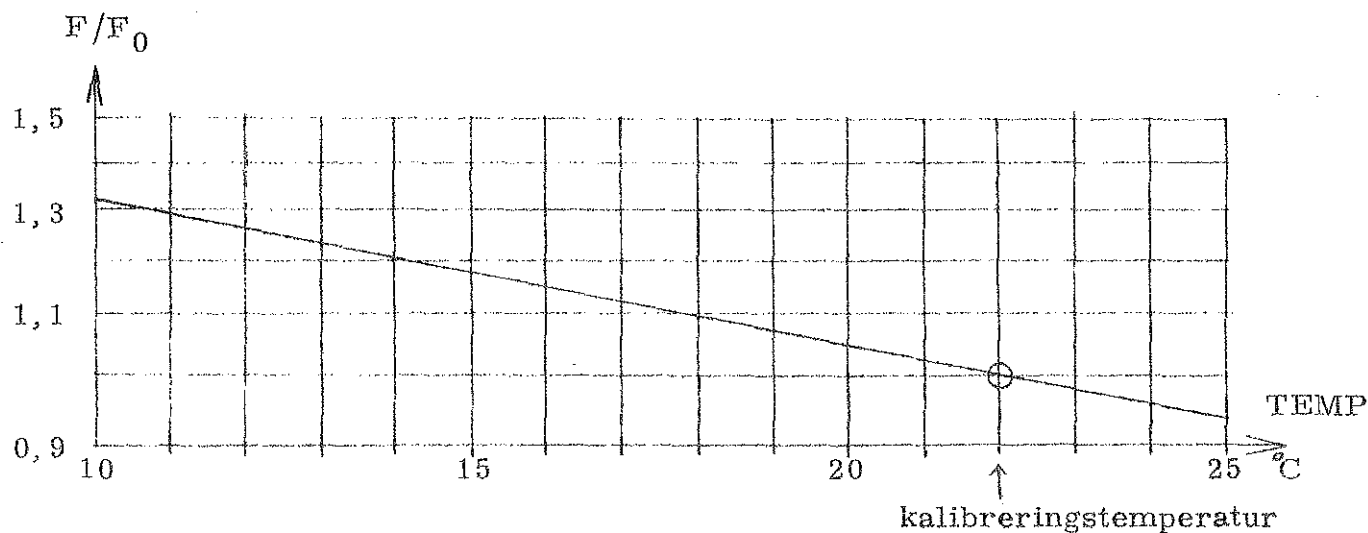


Fig 4:1 Korrektionsfaktor för fluoroscens vid olika temperatur.

Vid utvärdering av fältdata har korrektion gjorts för temperaturens inverkan.

4.3 Bakgrundsnivå

Vid mätningarna kan älvvattnet ge upphov till två slags bakgrundsnivåer:

1. Den "verkliga" bakgrunden som orsakas av naturligt förekommande eller utsläppta ämnen med fluorescerande egenskaper.
2. Den bakgrund som orsakas av interferensfenomen hos suspenderat material.

Vid mätningarna uppmättes en bakgrundsnivå på 2,0 enheter på fluorometersskalans känsligaste område, vilket överensstämde med det vattenledningsvattnet som användes vid kalibreringen. Glaset i genomströmningsskyvetten och kyvetterna för enstaka prover kan ge ett utslag på 1 1/2 enhet varför bakgrunden försummas.

4.4 Adsorption vid förekomst av suspenderat material

Adsorptionen (= den fysikaliska attraktionen av spårämnet till partiklarnas ytor) är direkt proportionell mot den yta lösningen är exponerad mot dvs ju finare material desto större adsorption.

Adsorptionen kan beskrivas med formeln

$$\frac{x}{m} = kc^{1/b}$$

x = mängden adsorberat ämne

m = mängden adsorberande material

c = spårämneskoncentrationerna vid jämvikt

k, b = konstanter för given temperatur och vattensystem.

Enligt /2/ minskar adsorptionen med ökande salthalt.

På grund av interferens ökar fluorescensen och det har visat sig /6/ att denna ökning ungefär motsvarar minskningen på grund av adsorption.

Vid utvärdering av försöksresultaten har således adsorptionens inverkan försumrats.

4.5 Fotokemisk avklingning

Genom påverkan av ljusstrålning avtar rhodaminets fluorescerande egenskaper. Detta kallas fotokemisk avklingning.

Avklingningen är starkt beroende av väderlek (soliga eller molniga dagar), turbulens i vattnet samt vattnets ljusgenomsläpplighet. I solljus och rent vatten är halveringstiden i vattenskiktet närmast ytan ca 30 timmar och ca 5 ggr längre vid mulet väder. /2/.

Omrörning eller omskakning kan ge upp till 50 % avklingning på 2 dagar /2/.

I klara ljusgenomsläppliga vatten sker avklingningen snabbare än i grumliga vatten. Utförda försök indikerar att avklingningen i Göta Älv praktiskt taget kan försummas p g a den höga grumligheten /7/.

Vidare har det visat sig att avklingningen är oberoende av koncentrationen dvs en högre koncentration ger ej en högre avklingning än en lägre koncentration /2/. Avklingningen följer ett exponentiellt förlopp

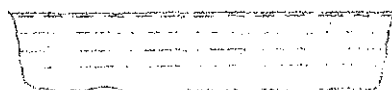
$$\frac{\partial c}{\partial t} = -kc \quad \text{dvs} \quad c = c_0 \cdot e^{-kt}$$

5. MÄTMETODIK OCH MÄTUTRUSTNING

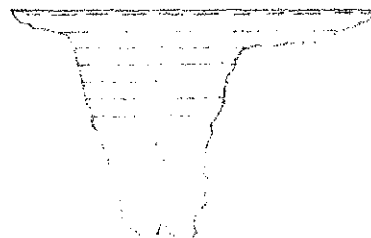
5.1 Dosering

För att kunna starta inmätningen av rhodaminmolnet krävs att spårämnet täcker hela älvsektionen. En snabb och homogen inblandning fås om spårämnet doseras kontinuerligt på olika nivåer, men i samma sektion, tvärs älven. Doseringen bör utföras på en rak älvsträcka och underlättas om sektionen är av rektangulär form, se fig. 5.1

a. lämplig



b. mindre lämplig



----- doseringsnivå

Fig 5:1 Olika sektionstyper för dosering.

Strömhastigheten bör ej vara hög, ty avståndet mellan de olika linjerna blir då stort, och tiden för homogen inblandning ökar.

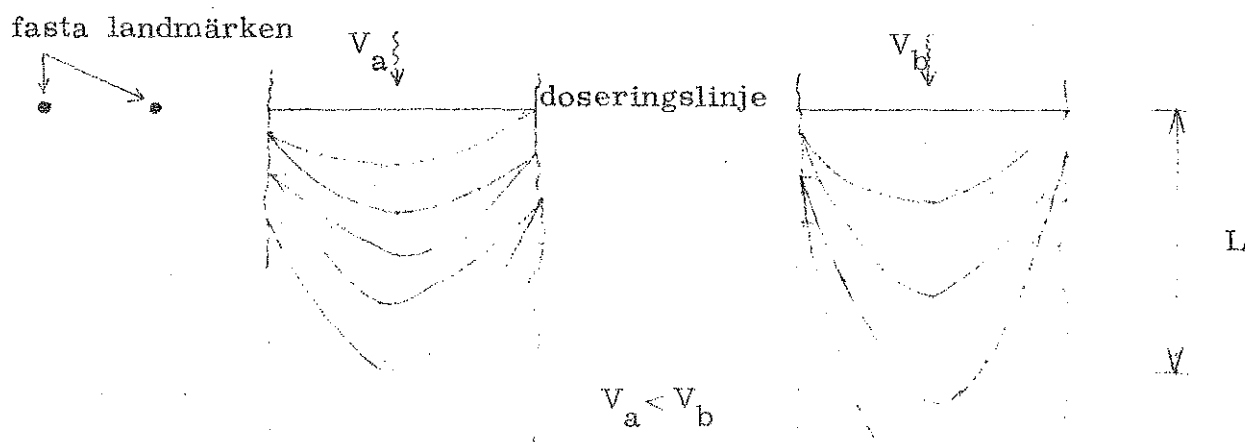


Fig 5:2 Doseringslinjernas förändring vid olika strömhastighet.

Lämplig längd L vid dosering är 400-500 m.



Fig. 5.3 Rhodaminlinje strax efter doseringen

Doseringen utfördes 3 gånger med hjälp av en plåteka med utombordsmotor och en gång med kanalverkets arbetsbåt. Vid dosering utpumpas en utspädd rhodaminlösning kontinuerligt i ränder ifrån en plåteka. Samtidigt används Albin 25:an, den båt som är avsedd att senare inmäta molnet, till att övervaka doseringen.

Orsaken till att en plåteka används istället för Albin 25:an, är rhodaminets negativa egenskaper. Det sprids snabbt och är svårt att tvätta bort. Spill av rhodamin i Albin 25:an, med dess känsliga mätapparat, kan ge missvisande utslag vid efterföljande mätningar. Ekan är dessutom smidigare att använda invid stränderna.

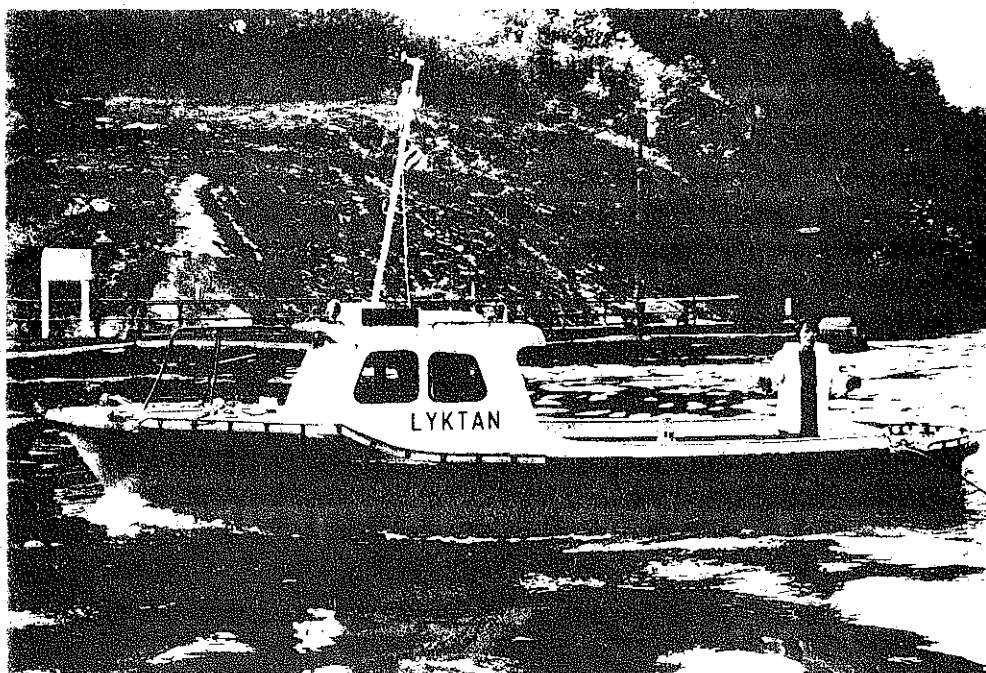


Fig. 5.4 Dosering med hjälp av Kanalverkets båt Lyktan

Doseringsutrustningens uppbyggnad framgår av fig 5.5 och består av följande delar

- 100 liters doseringskärl
- 12 volts likströmpump
- 12 volts accumulator
- 5 liters plastflaskor
- doseringsmunstycke
- paravan
- slangar

Personlig utrustning

- skyddsoverall
- gummistövlar
- gummihandskar

Doseringskärlet är så utformat, att man efter det rhodaminet hållts i, kan fylla det med hjälp av antingen hink eller pump . Pumpen är monterad i en plastbalja, se fig 5.5. Detta för att ett eventuellt läckage i pumpen, ej skall ge spill i doseringsbåten. Ett elektriskt påslag ovanpå pumpen, ger önskad pumpriktning.

Plastflaskorna användes för att önskad mängd rhodamin noggrant ska kunna uppmätas i förväg.

Doseringsmunstycket är ett 0,5-meter långt mässingsrör, perforerat för att sprida rhodaminet så snabbt som möjligt.

Paravanen är upphängd i en nylonlina försedd med öglor på olika nivåer. Detta för att snabbt kunna ändra doseringsnivå. Att ändra nivå är mycket tungt om båten är i rörelse, ty paravanen ger då stor dragkraft i linan.

5.2 Mätutrustning

Inmätningen av rhodaminkoncentrationen utföres så, att vatten från det aktuella mätdjupet kontinuerligt uppsuges igenom fluorometerens mätcell med en impellerpump. Fluorometern mäter vattnets fluorescens och utslaget registreras på en skrivare se fig 5.6 och 5.9.

Mätutrustningen är placerad ombord på en båt av typ Albin 25 med skrivaren vid förarplatsen. Föraren kan alltså hela tiden se utslaget och vet på så sätt var han befinner sig i rhodaminmolnet.

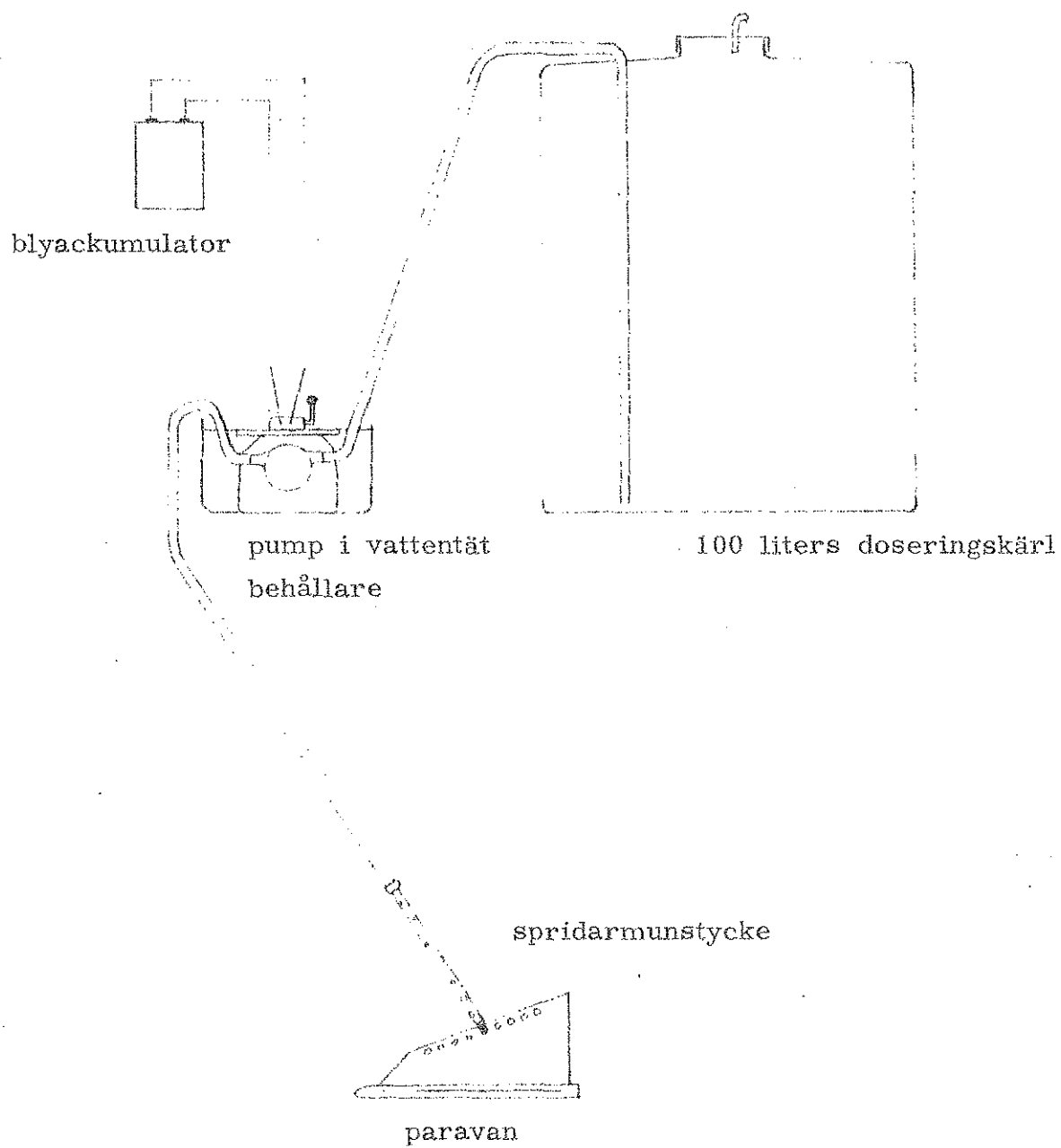


Fig 5:5 Doseringsutrustning

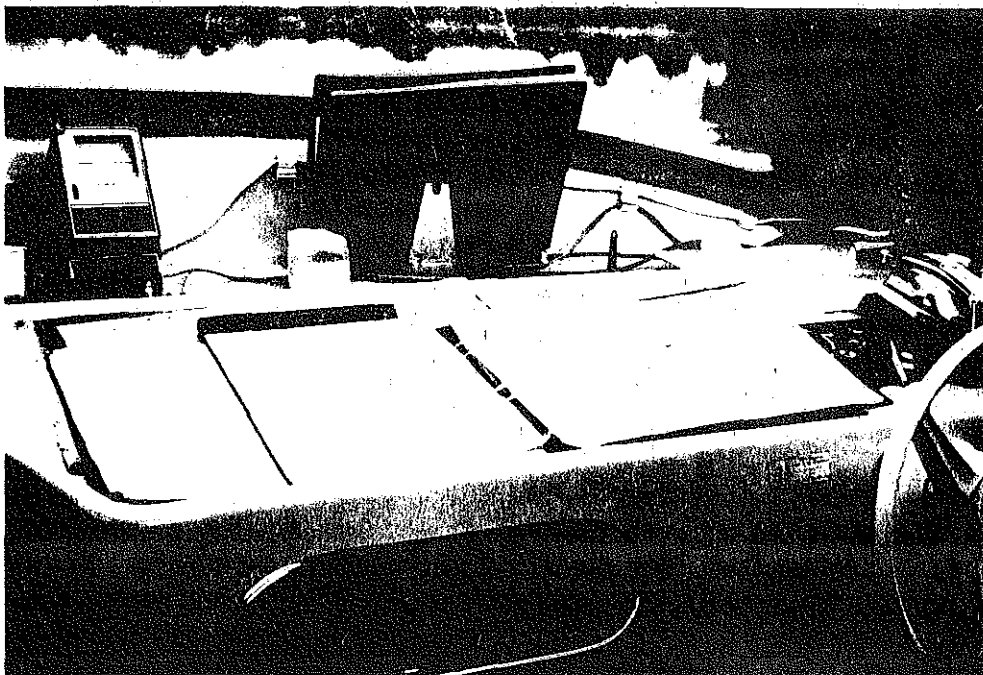


Fig. 5:6 Manöverbord med skrivare om mätprotokoll i Albin 25.

I båten finns övernattningsmöjligheter, varför mätningar kan utföras flera dygn i sträck.

Utrustningens huvuddelar är paravan, slangar, ventiler, fluorometer och skrivare.

För att hålla insugningsmunstycket på rätt djup vid mätning under gång, användes en paravan, se fig. 5:7.

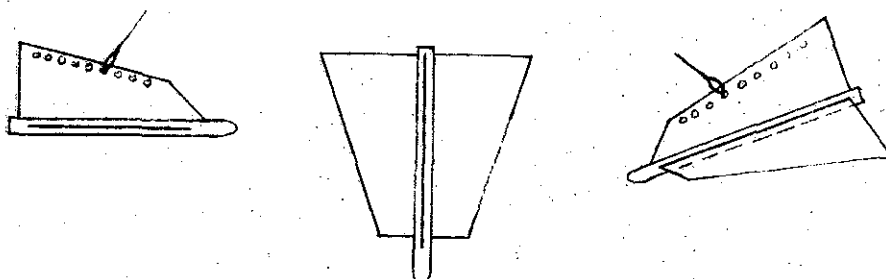


Fig 5:7 Paravan.

För att snabbt kunna ta djupprofiler användes ett munstycke med sänke enl. fig. 5:9.

Eftersom det är mycket viktigt att fluorometern erhåller en jämn 50-periodig växelström finns i båten ett speciellt elsystem för detta, se fig 5:8.

En 24-volts generator laddar 4 st (seriekopplade 2+2) blyackumulatorer (12 V90 Ah). Likströmmen från dessa omformas till 220 V växelström via en mekanisk omformare. Laddningsströmmen kontrolleras med en amperemätare. En voltmätare visar spänningen och ett särskilt kontrollinstrument finns för växelströmmens frekvens se fig 5. 8.

Pumpen som uppfordrar vatten från önskat mätdjup är på 24 V likström och drivs direkt av ackumulatorerna.

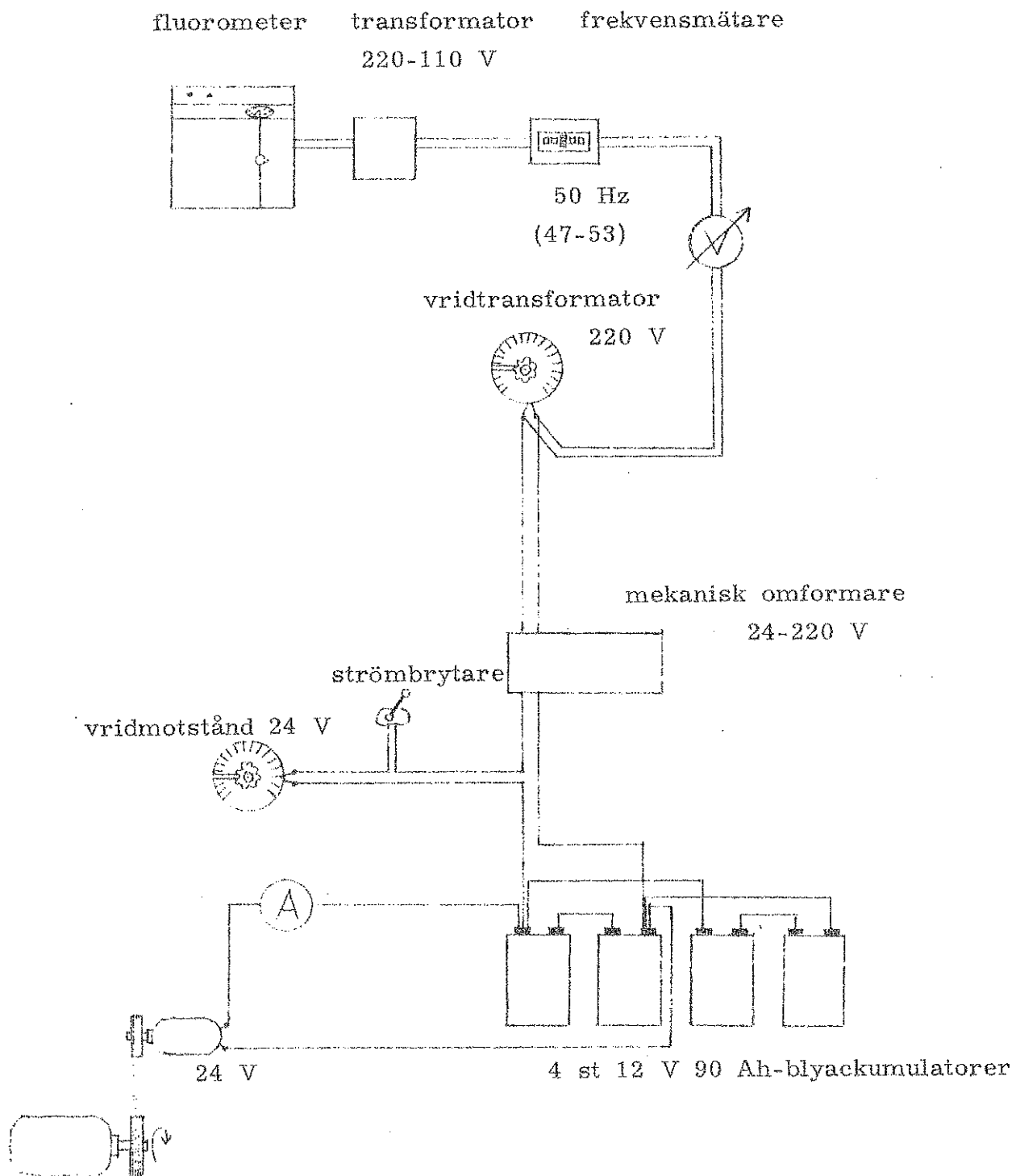


Fig 5:8 Kopplingschema elsystem.

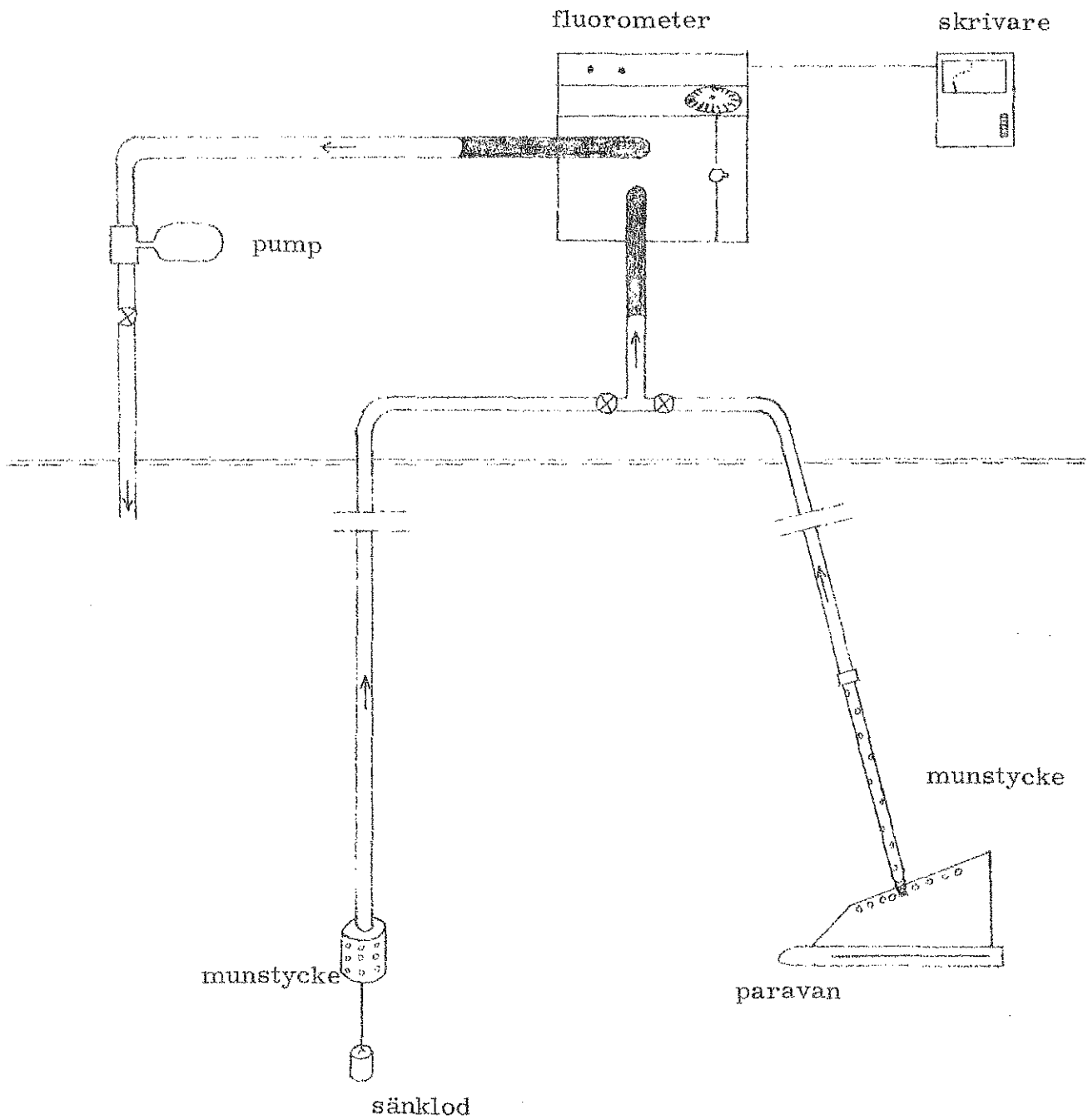


Fig 5:9 Mätutrustning.

5.3 Fluorometern

5.3.1 Fluorescens

Fluorescens är utsändning av strålning från en molekyl eller en atom till följd av en tidigare absorption av strålning (högre energi).

För varje specifikt fluorescerande ämne gäller, att endast strålning av en viss våglängd kan absorberas. Vid efterföljande emittering sänder varje ämne ut strålning med en våglängd specifik just för detta ämne. Eftersom det är känt vilka våglängder som gäller för rhodamin, kan man vara säker på att mätning sker på just detta ämne.

Intensiteten av det utstrålade fluorescerande ljuset är direkt proportionellt mot koncentrationen av det fluorescerande ämnet (vid bestrålning med konstant ljusenergi)

5.3.2 Funktion

Vid mätningarna användes en fluorometer av typ GK Turner Associates Model 111 för att mäta fluorescensen.

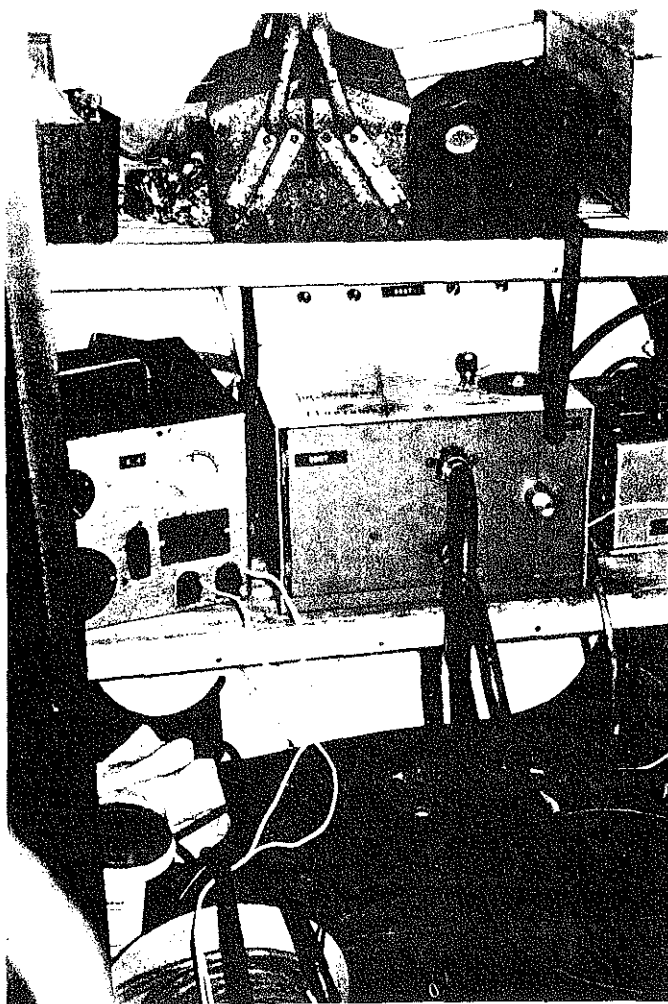


Fig.5:10
Fluorometeruppställning
i båten.

Instrumentet utgöres i princip av en självbalanserande optisk brygga där ett prov belyses i en kyvett (glasrör). Emitterat resp spritt ljus i 90° vinkel från den infallande ljusstrålen mätes genom att jämföra dess effekt med en referensstråles effekt på en fotomultiplikator. Denna kommer då att ge en växelström som vrider en bländare.

Bländaren befinner sig i referensstrålens väg och påverkar strålen så att dess effekt på fotomultiplikatorn blir lika stor som det fluorescenta resp spridda ljusets. Därvid upphör vridningen, vilken nu kan avläsas på en skalskiva.

Vid mätningar på RhodaminB-lösningar användes en kvicksilverlampa med 2 st för rhodamin karakteristiska filter.

På instrumentet finns 4 st mätområden: 1x, 3x, 10x och 30x. Dessa är bara ungefärliga och måste alltså kalibreras var för sig.

Fluorometern kan förses med genomströmningskyvett för kontinuerlig mätning på uppumpat provvatten eller med lösa kyvetter för vanliga vattenprover.

5.3.3 Uppvärmning

Enligt fabrikanten behöver fluorometern inte längre uppvärmningstid än ca 5 min. I praktiken har det dock visat sig att man behöver uppvärmningstider uppemot 30 min för att inga störningar skall uppträda /3/.

5.3.4 Kalibrering

Kalibrering av fluorometern utfördes i laboratoriet på följande sätt:

Vid kalibreringen testas samtliga mätområden på instrumentet. Samma utrustning användes som vid fältmätningarna Två instrument kalibrerades samtidigt, för att man senare skulle kunna ha ett i reserv.

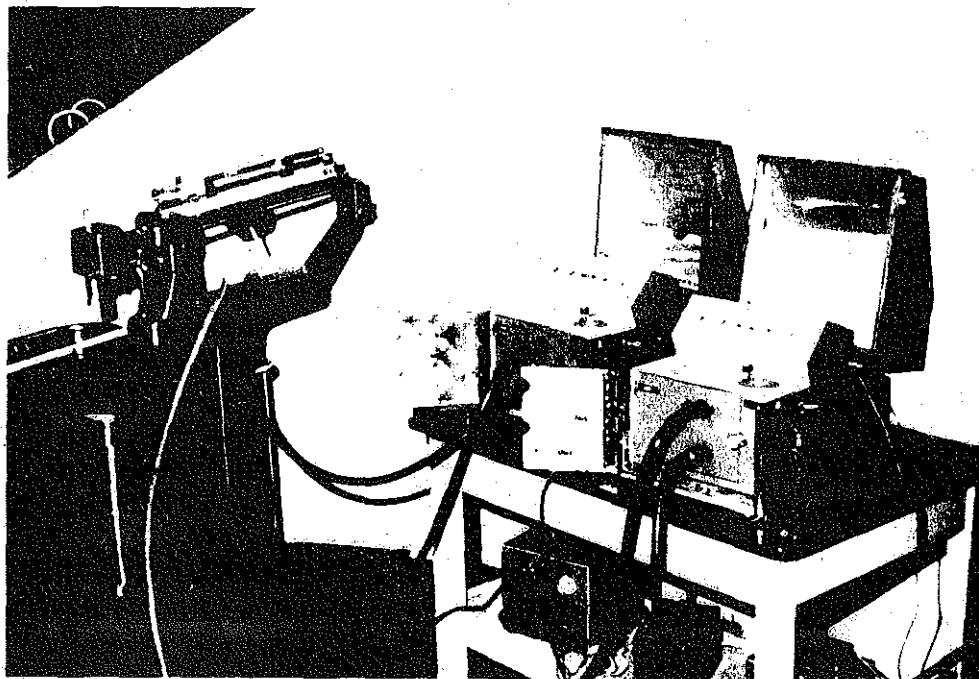


Fig. 5:11 Kalibrering av fluorometer i laboratorium.

Rhodaminpreparerades i 10^{-3} och 10^{-6} lösningar. Därefter gjordes homogena blandningar med rhodamin och vattenledningsvatten i ett 200 liters kärl. Blandningarnas koncentrationer varierades från $5 \cdot 10^{-11}$ till 10^{-7} och fluorescensen mättes både med genomströmningskyvett och fast kyvett. Före varje ny blandning nollställdes fluorometern mot en svart plexiglasstav. Vattentemperaturen mättes kontinuerligt för att eventuellt kunna korrigera för avvikelser från den valda kalibreringstemperaturen i detta fall 22°C .

En "standardlösning" med känd koncentration preparerades och hölls i en ljustät flaska för att användas vid kontroll av fluorometers funktion i fält.

Kalibreringsdiagram se bilaga 5:1 och 5:2

5.3.5 Stabilitet och känslighet

Eftersom kyvettdörrarna ej är absolut ljustäta, bör fluorometern vid mätningar uppställas väl skyddad för ljus. Vid byte av lampa måste instrumentet kalibreras om.

