

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för vattenbyggnad

SEDIMENTERINGSANLÄGGNING RYAVERKET
STRÖMNINGSTEKNISK STUDIE

av

J-Å Johansson

B. Löfberg

Ex. arb. 1974:3

FÖRORD

Föreliggande examensarbete, en strömningsteknisk undersökning av en av Ryaverkets sedimenteringsbassänger, har utförts vid institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, av teknologerna Jan-Åke Johansson och Bengt Löfberg.

Undersökningen har tillkommit på initiativ av GRYAAB, Göteborgsregionens Ryaverks AB. Under examensarbetet har vi bl a varit kontakt med driftsingenjör G. Lund och ingenjör A. Arndtsson GRYAAB samt civ. ing. A. Peitersson VA-verket. Handledare för examensarbetet har varit civ. ing. T. Svensson.

Ett varmt tack riktas till alla de personer som hjälpt oss i vårt arbete.

Göteborg i augusti 1974

Jan-Åke Johansson

Bengt Löfberg

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

		sid.
1.	INLEDNING	1.1
2.	PROBLEMDISKUSSION	2.1
3.	TEORI FÖR REKTANGULÄRA SEDIMENTERINGSBASSÄNGER	3.1
	3.1 Definition av en ideal sedimenteringsbassäng	3.1
	3.2 Hazens ytbelastningsteori	3.2
	3.3 Uppehållstid	3.3
	3.4 Kortslutning och stabilitet	3.5
	3.5 Turbulensens inverkan på sedimenteringen	3.6
4.	UTFORMNING AV SEDIMENTERINGSBASSÄNGER	4.1
	4.1 Inlopp	4.1
	4.2 Utlopp	4.2
	4.3 Ryaverkets sedimenteringsbassänger	4.3
5.	UPPLÄGGNING OCH UTVÄRDERING AV FÖRSÖK	5.1
6.	BESTÄMNING AV FLÖDE OCH TEORETISK UPPEHÅLLSTID	6.1
7.	MÄTNING AV VERKLIG UPPEHÅLLSTID	7.1
	7.1 Försöksserie 1	7.3
	7.2 Försöksserie 2	7.6
	7.3 Försöksserie 3	7.7
	7.4 Försöksserie 4	7.8
	7.5 Slutsatser av försöksserierna 1-4	7.9
	7.6 Försök i annan bassäng	7.10
8.	UNDERSÖKNINGAR I SYFTE ATT FINNA ORSAKERNA TILL DEN KORTA UPPEHÅLLSTIDEN	8.1
	8.1 Mätning av hastighetsfördelningen i inloppstvårsnittet	8.2
	8.2 Mätning av hastighetsfördelningen i mitt-tvårsnittet	8.6
	8.3 Mätning av hastighetsfördelningen i utloppstvårsnittet	8.8
	8.4 Slutsummering av hastighetsmätningarna med flygel	8.8
	8.5 Kontinuerlig dosering med inmätning i mittzonen	8.8
	8.6 Bestämning av uppehållstiden vid ändring av inloppets utformning	8.13
9.	DENSITETSMÄTNINGAR	9.1
10.	SEDIMENTATIONSANALYSER	10.1
	10.1 Försökens utförande	10.1
11.	SLUTSUMMERING	11.1
12.	LITTERATURFÖRTECKNING	12.1
13.	DIAGRAMBILAGA	
14.	APPENDIX 1	
15.	APPENDIX 2	

Program för examensarbete i vattenbyggnad 1974:3

Hydraulisk undersökning av sedimenteringsbassängerna i Ryaverket

Bakgrund

Göteborgsregionens avloppsreningsverk, Ryaverket, består av en högbelastad aktiv-slammanläggning utan försedimentering och avser att, i fullt utbyggt skick, rena spillvattnet från hela göteborgsregionen. Utbyggnaden av såväl tillloppstunnlar som själva reningsverket sker etappvis, varför verkets utbyggda kapacitet f n endast utnyttjas till hälften. Hösten 1974 avses emellertid det spillvatten som nu renas i Näsetverket tillföras Ryaverket som då får full belastning.

Sedimentation av det biologiskt utflockade materialet sker i 24 st rektangulära bassänger med planmått 60 x 7,8 m och ett medeldjup av 2,75 m. Det avsatta slammet transporteras med kedjeskrapor till slamfickor, belägna i bassängernas uppströmsände. Sedimenteringsbassängerna har vid full belastning på verket en ytbelastning av $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$.

Vid driften av verket har man emellertid märkt att sedimenteringsbassängerna ej fungerar korrekt utan att slammet delvis avbördats med utgående vatten över skiborden. Detta kan bero antingen på bassängernas hydrauliska egenskaper, kortslutningsströmmar, turbulens eller på flockarnas sjunk-egenskaper. Dessa problem kan förväntas öka vid full belastning, varför det är angeläget att utröna orsakerna för att kunna vidtaga lämpliga åtgärder.

Målsättning

Examensarbetet avser att studera den hydrauliska funktionen av sedimenteringsbassängerna under driftförhållanden. Speciellt skall strömförhållanden vid in- och utströmning undersökas samt flödets och slammets fördelning i bassängen. Inverkan av flödets storlek och skrapornas hastighet undersöks inom praktiska gränser och en bedömning av eventuell vindpåverkan på strömningen görs. Flockarnas egenskaper studeras översiktligt samtidigt som bassängernas hydraulik med hjälp av institutionen för VA-teknik.

Mätmetodik

Densiteten mätes i såväl längsled som djupled på upptagna vattenprover om möjligt med aerometer för att dels kartlägga slammets fördelning och dels kunna beräkna tryckfältet.

Direkta strömmätningar utföres där så är möjligt med flygel och i annat fall med spårämne. Spårämne används även för att mäta den reella uppehållstidsfördelningen i bassängerna varur medverkande volym vid strömningen kan beräknas. Doseringen sker då momentant vid inloppet och inmätning sker vid utloppet.

Som spårämne väljes salt eller ett fluorescerande färgämne. Valet sker efter undersökning av respektive ämnes detekterings- och absorptions-egenskaper i det slamhaltiga vattnet.

Färgspårämnet kan även användas för mätning av strömhastigheter genom punktinjeceringar på olika ställen i bassängen och successiv inmätning av färgfläckens position.

Flödet genom bassängerna bestäms med hjälp av mätöverfall i utloppsrännan.

Utförande

Undersökningen utföres i samarbete med GRYAAB, som kan hjälpa till med praktiska arrangemang på platsen; kontaktman Arnold Arndtsson, samt med inst.f. VA-teknik; assistent Torsten Hedberg.

Examensarbetet inleds med litteraturstudier och undersökning av spårämnesegenskaper. Mätningar på platsen påbörjas den 4/6 och beräknas pågå under ca 5 veckor. Rapportering av erhållna resultat sker regelbundet till handledare och slutrapporten utformas i enlighet med PM för examensarbeten vid inst.f. vattenbyggnad. Planering och disposition av rapporten bör göras så tidigt som möjligt under mätningarna.

1. INLEDNING

Ryaverket är göteborgsregionens avloppsreningsverk och togs i bruk årsskiftet 71/72. Verket ägs av ett aktiebolag GRYAAB, Göteborgsregionens Ryaverks AB. Aktieägarna är Göteborgs kommun med grannkommuner t ex Kungälv, Mölndals och Lerums kommuner. Första utbyggnadsetappen har utformats så att den kan kombineras med vilken för närvarande känd reningsmetod som helst. Enligt uppgjorda prognoser kommer belastningen på reningsverket uttryckt som antalet anslutna personekvivalenter att öka från ca 200.000 årsskiftet 71/72 till 1.000.000 år 2010 och därmed inkommande maximala avloppsvattenmängder från $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ till $11,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Den erforderliga kapacitetsökningen utföres av teknisk-ekonomiska skäl i ytterligare två etapper, vilka bedöms behöva vara i drift år 1983 resp 1996.

Till Ryaverket inkommer för närvarande avloppet från 420.000 personer. Det renas mekaniskt och biologiskt och släpps därefter ut genom en spridarledning i älvmynningen vid Rya Nabbe. Enligt vattendom skall reduktionen av organisk substans vara minst 70 %. Anläggningen är dimensionerad för att uppnå högsta möjliga reningseffekt vad beträffar avskiljning av avsättbara och flytande ämnen

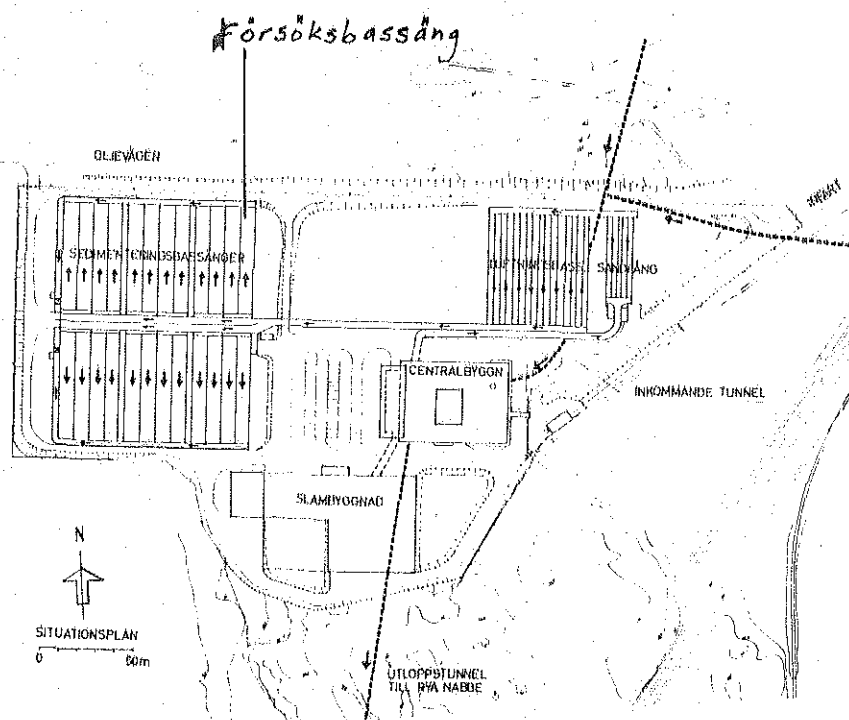


Fig. 1 Situationsplan

En översikt av anläggningen framgår av fig. 1.

Avloppsvattnet rinner via en inkommande tunnel in i centralbyggnaden, där grövre material som t. ex. trasor avskiljs med hjälp av maskinrensade galler. Vattnet går vidare till sandfången i vilka partiklar över en viss tyngd avsättes. Därefter utflockas icke-avsättbara organiska föroreningar genom inverkan av aktivt slam i de 16 luftningsbassängerna. Efter uppehållet i luftningsbassängerna föres vattnet vidare i en luftad kanal till sedimenteringsbassängerna, fig. 2, vilka byggts i block om fyra med totalt 24 rektangulära bassänger. I varje bassängs inloppsända finns en energidämpande anordning för att lugn strömning skall åstadkommas. För att samma belastning skall erhållas på varje bassäng, är reglerbara skibord installerade på utloppssidan.

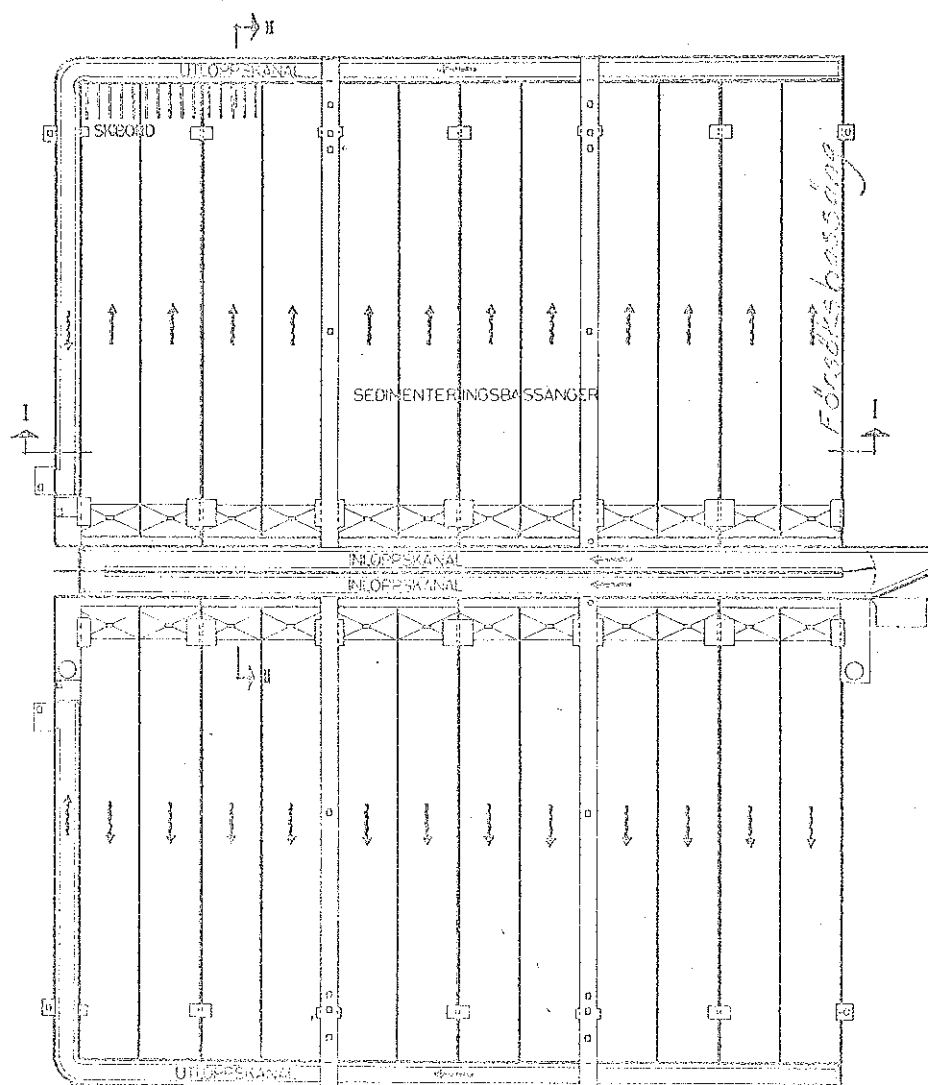


Fig. 2 Plan över sedimenteringsbassänger.

Efter sedimentering är avloppsvattnet nu biologiskt renat motsvarande lägst 70 % reduktion av organisk substans och får avrinna till en fördelningskammare som är belägen i centralbyggnaden. Där sker klor-dosering och överledning till en utloppstunnel som mynnar vid Rya Nabbe. Av överskottsslammet återgår en del till luftningsbassängerna medan resten behandlas - dels för att minska vattenhalten och dels för att göra det mer hygieniskt tilltalande innan det bortföres från verket för deponering på tipp.

2. PROBLEMDISKUSSION.

Vid driften av Ryaverket har man märkt att en del av avloppsslammet ej sedimenterar utan avbördas med utgående vatten och således tillförs recipienten. Detta förutsätts bero antingen på de hydrauliska förhållandena i sedimenteringsbassängerna, kortslutningsströmmar, turbulens eller på flockarnas sjunkegenskaper.

Slamflykt iakttages rent visuellt vid utloppet. Detta fenomen förekommer alltid, men det blir större då flödet ökar. För närvarande är belastningen på Ryaverket ca. $1/3$ av max. belastningen. Då slamavbördningen ökar med flödet, kan detta problem förväntas att bli större, när full belastning uppnås vid verket. Denna slamflykt kan, som tidigare nämnts, bero på turbulens, vilket bl. a. innebär att partiklar som redan har sedimenterat rivs upp för att sedan följa med utloppsvattnet. Slamflykten kan också bero på att flockarnas täthet är för låg, vilket medför låg sjunkhastighet av slammet. Ett mått på slammets sjunkegenskaper ges av slamindex, SI, vilket rutinmässigt bestäms vid Ryaverket genom sedimentationsanalys i 1000 ml mätglas.

Ryaverkets slamindex ligger på ca. 100 ml/mg, vilket är ett normalt värde för aktivslamanläggningar. Trots slamindexets normala värde kan man inte förkasta att orsaken till slamavbördningen härrör från flockarnas sjunkegenskaper. Slamförruttnelse kan också vara en bidragande orsak till slamavbördning. Det skulle då ske på så sätt att slam blir kvarliggande på sedimenteringsbassängens botten utan att föras med skrapverket. Det kan då ruttna och flyta upp till ytan och avbördas med utgående vatten. Dessa aspekter att slamflykten har sin orsak i avloppsvattnets sammansättning och egenskaper samt reningsverkets biologiska funktion behandlas ej i detta examensarbete.

Målsättningen i vårt examensarbete har varit att undersöka om slamflykten kan bero på sedimenteringsbassängernas hydraulik (se "Program för examensarbete"). Det är önskvärt att vårt examensarbete kompletterats med en undersökning av avloppsvattnets och flockarnas egenskaper för att en fullständig bild av sedimentationen skall kunna ges.

3. TEORI FÖR REKTANGULÄRA SEDIMENTERINGSBASSÄNGER:

3.1 Definition av en ideal sedimenteringsbassäng.

Camp se (5) har definierat en ideal sedimenteringsbassäng, som en bassäng där sedimenteringen sker på exakt samma sätt som i en stillastående behållare av samma djup. En ideal, rektangulär bassäng för fri sedimentering, med vilket menas att avståndet mellan partiklarna i suspensionen är så stort att en enskild partikel ej påverkas av omgivande partiklars rörelser, har enligt Camp se (5) följande egenskaper:

1. Strömningen är horisontell, laminär och lika i alla delar av sedimenteringsbassängen, vilket innebär att varje volymselement av vätskan antages uppehålla sig i sedimenteringszonen under en tid som är lika med den teoretiska uppehållstiden (bassängvolymen dividerad med flödet).
2. Koncentrationen av suspenderade partiklar av varje storlek är lika i varje del av det inkommande flödet.
3. En partikel är borttagen ur suspensionen när den når bassängens botten.

En ideal rektangulär sedimenteringsbassäng kan indelas i 1/ en inloppszon, där det inkommande flödet fördelas jämnt över hela tvärsnittsytan, 2/ en sedimenteringszon, där vätskan över hela tvärsnittsytan har samma rörelseriktning och hastighet, 3/ en utloppszon, från vilken klarnad vätska utledes likformigt från hela tvärsnittsytan och 4/ en slamzon, se fig. 3.

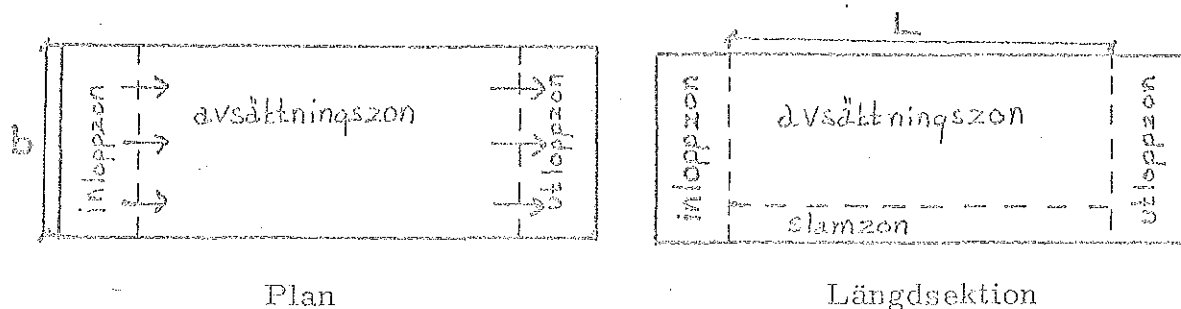


Fig. 3 Ideal rektangulär sedimenteringsbassäng enl. Camp se (5).

3.2 Hazens ytbelastningsteori. (10)

Som grundläggande teori för en sedimenteringsbassängs funktionssätt gäller den av Hazen år 1904 lanserade ytbelastningsteorin, vilket i korthet innebär att den partikelstorlek man önskar avskilja skall ha nått sedimenteringsbassängens botten, innan vattnet lämnar bassängen, se fig. 4.

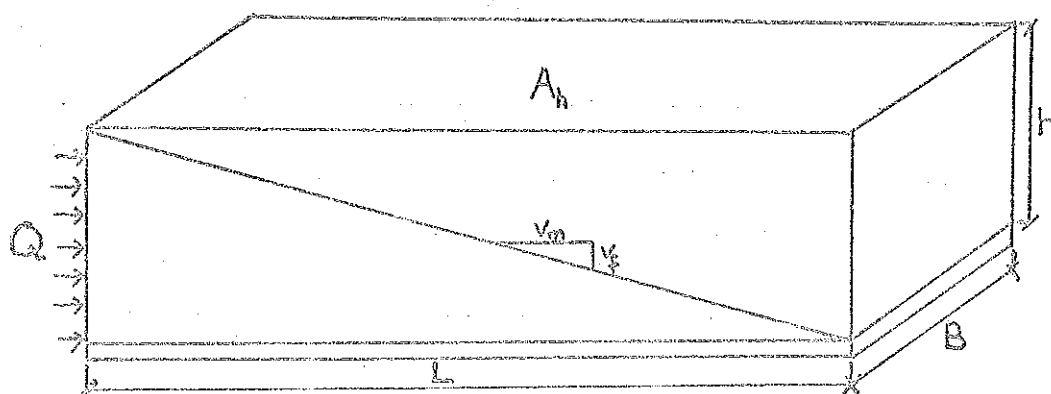


Fig. 4 Definition av beteckningar

Bassängens bredd	B	m
" djup	H	m
" längd	L	m
" horisontella yta	$A_h = B \cdot L$	m^2
" vertikala tvärsnittsytan vinkelrätt mot strömningsriktningen	$A_v = B \cdot H$	m^2
Inkommande flöde=utgående flöde	Q	m^3/h

För att en partikel med sedimenteringshastigheten v_f , som kommer in vid ytan i en bassäng med strömningshastigheten v_m över hela tvärsnittsytan, skall avskiljas erfordras att

$$\frac{v_f}{v_m} \geq \frac{H}{L} \quad \dots\dots (1)$$

men

$$v_m = \frac{Q}{A_v} = \frac{Q}{B \cdot H} \quad \dots\dots (2)$$

som ger

$$v_f \geq \frac{H \cdot Q}{L \cdot B \cdot H} = \frac{Q}{B \cdot L} \quad \dots\dots (3)$$

men

$$B \cdot L = A_h \quad \dots\dots (4)$$

Alltså

$$v_f \geq \frac{Q}{A_h} = \text{ytbelastningen} \quad \dots\dots (5)$$

Hazen tolkade år 1904 detta så att ytbelastningen är lika med sedimenteringshastigheten hos den minsta partikel som till 100 % avskiljes i en sedimenteringsbassäng. Alla partiklar med större sedimenteringshastighet kommer att avskiljas till 100 %.

För att avskiljning av partiklar med till exempel en tredjedel så stor sedimenteringshastighet, som ytbelastningen anger, fordras att partikeln har kommit in under en tredjedel av bassängdjupet från botten räknat. Om partiklarna antages likformigt fördelade över hela tvärsnittsytan i inloppszonen innebär detta att en tredjedel av partiklarna med denna sedimenteringshastighet avskiljes. Avskiljningsgraden, γ , för partiklar med sedimenteringshastigheten v_s , blir om

$$\begin{aligned} v_s &\geq v_f & \gamma &= 100 \% \\ v_s &< v_f & \gamma &= 100 \cdot \frac{v_s}{v_f} \% \end{aligned}$$

3.3 Uppehållstid

Begreppet teoretisk uppehållstid i en sedimenteringsbassäng definieras som förhållandet mellan bassängens volym och den per tidsenhet tillförda vattenmängden eller ekvivalent som förhållandet mellan bassängens längd och vattnets medelhastighet, dvs

$$T = \frac{V}{q} = \frac{L}{v_m} \quad \dots\dots (6)$$

I verkligheten är emellertid hastighetsfördelningen i tvärsnittet ojämn dvs. de enskilda partiklarna har från varandra skilda hastigheter och därmed skilda uppehållstider. Härvid inverkar bassängens form,

strömhastigheter m.m. Enklarest kan man konstatera detta förhållande genom att momentant tillsätta ett spårämne t. ex. fluorescerande färg, radioaktiv isotop eller salt i inloppet och mäta dess koncentration vid utloppet som funktion av tiden. Man erhåller härvid de enskilda partiklarnas uppehållstider ur en impulsfunktion (se fig. 5).

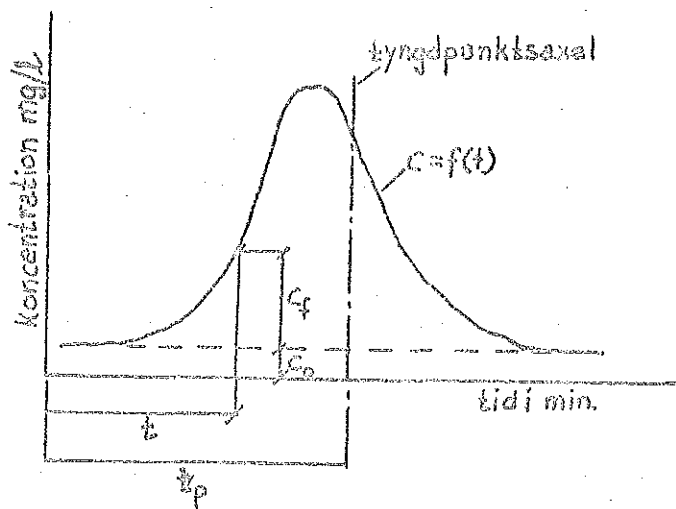


Fig. 5 Impulsfunktion

Ur impulsfunktionen beräknas den verkliga uppehållstiden som tiden från dosering av spårämnet till tyngdpunkten, t_p , av den yta som innehåller av koncentrationskurvan $c = f(t)$ och vattnets bakgrundskoncentration, c_0 , dvs

$$t_p = \frac{\int_0^{\infty} (c - c_0) t \cdot dt}{\int_0^{\infty} (c - c_0) dt} = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} (c_n - c_0) t \cdot}{\sum_{n=1}^{\infty} (c_n - c_0)} \quad \dots\dots (7)$$

t = tiden från doseringen av spårämnet.

Den volymetriska verkningsgraden definieras som kvoten mellan den verkliga och den teoretiska uppehållstiden. För rektangulära bassängar anges denna kvot normalt vara ca. 0,3 - 0,5. Detta betyder att enbart 0,3 - 0,5 av den totala bassängvolymen medverkar vid strömningen genom bassängen.

3.4 Kortslutning och stabilitet

Det är omöjligt att konstruera en sedimenteringsbassäng såsom Camp beskriver den. Hastigheten hos vätskan kommer att variera över tvärsnittsytan, vilket medför att den verkliga uppehållstiden blir kortare än den teoretiska. Om endast en mindre del av tvärsnittsytan medverkar i strömningen talar man om kortslutningsströmmar. Sådana påverkas av turbulent omblandning, hög inloppshastighet och täthetsskiktningar. Konsekvensen av denna kortslutning blir att partiklar inte hinner sedimentera innan avloppsvattnet når bassängens utlopp. Täthetsskillnaderna mellan inkommande vatten från luftningsbassängerna och vattnet i sedimenteringsbassängerna torde i första hand vara upphovet till kortslutningsströmmar. Vid låga strömningshastigheter i djupa bassänger söker sig ett inkommande flöde med högre täthet än vattnet i bassängen ned utefter botten av bassängen. Detta kan om bottenhastigheten blir hög resultera i att en tillbakagående ytström erhålles, se fig. 6. Lättare inkommande vatten vill å andra sidan flyta i bassängens ytskikt med en eventuell returström vid botten.

Vatten med hög halt av suspenderade ämnen är tyngre räknat per volymenhet än vattnet efter att partiklarna sedimenterat. Tätheten ökar också när temperaturen avtar ($\rho_{\text{max.}}$ vid $+4^{\circ}\text{C}$) och när salthalten ökar, vilket emellertid har mindre betydelse för sedimenteringsbassänger.

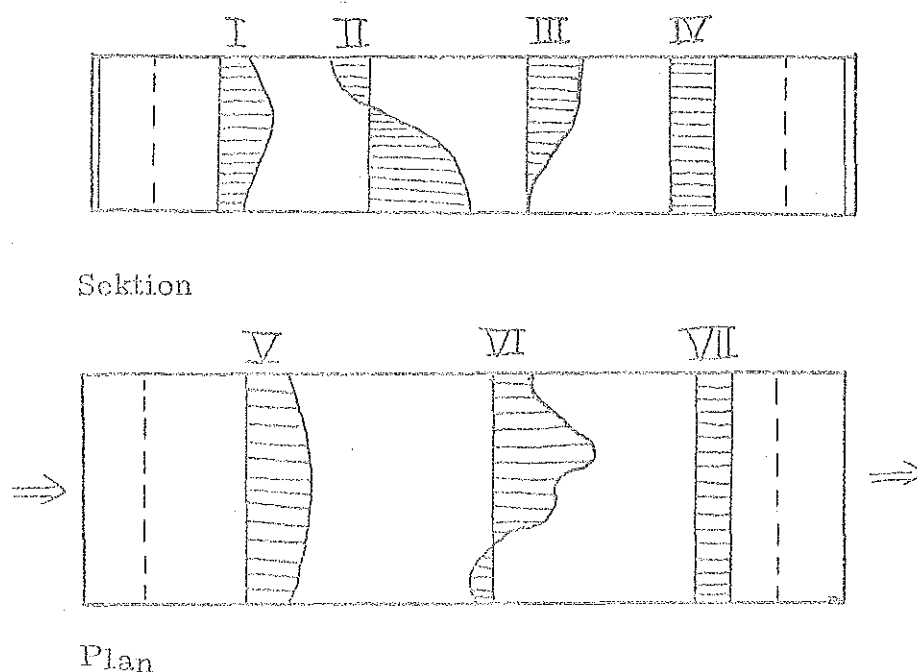


Fig. 6

3.5 Turbulensens inverkan på sedimenteringen

Om flödet i någon del av bassängen är turbulent erhålles där en omblandning av suspensionen. Därigenom kan störningar av olika slag uppstå som hinderat fall, störning vid in- och utlopp och medrivning av slam från botten, vilket medför att den i verkligheten sedimenterade slammängden blir mindre än den teoretiska. Detta har till följd att det behövs en längre sedimenteringsbassäng än vad som skulle behövas om turbulens ej förelåg. Kriteriet på turbulent strömning är att Reynolds tal är större än ca 2300 (vid rörströmning). Reynolds tal definieras som

$$Re = \frac{v \cdot D_h}{\nu} \quad \dots\dots (8)$$

där v = medelströmningshastigheten

ν = kinematiska viskositeten

D_h = hydrauliska radien = $\frac{\text{genomströmmad tvärsnittsytta}}{\text{våta perimetern}}$

Om sedimenteringsbassängerna skall dimensioneras för laminär strömning måste Reynolds tal vara mindre än ett visst värde (2000-3000). Detta är i regel omöjligt att uppfylla i praktiken. Man arbetar därför ofta med Reynolds tal i storleksordningen 1000-25000.

4. UTFORMNING AV SEDIMENTERINGSBASSÄNGER

I allmänhet dimensioneras sedimenteringsbassänger enligt Hazens ytbelastningsteori, se kap. 3.2. Teorins giltighet förutsätter emellertid att en del andra villkor är uppfyllda, däribland hydrauliska. Strömningen måste vara laminär, dvs Reynolds tal $R < 2000$, samt stabil, dvs Froudes tal $F > 10^{-5}$

$$F = \frac{v^2}{g \cdot H} \quad \dots (9)$$

där v^2 = medelströmningshastigheten

H = hydrauliska medeldjupet

Avgörande för sedimenteringsresultatet enligt ytbelastningsteorin är den tillgängliga sedimenteringsytan. Bassängens djup har ingen annan betydelse än att slam skall kunna lagras eller bortskrapas utan påverkan av strömningförhållandena i bassängen.

Eschritt se 5 anger att rektangulära bassänger skall göras långa i förhållande till sin bredd. Ett vanligt längd-breddförhållande är 6:1. Likaså göres djupet litet i förhållande till bredden för att minska risken för kortslutningsströmmar. Minsta djup bestäms av risken för upprörning av på botten sedimenterat slam vid högsta strömningshastigheten.

Normalt användes maskinell utrustning för skrapning av slammet till en slamficka varifrån slammet pumpas till sin vidare behandling.

4.1 Inlopp

Inloppet till en sedimenteringsbassäng skall konstrueras så att inkommande vatten fördelas jämnt över hela tvärsnittet. Hastigheten hos det ingående vattnet skall vara så låg att turbulenta strömvirvlar genom bassängen undvikas.

Vanligen göres ett arrangemang med s k bafflar som har till uppgift att dämpa rörelseenergin hos det inkommande vattnet. Vid mindre anläggningar används ofta en dygskärm för att bromsa och fördela vattenströmmen (se fig 7). Exempel på utförning vid större anläggningar är t ex en spjälkskärm över hela tvärsektionen (fig 8) eller speciella munstycken (fig 9).

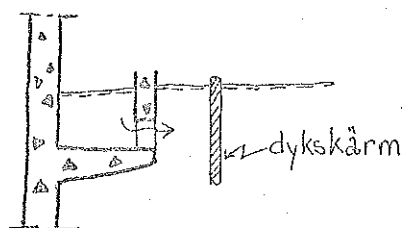


Fig 7 Inlopp med dygskärm

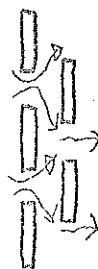


Fig. 8 Inlopp med spjälskärm

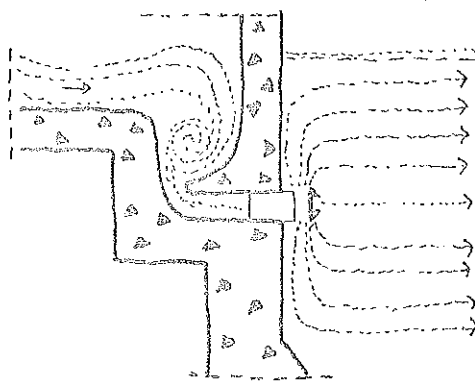


Fig. 9 Inlopp utformat som munstycke

4.2 Utlopp

Det är enklare att utforma utlopp än inlopp. Två regler gäller:

- 1) På grund av att halten suspenderade ämnen är lägst vid ytan erhålles bästa avskiljningseffekten om utflödet göres från ytan som en tunn vätskefilm. Utloppet skall alltså utformas som ett överfall.
- 2) Utloppet skall ligga långt bort från inloppet för att förhindra kortslutningsströmmar.

Det första villkoret är viktigt. Escritt rekommenderar ett plant överfall, så dimensionerat att vid normala variationer i flöde en jämn vätskefilm erhålles över hela överfallets utsträckning.

I Sverige är det vanligare med överfall uppbyggda av tätt placerade v-överfall, s k skibord. Som maximalbelastning på skiborden för att undvika slamavbördning anger Imhoff $8 \text{ m}^3/\text{h}$ ($= 2,25 \text{ l/s}$) - $10 \text{ m}^3/\text{h}$ ($2,8 \text{ l/s}$), per löpmeter skibord och enligt kompendium i VA-teknik, CTH $3-5 \text{ m}^3/\text{h}$, m.

4.3 Ryaverkets sedimenteringsbassänger

Sedimenteringsanläggningen består av 24 st bassänger med dimensionerna $60 \times 7,8 \times 2,75 \text{ m}$ se fig. 2 sid.1.2.

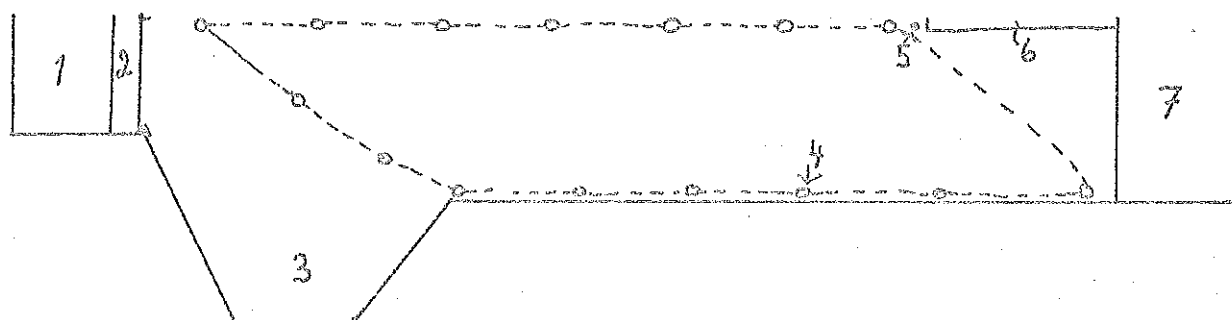


Fig. 10 Sektion av sedimenteringsbassäng

Alla bassängerna är identiskt lika fig. 10 och består av följande delar.

- (1) Inloppskanal. Från denna fördelas avloppsvattnet ut i de olika bassängerna.
- (2) Innan vattnet når in i själva bassängen passerar det genom en energidämpare i form av vertikala spalter, se fig 11. Framför denna är en luftinblåsning placerad, vars uppgift är att förhindra att slammet sedimenterar här och därigenom sätter igen spalterna.
- (3) Slamficka. Slamfickans djup är 4 m från sedimenteringsbassängens botten räknat. Det på botten av bassängerna avsatta slammet, transporteras med kedjeskrapor fram till slamfickan, belägen vid bassängernas inloppsända. Från fickan går sedan en del av slammet (aktivt

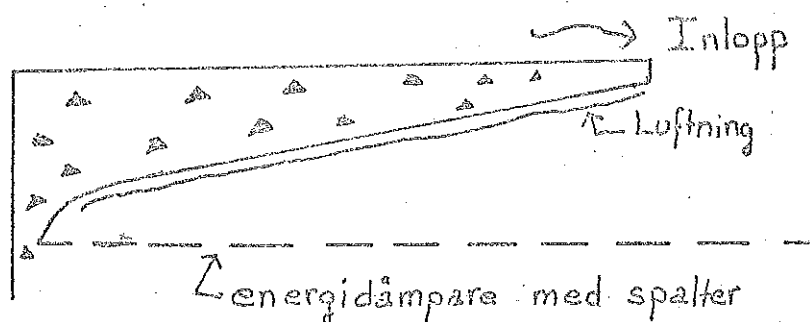


Fig. 11 Plan av inlopp till sedimenteringsbassäng

slam) tillbaka till luftningsbassängerna medan resten går till slambehandlingsanläggningen.

- (4) Slamskrapor. Dessa skrapor för det sedimenterade slammet till slamfickan. Skraporna är av typ kedjeskrapor och har tre hastigheter 0,67 m/min, 0,85 m/min och 1,33 m/min. Var fjärde skrapa är gummiförsedd i underkanten så att dess anliggning mot botten blir fullständig. Denna gummibeklädnads funktion är att se till att inget gammalt slam blir kvar på botten.
- (5) Dekantering. Avbördning av flytslam. Dekanteringsrännan är placerad alldeles framför skiborden och träder i funktion med jämna tidsintervall. Reglering av dekanteringen kan, liksom ändring av skraphastigheten, ske separat för varje bassäng.
- (6) Skibord. Varje bassäng har fem skibord vilka är placerade i utlopps-rännan. Skibordens utformning framgår av bild 1. De är utförda i syrafast stål och har måtten: längd 4,55 m, höjd 40 cm och bredd 30 cm.
- (7) Utloppskanal: Samlar upp det renade vattnet och för det vidare till klorering innan det släpps ut i Göta älv vid Rya nabbe.

Sedimenteringsbassängerna är byggda i block om fyra. De kommunicerar parvis genom några ursparingar invid botten. Vid in- och utloppsändarna samt mellan varje par av bassänger finns gångbanor, vilka används för den kontinuerliga driften och underhållet.

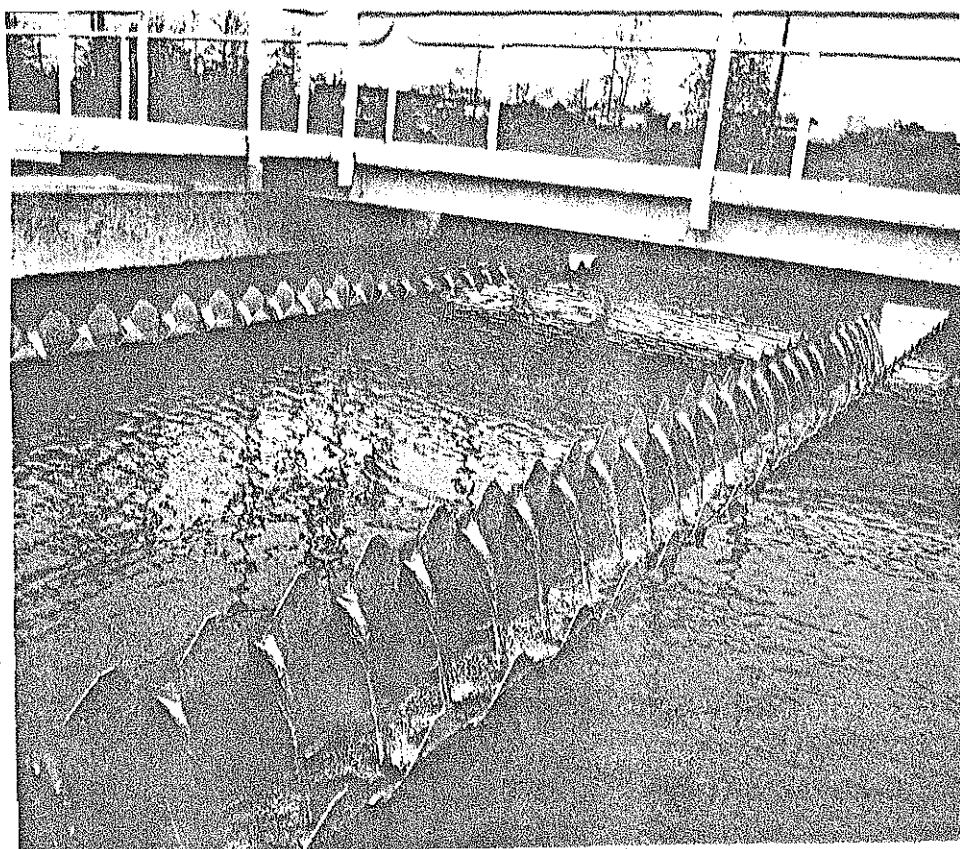


Bild 1 Thompsonöverfall som skibord i utloppsändan av sedimenteringsbassäng (Ur Vatten 3)

5. UPPLÄGGNING OCH UTVÄRDERING AV FÖRSÖK

Försöken inriktades i huvudsak på att bestämma den verkliga uppehållstiden med hjälp av spårämne och ställa denna i relation till den teoretiska. Som komplettering mättes täthetsfördelningen i bassängen samt hastighetsfördelningen över inlopps- och mittvärnsnitten.

Ur uppehållstiden kan utläsas huvuddragen av hur sedimenteringsbassängerna fungerar hydrauliskt, bl a kan den i strömningen medverkande volymen beräknas för att se om vattnet strömmar fram i skikt, dvs att döda zoner finns i bassängerna. Uppehållstidsmätningarna är också relativt enkla att utföra, varför påverkan av olika parametrar inom normala driftsbetingelser kunnat undersökas.

Följande parametrar har undersökts:

- 1) Flödet 2) Skraphastigheten 3) Inloppets luftning

1) Uppehållstidsmätningarna gjordes för utgående flöden av 70 l/s o bassäng, 120 l/s o bassäng och 200 l/s o bassäng motsvarande en inkommande avloppsvattenmängd av 1,7 m³/s, 2,9 m³/s resp 4,8 m³/s till Ryaverket. Inkommande flöde 1,7 m³/s motsvarar i stort sett belastningen sommaren 1974 och flödet 4,8 m³/s är vad man har i slutet av nuvarande utbyggnadsetapp, dvs maxflödet.

2) Skraphastigheten varierades inom praktiska gränser, dvs 0,67 m/min, 0,85 m/min och 1,33 m/min.

3) Uppehållstiden undersöktes dels för avstängd inloppsluftning dels för påslagen.

Vi utförde 4 st försöksserier och under varje försöksserie hölls flödet konstant, med undantag av serie 1, vilket var ett inledande försök. Varje försöksserie omfattar 4 st försök mellan vilka skraphastigheten och inloppsluftningen varierar.

Försöksserie 1: Inledande försök

Försöksserie 2: Flödet hölls konstant ca 70 l/s. 3 st försök med inloppsluftningen påkopplad gjordes för att bestämma uppehållstid vid de olika skraphastigheterna och 1 st för att bestämma uppehållstid vid avstängd luftning.

Försöksserierna 3: Flödet hölls konstant ca 120 l/s. För övrigt varierades samma parametrar som i serie 2.

Försöksserie 4: Flödet hölls konstant ca 200 l/s. För övrigt varierades samma parametrar som i serie 2.

Uppläggning av uppehållstidsförsöken enligt ovan gjordes för att vi därigenom skulle kunna utläsa följande:

- 1) Den verkliga uppehållstiden i förhållande till den teoretiska.
- 2) Flödets inverkan på den verkliga uppehållstiden
- 3) Skraphastighetens inverkan på uppehållstiden
- 4) Inverkan av inloppets luftning på den verkliga uppehållstiden

Den verkliga uppehållstiden mättes också när inströmningsförhållandena i inloppet var förändrade. Detta utfördes genom att inloppsspalterna delvis igensattes, så att vattnet fick strömma in genom en mindre yta. För närmare beskrivning se försök 8. 6.

Densitetsmätningar utfördes för att utröna huruvida täthetsskiktning förelåg i sedimenteringsbassängerna och för att beräkna tryckfältet och därigenom kunna bedöma strömmens fördelning i vertikalled.

Hastigheter uppmättes för att eventuellt upptäcka zoner med relativt stora hastigheter. Speciellt studerades inloppet.

Slutligen togs varje mättag sedimenteringsprov för att klarlägga slammets sjunkegenskaper.

Uppehållstiden bestämdes med hjälp av Rodamin B [se Appendix 1]. Vid bestämningen av Rodaminkoncentrationen i utloppet, har det ej tagits någon hänsyn till att en del Rodamin B har adsorberats från doseringen tills det har nått utloppet. Då alla försök är utförda på samma sätt är de ändå fullt jämförbara.

Vid bestämning av tyngdpunkten i diagram 1:1 - 5:3 och diagram 1-3 så används formel (7) sid 3.4 . Då utgångskoncentrationen i en del fall är lägre än slutkoncentrationen blir den beräknade verkliga uppehållstiden lite för liten. Skillnaden i begynnelse- och slutkoncentration påverkar dock ej slutresultatet i nämnvärd grad.

6. BESTÄMNING AV FLÖDE OCH TEORETISK UPPEHÅLLSTID

Som experimentbassäng valdes den första på höger sida i strömningsriktningen, se fig. 1, sid 1.1, vilken försågs med en tvärgående brygga på mitten.

