

Chalmers Tekniska Högskola
Institutionen för vattenbyggnad
Fack
402 20 GÖTEBORG 5

Per-Åke Nordberg

Hans Norrgård

SYNTEISK ENHETSHYDROGRAF FÖR
BERÄKNING AV DAGVATTENA VRINNING

Examensarbete i vattenbyggnad 1974:6

Göteborg

Innehållsförteckningsid

1.	ENHETSHYDROGRAFEN	1
1:1	Teoretisk beskrivning	1
1:2	Förutsättningar	1
1:3	Konstruktion av enhetshydrografen	2
2	SYNTEKISKA ENHETSHYDROGRAFEN	5
2:1	Allmänt	5
2:2	Beräkning av parametrar	5
2:21	Fördröjning: t_p	6
2:22	Avrinning: q , Q	7
2:23	Varaktigheter: T , W	8
3	OMRÅDESBESKRIVNING	9
3:1	Läge	9
3:2	Marklutning	9
3:3	Markförhållanden	9
3:31	Ytans struktur	9
3:4	Ledningar	10
3:5	Fotografier	11
4	MÄTUTRUSTNING	14
4:1	Regnmätning	14
4:11	Regnmätarens uppställning	14
4:12	Regnmätarens funktion	14
4:2	Avrinningsmätare	15
4:21	Avrinningsmätarens läge	16
4:22	Mätstationens funktion	16
4:3	Fotografier	17
5	BERÄKNING AV SYNTEKISKA ENHETSHYDROGRAFEN FÖR OMRÅDET	18
5:1	Fördröjning: t_p	18
5:11	Flyttid på marken: t_M	18
5:12	Flyttid i ledningarna: t_L	18
5:13	Total tidsfördröjning: t_p	19
5:2	Avrinning: q , Q	19
5:3	Varaktighet: T , W	20
6	JÄMFÖRELSE MELLAN BERÄKNAD OCH VERKLIG AVRINNING	22
7	STATISTISK JÄMFÖRELSE	25
7:1	Statistiska metoder	25

7:11	Correlation Coefficient: R	25
7:12	Special Correlation Coefficient : R_s	25
7:13	Integral Square Errors: ISE	26
7:2	Jämförelse mellan observerad och framräknad hydrograf	26
8	DATAPROGRAM	28
8:1	Allmänt	28
8:2	Indata	28
8:21	Specifikation av indata	28
8:3	Utskrift	29
8:4	Exempel på dataprogrammet	33
9	SAMMANFATTNING	36
10	LITTERATURFÖRTECKNING	37

BILAGOR

Bilaga 1	Sortomvandling	38	
" 2	Colebrooks - diagram	39	
" 3	Koefficienterna C_q , C_v och k	40	
" 4	Fotografiriktningar	41	
" 5 a-c	Markens lutning	42	
" 6 a-b	Ledningarnas längd	45	
" 7	Ledningar (karta)	47	
" 8	Ledningsdiameter	48	
" 9	Avrinningskoefficientens variation	49	
" 10	Områdets delytor	50	
" 11-22	Hydrografer	51	
" 23 a-c	Korrelationsberäkningar	63	
" 24 a-c	Korrelation mellan observerad och beräknad hydrograf	66	