Det är mycket viktigt att frekvensen hos den levererade växelströmmen till instrumentet är stabil. En liten ändring i periodtalet kan ge fel storlek på mätutslaget. Spänningsvariationer i intervallet 210-260 V spelar däremot mindre roll. Då kyvettrummet i fluorometern snart blir ganska varmt och då Rhodamin B är temperaturberoende, är det viktigt att ej mäta för länge på ett fast prov.

5.4 Mätning

För inmätning av ett rhodaminmoln finns som tidigare diskuterats i princip två olika metoder:

1. Molnet inmättes i fasta punkter längs älven.
2. Molnet genomköres och inmättes kontinuerligt.

För detta examensarbete valdes metod 2 eftersom metod 1 ger en mer omfattande utrustning och kräver flera mätstationer.

Då rhodaminmolnet lokaliserats inmättes det på snabbast möjliga tid. Båten framföres med ett konstant varvtal för att inte växelströmmens frekvens skall variera för mycket. Mätdjupet valdes till 2 m vilket ansågs representativt för rhodaminets fördelning i vertikalled.

Vid inmätningen framföres båten vanligen mitt i älvfåran.

För att kontrollera rhodaminets vertikala inblandning tas djupprofiler vid molnets början, max och slut. Vid dessa tillfällen får båten driva fritt med älven. En extra slang med specialmunstycke används och fluorescensen registreras för varje meter ned till älvbotten.

För att kunna lägesbestämma rhodaminmolnet har ett koordinatsystem upprättats. Se fig. 5:12 sid. 5.14.

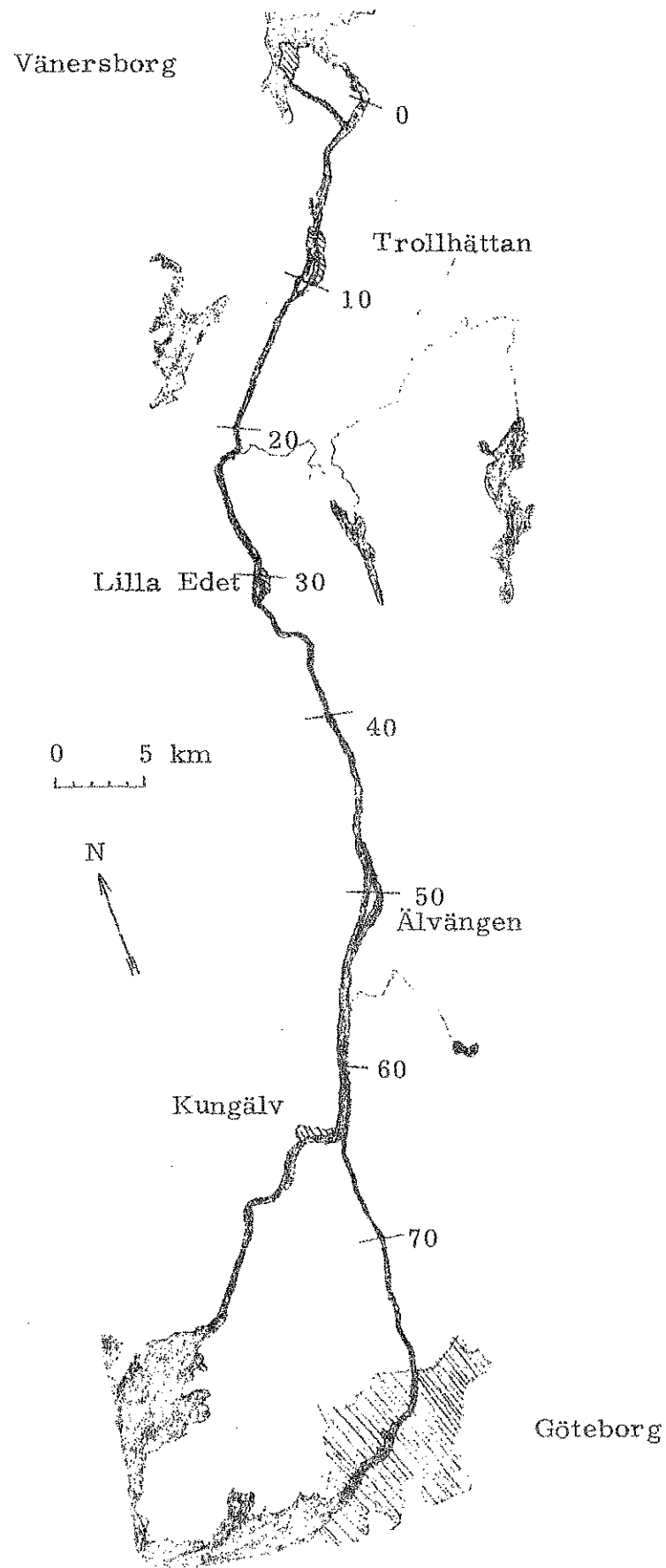
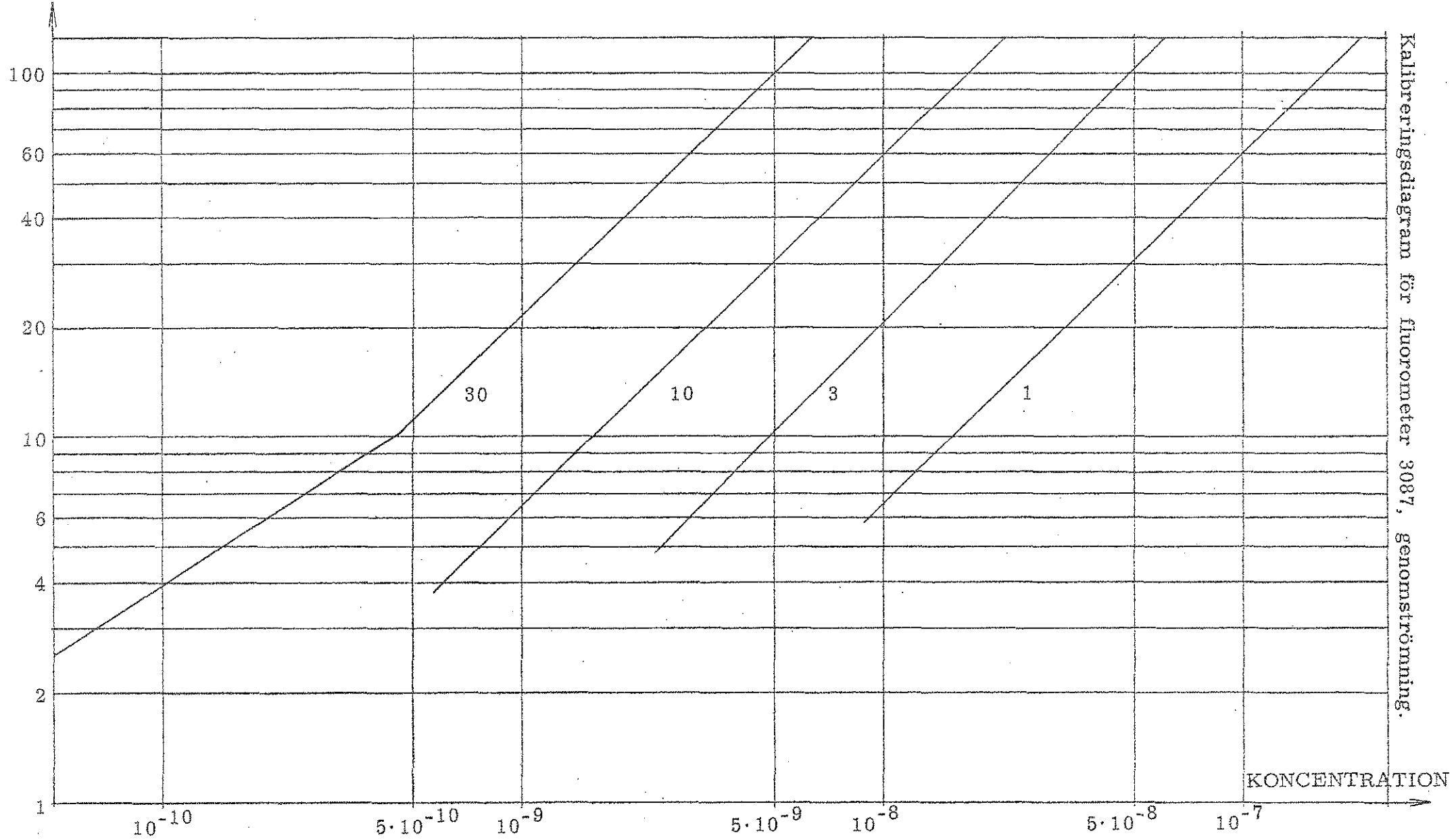


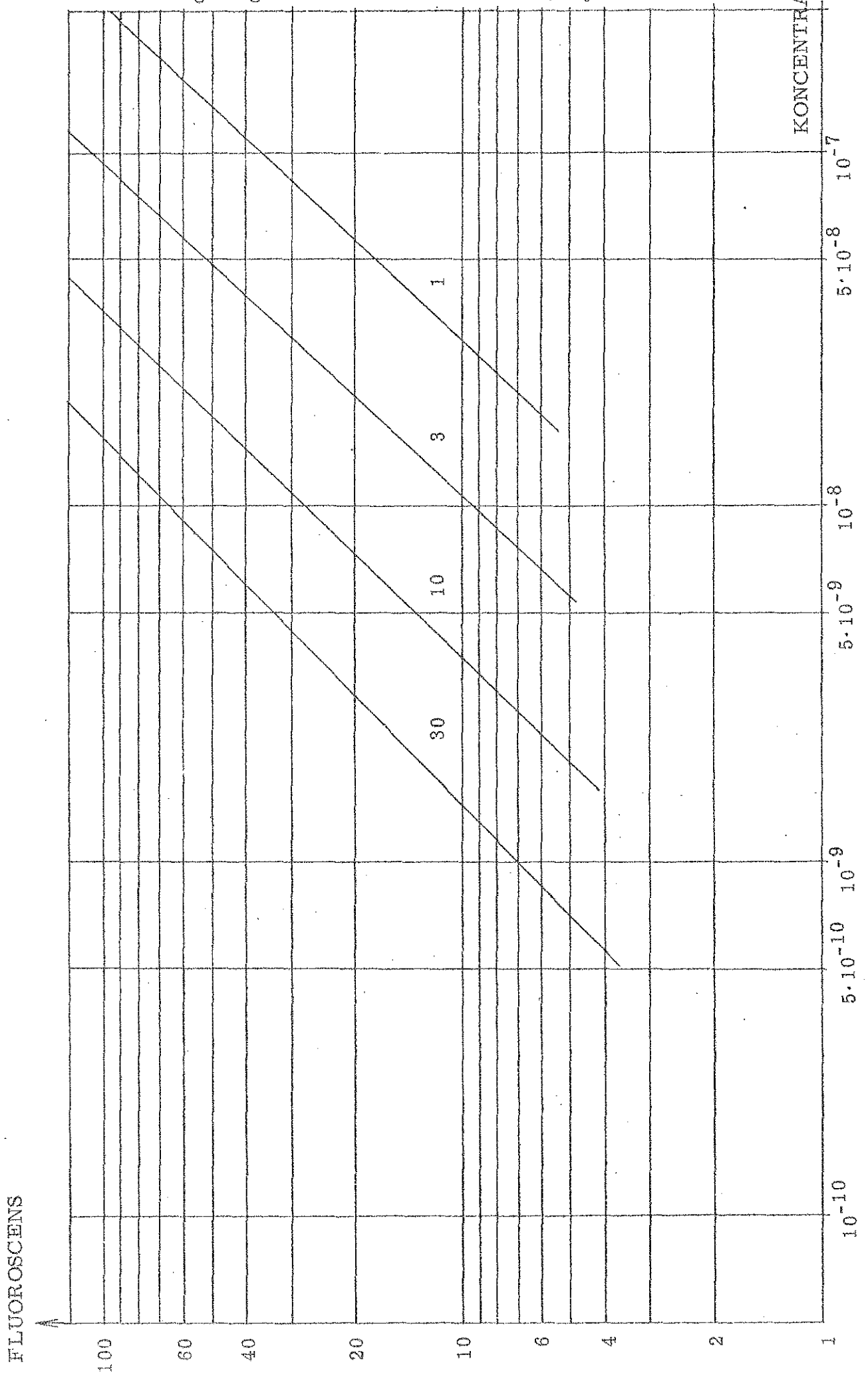
Fig 5:12 Koordinatindelning av Göta Älv.

FLUOROSCENS



Kalibreringstemperatur 22°C
Bakgrund 2,0

Kalibreringsdiagram för fluorometer 3087, kyvett.



Kalibreringstemperatur 22°C

6. MÄTNINGAR OCH KOMMENTARER

6.1 Provdosering

Datum 1972-08-14

En mindre mängd rhodamin doserades för att kontrollera doserings- och mätutrustning.

Tiden för utpumpning av rhodaminlösningen ur doseringskärlet (100 l) uppmättes till 2 1/2 minut.

Båt och utrustning demonstrerades för gäster från Danmarks Ingenjörskademi's Byggnadsavdelning i Aalborg.

6.2 Försök I

6.2.1 Dosering

Datum	15/8	Doseringsdjup	1,4 och 7 m
Klockslag	15.03	Dos mängd	10 l
Vattentemp	15,7 ^o	Medelvatten- föring	650 m ³ /s
Väder	Mulet, lugnt	Dos. konc.	9 · 10 ⁻³
Doseringsplats	Nedanfö Holmens bruk		

På en sträcka av totalt 500 m doserades 3 ränder på vardera tre olika djup, dvs sammanlagt 9 ränder. På grund av strömmen blev banden något förskjutna. Rhodaminet från de olika djupen transporterades snabbt upp till ytan, troligen på grund av viss luftinblandning i pumpen..

6.2.2 Mätning

Snabb homogen inblandning i vertikalled erhöles. Vid Stallbacka fyr, 6 km nedanfö doseringsplatsen var max konc $35 \cdot 10^{-10}$. Älven flyter här ut i något som kan liknas vid en sjö med flera öar. Då vi var osäkra på djupförhållandena mättes bara i fartygsleden.

Nedanför Trollhättan uppmättes max konc $15 \cdot 10^{-10}$. Eftersom fyrarna på grund av elavbrott slocknade mitt under natten avbröts mätningen tillfälligt.

Under natten och följande dag tenderade medelhastigheterna att öka. Vid Kungälv där max konc var $8 \cdot 10^{-10}$ avslutades mätningen. Flyttiden från doseringspunkten till Kungälv var 31,5 tim.

6.3 Försök II

6.3.1 Dosering

Datum	24/8	Doseringsdjup	2 och 6 m
Klockslag	8:45	Dos. mängd	10 l
Vattentemp	15,5°C		
Väder	soligt, lugnt	Medelvatten- föring	750 m ³ /s
Doseringsplats	Nedanför Holmens bruk	Dos konc	$9 \cdot 10^{-3}$

Efter erfarenheter från den första doseringen doserades bara på två olika djup. Totalt doserades 8 ränder på samma sträcka som tidigare. Rhodaminet transporterades snabbt upp till ytan på samma sätt som vid Dosering 1.

6.3.2 Mätning

Ett reporterteam från TV gjorde reportage om våra mätningar.

När inblandningen kontrollerades, 3 km nedanför doseringsplatsen, var konc konstant ned till 6 m. Under detta djup var den något lägre. Nedanför Trollhättan var max konc $18 \cdot 10^{-10}$ dvs ungefär samma som vid mätning 1.

Flyttiden från doseringsplatsen till Kungälv var 30,5 timmar dvs som den tidigare resan.

I förgreningen mellan Norde älv och Göta Älv inväntade vi rhodaminmolnet varefter detta inmättes i två fixa punkter (en i vardera älvgrenen) med 15 minuters intervall. Här erhålls alltså rhodaminkoncentrationen

som funktion av tiden till skillnad från övriga mätningar då längsfördelningen inmätts. Max konc uppmättes till $7 \cdot 10^{-10}$.

6.4 Försök III

6.4.1 Dosering

Datum	31/8	Doseringsdjup	3 m
Klockslag	9.45	Dos. mängd	4 l
Vattentemp	15,6 °C		
Väder	Soligt, lugnt	Medelvatten föring	675 m ³ /s
Doseringsplats	Nedanfö r slussarna, Troll.	Dos konc	$8 \cdot 10^{-3}$

Vid doseringsplatsen är älven mycket ström. Detta medförde att vi doserade på endast ett djup (3 m).

300 meter av älven märktes med rhodamin. Detta inblandades snabbt i älvsektionen.

6.4.2 Mätning

Inblandningen var homogen vid kontroll 6 km nedanfö r Trollhättan.

De uppmätta medelhastigheterna låg lägre och molnets längd var kortare än vid tidigare försök, varför vi kunde göra ett flertal mätningar på sträckan Trollhättan - Lilla Edet. Tät dimma på natten och morgonen samt fel på backslaget ("växellådan") försenade mätningarna nästa dag. Rhodaminkoncentrationen sjönk snabbt från doseringen och var vid Lilla Edet $15 \cdot 10^{-10}$. Nedanfö r Alelyckan, där mätningen avslutades, var max konc $2,5 \cdot 10^{-10}$. Detta var nära undre gränsen för fluorometerens mätområde. Flyttiden från doseringsplatsen till Kungälv var 28 timmar.

6.5 Försök IV

6.5.1 Dosering

Datum	5/9	Doseringsdjup	3 m
Klockslag	21.12	Dos. mängd	8 l
Vattentemp	15,0°C		
Väder	Mörkt, lugnt	Medelvatten- föring	450 m ³ /s
Doseringsplats	Nedanfö- rslussarna, Trollh.	Dos konc	24 · 10 ⁻³

Då det var mörkt vid detta doseringstillfälle blev doseringen den mest äventyrliga. Doseringsmängden hade ökat jämfört med försök III på grund av den snabba utspädningen.

6.5.2 Mätning

Naturvårdsverkets undersökningslaboratorium Ancyclus medverkade vid denna mätning. Under mätningen längs älven önskade man på Ancyclus ta vattenprover på samma vattenpaket. Vår uppgift var att upplysa dem om var i molnet de befann sig.

Resultatet blev att våra egna mätningar ofta blev ofullständiga och avbrutna. (Endast en användbar djupprofil t ex).

Max konc vid Lilla Edet var $21 \cdot 10^{-10}$ och vid Kungälv $7 \cdot 10^{-10}$. Medelhastigheterna varierade kraftigt under mätningarna. Flyttiden från doseringsplatsen till Kungälv var 39 timmar.

7. KONTROLLMÄTNINGAR

7.1 Inblandning i vertikalled (Bilaga 7:1 - 7:3)

Försök 1 De två första djupprofilerna är tagna ovanför Trollhättan. Doseringsdjupen är 1, 3 och 7 m.

Profilen i max. punkten (1) visar att ingen homogen inblandning i vertikalled ännu erhållits.

Profil 2 visar molnets påverkan på grund av hastighetsskillnader i ytan och nära botten.

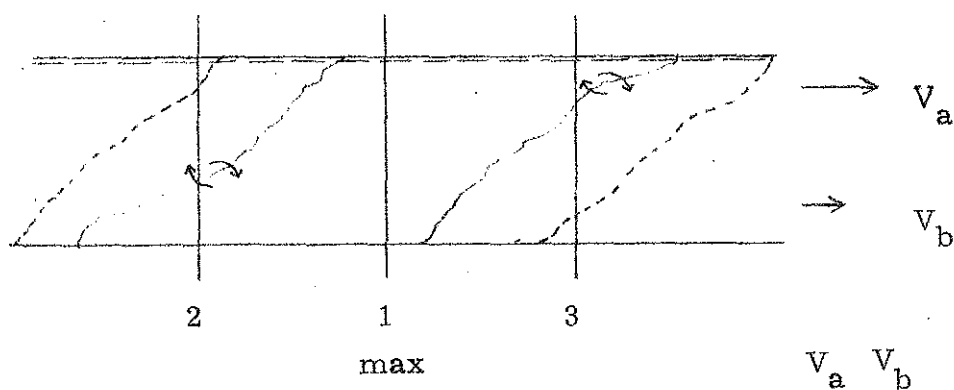


Fig 7:1 Rhodaminmolnets utbredning vertikalt längs älven.

De två övriga djupprofilerna är tagna nedanför Trollhättan och visar att rhodaminet här är homogent inblandat, vilket skulle innebära att detta villkor för korrekt bestämning av dispersionskoefficienten är uppfyllt.

Försök II Den första profilen är uppmätt nedanför max. punkten dvs motsvarande punkt 3 i figuren ovan.

De två övriga profilerna är tagna nedanför Trollhättan och visar att inblandningen där är homogen.

Både försök 1 och II visar att inblandningen nedanför Trollhättan har blivit homogen.

Försök III Profil 1 visar en homogen inblandning 2 1/2 timme efter doseringen i Trollhättan.

Profil 3 visar kraftiga förändringar i koncentration. Maxkoncentrationen är här dock så låg som $2,2 \cdot 10^{-10}$, vilket motsvarar ett utslag på fluorometern på 6 enheter. Vid så låga utslag får felprocenten hos fluorometern stor betydelse och fluktuationen i profilen kan hänföras till detta. Älven påverkas inte heller av några yttre faktorer t ex inblandning av biflöde, vilka skulle kunna ge en mindre konc i ytan.

Försök IV Samarbetet med Naturvårdsverket medförde att endast en djupprofil uppmättes. Denna är tagen i närheten av max och visar ingen homogen inblandning 2 timmar efter dosering.

7.2 Rhodaminmängd

För att korrekt bestämma dispersionskoefficienten måste mätningarna hela tiden utföras på samma mängd spårämne.

Vid förgreningar och andra oregelbundenheter finns risk för avsnörning av spårämnesmolnet. För rhodamin finns enligt kap 4 dessutom risk för adsorption och avklingning.

Längd- koncentrationskurvorna har planimetrerats och mängden rhodamin i molnet framräknats med hjälp av aktuell tvärsektion (bilaga 7:4).

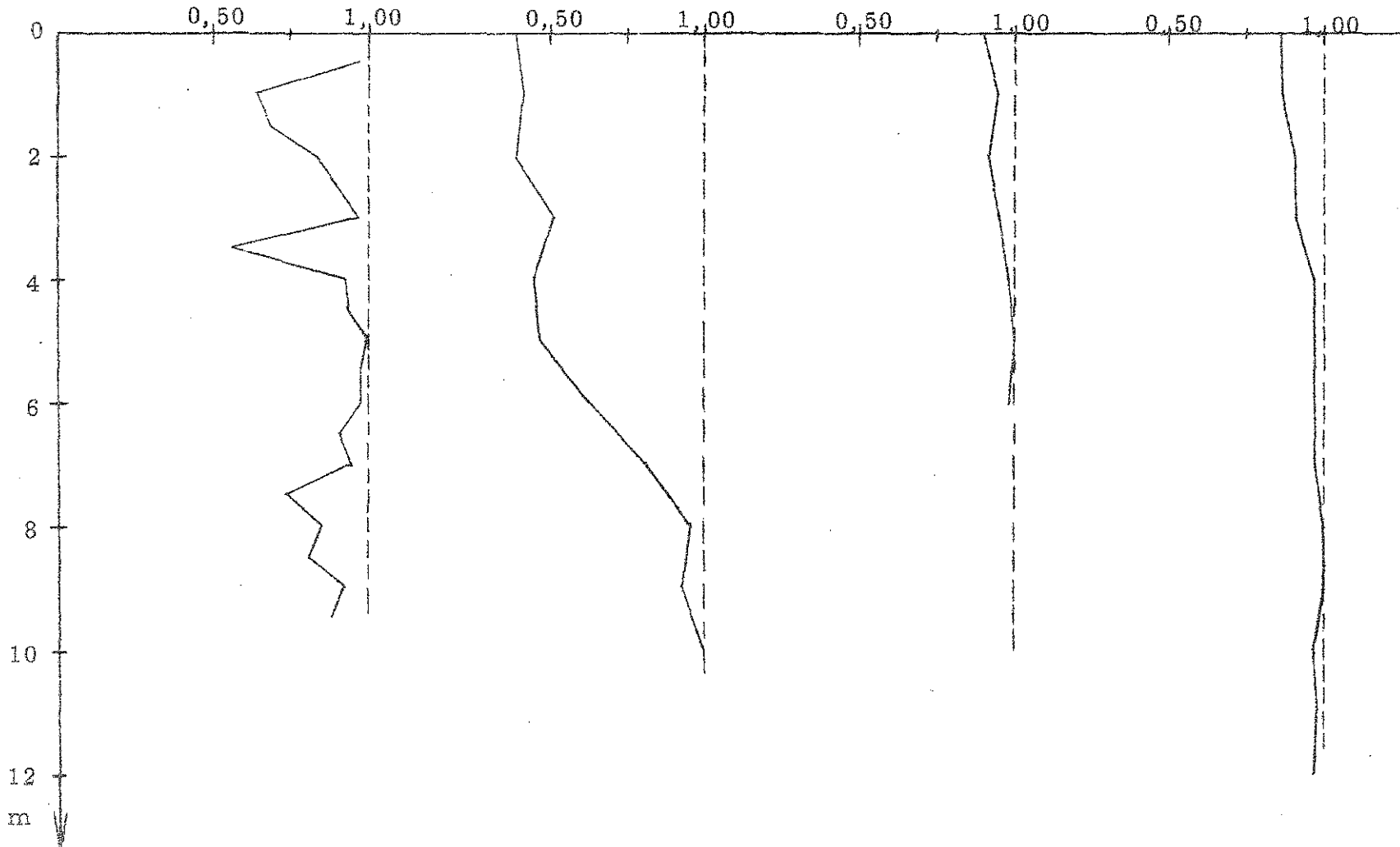
Eftersom flödes hastigheterna varierat kraftigt i de olika försöken, har rhodaminmängden uppritats både som funktion av lägeskoordinat och tid, se bilaga 7:5 och 7:6.

I de bägge diagrammen följs kurvorna ifrån de olika försöken inbördes åt. Vid jämförelse av diagrammen, finner man att deras utseende i stort överensstämmer med varandra. Rhodaminmängden är vid slutet av varje försök lika stor som vid doseringen. Detta understryker vad som sagts i kap 4.5, angående adsorption och avklingning. Mellan koordinat 30 000 och 50 000 ger diagrammen lägre värden på rhodaminmängden. Här är sektionens tvärsnittsarea lägre än för övriga delar av älven.

Vid beräkning av rhodaminmängden är tvärsnittsarean det enda gemensamma för de fyra olika försöken, varför de låga värdena ej kan hänföras till mätfel.

Ovanstående resonemang visar att mätningarna hela tiden utförts på hela den doserade mängden rodamin.

FÖRSÖK I

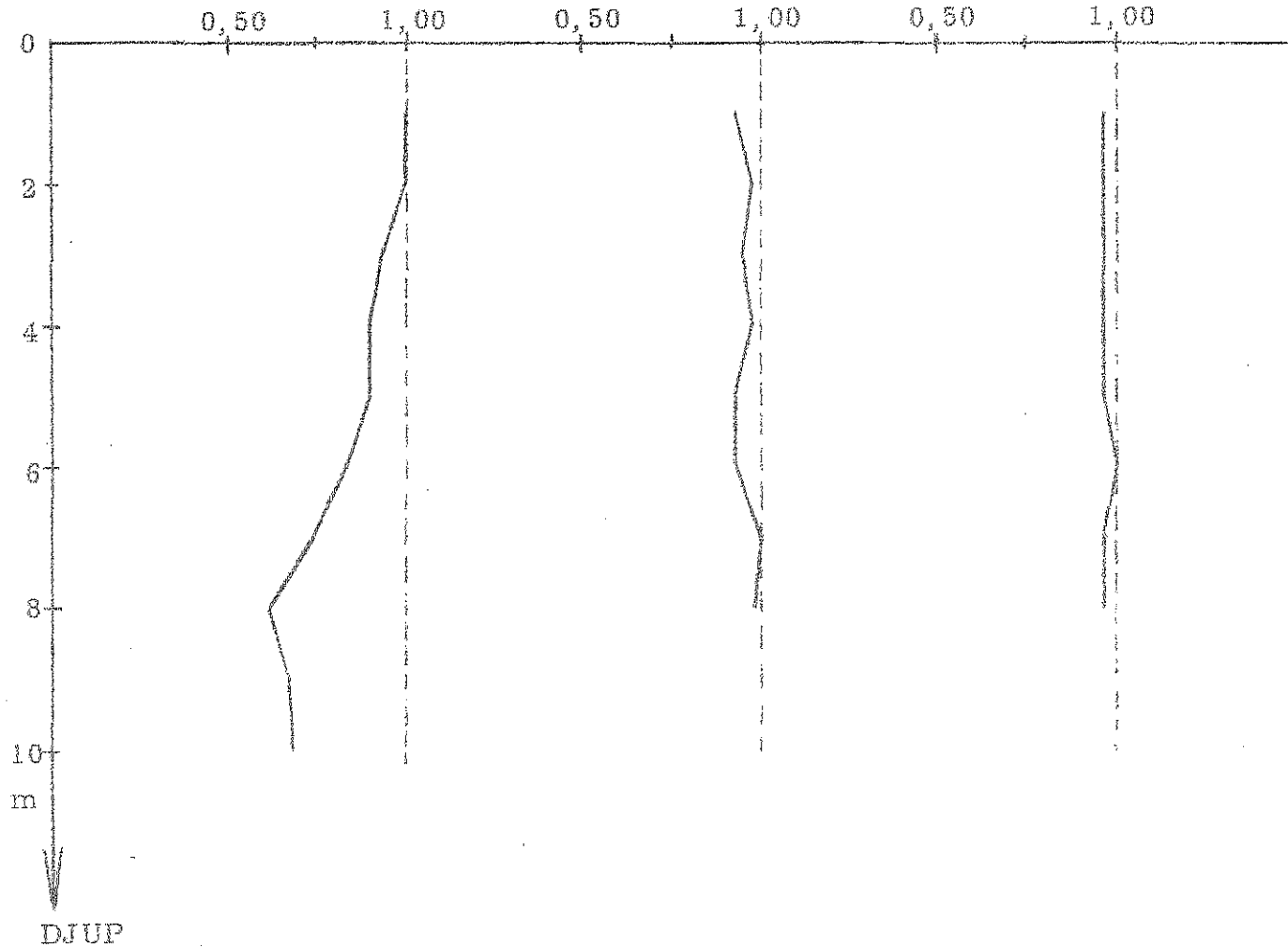


Djupprofiler, försök I.

DJUP

SEKTION	2450	2800	5900	18680
TID FRÅN START	1 ⁴²	1 ⁵⁹	4 ⁰⁵	10 ³²
PROFILENS LÄGE	max	strax ovan max	max	max
KONCENTRATION	145 · 10 ⁻¹⁰	23,5 · 10 ⁻¹⁰	35 · 10 ⁻¹⁰	14,0 · 10 ⁻¹⁰

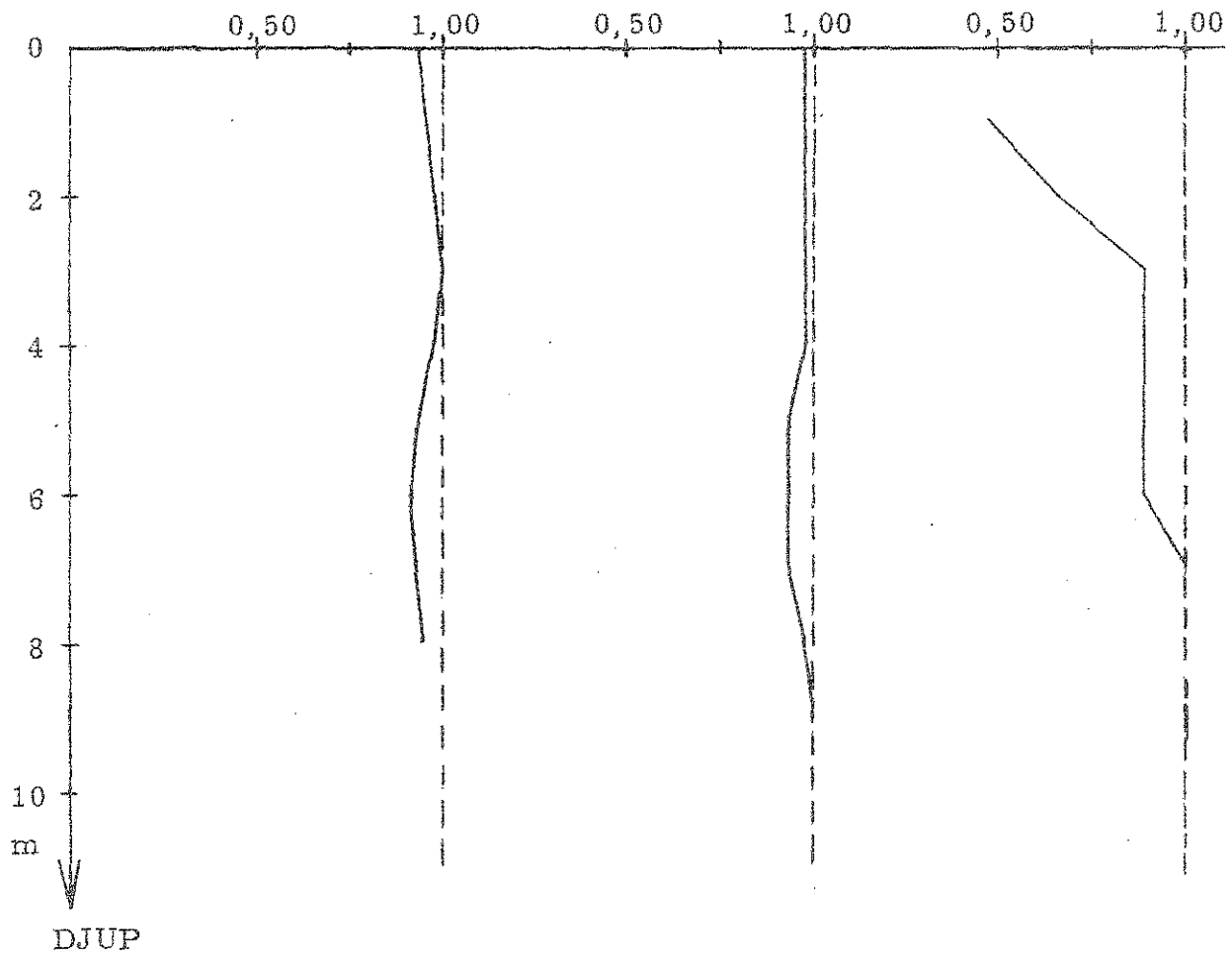
FÖRSÖK II



SEKTION	2900	23900	45220
TID FRÅN START	1 ⁴⁴	12 ²⁴	22 ¹⁶
PROFILENS LÄGE	nedan max	max	max
KONCENTRATION	$138 \cdot 10^{-10}$	$8,0 \cdot 10^{-10}$	$7,6 \cdot 10^{-10}$

Djupprofiler, försök II.