Flödet genom alla 24 sedimenteringsbassängerna mättes centralt, men då fördelning på de olika bassängerna inte exakt är känd krävdes individuell flödesmätning genom experimentbassängen. Denna utfördes med hjälp av plana, skarpkantade överfall placerade i slutet av de fem skibordsrännorna, se fig 12. Avbördningen bestäms då av följande formel:

$$Q = C_D \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot L \cdot h^{3/2} \quad \dots\dots\dots (10)$$

där Q = flödet genom ett utloppshål

$$C_D = 0,605 + 0,08 \frac{h}{w}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

L = utloppshålets bredd

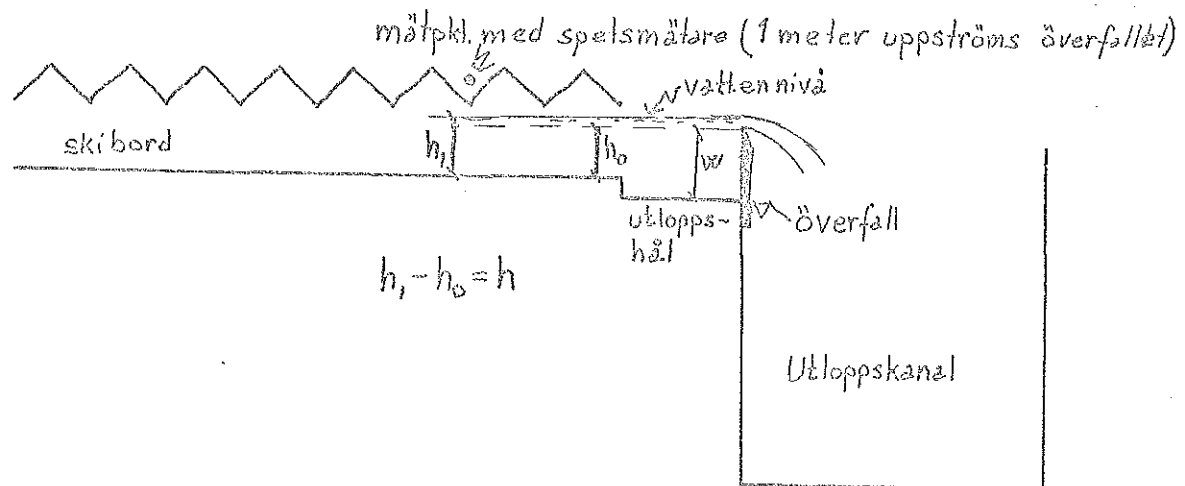


Fig. 12 Definition av parametrar för flödesmätning

L och w uppmättes för de fem utloppshålet. Därefter uppritades Q som funktion av $h_1 = h + h_0$ för varje överfall. h_0 uppmättes genom att fylla

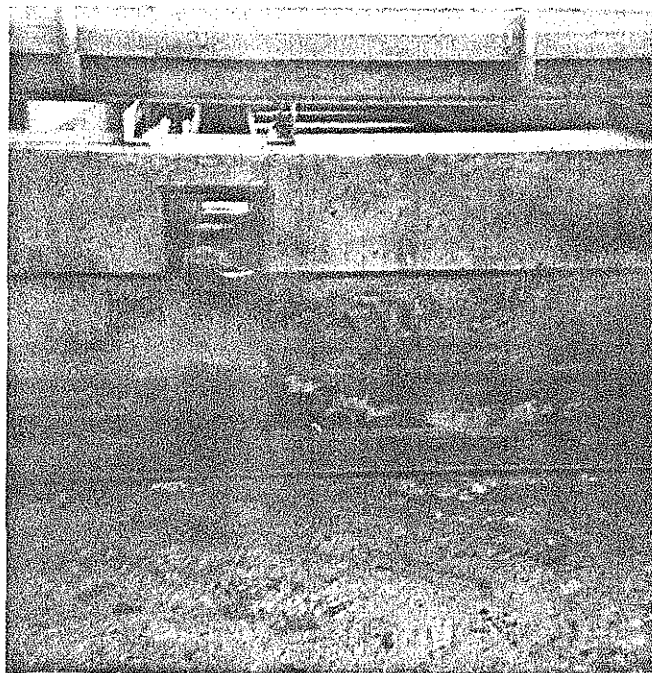


Bild 2 Utloppshål

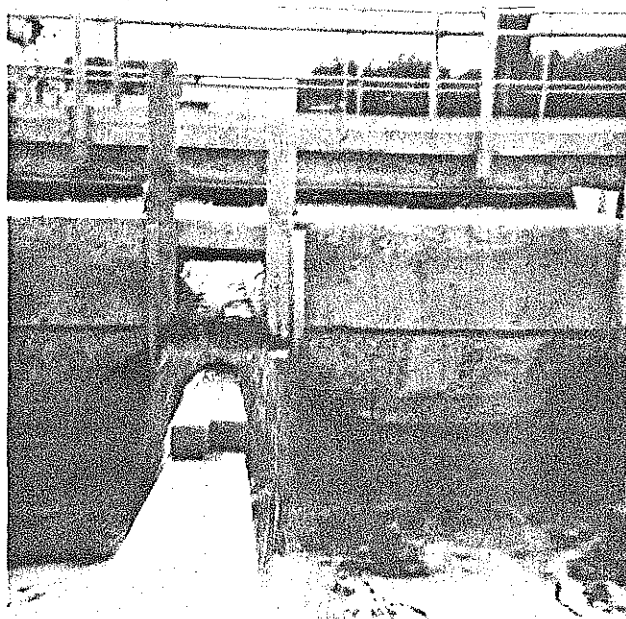


Bild 3 Utloppshål med överfall

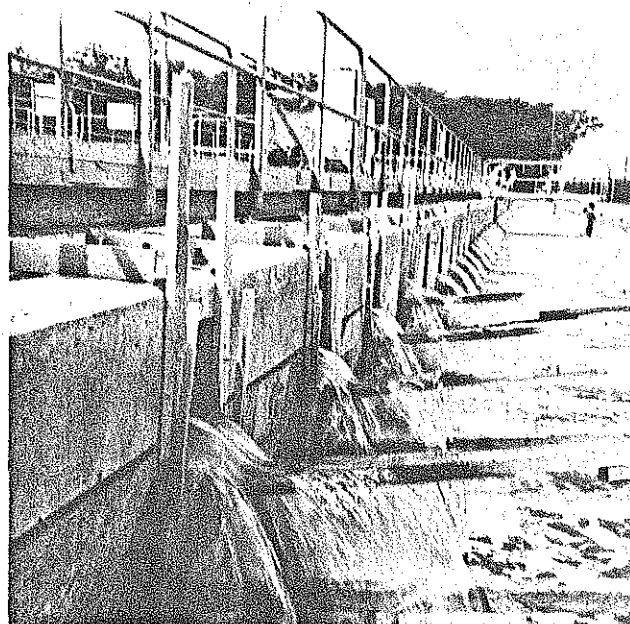


Bild 4 Utloppshål med överfall

skibordsrännorna med vatten upp till nivå med överfallets överkant. Nivån lästes av med spetsmätare ca 1 meter uppströms överfallet, se bild 5. För var och en av de fem utloppshålen gjordes ett diagram av flödet, ΣQ , som funktion av höjden h , se diagram a-e sid 13.1-5. Summering av flödena genom utloppshålen ger utgående flöde. Med denna metod fås flödet med en noggrannhet av ca 3-5 % under lugna inströmningsförhållanden. I vårt fall är noggrannheten något mindre beroende på att flödet störs av överfallen i skibordsrännorna.

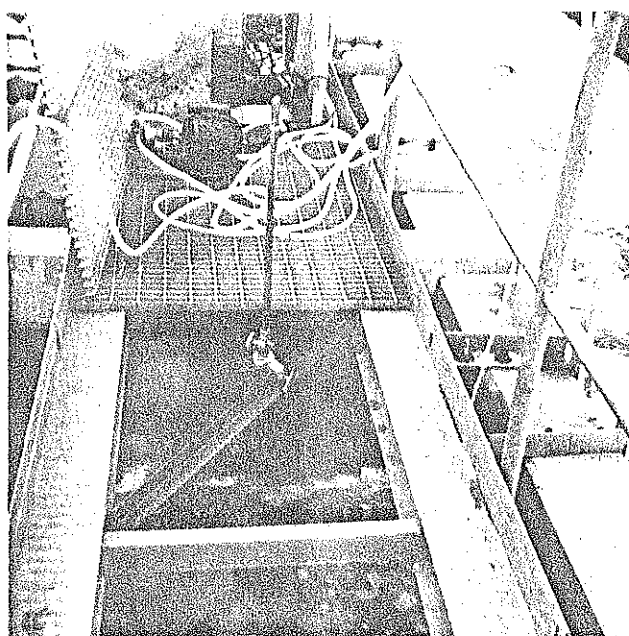


Bild 5 Mätning av flödet med spetsmätare

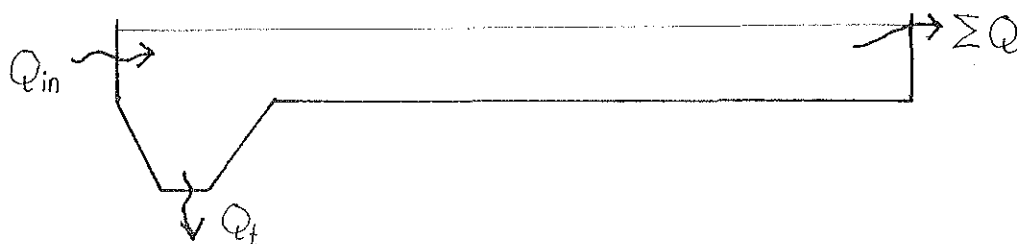


Fig. 13 Längdsektion av en sedimenteringsbassäng

När flödet är känt kan den teoretiska uppehållstiden bestämmas ur ekv. 6. Härvid måste även tagas hänsyn till returslamflödet Q_r , vilket pumpas från slamfickan. Detta returslamflöde kan variera inom vida gränser och regleras automatiskt som en viss bestämd del av den till verket inkommande vattenmängden. En viss del av detta returslam föres tillbaka till luftningsbassängerna, medan resterande del överförs till slambehandlingsanläggningen.

Enligt figur 13 är $Q_{\text{inkommande}} = \sum Q + Q_r$ där $\sum Q$ är det utgående flödet och Q_r är returslamflödet som fås genom att ta totala returslamflödet och dividera med 24 (= antalet sedimenteringsbassänger). Vilket flöde skall nu den teoretiska uppehållstiden beräknas för? Studeras figur 13 så inses att i början av bassängen är flödet av slamblandat vatten $\sum Q + Q_r$ och i slutet av bassängen är flödet $\sum Q$. Slamflödet längs botten är således Q_r i uppströmsänden och noll vid utloppet. Slamflödets fördelning längs bassängen är okänd. Vid dimensioneringen av sedimenteringsbassängerna har beräkningen av uppehållstiden (inkl returslam) baserats på flödet $\sum Q + Q_r$. Ett riktigare värde på flödet torde dock vara $\sum Q + \frac{1}{2} Q_r$. Detta värde är ett medelvärde på flödet genom bassängen. Den beräknade uppehållstiden för detta flöde betecknas T_1^{teor} . Som jämförelse har också beräknats uppehållstiden baserad på flödet $\sum Q + Q_r$ vilken betecknas T_2^{teor} .

Med hjälp av den verkliga uppehållstiden kan medverkande volym och volumetrisk verkningsgrad beräknas. Med medverkande bassängvolym menas den bassängvolym som deltar i strömningen, dvs produkten av den verkliga uppehållstiden och flödet. Även här är två värden uträknade. För V_1^{medv} baseras uträkningarna på flödet $\sum Q + \frac{1}{2} Q_r$ och för flödet $\sum Q + Q_r$ betecknas den medverkande bassängvolymen V_2^{medv} .

7. MÄTNING AV VERKLIG UPPEHÅLLSTID

Mätutrustning

- 1 st Fluorimeter Modell Turner III
- 1 st Doseringspump med tillbehör
- 1 st Pump för uppsugning av vatten till fluorimeter
- 1 st Skrivare modell Rustrak

Rodamin B

Slangar, doseringsmunstycke m m

Försökens utförande

Mätningarna utfördes för tre flöden 75 l/s, 120 l/s och 200 l/s. För varje flöde mättes uppehållstiden för de tre skraphastigheterna med inloppsluftning samt för en av skraphastigheterna utan luftning i inloppet. Rodamin B doserades i inloppet och inmättes kontinuerligt i utloppet med hjälp av fluorimeter och skrivare. Upehållstiden beräknades sedan ur den sålunda erhållna impulsekvationen enl fig 5. Som spårämne valdes Rodamin B, ett fluorescerande rött färgämne, sedan laboratorieförsök visat att dess absorption i avloppsvatten ej var så stor att den skulle verka störande på försöken.

Vid inmätning av spårämneskoncentrationen användes en fluorimeter, modell Turner III, vilken mäter vattnets fluorescens inom spårämnets våglängdsområde. Denna fluorescens är direkt proportionell mot rodaminkoncentrationen. Fluorimetern kalibrerades för mätningarna med hjälp av kända lösningar av Rodamin B i vatten från sedimenteringsbassängernas utlopp, appendix 1.

Doseringen tillgick så att 10 ml ren Rodamin B blandades i ett kärl med 100 liter vatten. Denna lösning pumpades ut genom ett 1,4 m långt perforerat rör, som placerats vertikalt i inloppssektionen, fig. 14. Perforeringen bestod av 21 st hål ϕ 2 mm, vilket beräknades ge effektivt inblandning i hela det inkommande avloppsflödet.

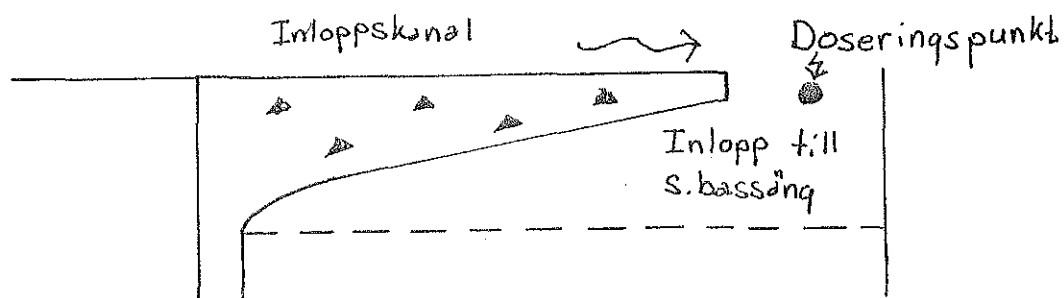


Fig. 14 Doseringspunkt

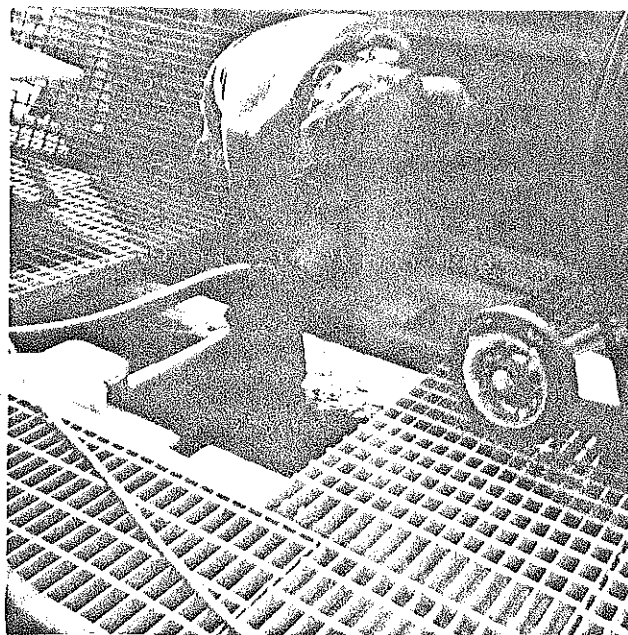


Bild 6 Dosering av rodamin

Doseringstiden var i medeltal 4 min. Inmätningen skedde i en skibordsränna vid utloppet. Här användes en pump som kontinuerligt sög upp vatten till fluorimetern.

Under varje försök hölls flödet konstant och den teoretiska uppehållstiden T_1^{teor} resp T_2^{teor} beräknades. Vidare beräknades den medverkande bassängvolymen ur den verkliga uppehållstiden och flödet, ekv 6. Vid beräkning av

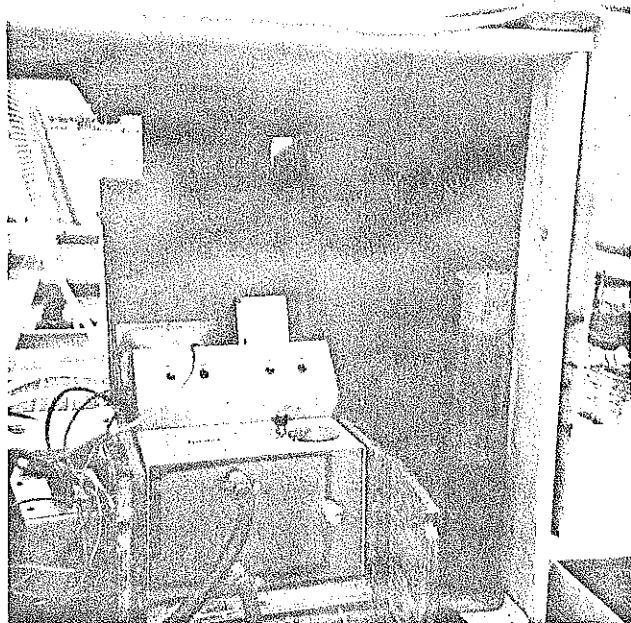


Bild 7 Fluorimeter med inkopplad skrivare

den verkliga uppehållstiden togs tiden för doseringens mittpunkt som starttid och bakgrundskoncentrationen bestämdes före varje försök.

7.1 Försöksserie 1

Den första mätserien gjordes bl a för att kontrollera doseringsmängden och justera in mätutrustningen. För det första av delförsöken erhöles följande mätresultat.

Försök 1:1

$h_1 = 49,88$	$Q = 12,4 \text{ l/s}$
$h_2 = 54,93$	$Q = 7,1 \text{ ''-}$
$h_3 = 49,63$	$Q = 5,0 \text{ ''-}$
$h_4 = 54,76$	$Q = 17,6 \text{ ''-}$
$h_5 = 58,43$	$Q = 22,1 \text{ ''-}$
	$\Sigma Q = 64,2 \text{ l/s}$

h = avläst spetsmätarutslag (se fig 12)

Q = vattenföring genom resp utloppshål. Detta fås ur resp överfallsdiagram.

Skraphastigheten V : $1/1 = 1,33 \text{ m/min.}$

Uppmätt spårämneskoncentration vid utloppet framgår av diagram 1:1 sid 13.6, där tidsaxeln har sin nollpunkt efter tiden $t_0 = 12 \text{ min}$ från doseringens mittpunkt. Spårämnesfördelningens tyngdpunkt ligger på tiden 28 min 56 sek.

Alltså $T^{\text{verkl}} = 12 \text{ min} + 28 \text{ min } 56 \text{ sek} = 40 \text{ min } 56 \text{ sek}$, där $T^{\text{verkl}} =$ = den verkliga uppehållstiden i bassängen. Returslam flöde $Q_r = 44 \text{ l/s}$.

$$V_1^{\text{medv}} = T^{\text{verkl}} \left(\sum Q + \frac{1}{2} Q_r \right) = 2456 (64,2 + 22) = 211,7 \text{ m}^3$$

$$V_2^{\text{medv}} = T^{\text{verkl}} (\sum Q + Q_r) = 2456 (64,2 + 44) = 265,7 \text{ m}^3$$

$$T_1^{\text{teor}} = \frac{V}{\sum Q + \frac{1}{2} Q_r} = \frac{1290}{(64,2 + 22) \cdot 10^{-3}} = 14960 \text{ sek} = 4 \text{ tim } 9 \text{ min}$$

där V = verklig bassängvolym = $60 \times 7,8 \times 2,75 = 1290 \text{ m}^3$

$$T_2^{\text{teor}} = \frac{V}{\sum Q + Q_r} = \frac{1290}{(64,2 + 44) \cdot 10^{-3}} = 11920 \text{ sek} = 3 \text{ tim } 19 \text{ min}$$

$$\frac{T^{\text{verkl}}}{T_1^{\text{teor}}} = \frac{V_1^{\text{meter}}}{V} = 0,164$$

$$\frac{T^{\text{verkl}}}{T_2^{\text{teor}}} = \frac{V_2^{\text{medv}}}{V} = 0,206$$

I den följande framställningen betecknas $T^{\text{verkl}}/T_1^{\text{teor}}$ med η_1 och $T^{\text{verkl}}/T_2^{\text{teor}}$ med η_2 där η är lika med den volymetriska verkningsgraden. Resultaten av ovanstående försök samt resten av försöksserie 1 åskådliggörs av tabell nedan och i diagram 1:1 - 1:4 sid 13.6-9. Värdena i tabellen är uträknade på samma sätt som ovan.

Försök	1:1	1:2	1:3	1:4
$\sum Q$ (l/s)	64,2	136,7	85,5	55,6
Q_r (l/s)	44	44	44	44
$\sum Q + \frac{1}{2} Q_r$ (l/s)	86,2	158,7	107,5	77,6
$\sum Q + Q_r$ (l/s)	108,2	180,7	129,5	99,6
V (m/min)	1,33	0,85	0,85	1,33
Luftning	nej	nej	nej	nej
T_{verkl}	40'56"	37'23"	43'9"	63'53"
T_1^{teor}	249'20"	135'20"	200'	277'
T_2^{teor}	195'20"	118'50"	166'	215'50"
$\eta_1 = T_{\text{verkl}}; T_1^{\text{teor.}}$	0,164	0,276	0,216	0,231
$\eta_2 = T_{\text{verkl}}; T_2^{\text{teor.}}$	0,206	0,314	0,260	0,296
$v_{\text{medv. } 1}$ (m ³)	211,7	356,0	278,3	297,4
$v_{\text{medv. } 2}$ (m ³)	265,7	405,3	335,3	381,8

Tabell 1 Mätresultat från försöksserie 1 vid bestämning av uppehållstiden genom momentan dosering av Rodamin B.

Utvärdering av försöksserie 1

Verkningsgraden η_1 (och η_2) för bassängen är låg. η_1 varierar mellan 0,164 - 0,276. Detta tyder på att endast en liten del ($\frac{1}{6} - \frac{1}{4}$) av bassängvoly-men medverkar i strömningen.

I och med att flödet ej är konstant för samtliga försök (konstant inom varje försök) kan ej någon slutsats dras angående skraphastighetens inverkan på uppehållstiden. En viss tendens finns dock att vid ökat flöde stämmer den teoretiska och verkliga uppehållstiden bättre överens.

Efter passage av max. koncentrationen är den uppmätta spårämneskoncentrationen en avtagande exponentiell kurva vilket tyder på att spårämnet nu är tämligen jämnt fördelat i bassängen. I diagram 1:2 där skillnaden mellan start- och slutvärde är stort, kan en avtagande bakgrund göra att tp. förskjutes lite åt höger. Denna påverkan är dock ringa. Anmärkningsvärt är att skillnaden i uppehållstiden mellan försök 1:1 och 1:4 är ca 20 minuter trots att flödet är ungefär detsamma.

7.2 Försöksserie 2

I denna försöksserie hölls flödet konstant, ca 70 l/s. Tre försök utfördes med varierande skraphastighet v och ett (försök 2:4) med inloppets luftning avstängd. I övrigt utfördes försöken som försöksserie 1. Resultaten från samtliga fyra försök i försöksserien framgår av diagram 2:1 - 2:4 sid. 13.10-13 samt av tabell 2 nedan.

Försök	2:1	2:2	2:3	2:4
ΣQ	69,7	71,5	67,8	63,5
Q_r	63,0	62,5	58,75	58,75
$\Sigma Q + \frac{1}{2} Q_r$	101,2	102,75	97,20	92,7
$\Sigma Q + Q_r$	132,7	134,0	126,55	122,25
v	0,67	0,85	1,33	0,85
Luftning	ja	ja	ja	Nej
T^{verkl}	58'26"	54'26"	49'28"	37'25"
T_1^{teor}	212'20"	209'10"	219'10"	231'30"
T_2^{teor}	162'	160'20"	168'48"	175'50"
η_1	0,275	0,260	0,224	0,162
η_2	0,361	0,339	0,291	0,213
v_1^{medv}	354,8	335,6	288,4	208,5
v_2^{medv}	465,2	437,6	375,6	274,5

Tabell 2 Mätresultat från försöksserie 2. $\Sigma Q \approx 70$ l/s.

Utvärdering av försöksserie 2

Vid denna försöksserie erhålls samma låga verkningsgrad som i föregående serie. η_1 varierar här mellan 0,162-0,275, dvs endast en liten del ($\frac{1}{6} - \frac{1}{4}$) av bassängvolymen medverkar i strömningen.

Ökning av skraphastigheten medför en minskning av den verkliga uppehållstiden. Vid detta flöde medför en ökning av skraphastigheten ett steg en minskning av den verkliga uppehållstiden med 4-5 min, dvs en procentuell ändring av 10 %. Förklaringen till detta torde vara att vid detta lilla flöde är hastigheterna i bassängen små, vilket gör att skrapornas påverkan på strömningen i bassängens ytskikt blir stor. Med inlopps-luftningen avstängd (försök 2:4) erhålles en avsevärt kortare verklig uppehållstid än vid motsvarande försök med luftningen påkopplad. Minskningen är ca 17 min. En anledning till detta torde vara att med luftningen påkopplad fås en turbulent omblandning av suspensionen och risken för att täthetsströmmar skall uppkomma är liten. Med luftningen avstängd fås inte denna omblandning varför risken finns att täthetsströmmar uppkommer, vilket torde förklara skillnaden i den verkliga uppehållstiden mellan försök 2:2 och 2:4.

7.3 Försöksserie 3

I denna försöksserie hölls flödet konstant på ca 120 l/s. Även här utfördes tre försök med varierande skraphastighet v och ett (försök 3:4) med inlopps-luftning avstängd. Resultaten från samtliga fyra försök i försöksserien framgår av diagram 3:1 - 3:4 sid 13, 14-17 samt av tabell 3.

Försök	3:1	3:2	3:3	3:4
ΣQ	124,0	121,3	117,5	118,2
Q_r	40,8	39,6	40,8	41,7
$\Sigma Q + \frac{1}{2} Q_r$	144,4	141,1	137,9	139,05
$\Sigma Q + Q_r$	164,8	160,9	158,3	159,90
v	0,67	0,85	1,33	0,85
Luftning	ja	ja	ja	nej
T_{verkl}	47'51"	46'21"	39'29"	44'6"
T_1^{teor}	148'50"	152'30"	156'	154'30"
T_2^{teor}	130'20"	133'30"	135'50"	134'20"
ζ_1	0,321	0,304	0,254	0,285
ζ_2	0,366	0,347	0,291	0,328
v_1^{medv}	414,6	392,4	326,7	367,9
v_2^{medv}	473,1	447,5	374,8	423,1

Tabell 3 Mätresultat från försöksserie 3. $\Sigma Q \approx 120 \text{ l/s}$

Utvärdering av försöksserie 3

Verkningsgraden (η_1) varierar mellan 0,254 - 0,321 vid ett utgående flöde av ca 120 l/s obassäng. I jämförelse med föregående försöksserie kan man utläsa att verkningsgraden ökar från 0,162-0,275 l/s obassäng till 0,254-0,321 l/s och bassäng när utgående flöde ökar från 70 till 120 l/s och bassäng. Även här finns tendensen att en ökning av skraphastigheten medför minskning i den verkliga uppehållstiden. Verkningsgraden (η_1) ändras från 0,321 vid lägsta skraphastigheten till 0,254 vid högsta. Vid detta flöde tycks det bli en ganska god fördelning av suspensionen även om luftningen avstängs, vilket framgår vid jämförelse mellan försök 3:2 och 3:4. Upphållstiden minskar endast obetydligt med luftningen avstängd.

7.4 Försöksserie 4

Flödet hölls konstant vid ca 200 l/s. I försök 4:1 doserades 15 ml Rodamin B ty det var ovanligt mycket slam i vattnet och stor absorption mistänktes. Tack vare den högre koncentrationen Rodamin B blir topparna i diagram 4:1 sid 13.18 högre än i de andra. För de övriga försöken 4:2, 4:3 och 4:4 användes samma doseringslösning som i försöksserierna 1, 2 och 3, dvs 10 ml. I försök 4:4 är inloppsluftningen avstängd. Resultaten från samtliga fyra försök i försöksserien framgår av diagram 4:1-4:4 sid 13.18-21, samt av tabell 4 nedan.

Försök	4:1	4:2	4:3	4:4
ΣQ	210,2	211,8	212,7	204,0
Q_r	63,7	63,7	63,7	63,7
$\Sigma Q + \frac{1}{2} Q_r$	242,05	243,65	244,55	235,85
$\Sigma Q + Q_r$	273,9	275,5	276,4	267,7
v	0,67	0,85	1,33	0,85
Luftning	ja	ja	ja	nej
T_{verkl}	43'46"	45'11"	44'3"	43'58"
T_1^{teor}	88'50"	88'20"	87'50"	91'20"
T_2^{teor}	78'40"	78'10"	77'50"	80'30"
η_1	0,494	0,511	0,500	0,481
η_2	0,560	0,578	0,564	0,546
v_1^{medv}	636	660	645	620,0
v_1^{medv}	721	746	728	705,0

Tabell 4

Mätresultat från försöksserie 4. $\Sigma Q \approx 210$ l/s

Utvärdering av försöksserie 4

Verkningsgraden (η_1) varierar i denna försöksserie mellan 0,481-0,511, därigenom torde man kunna säga att verkningsgraden vid detta flöde är högre än vid tidigare undersökta flöden.

I denna försöksserie finns ingen nämnvärd skillnad i verklig uppehållstid mellan de olika skraphastigheterna. Även luftningens inverkan är väldigt liten, vilket torde bero på att vid detta stora flöde fås en bra omblandning även utan luftning och risken för att täthetsströmmar skall uppstå minskar alltså. Vid jämförelse av diagram 4:1 - 4:4 sid 13.18-21 erhålles att kurvorna är symmetriska och ej exponentiellt avtagande, vilket var fallet i försöksserierna 1, 2 och 3. Detta tyder på att flödet är jämnare fördelat och att någon upplagring av spårämne i "döda zoner" ej sker vid detta höga flöde.

7.5 Slutsatser av försöksserierna 1-4

Den verkliga uppehållstiden i sedimenteringsbassängerna är betydligt mindre än den teoretiska. Förhållanden $T^{\text{verkl}}/T_1^{\text{teori}}$ dvs den volymetriska verkningsgraden (η_1) varierar med flödet mellan 0,162-0,511 där låga värden erhålls vid små flöden och bästa verkningsgraden fås vid stora flöden. Sambandet mellan $T^{\text{verkl}}/T_1^{\text{teori}}$ och $T^{\text{verkl}}/T_2^{\text{teori}}$ som funktion av flödet $\Sigma Q + Q_r$ åskådliggörs i diagram 1 sid 13.22 resp diagram 2, sid 13.23.

Diagrammet visar att verkningsgraden i bassängerna varierar kraftigt med flödet. Vid stora flöden är överensstämmelsen mellan den verkliga och den teoretiska uppehållstiden betydligt bättre än vid låga flöden, se diagram 3, 4, 5 sid 13.24, som åskådliggör de båda uppehållstiderna som funktion av flödet vid konstant skraphastighet. Anledningen till att uppehållstiden är så låg kan vara att det föreligger stora "döda" zoner i bassängerna.

Våra försök tyder på att skrapornas inverkan på uppehållstiden är större vid låga flöden än vid stora flöden. Vid låga flöden är hastigheterna i bassängen små och strömningen nära laminär, vilket gör att skrapornas påverkan på strömningen i bassängen blir stor. Vid stora flöden är däremot hastigheterna större i bassängen och därmed är skrapornas inverkan mindre.

Avstängning av inloppets luftning vid små flöden medför en betydligt kortare uppehållstid än med luftning. Denna differens blev obetydlig vid stora flöden.

Enligt ekv. 8 sid. 3.6 kan Reynolds tal beräknas

$$Re = \frac{v \cdot D_h}{\nu} = \frac{Q \times 4}{(b+2 \cdot d) \cdot \nu} = \frac{0,3Q}{\nu}$$

där

b = bassängens bredd = 7,8 m

d = " djup = 2,75 m

Q = flödet

ν = kinematiska viskositeten = $1,01 \cdot 10^{-6}$ (20°C)

Om flödet varierar mellan 100 - 300 l/s skulle detta medföra att Reynolds bl.a. varierade mellan 29.700 - 89.000. Dessa värden är anmärkningsvärt stora eftersom man ej bör ligga över 25.000.

Eftersom uppehållstiden var så kort i experimentbassängen undersöktes en annan bassäng för att se om samma fenomen uppträdde där.

7.6 Försök i annan bassäng.

Vid dessa försök var syftet att kontrollera om uppehållstiden var lika kort i denna bassäng som i försöksbassängen. Då vi bara ville ha en uppskattning av uppehållstidens storlek, togs hela anläggningens inkommande flöde och dividerades med 24, där 24=antal sedimenteringsbassänger. Vårt flöde genom bassängen blev alltså ovannämnda värde plus returslamflödet i bassängen. Försöken utfördes i stort sett som tidigare försöksserier. 3 st försök utfördes, ett med skraphastigheten 0,85 m/min. och 2 st med skraphastigheten 1,33 m/min. Resultaten från dessa tre försök framgår av diagram 5:1 - 5:3 sid. 13.27-29, samt av tabell 5.

Försök	5:1	5:2	5:3
ΣQ (l/s)	138	147	140
Q_r (l/s)	70,5	80	79,5
$\Sigma Q + 1/2 Q_r$ (l/s)	173,3	187	179,7
$\Sigma Q + Q_r$ (l/s)	208,5	227	229,7
V (m/min)	0,85	1,33	1,33
Luftning	Ja	Ja	Ja
T_{verklig}	33'22"	35'14"	43'37"
T_1^{teor}	124'6"	116'10"	120'
T_2^{teor}	103'20"	94'10"	98'
η_1	0,271	0,305	0,365
η_2	0,325	0,371	0,445
$V_1^{\text{medv.}}$ (m ³)	349	394	470
$V_2^{\text{medv.}}$ (m ³)	419	479	574

Tabell 5. Mätresultat från försöksserie 5 vid momentan dosering av rodamin B i inloppet. $\Sigma Q \approx 140$ l/s.

Utvärdering av försöksserie 5.

Det finns en viss osäkerhet vid bestämning av flödet, varför ovanstående resultat bör tolkas med viss försiktighet.

Verkningsgraden (η_1) varierar mellan 0,271 - 0,365, vilket är stort sett samma resultat som vid motsvarande flöde i försöksbassängen. Detta tyder på att den verkliga uppehållstiden är relativt kort även i denna bassäng. Resultat är alltså att vår experimentbassäng är representativ för alla 24 sedimenteringsbassängerna.

8. UNDERSÖKNINGAR I SYFTE ATT FINNA ORSAKERNA TILL DEN KORTA UPPEHÅLLSTIDEN.

De hittills utförda försöken visar alltså att den verkliga uppehållstiden i sedimenteringsbassängerna endast är 0,2 - 0,5 av den teoretiska. Detta betyder att hastighetsfördelningen i bassängerna är ojämn och vår inriktning på de följande försöken blir därför att försöka mäta hastighetsfördelningen och spåra vattnets väg genom bassängerna. Följande mätningar har utförts:

- 1) Mätning av hastighetsfördelningen i inloppstvärnsnittet
- 2) Mätning av hastighetsfördelningen i ett tvärsnitt i bassängens mitt.
- 3) Mätning av hastighetsfördelningen i utloppstvärnsnittet
- 4) Bestämning av flödets fördelning över tvärsnittet i bassängens mitt genom kontinuerlig dosering av spårämne
- 5) Bestämning av uppehållstiden vid ändring av inloppets utformning

Följande mätutrustning har använts för punkterna 1, 2 och 3

- 1 st Fält flygel fabrikat Ott typ F
- 1 st Lab. flygel " Ott typ 10152
- 1 st stoppur
- 1 st räkneverk

Mätteknik för punkterna 1, 2 och 3

Hastigheterna i ett antal punkter jämt fördelade över tvärsnittet uppmättes med hjälp av flygel. Flygeln består av en spolformad kropp med en propeller, se fig. 15.

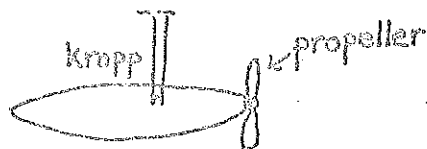


Fig. 15. Flygel

Propellerns rotation i vattenströmmen registreras av ett räkneverk och strömhastigheten beräknas med en kalibreringsformel av följande typ:

$$V = k_1 \cdot n + k_2 \quad \dots\dots (11)$$

där v = hastigheten i m/s
 k_1, k_2 = konstanter
 n = antalet varv som propellern snurrar per sekund

I en sedimenteringsbassäng är hastigheterna maximalt några cm/sek. Nackdelen med flygelmätningar är att hastigheter lägre än 5-7 cm/sek. ej är registrerbara. För att öka noggrannheten vid mätning av låga hastigheter kalibrerades flyglarna för dessa i en ränna med stillastående vatten. Starthastigheten uppmättes sålunda till 0,065 m/s för laboratorieflygeln och 0,02 m/s för fältflygeln. Ett känsligare instrument hade naturligtvis varit att föredra men något sådant fanns inte tillgängligt. Under alla flygelmätningarna hölls skraphastigheten konstant på 0,85 m/min.

8.1 Mätning av hastighetsfördelningen i inloppstvärsnittet

I inloppszonen studerades hastighetsfördelningen i spalterna och 1,7 meter framför spalterna.

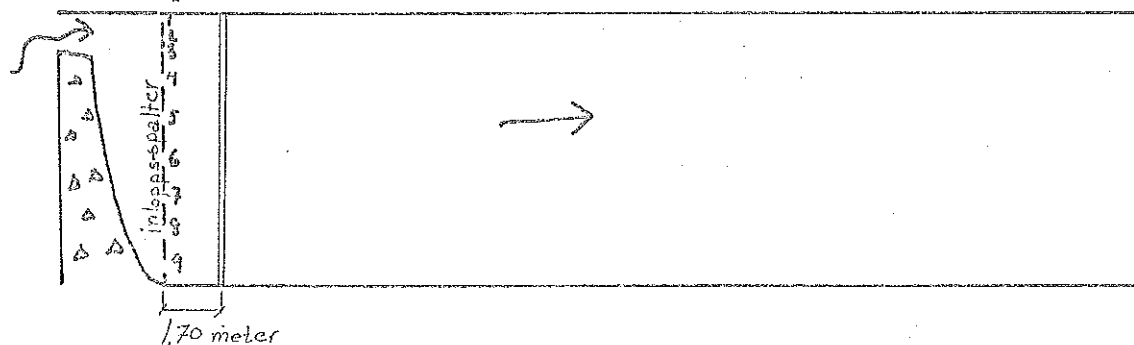


Fig. 16 Plan över sedimenteringsbassäng

A/ Spalterna: Inloppet består av 9 st spalter med ett vattendjup av ca. 1,4 meter och bredden 8 cm.

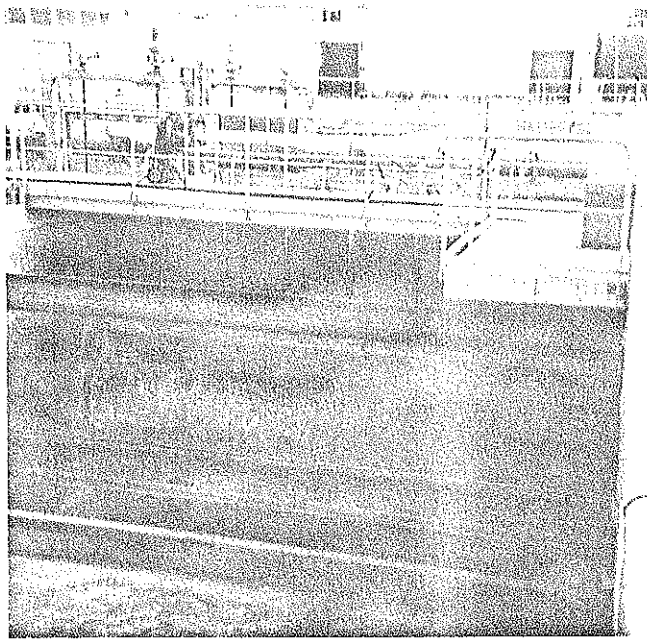


Bild 8. Spalter vid inloppet

Vi undersökte hastighetsfördelningen med och utan inloppsluftning. Totala flödet ($\sum Q + Q_F$) var vid dessa försök 263 l/s och bassäng. Detta stora flöde valdes för att erhålla mätbara hastigheter i bassängen.

Med inloppsluftningen påslagen uppmättes hastigheter enligt tabell 6 nedan.

spalt djup m	1	3	5	7	9
0	0,3262	0,1241	0,3656	0,3262	0,5315
0,2	0,3910	0,1769	0,3656	0,2738	0,5600
0,4	0,2614	0,1922	0,1848	0,0900	0,2320
0,6	0,2884	0,1542	0,1769	0,0680	0,0770
0,8	0,0720	0,1394	0,1070	0,0660	0,0650
1,0	0,0950	0,1905	0,1053	0,0660	0,0650
1,25	0,2132	0,0950	0,1110	0,0650	0,0670
1,40	0,0800	-	0,0800	0,0650	-

Tabell 6. Hastighet (m/s) i inloppsspalterna med inloppsluftning.
 $Q = 263$ l/s, luftning påslagen.

Streck (-) i ovanstående tabell betyder att hastigheten var så låg att den ej var registrerbar d. v. s. mindre än 0,065 m/s.

Resultat

I en ideal inloppssektion skall hastighetsfördelningen över hela tvärsektionen

vara jämn. Så är uppenbart inte fallet. Den teoretiska medelhastigheten i spalterna enl. ekv.

$$V = \frac{Q}{A} \quad \dots\dots (12)$$

där

V = teoretiska medelhastigheten i spalterna

Q = flödet genom spalterna = 263 l/s

A = spalternas totala yta = $1,4 \cdot 0,08 \cdot 9 = 1,00 \text{ m}^2$

ger att $V = 0,26 \text{ m/s}$. Dubbla denna hastighet återfinnes i övre högra hörnet. Speciellt iakttages stora ythastigheter i hela sektionen, särskilt i spalt nr 9 (se fig. 16). De stora ythastigheterna beror förmodligen på det vertikala flöde som bildas genom luftningen. Effekten blir störst där spalternas fördelningskanal är smalast d.v.s. vid spalt nr 9. Diagram 6 sid 13.30 visar hastigheten som funktion av djupet i de olika spalterna. Dessa ger att det översta 3 dm tjocka skiktet strömmar fram med större hastighet än underliggande skikt. Diagram 7 sid 13.31 visar hastighetsfördelning på olika djup i tvärled, dessa ger att ythastigheten är störst vid bassängens kanter ner till ett djup av ca. 0,5 meter men vid större djup fås de största hastigheterna i sektionens mitt.

Försök utan luftning

Med luftningen avslagen men samma flöde, $Q = 263 \text{ l/s}$, erhöles spalthastigheter enligt tabell 7 nedan.

spalt djup	1	3	5	7	9
0	0,3656	0,0910	0,1621	0,0899	0,2354
0,2	0,4558	0,0680	0,1201	0,0880	0,1769
0,4	0,3116	0,0820	0,1712	0,1826	0,0910
0,6	0,2416	0,0750	0,1485	0,1712	0,1658
0,8	0,0996	0,0820	0,1735	0,2076	0,1882
1,0	0,0920	0,1167	0,1792	0,0900	0,2560
1,25	0,1638	0,1280	0,0940	0,1280	0,0730
1,40	0,0850	0,0690	0,0660	0,0750	0,1070

Tabell 7. Hastigheten (m/s) i inloppsspalterna utan inloppsluftning

Resultat

Genom att luftningen avstängdes fås en jämnare hastighetsfördelning i spalterna i djupled (se diagram 8 sid.13.32). Ythastigheterna blev också avsevärt lägre i förhållande till föregående försök. Dock erhöles stora ythastigheter i kanterna, se tabell 7.

Hastigheterna varierar mellan 0,1 - 0,2 m/s med undantag för spalt nr 1 närmast inloppet (vänstra kanten) där ythastigheten var drygt 0,3 m/s, se diagram 9 sid.13.33. De stora ythastigheterna i spalt 1 beror förmodligen på vattnets rörelse i spaltens riktning vid inloppet.

B/ 1,7 meter framför spalterna med luftning

Hastigheterna i ett tvärsnitt 1,7 meter framför inloppet framgår av tabell 8, som kan ses som en tvärsektion genom bassängen i vattenflödets riktning.

djup (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	7.80
0	0,1297	0,0840	0,0670	0,0670	0,0940	0,1297	0,2303	0,1865	0,2954
0,25	0,0940	-	-	-	0,0720	0,0380	0,0996	-	0,0974
0,50	0,0950	-	-	-	-	0,0675	0,0678	0,0650	0,0675
1,00	0,1087	0,0670	-	-	0,0660	-	-	0,0720	-
1,50	0,0910	0,0670	-	-	-	-	-	0,0650	-
2,00	0,0670	0,0650	-	-	-	-	-	-	0,0660
2,50	-	-	-	-	-	-	-	0,1000	-

Tabell 8 Uppmätta hastigheter (m/s) med luftning 1,7 m framför inloppet $Q = 263$ l/s.

Resultat

Den teoretiska medelhastigheten enl. ekv. 12.

$$V = \frac{Q}{A}$$

där V = medelhastigheten

$Q = 263$ l/s

A = bassängens tvärsektionsyta = $7,8 \times 2,75$

ger att $V = 0,0123$ m/s, denna hastighet överskrides i åtskilliga mätpunkter. Speciellt iakttages relativt stor ythastighet i övre högra hörnet. Hastighetsfördelningen är påfallande lika motsvarande i spalterna vilket betyder att de jetstrålar som bildas vid inloppet styr strömningen. Hastigheten i strålcen-
trum minskade till ca. hälften genom inblandning från sidorna (och eventu-

ellt nerifrån), vilket kan förutsägas av jetstråleteorin.

1,7 meter framför spalterna utan luftning

Med luftningen avslagen, med samma flöde $Q = 263 \text{ l/s}$ erhöles hastigheter enl. tabell 9.

djup (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	7.80
0	0,1070	-	-	-	-	0,0675	-	-	0,0975
0,25	0,0955	-	-	-	-	0,0659	-	-	-
0,50	0,0917	-	-	-	0,0730	-	-	-	0,0675
1,00	0,0908	-	-	-	-	-	-	-	-
1,50	0,0920	-	-	-	-	-	-	-	-
2,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabell 9. Hastigheten (m/s) utan luftning 1,7 m framför spalterna.
 $Q = 263 \text{ l/s}$.

Resultat

Även vid detta försök återfinnes karakteristiska drag av hastighetsfördelningen i spalterna, såsom de höga hastigheterna längs vänstra kanten och i övre högra hörnet. I övrigt är spalthastigheterna tämligen jämna, varför en relativt jämn hastighetsfördelning kan förväntas i det område där hastigheterna ej var registrerbara.

8.2 Mätning av hastighetsfördelningen i mitt-tvärsnittet

Följande figur visar mätsektionen

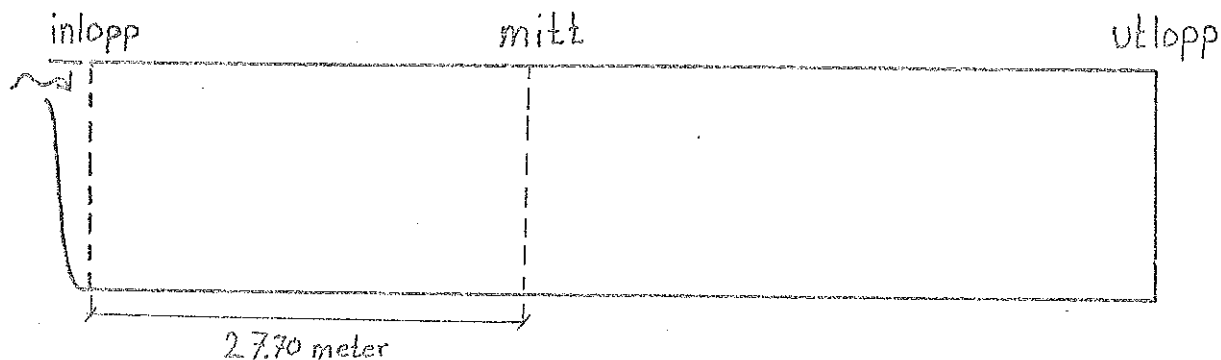


Fig. 17 Plan över sedimenteringsbassäng

I mittsektionen kunde inga mätbara hastigheter påvisas med $Q = 263 \text{ l/s}$ och luftningen påslagen med den flygel typ 10152 som tidigare använts. Hastigheten är således överallt $< 0,065 \text{ m/s}$.