Syntetiska enhetshydrografmetoden

Vid institutionen för vattenbyggnad CTH pågår sedan våren 1972 projektet "Dagvattenstudier i Göteborg". Detta projekt ingår som en del av ett större geohydrologiskt forskningsprojekt som studerar urbaniseringens inverkan på ytvattenavrinningen och grundvattenbildningen. En av målsättningarna med dagvattenstudierna är att utveckla en modell som beskriver avrinningsförloppet i den urbana miljön. Modellen skall bl a användas för dimensionering av dagvattensystem. Den typ av modeller som det här är frågan om (strukturbeskrivande modeller) kräver omfattande ingångsdata avseende bl a området geometri. Ibland måste projekteringar av dagvattensystem ske utan närmare kunskaper om områdets slutliga utformning beträffande andel hårdgjorda ytor, lutningar och andra parametrar som inverkar på avrinningsförloppet. Man kan då antingen använda en komplicerad modell med schablonmässigt valda ingångsdata eller en mer överslagsmässig beräkningsmodell av typ rationella metoden. Det är angeläget att analysera olika modellers användbarhet med hänsyn till omfattningen av och kvaliteten på tillgängliga ingångsdata. I detta examensarbete undersöks syntetiska enhetshydrografmetoden. Parameteranalys analyseras med utgångspunkt från nederbörds-avrinningsmätningar utförda i dagvattenprojektets avrinningsområden. Eventuellt kan även publicerade mätningar på andra avrinningsområden utnyttjas. Resultatet kommer senare att jämföras med en liknade analys utförd på en strukturbeskrivande datormodell.

Viktor Arnell

Sven Lyngfelt

1

ENHETSHYDROGRAFEN

1:1

Teoretisk beskrivning

Teorin för enhetshydrografen framlades 1932 av Sherman. Enhetshydrografen för ett avrinningsområde anger sambandet mellan ett effektivt regn, vanligen 1 mm, och motsvarande avrinning. Med ett effektivt regn menas den del av ett regn som avrinner som ytvatten.

En typisk avrinningshydrograf för ett koncentrerat regn, enligt Lind-Falkenmark (3), representeras av en kurva med sned fördelning och ett enkelt maximum fig. 1.1. Denna kurva består av 3 delar: en inledningsdel AB, en växande del BC och en avtagande del, recessionsdelen, CD.

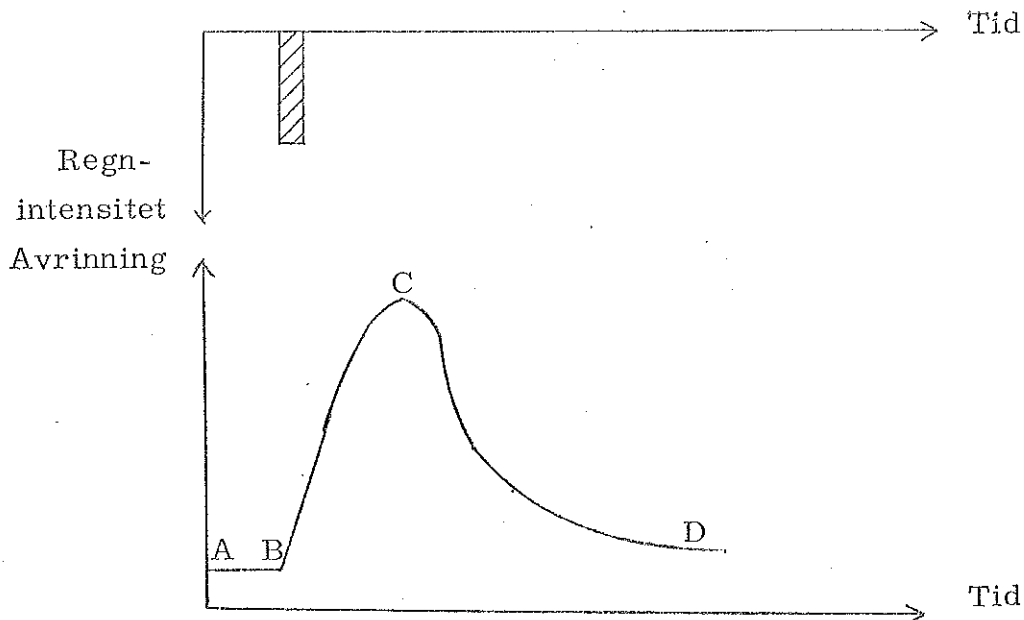


Fig. 1.1 Avrinningshydrograf

1:2

Förutsättningar

Metoden bygger enligt Eagleson (2) och Rahm-Sjöberg (4) på följande förutsättningar:

1. Det effektiva regnet skall vara jämnt fördelat över såväl hela det aktuella avrinningsområdet som den valda tidsperioden.
2. Varaktigheten för den direkta avrinningen räknat från regnets slut är konstant, oberoende av regnmängd och varaktighet.
3. Hydrografens ordinator är proportionella mot avrinningens totala volym.