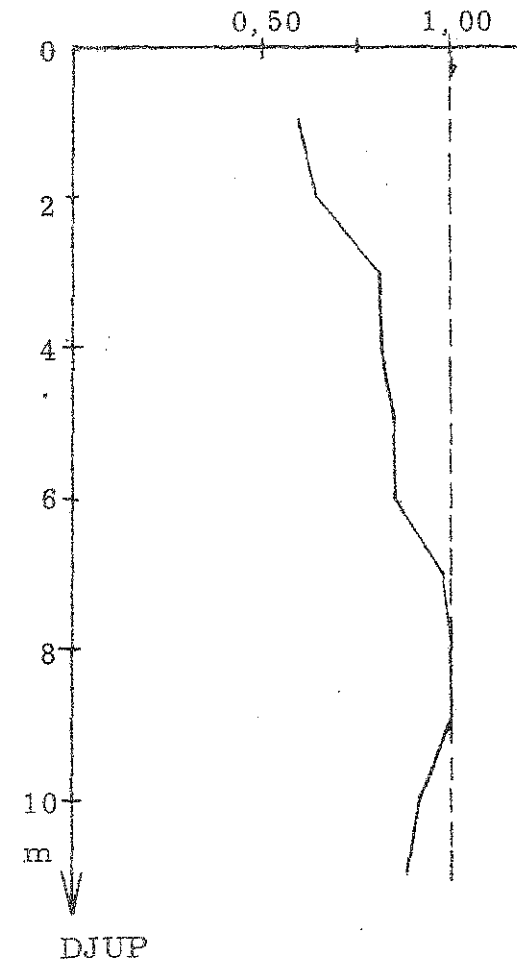
FÖRSÖK III



SEKTION 18680
 TID FRÅN START 2^{39}
 PROFILENS LÄGE max
 KONCENTRATION $19,5 \cdot 10^{-10}$

24940
 8^{05}
 ovan max
 $6,0 \cdot 10^{-10}$

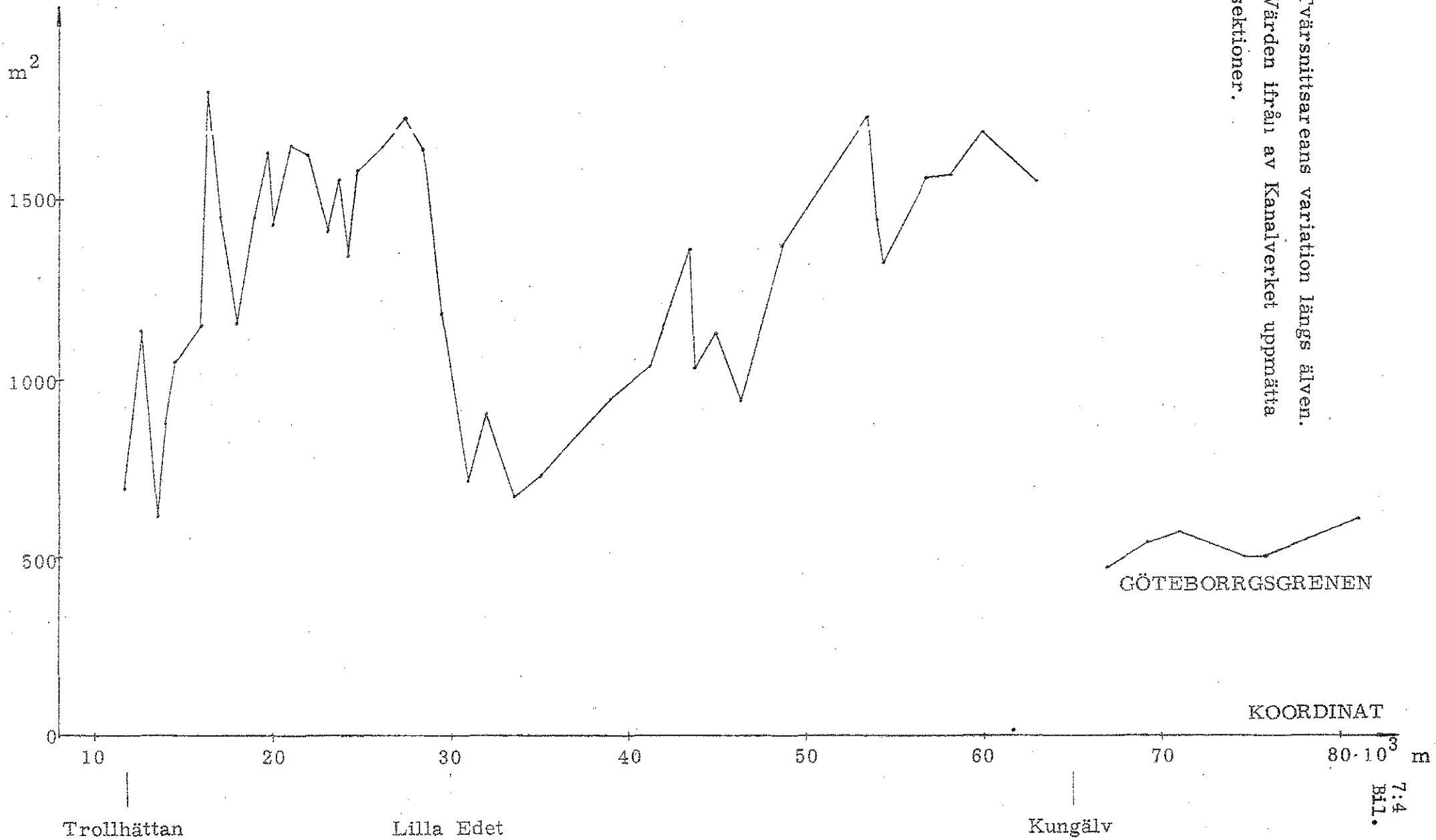
FÖRSÖK IV



17140
 2^{05}
 nedan max
 $49 \cdot 10^{-10}$

Djupprofiler, försök III och IV.

TVÄRSNITTSAREA



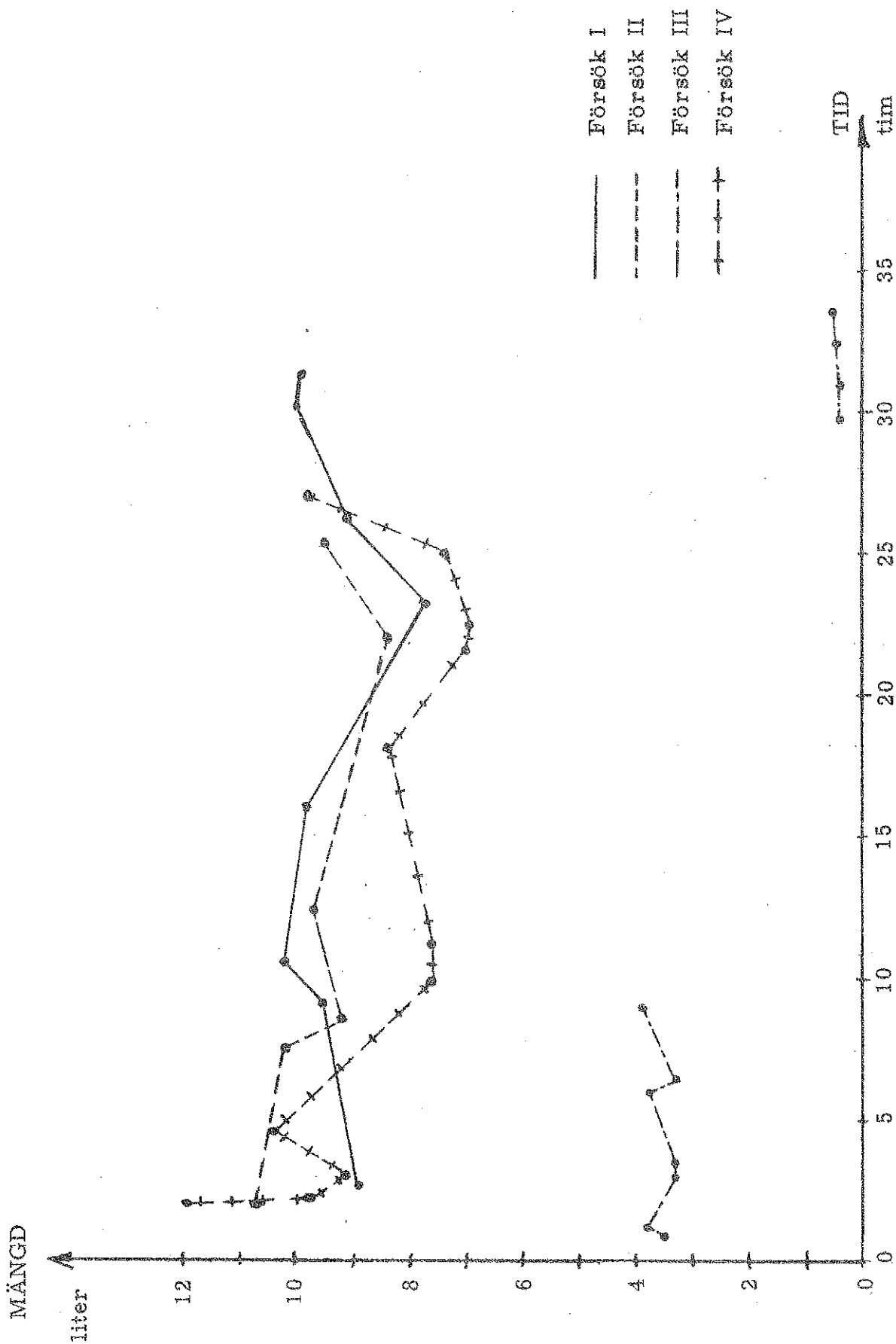
TVÄRSNITTSAREANS variation längs älven.
Värden ifrån av Kanalverket uppmätta
sektioner.

GÖTEBORRSGRENE

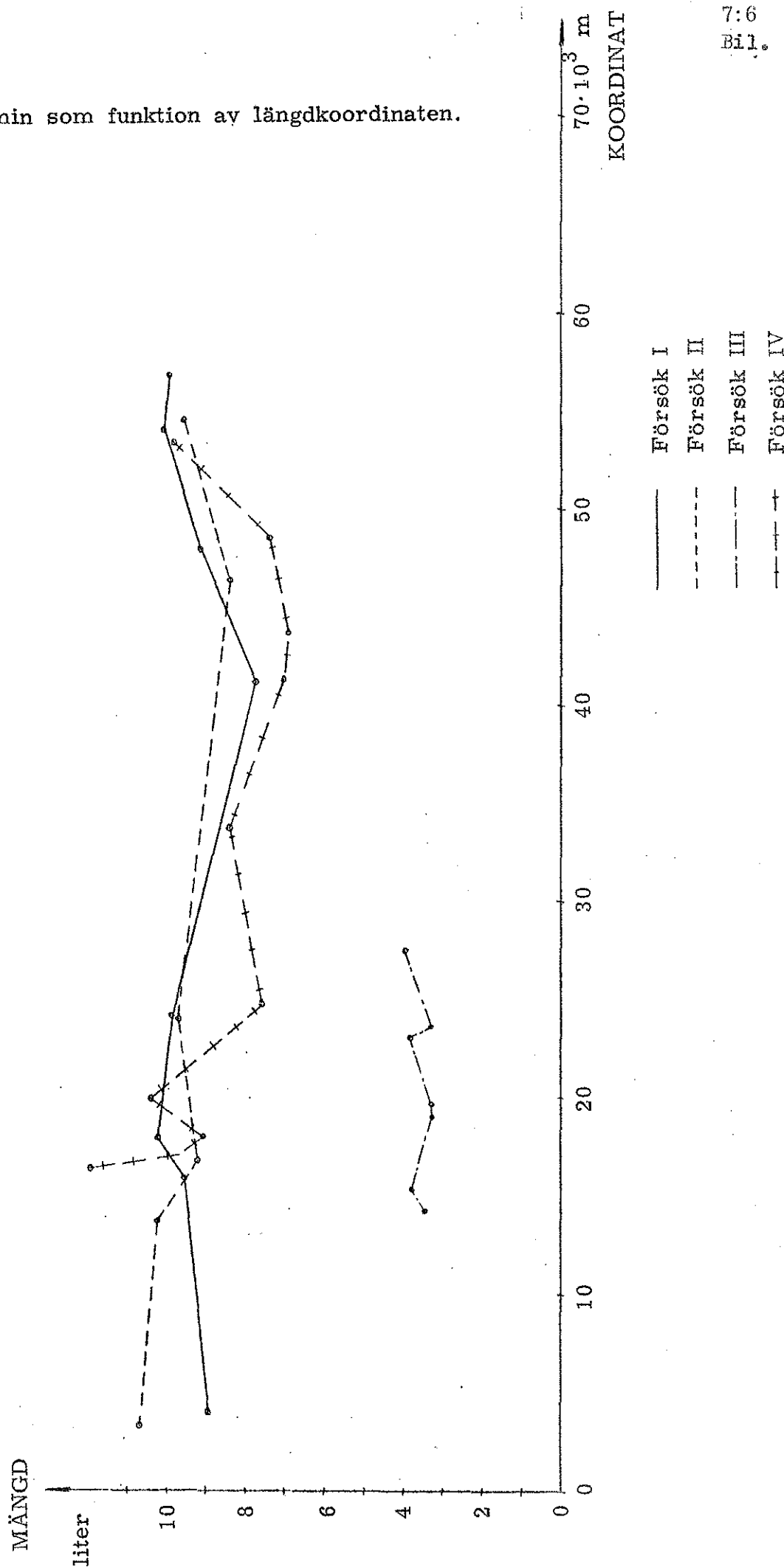
KOORDINAT

7:4
Bil.

Mängd rhodamin som funktion av tiden.



Mängd rhodamin som funktion av längdkoordinaten.



8. FLYTTIDER

8.1 Egna mätningar (Bilaga 8:1)

Bestämning av flyttider sker med utgångspunkt från max koncentrationens förflyttning nedför älven.

För att få kurvorna jämförbara är tidpunkten 0 relaterad till Trollhättan.

Försök	Medelvattenföring m^3/s	Flyttid (från Trollhättan) tim.		
		Lilla Edet	Nol	Kungälv
I	650	12	24	24
II	750	9	19	24
III	675	10	22	27
IV	450	15	28	42

De olika mätningarna stämmer väl överens om man jämför vattenföring och flyttid (bilaga 8:1-8:5)

Vid försök I visar det sig att älven har en ganska jämn flythastighet till nedströms Trollhättan. Där minskar flythastigheten för att sedan åter öka till motsvarande den ursprungliga. Tappningsdiagrammet (bilaga 8:2) varierar på motsvarande sätt.

I försök II är flythastigheten konstant, vilket stämmer väl överens med det jämna tappningsdiagrammet (bilaga 8:3). Flyttiden är ca 2 km/timme.

Försök III kan ge en något missvisande bild. Inga mätningar är utförda mellan Lilla Edet och Kungälv och flyttidskurvan kan här ha varierat betydligt mer än vad den räta linjen anger. Då man betraktar tappningsdiagrammet visar det sig att stora variationer föreligger. Den extrapolerade linjen är här alltså inte helt representativ.

Vid försök IV erhöles de största variationerna i flythastigheter. Mellan Trollhättan och Lilla Edet minskade flythastigheten avsevärt för att sedan

öka och strax ovanför Kungälv åter minska. Tappningsdiagrammet (bilaga 8:5) bekräftar flyttidsdiagrammet. (Jämför minskning i tappning, bilaga 8:5 med flyttidsökningen bilaga 8:1).

Om man jämför samtliga försök visar det sig att flyttidskurvorna har samma lutning från sektion 35 000 till sektion 54 000. Motsvarande tappningar är ca $750 \text{ m}^3/\text{s}$ och den gemensamma flythastigheten är ca 2 km/tim.

Flyttiderna i bilaga 8:1 har omräknats till medelhastigheter för hela älvsektionen. Resultaten från de fyra försöken har på detta sätt presenterats i bilaga 8:6.

För att kontrollera om vattenståndet i havet på något markant sätt skulle inverka på mätningarna, inhämtades vattenståndsuppgifter från Göteborgs hamn. (Bilaga 8:7). Det visade sig att vid samtliga mätningar var avvikelserna från medelvattenståndet mycket litet, varför ingen sådan effekt kunde påvisas.

8.2 Tidigare mätningar

Från 1959 finns en undersökning utförd av Göta Älvs vattenvårdsförbund omfattande sträckan Lilla Edet - Göteborg. Medelvattenhastigheter och flyttider är beräknade med användande av vattenståndskurvor och dåvarande älvsektioner. Undersökningen är gjord för tre olika vattenföringar ($900, 550, 200 \text{ m}^3/\text{s}$) samt vid vattenstånd $\pm 0,60 \text{ m}$ i havet.

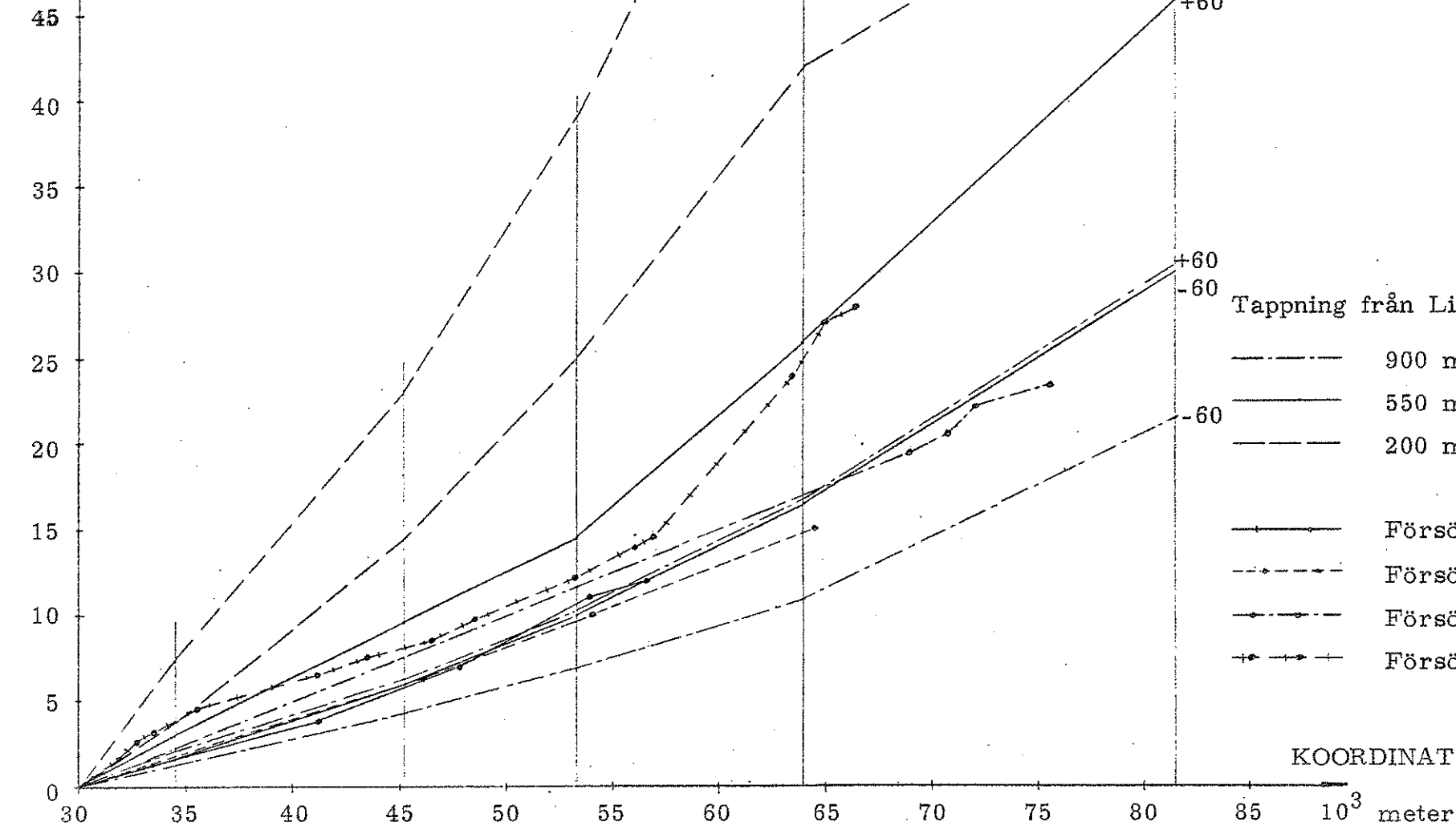
På nästa sida är resultaten från denna undersökning och våra egna mätningar inlagda i ett och samma diagram, se fig 8:1.

Grovt sett hamnar våra mätningar inom intervallet $-0,60, 900 \text{ m}^3/\text{s}$ och $+0,60 \text{ m}, 550 \text{ m}^3/\text{s}$. Mätvärdena för försök I och II ligger mycket nära kurvorna svarande mot $+0,60 \text{ m}, 900 \text{ m}^3/\text{s}$ och $-0,60 \text{ m}, 550 \text{ m}^3/\text{s}$.

De av vattenvårdsförbundet framräknade flyttiderna visar sig således relativt väl överensstämma med de värden vi erhållit vid våra mätningar.

FLYTTID

tim



Tappning från Lilla Edet

- 900 m³/s
- 550 m³/s
- · - · 200 m³/s
- Försök I
- ◇—— Försök II
- Försök III
- △—— Försök IV

KOORDINAT

10³ meter

Lilla Edet Bäckholmens s:a udde Kungälv Göteborg
 Röda Berget Tjurholmens s:a udde

Fig 8:1 Uppmätta flyttider jämförda med en undersökning utförd av Vattenvårdsförbundet 1959 vid olika vattenstånd.

8.3 Flyttider mellan VA-verkets kontrollstationer

Cederwall /1/ har föreslagit en utplacering av stationer för kontroll av vattenbeskaffenheten i Göta Älv. I samband med detta har flyttiderna mellan de olika stationerna uppskattats.

5 kontrollstationer är föreslagna varav 3 ligger nedanför Lilla Edet. Flyttiderna mellan de tre sista stationerna har uppskattats med hjälp av tidigare nämnda undersökning (kap 8.2).

Mellan de två första stationerna (Vänersborg och Torpa, 1 km norr om Slumpåns mynning) är flyttiden uppskattad till 12 och 18 timmar vid tappningarna $840 \text{ m}^3/\text{s}$ resp $286 \text{ m}^3/\text{s}$ i Lilla Edet.

Den verkliga flyttiden uppmättes till 12 och 10 timmar vid försök I resp II. Motsvarande tappning är $650 \text{ m}^3/\text{s}$ resp $750 \text{ m}^3/\text{s}$ dvs de tidigare uppskattningarna är i överkant.

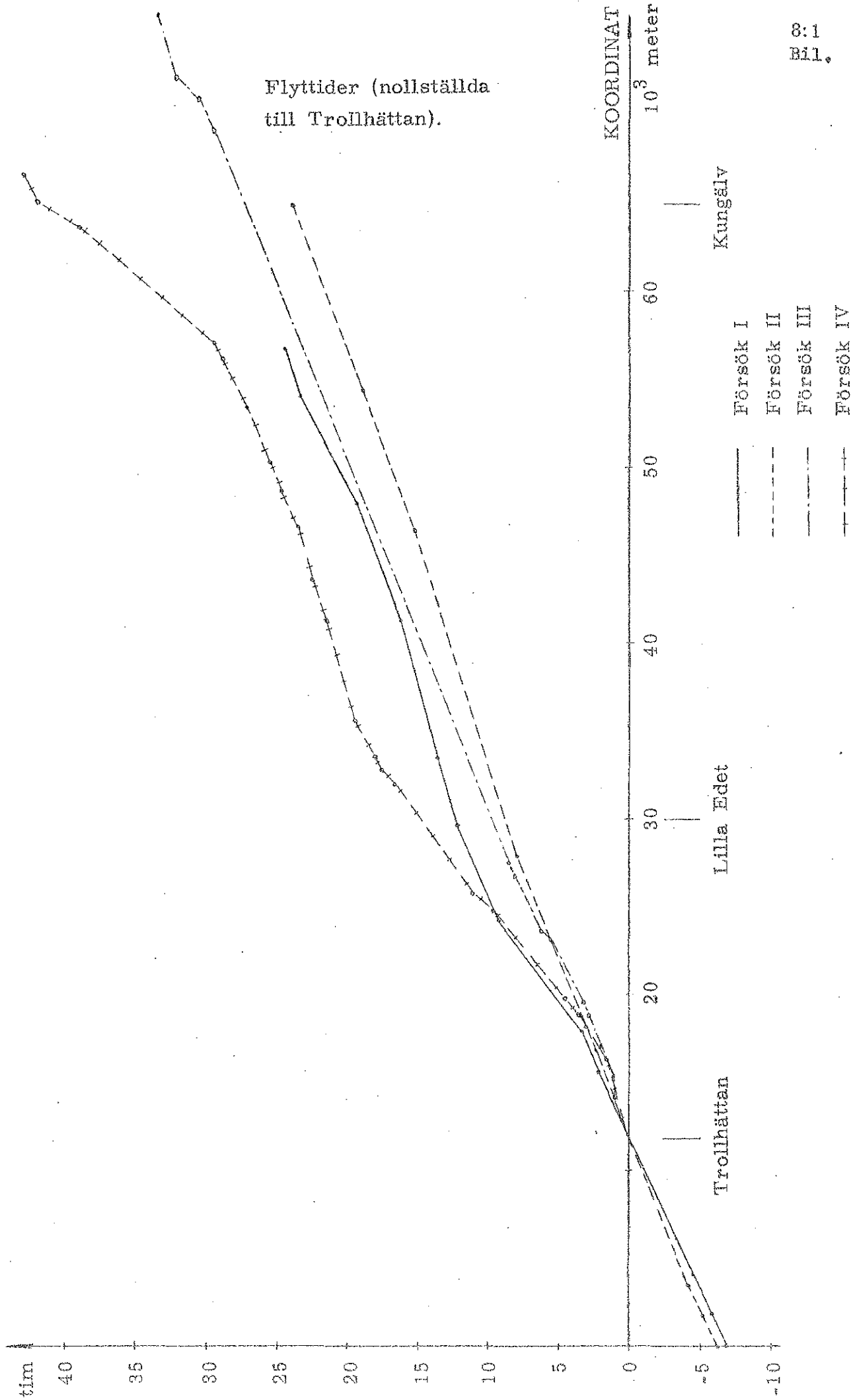
Den verkliga flyttiden är ca 2-3 timmar kortare för den höga vattenföringen. Mellan station 2 (Torpa) och station 3 (Kvarnen norr Gamla Lödöse) är flyttiden uppskattad till 10 och 18 timmar vid tappningarna $840 \text{ m}^3/\text{s}$ resp $286 \text{ m}^3/\text{s}$ i Lilla Edet.

Mellan dessa punkter varierar flyttiderna i verkligheten mellan 8 och 15 timmar vid $750 \text{ m}^3/\text{s}$ och $450 \text{ m}^3/\text{s}$. Liksom mellan stationerna 1 och 2 är här flyttiderna uppskattade i överkant och ligger ca 2-3 timmar över de verkliga.

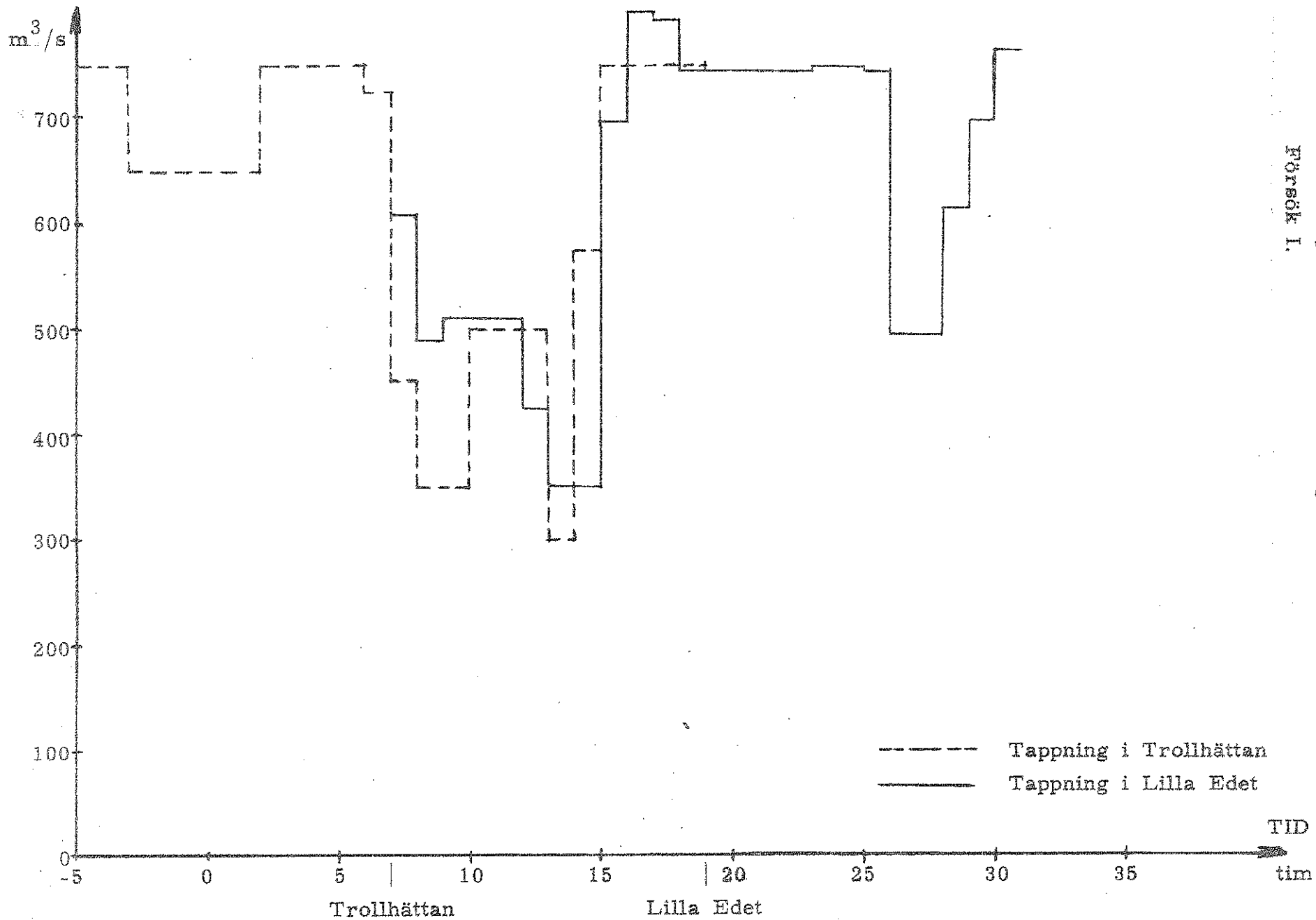
Sammanfattningsvis kan sägas att flyttiderna uppströms Lilla Edet uppskattats i överkant, medan de nedanför Lilla Edet stämmer väl med Vattenvårdsförbundets tidigare undersökning.

De uppmätta medelhastigheterna vid de fyra olika försöken kan jämföras med de hastigheter, som framräknats vid den tidigare nämnda undersökningen, bilaga 8:8. Då tappningen varierar kraftigt i de olika försöken är en exakt jämförelse svår att göra, men resultaten överensstämmer i stort sett bra.

FLYTTID

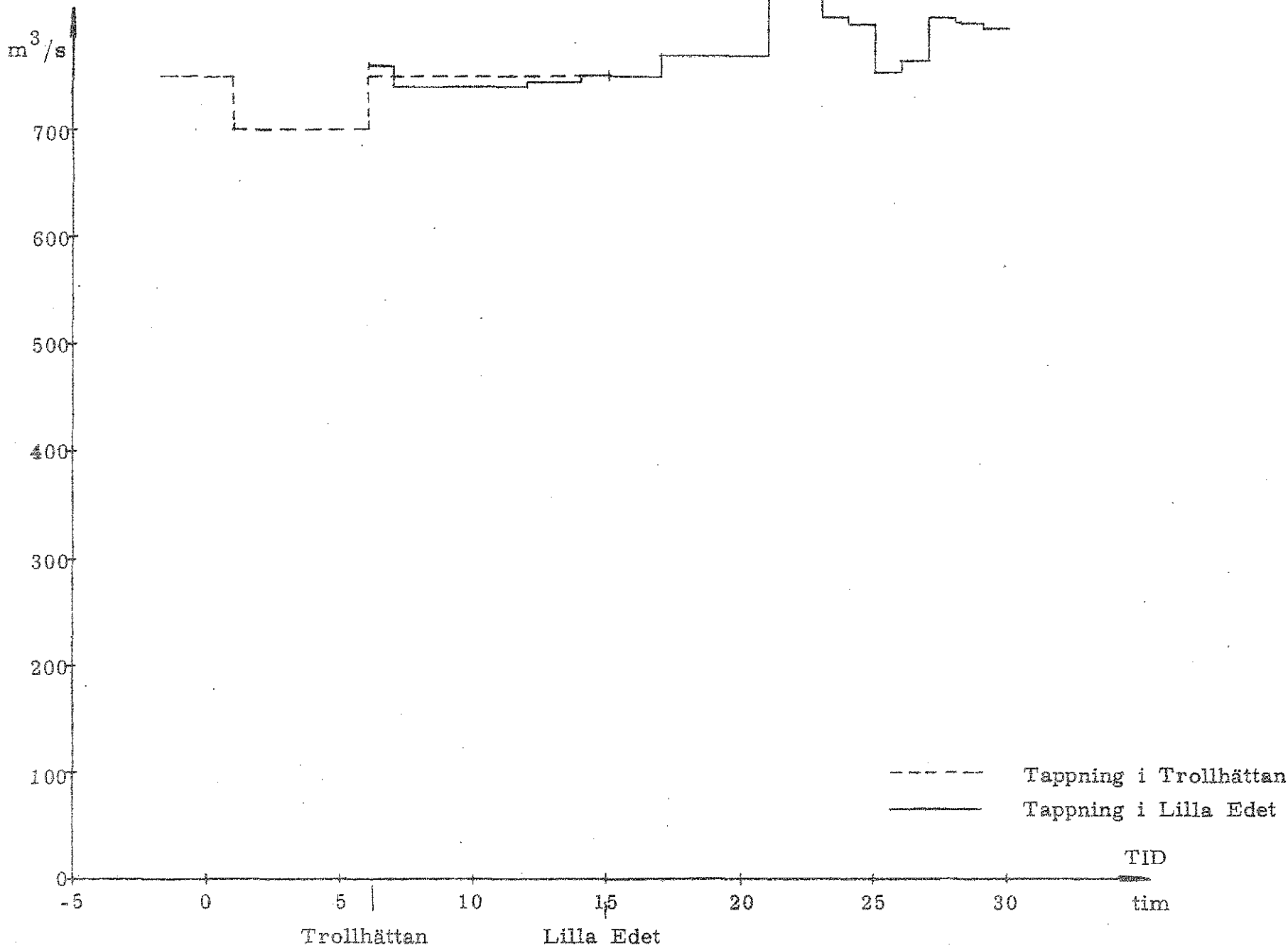


TAPPNING



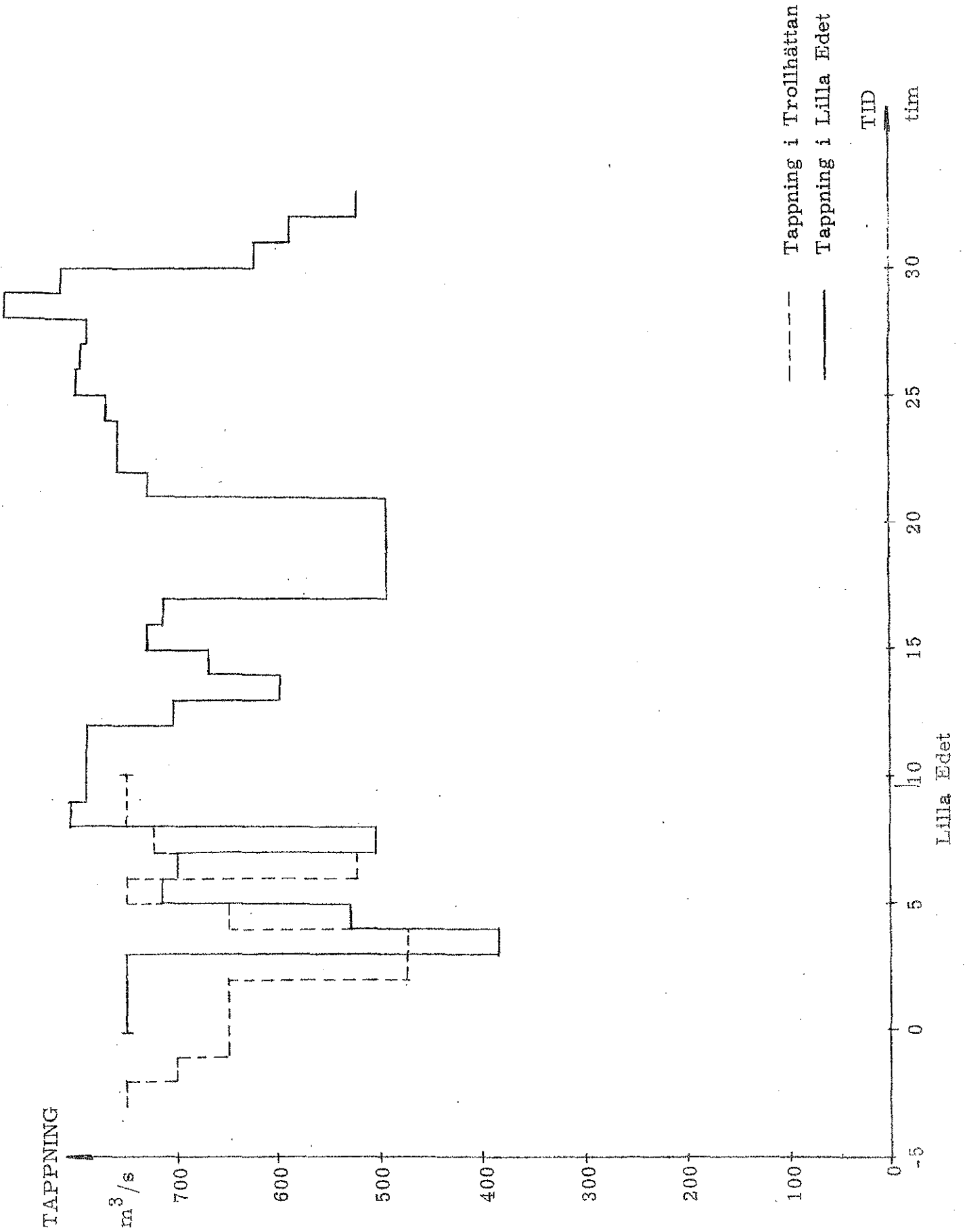
Vattentappning i Trollhättan resp Lilla Edet vid olika tidpunkter efter dosering.
Försök I.