Vi undersökte även hastighetsfördelningen med fältflygel typ F med start-hastigheten $0,02 \text{ m/s}$. Flödet ($\sum Q + \frac{1}{2} Q_r = Q$) var då tyvärr ändrat till 100 l/s vilket gör att mätningarna inte helt är jämförbara. Luftningen var påkopplad under hela försöket.

Uppmätta hastigheter framgår av tabell 10 nedan.

djup (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	7.80
0	-	-	-	-	-	-	-	0,0282	-
0,5	-	-	-	0,1519	-	-	-	-	-
1,0	0,0698	0,0698	0,0374	-	-	-	0,2771	0,1868	0,0367
1,5	0,0449	0,0449	0,1693	-	0,2266	0,3436	0,2017	0,0772	0,0282
2,0	-	-	-	-	0,1942	-	-	0,1370	-
2,5	-	-	0,0772	-	0,4047	0,0947	0,0449	-	-

Tabell 10 Hastigheten (m/s) i mittvärnsnittet med luftning. $Q = 100 \text{ l/s}$

Resultat

Över nästan hela bassängbredden finns ett skikt med mätbara hastigheter på $1,0 - 1,5$ meters djup. I mitten av tvärsnittet finns höga hastigheter ända ned till botten. I det inringade området är hastigheten så hög som $0,20 \text{ m/s}$. Vid inloppet erhöles stora ythastigheter, varför huvudflödet måste gå i ett snett nedåtriktat stråk. Detta fenomen kunde även visuellt iakttagas med hjälp av punktdosering av spårämne på ytan av bassängen. Man kunde då se hur spårämnet sökte sig nedåt.

Den teoretiska medelhastigheten i detta tvärsnitt var $V = 0,0047 \text{ m/s}$. Flödets koncentration till ett skikt är sannolikt beroende av densitetseffekter. De höga hastigheterna nära botten är däremot svåra att förklara. Eventuellt kan strömmen här vara motriktad huvudflödet vilket flygeln ej ger någon upplysning om. Anledningen till att vi inte fick några mätbara hastigheter med flygel typ 10152 och $Q = 263 \text{ l/s}$ är förmodligen den att vid detta flöde medverkar i stort sett hälften av bassängens area d. v. s. att det inte förelåg något skikt med stora hastigheter.

8.3 Mätning av hastighetsfördelningen i utloppstvårsnittet

Samma typ av flygel användes som vid mätningarna i inloppet. Flödet var ca 200 l/s och inloppsluftningen var påslagen. Mätsektionen i utloppet valdes i höjd med dekanteringen, vilkens uppgift är att föra bort flytslammet. Vid undersökningen kunde inga mätbara hastigheter observeras varför flödet kan antas ganska jämnt fördelat över tvärsnittet.

8.4 Slutsummering av hastighetsmätningarna med flygel

Vid inloppsspalterna erhöles en ojämn hastighetsfördelning med höga hastigheter i ytskiktet och vid kanterna. Detta fenomen var mera markerat när luftningen var påslagen. Hastighetsbilden är i stort sett densamma 1,7 meter framför spalterna d. v. s. de största hastigheterna erhöles vid ytan och vid kanterna. Hastigheterna hade där dämpats ned till ca hälften i förhållande till i spalterna. I mittsektionen har strömningsbilden förändrats och huvudflödet går vid flödet 100 l/s fram i ett 0,5 - 1,0 m tjockt skikt på 1,0 - 1,5 meters djup. Vid stora flöden erhöles här inga mätbara hastigheter och flödet var således ganska jämnt fördelat. I utloppstvårsnittet var hastigheterna vid alla försök för små för att kunna mätas.

8.5 Kontinuerlig dosering med inmätning i mittzonen

Mätutrustning

1 st doseringspump med doseringsutrustning

1 st pump för provtagning

1 st Fluorimeter med fast kyvettdörr

1 låda med kyvetter

1 st flasklåda

Försökens utförande

Dessa försöks syfte var att närmare studera flödets fördelning och hastighet i mittsektionen. Tre försök utfördes med samma vattenföring, $\sum Q = 202,9$ l/s, luftningen påslagen och skraphastigheten 0,85 m/min.

Vi doserade 200 l vatten + 20 ml Rodamin B vid inloppet under 15 min. Doseringslösningen hade alltså koncentrationen 10^{-4} . Doseringstiden valdes så att stationära förhållanden kunde antas inträda men senare konstaterades att detta ej uppnåts. Detta påverkar dock ej resultaten.

Från en brygga vid mitten på bassängen inmättes sedan rodaminkoncentrationen över hela tvärsnittet. Inmätningen gick till så att vid tre mätvertikaler, se fig. 18 sid. 8.9, pumpades prover upp till provflaskor, där de förvarades i några minuter så att slammet hann sedimentera. Proven analyserades sedan i fluorimetern. Vid varje mätvertikal togs proverna på vissa förutbestämda djup och med ett tidsintervall av 30 sekunder. Provtagningen började i högra bassängkanten (sett i strömningsriktningen) och avslutades i den vänstra. I varje mätvertikal togs proverna först i ytan och sedan varje mätpunkt nedåt. Tre försök utfördes med lite olika utförande. Vid det första försöket började provtagningen 8 minuter efter doseringens början medan vid de två andra efter 5 minuter. Under första försöket gjordes ett uppehåll på 4 minuter mellan varje serie; med seriemenas samtliga mätpunkter genomgångna 1 gång. Vid de två andra gjordes inget sådant uppehåll utan provtagningen gick i ett med 30 sekunders tidsintervall mellan varje prov och serie.

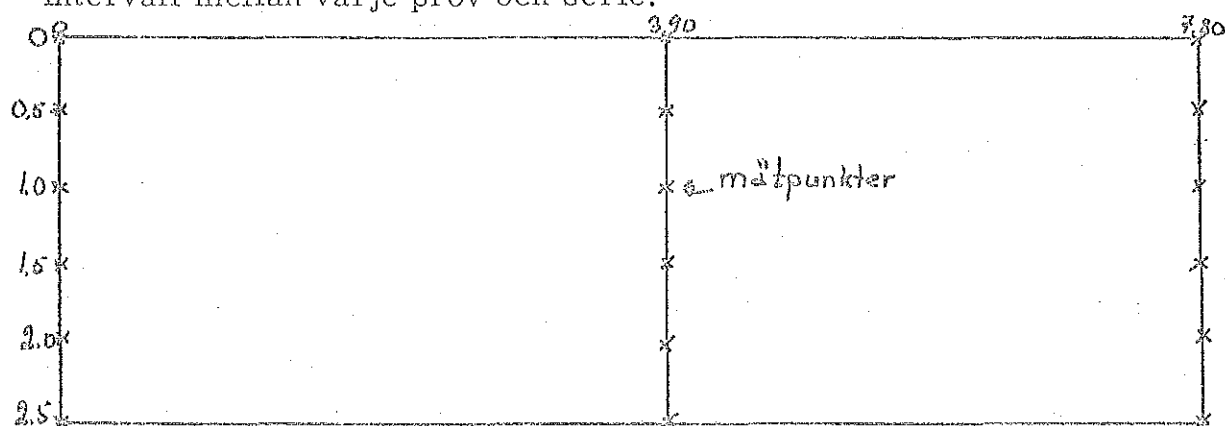


Fig. 18 Bassängens tvärsnitt i strömningsriktningen med mätvertikaler och dess mätpunkter markerade.

I tabellerna som följer under försöken återges rodaminkoncentrationen vid olika tidpunkter över en tvärsektion av bassängen sedd i strömningsriktningen.

Mätresultat

Försök 1. Vid detta försök började alltså mätningarna 8 minuter efter doseringens början. Tiden mellan varje series start var 9 min. 30 sek. Resultat från försök 1 framgår av tabell 11 nedan.

Tiden från doseringens mittpunkt. Tiden avser punkten (0, 7,80)	Djup	Mätvertikal	0	3,90	7,80
8 min.	0		63,9	5,2	1,8
	1		218	79,5	4,7
	2		8,9	4,7	3,0
	2,5		3	1,8	-
17,5 min.	0		98,5	141	212
	1		60,5	126	231
	2		1,8	12,4	16
	2,5		7	4,7	3
27 min.	0		58,5	107	100
	1		26,3	45,5	54,5
	2		13,7	20	21,2
	2,5		1	1,8	1

Tabell 11 Koncentrationen $\times 10^{-10}$ i mittsektionen vid kontinuerlig dosering av Rodamin B $\Sigma Q = 202,9$ l/s.

Resultat: De största hastigheterna finns utefter den vänstra bassängkanten på ca 1 m djup. Liksom vid hastighets- och uppehållstidsmätningar fås också här att strömningen sker i ett horisontellt skikt. Vid hastighetsmätningarna vid flödet 100 l/s framkom det att de största hastigheterna i bassängen fanns på djupen 1,0 - 1,5 m. Vid detta försök fås att den övre halvan av bassängen har större hastighet än den undre. Gränsen mellan dessa båda skikt ligger någonstans mellan 1,0 - 2,0 m. För att exaktare kunna bestämma gränsen mellan de två skikten gjordes en finare indelning i djupled i efterföljande försök.

Försök 2. Vid detta gjordes alltså mätningarna i ett med 30 sek. intervall även mellan serierna. Mätningen började 5 min. efter doseringens början. Resultat från mätningen framgår av tabell 12 nedan.

Tiden från doseringens
mittpunkt. Tiden
avser pkt (0, 7. 8)

	Djup	Mätvertikal	0	3, 90	7, 80
5 min.	0		8, 9	1, 8	1, 8
	0, 5		7, 4	3	3
	1, 0		80	58, 5	1
	1, 5		60, 5	7	7
	2, 0		16, 2	11, 3	23, 8
12, 5 min.	0		78	75, 5	19, 9
	0, 5		134	230	280
	1, 0		283	128	360
	1, 5		70, 5	21, 2	10
	2, 0		4, 7	16, 2	11, 3
20 min.	0		98, 5	195	104
	0, 5		39, 5	80	77
	1, 0		39, 5	57	98, 5
	1, 5		42, 8	47	51, 8
	2, 0		42, 8	17, 4	1, 4
27, 5 min.	0		75	82	85, 8
	0, 5		21, 2	31, 9	42, 8
	1, 0		17, 4	25	31, 9
	1, 5		23, 8	74	11, 5
	2, 0		23, 8	29	26, 3
	0		61, 9	60, 5	47
	0, 5		47	29	26, 3
	1, 0		30, 5	26, 3	27, 8
	1, 5		29	54, 5	72, 5
	2, 0		33	42, 8	39, 5

Tabell 12 Koncentrationen $\times 10^{-10}$ i mittsektionen vid kontinuerlig dosering av Rodamin B. $\Sigma Q = 202, 9 \text{ l/s}$.

Resultat: Även här kan man konstatera att de största hastigheterna finns vid den vänstra kanten. Huvuddelen av strömningen sker i den övre delen av bassängen, dock inte i översta ytskiktet. De största hastigheterna finns på djupen 0, 5 - 1, 0. Räknar man med 1, 0 m skiktjocklek över hela bassängen fås den medverkande bassängvolymen till ca. 0, 4 av den totala volymen. Vid uppehållstidsmätningar vid liknande flöde medverkade ungefär hälften av bassängen vid sedimenteringen. Då hastigheten i utloppet kan antas jämnare fördelad blir troligen skiktet mindre markerat där. Överensstämmelsen med uppehållstidsmätningarna är alltså tämligen bra.

Försök 3. Detta försök utfördes på samma sätt som försök 2. Resultaten av mätningarna framgår av tabell 13 nedan.

Tiden efter doseringens mittpunkt. Tiden avser pkt. (0, 7. 8)

	Djup	Mätvertikal	0	3, 90	7. 80
5 min.	0		22, 5	29	54, 5
	0, 5		70	19, 9	22, 5
	1, 0		102	30, 5	34, 1
	1, 5		84	31, 9	26, 3
	2, 0		21, 2	2, 5	33
12, 5 min.	0		66, 5	68	48, 2
	0, 5		198	168	146
	1, 0		155	262	245
	1, 5		65	134	48, 2
	2, 0		17, 4	34, 2	29
20 min.	0		117	187	90
	0, 5		65	182	175
	1, 0		72, 5	98	206
	1, 5		48, 2	142	128
	2, 0		34, 2	39, 5	35, 9
27, 5 min.	0		75	171	120
	0, 5		47	65	105
	1, 0		35, 9	39, 5	38, 2
	1, 5		38, 2	51	104
	2, 0		33	35, 9	39, 5
35 min.	0		60, 5	53, 8	117
	0, 5		38, 2	51	90
	1, 0		25, 0	27, 8	39, 5
	1, 5		31, 9	38, 2	107
	2, 0		31, 9	31, 9	42, 8

Tabell 13. Koncentrationen $\times 10^{-10}$ i mittsektionen vid kontinuerlig dosering av Rodamin B. $\Sigma Q = 202, 9 \text{ l/s}$.

Resultat: Även här återfinnes de högsta hastigheterna utefter vänstra kanten (sett i strömningsriktningen). Huvudflödet återfinnes i den övre delen av bassängen med något större skiktjocklek än i försök 2, vilket väl överensstämmer med bestämningen av uppehållstiden.

Slutsummering

Vid samtliga försök med kontinuerlig dosering erhöles de största hastigheterna i den vänstra kanten av bassängen på 1 m:s djup. De övre 1,5 m av bassängen har en större hastighet än den undre meterns. Huvudflödet går fram på 0,5 - 1,5 meters djup. Vid mindre flöde är detta skikt tunnare och beläget på djupet 1 - 1,5 m, vilket konstaterats vid flygel-mätning i mittsektionen.

En skikttjocklek på 1-1,5 meter över hela bassängen, vilket motsvarar resultatet vid flödet 200 l/s, ger en medverkande bassängvolym av 0,36 - 0,54 av den totala volymen. Motsvarande uppmätta verkningsgrad var ca 0,5. Vid flödet 100 l/s är skikttjockleken 0,5 - 1,0 meter vilket ger en medverkande bassängvolym av 0,18 - 0,36 av den totala. Uppehållstidsmätningarna ger ett motsvarande värde av 0,2 - 0,3. Alltså är överensstämmelsen relativt god.

8.6 Bestämning av uppehållstiden vid ändring av inloppets utformning.

Dessa försöks syfte är att se om man genom att täcka inloppsspalternas övre hälft kan få en längre uppehållstid och därigenom en bättre verkningsgrad i bassängerna, d.v.s. en större medverkande bassängvolym. Spalterna sattes igen nedtill 75 cm från vattenytan räknat, se bild 9. Vattnet fick alltså strömma in i bassängen på de nedersta 75 cm av spalterna.

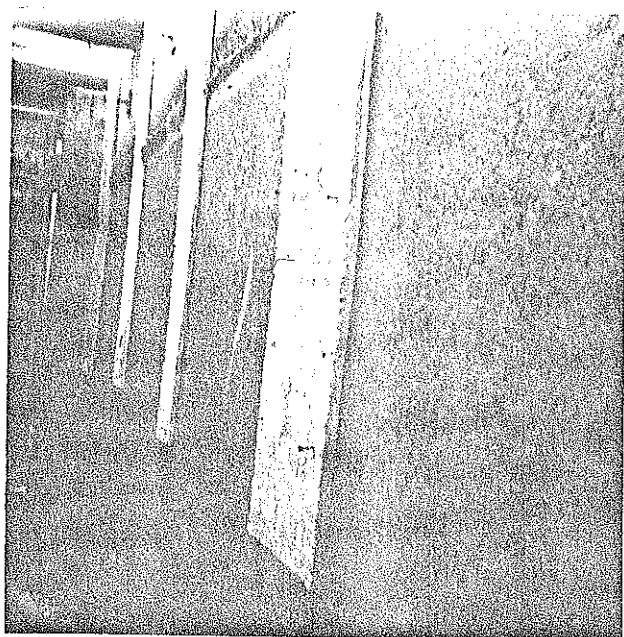


Bild 9. Spalterna i inloppet delvis tilltäppta.

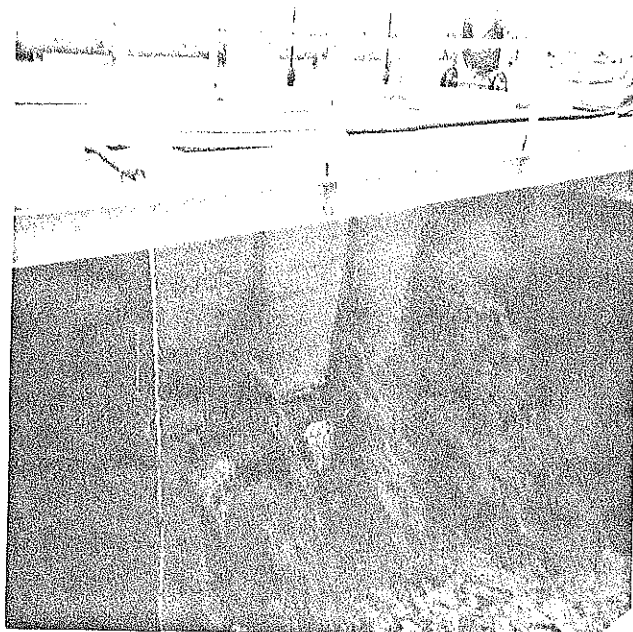


Bild 10 Spalterna i inloppet delvis förtäppta och bassängen under fyllning

Genom detta förfarande med inbrädning erhålls större inströmnings-hastigheter, då samma flöde som tidigare skall in i bassängen genom en mindre yta.

Man vill ha det inkommande vattnet fördelat så jämnt som möjligt över hela tvärsektionen med en lugn strömning. I Ryaverkets sedimenterings-bassänger är inloppsspalterna avsedda att fylla denna funktion.

Försökens utförande

Förutom inbrädningen (se inledning) så utfördes försöken som tidigare uppehållstidsmätningar. Tre försök utfördes med flödet 115, 115 och 133 l/s. Luftning var påkopplad vid försök 1 och 2 men ej vid försök 3. Resultatet framgår av diagram 10, 11, 12 sid. 13.34-36, samt av tabell 14.

Försök	1	2	3
ΣQ	115,1	115,1	132,6
Q_r	48,3	48,3	48,3
$\Sigma Q + \frac{1}{2} Q_r$	139,25	139,25	156,75
$\Sigma Q + Q_r$	163,4	163,4	180,9
V	0,85	1,33	0,85
Luftning	Ja	Ja	Nej
T_{verkl}	48'56"	44'33"	38'13"
T_1^{teor}	154'20"	154'20"	137'
T_2^{teor}	131'30"	131'30"	119'20"
ζ_1	0,322	0,289	0,280
ζ_2	0,379	0,338	0,321
V_1^{medv}	416,0	373,0	359,0
V_2^{medv}	489,5	436,0	414,8

Tabell 14 Mätresultat vid uppehållstidsförsök med ändrad inloppsutformning $\Sigma Q \approx 120 \text{ l/s}$

Utvärdering av försök 1, 2, 3

Verkningsgraden (ζ_1) varierar mellan 0,280 - 0,322. Ställs dessa värden i relation till motsvarande värden vid uppehållstidsmätningar utan inbrädning (försöksserie 3, ζ_1 varierar mellan 0,285 - 0,321), inses att effekten av inbrädningen är obetydlig.

Vid mer ingående jämförelsestudie mellan ovanstående försök och försöksserie 3 ges att uppehållstiden förändras obetydligt när luftningen är påslagen. Med inloppsluftningen avstängd kan ingen säker slutsats dras då skillnaden (försök 3 och försök 3:4) i flöde är relativt stor (ca 30 l/s). Liksom vid tidigare försök blir uppehållstiden kortare då luftningen är avstängd, vilket som tidigare förklaras av den omblandning av suspensionen som inloppsluftningen orsakar.

På grund av praktiska svårigheter kunde ej inbrädningsdjupet varieras, vilket hade varit önskvärt för att dess betydelse helt skulle framgå.

Under inbrädningsförsöket kunde rent visuellt ej någon förbättring i reningseffekten iakttagas.

9. DENSITETSMÄTNINGAR

Densiteten hos avloppsvattnet uppmättes i sektionerna 1, 7 meter från inloppsluftningen, bassängmitt och vid utloppet (nedströms dekanteringen). Syftet med mätningen var att kartlägga täthetsfördelningen och därigenom tryckfördelningen i dessa tre tvärsektioner för att kunna dra ytterligare slutsatser om strömningsförhållandena och sedimentationen. Densiteten hos en vätska är i huvudsak beroende av salthalt, temperatur och mängden lösta partiklar. I vår sedimenteringsbassäng påverkas densitetsfördelningen sannolikt enbart av mängden lösta partiklar dvs att densitetsmätningarna kan tolkas som fördelningen av suspenderat slam.

Försöksutförande

Vattenprover från olika djup sögs upp till ett kärl med hjälp av en pump. Därefter gjordes en ganska grov densitetsbestämning på varje prov med

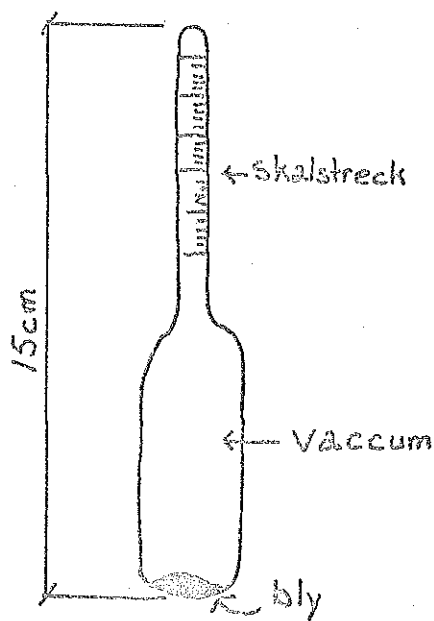


Fig 19 Aerometer

en aerometer. Aerometern är ett rörliknande lufttomt glasrör med en bestämd mängd bly i dess undre del (se figur 19). Mätningen sker genom att aerometern sänks ned i det vattenfyllda kärlet och vid jämvikt avläses vattenytans nivå på aerometers skala. Detta värde ger provets densitet. Som referensvärde kan anges att densiteten vid 20-gradigt rent vatten är $0,998 \text{ g/cm}^3$. (Avloppsvattnets temperatur vid mätningarna var ca 20°C). Under alla densitetsmätningar var skraphastigheten $0,85 \text{ meter/min}$ och luftningen var påkopplad. Totala flödet inkl returflödet var ca 100 l/s .

Mätresultat

Uppmätta densiteter 1,7 meter framför inloppsspalterna framgår av tabell 15 nedan

djup \ m	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	1.000	1.000	1.000
1,0	1.000	1.000	1.001	1.000	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000
2,0	1.000	1.001	1.001	1.001	1.001	1.002	1.000	1.001	1.001
2.75	1.001	1.004	1.004	1.002	1.004	1.003	1.004	1.003	1.003

Tabell 15 Densiteten $\rho \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)$ i inloppet

Ovanstående tabell kan ses som en tvärsektion av bassängen i flödets riktning.

Uppmätta densiteter i bassängens mitt framgår av tabell 16 nedan

djup \ m	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997
1,0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2,0	1.002	1.002	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
2.75	1.004	1.004	1.003	1.002	1.003	1.002	1.002	1.002	1.002

Tabell 16 Densiteten $\rho \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)$ i mitt-tvärsnittet

Uppmätta densiteter i utloppet framgår av tabell 17 nedan.

djup ^m	0	1	2	3	4	5	6	7	7.80
0	0.997	0.997	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
1,0	0.999	0.999	1.000	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
2,0	1.001	1.001	1.001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2,75	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002

Tabell 17 Densiteten $\rho \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)$ i utloppstvärnsnittet

Ur tabellen ovan kan utläsas att densiteten är påfallande jämn på de olika djupen inom varje sektion, utom vid botten i inlopps- och mittvärnsnittet. Densiteten i ytskiktet är lägre i mittzonen än i utloppszonen, dvs vattnet är renare i ytan i mittzonen än i utloppszonen. Anledningen till detta fenomen är förmodligen att vid utloppet förs partiklar upp till ytan med den vertikala strömning som råder där. Vid botten sjunker densiteten i strömningsriktningen längs hela bassängen.

Strömningsförloppet kan analyseras utgående från Bernoullis lag för strömning längs en strömlinje (friktionsfritt). För tvärsnitten 1 och 2 gäller då:

$$\left(\frac{p}{\rho g} + z + \frac{v^2}{2g} \right)_1 = \left(\frac{p}{\rho g} + z + \frac{v^2}{2g} \right)_2$$

Antag horisontell strömning $z_1 = z_2$

$$\frac{1}{\rho g} (p_1 - p_2) = \frac{1}{2g} (v_2^2 - v_1^2)$$

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + \frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)} \Rightarrow v_2^2 = v_1^2 + \frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)$$

Antag att v_1 är konstant i hela tvärsektionen $\Delta v_1 = 0 \Rightarrow$

$$v_2^2 = \frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)$$

Den hydrostatiska tryckskillnaden mellan snitten blir:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho g \cdot \Delta h + g \int_0^z \rho_1 dz - g \int_0^z \rho_2 dz$$

Δh = vattenytans lutning

En kvalitativ bedömning av hastighetsfördelningen kan erhållas genom att studera den drivande tryckkraftens fördelning i vertikalled mellan olika sektioner.

$$\Delta p_{\rho}(z) = g \int_0^z \rho_1 \cdot dz - g \int_0^z \rho_2 \cdot dz = g \int_0^z (\rho_1 - \rho_2) dz = g \int_0^z \Delta \rho dz \dots (13)$$

Med hjälp av ekvation (13) kan alltså tryckskillnaden mellan de olika sektionerna (inlopp, mitt och utlopp) beräknas. Tabell 18 nedan anger tryckskillnaden mellan inloppssektionen och mittsektionen som funktion av djupet.

z	ρ_{inlopp}	ρ_{snitt}	$\Delta \rho$	Δp_{ρ}
0	1.0000	0.9970	0.0030	0.0000
1	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000
2	1.0010	1.0012	-0.0002	-19,62
2,75	1.0031	1.0028	0.0003	29.43

Tabell 18 Tryckskillnaden Δp_{ρ} (Pa) mellan inlopp- och mittsektionen som funktion av djupet z (m)

Ovanstående tabell åskådliggörs i fig 20 nedan.

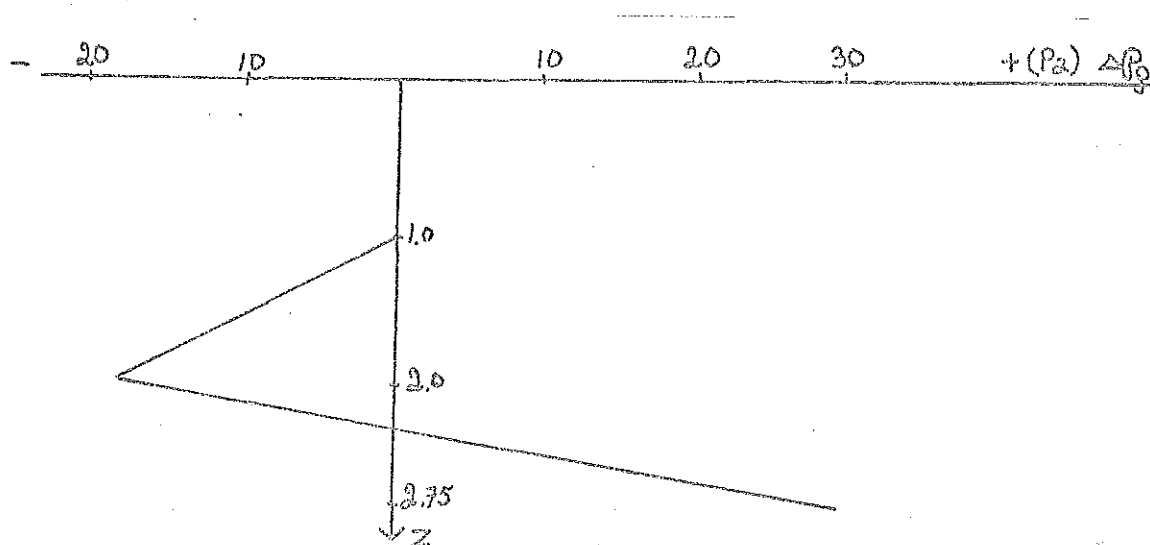


Fig 20 Tryckskillnad Δp_{ρ} (Pa) mellan inlopps- och mittsektionen

Fig 20 tyder på att en tillbakagående ström kan uppkomma på 1,0 - 2,0 meters djup. Den största framdrivande kraften uppkommer vid botten och i den översta metern. Den huvudsakliga strömningen bör därför ske i ett ytligt skikt eftersom skrapörna ger motriktad hastighet vid botten.

Tabell 19 nedan beskriver förhållandet mellan mitt- och utloppssektionen.

z	ρ_{mitt}	ρ_{utlopp}	$\Delta\rho$	$\Delta p_{\rho}(z)$
0	0.9970	0.9984	- 0.0014	0.0000
1,0	1.0000	0.9991	0.0009	8.729
2.0	1.0012	1.0003	0.0009	17.458
2.75	1.0028	1.0020	0.0008	23.544

Tabell 19 Tryckskillnaden Δp_{ρ} (Pa) mellan mitt- och utloppssektionen som funktion av djupet z (m).

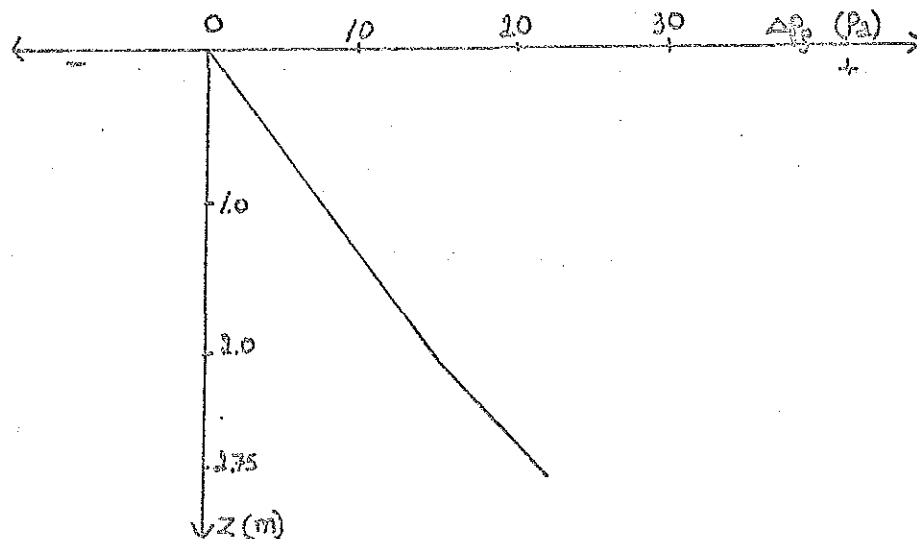


Fig 21 Tryckskillnaden Δp_{ρ} (Pa) mellan mitt- och utloppssektionen som funktion av djupet z (m)

Strömningsriktningen i denna del av bassängen är alltså från mittsektion till utloppssektion. Den största framdrivande kraften uppkommer vid botten.

10. SEDIMENTATIONSANALYSER

Syftet med dessa analyser var att bestämma slammets egenskaper vid de olika uppehållstidsförsöken.

Detta examensarbete förutsätts kompletteras med en mer detaljerad studie av slammets egenskaper, varför endast råresultat av sedimentationsanalyserna presenteras här.

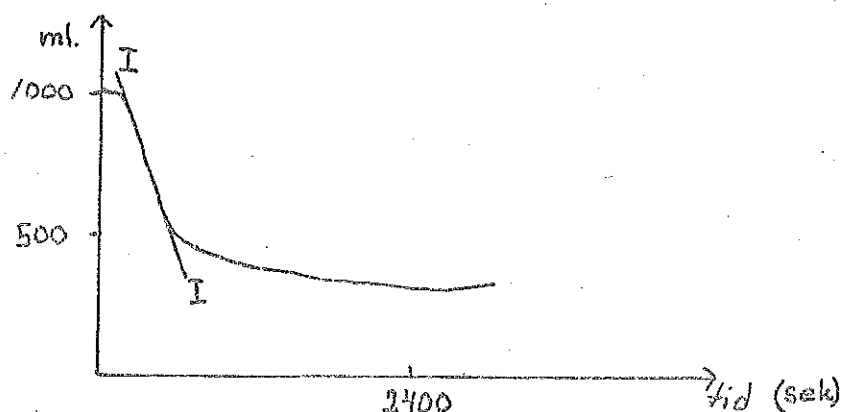


Fig 22 Schematisk bild av sedimentationsdiagram

Ur sedimentationsdiagrammet kan slammets sjunkhastighet och den teoretiskt erforderliga ytbelastningen beräknas. Sjunkhastigheten beräknas genom att beräkna linjens I-I (i fig) lutning. Analyserna utfördes i mätglas och förhållandet i mätglaset ej direkt kan överföras till förhållandet i sedimenteringsbassängerna beroende på randeffekter i mätglaset. På grund av detta utfördes aldrig beräkningarna av den teoretiskt erforderliga ytbelastningen.

Sedimentationsdiagrammen utnyttjas alltså till att beräkna sjunkhastigheter, dvs dessa diagram ger om slammets sjunkegenskaper är "bra" (snabb sedimentation) eller "dåliga" (långsam sedimentation).

10.1 Försökens utförande

Utrustningen bestod av ett 1000 ml mätglas och ett stoppur. Mätningen tillgick så att ett prov av 1000 ml avloppsvatten togs upp i inloppet till bassäng i en punkt där turbulent omblandning förelåg. Detta prov hölls i ett 1000 ml mätglas och stoppartet startades. Sedan avlästes slammets nivå i mätglaset

vid olika tidpunkter, vilket ritades upp i ett diagram, så kallat sedimentationsdiagram. Vi tog ett prov varje dag som ett uppehållstidsförsök utfördes. Mätresultat för samtliga försök framgår av diagram 13-21 sid. 13.37-45, samt av tabell 20 nedan.

Försök	1:1	1:2- 1:4	2:1- 2:2	2:3- 2:4	3:1- 3:2	3:3	3:4	4:1- 4:4	1, 2, 3
$V_f \cdot 10^{-3}$ (cm/s)	2, 5	4, 76	2, 63	1, 95	5, 66	17, 9	24, 5	4, 29	43, 3
V_f (cm/tim)	8, 74	17, 1	9, 38	7, 02	20, 4	64, 6	88, 2	15, 4	151, 2

Tabell 20 Sjunkhastigheten cm/tim vid sedimentationsanalyser
analyser

Vid de flesta av de utförda sedimentationsanalyserna kan slammets sjunkhastigheter sägas vara för låga, undantag gäller dock för försök 3:4 och försök 1, 2, 3. Man kan dock inte överföra dessa sjunkhastigheter till bassängen, då vi har olika randeffekter i mätglaset under mätningen.

11. SLUTSUMMERING

Sedimenteringsbassängernas volymetriska verkningsgrad, dvs den verkliga uppehållstiden dividerad med den teoretiska, varierar mellan 0,164 - 0,511. Normala värden är 0,3-0,5, varför den volymetriska verkningsgraden i Ryaverkets sedimenteringsbassänger får anses vara i lägsta laget. De lägsta värdena härrör från min.flödet (80 l/s och bassäng) och de största från max.flödet (240 l/s och bassäng). Verkningsgraden ökar alltså avsevärt med flödet. Den låga verkningsgraden beror förmodligen på täthetsströmmar och tyder på att det finns stora "döda" zoner i bassängerna, dvs att en viss del av bassängerna inte medverkar vid strömningen och inom en annan del råder det stora strömningshastigheter för att kompensera de "döda" utrymmena. Huvudströmningen genom bassängen sker i ett horisontellt skikt. Detta fenomen kan vara ogynnsamt ur sedimenterings-synpunkt genom att turbulensen ökar något och att partiklarna kan befinna sig på högre nivå när det slamblandade vattnet når utloppet.

Vid små flöden är det ur verkningsgrads synpunkt fördelaktigt att köra skraporna på den lägsta hastigheten, eftersom vid dessa flöden verkningsgraden ökar med minskad skraphastighet. Storleksordningen på denna ökning är ca 10 % vid minskning av skraphastigheten med "ett steg". Vid max.flöden är verkningsgraden i det närmaste oberoende av skraphastigheten. Förklaringen till detta är att den turbulens som genereras av hastighetskillnaden mellan vattnet och skraporna vid små flöden bidrar till att jämna ut hastighetsprofilen men vid större flöden saknar betydelse.

Luftningen i inloppet inverkar också på verkningsgraden vid små flöden. Om luftningen vid medelflöden (120 l/s) stängs av medför det att verkningsgraden minskar med ca 7 %. Denna procentsats blir lägre ju större flödet är.

Strömningsskildringen vid små resp stora flöden (100-200 l/s och bassäng) och med inloppslutning framgår av fig 23, 24. Dessa strömningsskildringar är resultatet av en tolkning av våra mätningar i form av

- 1) Hastighetsmätning med flygel i olika sektioner
- 2) Kontinuerlig dosering av spårämne och inmätning i mittsektionen
- 3) Densitetsmätningar i olika sektioner
- 4) Upphållstidsmätningar

Samtliga mätningar pekar på samma resultat, att endast en liten del av sedimenteringsbassängerna medverkar vid strömningen.

Av figurerna 23 och 24 ses att hastigheterna är störst nära ytan vid inloppet. Därefter sker en inlagring av avloppsvattnet på den nivå, där det densitetsmässigt hör hemma och avloppsvattnet skär ned i ett stråk och bildar ett strömningsskikt. Vid små flöden ligger huvudflödet i en tunt skikt, ca 0,75 m tjockt, på bassängens halva djup. Vid stora flöden är skiktet avsevärt tjockare, 1 - 1,5 meter, och s befinner sig i den övre delen av bassängen, dock ej i översta ytskiktet.

Vid utloppet påverkas strömningen av skibordsbelastningen vilken enligt Imhoff ej bör överstiga $8 \text{ m}^3/\text{h}$ (2,25 l/s) - $10 \text{ m}^3/\text{h}$ (2,8 l/s) per meter skibord. Vid Ryaverket är värdena på skibordsbelastningen u ; vid max. flöde 200 l/s och bassäng $u = 4,4 \text{ l/s}$ och m skibordslängd, vid flödet 70 l/s och bassäng $u = 1,53 \text{ l/s}$ och m skibordslängd.

Imhoffs rekommenderade värden överskrides alltså innan max. flödet uppnås, varför en viss del av slamavbördningen kan tänkas bero på den stora skibordsbelastningen.

Sammanfattningsvis har alltså Ryaverkets sedimenteringsbassänger ur hydraulisk synpunkt följande ogynnsamma egenskaper:

- 1) Den volymetriska verkningsgraden är i underkant
- 2) Hastighetsfördelningen i inloppet är ojäm
- 3) Skibordsbelastningen är hög

Troligen är det inte enbart en ensam faktor som orsakar slamavbördningen utan en kombination av ovanstående punkter.

Rekommendationer

- 1) En skärm bör på prov insättas i inloppet för att dämpa bort de stora ythastigheterna. Skärmen bör placeras så nära inloppsspalterna som möjligt. Skärmen bör kunna regleras i höjdlöd och dess höjd bör vara ca 1,0 m, så att man kan undersöka olika nedsänkingsdjup. De olika djup som skall undersökas bör ej ligga under 1 meter från vattenytan.
- 2) Skiborden bör justeras så att samma flöde går genom samtliga skibord. Skibordsbelastningen bör om möjligt sänkas.

Kompletterande mätningar

Utanför examensarbetets ram utfördes mätningar med en skärm i inloppet. Resultat av dessa mätningar blev att den volymetriska verkningsgraden blev cirka dubbelt så stor. Man får alltså en bassäng som ur hydraulisk synpunkt bör vara bättre än en bassäng utan skärm. Utförligare beskrivning av försök och resultat framgår av appendix. 2.

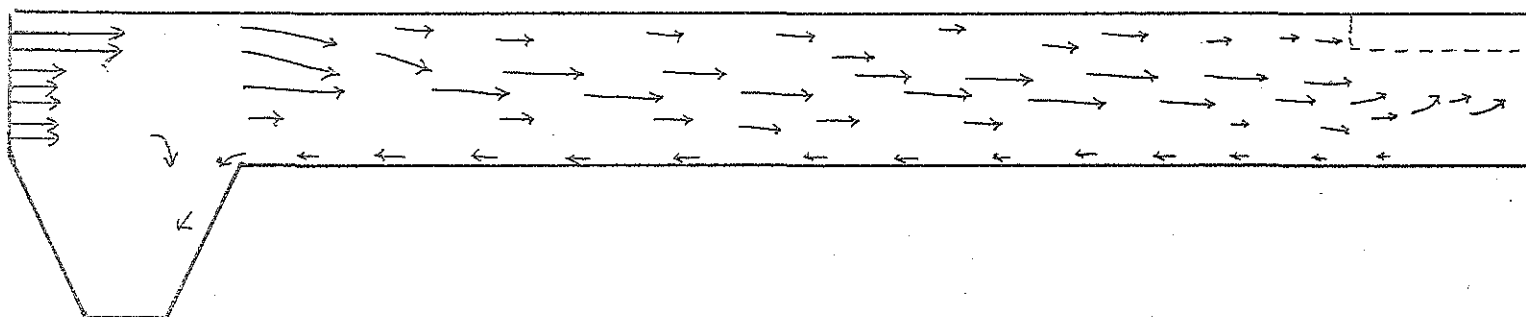


Fig. 23 Tolkning av strömningsbild i bassängen med utgående flöde $Q = 70 \text{ l/s}$ och med inloppsluftning påkopplad.

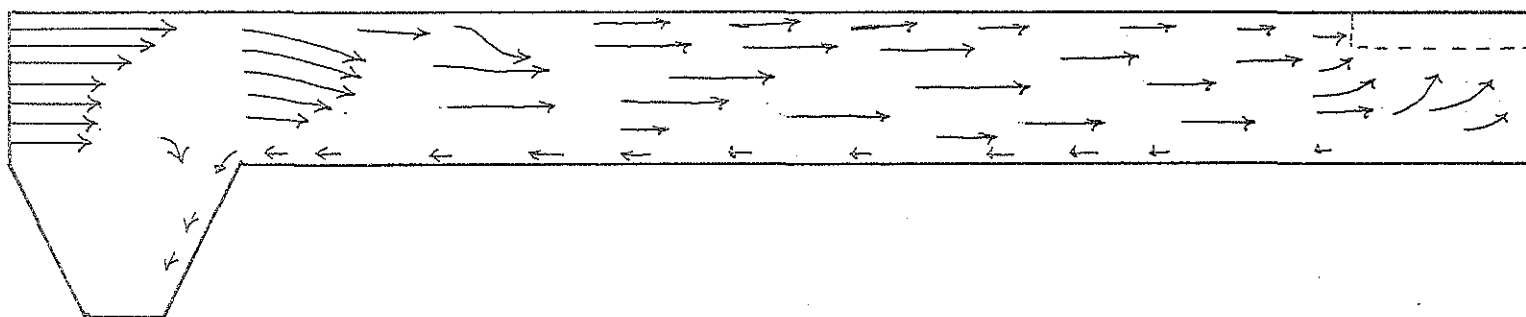


Fig. 24 Tolkning av strömningsbild i bassängen med utgående flöde $Q = 200 \text{ l/s}$ och inloppsluftning påkopplad.