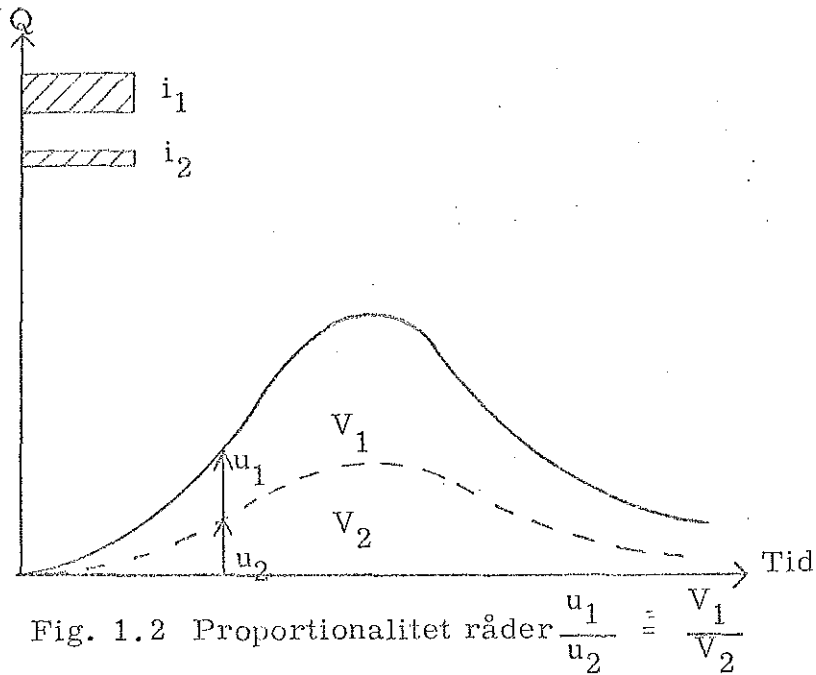


Fig. 1.2 Proportionalitet råder $\frac{u_1}{u_2} = \frac{V_1}{V_2}$

4. Den direkta avrinningen erhålls som en lineär kombination av effektiva regn.

1:3 Konstruktion av enhetshydrografen

Enhetshydrografen för ett effektivt regn med varaktighet t_r , bestäms med hjälp av en eller flera observerade avrinningshydrografer med tillhörande regn. Effektiva regnets varaktighet (t_r) kan för metoden som sådan väljas godtyckligt. Man kan således tala om 1 min hydrograf, 2 tim hydrograf osv. Valet av t_r blir således beroende av ändamålet med enhetshydrografens upprättande samt tidsupplösningen i gjorda observationer. En avrinningshydrograf från ett kort och intensivt regn är det mest önskvärda vid upprättande av enhetshydrografen. Lind-Falkenmark (3) anger 2 metoder för enhetshydrografens framtagande.

I den ena metoden löses ekvationssystemet

$$Q_n = \sum_{i=1}^n U_{n-i+1} \cdot i_i$$

där

- i_i = regnintensitet under tidsperiod i
- U_i = enhetshydrografens ordinata vid tidpunkt i
- Q = avrinningen