TAPPNING



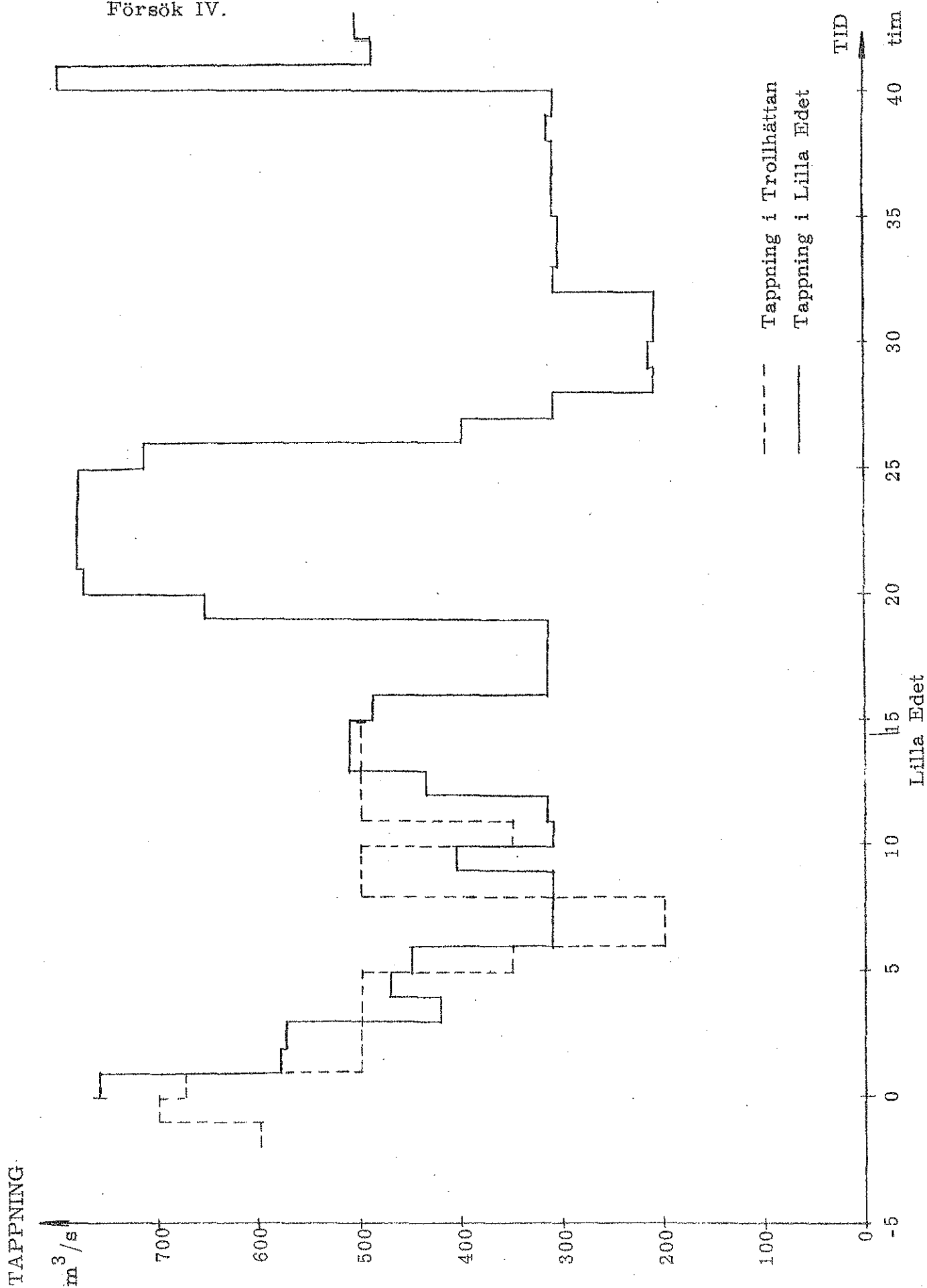
Vattentappning i Trollhättan resp Lilla Edet vid olika tidpunkter efter dosering.
Försök II.

Vattentappning i Trollhättan resp Lilla Edet vid olika tidpunkter efter dosering.
Försök III.



Vattentappning i Trollhättan resp Lilla Edet vid olika tidpunkter efter dosering.

Försök IV.



Medelhastighet i hela älv-
sektionen längs älven.

MEDELHASTIGHET

m/s

1,4
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0

0 10 20 30 40 50 60 70 · 10³ meter

KOORDINAT

Trollhättan

Lilla Edet

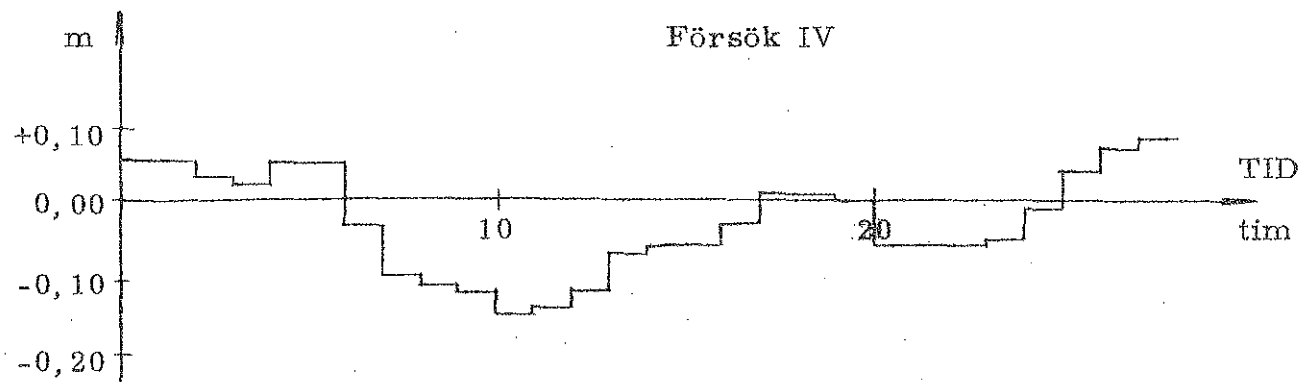
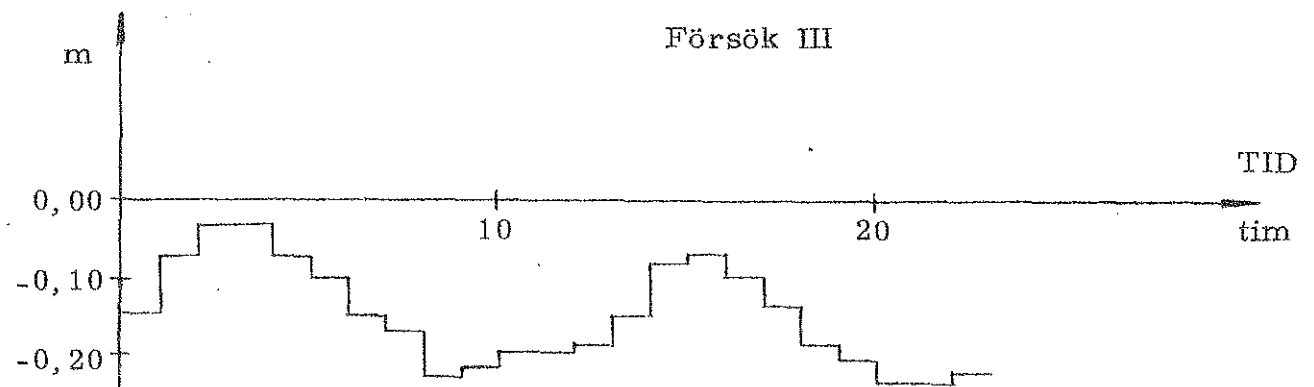
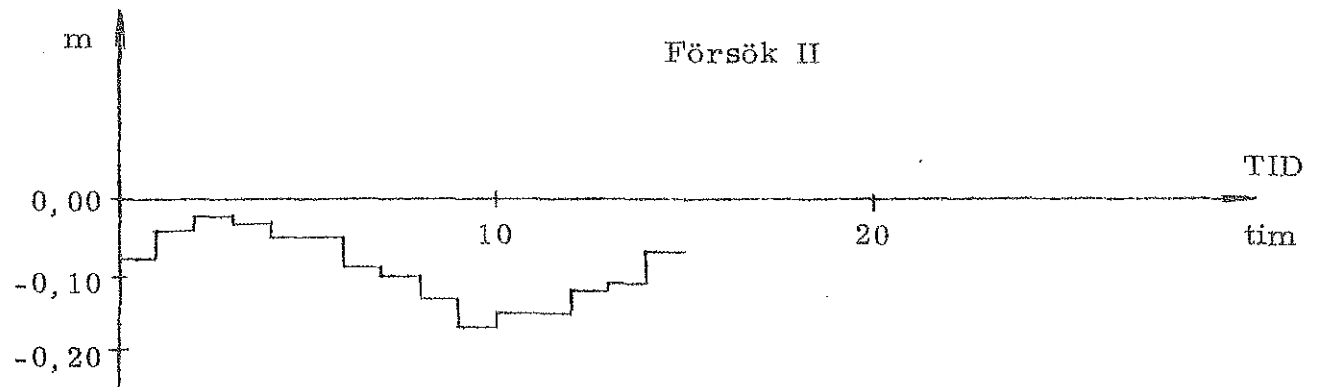
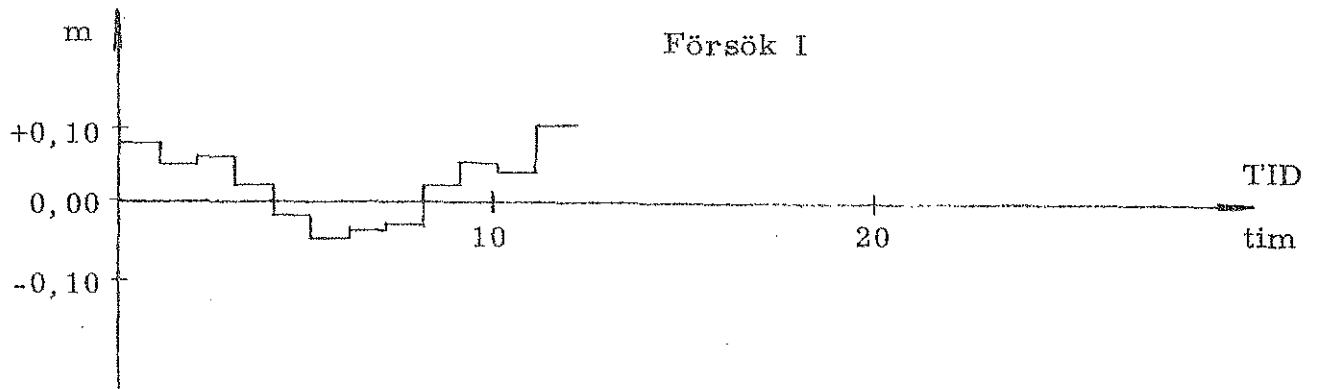
Kungälv

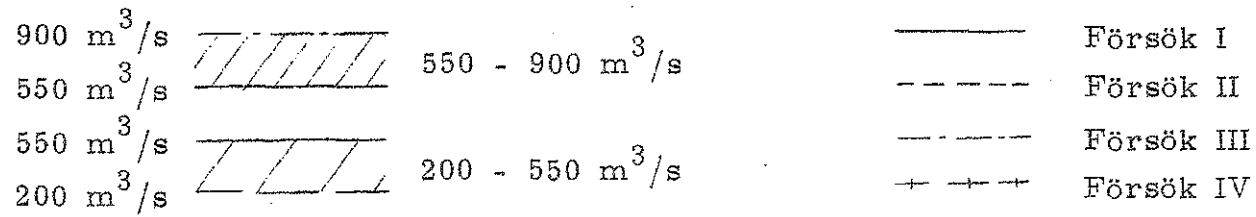
Alelyckan

- Försök I
- - - Försök II
- · - Försök III
- + - Försök IV

Vattenståndsvariation i havet då rhodaminmolnet passerat Lilla Edet.
Uppgifter erhållna ifrån Göteborgs Hamn.

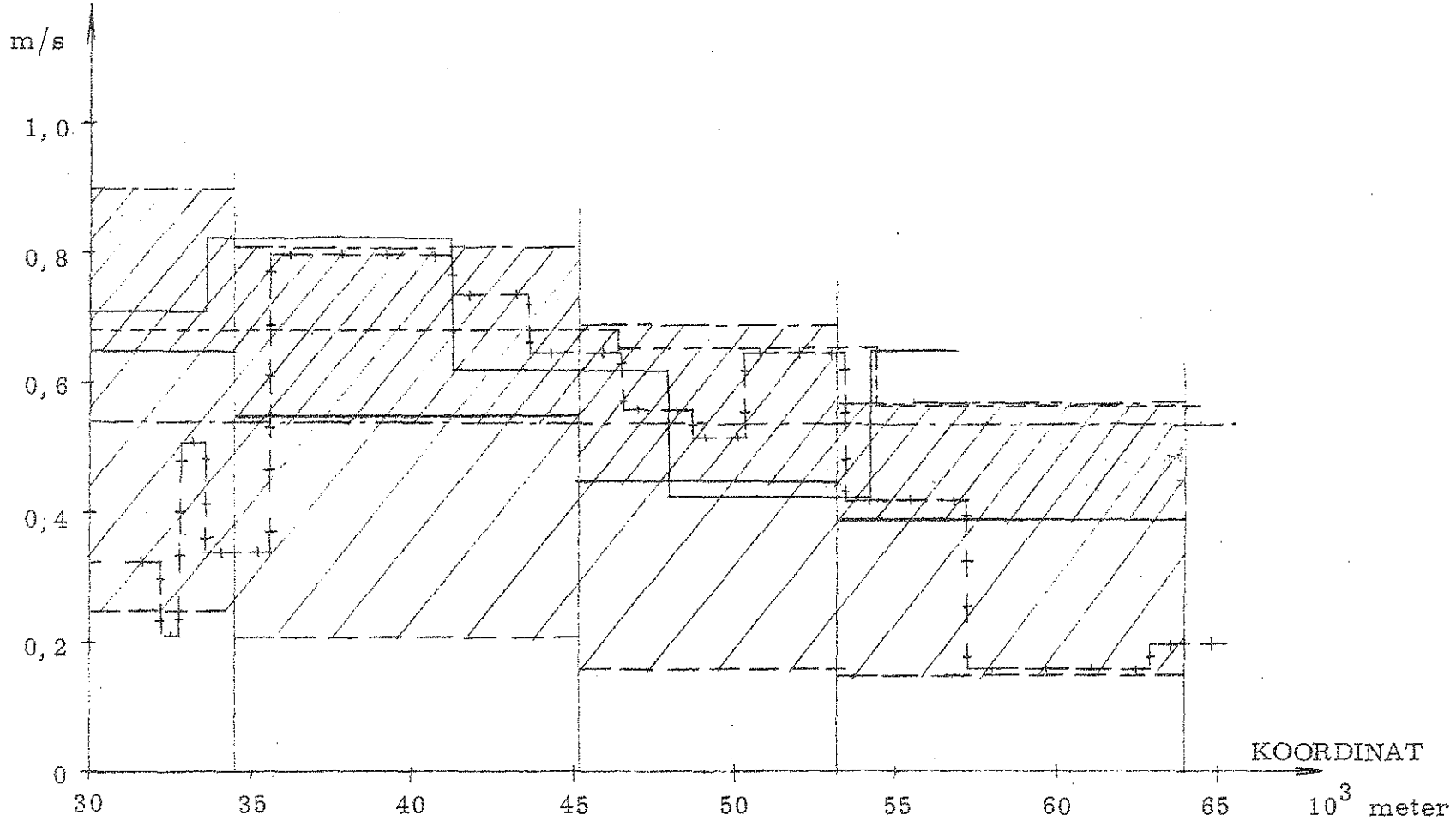
VATTENSTÅND





tidigare undersökning.

MEDELHASTIGHET



Lilla Edet

Röda Berget

Bäckholmens s:a udde

Tjurholmens s:a udde

Kungälv

Egna medelhastigheter jämförda med tidigare undersökning utförd av Vattenvårdsförbundet.

9. UTVÄRDERINGSMETODER

9.1 Allmänt

Beräkning av dispersionskoefficienter utgående från spårämnesmätningar kan utföras på olika sätt. Här redovisas tre olika metoder. Ur uppritade kurvor, vilka visar registrerad koncentration som funktion av längdkoordinaten, framräknas variansen σ^2 på två olika sätt. I metod A fås variansen av en ur kurvorna direkt uppmätt standardavvikelse. Metod B är mer exakt, där framräknas standardavvikelsen numeriskt.

Standardavvikelsen får för en ideal normalfördelad kurva samma värde med båda metoderna, Om "koncentrationskurvan" har en mycket markerad topp blir variansen i metod A mindre än i metod B. Motsatt gäller om toppen är bred i förhållande till molnets totala utbredning (längd).

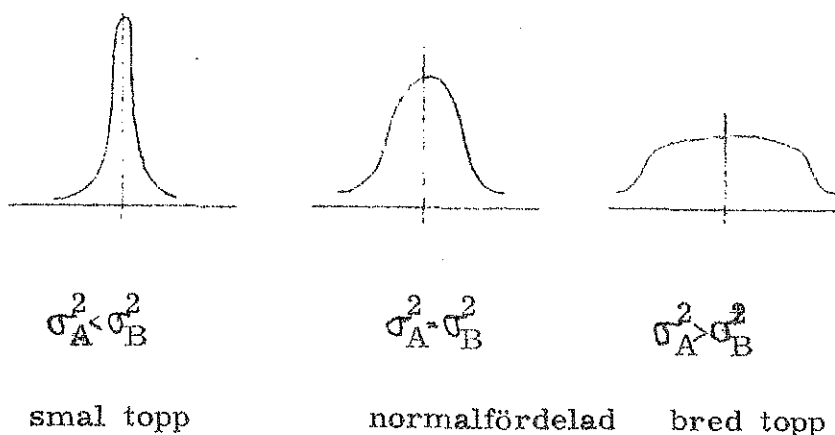


Fig 9:1 Olika utseende på koncentrationsfördelningskurvan.

I metod C utnyttjas endast spårämnesfördelningens maximalkoncentration för beräkning av dispersionskoefficienten.

9.2 Beräkning av variansen σ^2 enligt metod A

Beräkning av standardavvikelse utgående från normalfördelningskurvan.

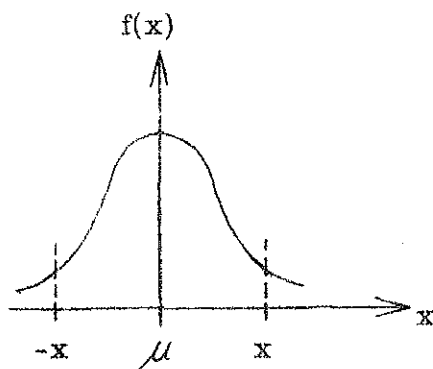


Fig 9:2 Normalfördelad kurva.

Med kurvan justerad så att max. punkten har x-koordinaten 0 ($\mu=0$) erhålles

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-x^2/2\sigma^2}$$

Kurvans funktionsvärde då $x = \sigma$ är

$$f(\sigma) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\sigma^2/2\sigma^2} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{1,65}$$

$$f(0) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^0 = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} = f_{\max}$$

$$\frac{f(\sigma)}{f_{\max}} = \frac{1}{1,65} = 0,607$$

Avståndet mellan de båda punkter på kurvan, där funktionsvärdet är 0,607 av maxvärdet, är således 2σ .

9.3 Beräkning av variansen σ^2 enligt metod B

Exakt beräkning av variansen σ för en godtycklig kurva.

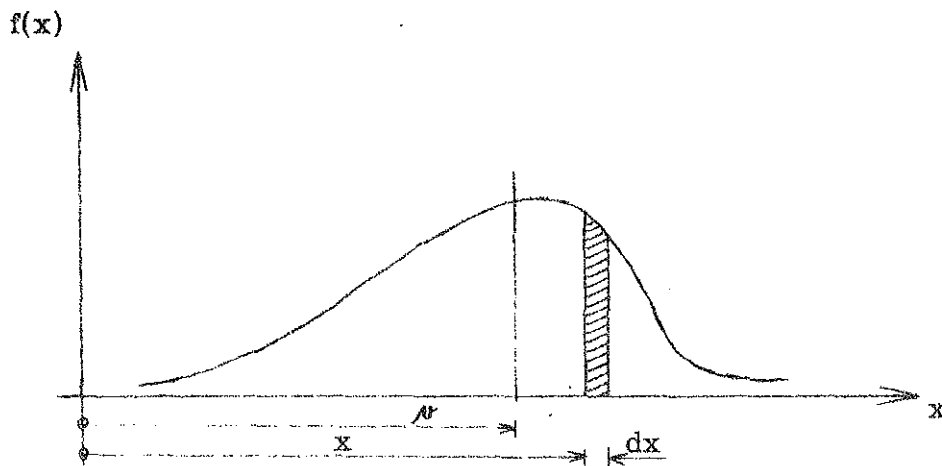


Fig 9:3 Godtycklig koncentrationsfördelningskurva.

För ytan till vänster om punkten $x = \mu$ gäller

$$Y_V = \int f(x) \cdot dx \quad \text{då } x < \mu$$

och till höger

$$Y_H = \int f(x) dx \quad \text{då } x > \mu$$

Då $x = \mu$ gäller att summan $\int (x - \mu)^2 \cdot f(x) \cdot dx$ för de båda ytorna Y_V och Y_H skall vara lika.

Variansen fås ur uttrycket

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{N_1}^{N_2} (x - \mu)^2 \cdot f(x) \cdot dx}{A}$$

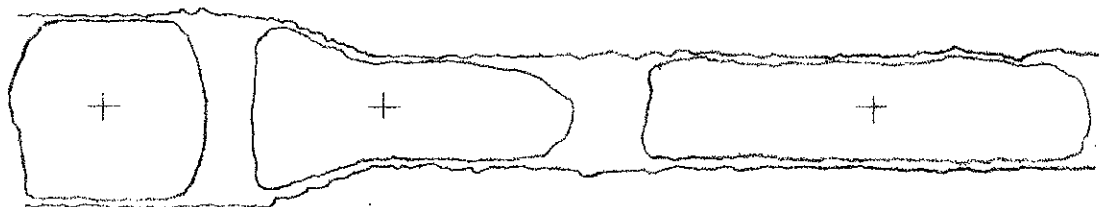
där A är totala ytan under kurvan. För ytterligare information se /14/.

9.4 Korrigerad av variansen σ^2 i metod A och B

Tidigare angiven formel (kap 2.2) för beräkning av dispersionskoefficienten gäller endast om älvens tvärsnittsarea är konstant.

Vid en förträngning i älvsektionen kommer rodaminmolnet att förlängas liksom det vid en ökning kommer att tryckas ihop. Se fig 9:4.

utbredning



koncentration

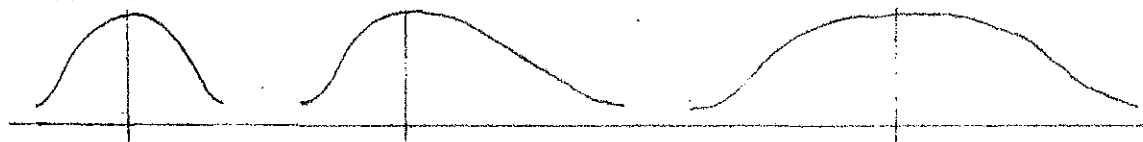


Fig 9:4 Förändring av spårämnesmolnet vid en förträngning av älvsektionen.

I figuren ovan framgår att ett moln kan vara snedfördelat på grund av en ändring av sektionen likväl som av svanseffekten. En ökning av sektionen ger en spegelbild av figuren ovan. Vid utvärdering av dispersionskoefficienten måste således hänsyn tas till eventuella förändringar av tvärsnittsarean. Detta gäller speciellt när molnet har liten utsträckning i längsled.

Korrigerig

Tvärsektionsarean $A_s = 1\,000\text{ m}^2$ är en ansatt medelarea och användes som "enhetsarea". Den beräknade standardavvikelsen korrigeras med hänsyn till aktuell medelarea inom molnets utbredning. Denna omräkning medför att samtliga kurvors standardavvikelse kommer att gälla för en konstant älvsektion på $1\,000\text{ m}^2$.

Då fås

$$\sigma' = \frac{A_v}{A_s} \cdot \sigma \quad \dots(1)$$

σ = Aktuell standardavvikelse (beräknad, uppmätt)

A_v = " medelarea

A_s = Enhetsarean 1 000 m²

σ' = Korrigerad standardavvikelse.

Ekvationen uttrycker ett kontinuitetssamband.

Korrigerad varians blir

$$\sigma'^2 = \left(\frac{A_v}{A_s} \sigma \right)^2 \quad \dots(2)$$

Vid en förgrening fås

$$\sigma' = \frac{A_{v1} \cdot \sigma_1 + A_{v2} \cdot \sigma_2}{A_s} \quad \dots(3)$$

A_{v1} = Sektionsarea i gren 1

A_{v2} = " " " 2

σ_1 = Standardavvikelse för gren 1

σ_2 = " " " 2

Vid samma hastighet i båda grenarna gäller att $\sigma_1 = \sigma_2$

detta ger

$$\sigma' = \frac{A_{v1} + A_{v2}}{A_s} \cdot \sigma \quad \dots(4)$$

9.5 Beräkning av dispersionskoefficienten med σ^2 från metod A och metod B

Enl. kap 2.2 gäller att dispersionskoefficienten D kan beräknas utgående från variansen för koncentrationsfördelningen utmed älven.

$$D = \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial}{\partial t} \sigma_x^2$$

Utvärderingen sker enklast genom att i ett diagram avsätta σ_x^2 som funktion av flyttiden. Enligt teorin skall mätpunkterna bilda en rät linje. Sambandet kan se ut såsom nedanstående figur visar.

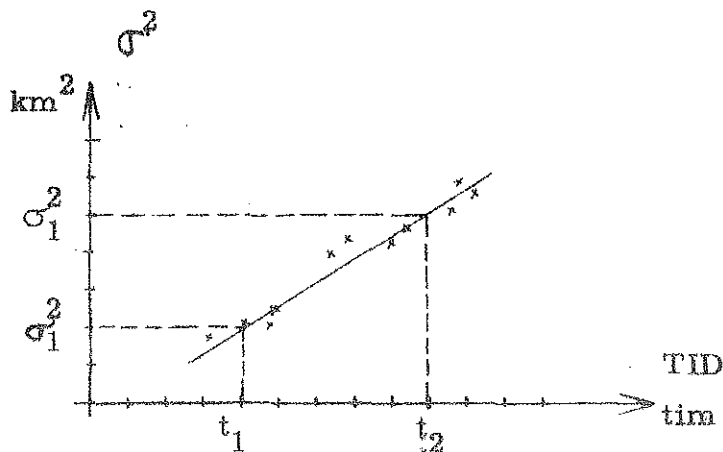


Fig 9:5 Utvärdering av dispersionskoefficient.

Dispersionskoefficienten D fås härur till

$$D = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_2^2 - \sigma_1^2}{t_2 - t_1}$$

9.6 Beräkning av dispersionskoefficienten med metod C

Om man antar att älvens tvärsnittsarea ej varierar, kan man skriva:

$$C_{\max} = \frac{M}{A \sqrt{4\pi Dt}}$$

- a. Som A ansättes medelarean, A_m , från doseringspunkten till Kungälv. D antages konstant

$$C_{\max} = \frac{M}{A_m \sqrt{4\pi Dt}}$$

$$C_{\max} = \frac{M}{A_m \sqrt{4\pi D}} \cdot t^{-\frac{1}{2}}$$

$$\log C_{\max} = \log \frac{M}{A_m \sqrt{4\pi D}} - \frac{1}{2} \log t$$

Om C_{\max} ansättes mot t i ett log-log diagram skall en rät linje i lutning 1:2 erhållas. Ur diagrammet fås då $\frac{M}{A_m \sqrt{4\pi D}}$ varur sedan D erhålles.

- b. För varje C_{\max} ansättes en medelarea, A_{mn} från doseringspunkten till den punkt där C_{\max} mätes.

$$C_{\max} = \frac{M}{A_{mn} \sqrt{4\pi Dt}}$$

Enligt dispersionsteorin kan dessutom följande ansats göras:

$$D = k_1 \cdot u_* \cdot B = k_1 \cdot k_2 \cdot u \cdot B$$

I ekvationerna ovan är:

k_2 = råhetstal, k_1 = konstant

A = medelarean

B = medelbredden

M = doserad mängd rodamin

t = tid från dosering

u = medelhastigheten

Omskrivning ger

$$C_{\max} = \frac{M}{A \sqrt{4\pi k_1 \cdot k_2 \cdot u \cdot B}} \cdot t^{-\frac{1}{2}}$$

$$C_{\max} = \frac{M}{A \sqrt{uB} \cdot \sqrt{4 \pi \cdot k_1 \cdot k_2}} \cdot t^{-\frac{1}{2}} = \frac{K}{A \sqrt{uB}} \cdot t^{-\frac{1}{2}}$$

logaritmering ger

$$\log C_{\max} + \log A \sqrt{u \cdot B} = \log K + \log t^{-\frac{1}{2}} = \log K - \frac{1}{2} \log t$$

Om nu parametern $C_{\max} A \sqrt{u \cdot B}$ avsättes mot tiden, t , i ett log-log diagram skall en rät linje i lutning 1:2 erhållas. Ur diagrammen kan då K beräknas. Med hjälp av k_2 , M och K erhålles k_1 och slutligen med hjälp av k_1 , k_2 , u och B erhålles D .

k_2 kan bestämmas ur formeln

$$u_* = k_2 \cdot u \quad ; \quad k_2 = \frac{u_*}{u}$$

Friktionshastigheten, u_* definieras som

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$$

$$\text{där } \tau = \rho \cdot g \cdot R \cdot I = \rho \cdot g \cdot R \cdot \frac{u^2}{M^2 \cdot R^{3/4}}$$

M är Mannings tal

$$u_* = \frac{\rho \cdot g \cdot R \cdot u^2}{M^2 \cdot R^{4/3}} = u \cdot \sqrt{\frac{g}{M^2 \cdot R^{1/3}}}$$

$$\frac{u_*}{u} = \frac{1}{M} \cdot \sqrt{\frac{g}{R^{1/3}}}$$

Mannings tal kan beräknas utgående från älvens geometri, råhet m m enl Chow /11/. $M = \frac{1}{n}$ där $n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5 =$

$$= (0,020 + 0,010 + 0,010 + 0,050) \cdot 1,0 = 0,45$$

n_0 = basvärde för en rak, likformig, glatt ränna = 0,020

n_1 = korrektion för turbulens = 0,010

n_2 = korrektion för form och storlek av tvärsektionen = 0,010

$n_3 =$ korrektion för hinder = 0,000

$n_4 =$ korrektion för vegetation och strömning = 0,050

$m_5 =$ korrektion för slingrande lopp = 1,0

Hydrauliska radien sättes lika med djupet dvs 8 m

$$\frac{u_*}{u} = 0,045 \cdot \sqrt{\frac{9,81}{8^{1/3}}} = 0,10$$

dvs

$$k_2 = 0,10$$

Med hjälp av detta kan nu dispersionskoefficienten beräknas.

10. UTVÄRDERING AV RESULTAT

10. 1 Diskussion kring resultat av metod A och B

Uppmätt och beräknad varians, σ^2 , finns avsatt i diagram, bilaga 10:1 - 10:4. Inlagda linjer är visuellt anpassade till mätpunkterna.

Vid beräkning av nedan angivna värden har den i diagrammet hel-dragna medellinjen använts. De streckade linjerna anger möjliga men diskutabla lösningar.

I försök II är "medellinjen" kanske något osäker, då den riktas mot endast ett mätvärde i toppen av linjen.

För de fyra olika försöken fås följande värden på dispersionskoefficienten D ur bilaga 10:1 - 10:4.

Försök	D för medellinjen m^2/s	Medelvattenföring m^3/s	Flyttid Trollhättan- Nol. tim
I	133	650	24
II	139	750	19
III	40	675	22
IV	56	450	28

Vid försök I och II (dosering nedströms Holmens bruk) fås likartat utseende på diagrammen. Samma gäller för försök III och IV (dosering i Trollhättan). Dispersionskoefficienten fås till ungefär 135 resp 50 m^2/s .

Utseendet på linje 2 och 3 pekar genomgående på att dispersionskoefficienten förändras i eller nedanför Lilla Edet. Enligt visade diagram är det tänkbart att dispersionskoefficienten är lägre omedelbart nedströms Lilla Edet, för att sedan öka vid sektion 40 000 - 50 000 m. Denna ökning ligger troligen i senare delen av intervallet.

Ändringen av dispersionskoefficienten sker strax nedströms Lödöse.

Älven grenar där upp sig kring ett antal öar, samtidigt som tvärsnitts-

arean ökar och älvvattnets medelhastighet minskar. Sistnämnda förändring talar dock mot en minskning av D.

Vattendjupet uppströms Lilla Edet är 13-14 m medan det nedströms är endast ca 8 m. Det sker alltså ingen ändring av vattendjup just i ovan omtalade sektion.

Enligt bilaga 7:4 är tvärsnittsarean på sektion 30 000 - 50 000 m liten relativt övriga delen av älven. Den korrigerings som gjorts och beskrivits i kap 9.4 kanske ej är helt riktig vid så här stor skillnad. Korrigeringen "drar" ned funktionsvärdena. De skulle kanske ha legat närmare medellinjen. Vid kontrollen av rhodaminmängden pekar resultatet på att tvärsektionsarean kan vara för låg, se kap 7.2.

På grund av detta kan funktionsvärdena på denna del av försöket diskuteras vilket medför att man ej kan lita på den starka lutning (höga dispersionskoefficient) linje 2 har. Enligt linje 3 kan dispersionskoefficienten vara låg (ca 20 och 70 m²/s hos försök I resp II). Dessa värden är dock i samma storleksordning som medellinjens värden i försök III och IV.

Vattenföringen tycks ej tydligt påverka koefficientens storlek. Försök IV ger visserligen en låg siffra $D=56 \text{ km}^2/\text{s}$ under det att medelvattenföringen är låg (450 m³/s): Försök I, II och III tyder ej på något samband dispersionskoefficient - medelvattenföring.

Det som skiljer försöken åt är att försök I och II passerar kraftverket i Trollhättan. Vid Stallbacka utvidgas älven, vilket kan ge molnet en fördröjning och en förlängning. Här vet man dock ej huruvida molnet följer strömfåran väl, eller om det blandas ut i utvidgningen. Trots dessa bägge faktorer har försök I och II under resten av försöket samma höga dispersionskoefficient. I försök I och II skulle kurvan kunna ha en brytpunkt i Trollhättan för att sedan ha samma lutning som försök III och IV.