12. LITTERATURFÖRTECKNING

1. K. Cederwall och A. Sjöberg: "Hydraulik", CTH, Inst.f. vattenbyggnad.
Intern skrift nr 6 1969.
2. Davis: Handbook of applied hydraulics
3. Feuerstein och Selleck: "Flourescent tracers for dispersion measurements"
ASCE SA4 Aug 1963
4. T. Hedberg: "Separationsteknik", Inst.f. VA-teknik, CTH
5. J. Hjort: Sedimenteringsteori och -apparatur inom VA-tekniken. 1966
6. A.C. Ingersoll och R.T. Mc Laughlin: "The resuspension of flocculent
solids in sedimentation basins". Final Report
1 oct, 1955 through 31 dec., 1959
7. Rosén, B.: "Rapport beträffande undersökning av cirkulära sedimenterings-
bassänger med olika periferidjup vid Nymölla bruk". Inst.f.
VA-teknik publikationsserie C, Nr 67:1
8. P. Ullman: "Undersökning av cirkulära sedimenteringsbassänger vid
Norrsundets sulfatfabrik", IVL, Stockholm sept 1968
9. Tidskrift för vattenvård "Vatten" Nr 3 år 1972
10. G. Weijman-Hane och T. Hedberg: "Kompendium i VA-teknik" Del V, CTH

13. DIAGRAMBILAGA.

$Q(l/s)$

50

40

30

20

10

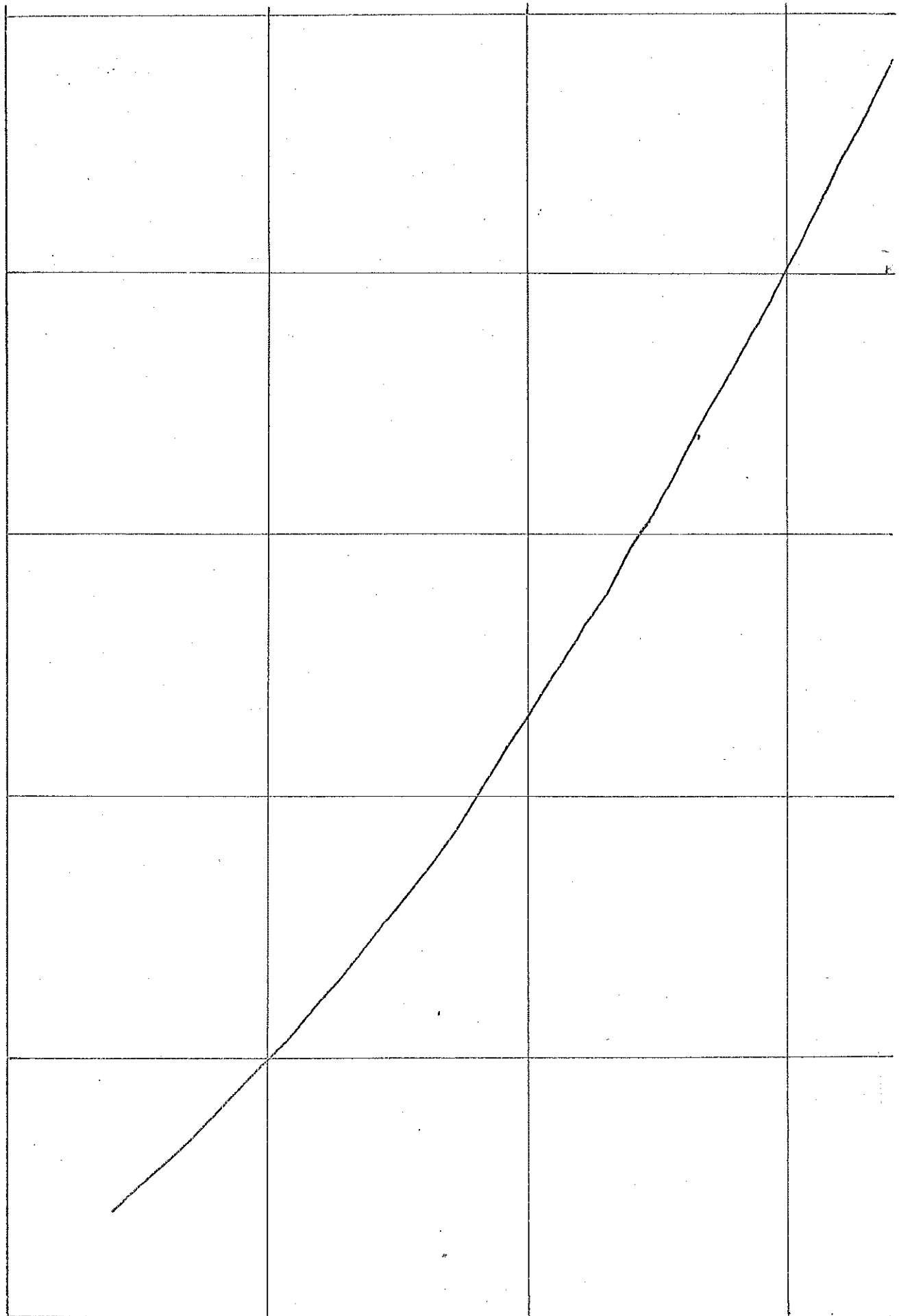
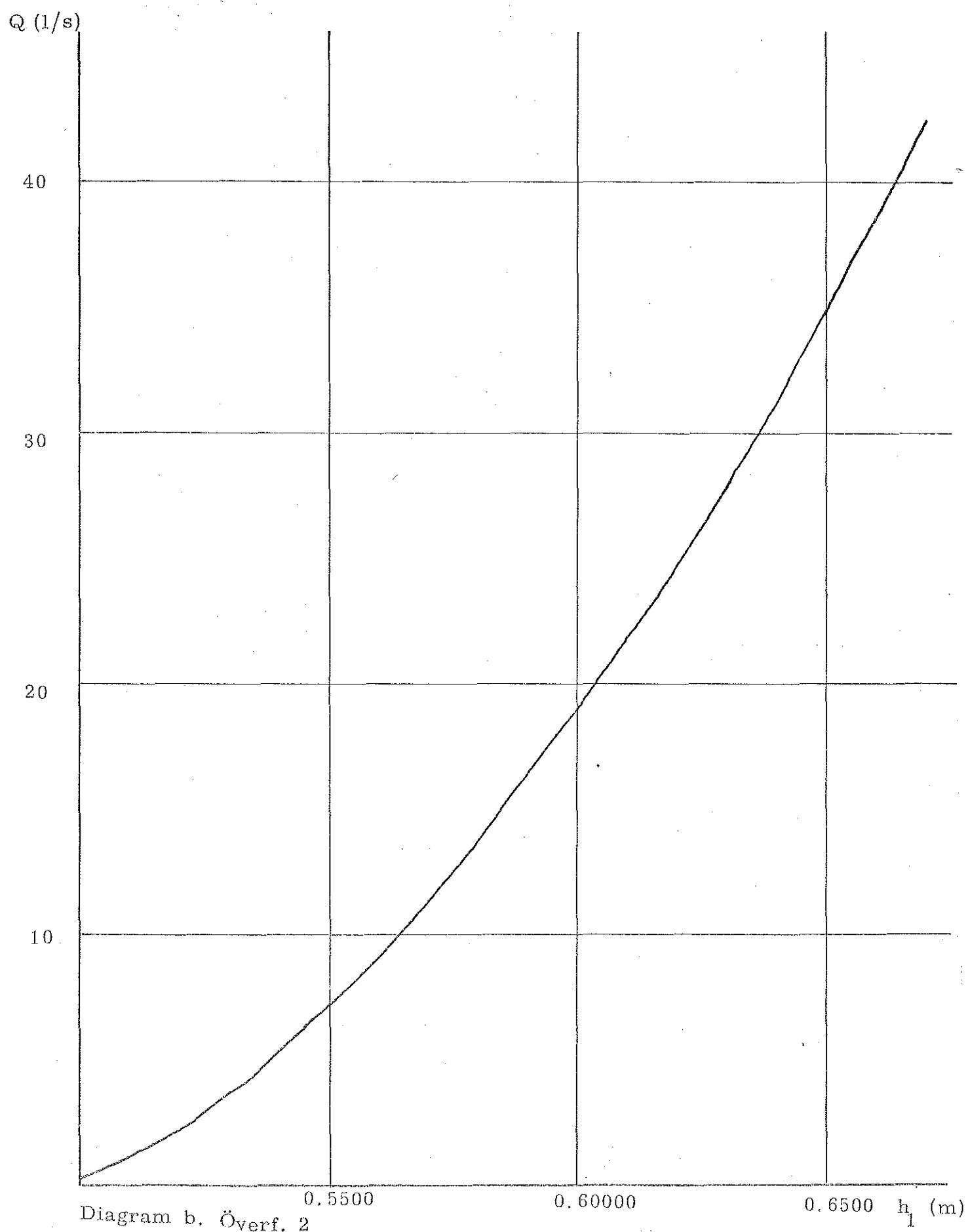
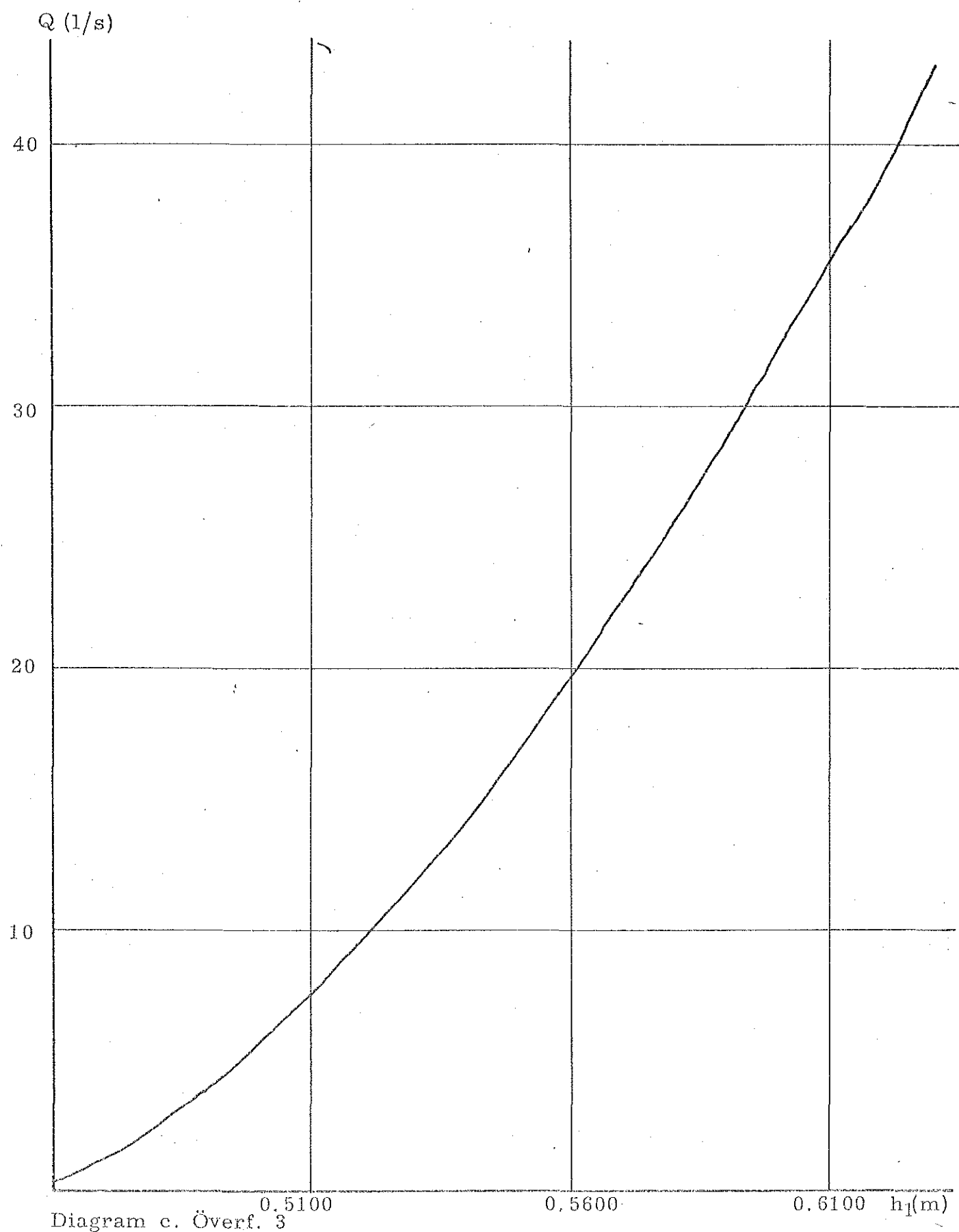


Diagram a. Överf. 1

0.5800

0.6300 $h_1(m)$





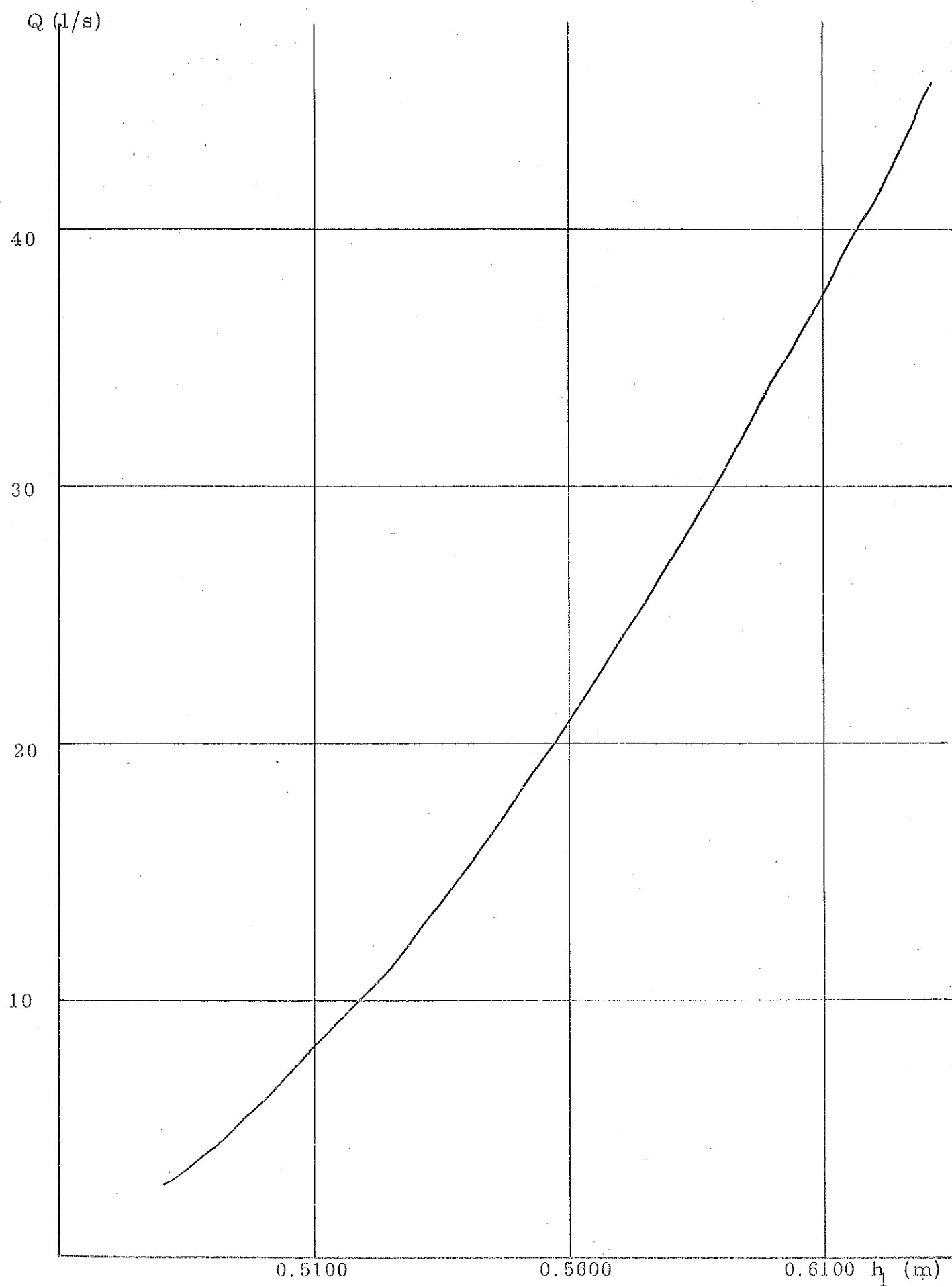


Diagram d. Överf. 4

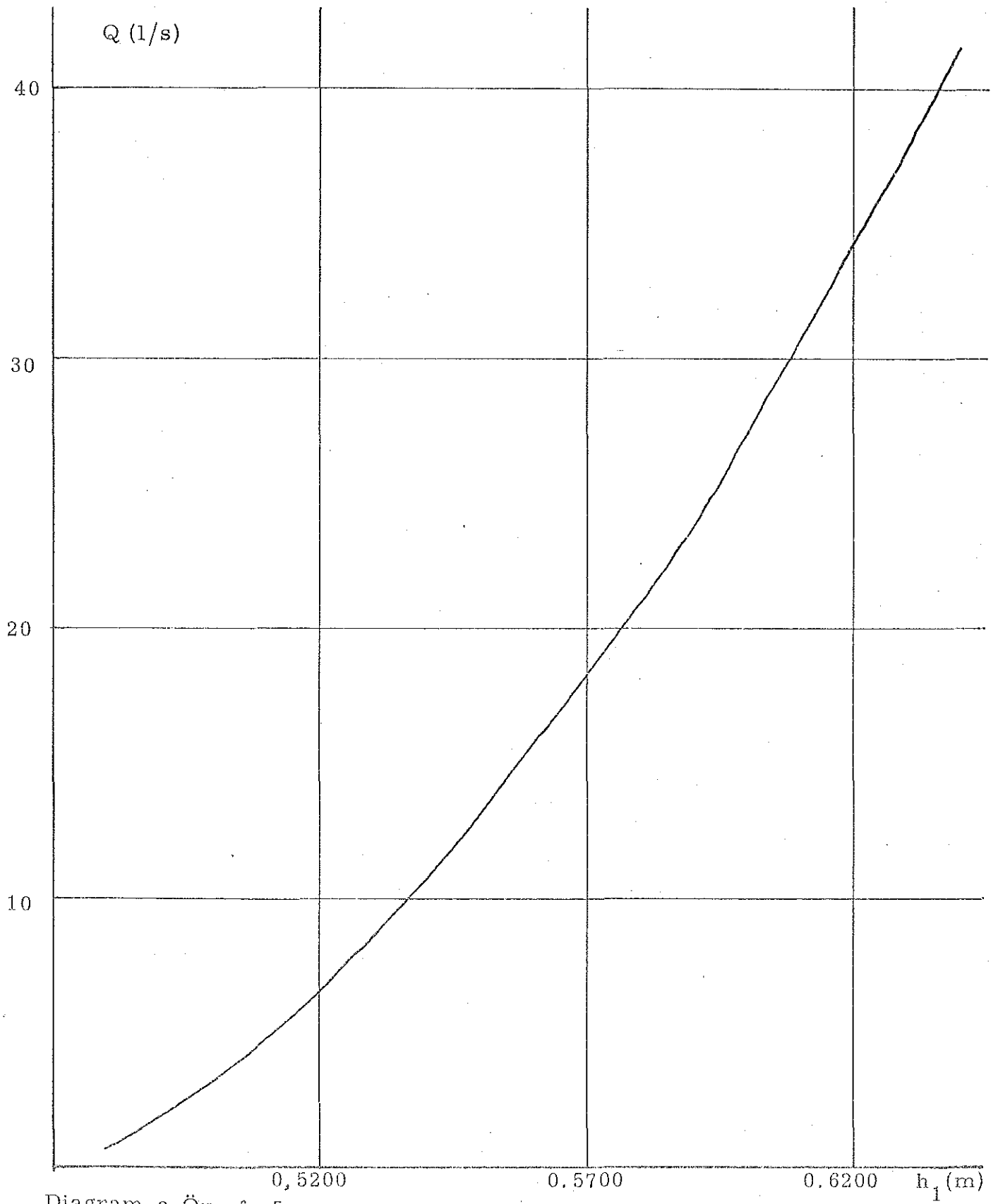


Diagram e. Överf. 5

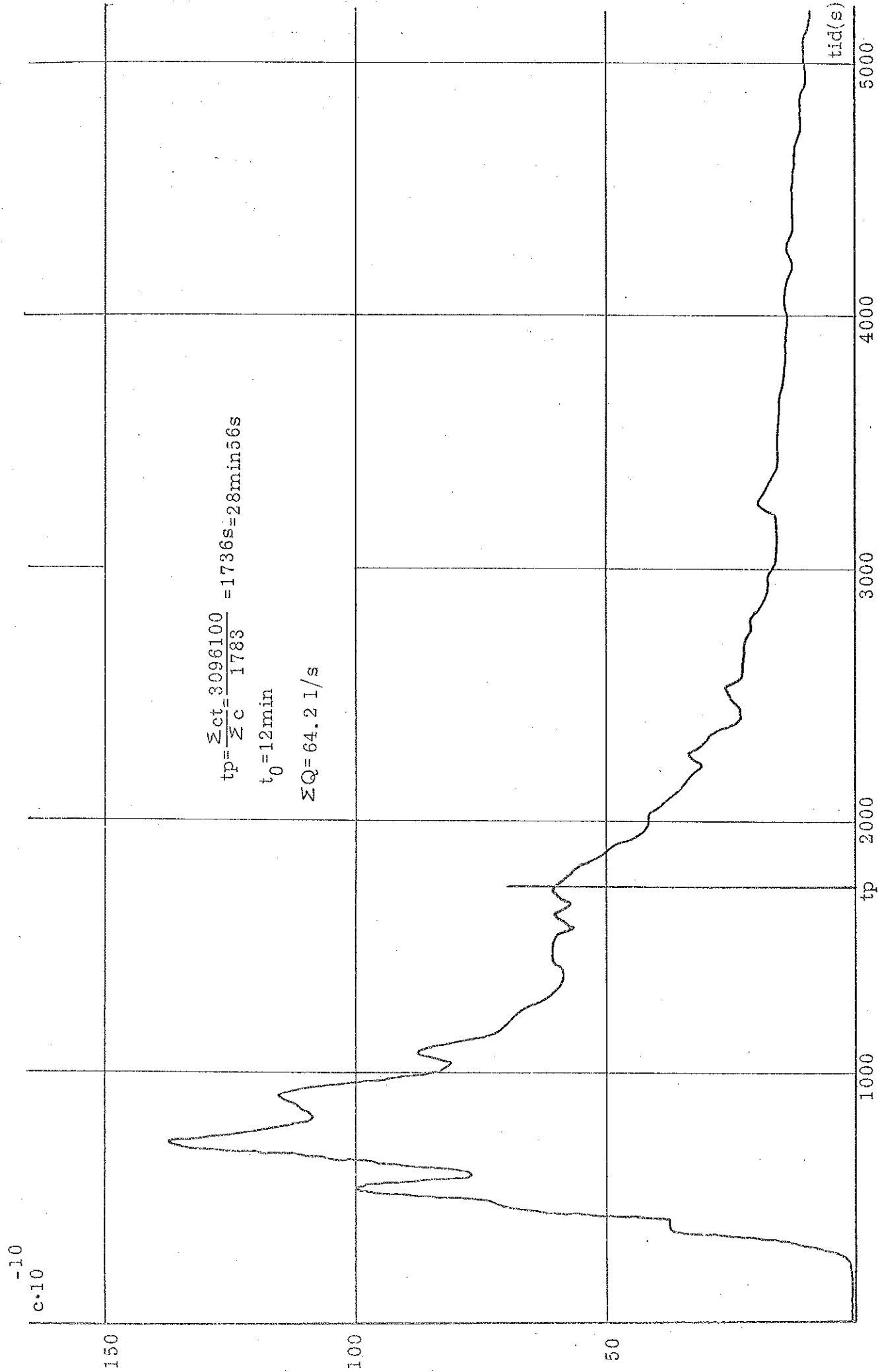


Diagram 1:1.

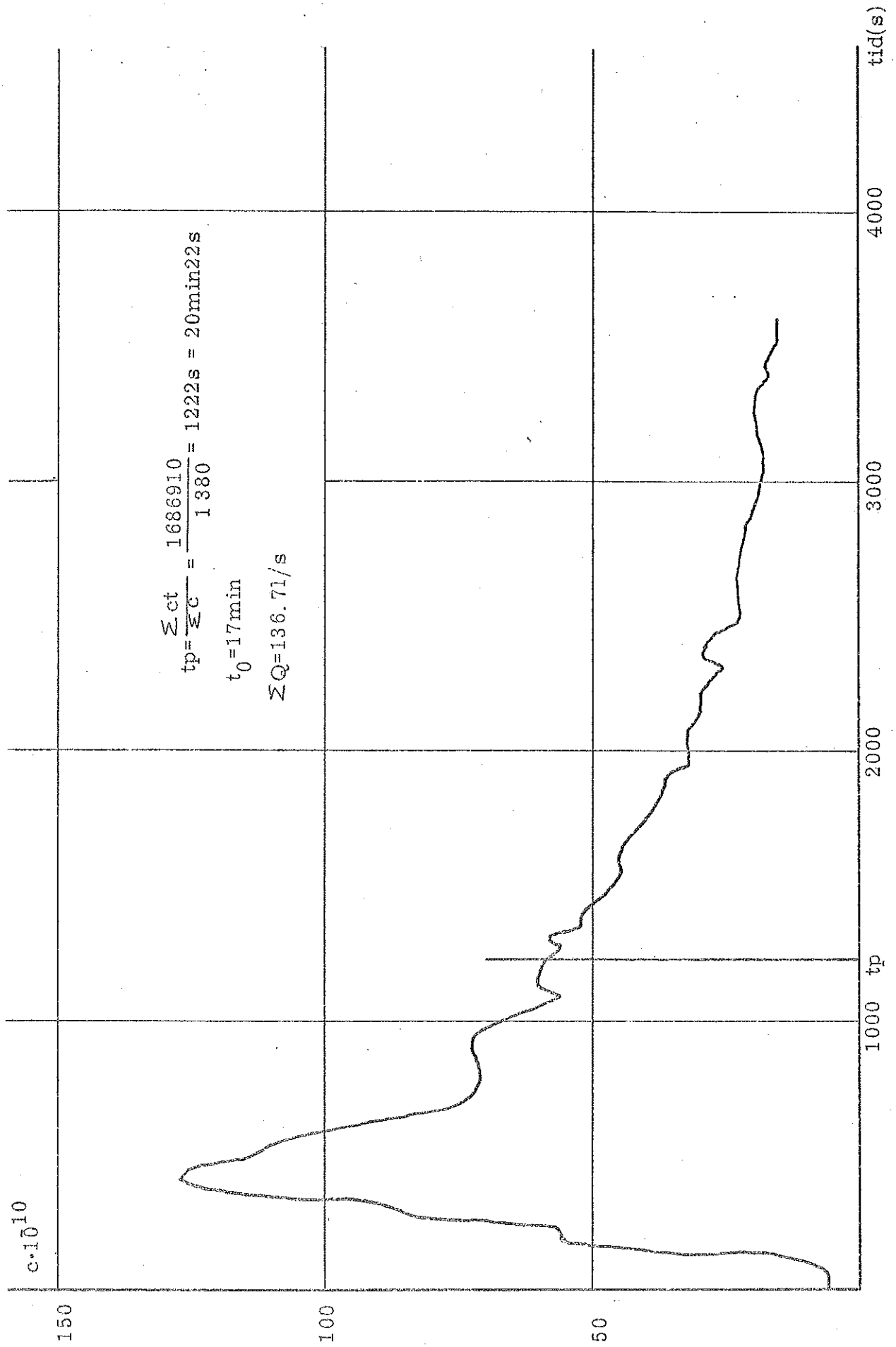
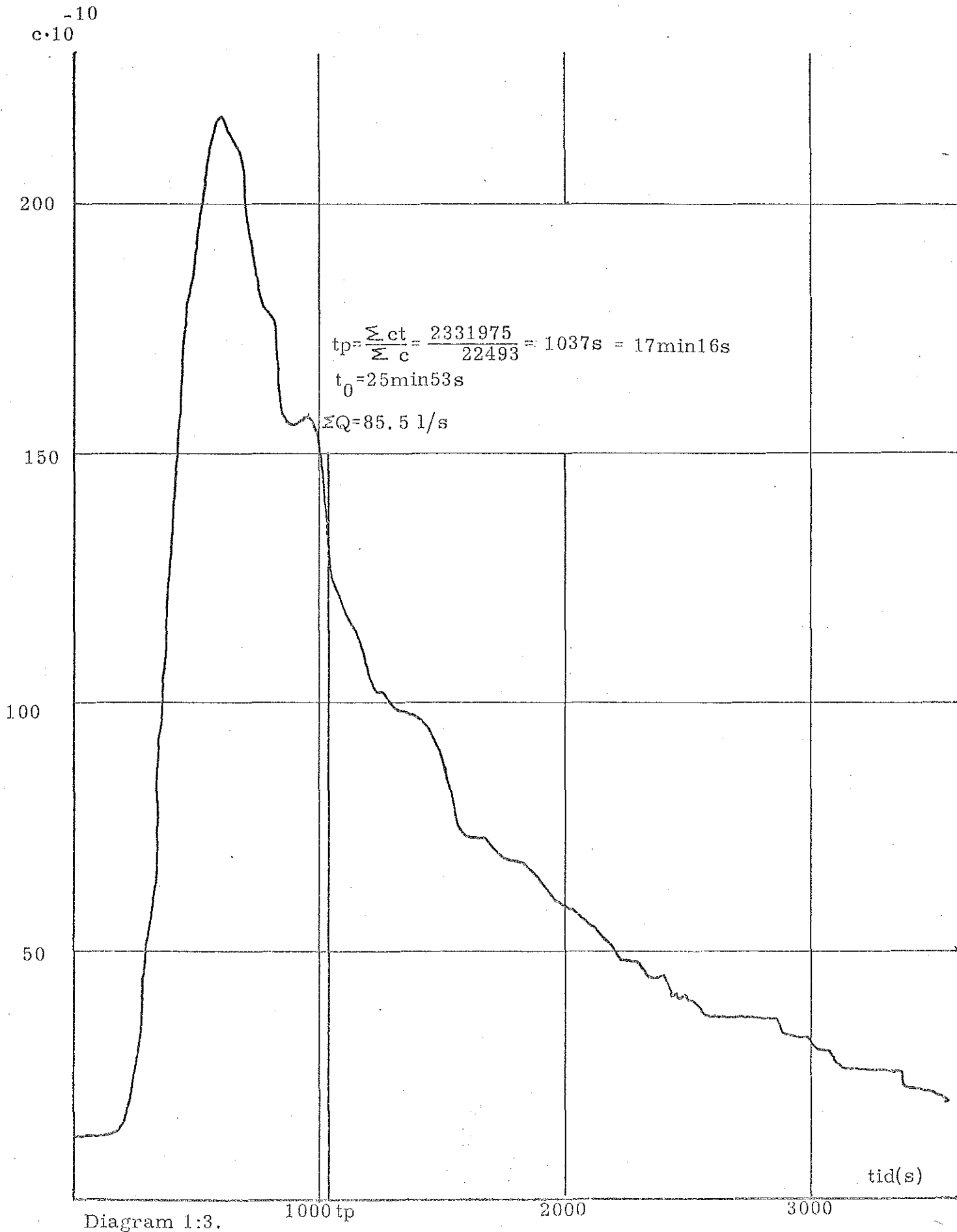


Diagram 1:2.



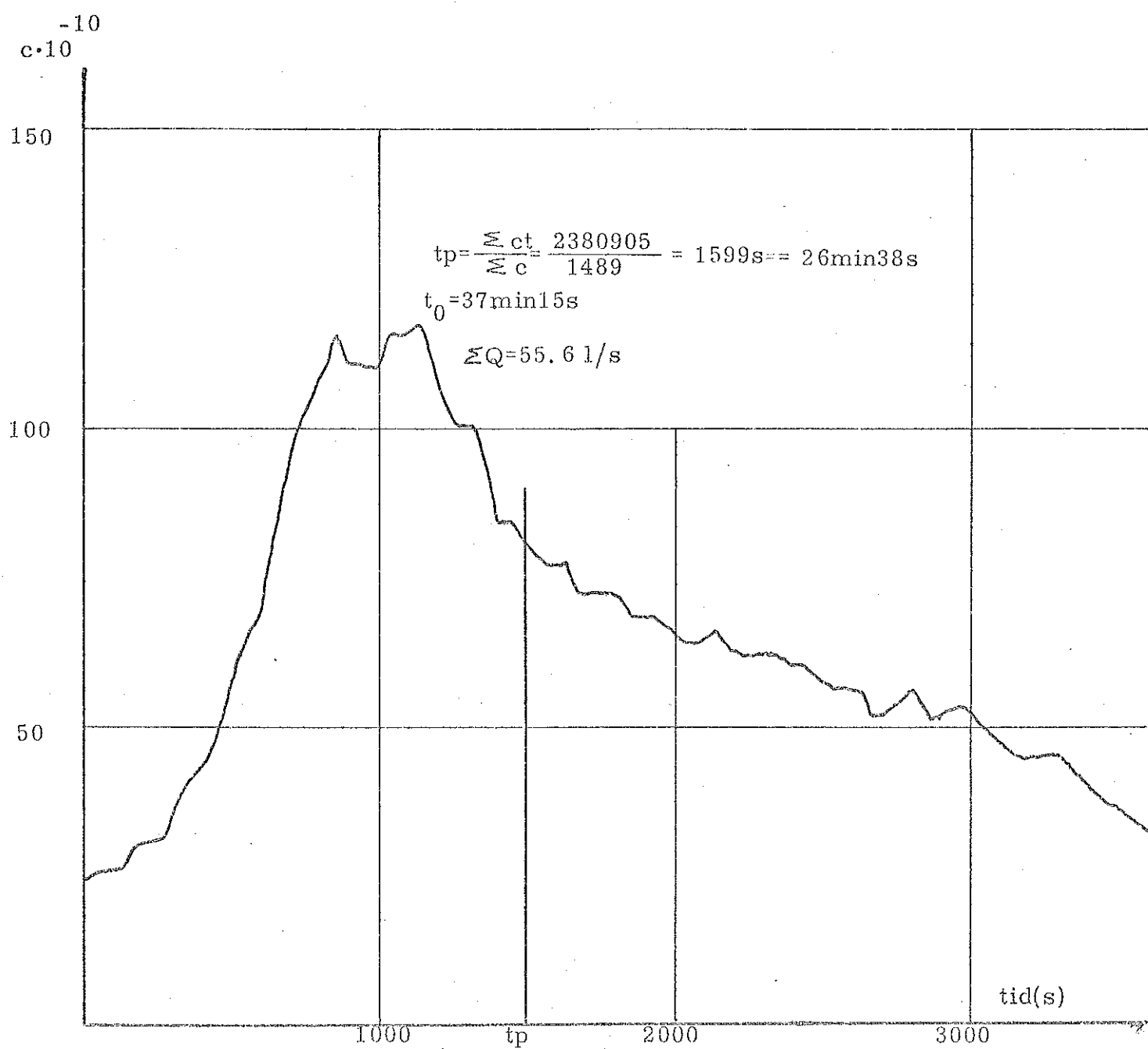


Diagram 1:4.

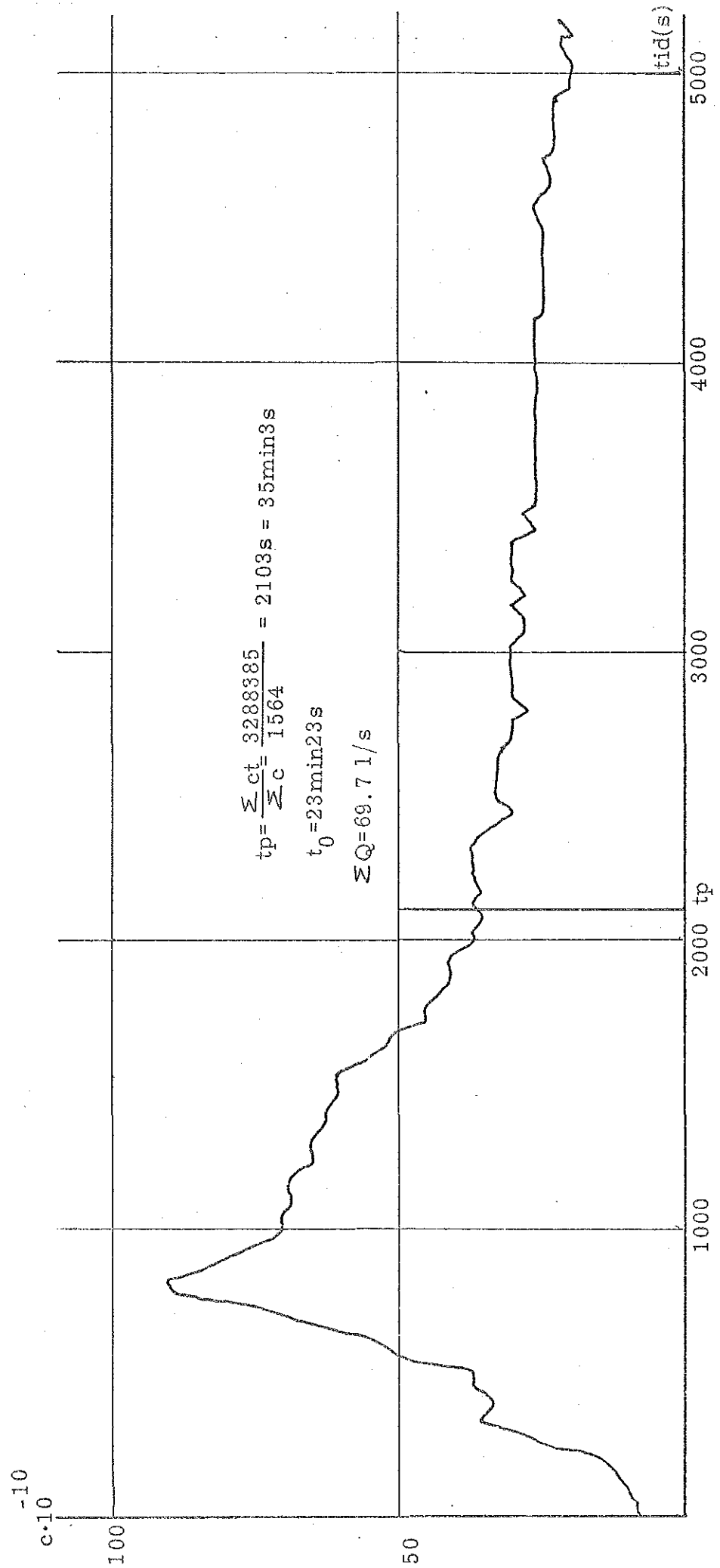


Diagram 2:1.

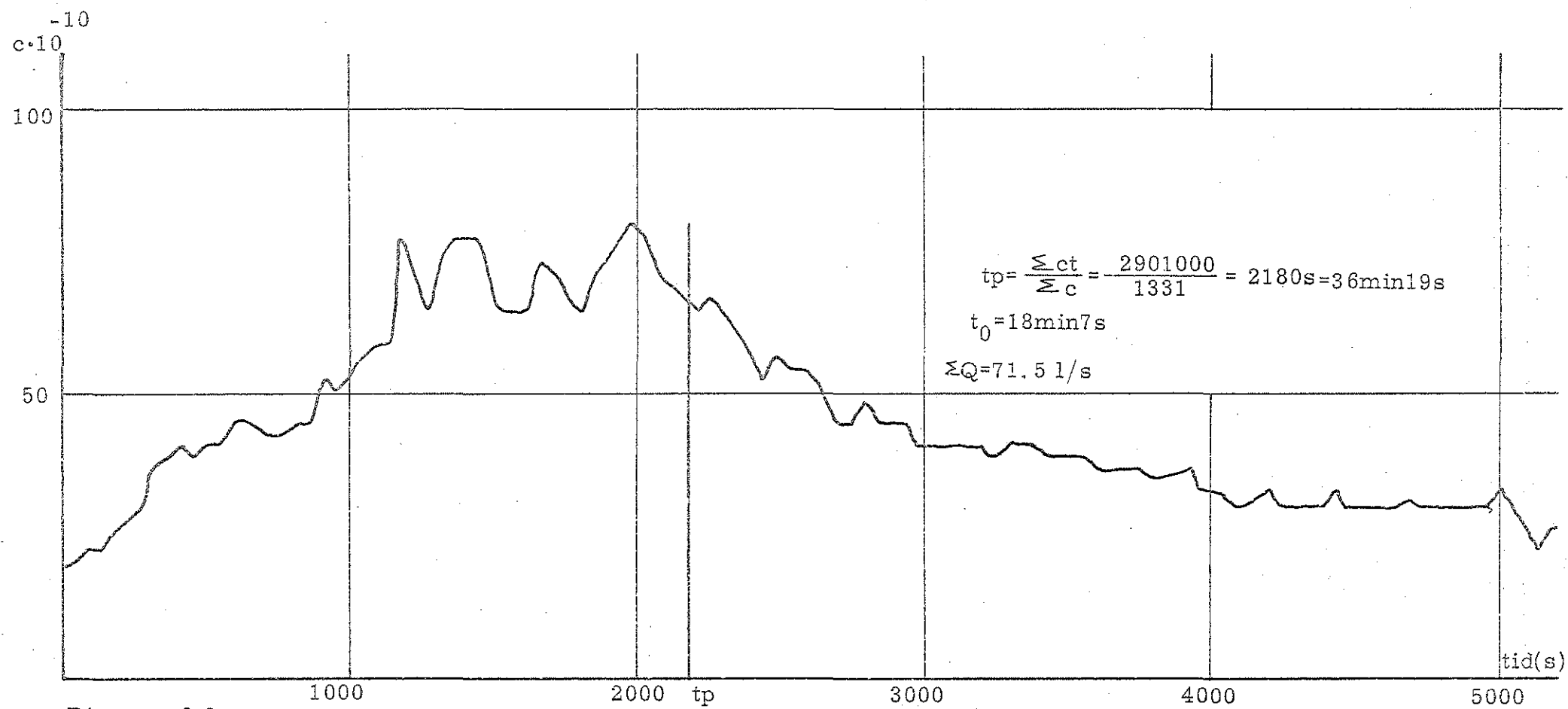


Diagram 2:2.

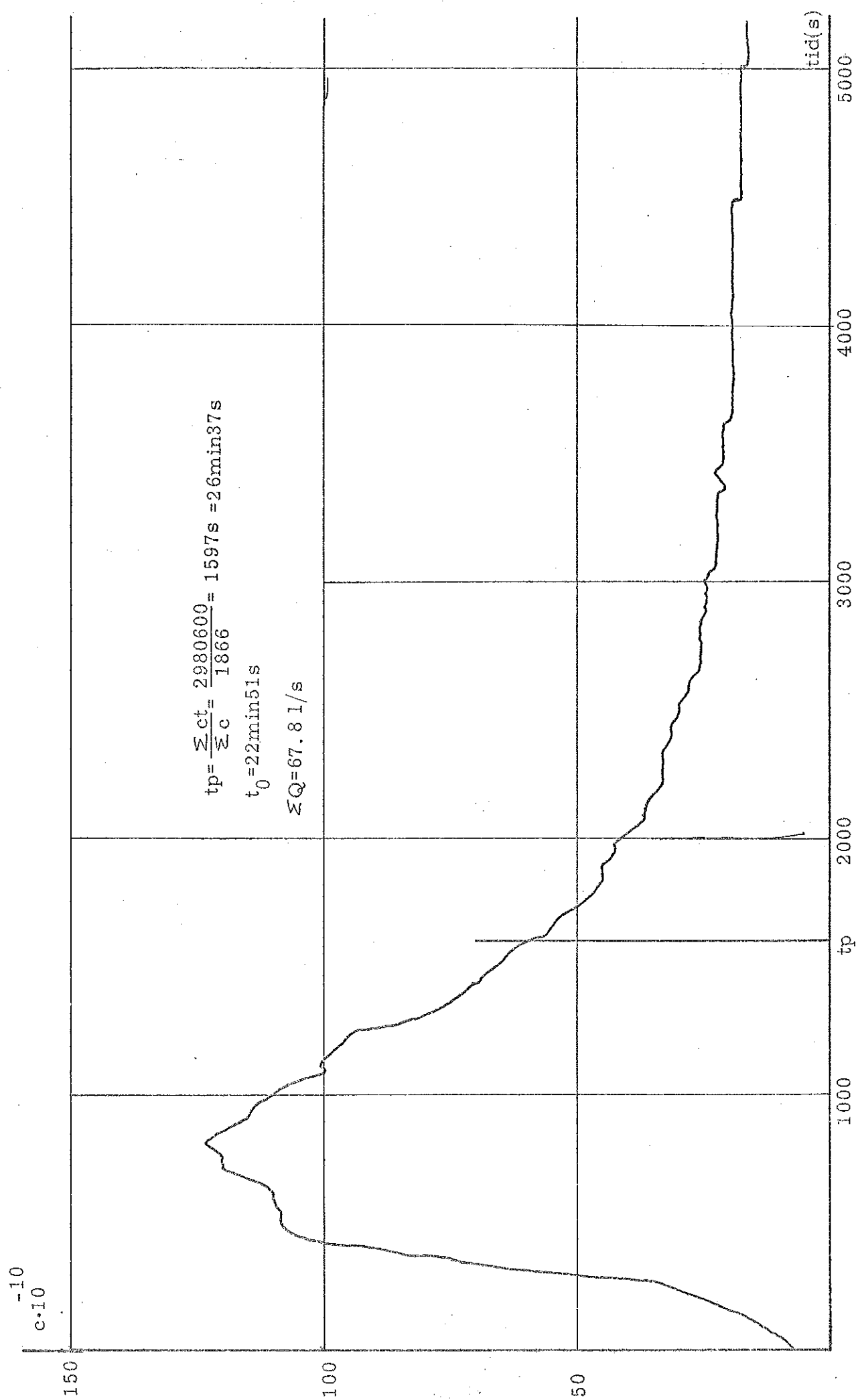


Diagram 2:3.

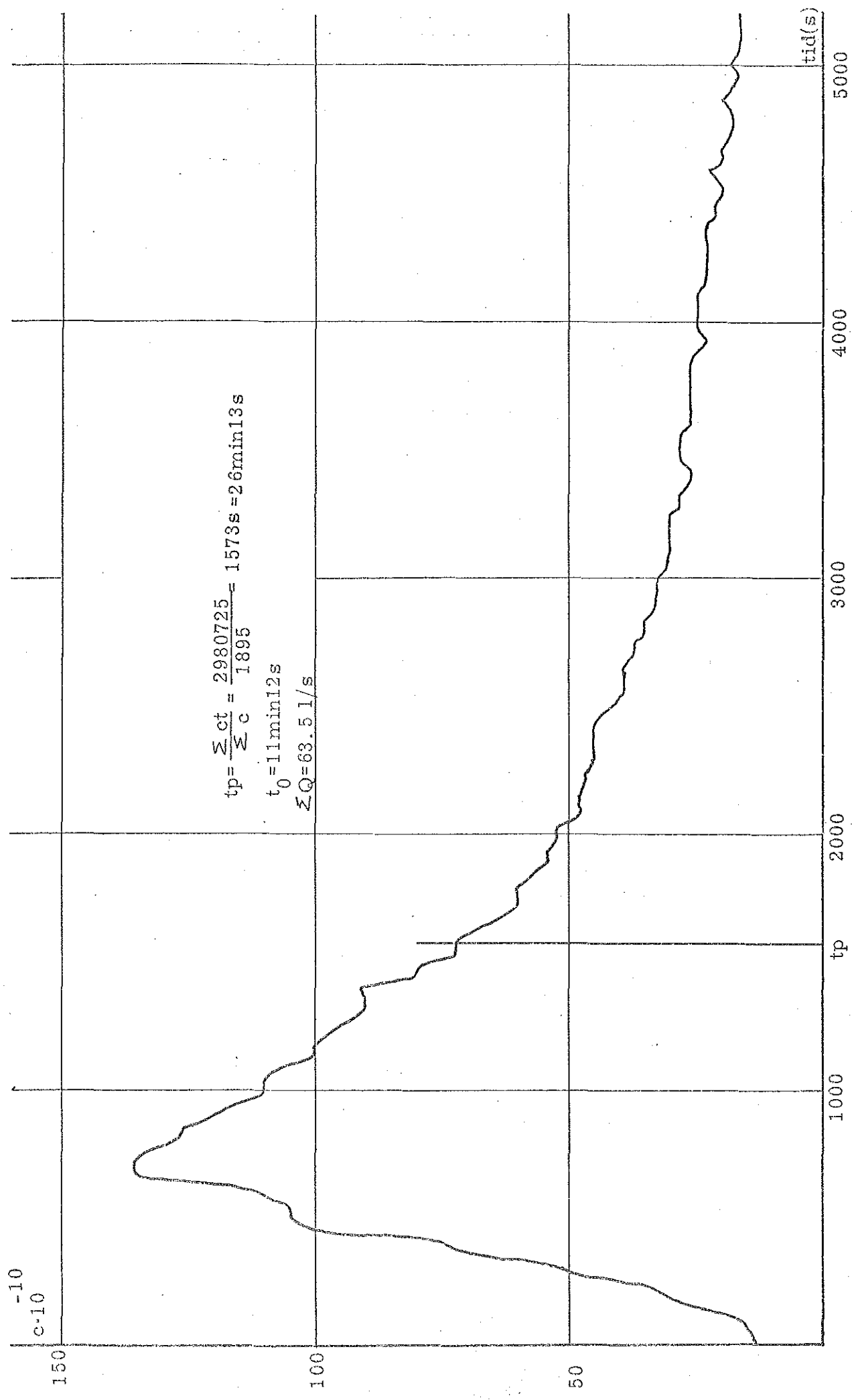


Diagram 2:4.