Ekvationssystemet för ett regn som varar i 2 tidsperioder blir då

$$Q_1 = U_1 i_1 \qquad Q_n = U_n i_1 + U_{n-1} i_2$$

$$Q_2 = U_2 i_1 + U_1 i_2 \qquad Q_{n+1} = U_n i_2$$

$$Q_3 = U_3 i_1 + U_2 i_2$$

$$Q_4 = U_4 i_1 + U_3 i_2$$

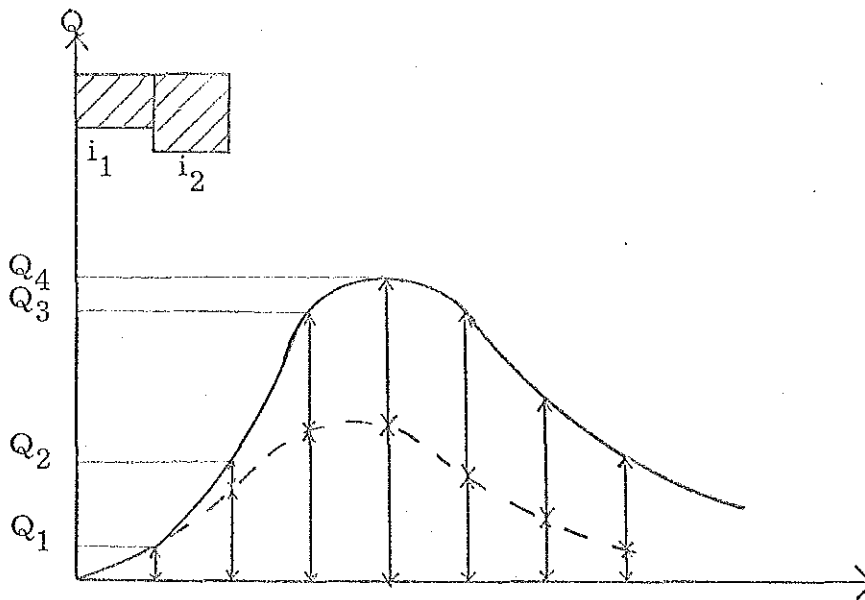


Fig. 1.3 Bestämning av enhetshydrograf ur observerad hydrograf.

Det finns n obekanta och $n + 1$ ekvationer och alltså ingen entydig lösning. För att erhålla en lösning kan minsta kvadratmetoden användas.

I den andra metoden, S-hydrografmetoden, konstruerar man först fram S-hydrografen som representerar avrinningen från ett effektivt regn med oändlig varaktighet och konstant intensitet (i_r). Genom att förskjuta S-hydrografen tidsintervallet t_r och sedan subtrahera den förskjutna S-hydrografen från den ursprungliga, fås enhetshydrografen för ett effektivt regn med varaktighet t_r och intensiteten i_r .