10.2 Diskussion kring resultat av metod C

För utvärdering av dispersionskoefficienten har till mätpunkterna anpassats en rät linje i lutning 1:2 enligt diagram, bilaga 10:4 - 10:8.

Försök I och II faller särskilt väl längs en rät linje.

Bestämningen av medelvärdet på dispersionskoefficienten i de olika försöken utföll enligt nedan, bilaga 10:9 - 10:16.

a.	Försök I	94	
	" II	107	$37 < D < 107$
	" III	37	
	" IV	47	
b.	Försök I	99	
	" II	111	$32 < D < 111$
	" III	32	
	" IV	45	

Den enklare metoden använd i a) ger som synes likvärdiga resultat med b).

Enligt Fischer skall

$$50 < D/Ru_* < 700$$

I vårt fall är

$$R \cdot u_* = 0,72 \text{ m}^2/\text{s}$$

dvs vi får för våra mätningar

$$45 < D/Ru_* < 150$$

Vid de två första försöken med dosering nedanför Holmens bruk erhöles likartat utseende på kurvorna, bilaga 10:9, 13 och bilaga 10:10, 14 och ungefär samma dispersionskoefficient.

De två sista försöken ger ej samma entydiga resultat. Huvuddelen av mätningarna ger en kurva med lutning 1:2 och dispersionskoefficienter av samma storleksordning. I början erhålles dock en kurva med lutning 3:4. Detta indikerar ett något annorlunda utseende på formeln

$C_{\max} = \frac{M}{A \sqrt{4 \pi \cdot D \cdot t}}$. Faktorn $t^{\frac{1}{2}}$ förändras till $t^{-\frac{3}{2}}$ dvs koncentrationen avtar snabbare i början. Detta kan bero på att blandningen ej är homogen i vertikal- och lateralled.

Ett närmare studium av djupprofilerna visar att inblandningen i försök IV tar längre tid än försök III.

Vid försök III bestämdes dispersionskoefficienten i Göteborgsgrenen av Göta Älv till $550 \text{ m}^2/\text{s}$ vilket motsvaras av $D/Ru_* = 750$. Dessa värden är dock mycket osäkra och ytterligare mätningar bör utföras för noggrannare bestämning.

10.3 Jämförelse av metoder

Bilaga 10:17 -10:33 visar försökens längd-koncentrationsfördelningskurvor.

Om svansen på molnet blir utdragen, fås ett mycket högt värde på variansen i metod B relativt metod A. Samma förhållande gäller om koncentrationsfördelningskurvan ligger för högt (fluorometern ej nollställd).

Metod A och B ger mer spridning på mätvärdena än metod C. Det kan alltså vara svårare att bestämma dispersionskoefficienten enligt A och B. Metod C ger däremot ett ganska entydigt resultat och blir då lätt att utvärdera. Förutsättningen är dock att den använda formeln är riktig, vilket i en del fall kan betvivlas. Metod C kräver också bestämning av fler parametrar i älven än A och B och är alltså något krångligare.

Metod A, B och C ger vid approximativa bestämningar av utspädning säkert ett bra medelvärde och kan alltså ge en indikation på faran vid ett utsläpp.

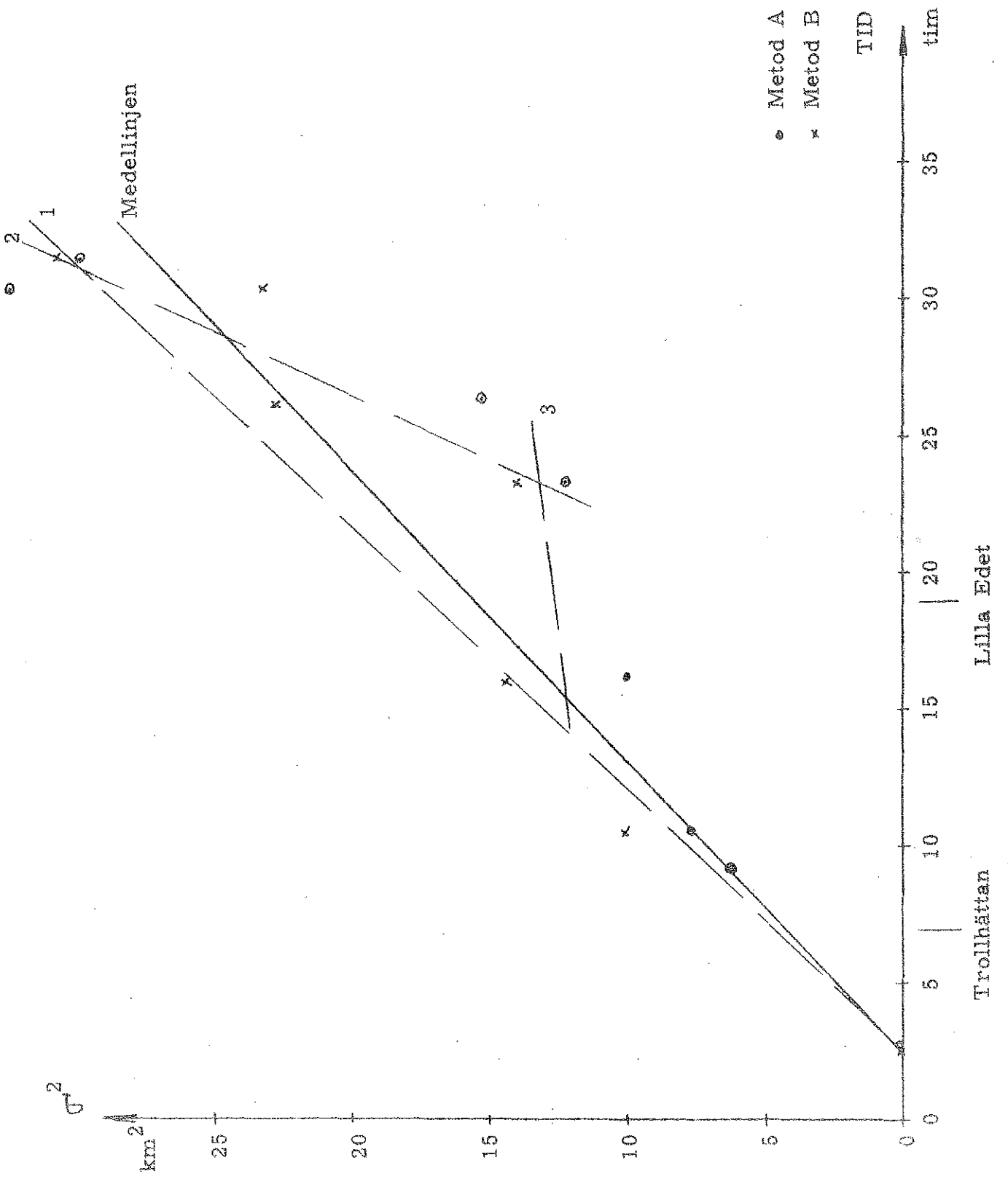
Försök	D (A och B) m^2/s	D (C) m^2/s	$\frac{D(\text{A och B})}{D(\text{C})}$
I	133	94	1,41
II	139	107	1,42
III	40	37	1,08
IV	56	47	1,20

I försök I och II ger metod (A och B) ca 40 % högre värden än metod C.

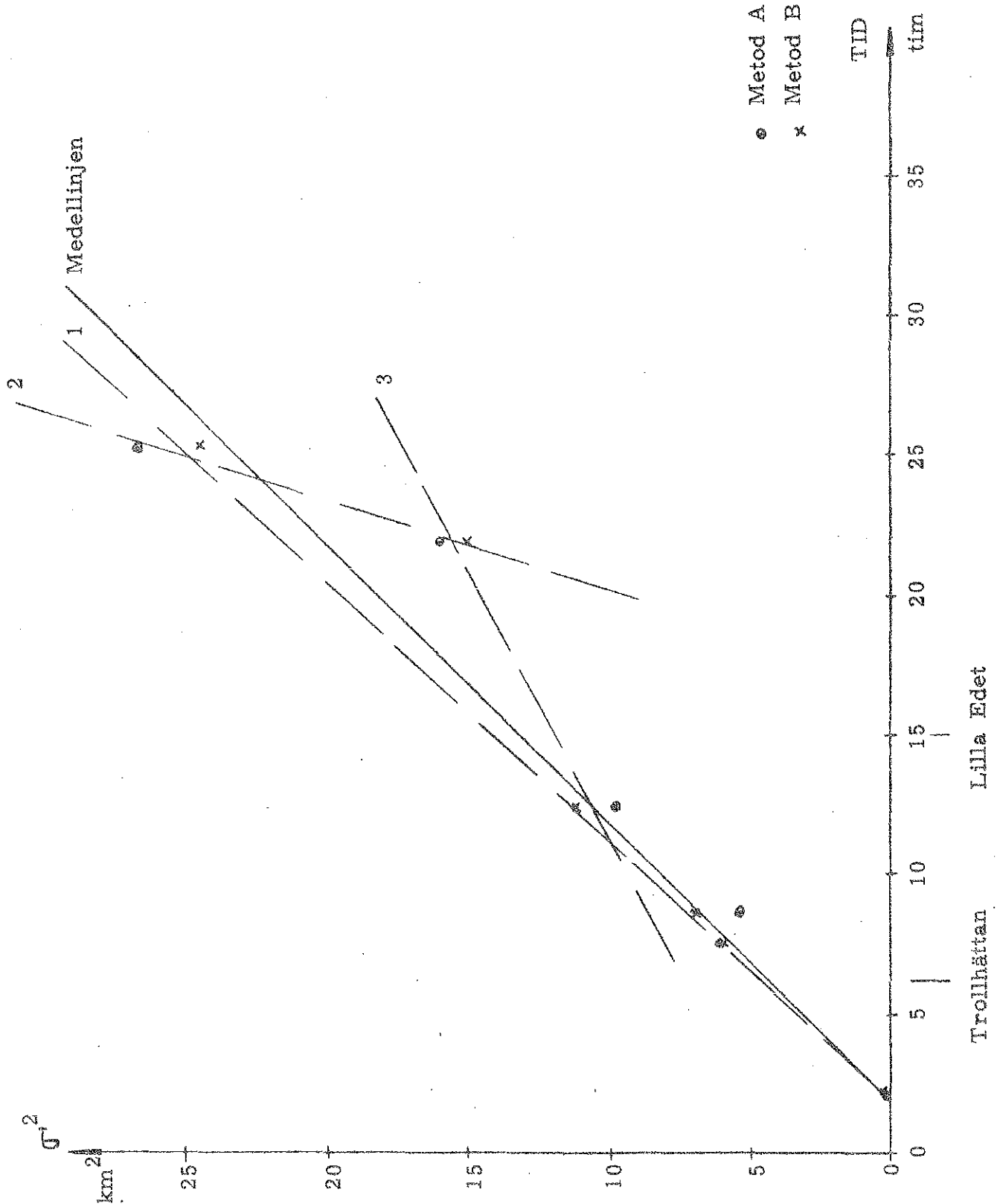
I försök III och IV är skillnaden 10-20 %.

Detta kan bero på att linjens läge i försök III och IV (bilaga 10:11, 12 och 15, 16) är svårare att bestämma än i I och II. En låg inplacering ger ett högt värde på D.

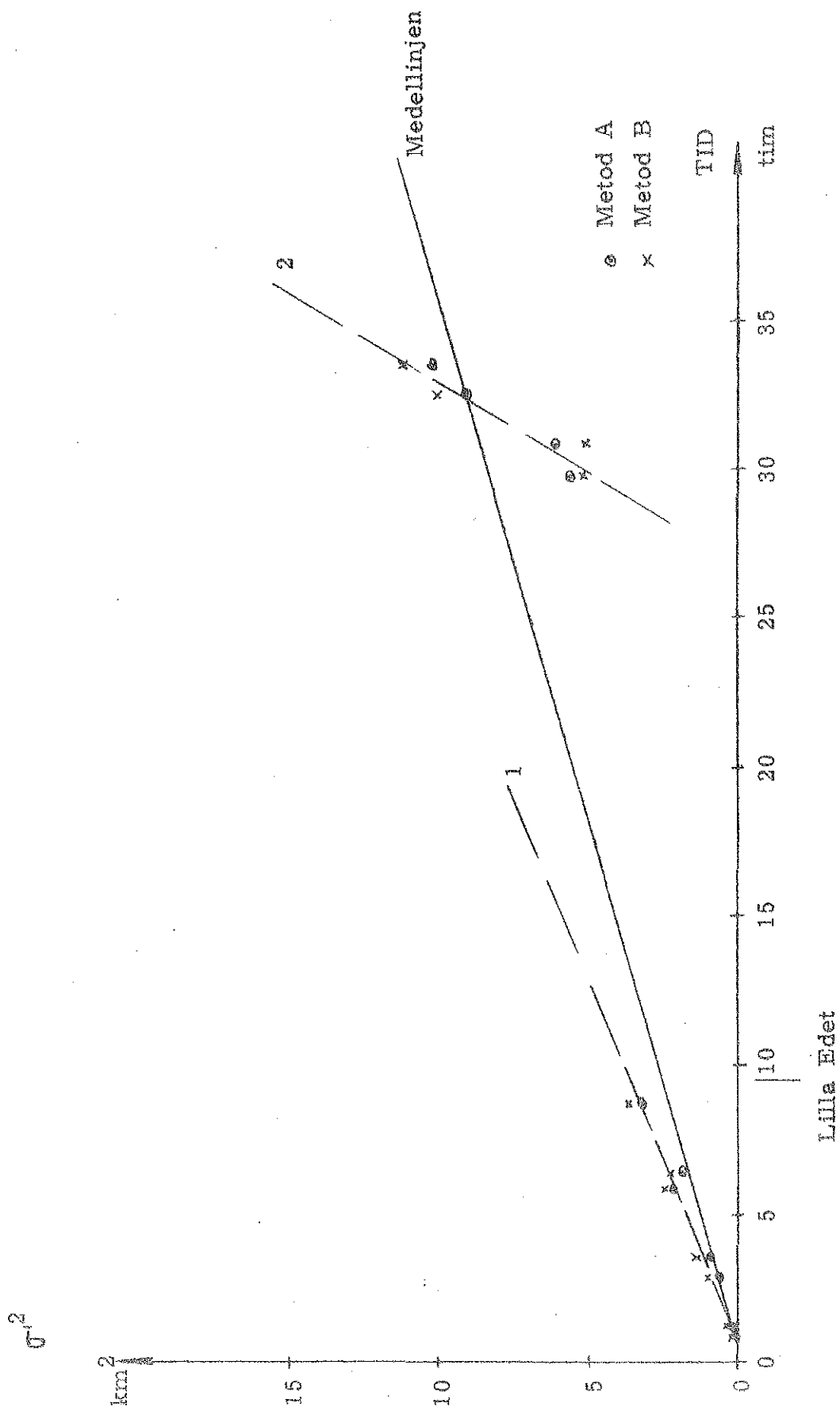
Uppmätt och beräknad varians, σ^2 , som funktion av tiden. Försök I.
Linjernas numrering anger olika alternativ.



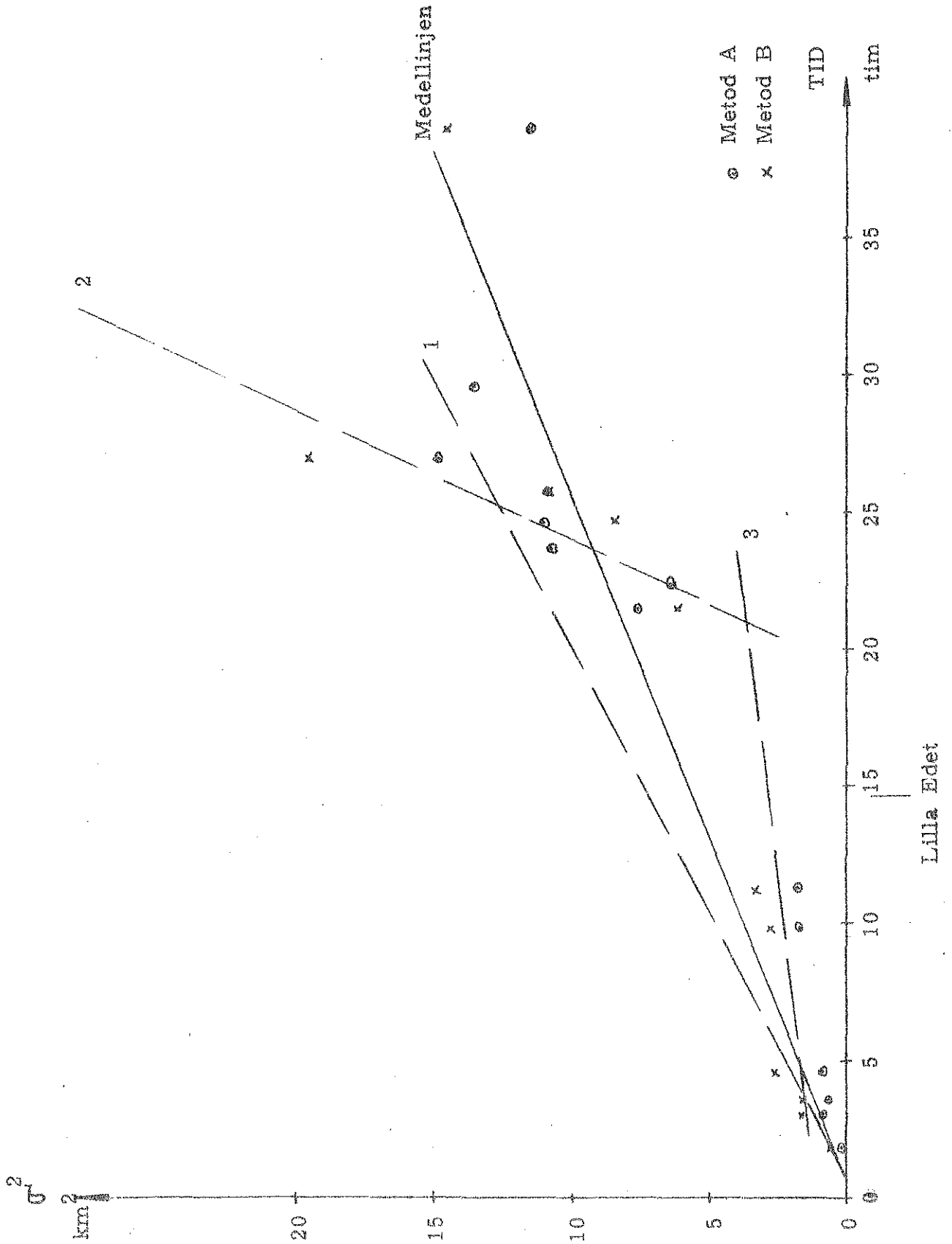
Uppmätt och beräknad varians, σ^2 , som funktion av tiden. Försök II.
 Linjernas numrering anger olika alternativ.



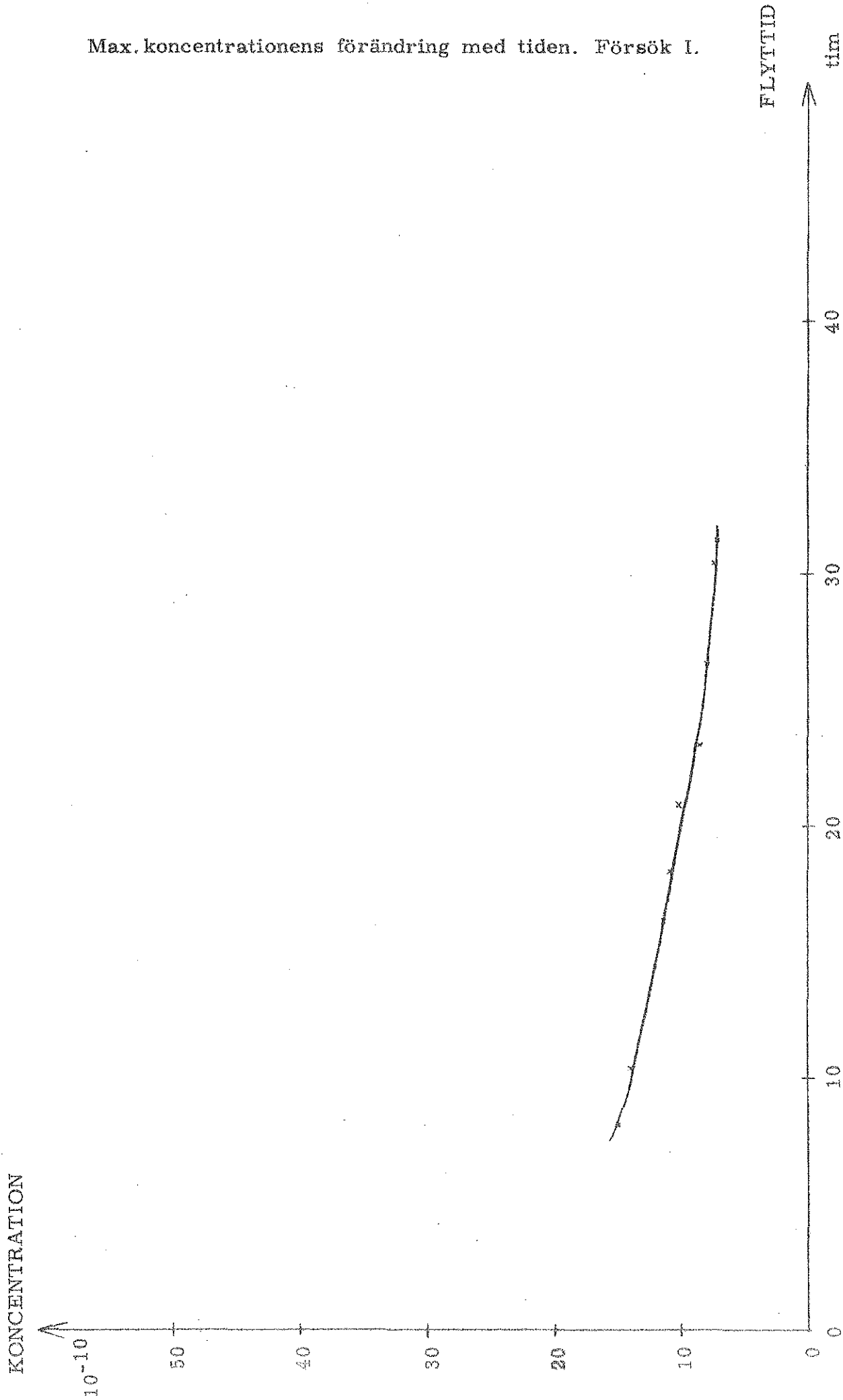
Uppmätt och beräknad varians, σ^2 , som funktion av tiden. Försök III.
Linjernas numrering anger olika alternativ.



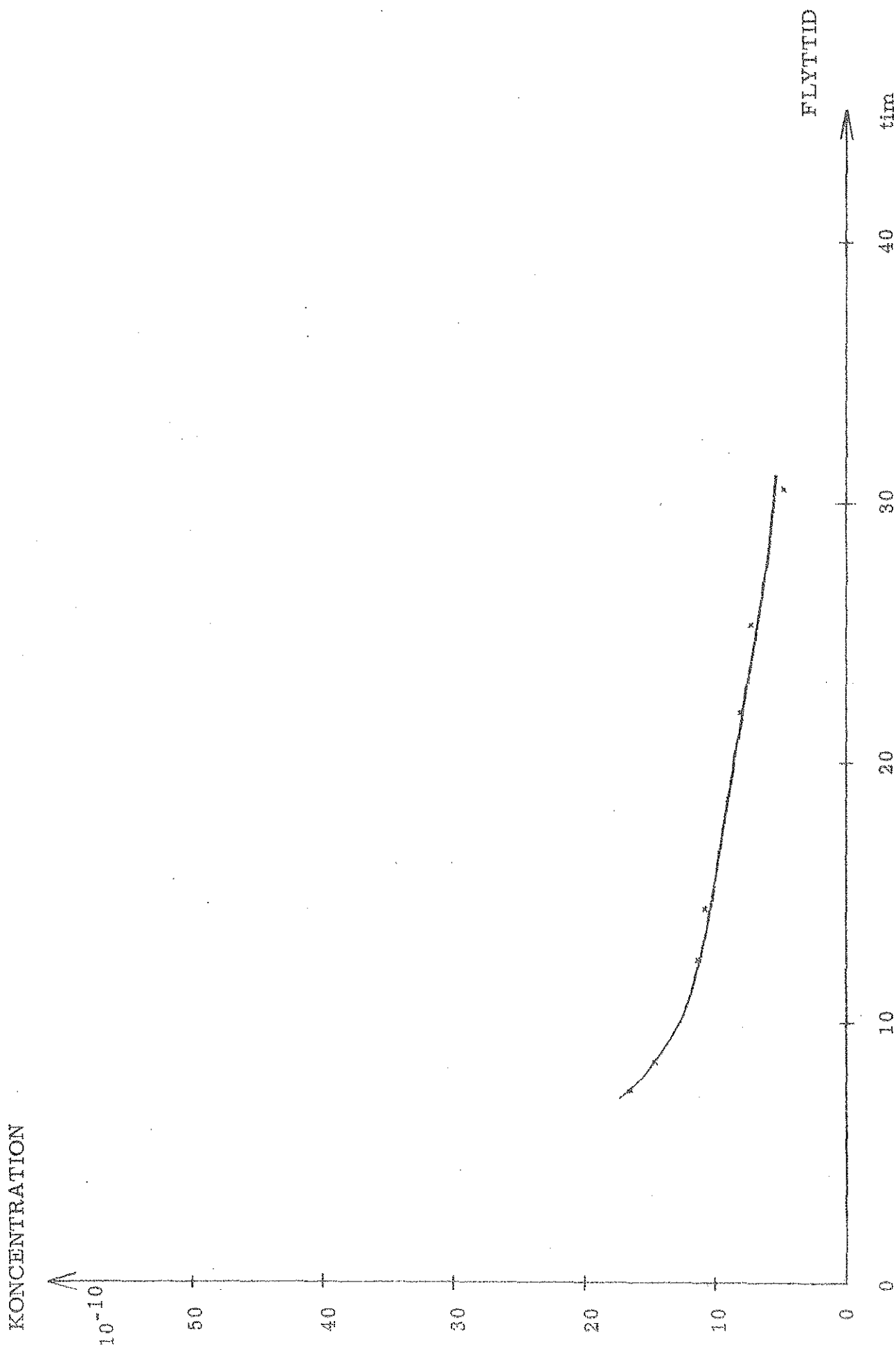
Uppmätt och beräknad varians, σ^2 , som funktion av tiden. Försök IV.
Linjernas numrering anger olika alternativ.



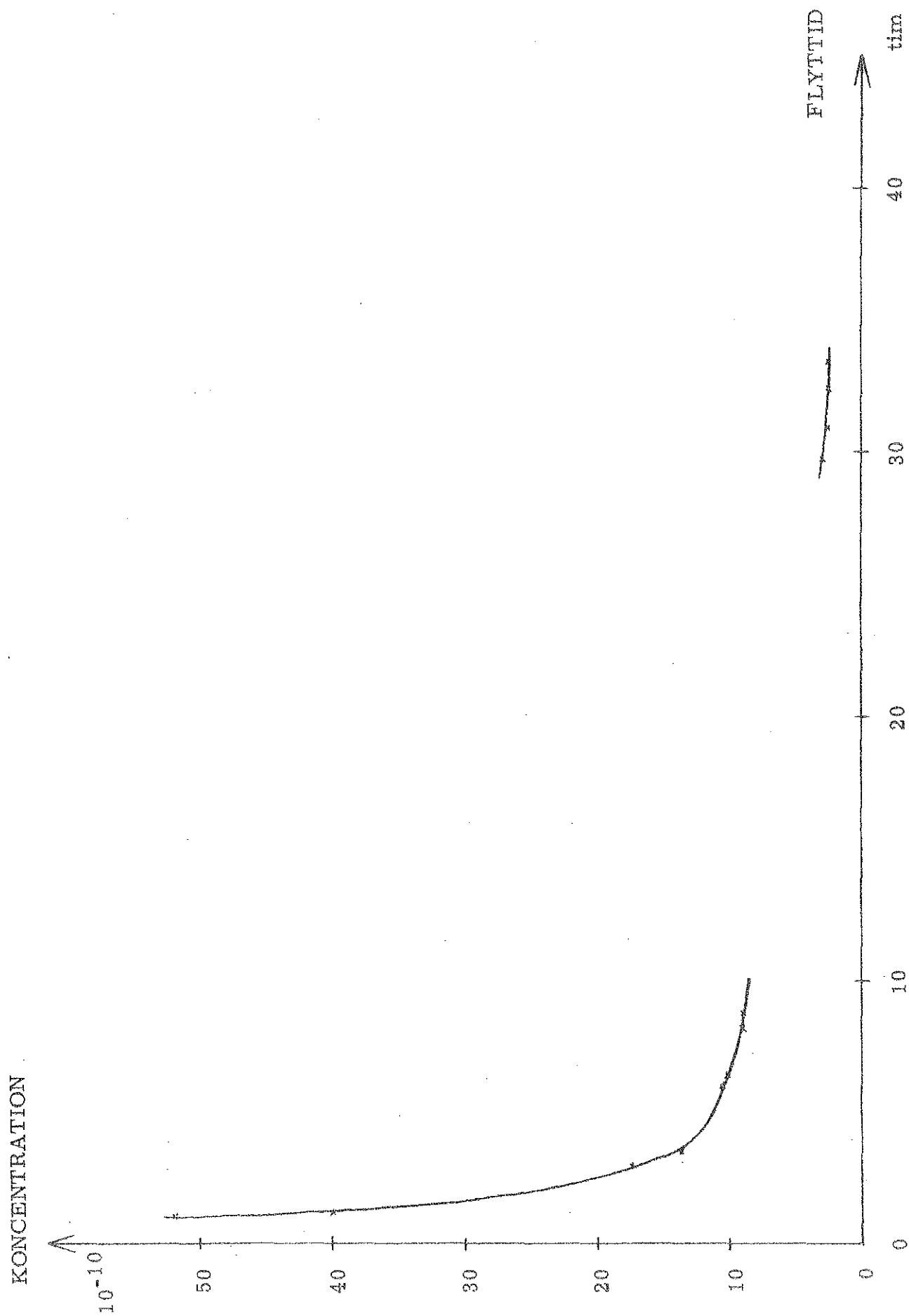
Max. koncentrationens förändring med tiden. Försök I.



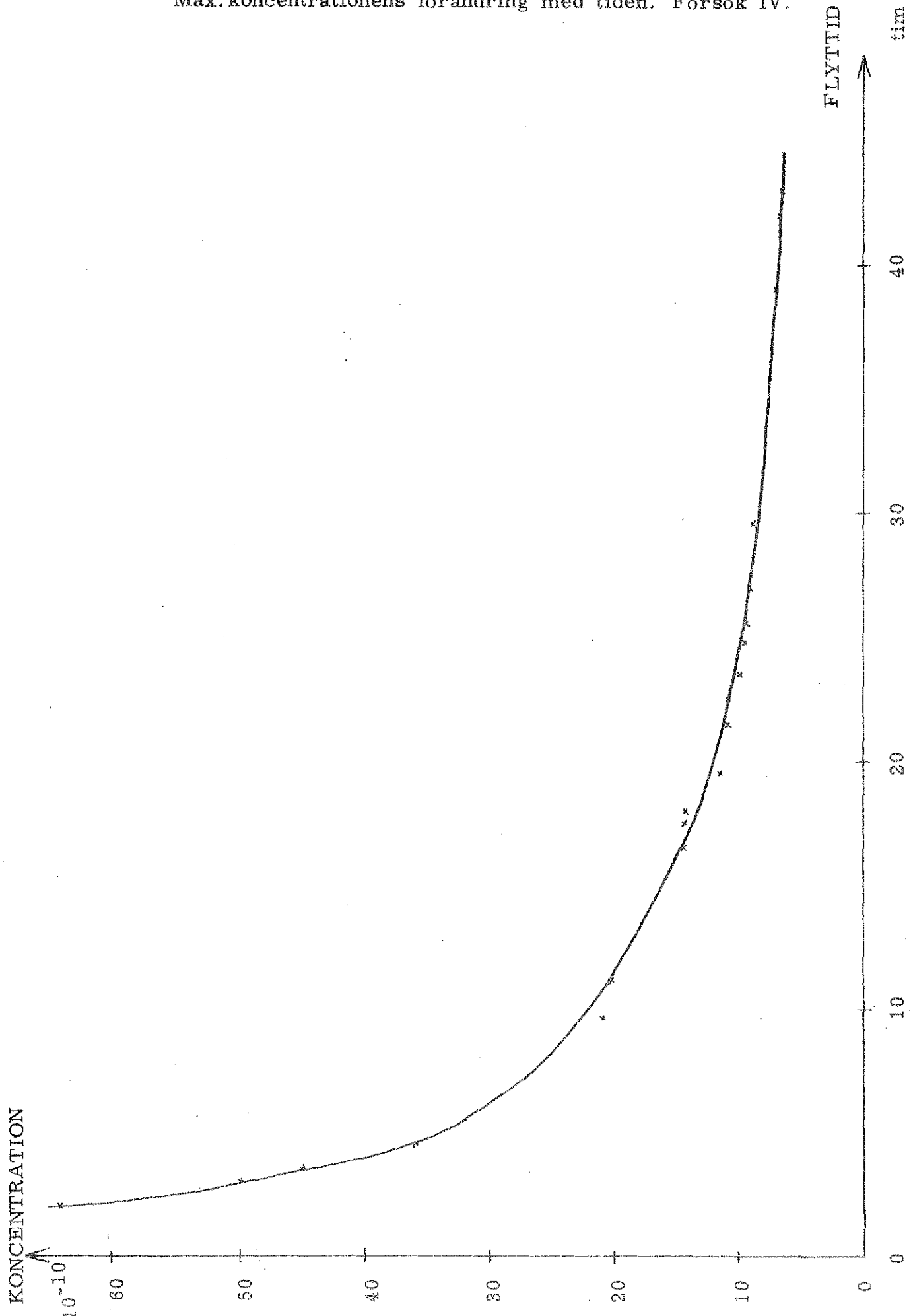
Max.koncentrationens förändring med tiden. Försök II.