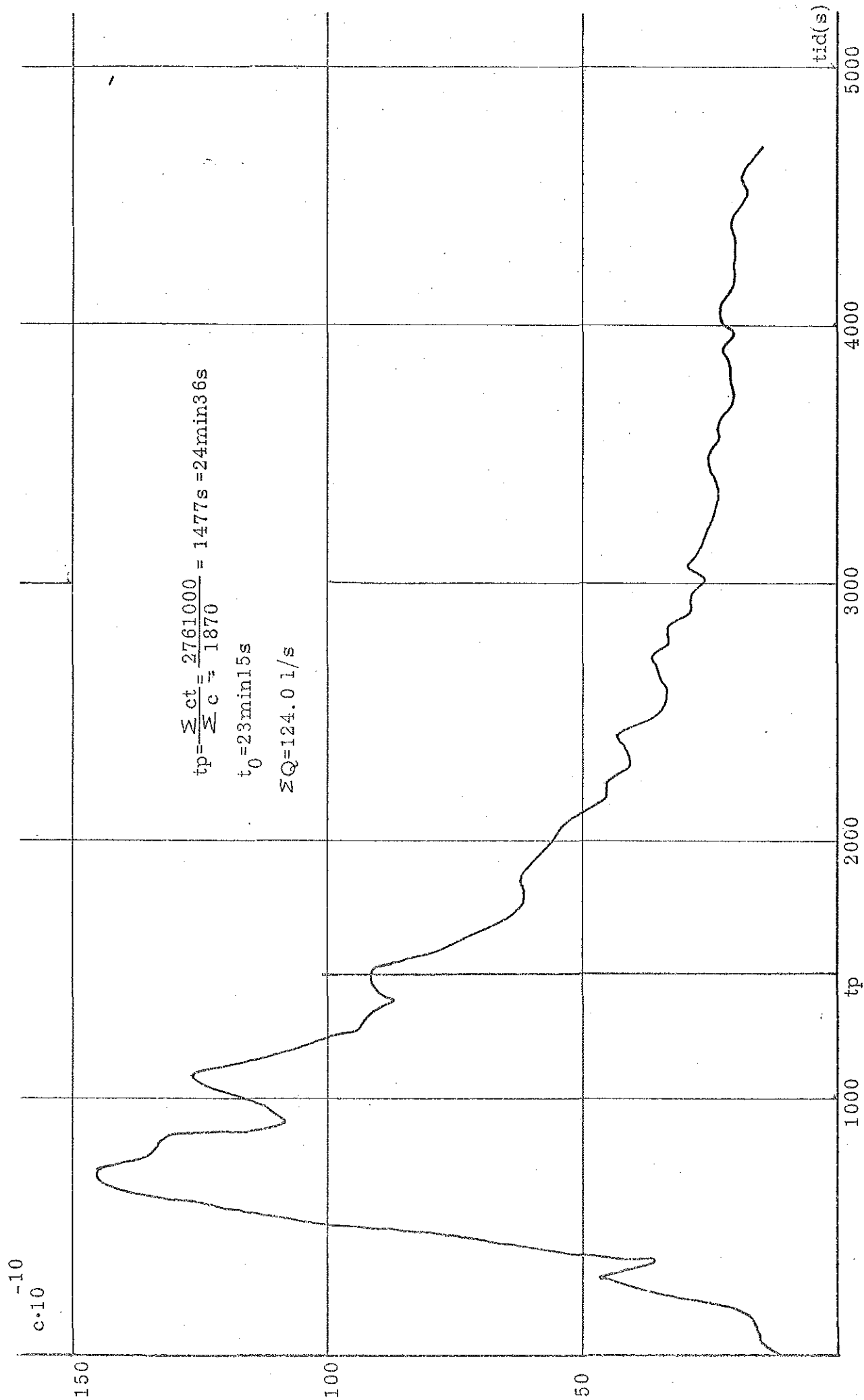


Diagram 3:1.

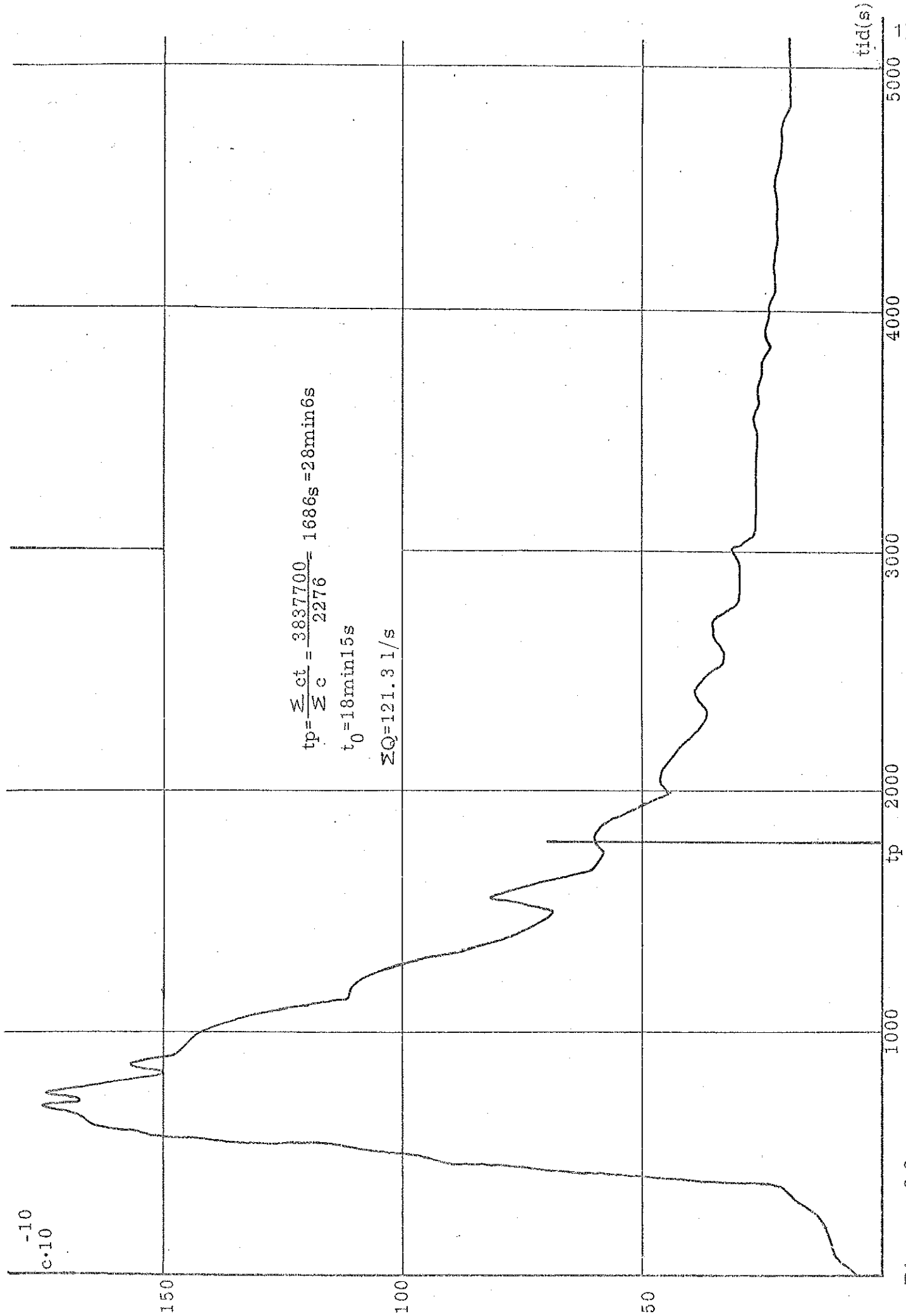


Diagram 3:2.

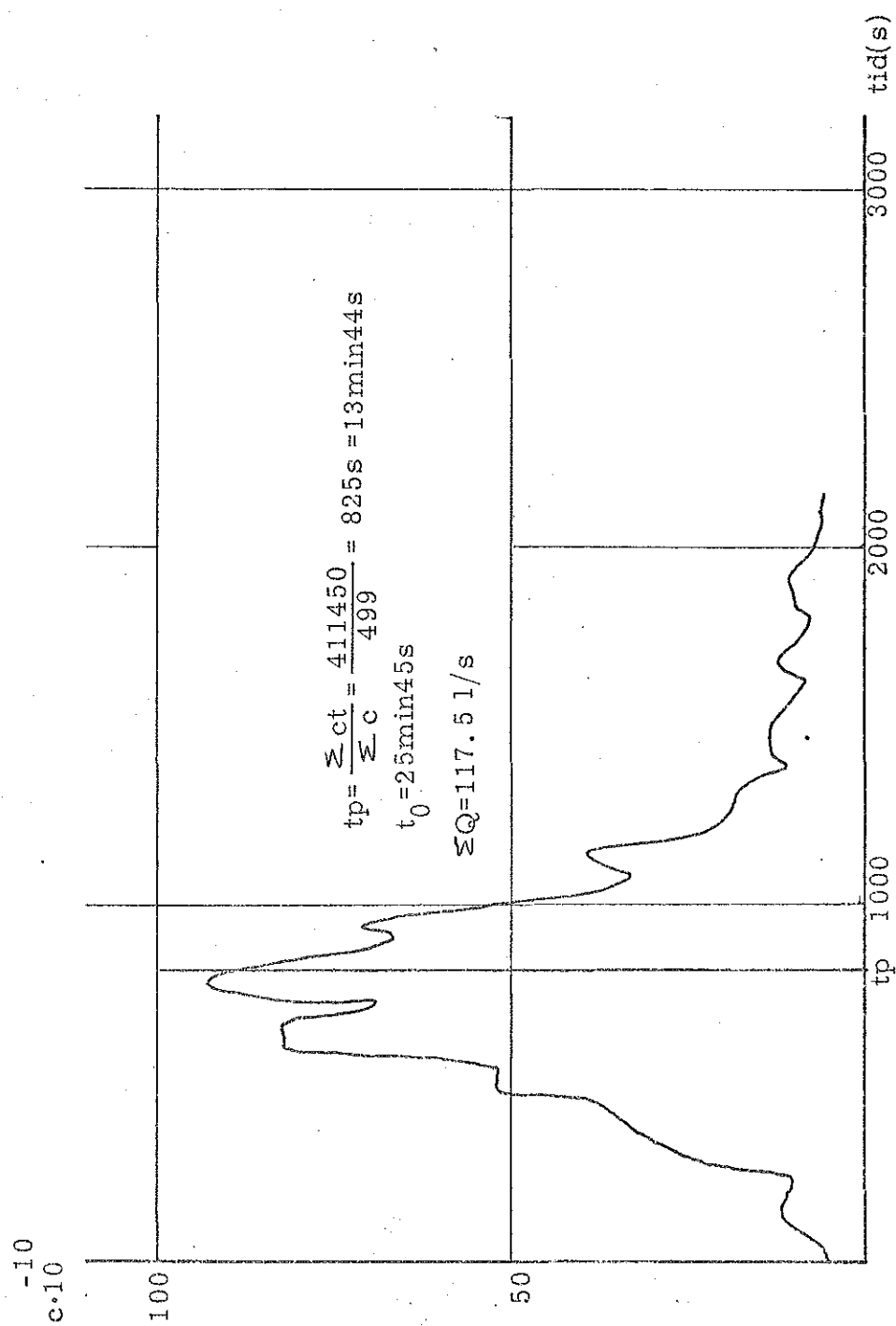


Diagram 3:3.

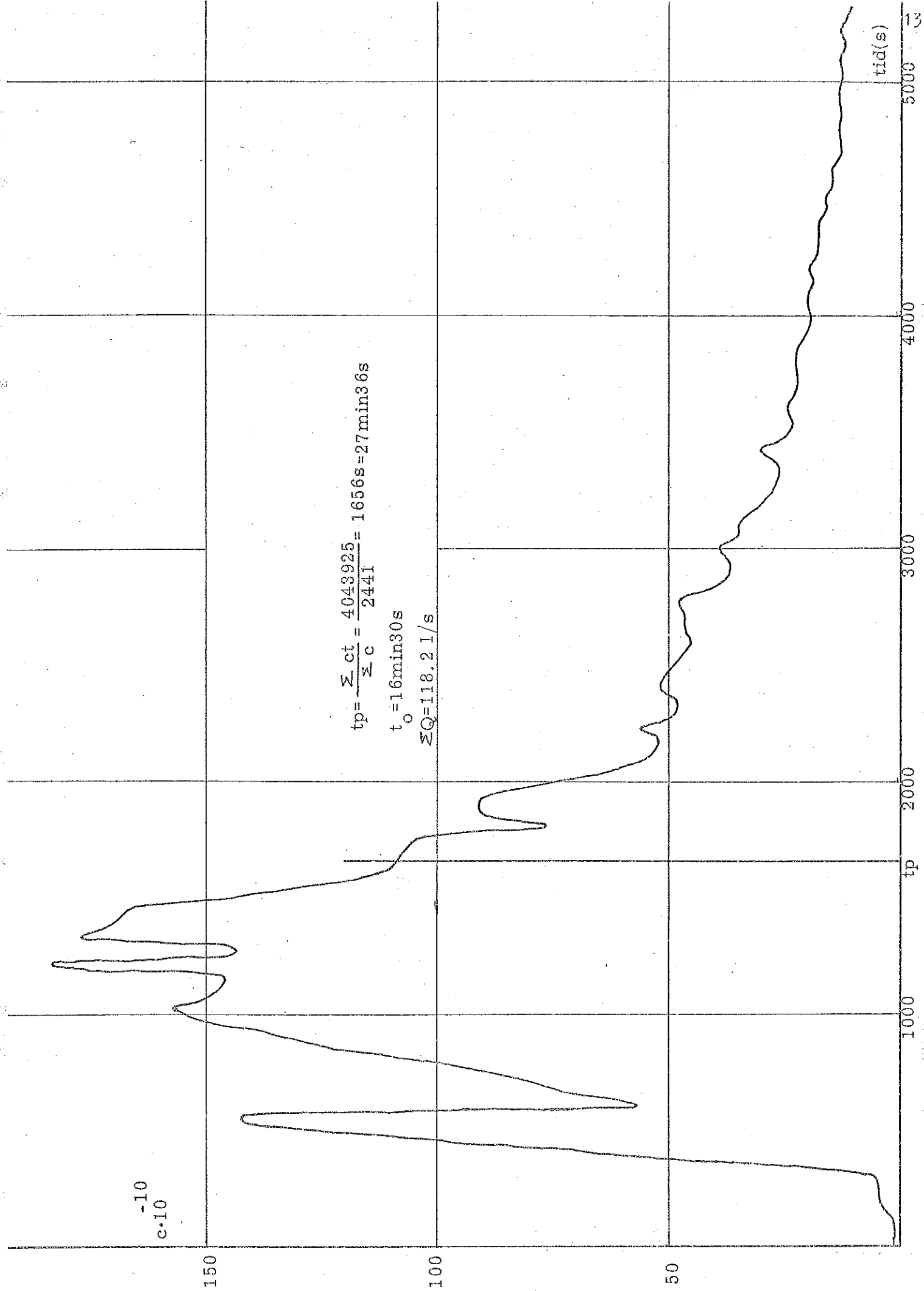


Diagram 3:4.

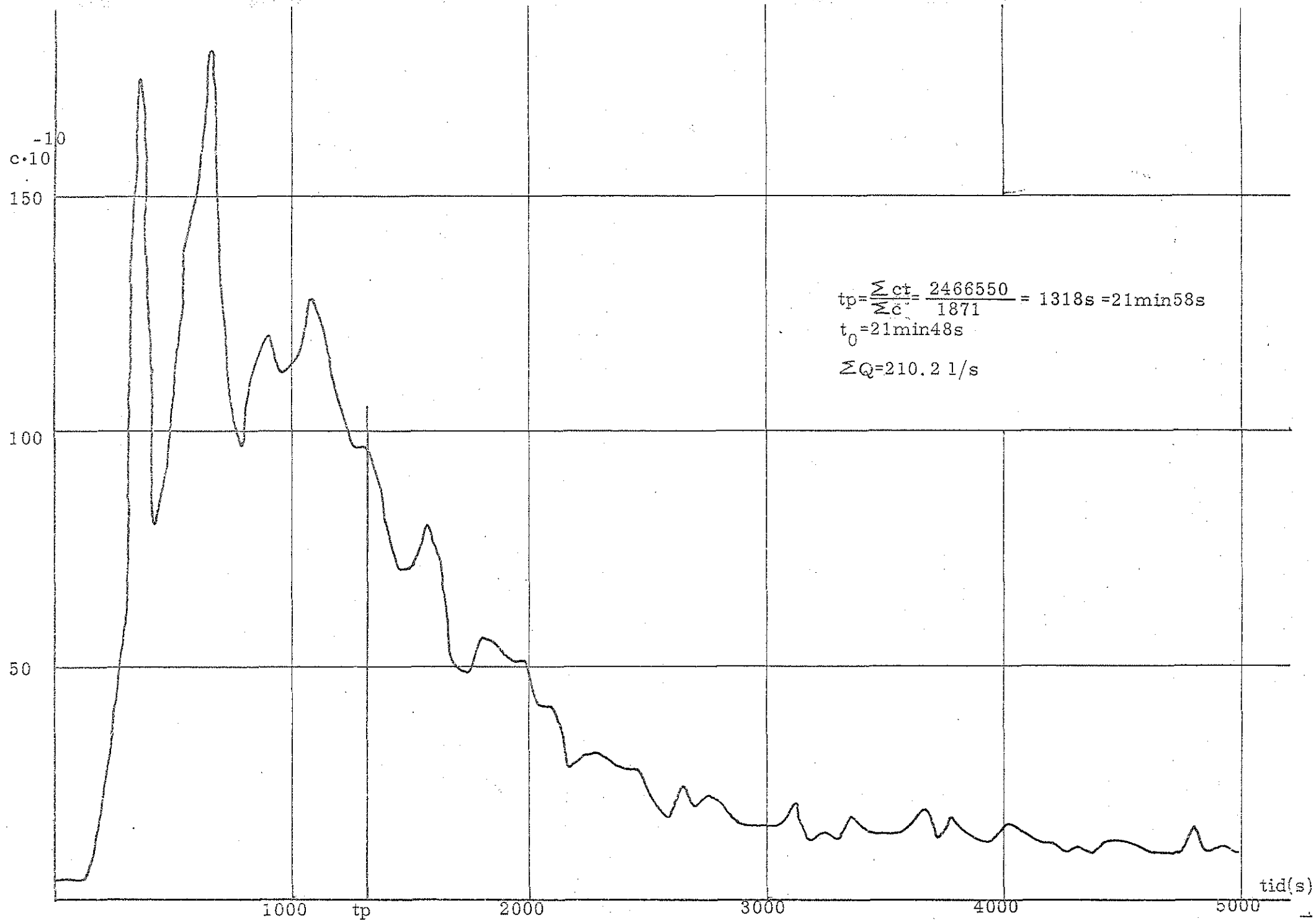


Diagram 4:1.

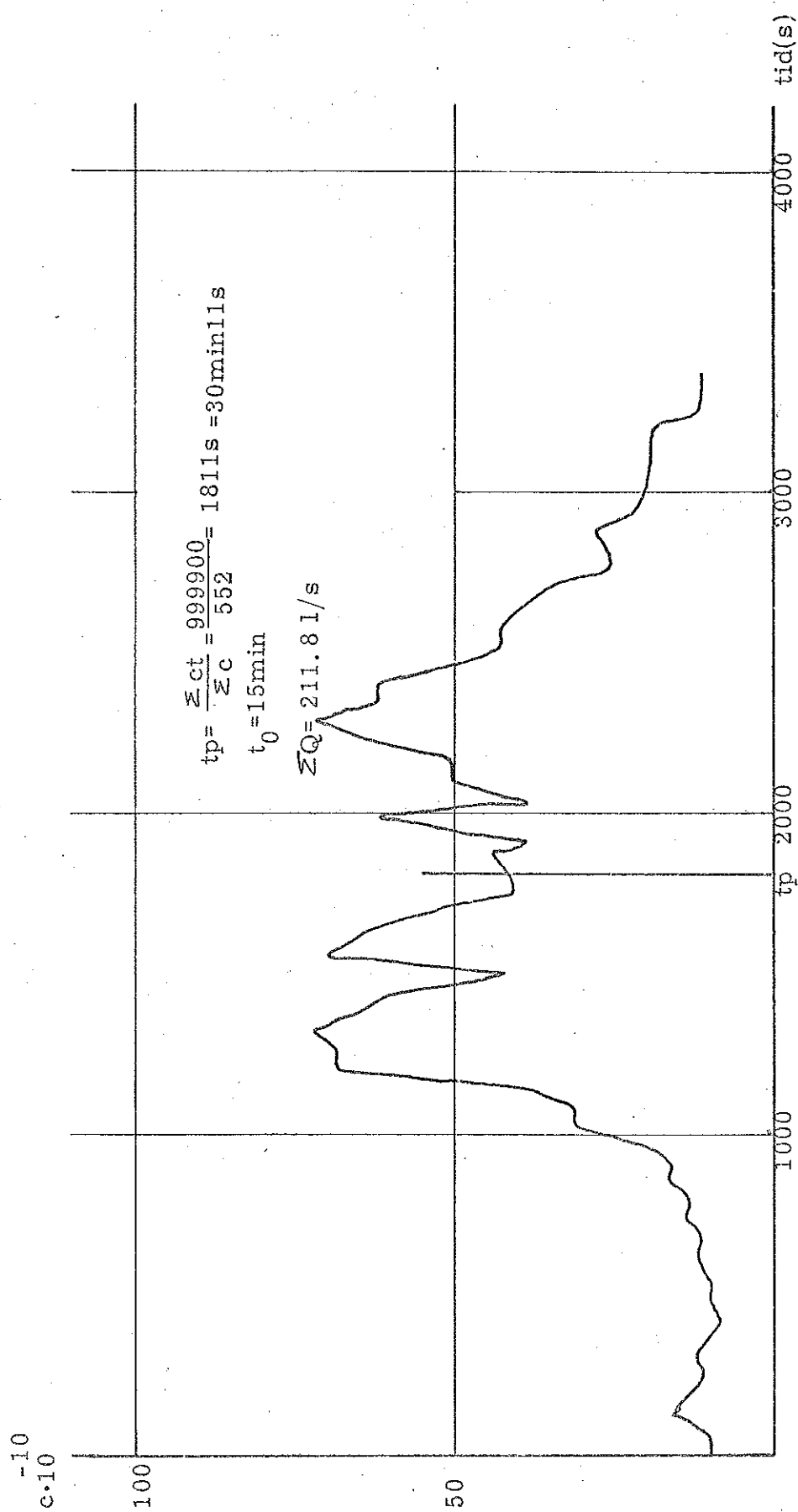


Diagram 4:2.

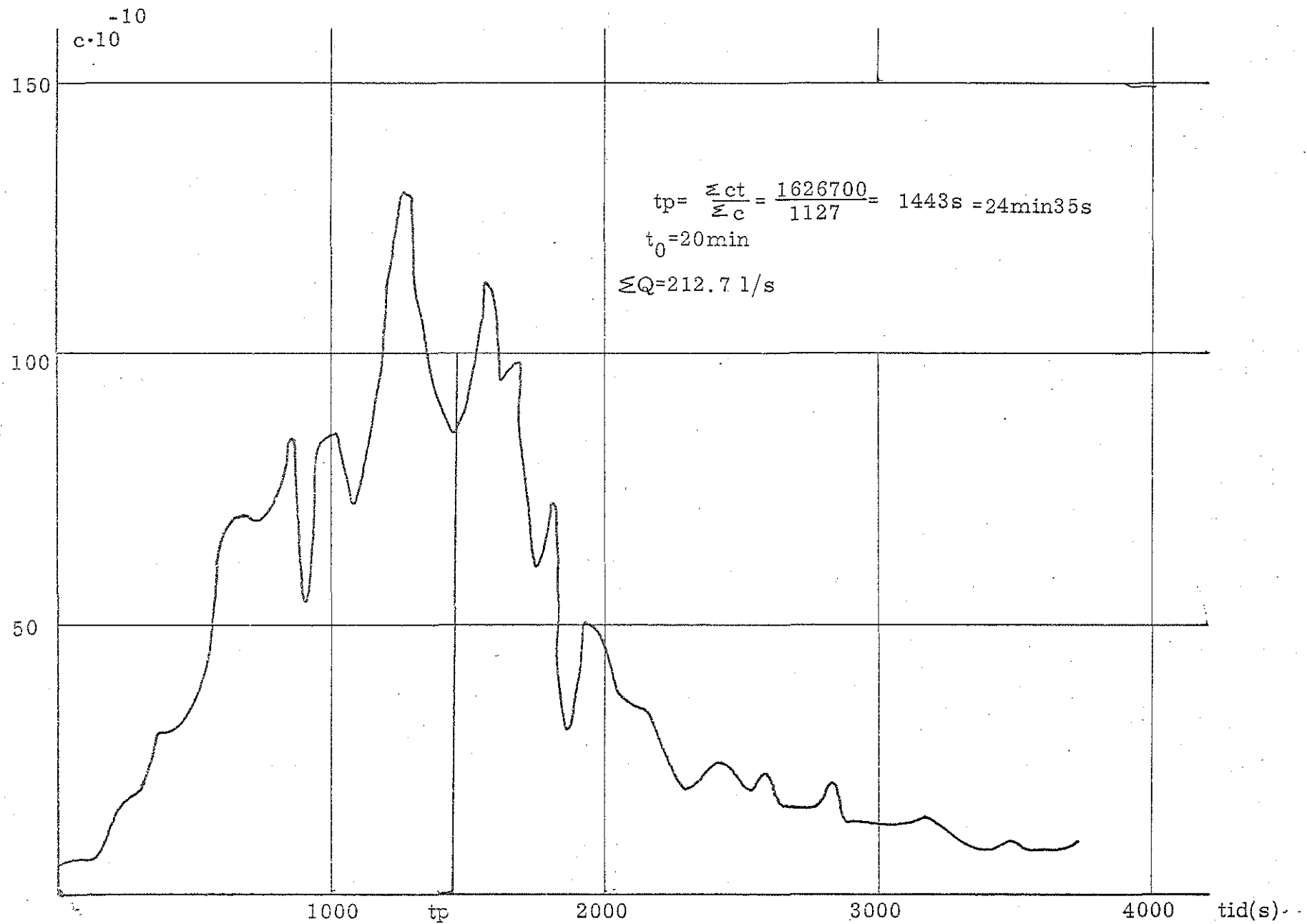


Diagram 4:3.

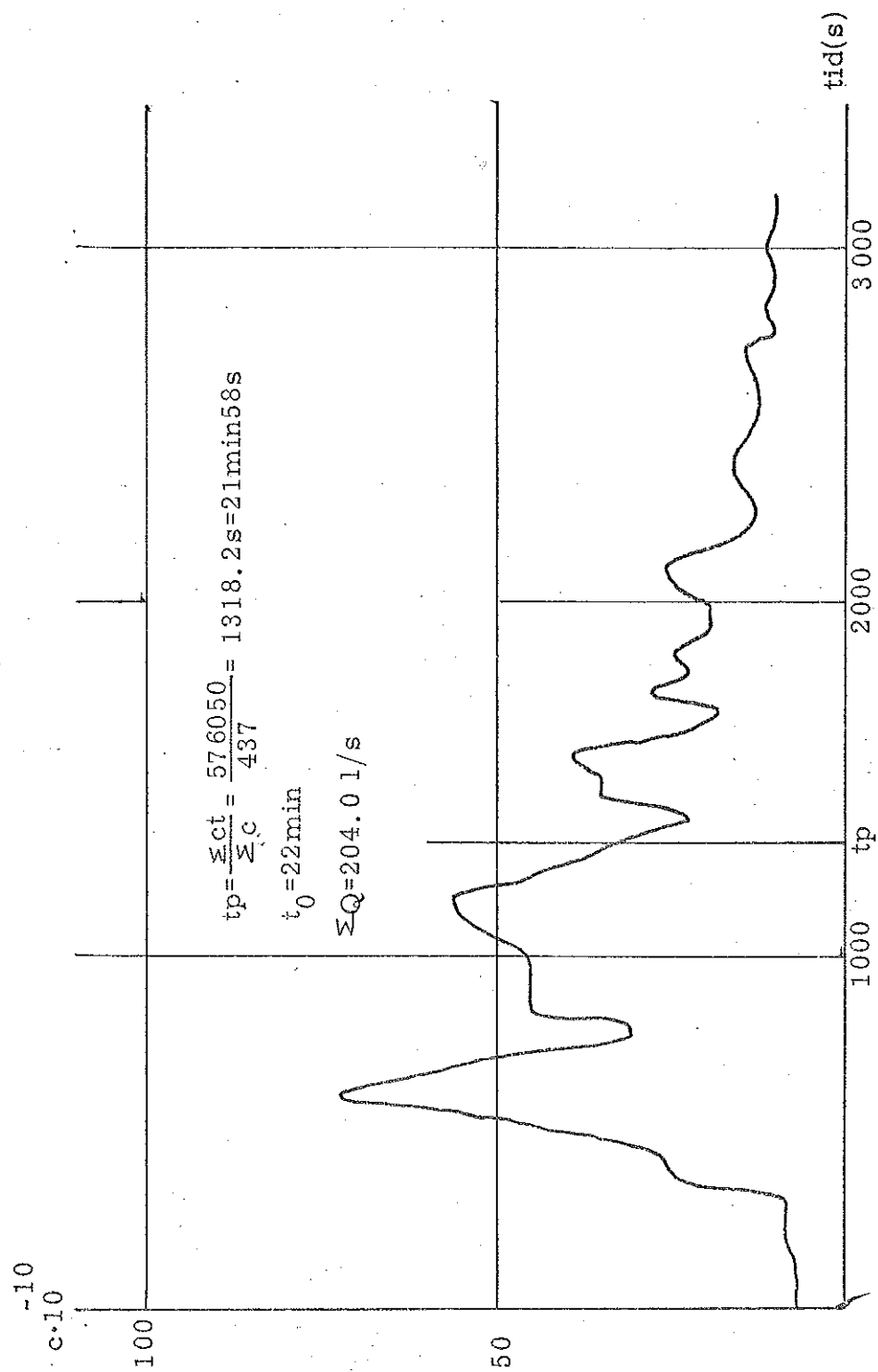


Diagram 4:4.

Förhållandet mellan $T^{\text{verkl.}}/T_1^{\text{teor.}}$ och flödet (inkl. returslam) vid konstant skraphastighet.

Skraphastigheter.

• 0.67 meter/min.

▽ 0.85 meter/min.

⊙ 1.33 meter/min.

× 0.85 meter/min. utan inloppsluftning.

$T^{\text{verkl.}}/T_1^{\text{teor.}}$

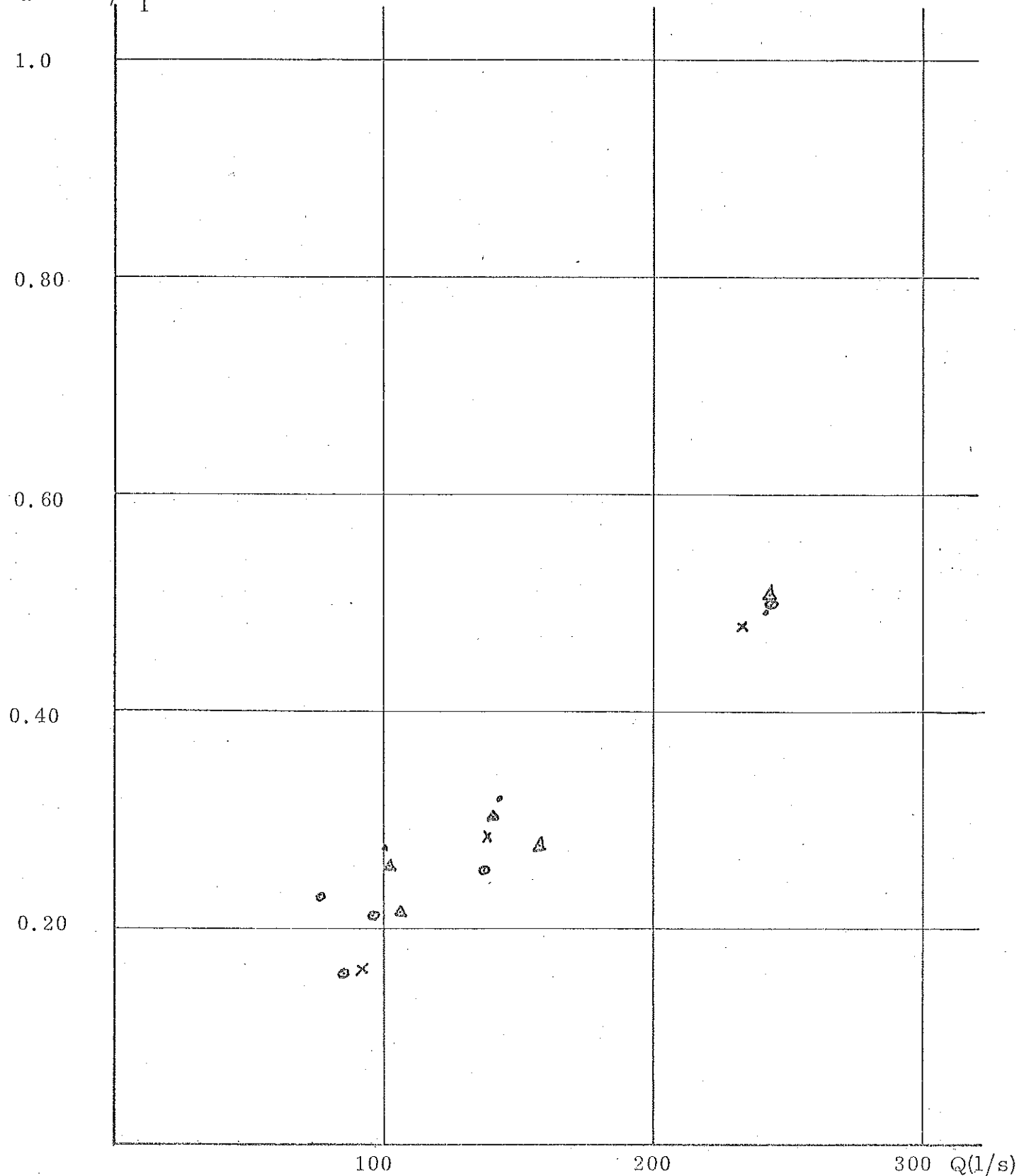


Diagram. 1

Förhållandet mellan $T_{\text{verkl.}}/T_2^{\text{teor.}}$ och flödet (inkl. returslam)
vid konstant skraphastighet.

Skraphastigheter:

• 0.67 meter/min

▽ 0.85 meter/min

⊙ 1.33 meter/min

× 0.85 meter/min utan inloppsluftning.

$T_{\text{verkl.}}/T_2^{\text{teor.}}$

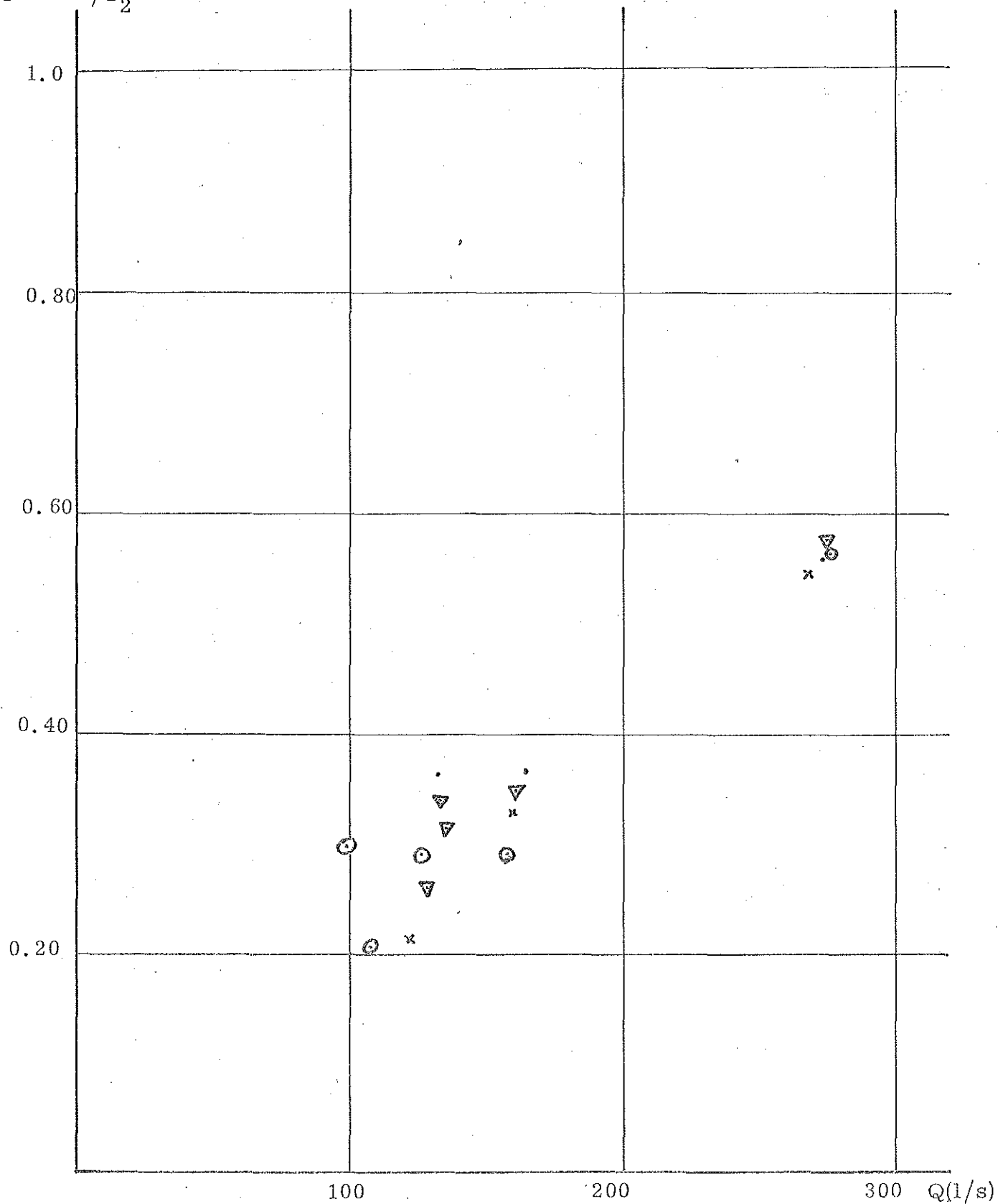


Diagram. 2

Förhållandet mellan flödet (inkl. returslam) och uppehållstiden
vid konstant skraphastighet = 0.67 meter/min

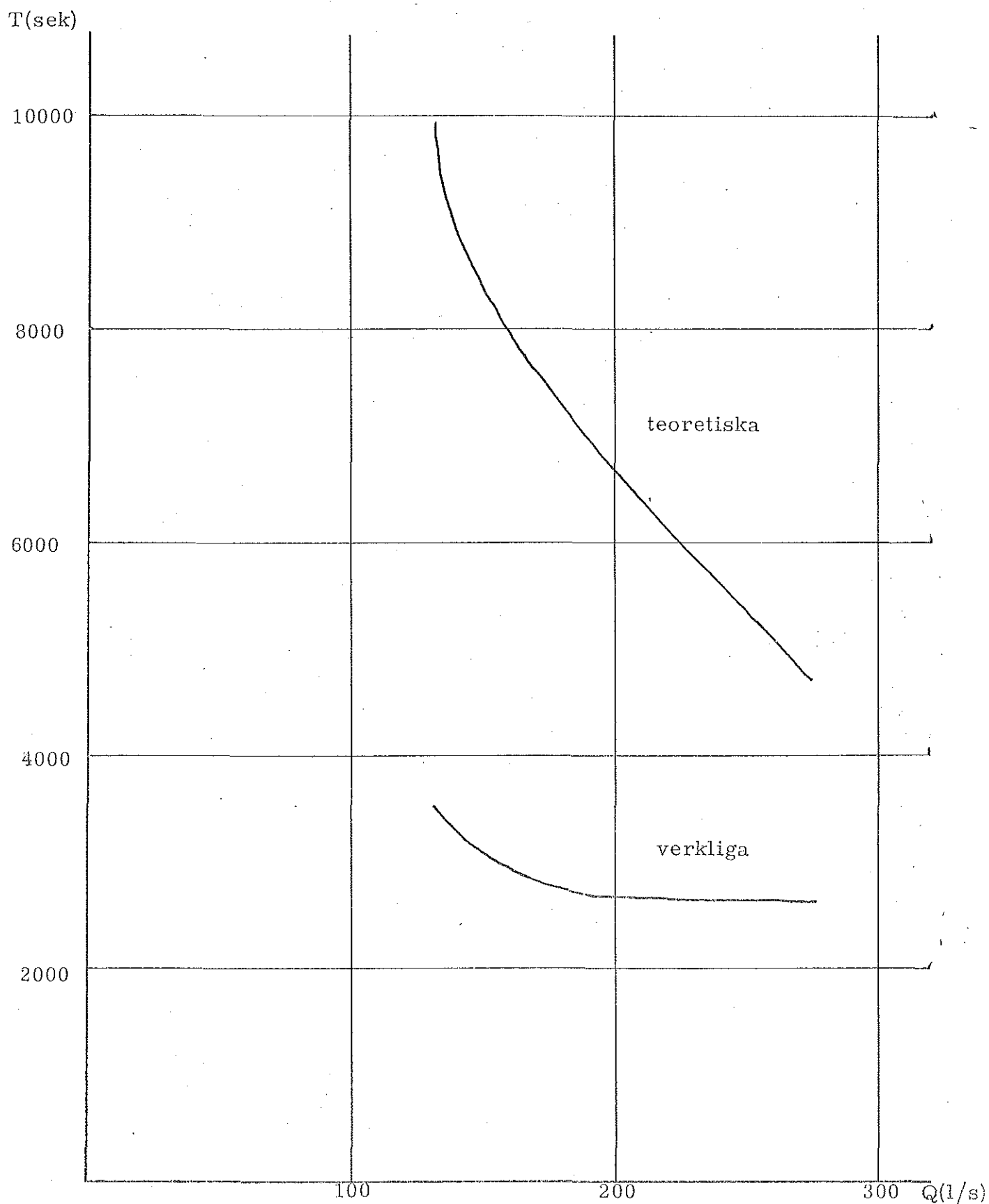


Diagram. 3

Förhållandet mellan flödet(inkl. returslam) och uppehållstiden
vid konstant skraphastighet =0.85 meter/min.

x med inloppsluftning.

• utan inloppsluftning.

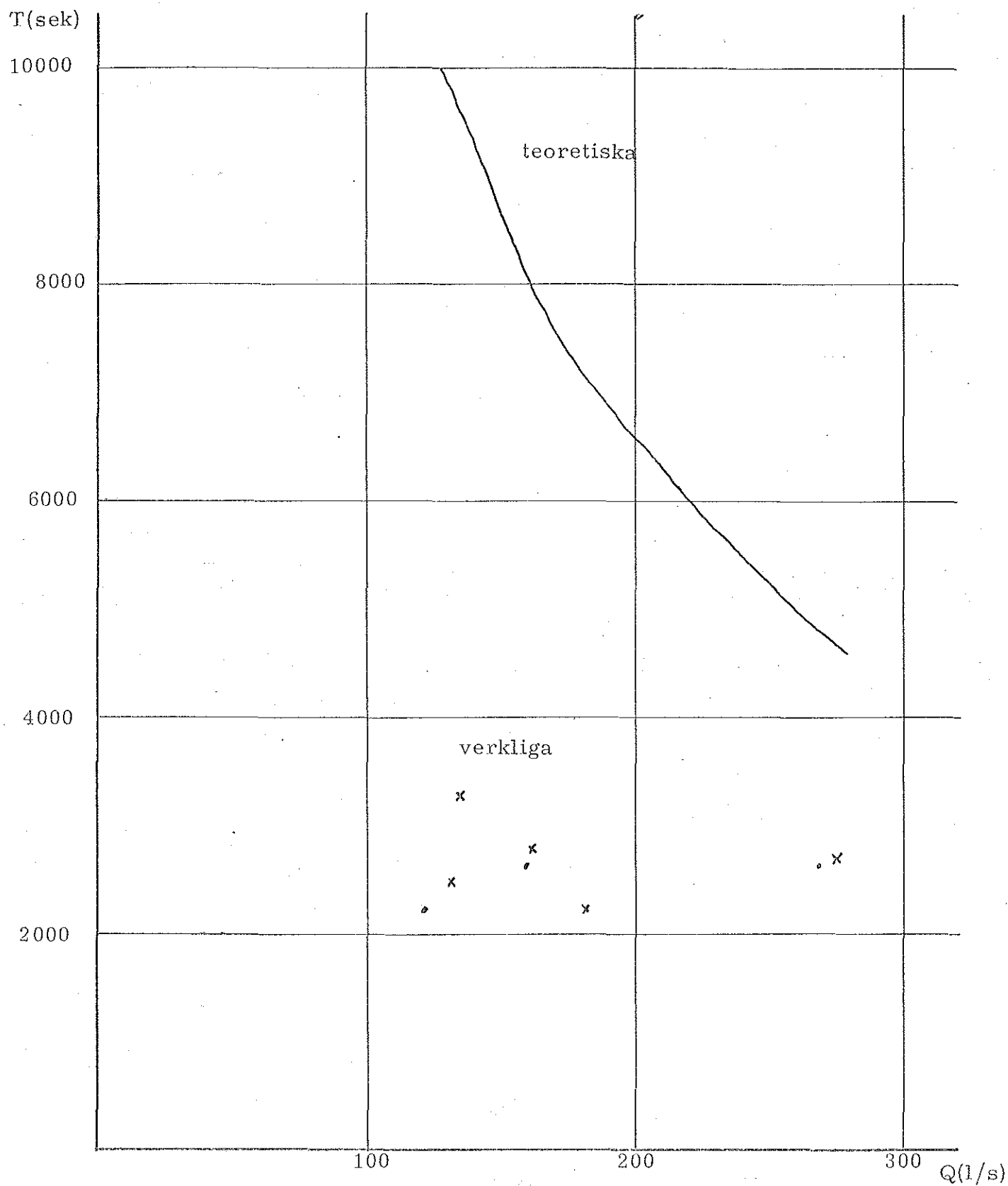


Diagram. 4

Förhållandet mellan flödet (inkl. retursläm) och uppehållstiden
vid konstant skraphastighet = 1,33 meter/min.