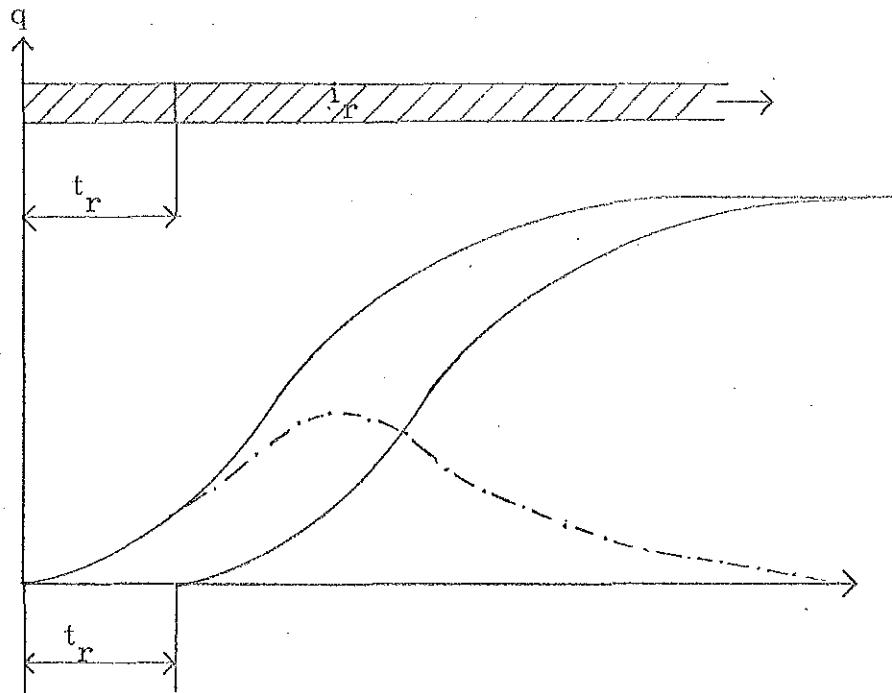


Fig. 1.4 Bestämning av enhetshydrografen ur S-hydrografen

2. SYNTETISKA ENHETSHYDROGRAFEN

2:1 Allmänt

Syntetiska enhetshydrografen skiljer sig från den "vanliga" enhetshydrografen på så sätt, att några data rörande regnintensiteter eller avrinningar inte behöver framtagas för dess konstruktion. Istället använder man sig av områdeskaraktistika såsom area, topografi, vattendragens lutning, täthet och magasinering. De parametrar som skall tagas fram för syntetiska enhetshydrografens konstruktion är enligt Snyder (1) följande:

q_p = maxflödet

T = totala varaktigheten

t_p = tiden från mittpunkten av regnets varaktighet till tiden för maxflödets inträffande (fördröjning)

För att fastlägga formen på hydrografen har Eagleson (2) uppskattat värden på varaktigheterna (W) vid 50 resp. 75% av maxflödet.

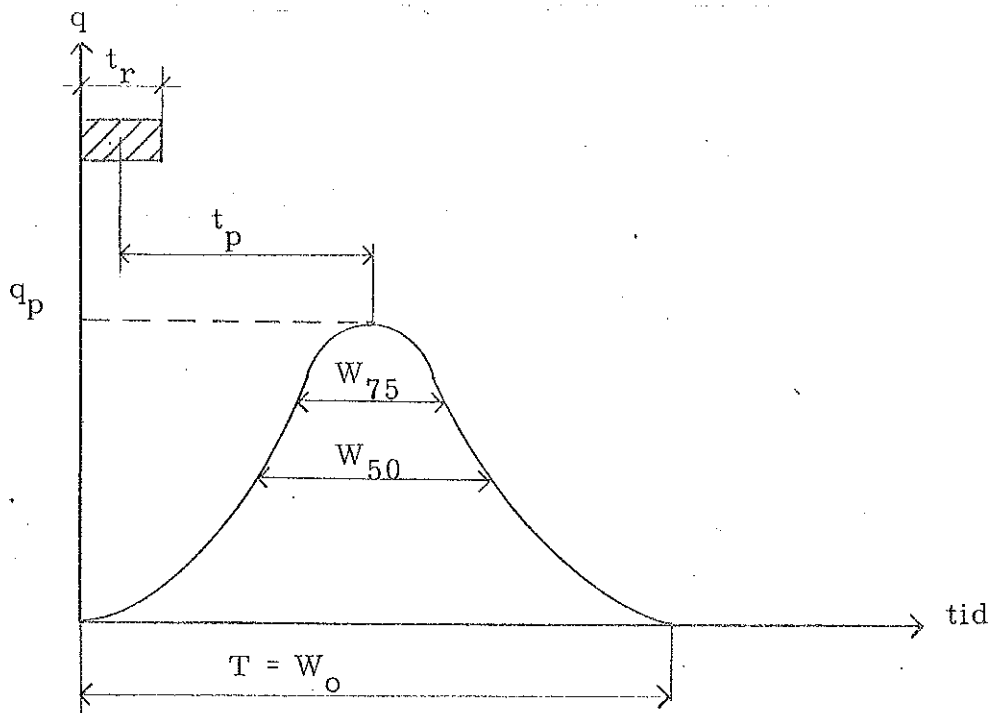


Fig. 2.1 Definition av parametrar i syntetiska enhetshydrografen

2:2 Beräkning av parametrar

För att få fram de olika parametrarna som ingår i beräkningarna, har vi använt oss utav de formler som Snyder (1) och Eagleson (2) har ställt upp om inte annat anges. Dessa formlers konstanter, är konstruerade så att de passar det engelska måttsystemet. Vi har därför transformerat om dessa till för Sverige mer passande enheter, (bil 1). Dessa konstanter har Eagleson och Snyder tagit fram genom att analysera avrinningar från ett

stort antal avrinningsområden med olika ytor och topografi. Konstanterna varierar naturligtvis från område till område, varför Egelson och Snyder har tagit fram medelvärden. Dessa värden bör således användas med viss reservation. Det bästa hade varit att för varje typ av områden analysera fram dess speciella konstanter.