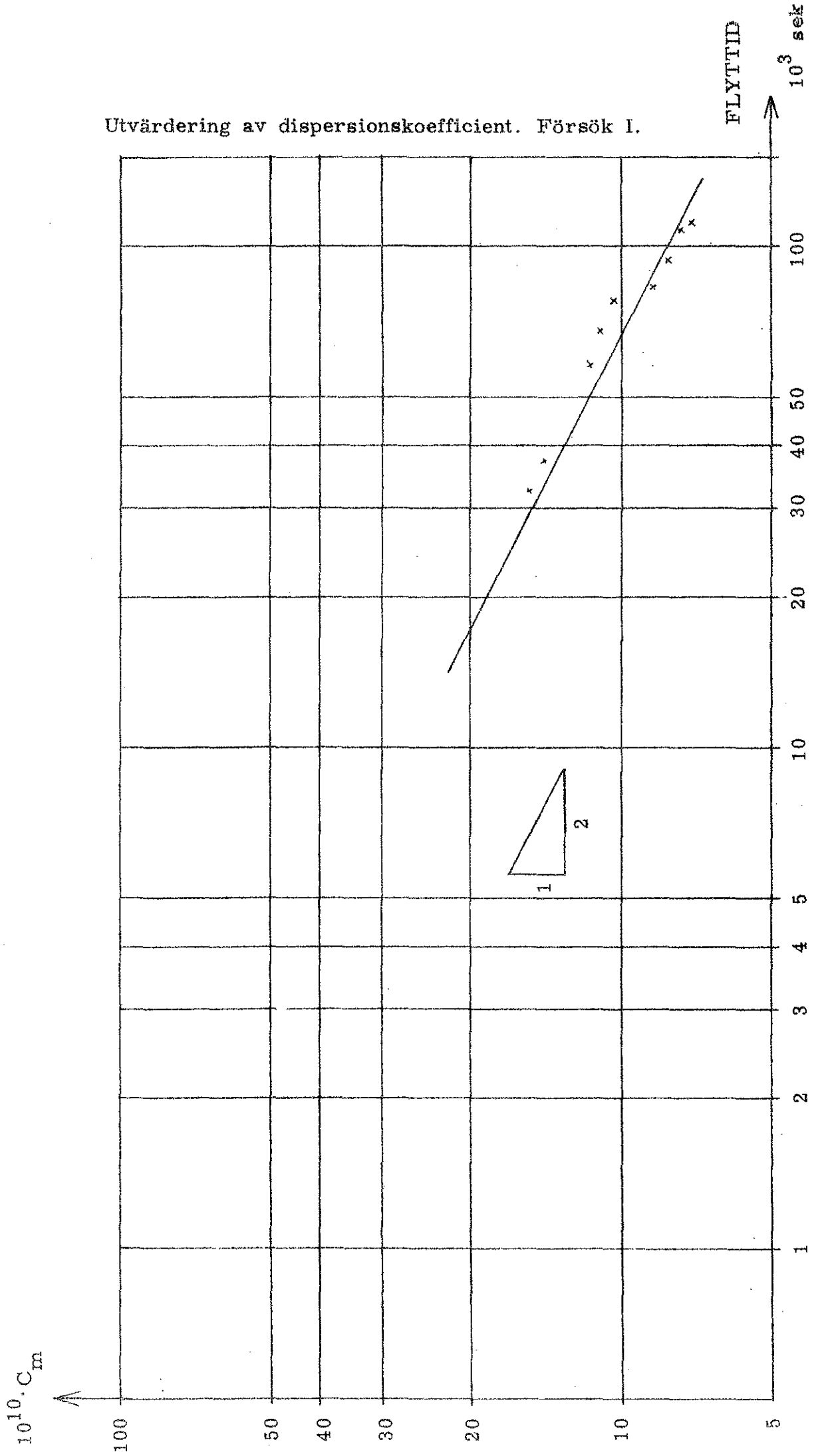
Max.koncentrationens förändring med tiden. Försök III.



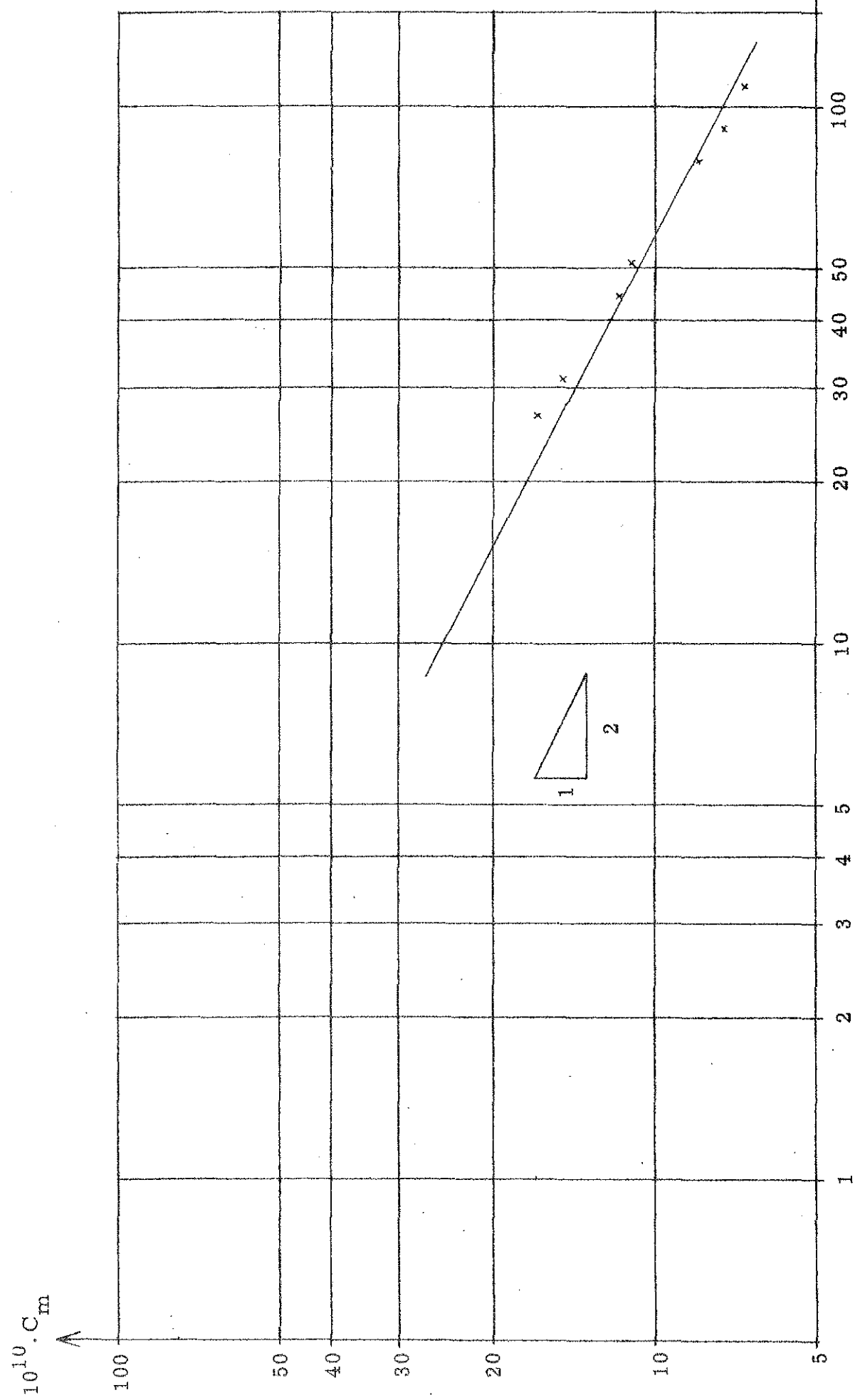
Max.koncentrationens förändring med tiden. Försök IV.



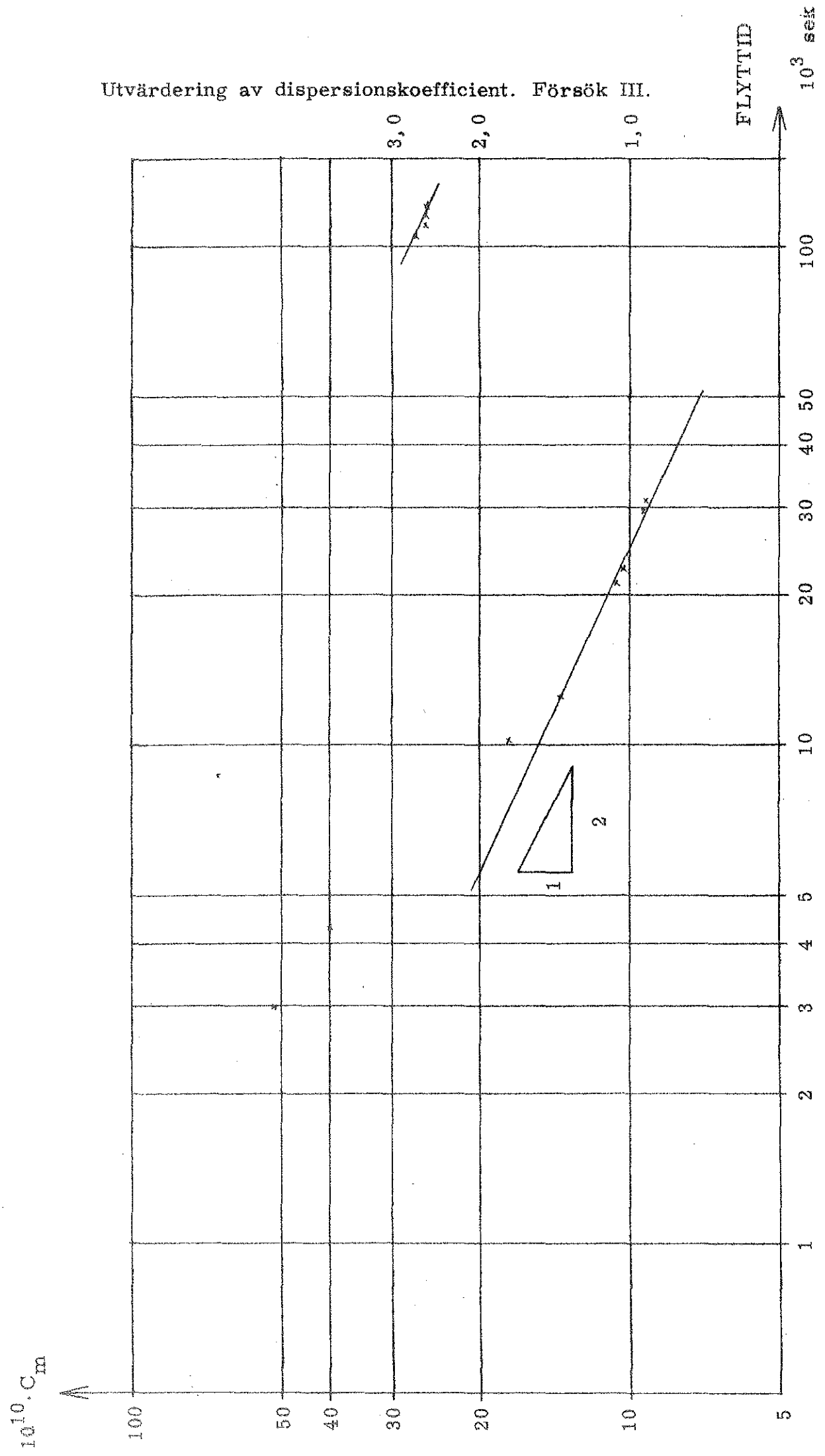
Utvärdering av dispersionskoefficient. Försök I.



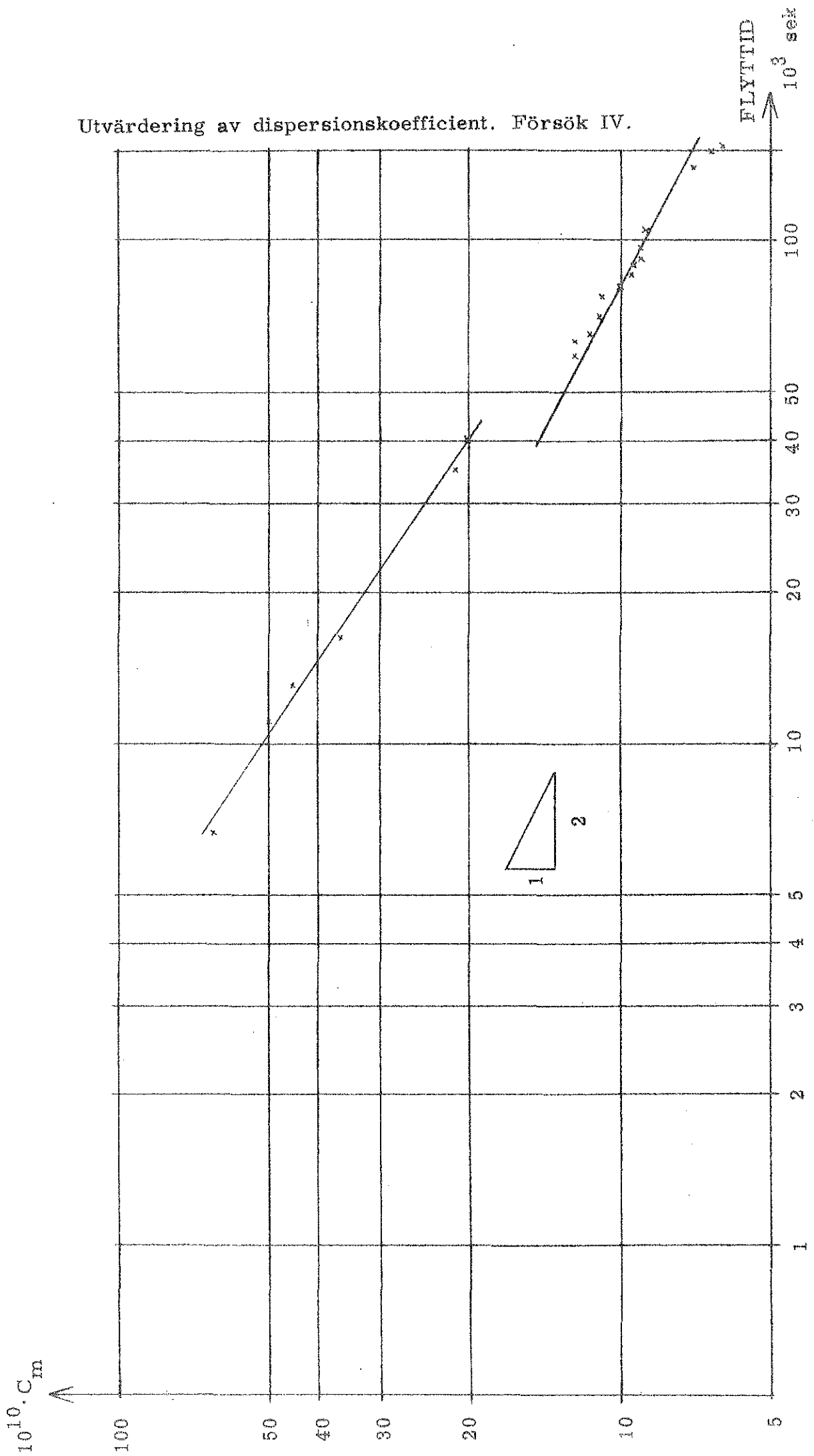
Utvärdering av dispersionskoefficient. Försök II.



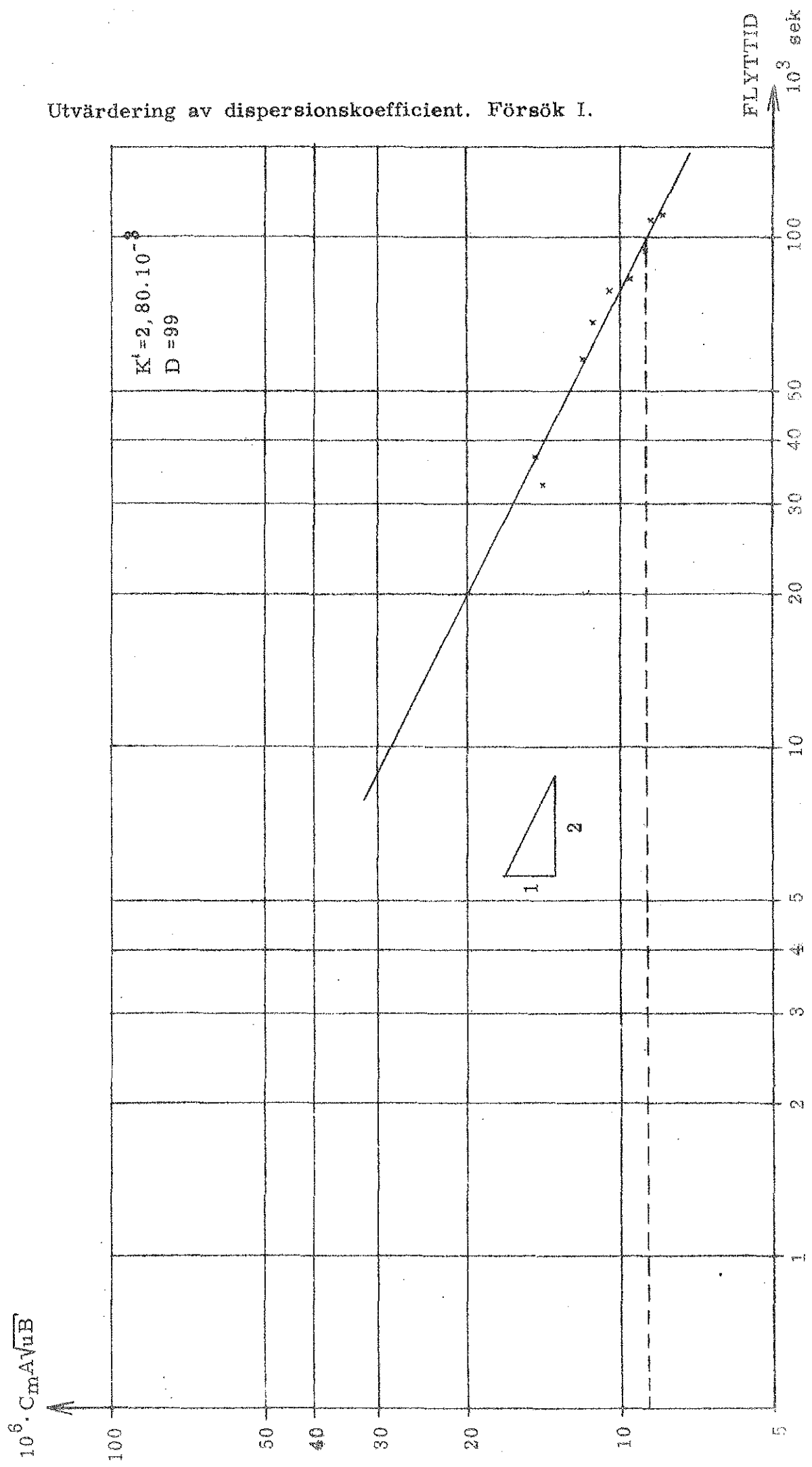
Utvärdering av dispersionskoefficient. Försök III.



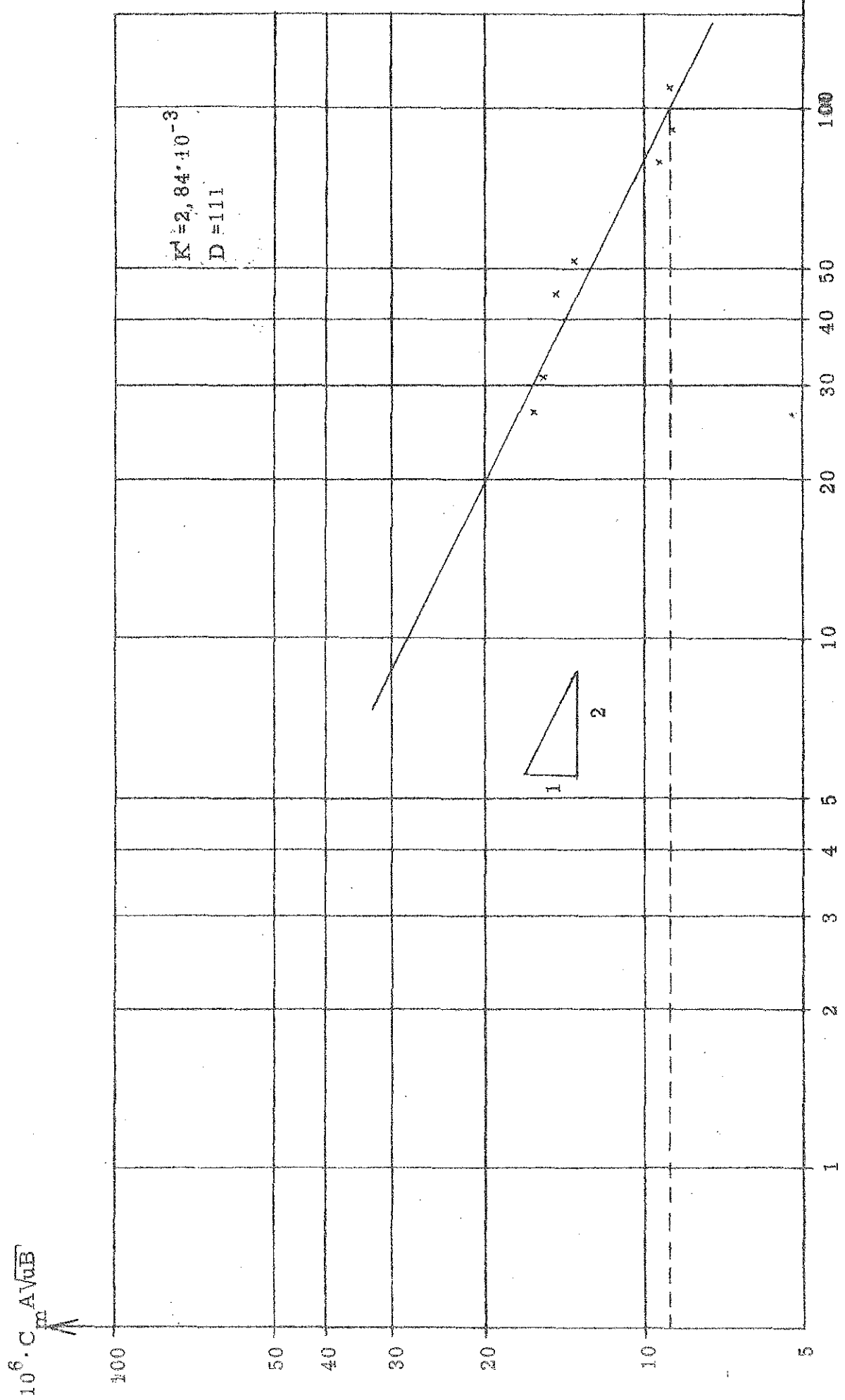
Utvärdering av dispersionskoefficient. Försök IV.



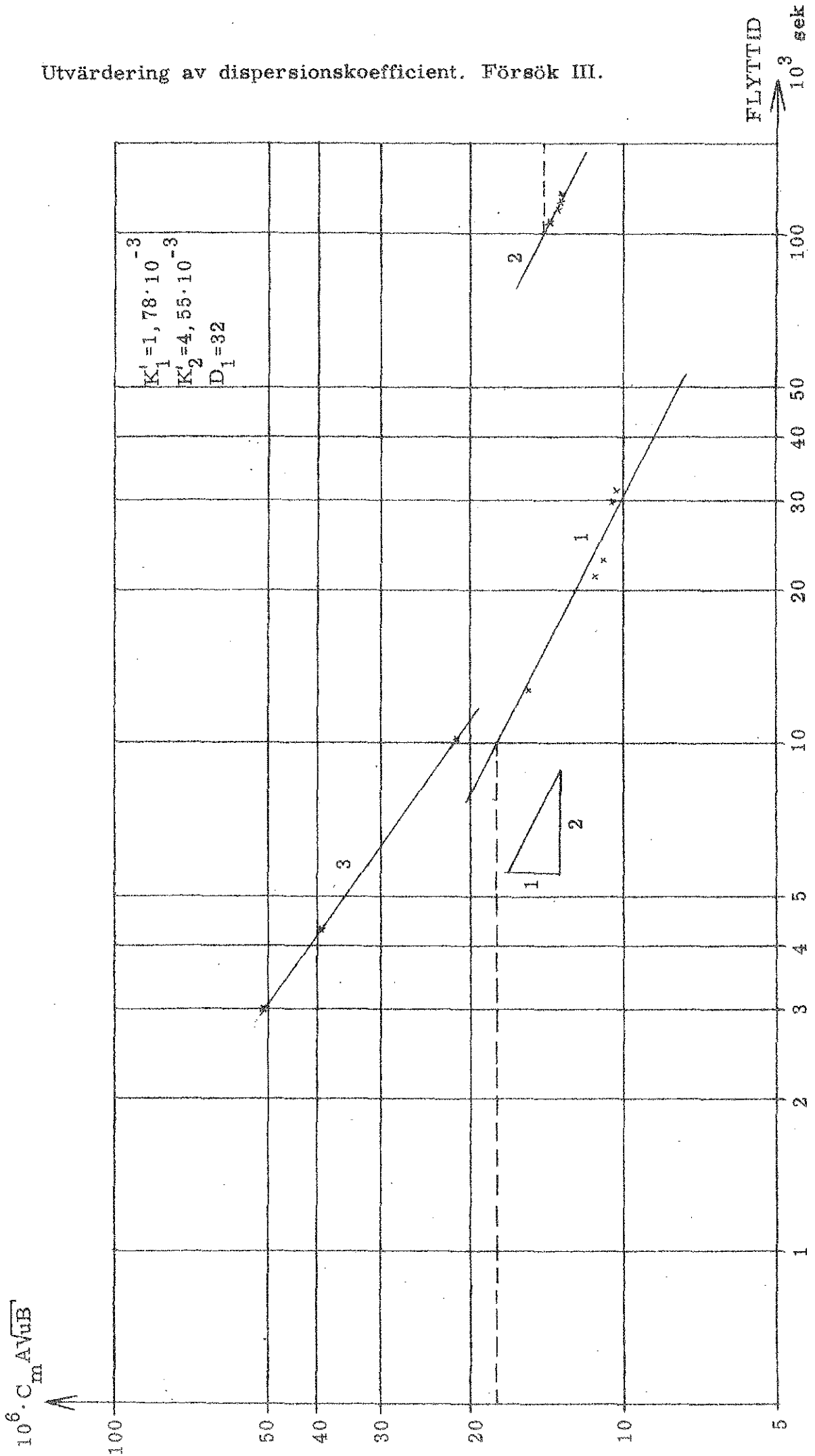
Utvärdering av dispersionskoefficient. Försök I.



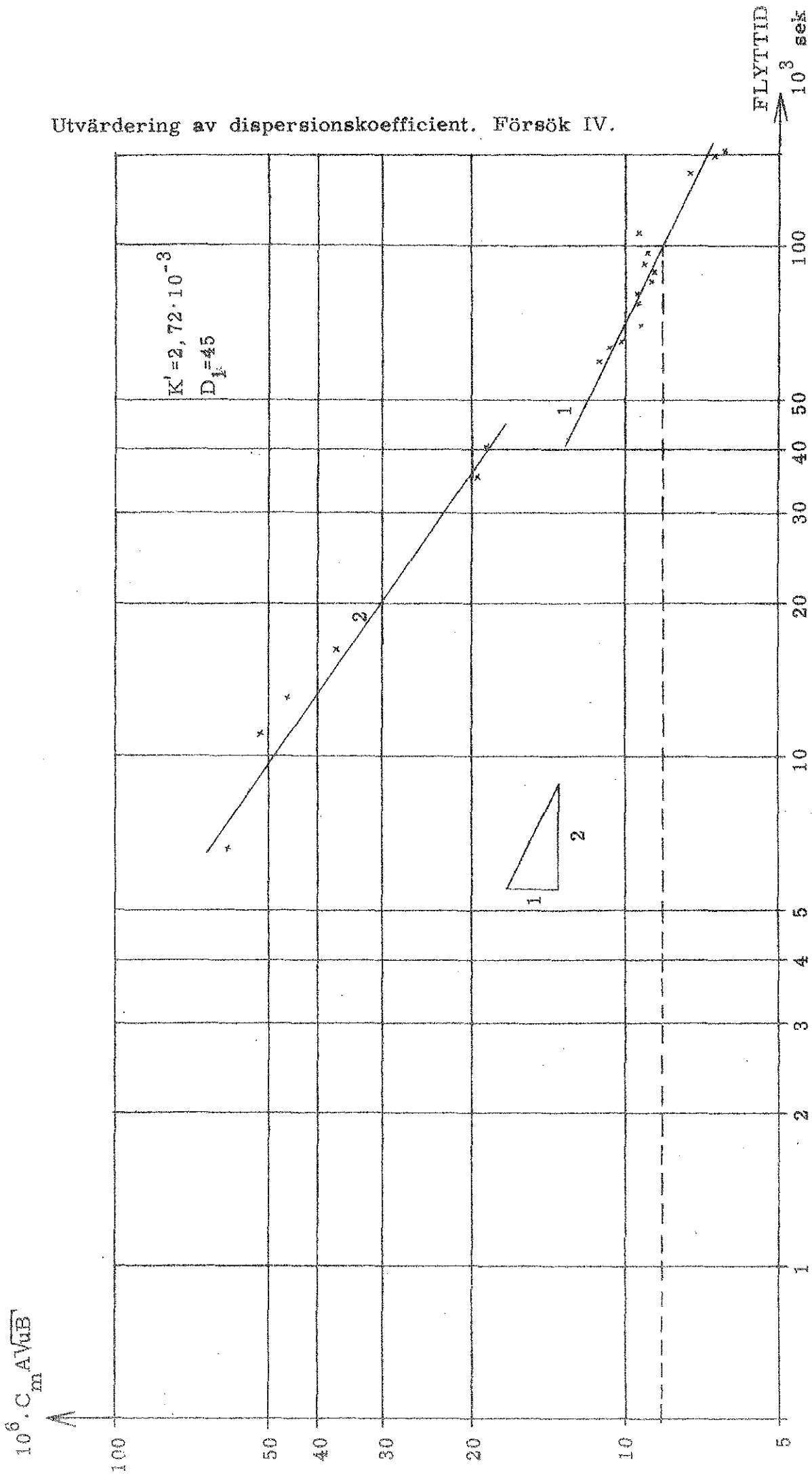
Utvärdering av dispersionskoefficient. Försök II.



Utvärdering av dispersionskoefficient. Försök III.



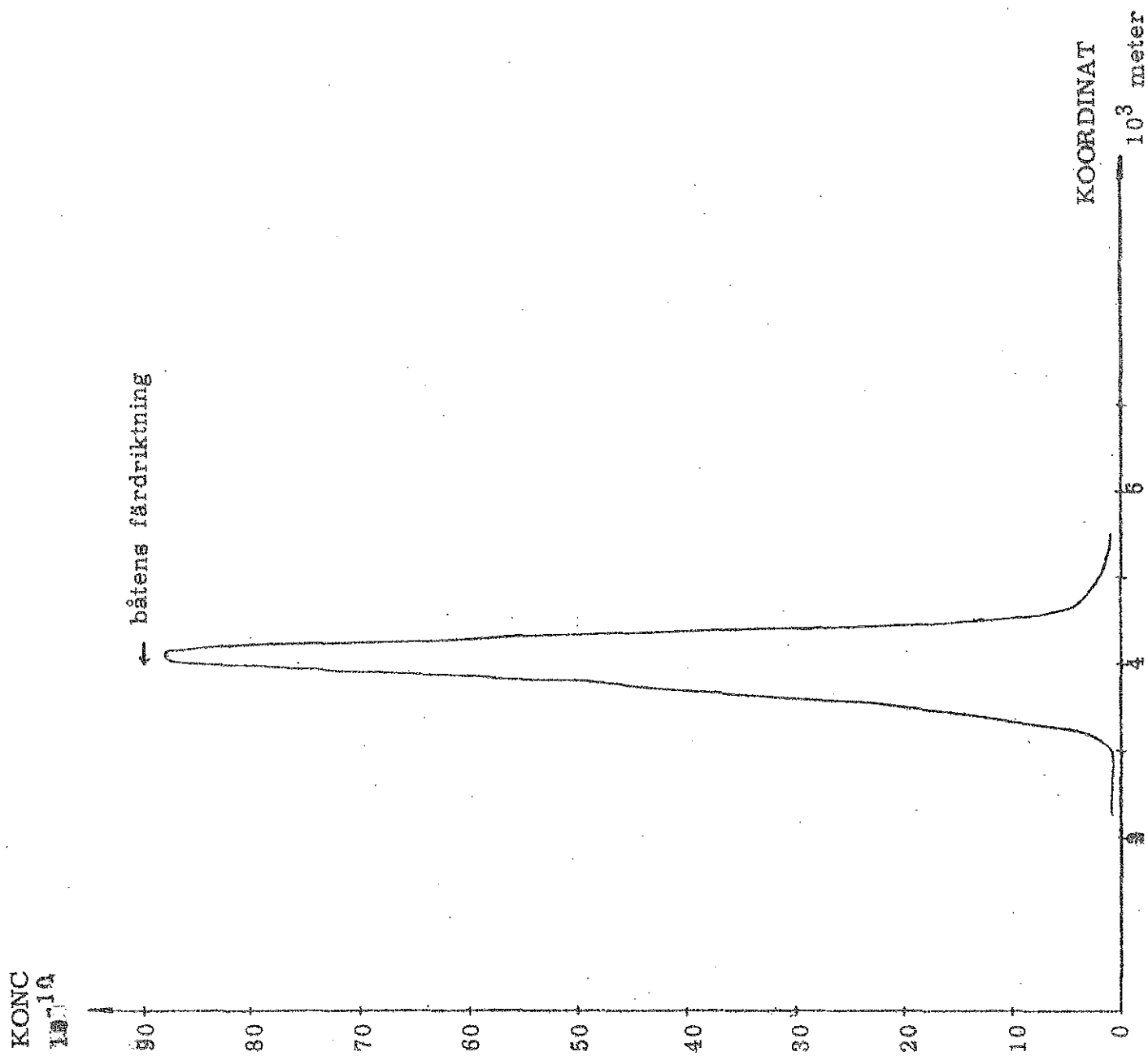
Utvärdering av dispersionskoefficient. Försök IV.



Spårämnesfördelning längs älven. Försök I

Inmätning 15/8, 17³⁰ - 17⁵⁴.

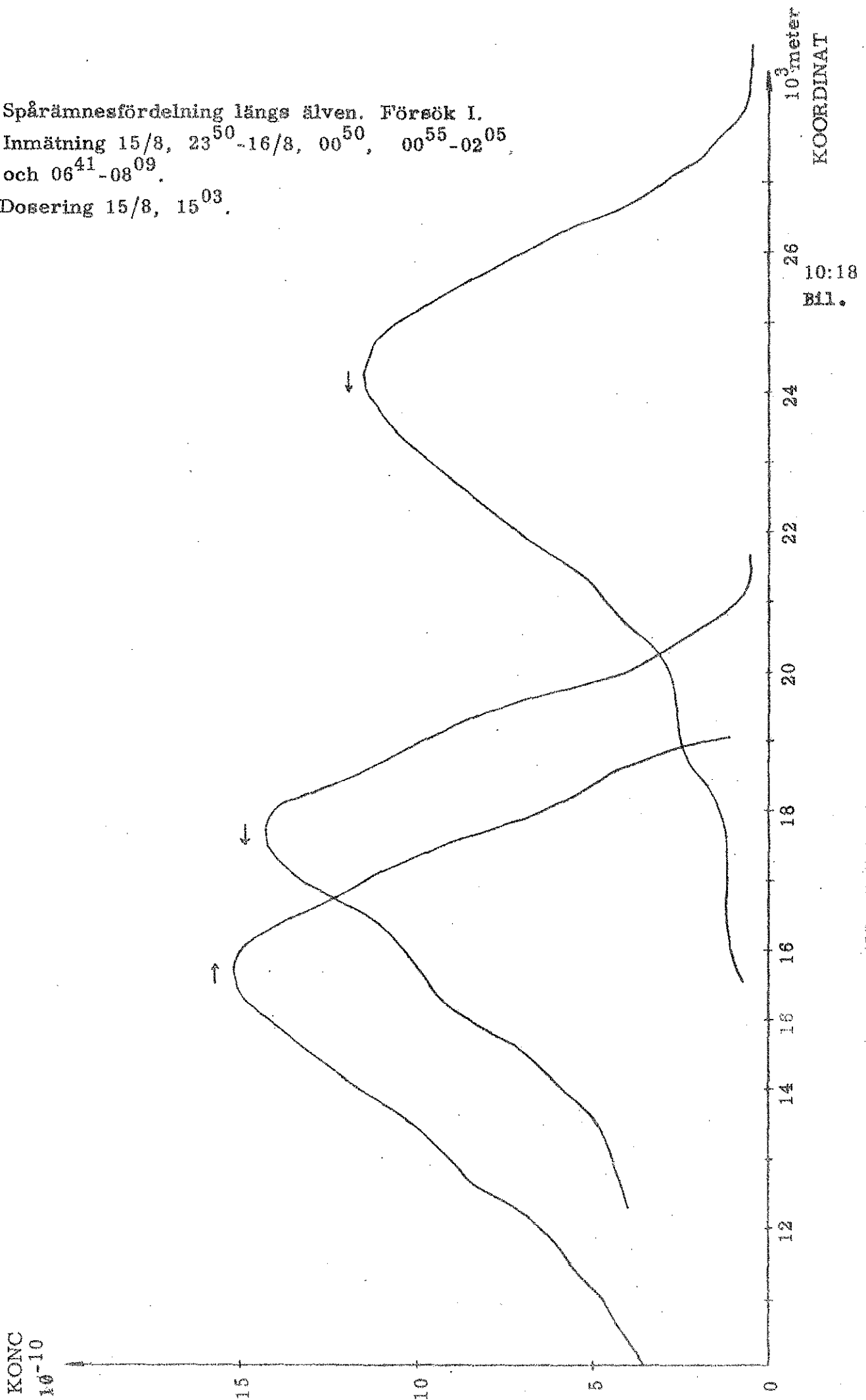
Dosering 15/8, 15⁰³.