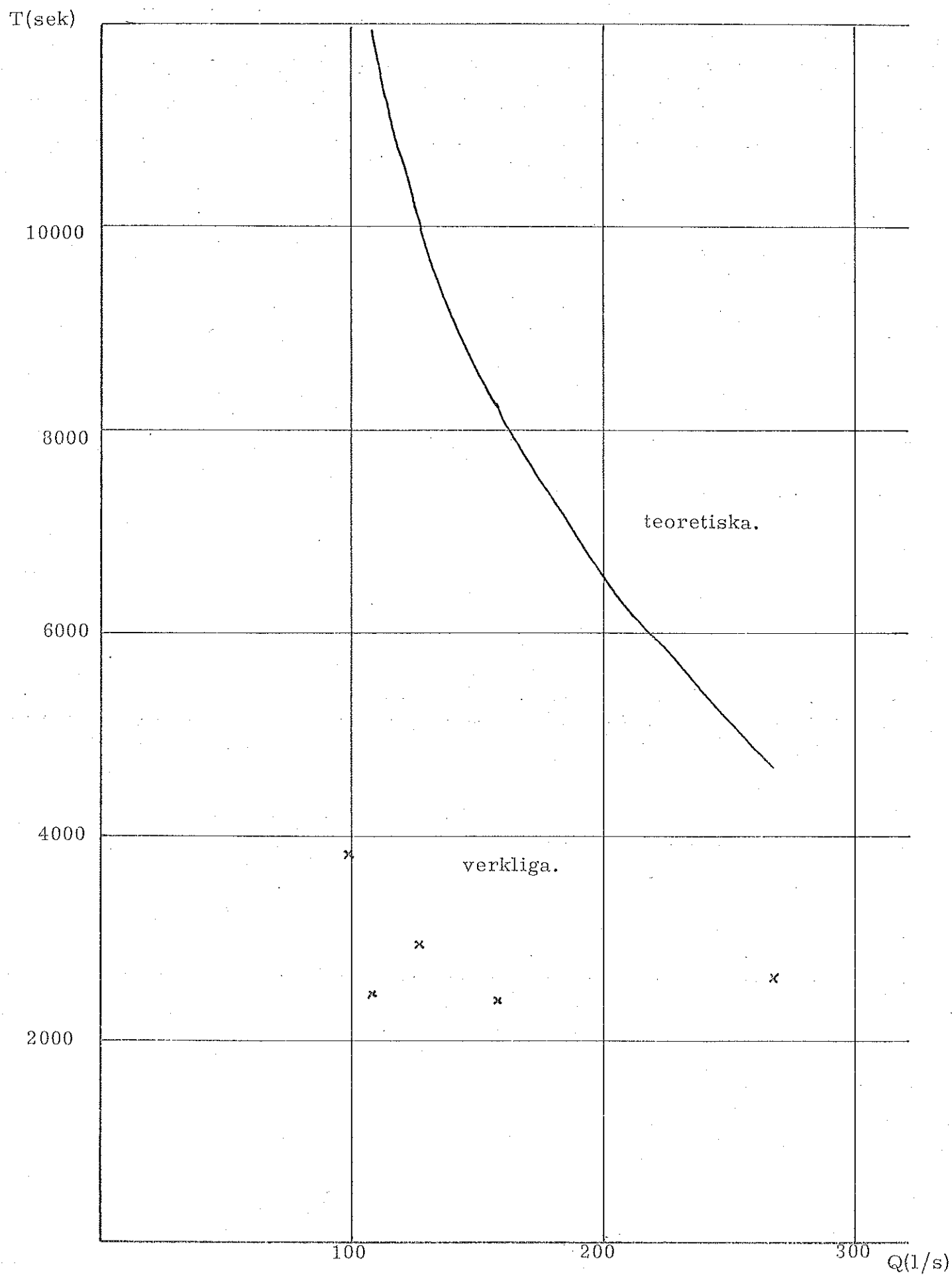


Diagram. 5

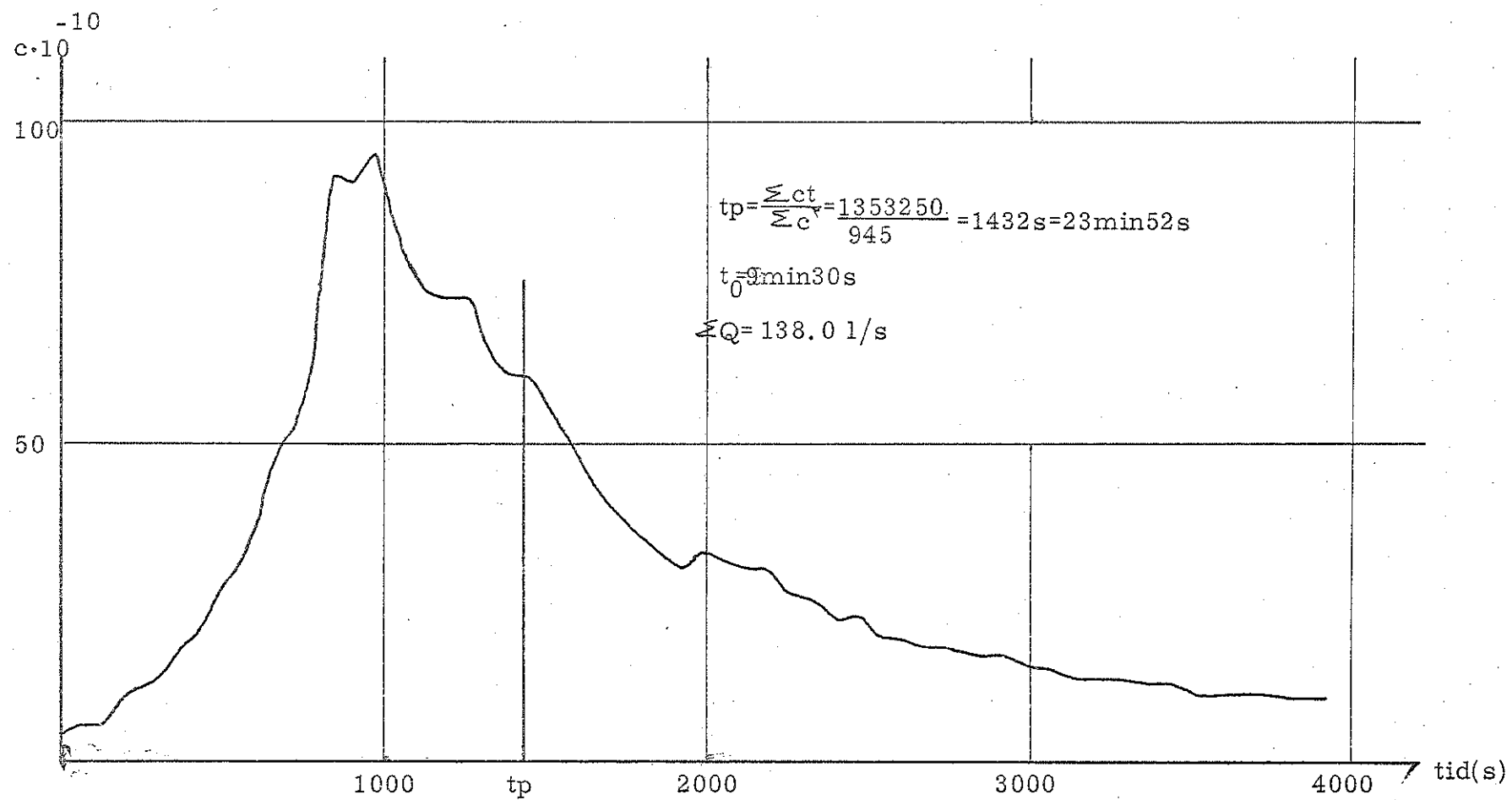


Diagram 5:1.

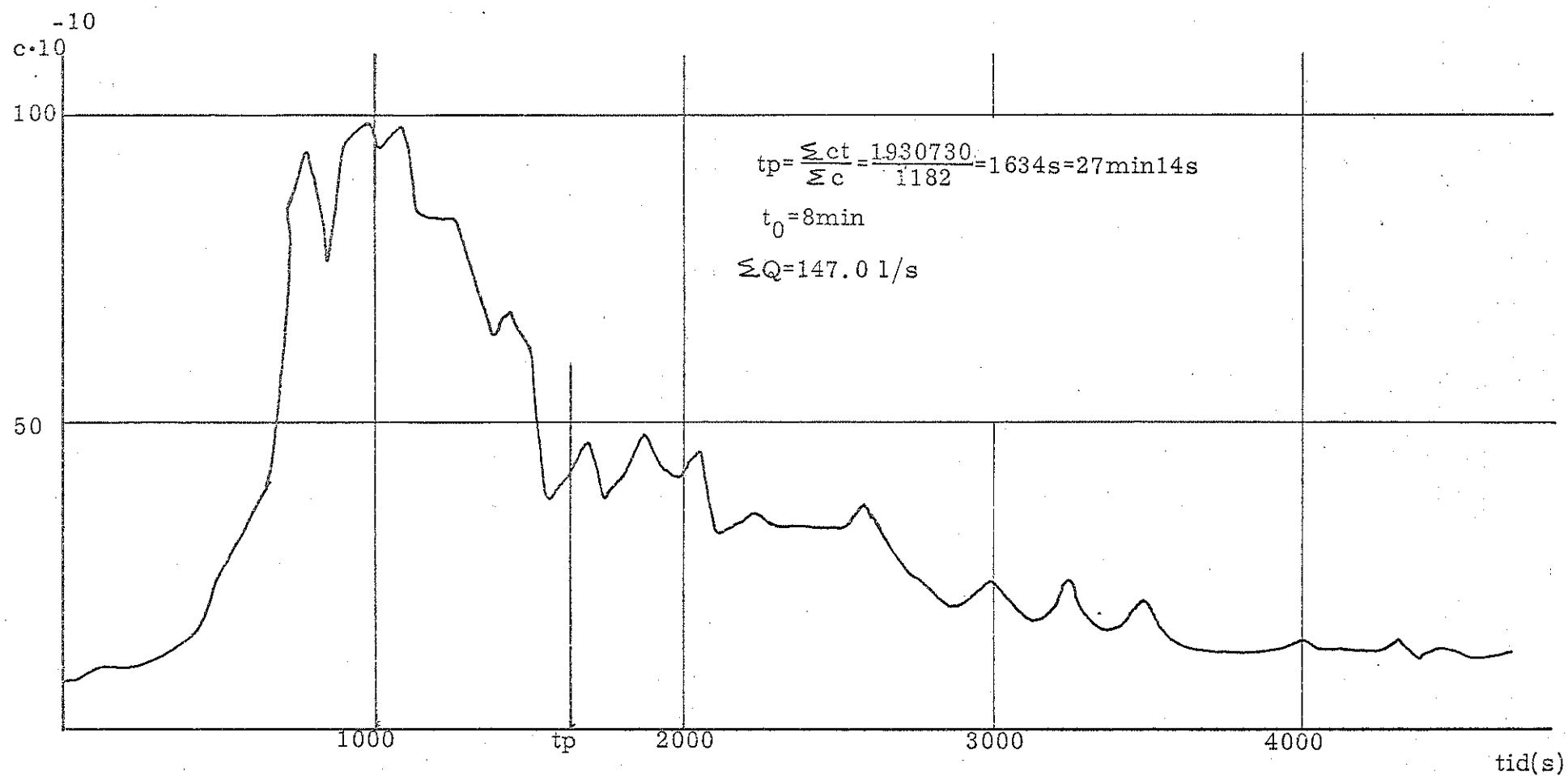


Diagram 5:2.

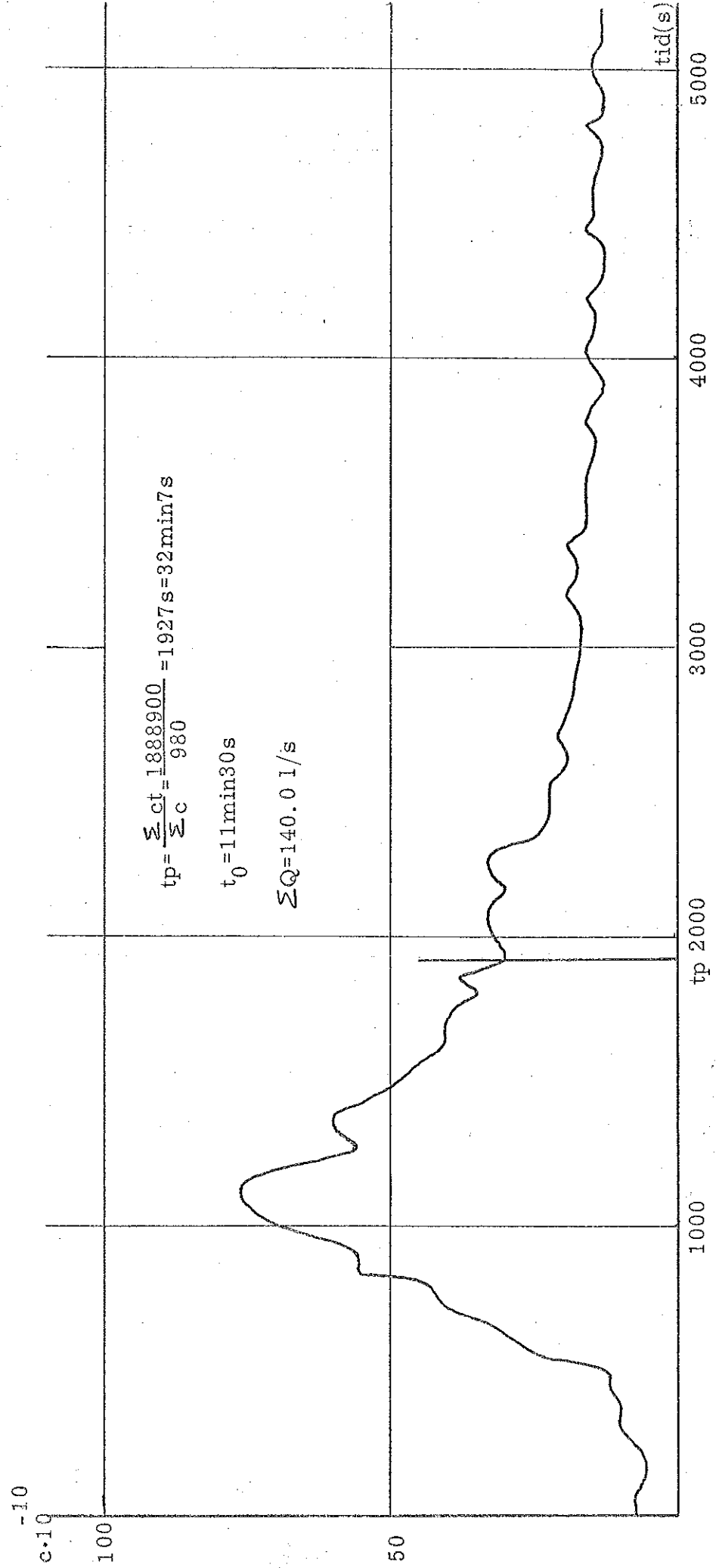


Diagram 5:3.

Hastighetsfördelningen i vertikalled i spalt nr. 1, 3, 5, 7 och 9, med inloppsluftningen påkopplad. $Q=2001/s$.

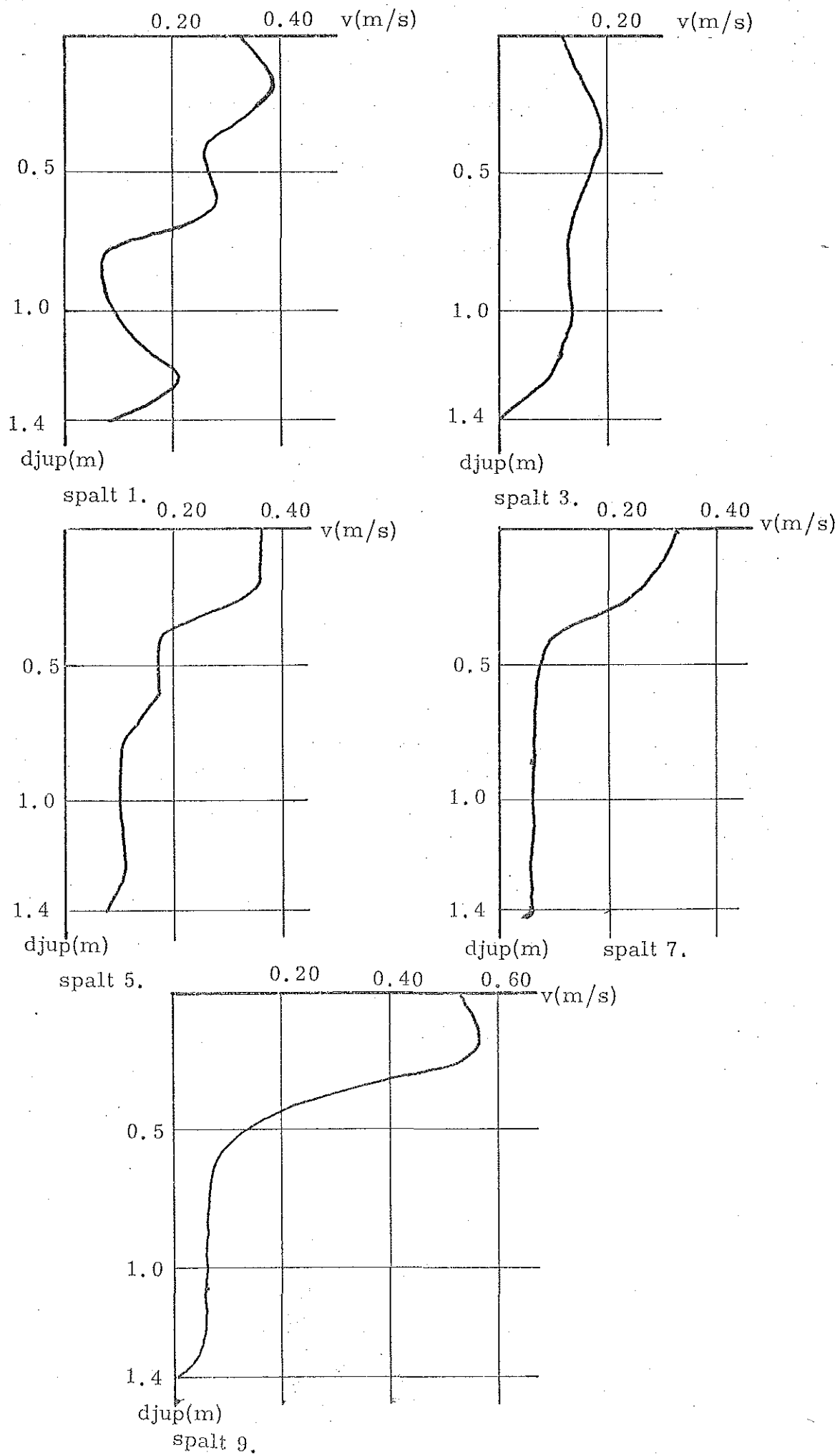


Diagram. 6

Hastighetsfördelningen horisontalld på olika djup vid spalter med inloppsluftningen påkopplad. $Q=2001/s$.

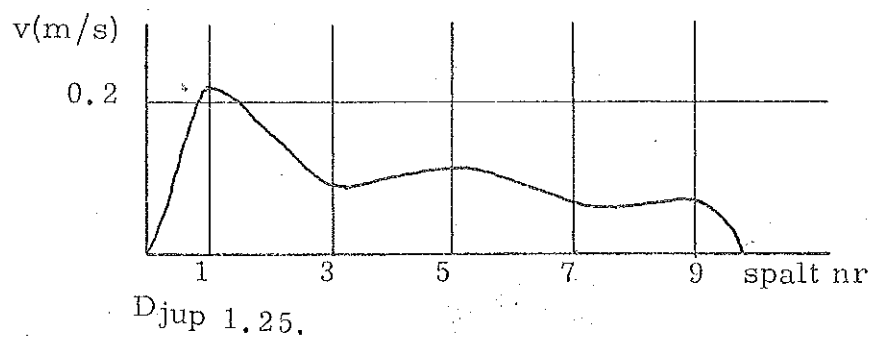
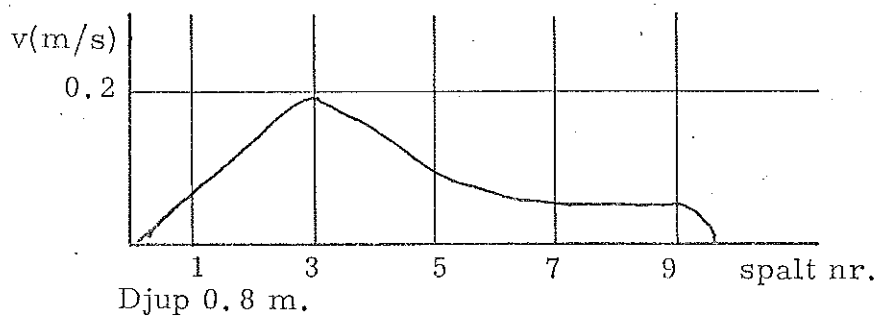
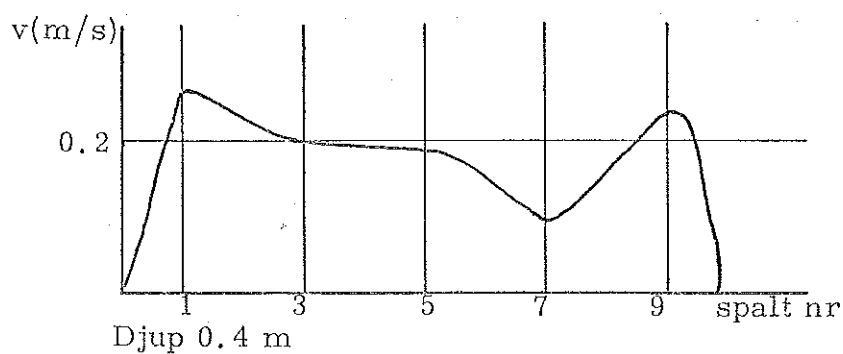
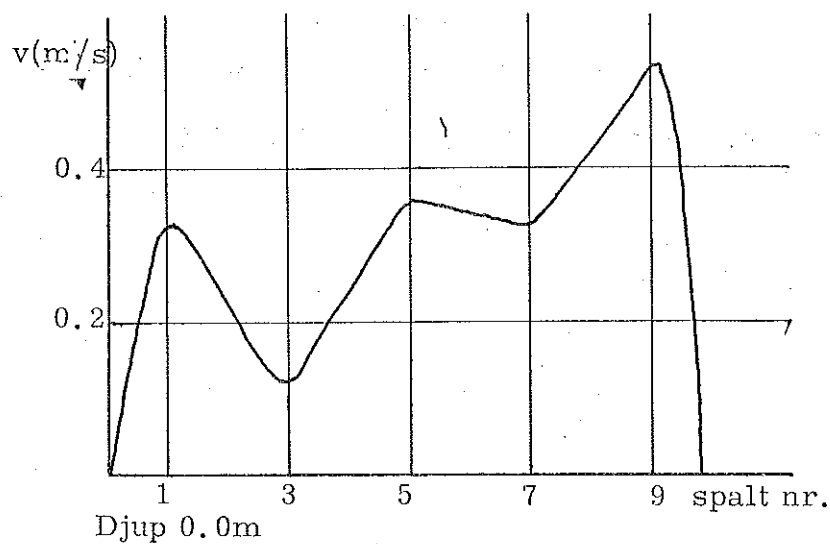


Diagram. 7

Hastighetsfördelningen i vertikalled i spalt nr 1, 3, 5, 7 och 9, med inloppsluftningen avstängd, $Q=200 \text{ l/s}$.

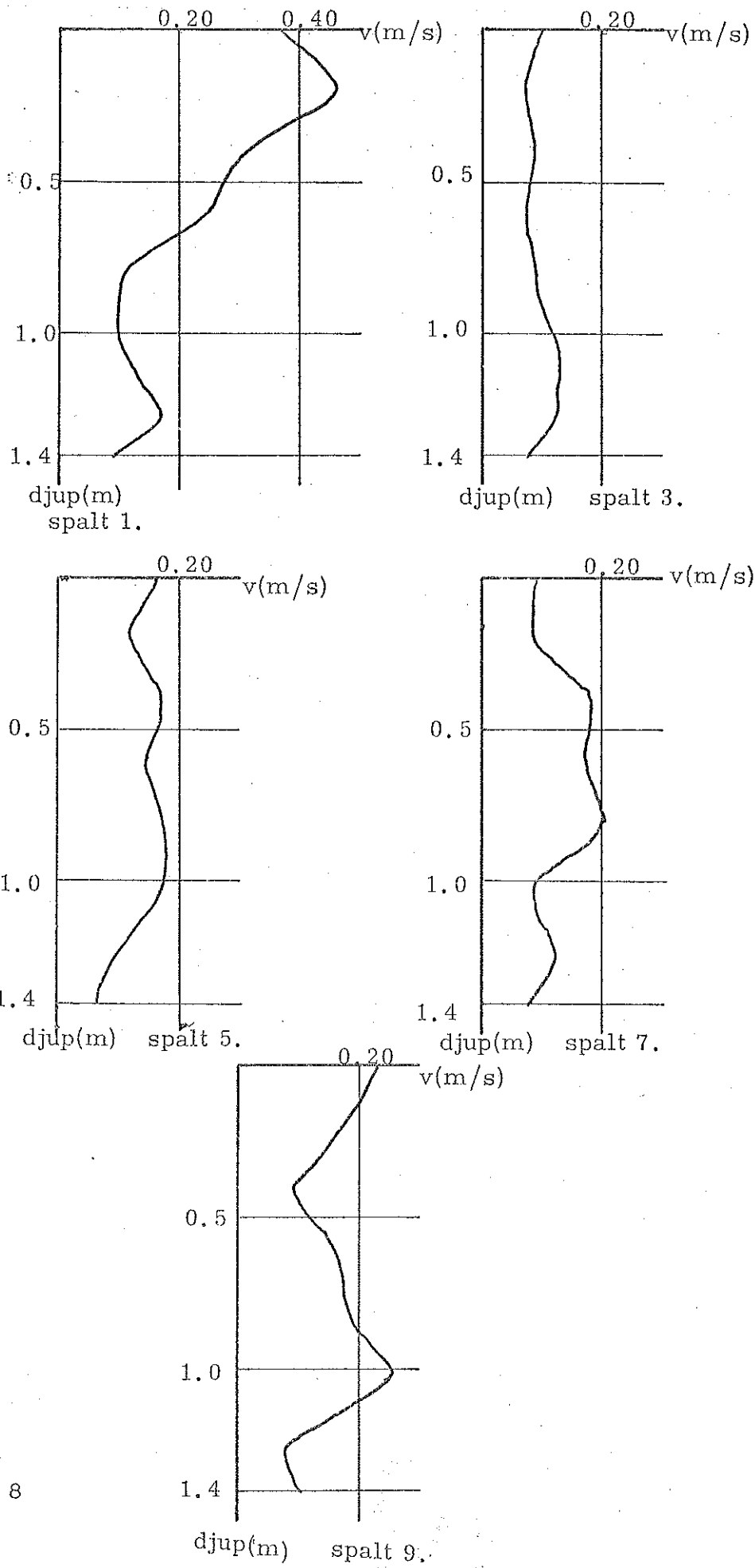


Diagram. 8

Hastighetsfördelningen i horisontalled på olika djup vid spalter utan inloppsluftning. $Q=2001/s$.

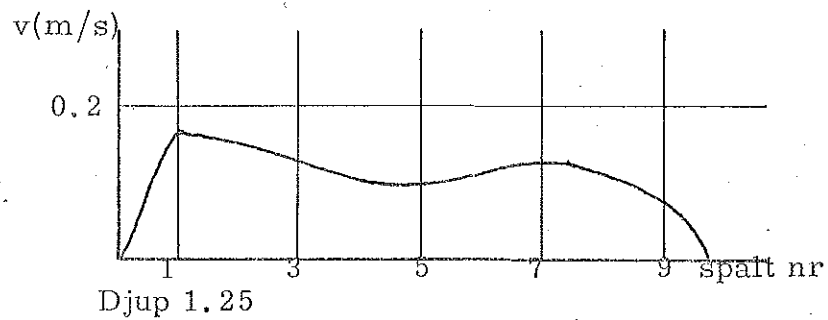
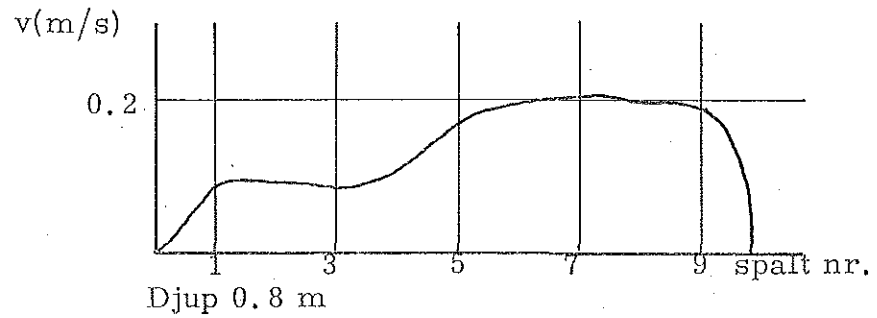
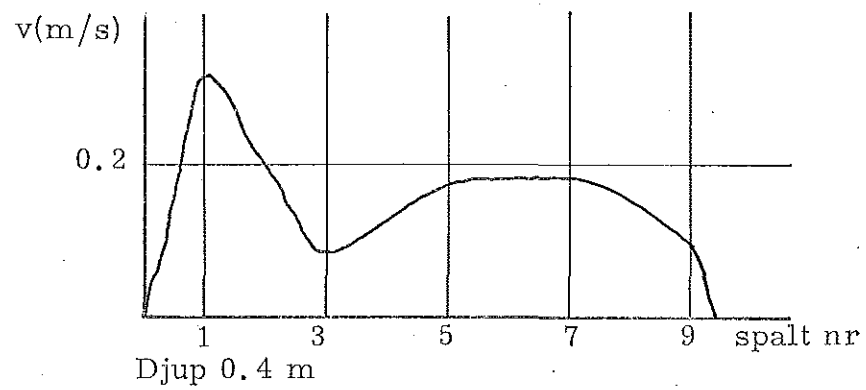
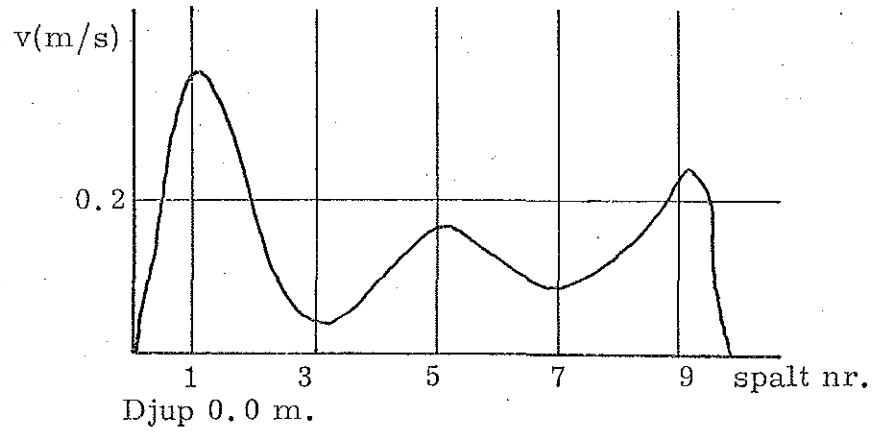


Diagram. 9

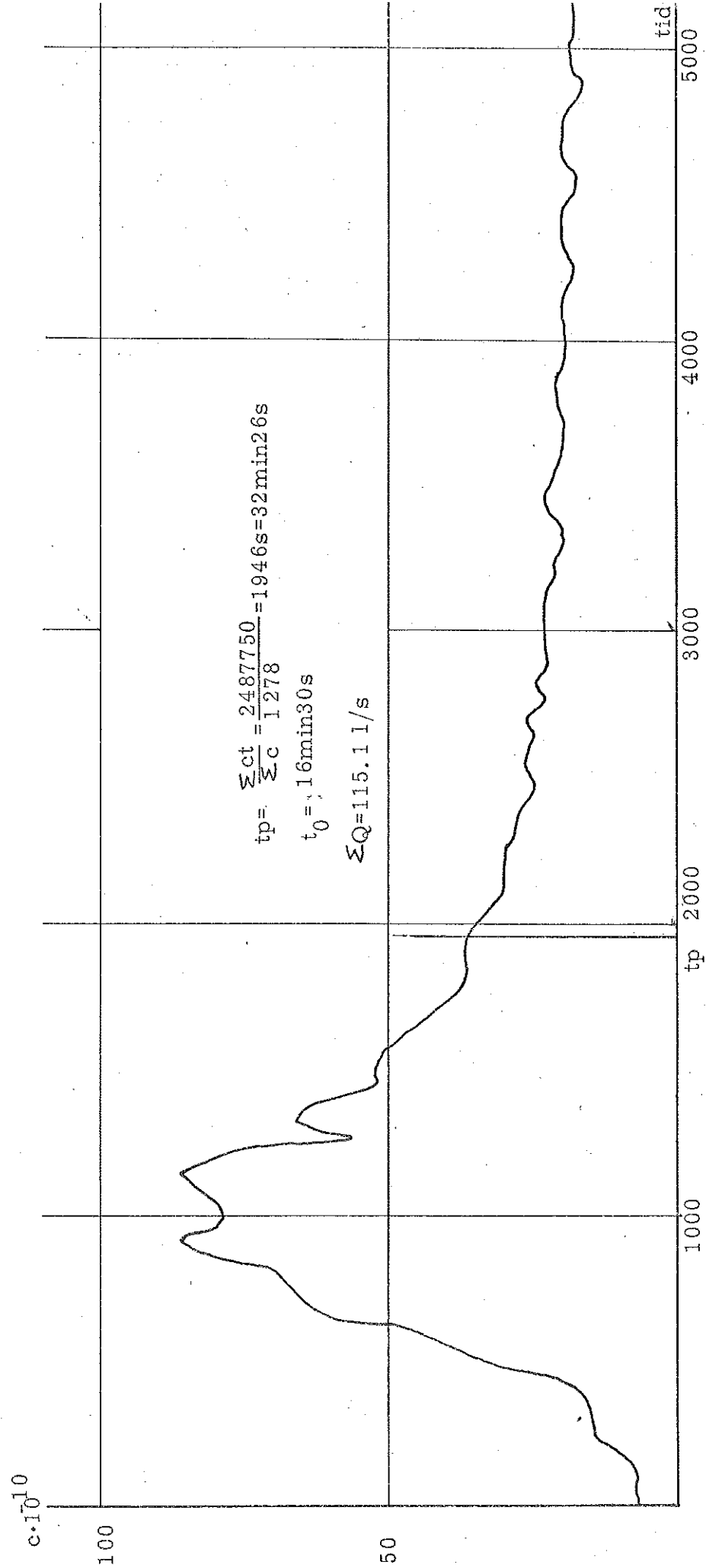


Diagram 10.

$c \cdot 10^{-10}$

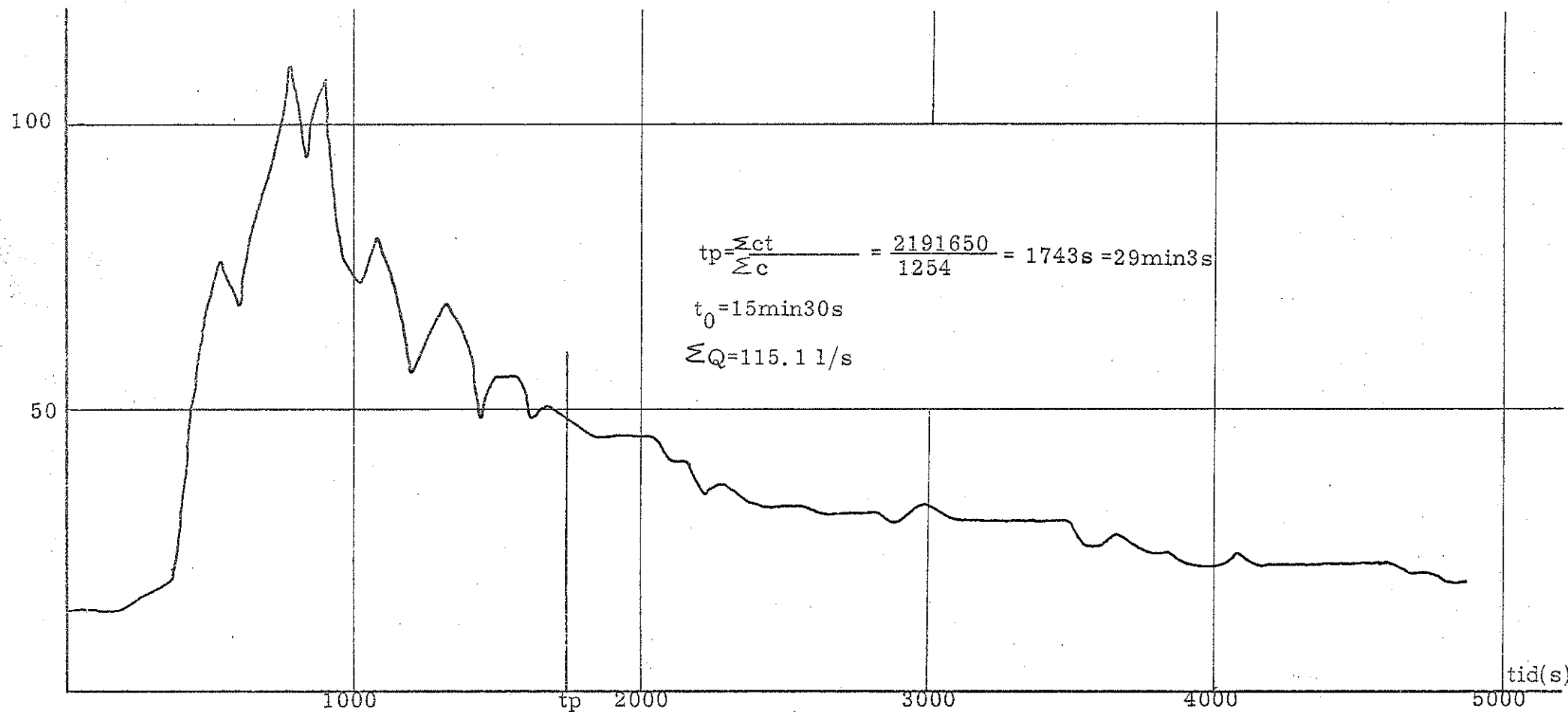


Diagram 11.

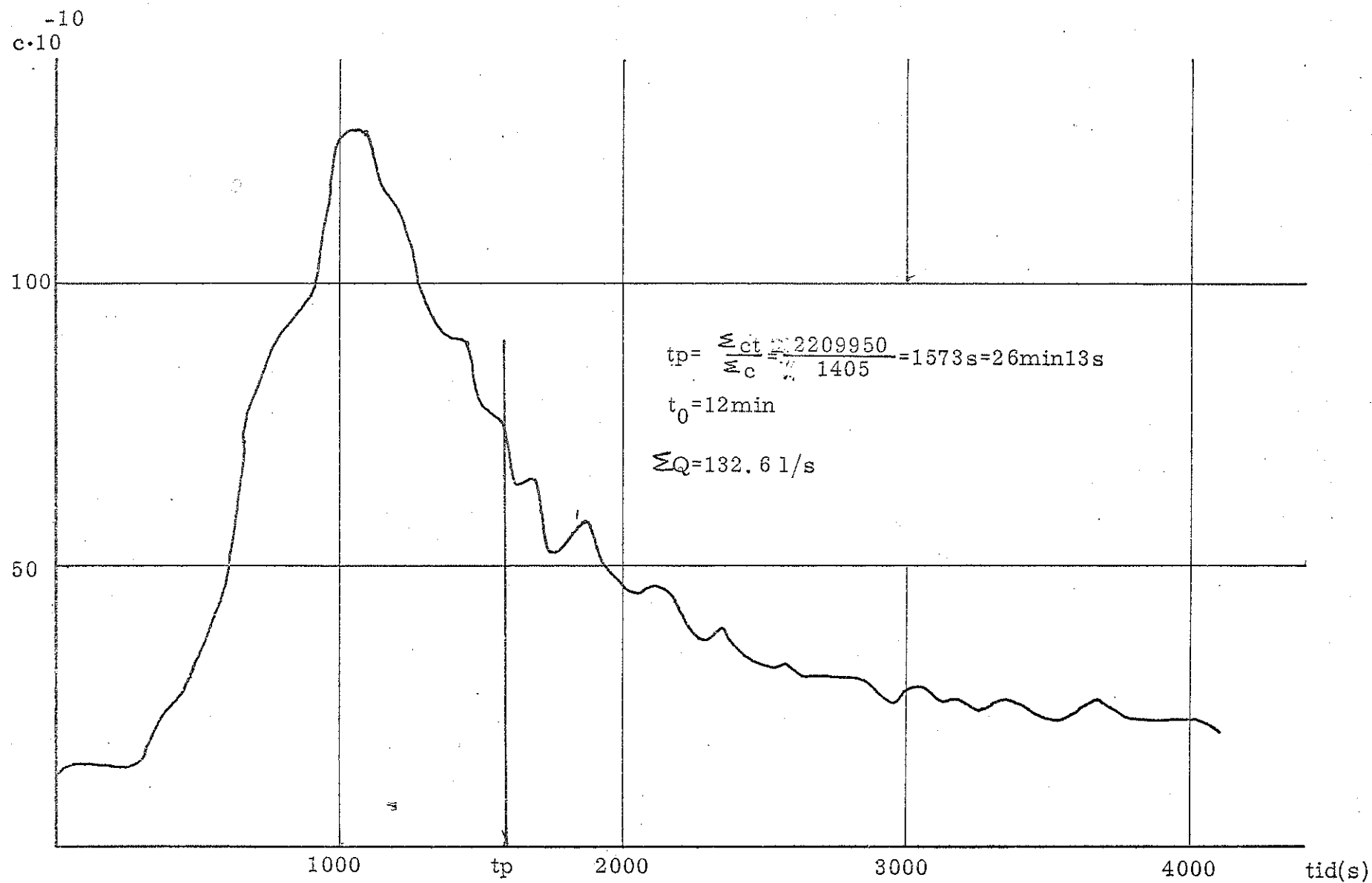


Diagram f2.