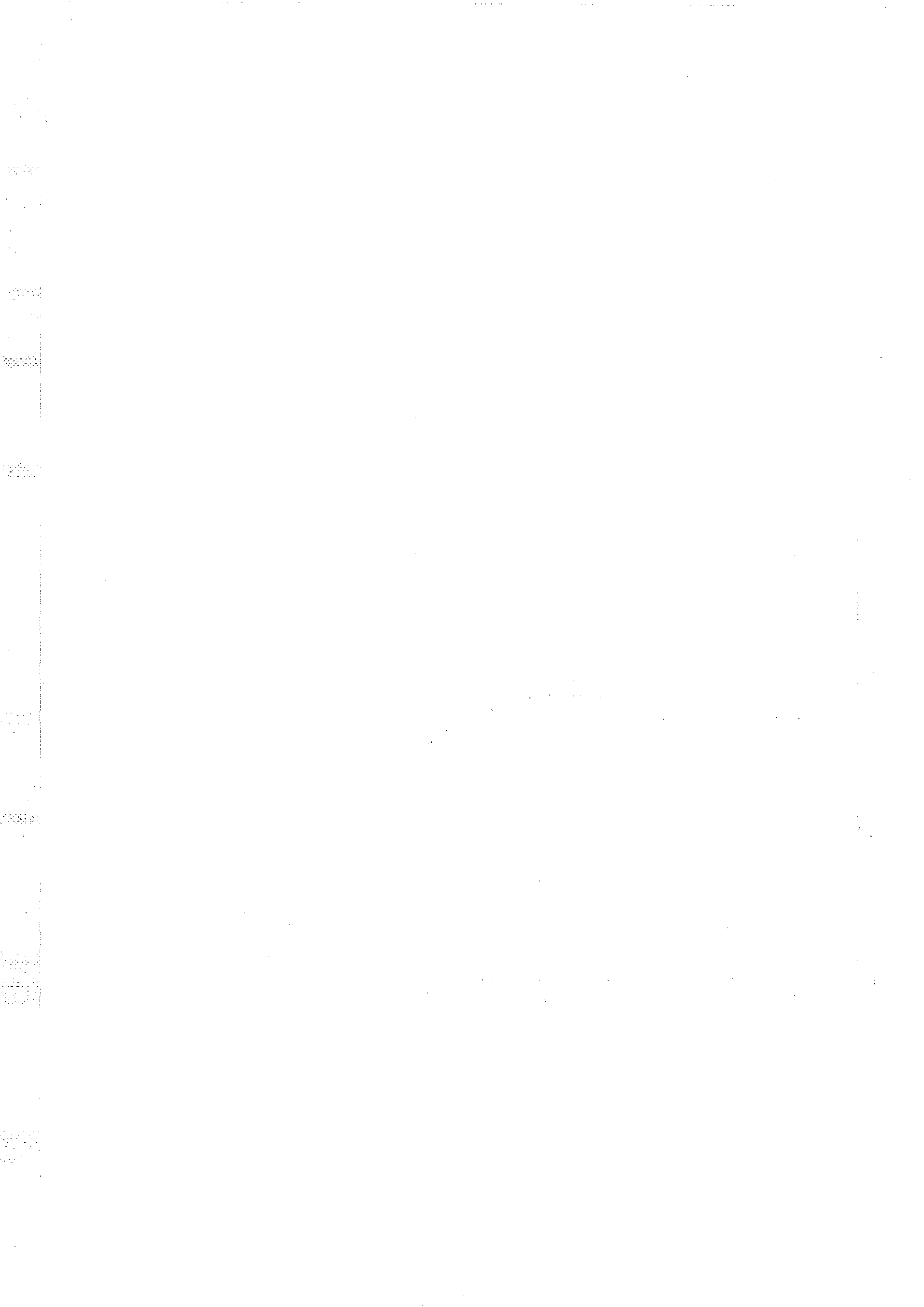


Spårämnesfördelning längs älven. Försök I.

Inmätning 15/8, 23⁵⁰-16/8, 00⁵⁰, 00⁵⁵-02⁰⁵,
och 06⁴¹-08⁰⁹.

Dosering 15/8, 15⁰³.

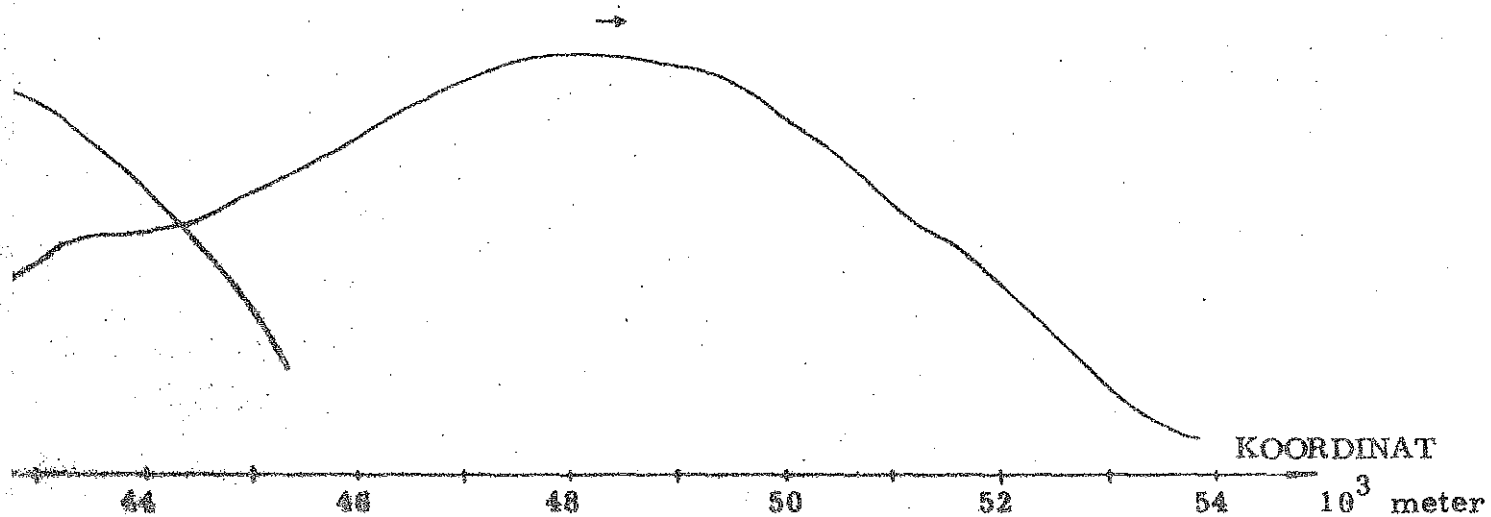




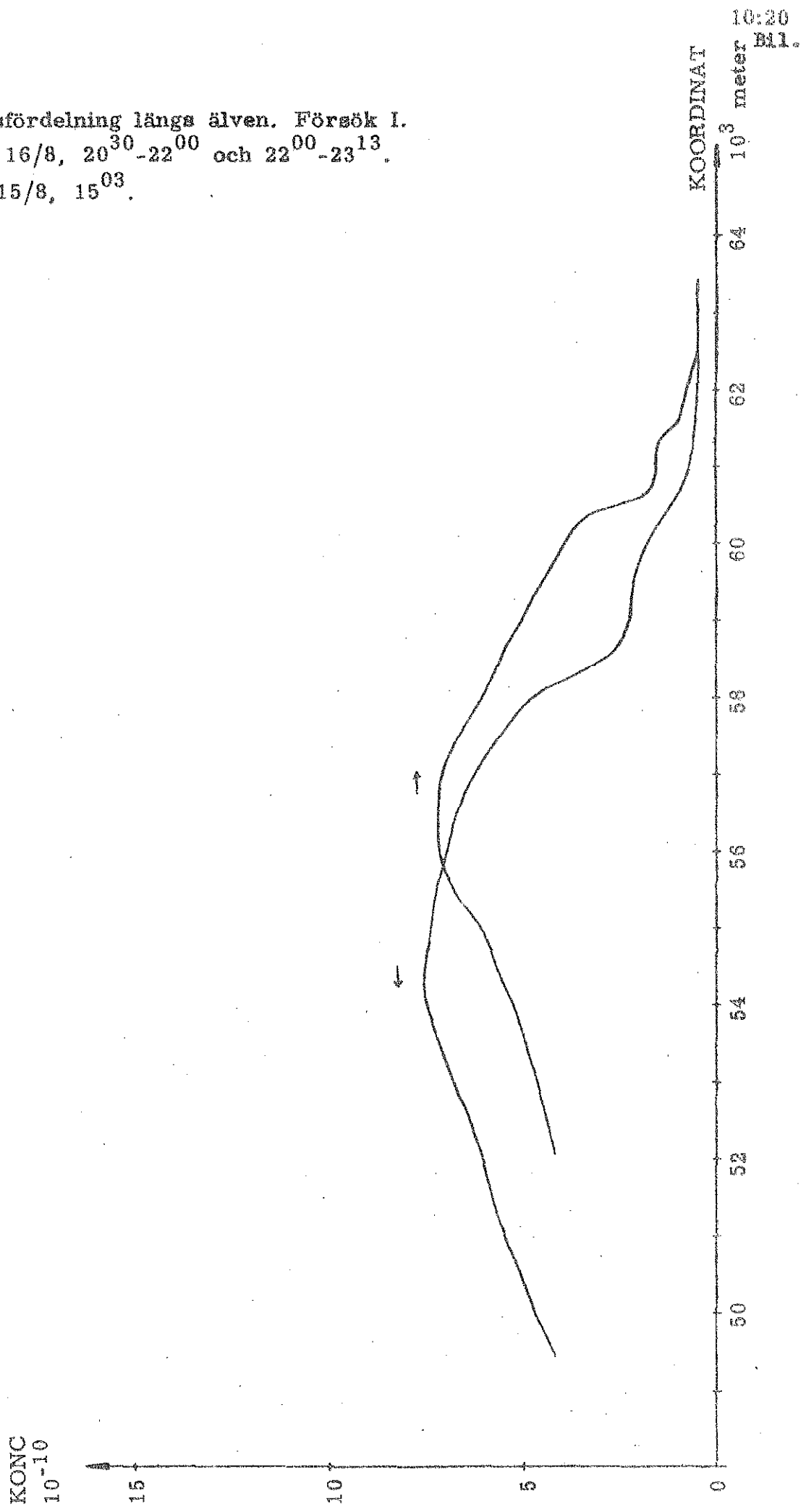
Spårämnesfördelning längs älven. Försök I.

Inmätning 16/8, 11³²-12³¹, 13³⁵-15⁵⁴, och 16¹⁰-18⁰³.

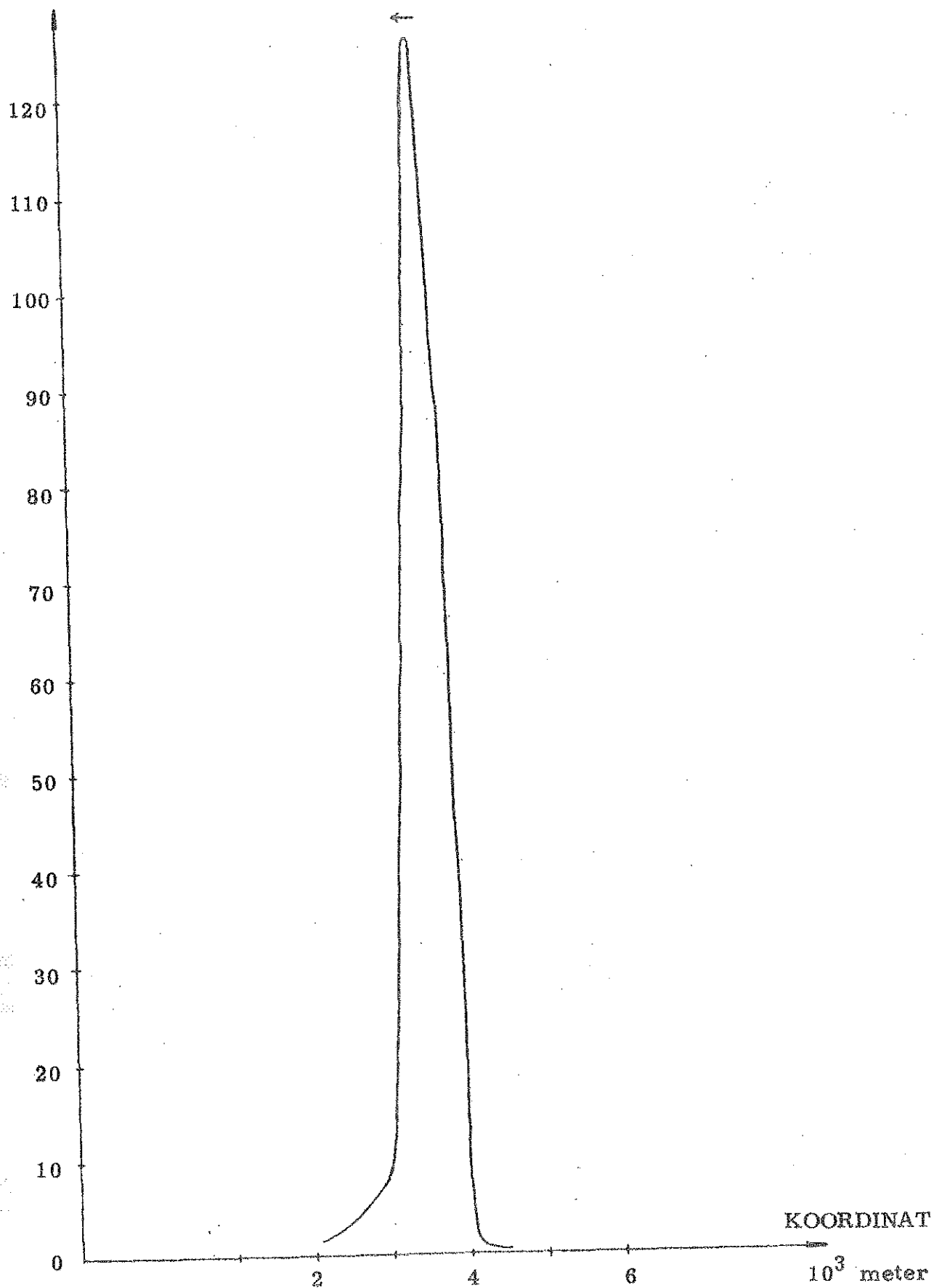
Dosering 15/8, 15⁰³.



Spårämnesfördelning längs älven. Försök I.
Inmätning 16/8, 20³⁰-22⁰⁰ och 22⁰⁰-23¹³.
Dosering 15/8, 15⁰³.



Spårämnesfördelning längs älven. Försök II.

Inmätning 24/8, 10⁴⁸-11⁰⁴Dosering 24/8, 08⁴⁶KONC
10⁻¹⁰

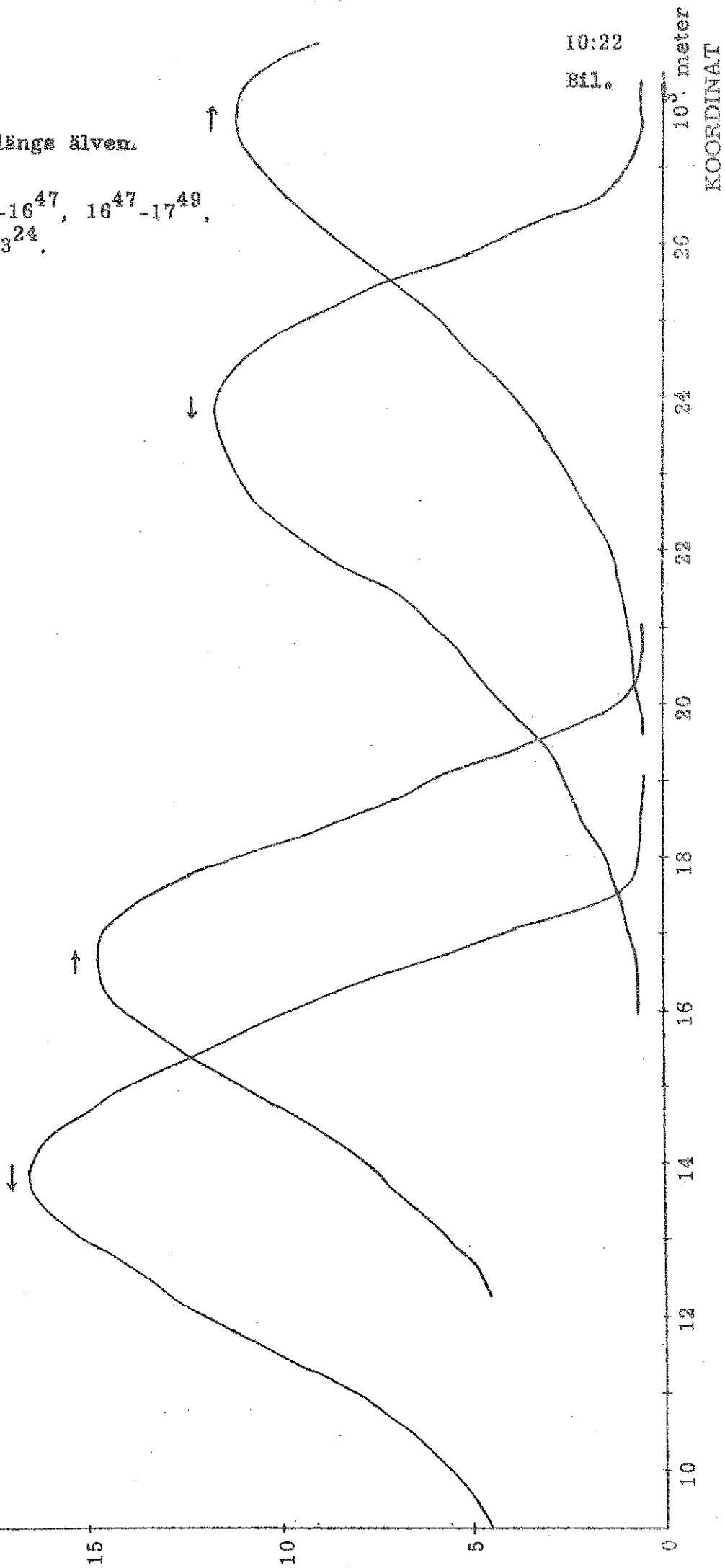
Spårämnesfördelning längs älven

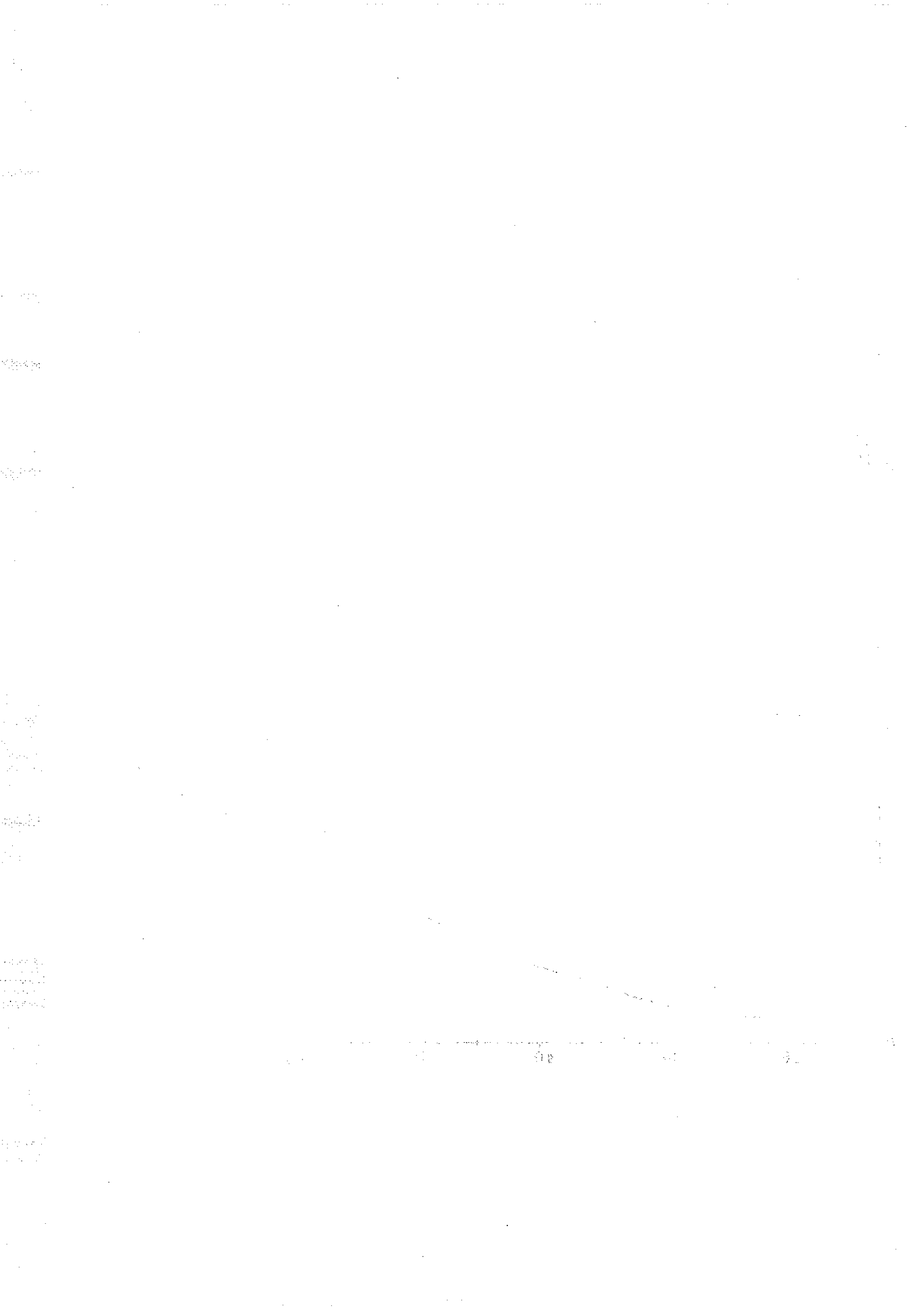
Försök II,

Inmätning 24/8, 15³⁹-16⁴⁷, 16⁴⁷-17⁴⁹,
20³⁸-22⁰⁸ och 22²³-23²⁴.

Dosering 24/8, 08⁴⁶.

KONC
10-10

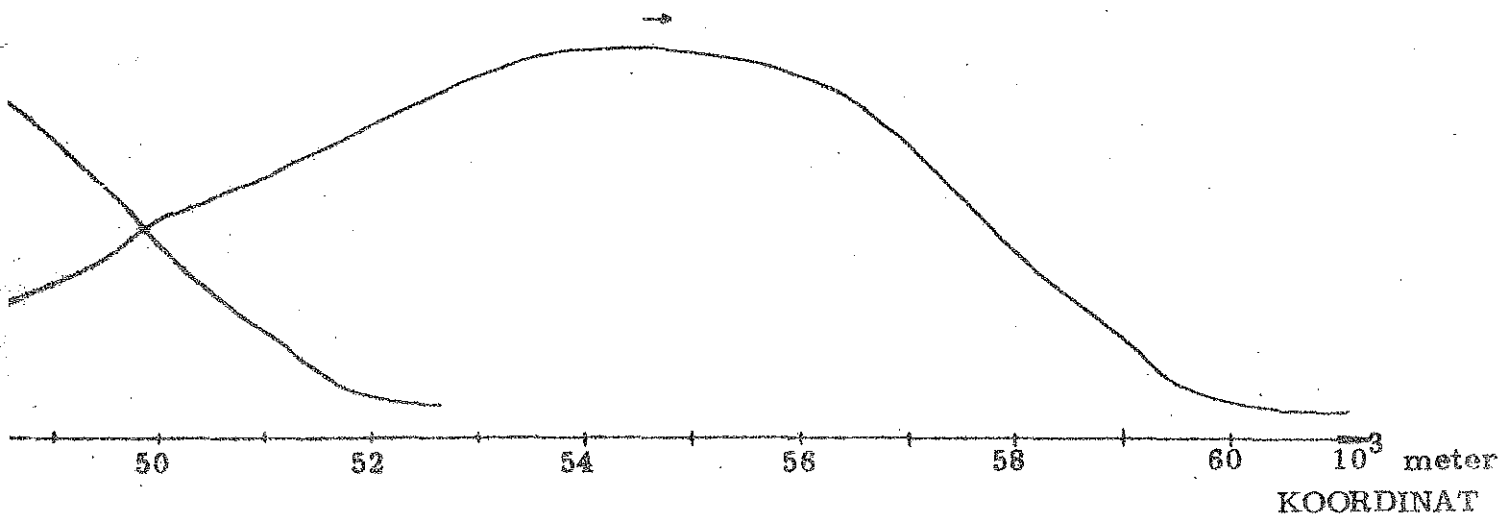




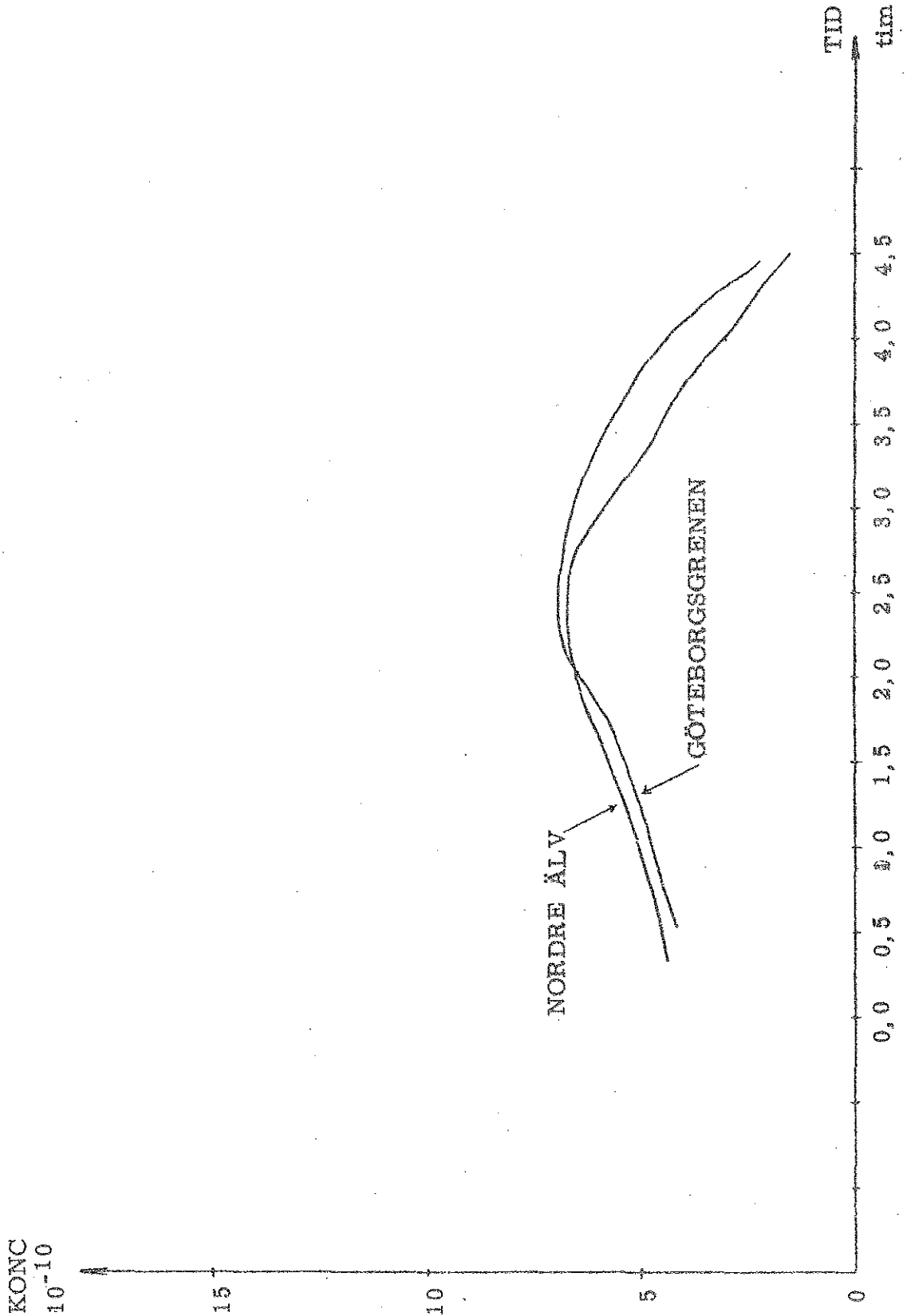
Spårämnesfördelning längs Älven. Försök II.

Inmätning 25/8, 06⁰¹-08²⁵ och 08⁵⁹-10⁴⁷

Dosering 24/8, 08⁴⁶.



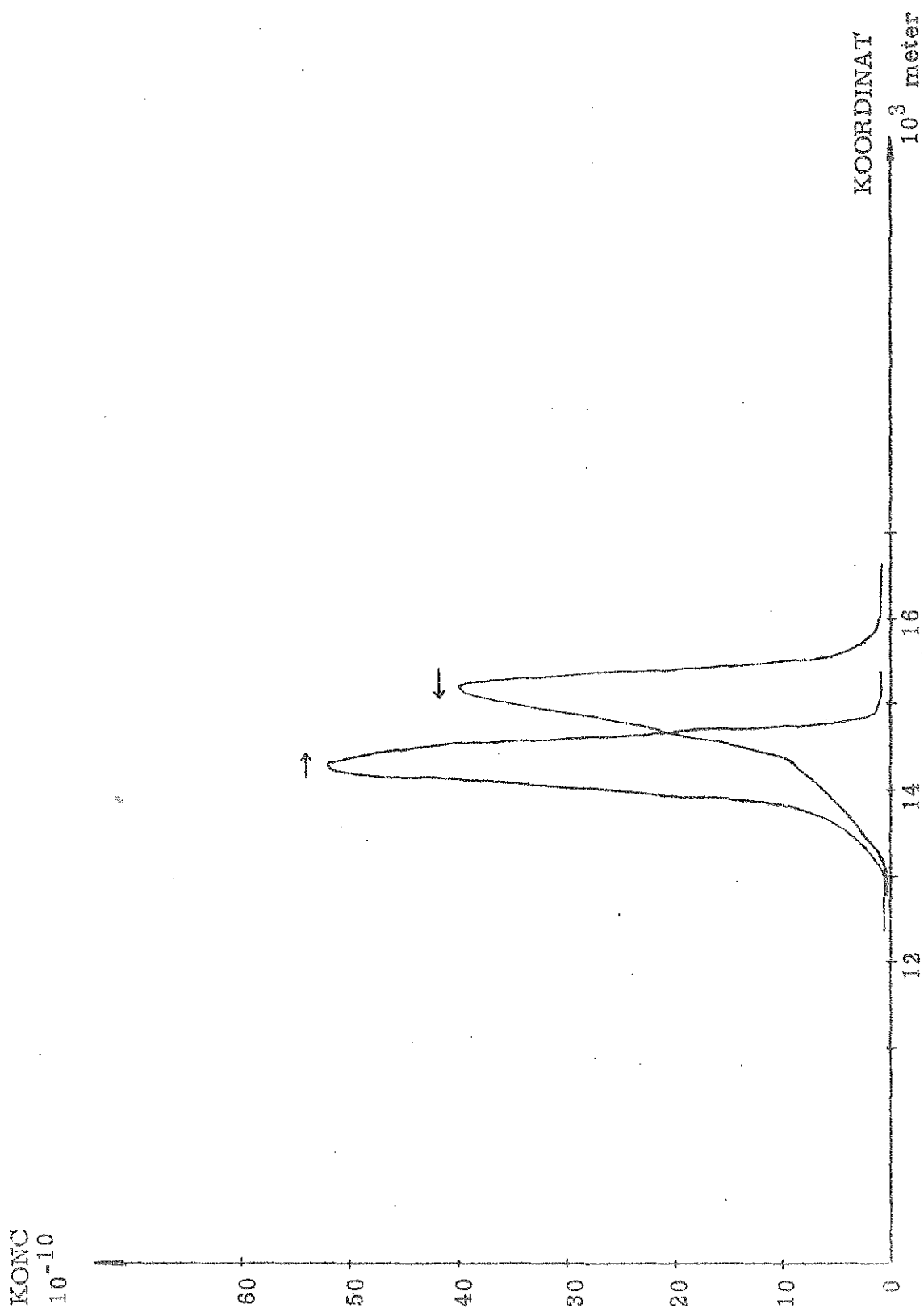
Spårämnesfördelning vid registrering med fast mätcell. Försök II.
Inmätning 25/8, 13⁰⁶-17¹⁰
Dosering 24/8, 08⁴⁶.



Spårämnesfördelning längs älven. Försök III.

Inmätning 31/8, 10^{28} - 10^{44} och 10^{46} - 11^{20}

Dosering 31/8, 09^{45} .

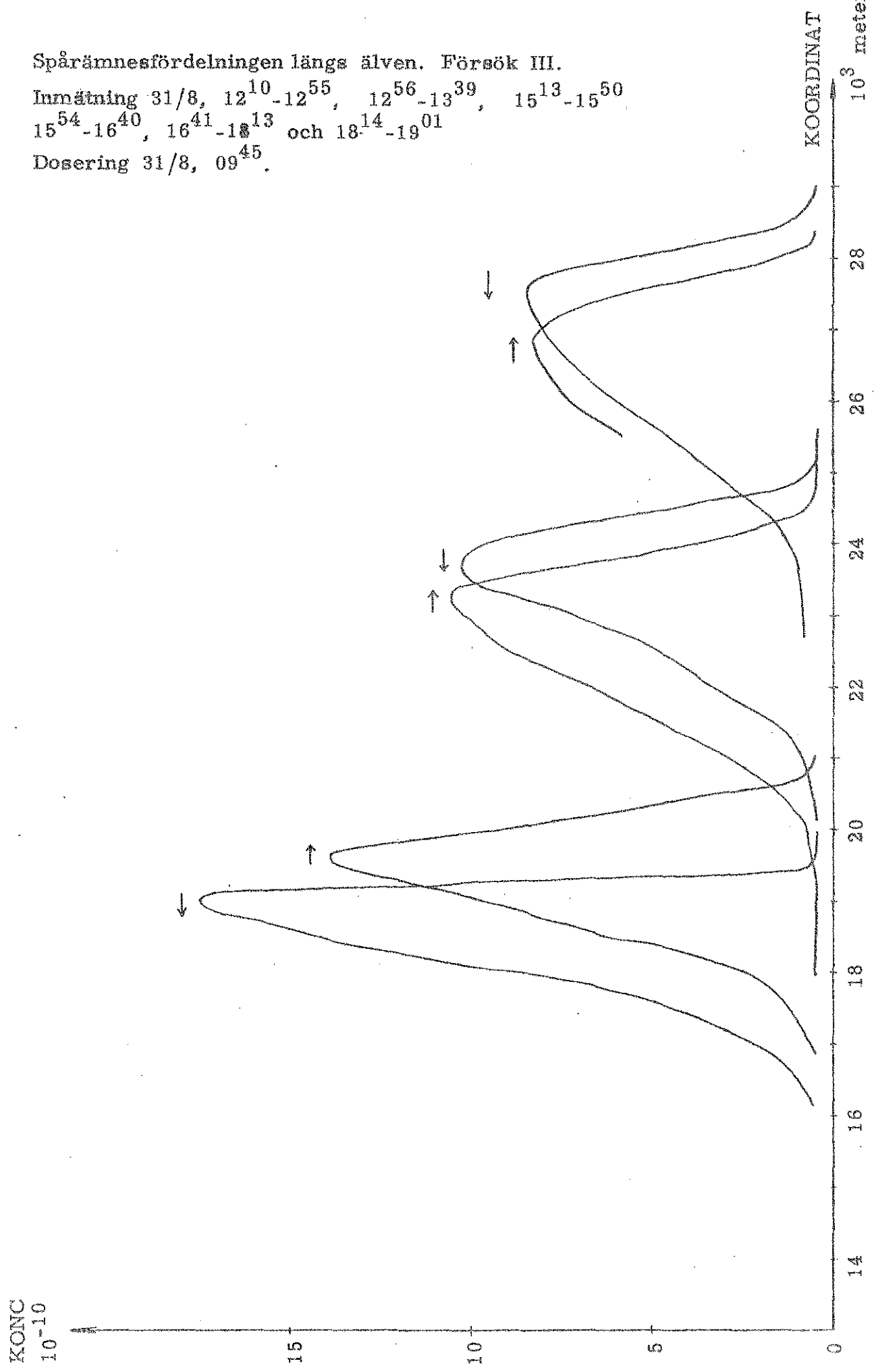


10:26
M.L.

Spårämnesfördelningen längs älven. Försök III.

Inmätning 31/8, 12¹⁰-12⁵⁵, 12⁵⁶-13³⁹, 15¹³-15⁵⁰,
15⁵⁴-16⁴⁰, 16⁴¹-18¹³ och 18¹⁴-19⁰¹

Dosering 31/8, 09⁴⁵.

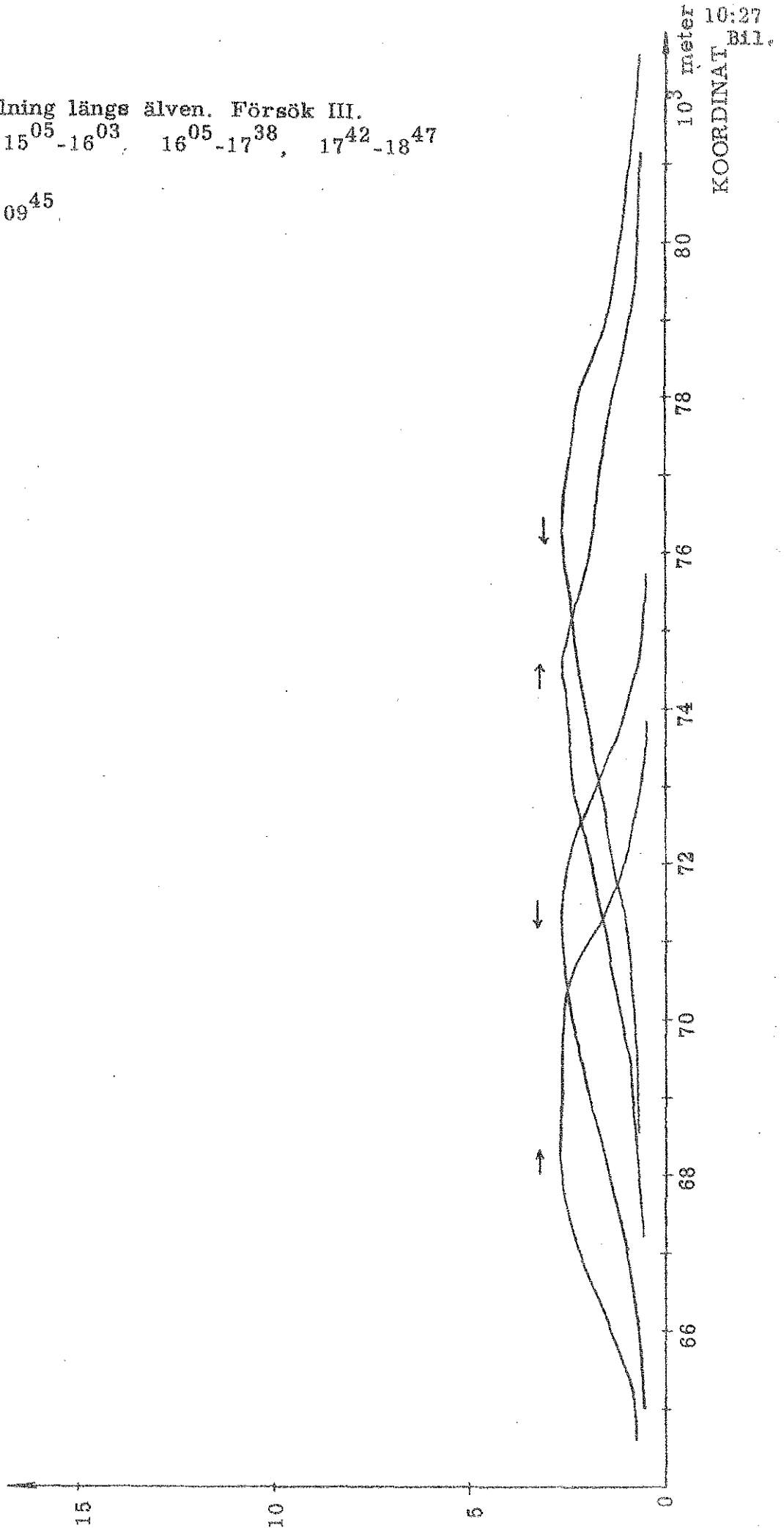


Spårämnesfördelning längs älven. Försök III.

Inmätning 1/8, 15⁰⁵-16⁰³, 16⁰⁵-17³⁸, 17⁴²-18⁴⁷
och 18⁴⁸-20¹³.

Dosering 31/8, 09⁴⁵.

KONC
10-10



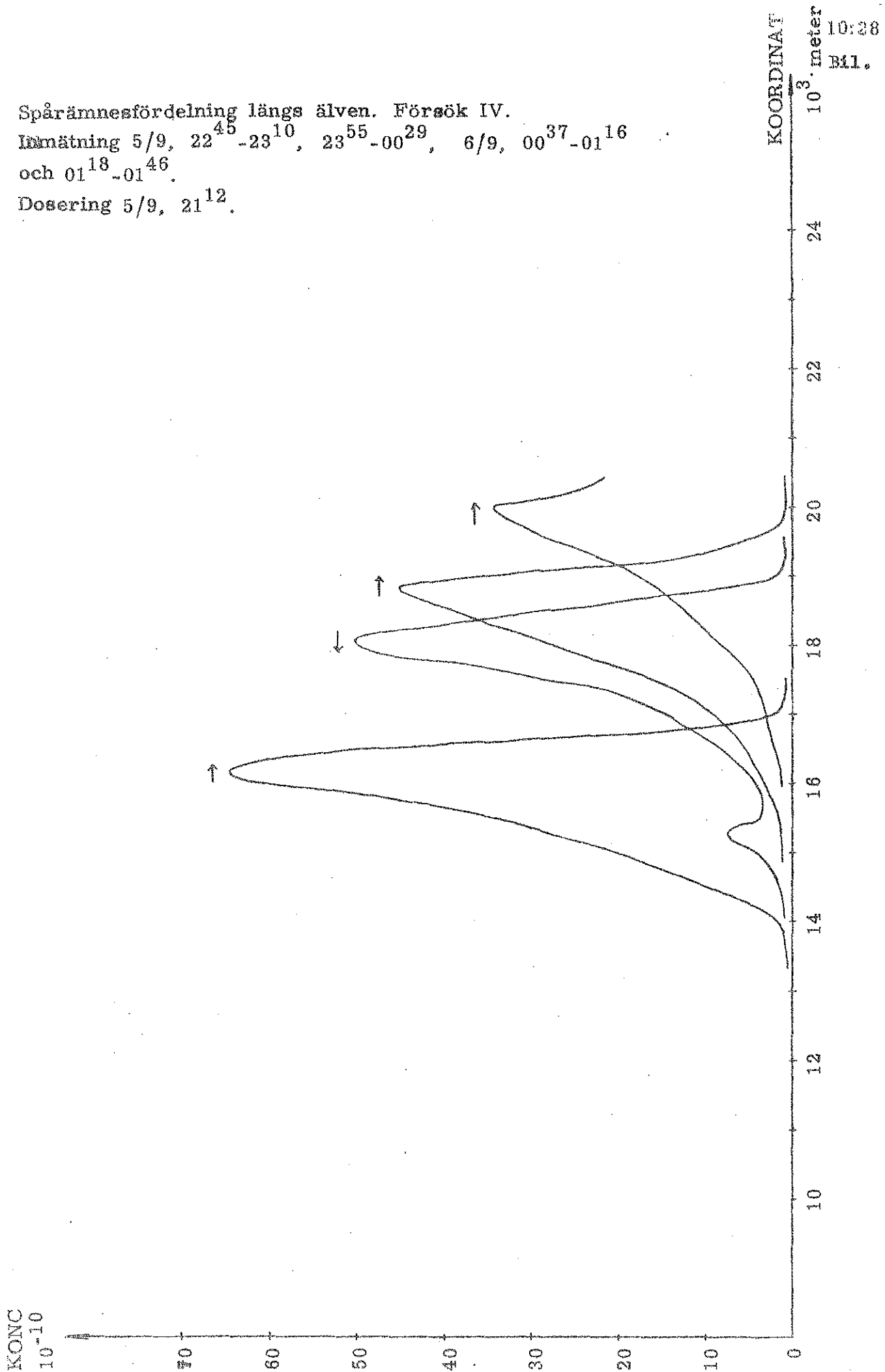
10:27
Bil.

KOORDINAT

Spårämnesfördelning längs älven. Försök IV.

Idmätning 5/9, 22⁴⁵-23¹⁰, 23⁵⁵-00²⁹, 6/9, 00³⁷-01¹⁶
och 01¹⁸-01⁴⁶.

Dosering 5/9, 21¹².

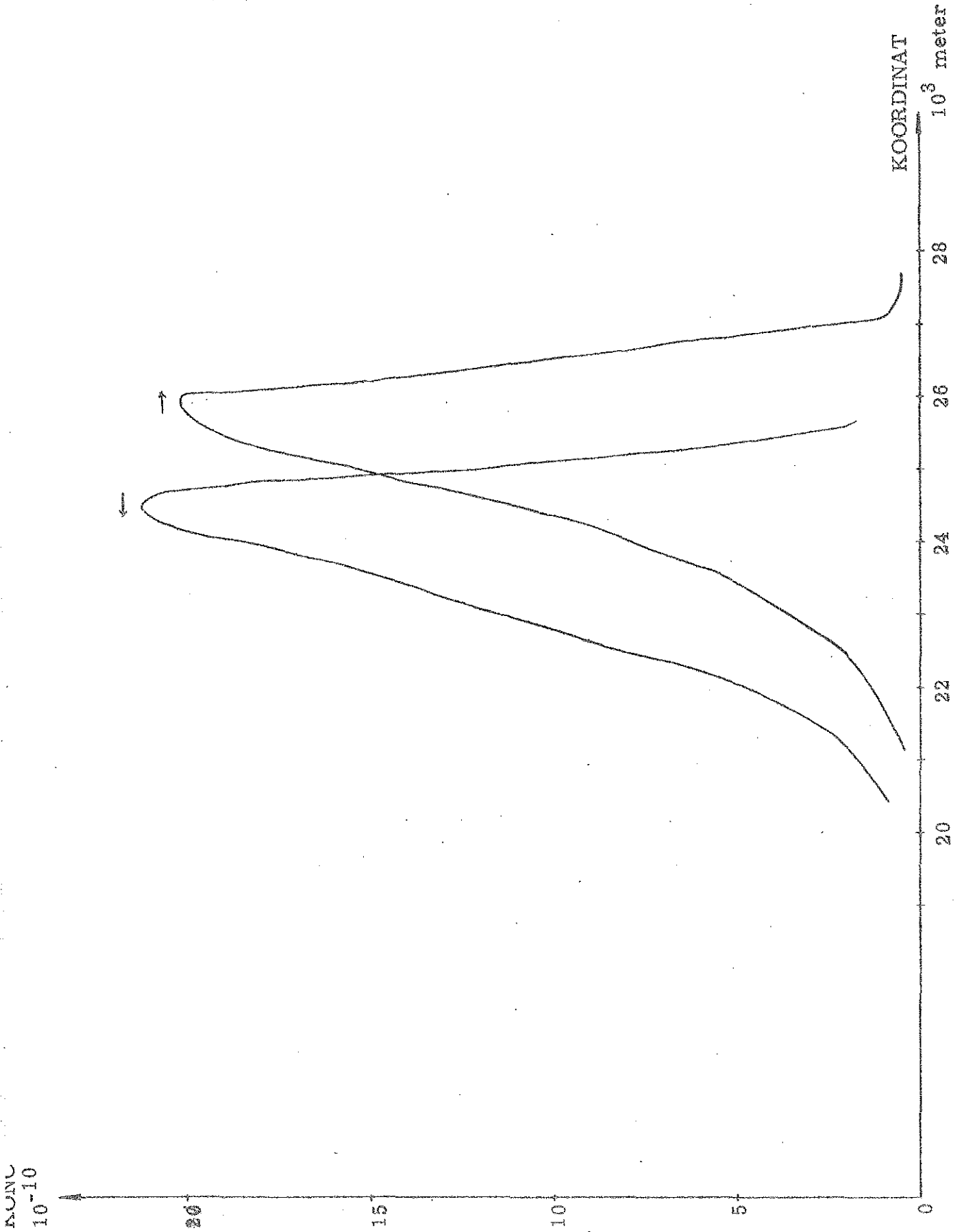


10:28
Bl.

Spårämnesfördelning längs älven. Försök IV.

Inmätning 6/9, 06⁵¹-07²⁵ och 07⁵⁶-08⁴⁶

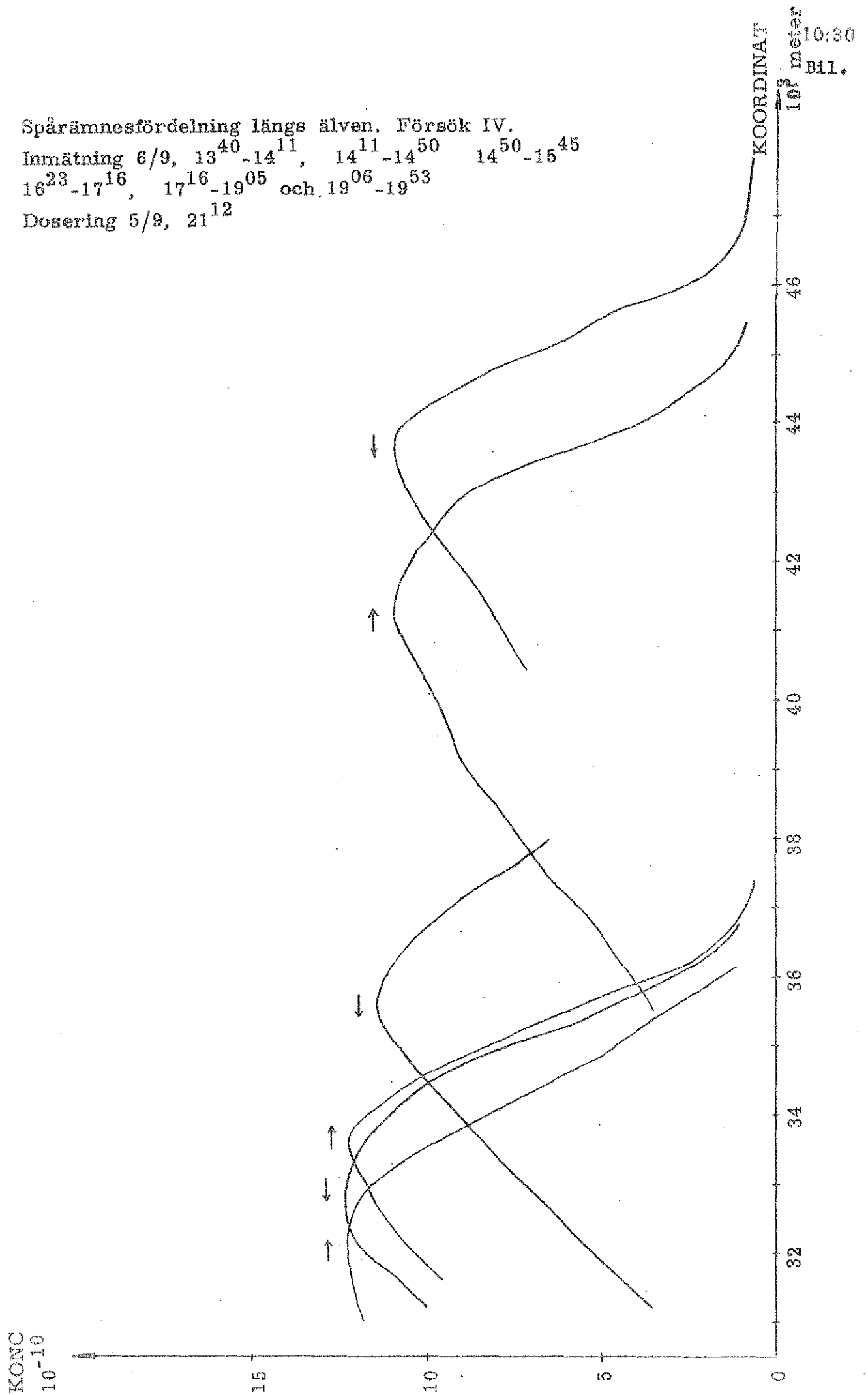
Dosering 5/9, 21¹²



Spårämnesfördelning längs älven. Försök IV.

Inmätning 6/9, 13⁴⁰-14¹¹, 14¹¹-14⁵⁰ 14⁵⁰-15⁴⁵
16²³-17¹⁶, 17¹⁶-19⁰⁵ och 19⁰⁶-19⁵³

Dosering 5/9, 21¹²

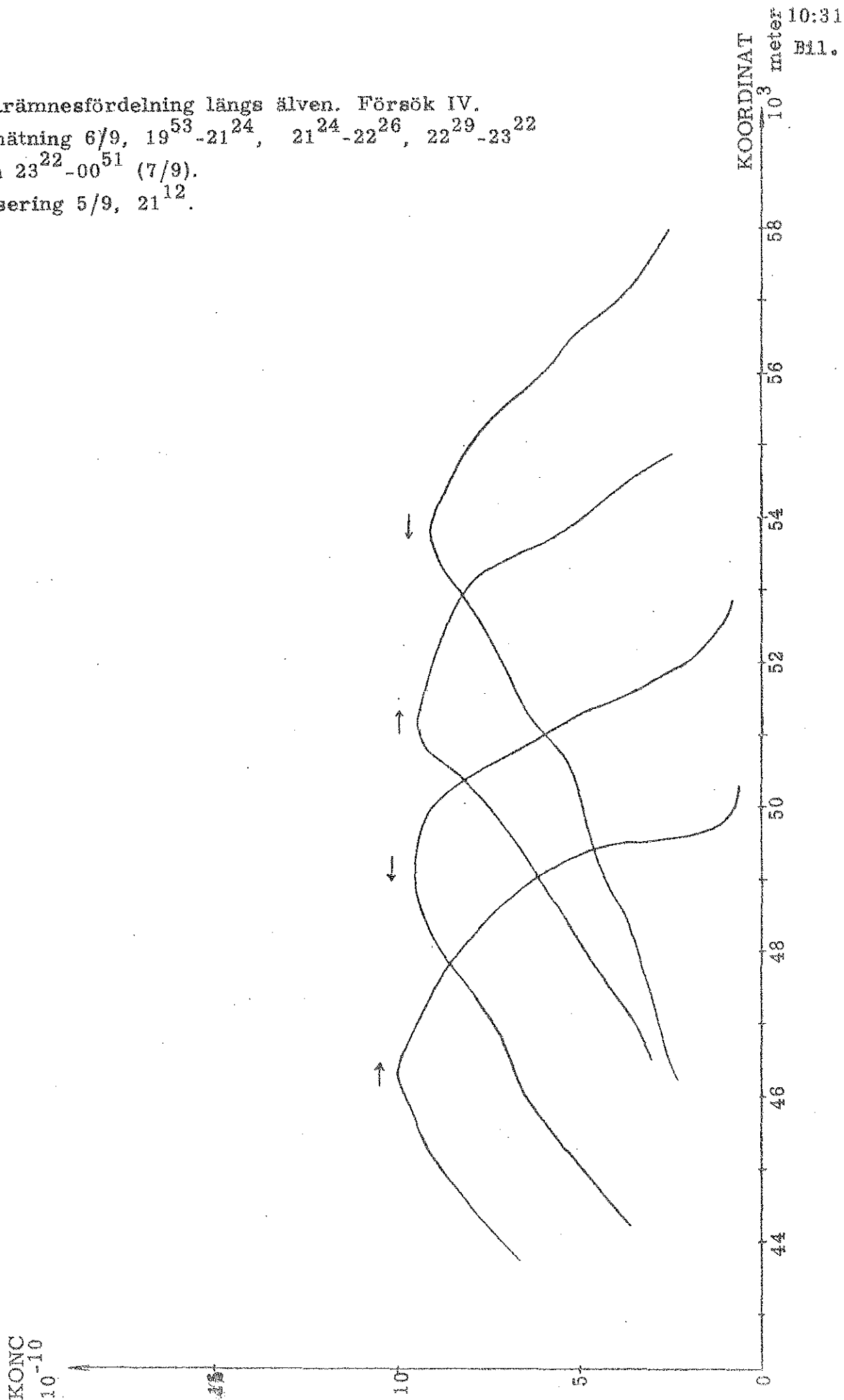


Spårämnesfördelning längs älven. Försök IV.

Inmätning 6/9, 19⁵³-21²⁴, 21²⁴-22²⁶, 22²⁹-23²²

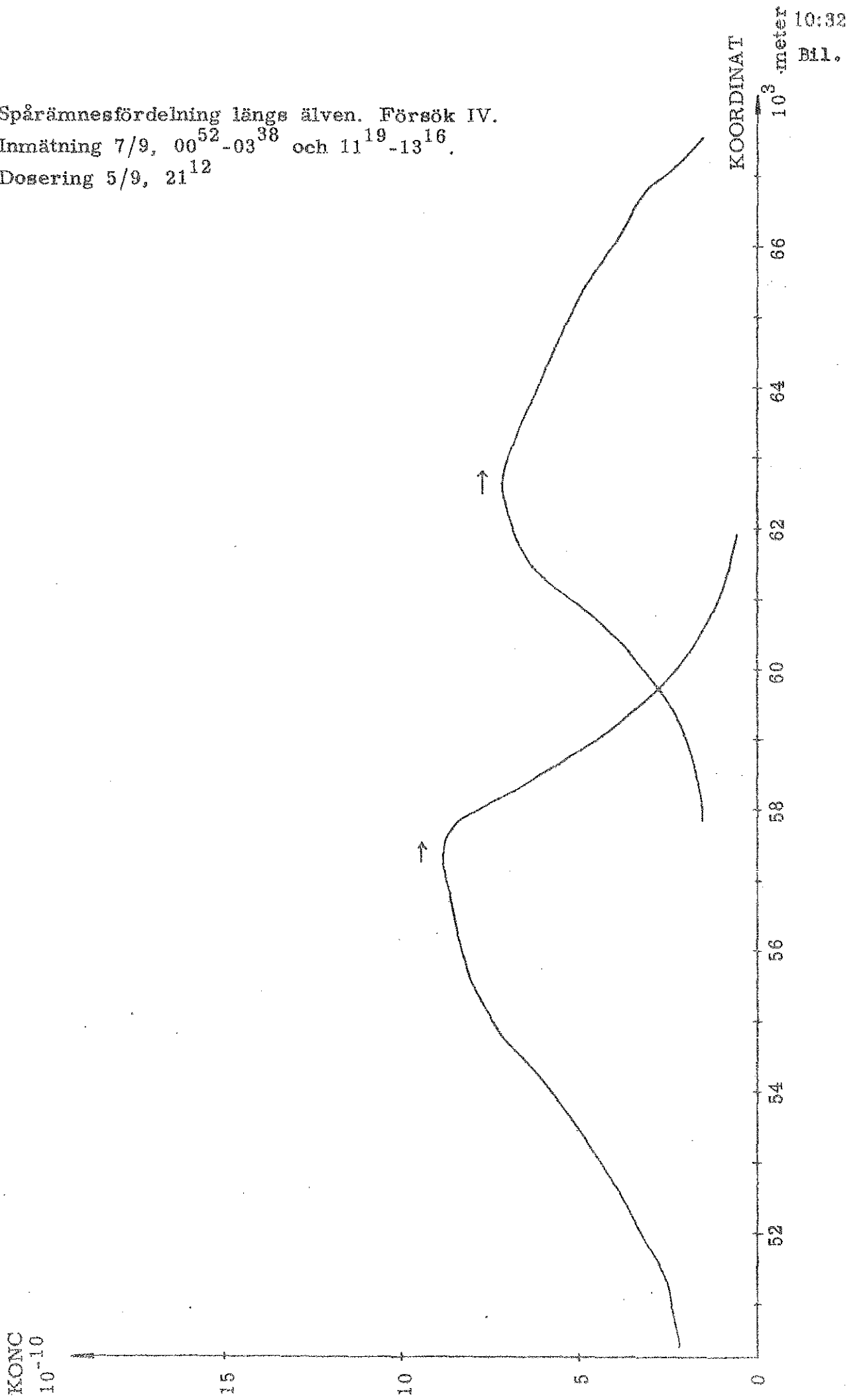
och 23²²-00⁵¹ (7/9).

Dosering 5/9, 21¹².



10:31
B11.

Spårämnesfördelning längs älven. Försök IV.
Inmätning 7/9, 00⁵²-03³⁸ och 11¹⁹-13¹⁶.
Dosering 5/9, 21¹²

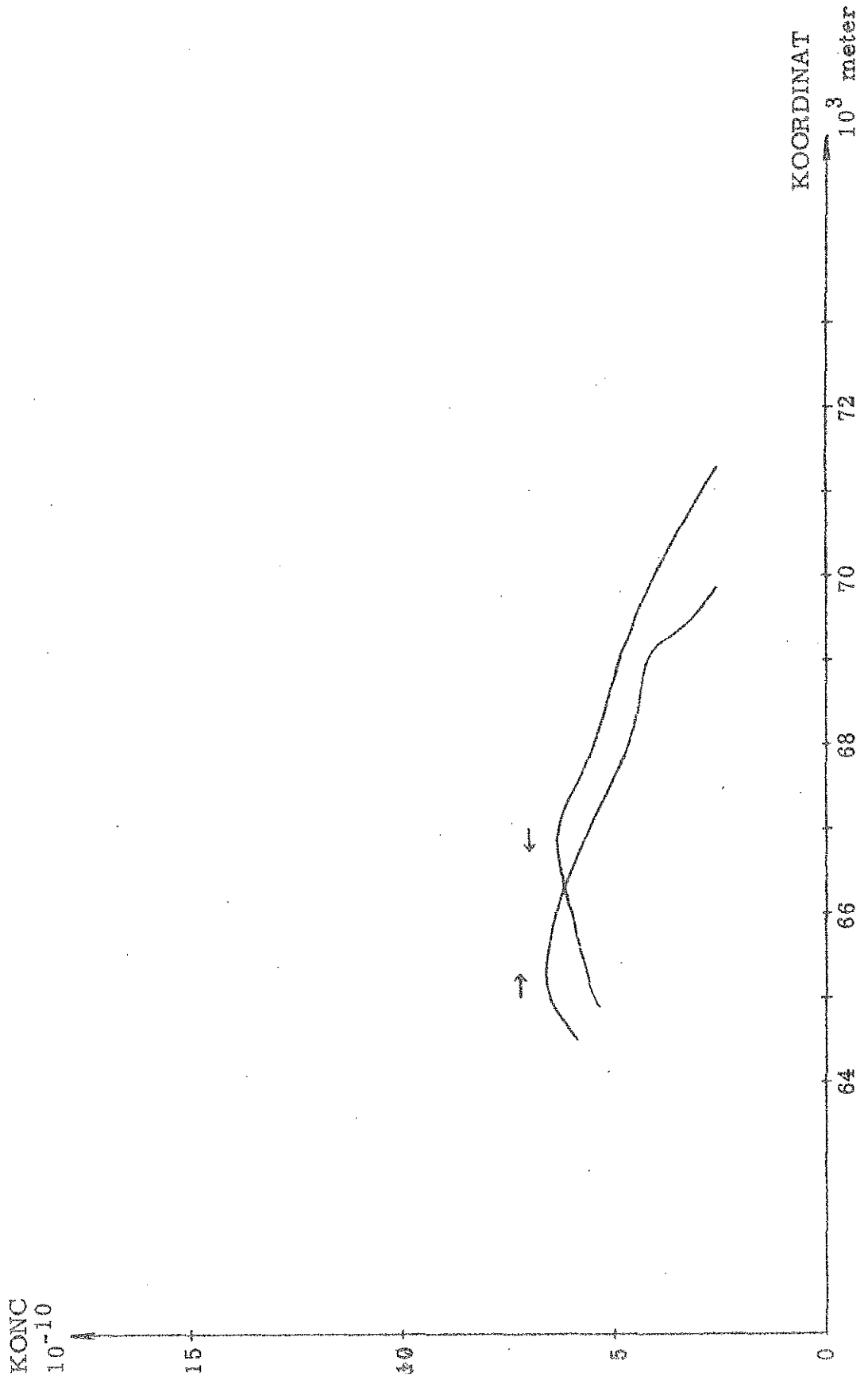


10:32
Bl.

Spårämnesfördelning längs älven. Försök IV.

Inmätning 7/9, 15⁰²-15³⁵ och 15³⁷-16¹⁹

Dosering 5/9, 21¹²



11. SAMMANFATTNING

Målsättningen för detta examensarbete är att studera transport-, spridnings- och blandningsförlopp längs älven.

Undersökningen har utförts med hjälp av spårämnet Rhodamin B200, vilket doserats dels nedströms Vargön och dels nedströms Trollhättans slussar. Spårämnesmolnet har sedan kontinuerligt inmätts med hjälp av en motorbåt, utrustad med en fluorometeruppsättning.

Den inmätta spårämnesfördelningen korrigeras med hänsyn till att de olika värdena längs älven ej är registrerade samtidigt. Mätvärdena omräknas med hjälp av uppmätt medelvattenhastighet.

För att bedöma tillförlitligheten av mätresultatet har vissa kontrollmätningar utförts. Inblandningen i vertikalled har uppmätts genom provtagning på varje meter ifrån ytan nedåt. Redan efter 2-3 timmar är inblandningen homogen. Försök I och II har inblandats väl vid passagen av Trollhättans kraftverk.

Adsorption och avklingning kan ej påvisas, enligt kap 7.2

Detta gör att resultatet är tillförlitligt med hänsyn till dessa effekter.

Flyttiderna har undersökts och jämförts med en tidigare undersökning utförd av Göta Älvs Vattenvårdsförbund. Redovisade kurvor nedströms Lilla Edet har en god överensstämmelse med våra resultat, medan uppskattade flyttider uppströms Lilla Edet ligger 20-30 % över vårt resultat.

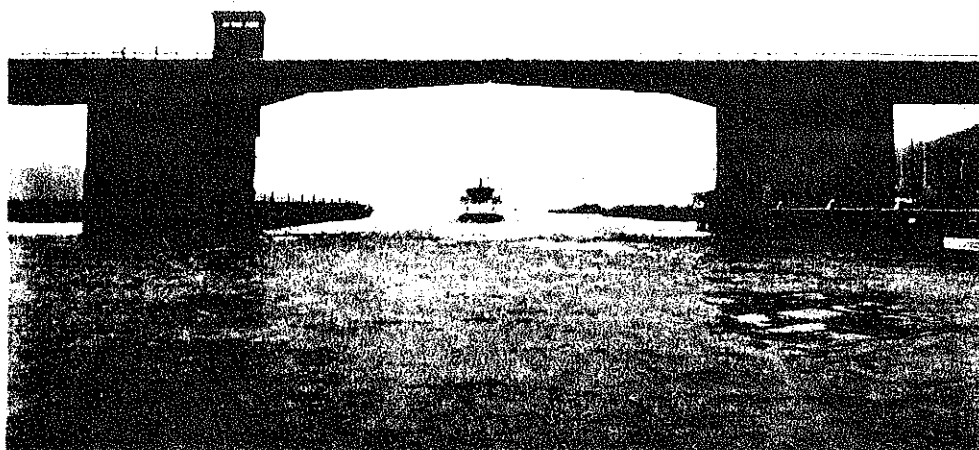
Dispersionskoefficienten har bestämts med tre metoder kallade A, B och C där resultatet av A och B ger något större värde än C. Metod C ger dock ett något mer korrekt resultat.

Försök I och II ger en 2,5 - 3 gånger så stor koefficient som III och IV, se kap 10.3. Detta kan bero på att spårämnesmolnet i försök I och II passerar kraftverket i Trollhättan och därmed får en snabbare homogen inblandning än försök III och IV får.

Som resultat fås att dispersionskoefficienten D för utsläpp uppströms Trollhättan är $100 - 120 \text{ m}^2/\text{s}$, medan det för utsläpp nedströms Trollhättan ej finns något som pekar på en högre koefficient på D än $35-50 \text{ m}^2/\text{s}$.

För att kunna jämföra resultaten med andra undersökningar normaliseras D enligt $\frac{D}{u_* R}$.

För Göta Älv har erhållits $50 < \frac{D}{u_* R} < 165$.



Jordfallsbron ifrån söder.

12. LITTERATURFÖRTECKNING

- /1/ Cederwall, K.: "Göta Älv, en hydrologisk analys av transport och blandningsprocesser". CTH, Vattenbyggnad, Medd. nr 63, 1971.
- /2/ Feuerstein, D. et al.: "Fluorescent tracers for dispersion measurements". Trans. ASCE, vol 89 No. SA 4 1963.
- /3/ SMHI: "PM angående Turners fluorometer".
- /4/ GK Turner Associates: "Operating and service manual Model III fluorometer".
- /5/ Fischer, Hugo: "Longitudinal dispersion in laboratory and natural streams". Keck Lab. CALTECH, Report No R-12, 1966.
- /6/ Fischer, Hugo: "Methods for predicting dispersion coefficient in natural streams, Geological survey professional", Paper 582-A, Dep. of Interior, 1968.
- /7/ Claesson, O. och Larsson, L-G.: "Göta Älv, en hydrologisk analys av transport och blandningsprocesser", CTH, Vattenbyggnad, medd.nr. 68, 1972.
- /8/ Cederwall, K.: "Hydraulics of marine waste water disposal", CTH, vattenbyggnad, medd.nr. 42, 1968.
- /9/ Dincer, T.: "Application of radiotracer methods in stream flow measurements", Isotopes in hydrology, IAEA, Vienna 1967.
- /10/ Göta Älvs vattenvårdsförbund: "Spårämnesundersökning av avloppsutsläpp i Göta Älv, sträckan Bohus - Lärjeholm, Allmänna Ingenjörbyrå AB, Litt. 4521.20, 1972.

- /11/ Chow, Ven Te: "Open Channel Hydraulics". McGraw-Hill, Kogakusha Company Ltd, Tokyo 1959.
- /12/ Sundborg, Å. och Norrman, J.: "Göta Älv, hydrologi och morfologi med särskild hänsyn till erosionsprocesserna". Sveriges geologiska undersökning, Stockholm, 1963.
- /13/ Nordenskjöld, O.: "Några drag ur Trollhättan och Göta Älvs utvecklings historia". Trollhättan, dess kanal och kraftverk. Historik och beskrivning utgiven av Kungliga Vattenfallsstyrelsen, Stockholm 1911.
- /14/ Cederwall, K.: "Statistik i hydrologiska sammanhang," CTH, Vattenbyggnad, Intern skrift nr 13, 1972.

13. KONTAKTER

Följande personer har bidragit med uppgifter och annan hjälp

Civ.ing. C. Janding	Göta Älvs vattenvårdsförbund	73 54 93
Lab.chef T. Nemeth	Göteborgs VA-verk	87 19 85
Ing. G. Andersson	"	43 15 87
Byrådir. L. Thorell	Länsstyrelsen i Gbg:s och Bohus Län	17 22 80
Ing. Arvidsson	Trollhätte kraft	0520/ 12620
Ing. Augustsson	"	"
Ing. Selander	Trollhätte kanal	"
Ing. Wahlstedt	Holmens Bruk	0521/20 380

Industrier som använder älvvattnet som processvatten har förvarnats före varje dosering genom följande personer.

Ing. Walén	Ferrolegeringar	0521/ 12 540
Drifting. Walter	Lilla Edet pappersbruk	0520/ 50 600
Ö.ing. Vallman	Inland AB	0520/ 50 620
Ing. Land	Göta cellulosa	0520/ 53 070
Ing. S. Jansson	SAAB-Scania	0520/ 12 600/ 466.