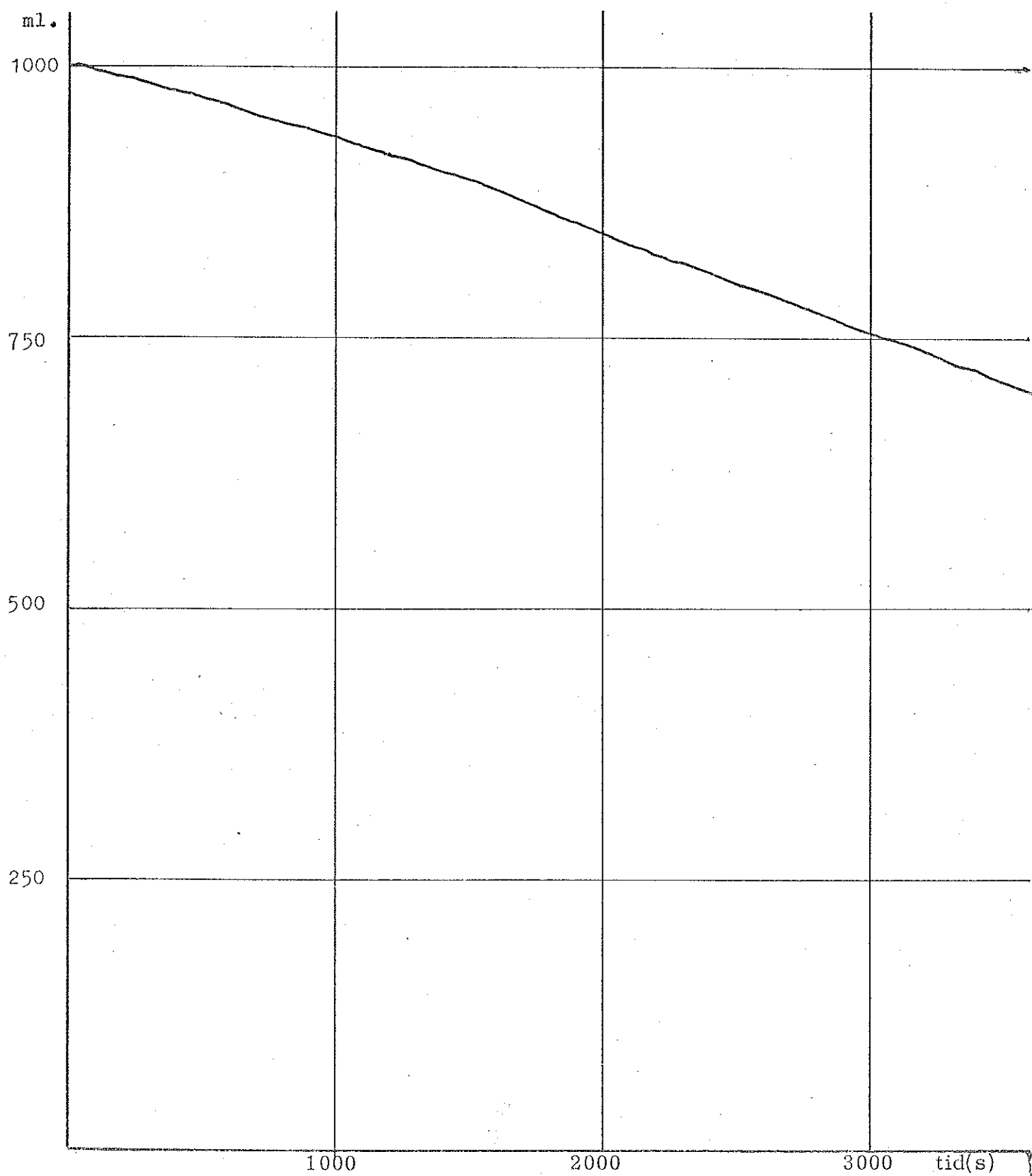


Diagram. 13 :Tillhörande försök 1:1

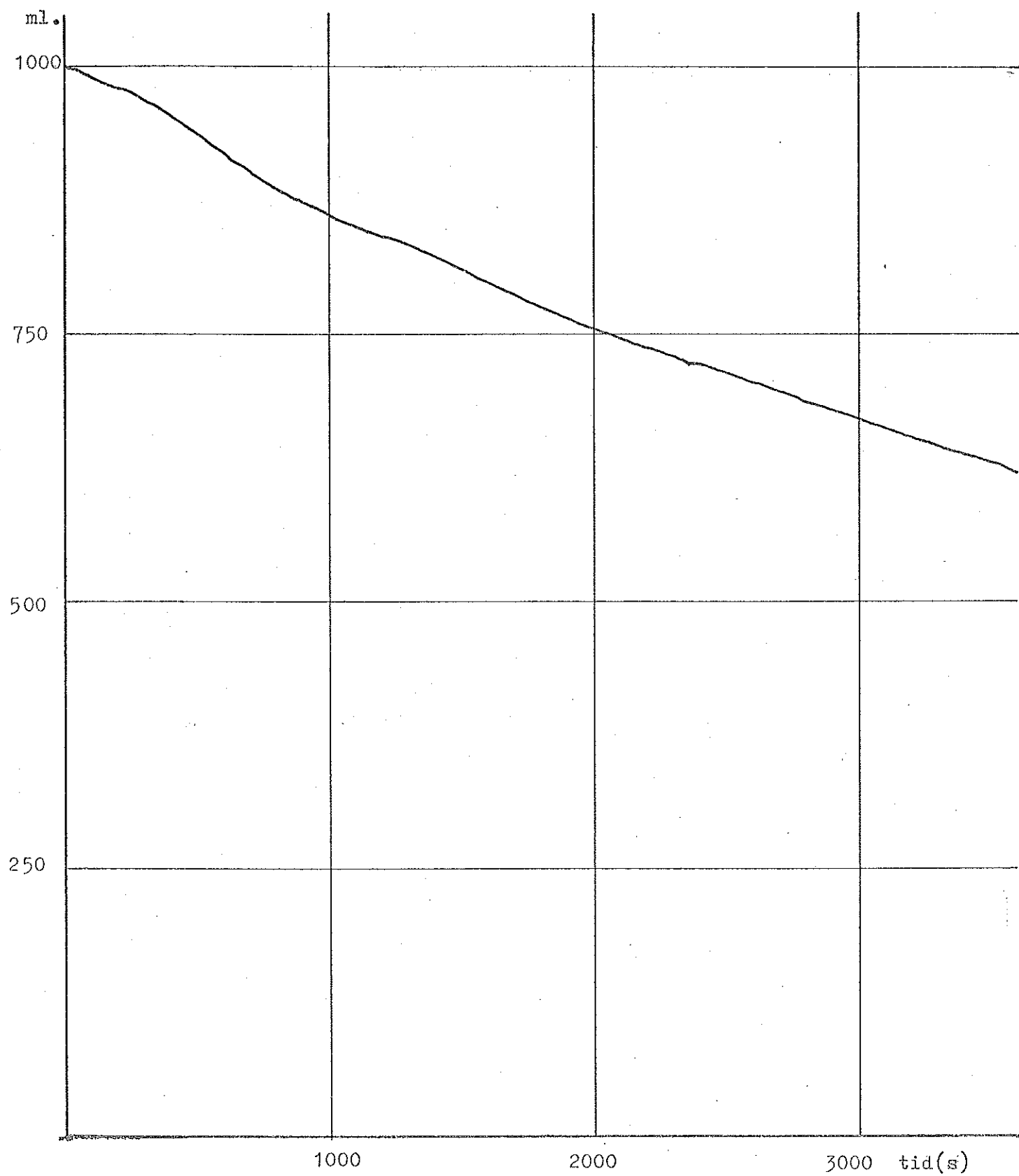


Diagram. 14 : Tillhörande försök 1:2, 1:3 och 1:4

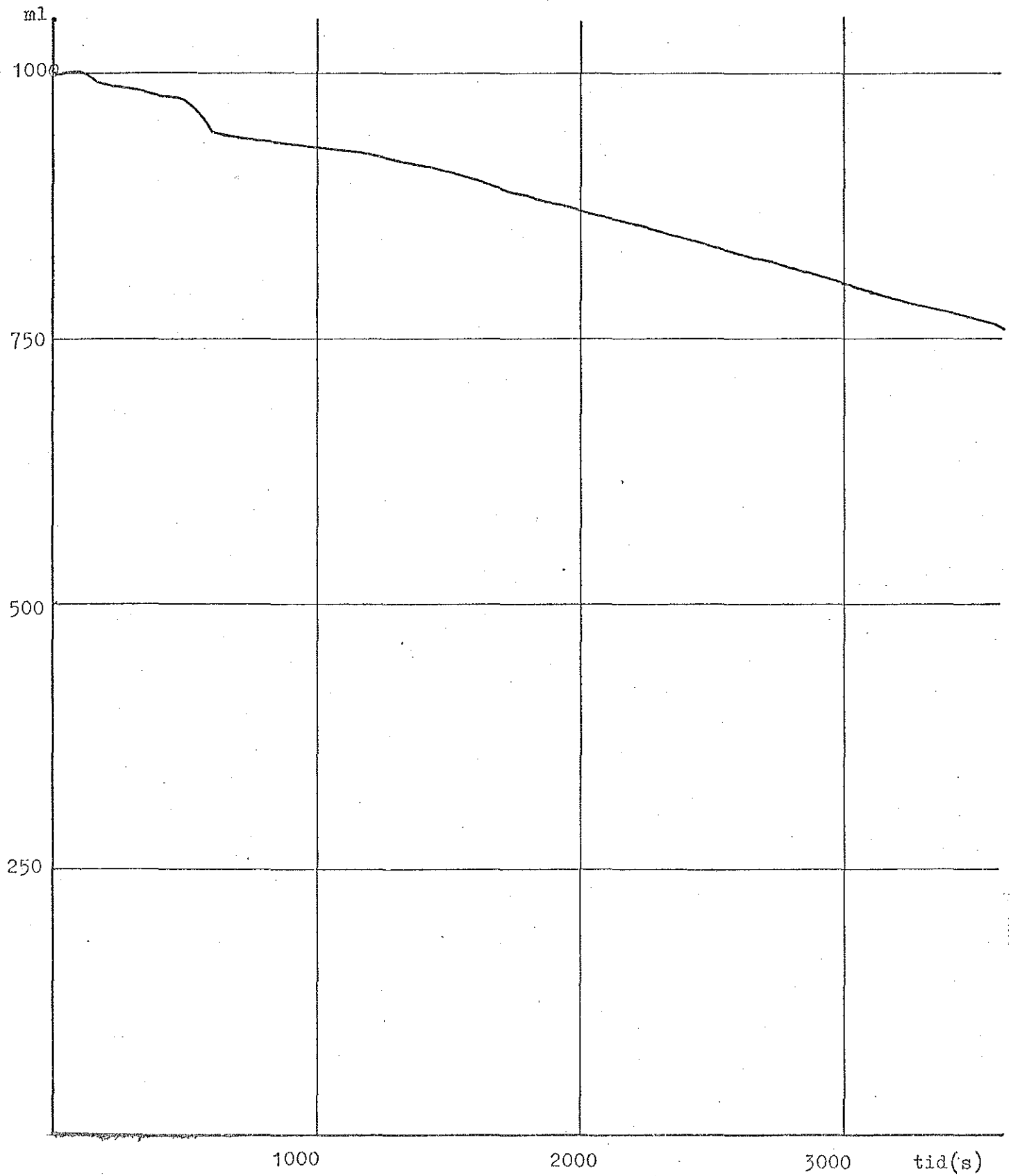


Diagram. 15 : Tillhörande försök 2:1 och 2:2

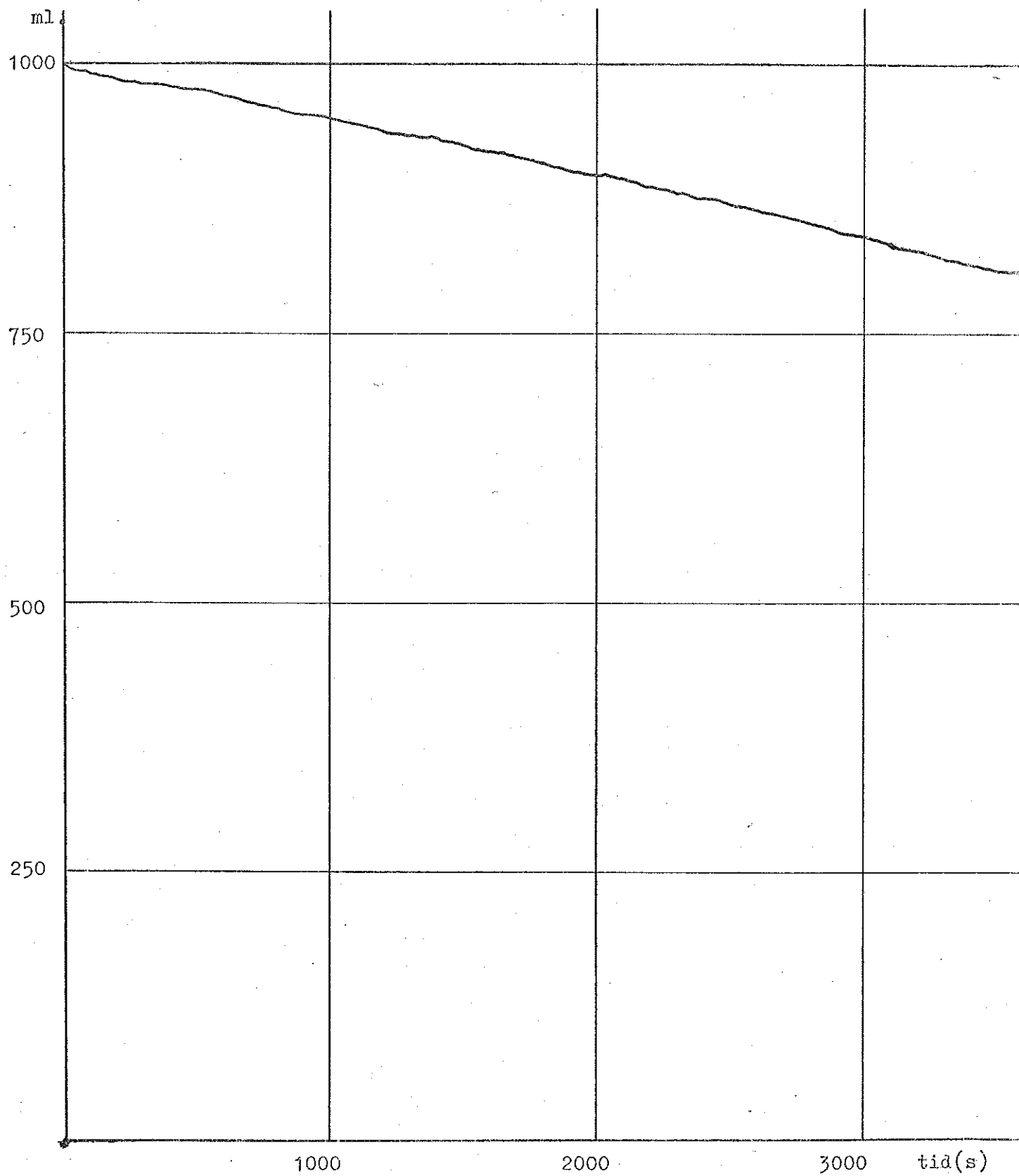


Diagram. 16 : Tillhörande försök 2:3 och 2:4.

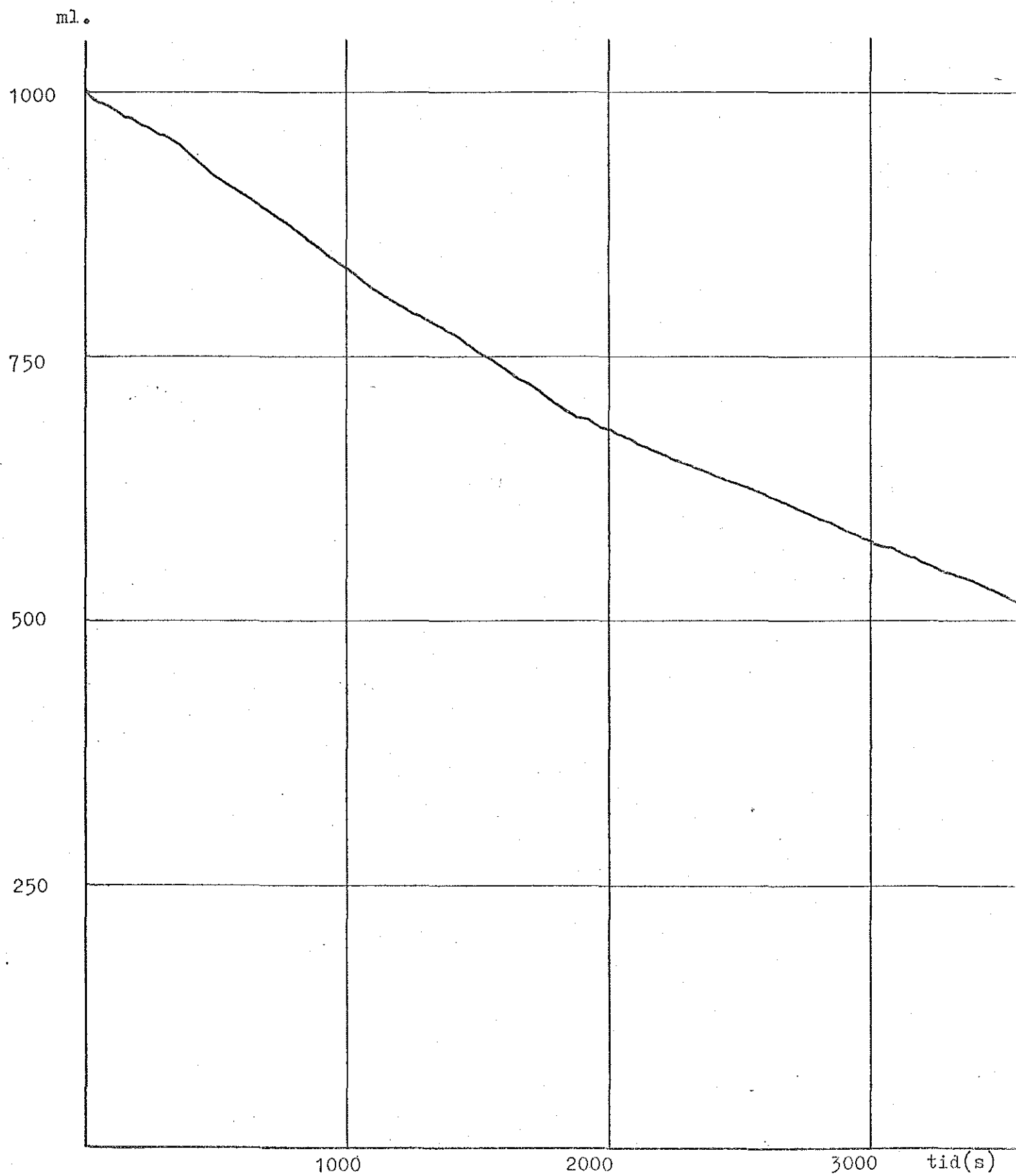


Diagram. 17 : Tillhörande försök 3:1 och 3:2.

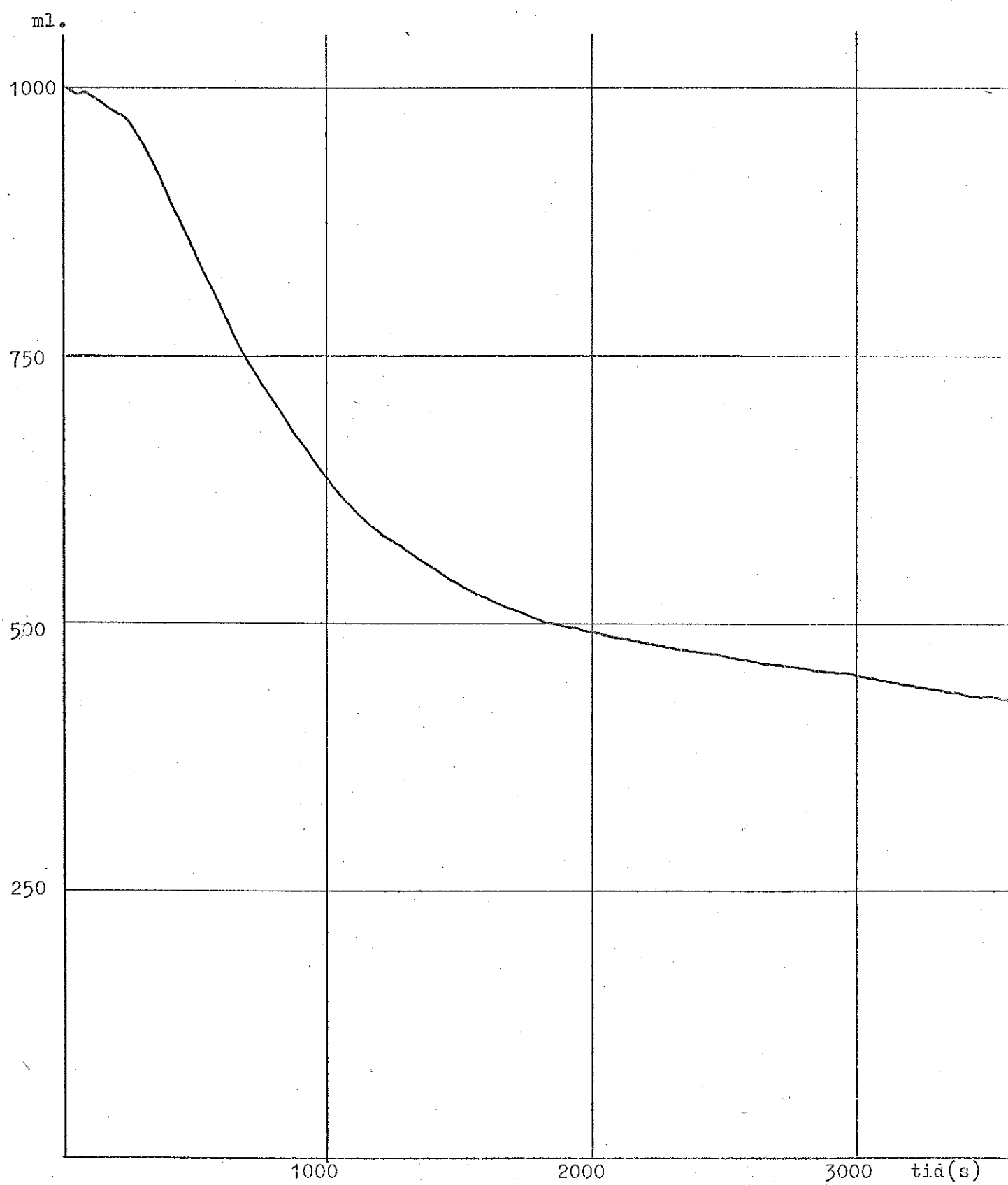


Diagram. 18 :Tillhörande försök 3:3.

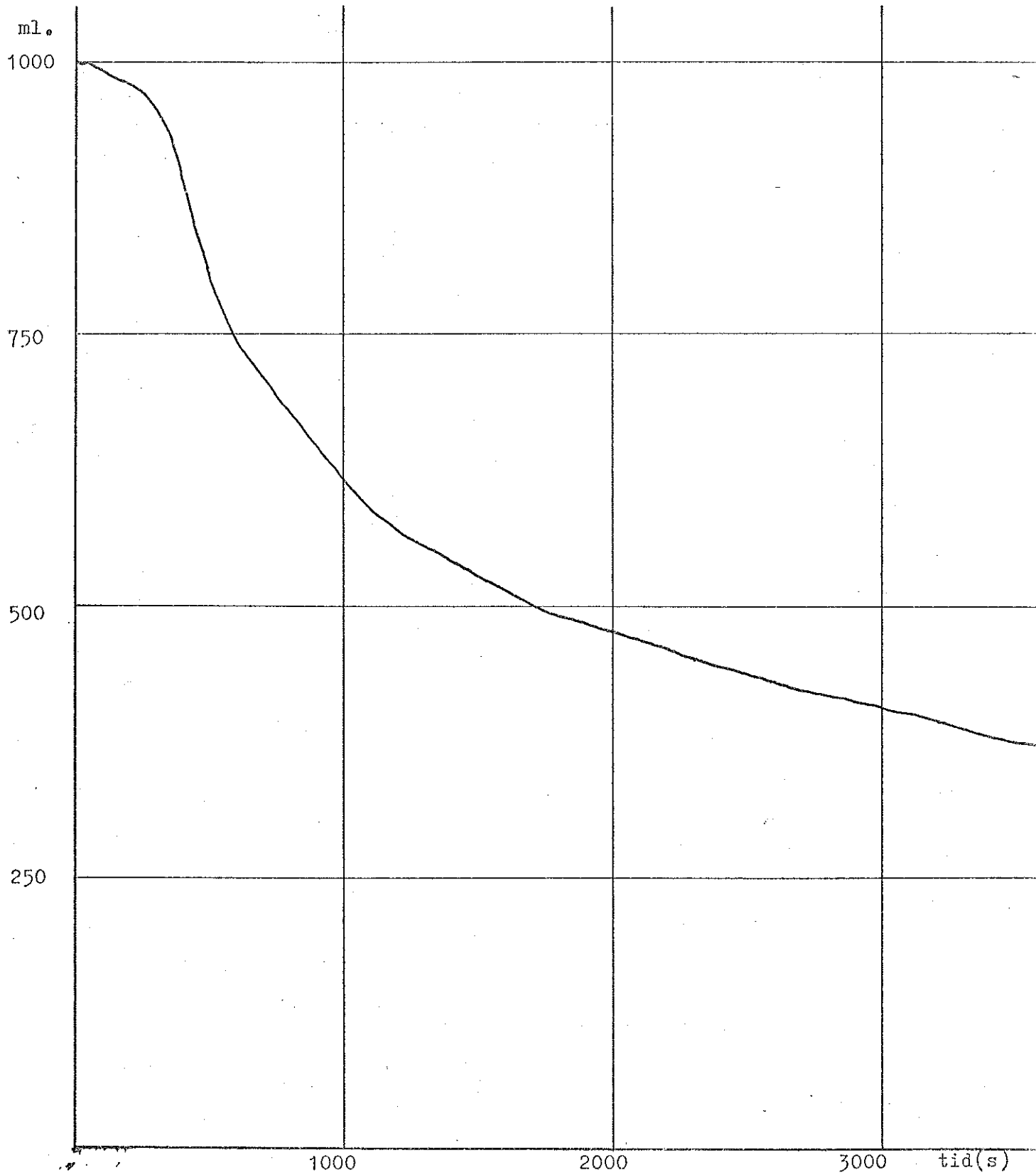


Diagram. 19 : Tillhörande försök 3:4.

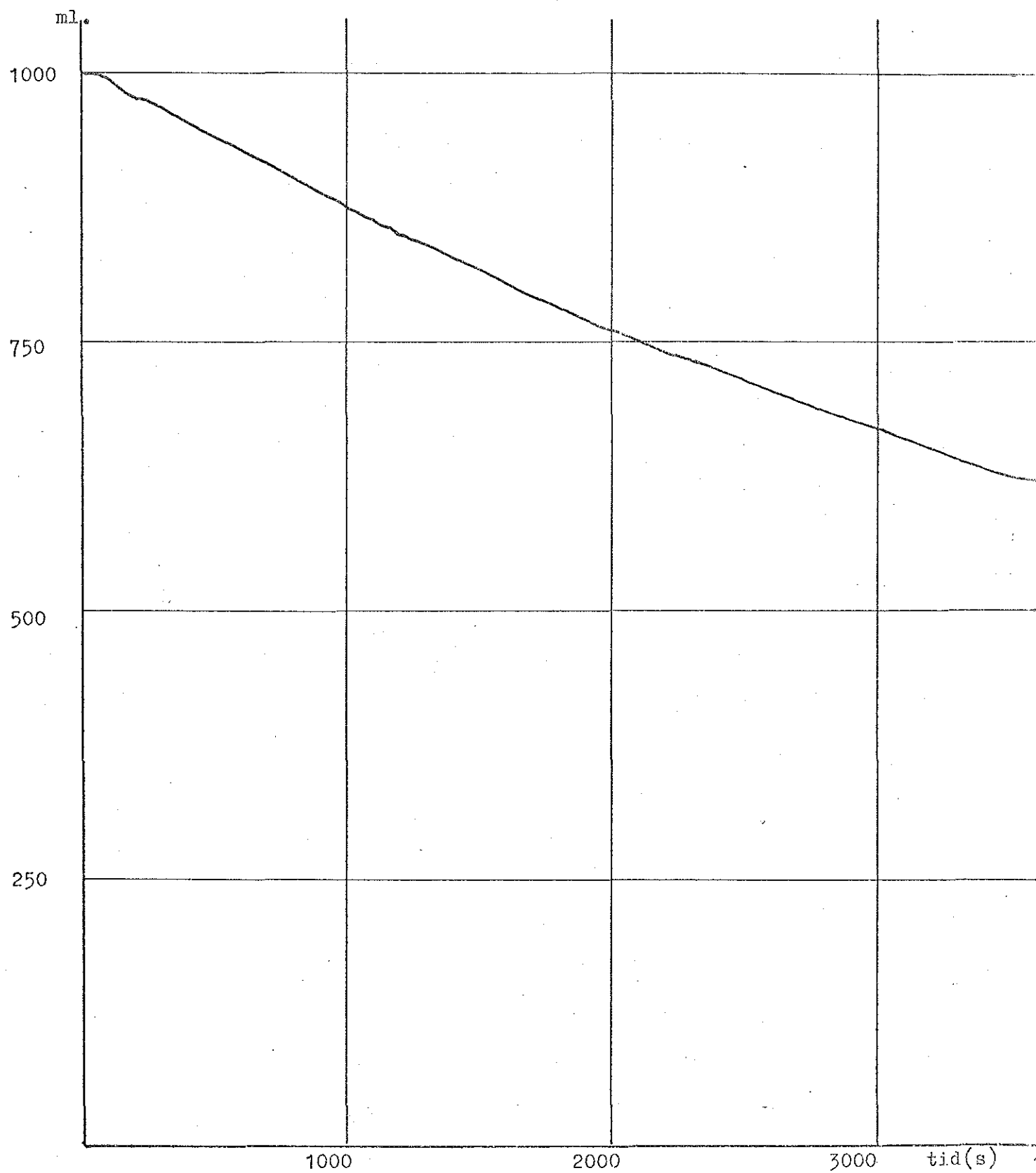


Diagram. 20 : Tillhörande försök 4:1, 4:2, 4:3 och 4:4.

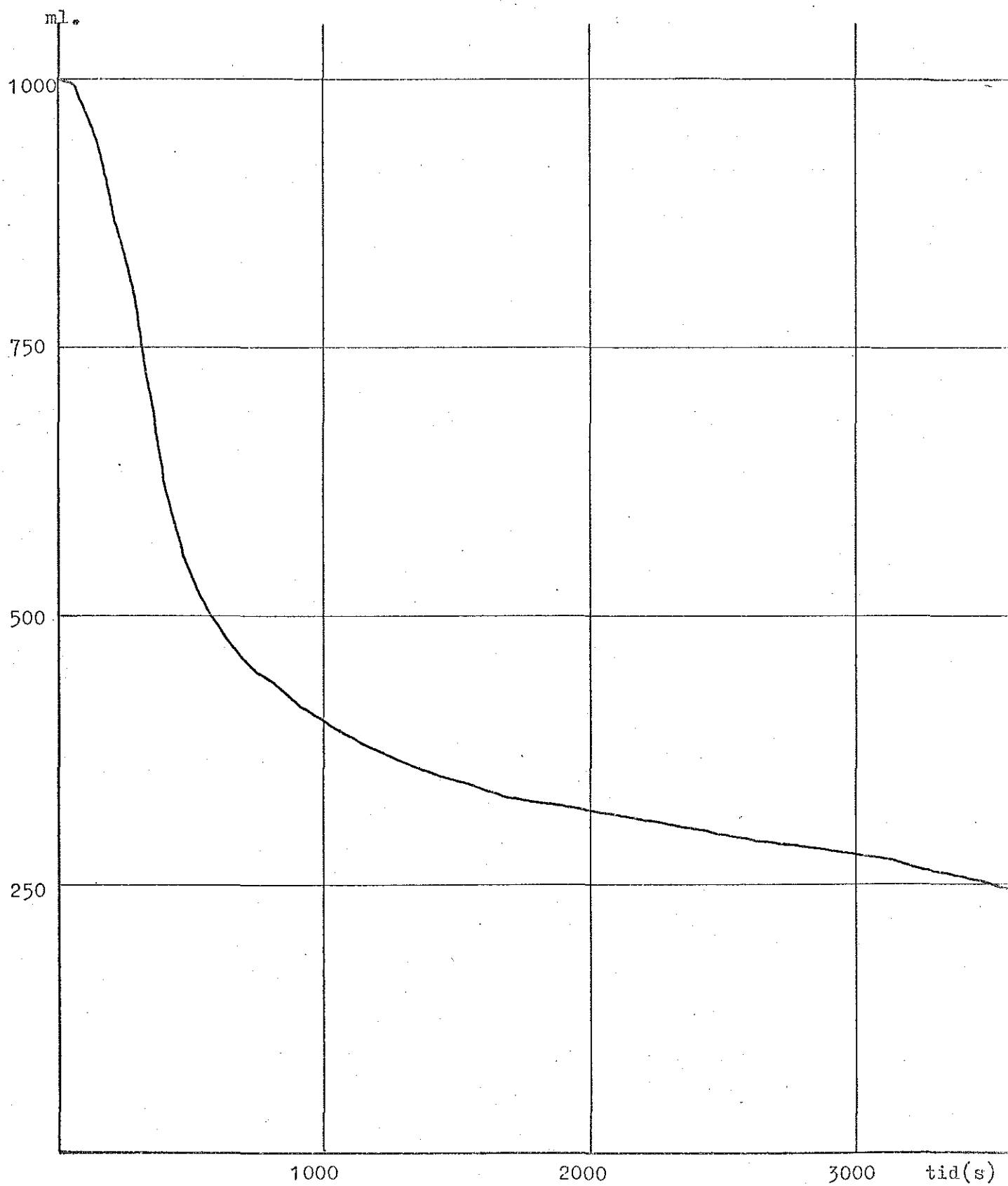


Diagram. 21 : Tillhörande försök 1,2 och 3.

14. APPENDIX 1.

FLUORESCENS

Fluoremetiska analyser utnyttjar det fysikaliska fenomen som kallas fluorescens. Eftersom fluorescens är den utmärkande egenskapen hos alla spårämne, är en allmän förståelse av fenomenet nödvändig för att säkerställa dess rätta utnyttjande vid alla användningar av spårfärgämnen.

Fluorescens är en form av luminiscens, som är ett sammanfattande begrepp på alla slag av ljusemission som inte direkt kan hänföras till temperaturen hos den lysande kroppen. Fluorescerande substanser emitterar strålning omedelbart efter det att substansen har bestrålats från en yttre källa. Emissionen upphör nästan samtidigt med bestrålningen. Ett liknande slag av luminiscens är fosforescens.

RODAMIN B

Det finns i handeln hundratals färgämnen. En stor del av dem är starkt fluorescerande, men bara ett fåtal uppvisar en kombination av egenskaper som är nödvändiga och lämpliga för vattenföringsmätningar. Fyra färgämnen, där var och en är en variation på samma grundstruktur (xanthene, formel $C_{13}H_{10}O$), har blivit använda i stor utsträckning som spårämnen, nämligen Rodamin B, Rodamin WT, Pontacyl Pink och Fluorescein. De är goda spårämnen, ty de är

vattenlösliga, lätt detektabla, starkt fluorescerande och lätt isolerbara från bakgrunden, ofarliga i låga koncentrationer och relativt billiga.

Speciell träning för att handskas med de ovan nämnda spårämnena är inte nödvändig, men en viss försiktighet vid användandet är rekommendabelt för att undvika fläckar som uppkommer vid spill. Det ämne som använts vid försöken har uteslutande varit Rodamin B.

Fördelar med att använda Rodamin B till uppehållstidsmätningar är att det är mycket lätt detektabelt och har en förhållandevis låg kostnad jämfört med de andra spårämnena. Nackdelar är t.ex. att det har en stor absorption på suspenderade partiklar. Starkt solljus förorsakar också ett visst fotokemiskt sönderfall. Det bör därför förvaras mörkt.

Kalibrering

Kalibreringskurva kan uppgöras om man mäter fluorescensen hos prov med känd koncentration och uppritandet sker i ett dubbel-logaritmiskt kurvblad med logaritmen för koncentrationen som funktion av logaritmen för fluorescensen. Analysen av proven sker sedan genom användande av kurvan där man efter bestämning av fluorescensen kan avläsa provens koncentration (kalibreringskurvans utseende ses sid. 14.3).

Uppgörandet av kalibreringskurvan har skett i laboratoriet, där dels en kurva för renvatten och dels en kurva för utloppsvatten gjordes. Tillvägagångssättet var sådant, att till den bestämda mängden vatten tillsattes med hjälp av pipett olika mängder ren Rodamin B. Varje koncentrations fluorescens mättes. Vid uppgörandet av kalibreringskurvor måste vattnets naturliga fluorescens antecknas. Kalibreringskurvor uppritades för genomströmning och för fast kyvett. Kalibreringskurvan bör vara en rät linje. Eftersom fluorescensen hos Rodamin B är temperaturberoende, är det viktigt att samma temperatur används vid analysen av proven, som vid uppgörandet av kalibreringskurvan, annars får korrektion ske med hjälp av följande formel.

$$F = F_0 e^{-k(t-t_0)}$$

t_0 = temperatur för vilken kalibreringskurvan är uppgjord.

t = aktuell temperatur

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

F = vårt utslag på fluorescensen

F_0 = sökt värde på fluorescensen.

Våra kalibreringskurvor är uppgjorda för temperaturen $t_0 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Genomströmning —●—

Fast kyvett —x—

Fluorometer A6 Utlöppsvatten (Ryd)

Fluorometer-
Utslag

100 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0.5

5 10⁰ 6 7 8 9 10¹ 10² 10³ 10⁴ 10⁵ 10⁶ 10⁷ 10⁸ 10⁹ 10¹⁰ 10¹¹ 10¹² 10¹³ 10¹⁴ 10¹⁵ 10¹⁶ 10¹⁷ 10¹⁸ 10¹⁹ 10²⁰ 10²¹ 10²² 10²³ 10²⁴ 10²⁵ 10²⁶ 10²⁷ 10²⁸ 10²⁹ 10³⁰ 10³¹ 10³² 10³³ 10³⁴ 10³⁵ 10³⁶ 10³⁷ 10³⁸ 10³⁹ 10⁴⁰ 10⁴¹ 10⁴² 10⁴³ 10⁴⁴ 10⁴⁵ 10⁴⁶ 10⁴⁷ 10⁴⁸ 10⁴⁹ 10⁵⁰ 10⁵¹ 10⁵² 10⁵³ 10⁵⁴ 10⁵⁵ 10⁵⁶ 10⁵⁷ 10⁵⁸ 10⁵⁹ 10⁶⁰ 10⁶¹ 10⁶² 10⁶³ 10⁶⁴ 10⁶⁵ 10⁶⁶ 10⁶⁷ 10⁶⁸ 10⁶⁹ 10⁷⁰ 10⁷¹ 10⁷² 10⁷³ 10⁷⁴ 10⁷⁵ 10⁷⁶ 10⁷⁷ 10⁷⁸ 10⁷⁹ 10⁸⁰ 10⁸¹ 10⁸² 10⁸³ 10⁸⁴ 10⁸⁵ 10⁸⁶ 10⁸⁷ 10⁸⁸ 10⁸⁹ 10⁹⁰ 10⁹¹ 10⁹² 10⁹³ 10⁹⁴ 10⁹⁵ 10⁹⁶ 10⁹⁷ 10⁹⁸ 10⁹⁹ 10¹⁰⁰ 10¹⁰¹ 10¹⁰² 10¹⁰³ 10¹⁰⁴ 10¹⁰⁵ 10¹⁰⁶ 10¹⁰⁷ 10¹⁰⁸ 10¹⁰⁹ 10¹¹⁰ 10¹¹¹ 10¹¹² 10¹¹³ 10¹¹⁴ 10¹¹⁵ 10¹¹⁶ 10¹¹⁷ 10¹¹⁸ 10¹¹⁹ 10¹²⁰ 10¹²¹ 10¹²² 10¹²³ 10¹²⁴ 10¹²⁵ 10¹²⁶ 10¹²⁷ 10¹²⁸ 10¹²⁹ 10¹³⁰ 10¹³¹ 10¹³² 10¹³³ 10¹³⁴ 10¹³⁵ 10¹³⁶ 10¹³⁷ 10¹³⁸ 10¹³⁹ 10¹⁴⁰ 10¹⁴¹ 10¹⁴² 10¹⁴³ 10¹⁴⁴ 10¹⁴⁵ 10¹⁴⁶ 10¹⁴⁷ 10¹⁴⁸ 10¹⁴⁹ 10¹⁵⁰ 10¹⁵¹ 10¹⁵² 10¹⁵³ 10¹⁵⁴ 10¹⁵⁵ 10¹⁵⁶ 10¹⁵⁷ 10¹⁵⁸ 10¹⁵⁹ 10¹⁶⁰ 10¹⁶¹ 10¹⁶² 10¹⁶³ 10¹⁶⁴ 10¹⁶⁵ 10¹⁶⁶ 10¹⁶⁷ 10¹⁶⁸ 10¹⁶⁹ 10¹⁷⁰ 10¹⁷¹ 10¹⁷² 10¹⁷³ 10¹⁷⁴ 10¹⁷⁵ 10¹⁷⁶ 10¹⁷⁷ 10¹⁷⁸ 10¹⁷⁹ 10¹⁸⁰ 10¹⁸¹ 10¹⁸² 10¹⁸³ 10¹⁸⁴ 10¹⁸⁵ 10¹⁸⁶ 10¹⁸⁷ 10¹⁸⁸ 10¹⁸⁹ 10¹⁹⁰ 10¹⁹¹ 10¹⁹² 10¹⁹³ 10¹⁹⁴ 10¹⁹⁵ 10¹⁹⁶ 10¹⁹⁷ 10¹⁹⁸ 10¹⁹⁹ 10²⁰⁰ 10²⁰¹ 10²⁰² 10²⁰³ 10²⁰⁴ 10²⁰⁵ 10²⁰⁶ 10²⁰⁷ 10²⁰⁸ 10²⁰⁹ 10²¹⁰ 10²¹¹ 10²¹² 10²¹³ 10²¹⁴ 10²¹⁵ 10²¹⁶ 10²¹⁷ 10²¹⁸ 10²¹⁹ 10²²⁰ 10²²¹ 10²²² 10²²³ 10²²⁴ 10²²⁵ 10²²⁶ 10²²⁷ 10²²⁸ 10²²⁹ 10²³⁰ 10²³¹ 10²³² 10²³³ 10²³⁴ 10²³⁵ 10²³⁶ 10²³⁷ 10²³⁸ 10²³⁹ 10²⁴⁰ 10²⁴¹ 10²⁴² 10²⁴³ 10²⁴⁴ 10²⁴⁵ 10²⁴⁶ 10²⁴⁷ 10²⁴⁸ 10²⁴⁹ 10²⁵⁰ 10²⁵¹ 10²⁵² 10²⁵³ 10²⁵⁴ 10²⁵⁵ 10²⁵⁶ 10²⁵⁷ 10²⁵⁸ 10²⁵⁹ 10²⁶⁰ 10²⁶¹ 10²⁶² 10²⁶³ 10²⁶⁴ 10²⁶⁵ 10²⁶⁶ 10²⁶⁷ 10²⁶⁸ 10²⁶⁹ 10²⁷⁰ 10²⁷¹ 10²⁷² 10²⁷³ 10²⁷⁴ 10²⁷⁵ 10²⁷⁶ 10²⁷⁷ 10²⁷⁸ 10²⁷⁹ 10²⁸⁰ 10²⁸¹ 10²⁸² 10²⁸³ 10²⁸⁴ 10²⁸⁵ 10²⁸⁶ 10²⁸⁷ 10²⁸⁸ 10²⁸⁹ 10²⁹⁰ 10²⁹¹ 10²⁹² 10²⁹³ 10²⁹⁴ 10²⁹⁵ 10²⁹⁶ 10²⁹⁷ 10²⁹⁸ 10²⁹⁹ 10³⁰⁰ 10³⁰¹ 10³⁰² 10³⁰³ 10³⁰⁴ 10³⁰⁵ 10³⁰⁶ 10³⁰⁷ 10³⁰⁸ 10³⁰⁹ 10³¹⁰ 10³¹¹ 10³¹² 10³¹³ 10³¹⁴ 10³¹⁵ 10³¹⁶ 10³¹⁷ 10³¹⁸ 10³¹⁹ 10³²⁰ 10³²¹ 10³²² 10³²³ 10³²⁴ 10³²⁵ 10³²⁶ 10³²⁷ 10³²⁸ 10³²⁹ 10³³⁰ 10³³¹ 10³³² 10³³³ 10³³⁴ 10³³⁵ 10³³⁶ 10³³⁷ 10³³⁸ 10³³⁹ 10³⁴⁰ 10³⁴¹ 10³⁴² 10³⁴³ 10³⁴⁴ 10³⁴⁵ 10³⁴⁶ 10³⁴⁷ 10³⁴⁸ 10³⁴⁹ 10³⁵⁰ 10³⁵¹ 10³⁵² 10³⁵³ 10³⁵⁴ 10³⁵⁵ 10³⁵⁶ 10³⁵⁷ 10³⁵⁸ 10³⁵⁹ 10³⁶⁰ 10³⁶¹ 10³⁶² 10³⁶³ 10³⁶⁴ 10³⁶⁵ 10³⁶⁶ 10³⁶⁷ 10³⁶⁸ 10³⁶⁹ 10³⁷⁰ 10³⁷¹ 10³⁷² 10³⁷³ 10³⁷⁴ 10³⁷⁵ 10³⁷⁶ 10³⁷⁷ 10³⁷⁸ 10³⁷⁹ 10³⁸⁰ 10³⁸¹ 10³⁸² 10³⁸³ 10³⁸⁴ 10³⁸⁵ 10³⁸⁶ 10³⁸⁷ 10³⁸⁸ 10³⁸⁹ 10³⁹⁰ 10³⁹¹ 10³⁹² 10³⁹³ 10³⁹⁴ 10³⁹⁵ 10³⁹⁶ 10³⁹⁷ 10³⁹⁸ 10³⁹⁹ 10⁴⁰⁰ 10⁴⁰¹ 10⁴⁰² 10⁴⁰³ 10⁴⁰⁴ 10⁴⁰⁵ 10⁴⁰⁶ 10⁴⁰⁷ 10⁴⁰⁸ 10⁴⁰⁹ 10⁴¹⁰ 10⁴¹¹ 10⁴¹² 10⁴¹³ 10⁴¹⁴ 10⁴¹⁵ 10⁴¹⁶ 10⁴¹⁷ 10⁴¹⁸ 10⁴¹⁹ 10⁴²⁰ 10⁴²¹ 10⁴²² 10⁴²³ 10⁴²⁴ 10⁴²⁵ 10⁴²⁶ 10⁴²⁷ 10⁴²⁸ 10⁴²⁹ 10⁴³⁰ 10⁴³¹ 10⁴³² 10⁴³³ 10⁴³⁴ 10⁴³⁵ 10⁴³⁶ 10⁴³⁷ 10⁴³⁸ 10⁴³⁹ 10⁴⁴⁰ 10⁴⁴¹ 10⁴⁴² 10⁴⁴³ 10⁴⁴⁴ 10⁴⁴⁵ 10⁴⁴⁶ 10⁴⁴⁷ 10⁴⁴⁸ 10⁴⁴⁹ 10⁴⁵⁰ 10⁴⁵¹ 10⁴⁵² 10⁴⁵³ 10⁴⁵⁴ 10⁴⁵⁵ 10⁴⁵⁶ 10⁴⁵⁷ 10⁴⁵⁸ 10⁴⁵⁹ 10⁴⁶⁰ 10⁴⁶¹ 10⁴⁶² 10⁴⁶³ 10⁴⁶⁴ 10⁴⁶⁵ 10⁴⁶⁶ 10⁴⁶⁷ 10⁴⁶⁸ 10⁴⁶⁹ 10⁴⁷⁰ 10⁴⁷¹ 10⁴⁷² 10⁴⁷³ 10⁴⁷⁴ 10⁴⁷⁵ 10⁴⁷⁶ 10⁴⁷⁷ 10⁴⁷⁸ 10⁴⁷⁹ 10⁴⁸⁰ 10⁴⁸¹ 10⁴⁸² 10⁴⁸³ 10⁴⁸⁴ 10⁴⁸⁵ 10⁴⁸⁶ 10⁴⁸⁷ 10⁴⁸⁸ 10⁴⁸⁹ 10⁴⁹⁰ 10⁴⁹¹ 10⁴⁹² 10⁴⁹³ 10⁴⁹⁴ 10⁴⁹⁵ 10⁴⁹⁶ 10⁴⁹⁷ 10⁴⁹⁸ 10⁴⁹⁹ 10⁵⁰⁰ 10⁵⁰¹ 10⁵⁰² 10⁵⁰³ 10⁵⁰⁴ 10⁵⁰⁵ 10⁵⁰⁶ 10⁵⁰⁷ 10⁵⁰⁸ 10⁵⁰⁹ 10⁵¹⁰ 10⁵¹¹ 10⁵¹² 10⁵¹³ 10⁵¹⁴ 10⁵¹⁵ 10⁵¹⁶ 10⁵¹⁷ 10⁵¹⁸ 10⁵¹⁹ 10⁵²⁰ 10⁵²¹ 10⁵²² 10⁵²³ 10⁵²⁴ 10⁵²⁵ 10⁵²⁶ 10⁵²⁷ 10⁵²⁸ 10⁵²⁹ 10⁵³⁰ 10⁵³¹ 10⁵³² 10⁵³³ 10⁵³⁴ 10⁵³⁵ 10⁵³⁶ 10⁵³⁷ 10⁵³⁸ 10⁵³⁹ 10⁵⁴⁰ 10⁵⁴¹ 10⁵⁴² 10⁵⁴³ 10⁵⁴⁴ 10⁵⁴⁵ 10⁵⁴⁶ 10⁵⁴⁷ 10⁵⁴⁸ 10⁵⁴⁹ 10⁵⁵⁰ 10⁵⁵¹ 10⁵⁵² 10⁵⁵³ 10⁵⁵⁴ 10⁵⁵⁵ 10⁵⁵⁶ 10⁵⁵⁷ 10⁵⁵⁸ 10⁵⁵⁹ 10⁵⁶⁰ 10⁵⁶¹ 10⁵⁶² 10⁵⁶³ 10⁵⁶⁴ 10⁵⁶⁵ 10⁵⁶⁶ 10⁵⁶⁷ 10⁵⁶⁸ 10⁵⁶⁹ 10⁵⁷⁰ 10⁵⁷¹ 10⁵⁷² 10⁵⁷³ 10⁵⁷⁴ 10⁵⁷⁵ 10⁵⁷⁶ 10⁵⁷⁷ 10⁵⁷⁸ 10⁵⁷⁹ 10⁵⁸⁰ 10⁵⁸¹ 10⁵⁸² 10⁵⁸³ 10⁵⁸⁴ 10⁵⁸⁵ 10⁵⁸⁶ 10⁵⁸⁷ 10⁵⁸⁸ 10⁵⁸⁹ 10⁵⁹⁰ 10⁵⁹¹ 10⁵⁹² 10⁵⁹³ 10⁵⁹⁴ 10⁵⁹⁵ 10⁵⁹⁶ 10⁵⁹⁷ 10⁵⁹⁸ 10⁵⁹⁹ 10⁶⁰⁰ 10⁶⁰¹ 10⁶⁰² 10⁶⁰³ 10⁶⁰⁴ 10⁶⁰⁵ 10⁶⁰⁶ 10⁶⁰⁷ 10⁶⁰⁸ 10⁶⁰⁹ 10⁶¹⁰ 10⁶¹¹ 10⁶¹² 10⁶¹³ 10⁶¹⁴ 10⁶¹⁵ 10⁶¹⁶ 10⁶¹⁷ 10⁶¹⁸ 10⁶¹⁹ 10⁶²⁰ 10⁶²¹ 10⁶²² 10⁶²³ 10⁶²⁴ 10⁶²⁵ 10⁶²⁶ 10⁶²⁷ 10⁶²⁸ 10⁶²⁹ 10⁶³⁰ 10⁶³¹ 10⁶³² 10⁶³³ 10⁶³⁴ 10⁶³⁵ 10⁶³⁶ 10⁶³⁷ 10⁶³⁸ 10⁶³⁹ 10⁶⁴⁰ 10⁶⁴¹ 10⁶⁴² 10⁶⁴³ 10⁶⁴⁴ 10⁶⁴⁵ 10⁶⁴⁶ 10⁶⁴⁷ 10⁶⁴⁸ 10⁶⁴⁹ 10⁶⁵⁰ 10⁶⁵¹ 10⁶⁵² 10⁶⁵³ 10⁶⁵⁴ 10⁶⁵⁵ 10⁶⁵⁶ 10⁶⁵⁷ 10⁶⁵⁸ 10⁶⁵⁹ 10⁶⁶⁰ 10⁶⁶¹ 10⁶⁶² 10⁶⁶³ 10⁶⁶⁴ 10⁶⁶⁵ 10⁶⁶⁶ 10⁶⁶⁷ 10⁶⁶⁸ 10⁶⁶⁹ 10⁶⁷⁰ 10⁶⁷¹ 10⁶⁷² 10⁶⁷³ 10⁶⁷⁴ 10⁶⁷⁵ 10⁶⁷⁶ 10⁶⁷⁷ 10⁶⁷⁸ 10⁶⁷⁹ 10⁶⁸⁰ 10⁶⁸¹ 10⁶⁸² 10⁶⁸³ 10⁶⁸⁴ 10⁶⁸⁵ 10⁶⁸⁶ 10⁶⁸⁷ 10⁶⁸⁸ 10⁶⁸⁹ 10⁶⁹⁰ 10⁶⁹¹ 10⁶⁹² 10⁶⁹³ 10⁶⁹⁴ 10⁶⁹⁵ 10⁶⁹⁶ 10⁶⁹⁷ 10⁶⁹⁸ 10⁶⁹⁹ 10⁷⁰⁰ 10⁷⁰¹ 10⁷⁰² 10⁷⁰³ 10⁷⁰⁴ 10⁷⁰⁵ 10⁷⁰⁶ 10⁷⁰⁷ 10⁷⁰⁸ 10⁷⁰⁹ 10⁷¹⁰ 10⁷¹¹ 10⁷¹² 10⁷¹³ 10⁷¹⁴ 10⁷¹⁵ 10⁷¹⁶ 10⁷¹⁷ 10⁷¹⁸ 10⁷¹⁹ 10⁷²⁰ 10⁷²¹ 10⁷²² 10⁷²³ 10⁷²⁴ 10⁷²⁵ 10⁷²⁶ 10⁷²⁷ 10⁷²⁸ 10⁷²⁹ 10⁷³⁰ 10⁷³¹ 10⁷³² 10⁷³³ 10⁷³⁴ 10⁷³⁵ 10⁷³⁶ 10⁷³⁷ 10⁷³⁸ 10⁷³⁹ 10⁷⁴⁰ 10⁷⁴¹ 10⁷⁴² 10⁷⁴³ 10⁷⁴⁴ 10⁷⁴⁵ 10⁷⁴⁶ 10⁷⁴⁷ 10⁷⁴⁸ 10⁷⁴⁹ 10⁷⁵⁰ 10⁷⁵¹ 10⁷⁵² 10⁷⁵³ 10⁷⁵⁴ 10⁷⁵⁵ 10⁷⁵⁶ 10⁷⁵⁷ 10⁷⁵⁸ 10⁷⁵⁹ 10⁷⁶⁰ 10⁷⁶¹ 10⁷⁶² 10⁷⁶³ 10⁷⁶⁴ 10⁷⁶⁵ 10⁷⁶⁶ 10⁷⁶⁷ 10⁷⁶⁸ 10⁷⁶⁹ 10⁷⁷⁰ 10⁷⁷¹ 10⁷⁷² 10⁷⁷³ 10⁷⁷⁴ 10⁷⁷⁵ 10⁷⁷⁶ 10⁷⁷⁷ 10⁷⁷⁸ 10⁷⁷⁹ 10⁷⁸⁰ 10⁷⁸¹ 10⁷⁸² 10⁷⁸³ 10⁷⁸⁴ 10⁷⁸⁵ 10⁷⁸⁶ 10⁷⁸⁷ 10⁷⁸⁸ 10⁷⁸⁹ 10⁷⁹⁰ 10⁷⁹¹ 10⁷⁹² 10⁷⁹³ 10⁷⁹⁴ 10⁷⁹⁵ 10⁷⁹⁶ 10⁷⁹⁷ 10⁷⁹⁸ 10⁷⁹⁹ 10⁸⁰⁰ 10⁸⁰¹ 10⁸⁰² 10⁸⁰³ 10⁸⁰⁴ 10⁸⁰⁵ 10⁸⁰⁶ 10⁸⁰⁷ 10⁸⁰⁸ 10⁸⁰⁹ 10⁸¹⁰ 10⁸¹¹ 10⁸¹² 10⁸¹³ 10⁸¹⁴ 10⁸¹⁵ 10⁸¹⁶ 10⁸¹⁷ 10⁸¹⁸ 10⁸¹⁹ 10⁸²⁰ 10⁸²¹ 10⁸²² 10⁸²³ 10⁸²⁴ 10⁸²⁵ 10⁸²⁶ 10⁸²⁷ 10⁸²⁸ 10⁸²⁹ 10⁸³⁰ 10⁸³¹ 10⁸³² 10⁸³³ 10⁸³⁴ 10⁸³⁵ 10⁸³⁶ 10⁸³⁷ 10⁸³⁸ 10⁸³⁹ 10⁸⁴⁰ 10⁸⁴¹ 10⁸⁴² 10⁸⁴³ 10⁸⁴⁴ 10⁸⁴⁵ 10⁸⁴⁶ 10⁸⁴⁷ 10⁸⁴⁸ 10⁸⁴⁹ 10⁸⁵⁰ 10⁸⁵¹ 10⁸⁵² 10⁸⁵³ 10⁸⁵⁴ 10⁸⁵⁵ 10⁸⁵⁶ 10⁸⁵⁷ 10⁸⁵⁸ 10⁸⁵⁹ 10⁸⁶⁰ 10⁸⁶¹ 10⁸⁶² 10⁸⁶³ 10⁸⁶⁴ 10⁸⁶⁵ 10⁸⁶⁶ 10⁸⁶⁷ 10⁸⁶⁸ 10⁸⁶⁹ 10⁸⁷⁰ 10⁸⁷¹ 10⁸⁷² 10⁸⁷³ 10⁸⁷⁴ 10⁸⁷⁵ 10⁸⁷⁶ 10⁸⁷⁷ 10⁸⁷⁸ 10⁸⁷⁹ 10⁸⁸⁰ 10⁸⁸¹ 10⁸⁸² 10⁸⁸³ 10⁸⁸⁴ 10⁸⁸⁵ 10⁸⁸⁶ 10⁸⁸⁷ 10⁸⁸⁸ 10⁸⁸⁹ 10⁸⁹⁰ 10⁸⁹¹ 10⁸⁹² 10⁸⁹³ 10⁸⁹⁴ 10⁸⁹⁵ 10⁸⁹⁶ 10⁸⁹⁷ 10⁸⁹⁸ 10⁸⁹⁹ 10⁹⁰⁰ 10⁹⁰¹ 10⁹⁰² 10⁹⁰³ 10⁹⁰⁴ 10⁹⁰⁵ 10⁹⁰⁶ 10⁹⁰⁷ 10⁹⁰⁸ 10⁹⁰⁹ 10⁹¹⁰ 10⁹¹¹ 10⁹¹² 10⁹¹³ 10⁹¹⁴ 10⁹¹⁵ 10⁹¹⁶ 10⁹¹⁷ 10⁹¹⁸ 10⁹¹⁹ 10⁹²⁰ 10⁹²¹ 10⁹²² 10⁹²³ 10⁹²⁴ 10⁹²⁵ 10⁹²⁶ 10⁹²⁷ 10⁹²⁸ 10⁹²⁹ 10⁹³⁰ 10⁹³¹ 10⁹³² 10⁹³³ 10⁹³⁴ 10⁹³⁵ 10⁹³⁶ 10⁹³⁷ 10⁹³⁸ 10⁹³⁹ 10⁹⁴⁰ 10⁹⁴¹ 10⁹⁴² 10⁹⁴³ 10⁹⁴⁴ 10⁹⁴⁵ 10⁹⁴⁶ 10⁹⁴⁷ 10⁹⁴⁸ 10⁹⁴⁹ 10⁹⁵⁰ 10⁹⁵¹ 10⁹⁵² 10⁹⁵³ 10⁹⁵⁴ 10⁹⁵⁵ 10⁹⁵⁶ 10⁹⁵⁷ 10⁹⁵⁸ 10⁹⁵⁹ 10⁹⁶⁰ 10⁹⁶¹ 10⁹⁶² 10⁹⁶³ 10⁹⁶⁴ 10⁹⁶⁵ 10⁹⁶⁶ 10⁹⁶⁷ 10⁹⁶⁸ 10⁹⁶⁹ 10⁹⁷⁰ 10⁹⁷¹ 10⁹⁷² 10⁹⁷³ 10⁹⁷⁴ 10⁹⁷⁵ 10⁹⁷⁶ 10⁹⁷⁷ 10⁹⁷⁸ 10⁹⁷⁹ 10⁹⁸⁰ 10⁹⁸¹ 10⁹⁸² 10⁹⁸³ 10⁹⁸⁴ 10⁹⁸⁵ 10⁹⁸⁶ 10⁹⁸⁷ 10⁹⁸⁸ 10⁹⁸⁹ 10⁹⁹⁰ 10⁹⁹¹ 10⁹⁹² 10⁹⁹³ 10⁹⁹⁴ 10⁹⁹⁵ 10⁹⁹⁶ 10⁹⁹⁷ 10⁹⁹⁸ 10⁹⁹⁹ 10¹⁰⁰⁰ 10¹⁰⁰¹ 10¹⁰⁰² 10¹⁰⁰³ 10¹⁰⁰⁴ 10¹⁰⁰⁵ 10¹⁰⁰⁶ 10¹⁰⁰⁷ 10¹⁰⁰⁸ 10¹⁰⁰⁹ 10¹⁰¹⁰ 10¹⁰¹¹ 10¹⁰¹²

15. APPENDIX 2.

F Ö R O R D

Föreliggande undersökning är en komplettering till utfört examensarbete. Syftet är att klargöra strömningsförhållandena i en av Ryaverkets sedimenteringsbassänger sedan en skärm har monterats vid inloppet.

Undersökningen har tillkommit på initiativ av Göteborgsregionens Ryaverksaktiebolag.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid.
I. Inledning	1
II. Teori om uppehållstid	1
III. Bestämning av verklig uppehållstid	2
IV. Kontinuerlig dosering	6
V. Slutsummering	9
VI. Beteckningar	11
VII. Diagrambilaga	12

I. INLEDNING

Anledningen till föreliggande arbete är att konstatera om en skärm i inloppet ger en förbättring av sedimenteringsbassängerna ur strömningsteknisk synpunkt. Undersökning har tidigare utförts utan skärm i inloppet. Redovisningen bygger på en jämförelse med tidigare utförda mätningar utan skärm. Skärmens placering var ca 2 meter nedströms inloppsspalterna och dess mått var 7,80 x 1,00 m. Se fig. 1.

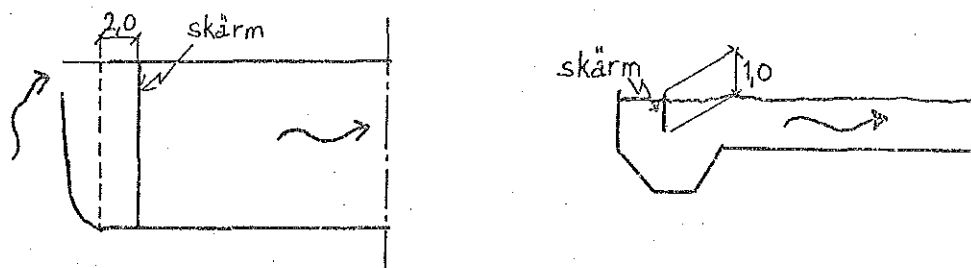


Fig. 1 Plan och sektion av inloppet.

För övrigt utfördes dessa mätningar på identiskt lika sätt som tidigare mätningar, dvs spårämnet Rodamin B doserades i sedimenteringsbassängens inlopp därefter skedde inmätning av spårämnets koncentration i utloppet som funktion av tiden.

II. TEORI ANGÅENDE UPPEHÅLLSTID

Begreppet uppehållstid för en sedimenteringsbassäng definieras som förhållandet mellan bassängens volym och den per tidsenhet tillförda vattenmängden eller som förhållandet mellan bassängens längd och vattnets medelhastighet

$$\text{dvs } T = \frac{V}{q} = \frac{L}{V_m} \dots \dots \dots (1)$$

I verkligheten är emellertid hastighetsfördelningen i tvärsnittet ojämn, dvs de enskilda partiklarna har från varandra skilda hastigheter och därmed skilda uppehållstider. Härvid inverkar bassängens form, strömhastigheter mm. Enklarest kan man konstatera detta förhållande genom att momentant tillsätta ett spårämne, t.ex fluorescerande färg,

radioaktiv isotop eller salt i inloppet och mäta dess koncentration vid utloppet som funktion av tiden. Man erhåller härvid de enskilda partiklarnas uppehållstider ur en impulsfunktion. Se fig. 2

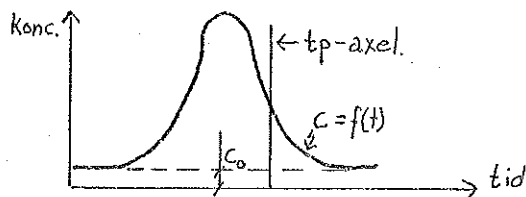


Fig. 2 Impulsfunktionen.

Ur impulsfunktionen beräknas den verkliga uppehållstiden som tiden från dosering av spårämnet till tyngdpunkten, t_p , av den yta, som innesluts av koncentrationskurvan $c = f(t)$ och vattnets bakgrundskoncentration, c_0 , dvs

$$t_p = \frac{\int_0^{\infty} (c - c_0) \cdot t \cdot dt}{\int_0^{\infty} (c - c_0) \cdot dt} = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} (c_n - c_0) \cdot t}{\sum_{n=1}^{\infty} (c_n - c_0)} \quad \dots \dots \dots (2)$$

t = tiden från doseringen av spårämnet

Den volymetriska verkningsgraden definieras som kvoten mellan den verkliga och den teoretiska uppehållstiden. För rektangulära bassänger anges denna kvot normalt vara ca 0,3 - 0,5. Detta betyder att enbart 0,3 - 0,5 av den totala bassängvolymen medverkar vid strömningen genom bassängen.

III. BESTÄMNING AV VERKLIG UPPEHÅLLSTID

Mätningarna utfördes för tre flöden 70 l/s i bassäng 1, 120 l/s i bassäng och 200 l/s i bassäng. Försöken utfördes för påslagen och avstängd inloppsluftning. Skraphastigheten valdes så att jämförelse med tidigare utförda försök kunde göras.

III.1 MÄT SERIE A

Denna mätserie består av två försök med ett utgående flöde av ca 70 l/s, motsvarande en ytbelastning av 0,54 m³/hm².

Mätresultatet från dessa två försök och från motsvarande försök utan skärm framgår av tabell nedan och av diagram A 1 och A 2.

Försök	Utan skärm		Med skärm	
	1	2	A 1	A 2
ΣQ ($\frac{1}{s}$)	67,8	63,5	72,9	71,7
Q_r ($\frac{1}{s}$)	58,75	58,75	35,4	37,7
$\Sigma Q + \frac{1}{2} Q_r$	97,2	92,7	90,6	90,55
$\Sigma Q + Q_r$	126,55	122,25	108,3	109,1
v (meter/min)	1,33	0,85	1,33	0,85
inloppsluftning	Ja	Nej	Ja	Nej
T_{verk}	49'28"	37'25"	98'	112'53"
$T_1^{teor.}$	219'10"	231'30"	237'30"	237'36"
$T_2^{teor.}$	168'48"	175'50"	198'54"	196'48"
η_1	0,224	0,162	0,414	0,475
η_2	0,291	0,213	0,494	0,573
$V_1^{medv.}$ (m^3)	288,4	204,5	534,2	612,5
$V_2^{medv.}$ (m^3)	375,6	274,5	636,5	739,5

Tab. 1 Mätresultat vid bestämning av uppehållstiden genom momentan dosering av Rodamin B, serie A. Beteckning sid.

Utvärdering: Den volymetriska verkningsgraden har ungefär fördubblats genom att en skärm inmonterats. Utan skärm är $\eta \approx 0,2$ och med skärm $\eta \approx 0,4$. Studeras koncentrationskurvan, diagram A 1, sid. ses att det är ett hopp mellan begynnelse- och slutkoncentration av Rodamin. Detta beror på att vi avbröt försöket efter en viss tid, eftersom det skulle ta mycket lång tid innan koncentrationen sjunkit till begynnelsevärdet. Därigenom blir de framräknade värdena på uppehållstid och verkningsgrad något för små. En mindre del av flödet går relativt snabbt och opåverkat genom bassängen vilket avspeglas som en markant topp i början av kurvan.

III.2 FÖRSÖKSSERIE B

Denna mätserie består av tre stycken försök med ett utgående flöde av ca 120 l/s $Q_{bass.}$ motsvarande en ytbelastning av 0,93 m^3/hm^2 . Mätresultatet från dessa tre försök och motsvarande försök utan skärm framgår av tabell 2 och diagram B 1.

B 2 och B 3. Sid.

Försök	Utan skärm		Med skärm		
	3	4	B 1	B 2	B 3
ΣQ	117,5	118,2	126,5	128,7	116,7
Q_r	40,8	41,7	35,9	37,5	35,7
$\Sigma Q + \frac{1}{2} Q_r$	137,9	139,0	144,5	147,5	134,5
$\Sigma Q + Q_r$	158,3	159,9	162,4	166,2	152,4
V	1,33	0,85	1,33	1,33	0,85
inloppsluftning	Ja	Nej	Ja	Ja	Nej
$T_{verk.}$	39'29"	44'6"	113'44"	111'11"	100'48"
$T_1^{teor.}$	156'	154'30"	148'48"	145'54"	160'6"
$T_2^{teor.}$	135'50"	134'20"	132'24"	129'12"	140'54"
η_1	0,254	0,285	0,765	0,766	0,629
η_2	0,291	0,328	0,858	0,861	0,716
$V_1^{medv.}$	326,7	367,9	986	988	811
$V_2^{medv.}$	374,8	423,1	1090	1109	923

Tab. 2 Mätresultat vid momentan dosering av Rodamin B, serie

Utvärdering: Verkningsgraden (η_1) för sedimenteringsbassängerna (med inloppsluftning) ökar från 0,254 utan skärm till 0,765 med skärm, dvs att verkningsgraden (även uppehållstiden) blir 3 ggr så stor med skärm som utan. Vid försöken utan luftning (4 och B 3) fördubblas verkningsgraden.

III.3 FÖRSÖKSSERIE C

Denna mätserie består av ett försök med ett utgående flöde av ca 210 l/s g bass., vilket motsvarar en ytbelastning av 1,60 m³/m²h. Mätresultatet från detta försök och motsvarande försök utan skärm framgår av tabell 3 och diagram C 1, sid.

	Utan skärm	Med skärm
Försök	5	C 1
ΣQ	212,7	212,5
Q_r	63,7	37,9
$\Sigma Q + \frac{1}{2} Q_r$	244,5	231,5
$\Sigma Q + Q_r$	276,4	250,4
V	1,33	1,33
inloppsluft	Ja	Ja
$T_{\text{verkl.}}$	44'33"	70'18"
$T_1^{\text{teor.}}$	87'50"	92'54"
$T_2^{\text{teor.}}$	77'50"	64'36"
η_1	0,50	0,758
η_2	0,564	0,830
$V_1^{\text{medv.}}$	645	979
$V_2^{\text{medv.}}$	728	1070

Tab. 3 Mätresultat vid momentan dosering av Rodamin B, serie C

Utvärdering: Även vid detta flöde ökade verkningsgraden markant från 0,5 utan skärm till 0,76 med skärm. Denna ökning är dock inte lika stor som vid tidigare försök.

III.4 SAMMANFATTNING AV RESULTATET FRÅN FÖRSÖKSSERIE A, B OCH C

Den vertikala skärmen framför inloppssektionen medför en kraftig förändring av strömförhållandena i sedimenteringsbassängerna, sådana de kan utläsas av de uppmätta uppehållstiderna.

Den största effekten erhålles vid min.flöde (70 l/s) och medelflöde (120 l/s). Vid dessa flöden ökar den volymetriska verkningsgraden (uppehållstid dividerad med teoretisk uppehållstid) i stort sett 3 ggr. Vid maximalt flöde (210 l/s) ökar verkningsgraden med ca 50 % och blir ungefär lika stor som vid medelflödet.

Genom att skärmen inmonteras tar det ungefär dubbelt så lång tid även för de snabbaste "vattenpaketen" att passera genom sedimenteringsbassängen. Medelhastigheten för dessa "vattenpaket" är ca 2,5 cm/s. Detta tyder på att hastighetsfördelningen är avsevärt jämnare i bassängen med en skärm inmonterad.

Vid måttliga och höga flöden deltar större delen av bassängvolymen i strömningen, $\varrho_1 = 0,6-0,75$, medan vid små flöden verkningsgraden $0,4-0,5$ erhålles. Inverkan av luftningen är oklar då uppehållstiden härav tycks förlängas vid små flöden och minska vid måttliga.

IV. KONTINUERLIG DOSERING MED INMÄTNING I MITTZONEN

Syftet med detta försök var att studera flödets fördelning i mittzonen.

Ett försök utfördes med utgående vattenföring $\Sigma Q = 209,5$ l/min. luftningen påslagen och skraphastigheten $0,85$ m/min. Doseringen utfördes på samma sätt som vid uppehållstidsförsöken men med längre doseringstid, ca 15 min. Doseringstiden var vald så att stationära förhållanden kunde antas inträda i mittsektionen. Från en brygga i mittsektionen av bassängen inmättes rodaminkoncentrationen över hela tvärsnittet. Provtagningen började 6 minuter efter doseringens början med start i mätvertikal 0 och djupet 0 m. Mellan varje provpunkt är tiden 30 sekunder. Resultat från försöket framgår av tabell 4.

Tid från doseringens början	Djup cm	Mätvertikal		
		0	3,5	7,80
6 - 15 min	0,0	9,8	14,5	9,4
	0,5	8,2	9,8	9,4
	1,0	5,9	8,2	9,4
	1,5	6,3	9,4	20,7
	2,0	4,9	57	65
	2,5	6,65	48	94
15,5 - 24,5 min	0,0	11	14,5	16
	0,5	7,8	12,7	34
	1,0	20,7	52	40
	1,5	6,65	30,5	52
	2,0	50	58	120
	2,5	35	40	150
25 - 34 min	0,0	9,4	40	56
	0,5	8,6	105	88
	1,0	18	195	137
	1,5	365	41	182
	2,0	460	108	36
	2,5	60	260	62
34,5 - 33,5 min	0,0	42	74	137
	0,5	25	131	145
	1,0	64	131	118
	1,5	88	47	52
	2,0	47	17,5	22,5
	2,5	2	2,5	35,5
34 - 43,5 min.	0,0	82	79	130
	0,5	120	105	140
	1,0	117	105	88
	1,5	30	68	36
	2,0	20	14,9	1,8
	2,5	7	10	0,5

Tid från doseringens början	Djup cm	Mätvertikal		
		0	3,5	7,30
	0,0	120	74	98
	0,5	107	64	96
Tiden från doseringens början är 39 min.	1,0	79	33	47
	1,5	47	25	22,5
	2,0	38	1,8	14,8
	2,5	0,9	0,9	3

Tab. 4 Koncentrationen $\times 10^{10}$ i mittsektionen vid kontinuerlig dosering av Rodamin B. Flödet $\Sigma Q = 209,5$ l/s. Tabellen börjar 6 minuter efter doseringens början.

Tabellen ovan kan ses som en tvärsektion av bassängen i strömningens riktning.

Resultat: Ur tabellen kan man uttyda att de största hastigheterna i bassängen finns nära botten, speciellt vid den högra kanten. De understa 0,5 m av bassängen har störst hastighet. I den övriga delen av tvärsektionen är hastighetsfördelningen tämligen jämn med en tendens till högre hastigheter vid den högra kanten. Hela tvärsnittet deltar i strömningen från att skikten närmast ytan och botten där skraporna inverkar. Vid motsvarande försök utan skärm i inloppet befanns strömningen vara begränsad till ett skikt på 0,75 - 1,5 m djup som hade större hastighet än omgivande vatten.

V. SLUTSUMMERING

Med en skärm inmonterad i sedimenteringsbassängernas inlopp erhöjls en volymetrisk verkningsgrad (η_v) av ca 0,41 - 0,76. De lägsta värdena härrör från min.flödet (70 l/s bassäng) och de största från medel- och max.flödet (120 resp. 210 l/s bassäng). Värdena 0,41 - 0,76 på verkningsgraden skall ställas i relation till motsvarande värden utan skärm, vilka är 0,22, 0,21 och 0,50 vid flödena 70, 120 och 210 l/s bassäng. Se diagram D, sid. Detta visar att verkningsgraden ökar avsevärt genom att en skärm har inmonterats. Den största ökningen i verkningsgraden fås vid min.- och medelflödet. Försöken visar att skärmen medför en jämnare hastighetsfördelning men även att inkommande vatten fördelas jämnare över tvärsektionen vid inloppet.

Skärmen medför emellertid även att hastigheten nära slamskiktet vid botten kan bli relativt stora. Vid vårt försök med kontinuerlig dosering erhöjls också de största hastigheterna i botten-skiktet. Hastighetsmätning med flygel gav dock till resultat att hastigheterna under skärmen och i mittzonen överallt var mindre än mätflygelns starthastighet 0,065 m/s. Ökade hastigheter nära botten medför naturligtvis att möjligheten för återuppvirvling av redan sedimenterat slam ökar. Om så sker i detta fall är emellertid omöjligt att avgöra utgående från utförda mätningar, då detta kräver kännedom om slammets täthet, fallegenskaper och sammanhållning samt hastighetsgradienter och turbulens nära botten.

Trots de avsevärt förbättrade strömningsförhållandena kunde rent visuellt ej någon skillnad av slammängden i utgående vatten konstateras vid jämförelse mellan närliggande bassänger med och utan inloppsskärm. Ett närmare studium av detta kunde dock vara motiverat. Detta kunde t.ex ske genom rutinmässig provtagning och analys av slammängden i utgående vatten från två närliggande bassänger där den ena försetts med inloppsskärm. Skiborden bör justeras noggrant så att samma vattenförling erhöjls i båda bassängerna. Försöken bör också utföras med mindre skärmdjup än det som provats i denna undersökning.

SAMMANFATTNING AV RESULTAT

1. Verkningsgraden η ökar markant.
2. Jämnare hastighetsfördelning i sedimenteringsbassängen.
3. Ur strömningsteknisk synpunkt har en sedimenteringsbassäng erhållits, som borde vara fördelaktigare ur sedimenteringssynpunkt.

VI. BETECKNINGAR

ΣQ : Utgående flöde genom skiborden (l/s o bassäng.)

Q_r : Returslamflöde (l/s o bassäng.)

v : Skraphastigheten (meter/min.)

T : Uppehållstiden = $\frac{\text{Volymen}}{\text{Flöde}} = \frac{V}{Q}$

$T_{\text{verk.}}$: Verklig uppehållstid, dvs den uppehållstid som uppmättes vid momentan dosering av spårämnet Rodamin B.

$T_1^{\text{teor.}}$: Teoretiska uppehållstiden beräknad för flödet $\Sigma Q + \frac{1}{2} Q_r$ och bassängvolymen 1290 m³.

$T_2^{\text{teor.}}$: Teoretiska uppehållstiden beräknad för flödet $\Sigma Q + Q_r$ och bassängvolymen 1290 m³.

η_1 : Volymetriska verkningsgraden = $\frac{T_{\text{verk.}}}{T_1^{\text{teor.}}}$

η_2 : Volymetriska verkningsgraden = $\frac{T_{\text{verk.}}}{T_2^{\text{teor.}}}$

$V_1^{\text{medv.}}$: Medverkande bassängvolym i strömningen vid flödet $\Sigma Q + \frac{1}{2} Q_r$

$V_2^{\text{medv.}}$: Medverkande bassängvolym i strömningen vid flödet $\Sigma Q + Q_r$

t_0 : Tiden från doseringens mittpunkt till tiden lika med noll i diagrammen.

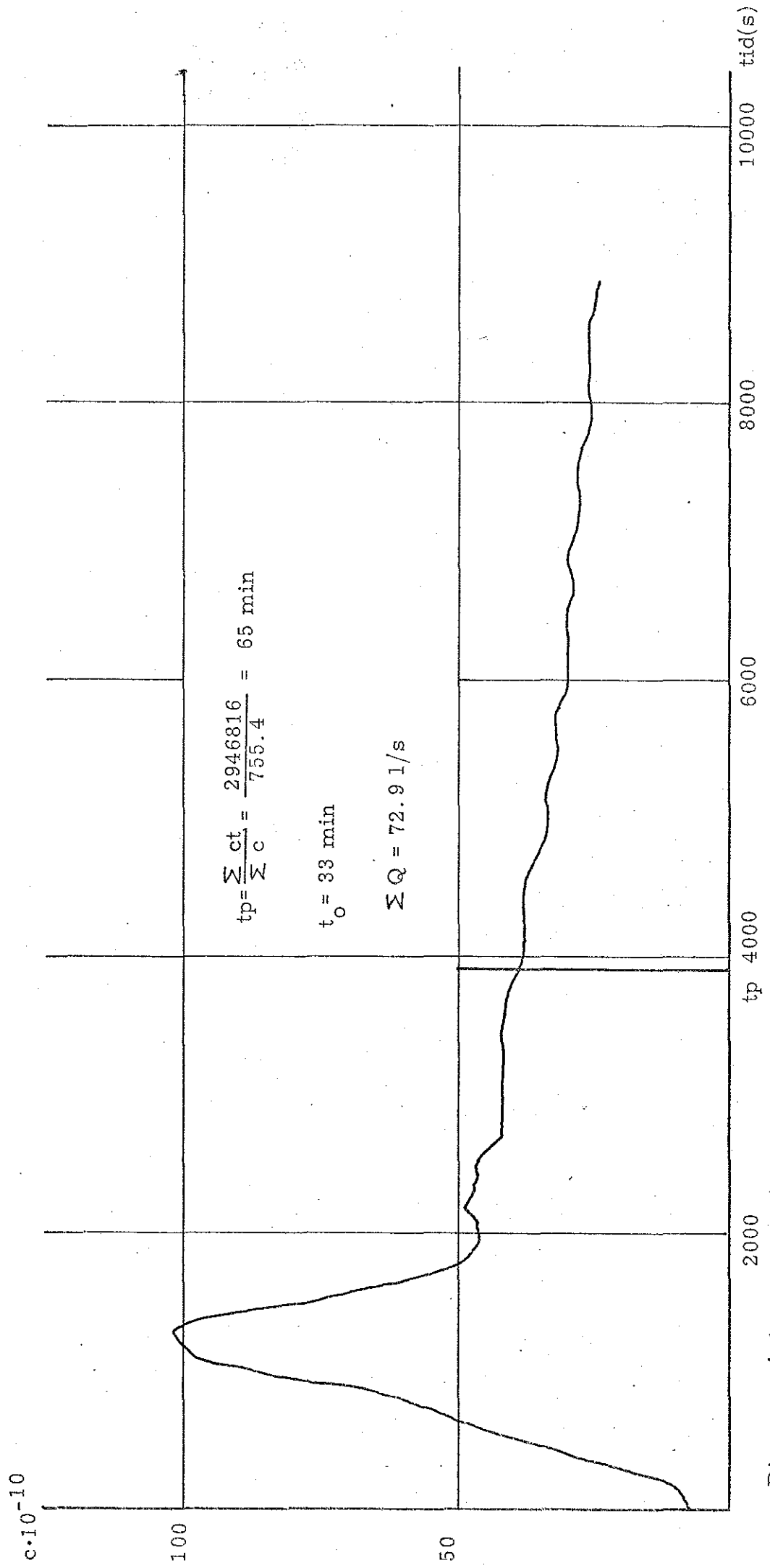
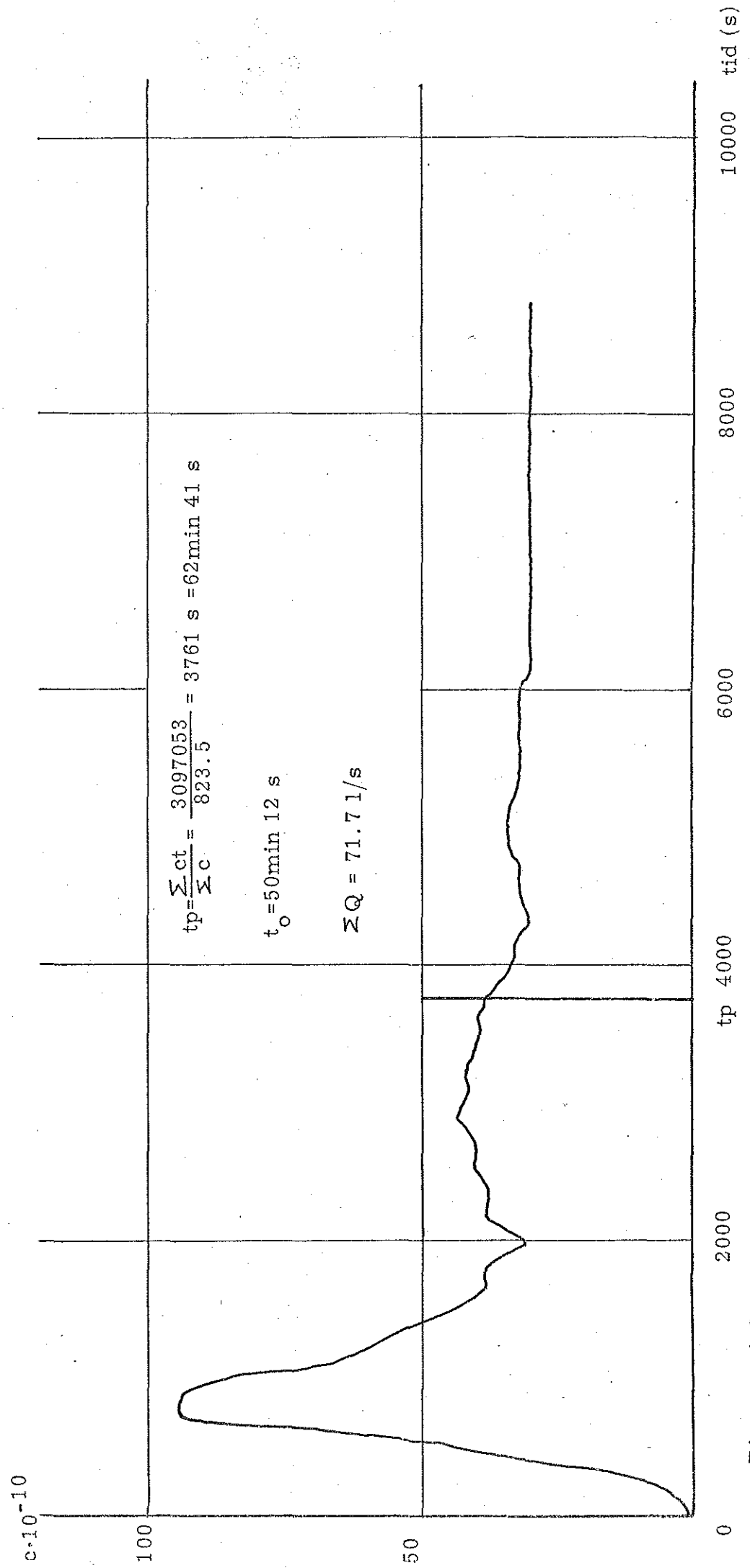
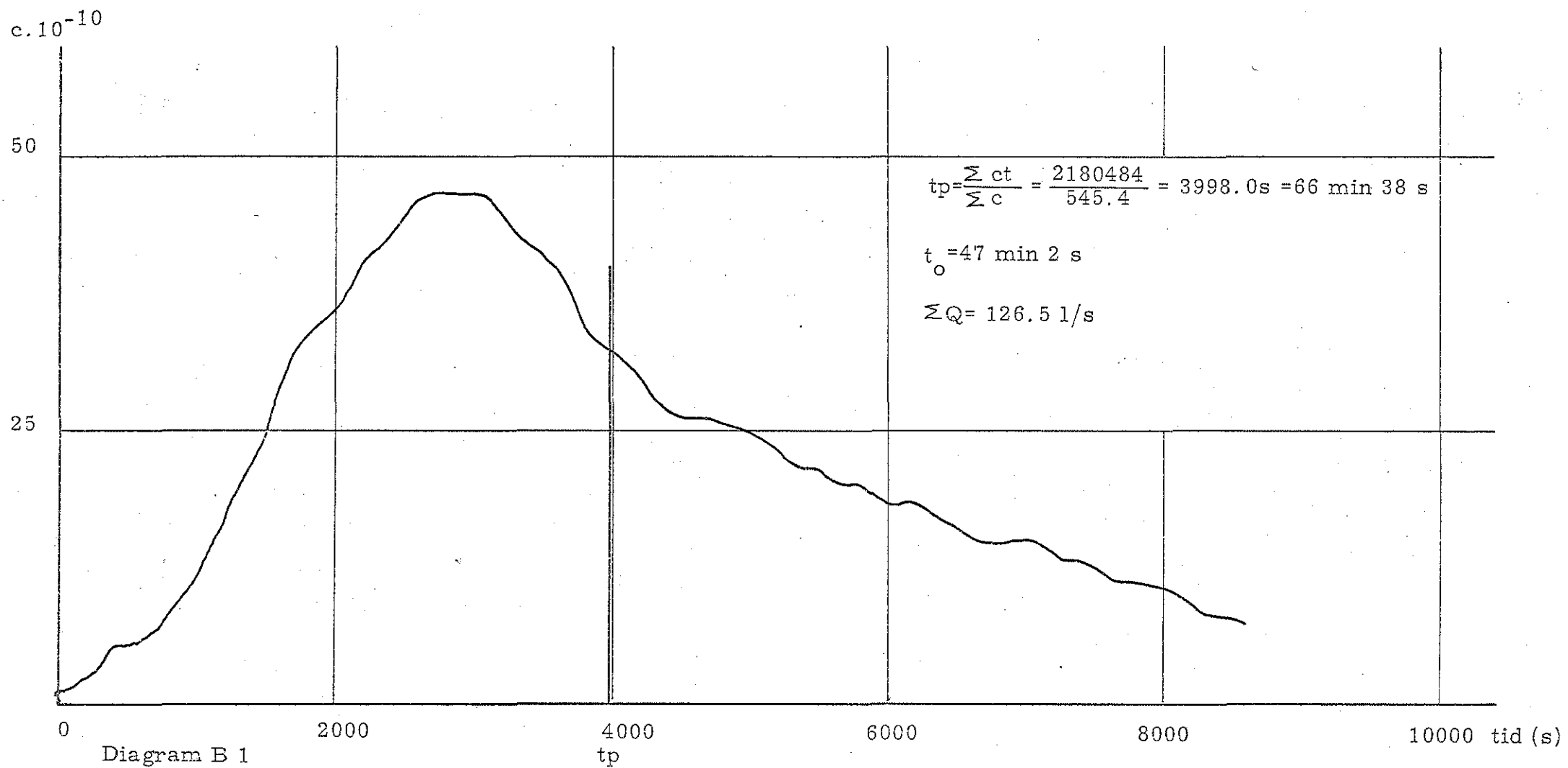
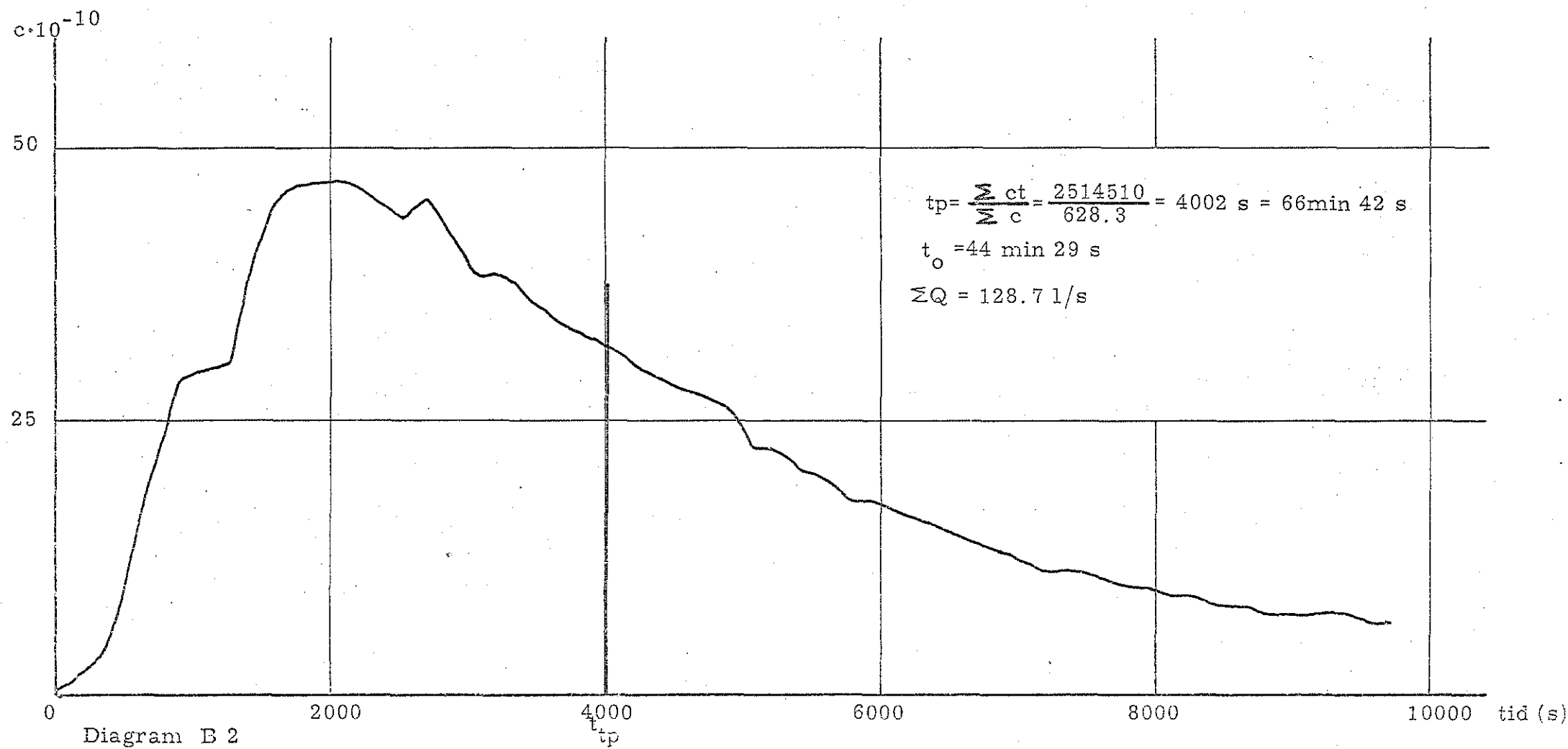


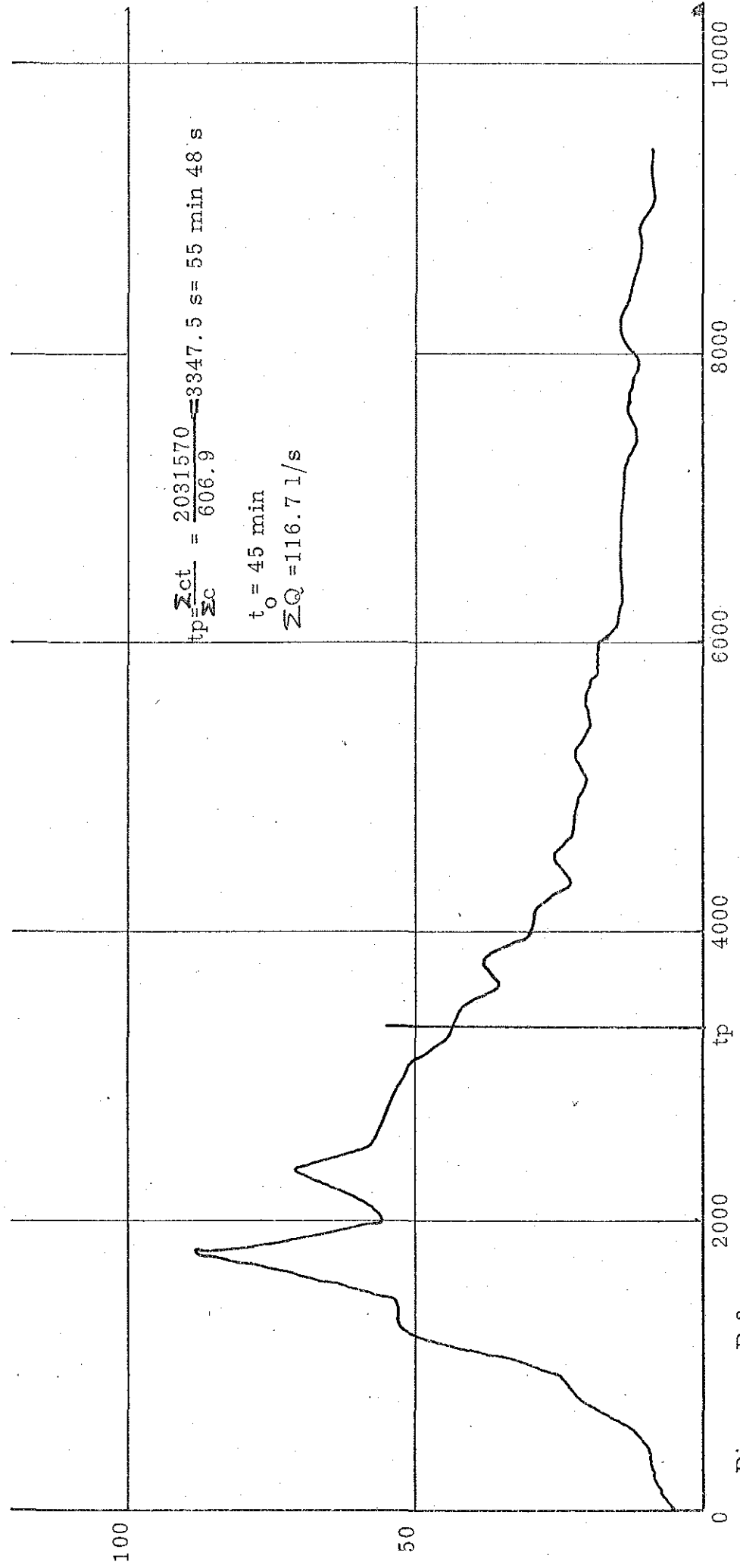
Diagram A 1







$c \cdot 10^{-10}$



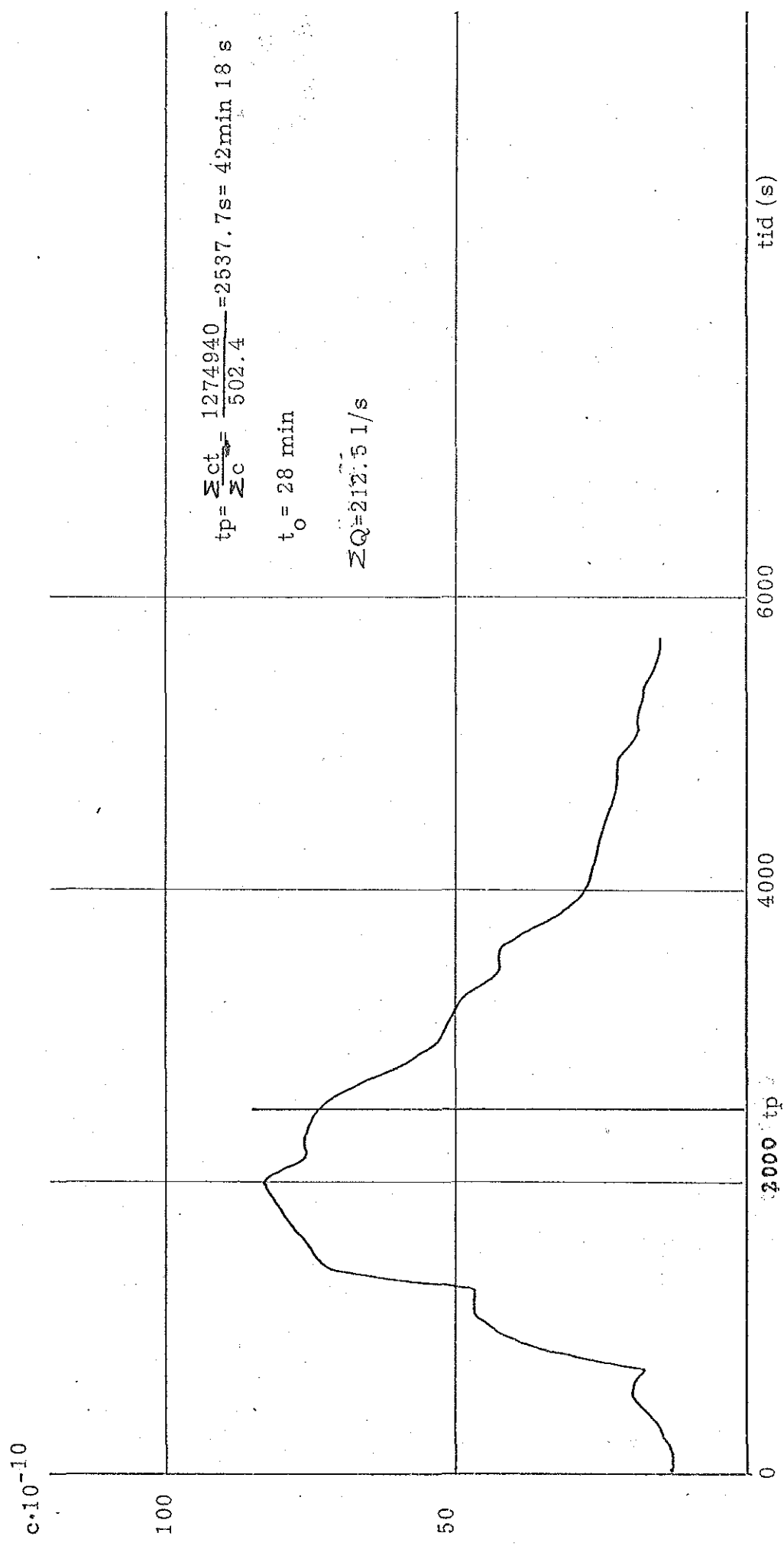


Diagram C.1