2:21 Fördröjning t_p

Tiden mellan mittpunkten på det effektiva regnets varaktighet och maxflödets inträffande är lika med summan av flyttiderna på marken och i ledningarna.

$$t_p = t_M + t_L$$

Flyttiden på marken är svår att uppskatta. Den beror bl a av markens lutning, typ av yta och på avståndet mellan brunn och den tidsmässigt mest avlägsna punkten. Även andra faktorer, som inte tas upp här, torde påverka flyttiden.

Flyttiden på marken uppskattas enligt Weijman-Hane (5) ur formeln

$$l = k \cdot t_M^2$$

där

l = flytsträckan i m

k = en konst enligt tab. bil. 3.

t_M = flyttid i min

Flyttiden i ledningarna beror av hastigheten i dessa samt längden av ledningen. Hastigheten som är en funktion av ledningens lutning bestäms med hjälp av Colebrooks-diagram (bil. 2).

Flyttiden i ledningen uppskattas ur formeln

$$t_L = \frac{L}{\bar{v}}$$

där

\bar{v} = medelhastighet i m/s

L = ledningen längd i m

2:22

Avrinning: q, Q

Det maximala flödet för 1 mm effektivt regn erhålls som

$$q_p = \frac{Q_{\max}}{A} = K I_o = 914 I_o$$

där

q_p = maxflödet (l/s · ha)

Q_{\max} = maxflödet (l/s)

A = områdets area (ha)

I_o = medellutning (m/m)

K = flöde (l/s · ha)

Medellutningen består av två delar, dels markytans medellutning I_M dels dagvattenrörens medellutning I_L . Markytans medellutning erhålls som

$$I_M = \frac{\bar{H}}{\bar{L}}$$

där

\bar{H} = viktad medelhöjning, framräknad som arean under kurvan i area- höjd diagrammet (bil 5b) dividerad med områdets totala area.

\bar{L} = viktad medellängd, framräknad som arean under kurvan i area-längddiagrammet (bil 5c) dividerad med områdets totala area.

Dagvattenledningarnas medellutning erhålls som

$$I_L = \frac{\sum I_i L_i}{\sum L_i}$$

där

I_i = delledning i:s lutning

L_i = delledning i:s längd

Medellutning, I_o har vi fått genom att vikta de olika medellutningarna med medelflyttiderna.

$$I_o = \frac{I_M \cdot t_M + I_L \cdot t_L}{t_M + t_L}$$

där

t_M = vattnets flyttid på marken

t_L = vattnets flyttid i ledningarna

2:23

Varaktigheter T, W

Samtliga varaktigheter fås som en funktion av q_p .

$$W_0 = T = \frac{C_0}{q_p} = \frac{430}{q_p}$$

$$W_{50} = \frac{C_{50}}{q_p} = \frac{150}{q_p}$$

$$W_{75} = \frac{C_{75}}{q_p} = \frac{90}{q_p}$$

där C_i har dimensionen $\text{min} \cdot \text{s} \cdot \text{ha/l}$.

3 OMRÅDESBESKRIVNING

På bilaga 4 finns en karta som visar i vilken riktning fotografierna är tagna.

3:1 Läge

Det område som vi har använt oss utav, för att genomföra våra modellberäkningar med avseende på ytvattenavrinning, är beläget i Bergsjön, en stadsdel i norra Göteborg. Området ligger på en bergsplatå ungefär 100 m över havet och har en area av 16 ha. Begränsningslinjerna = vattendelare utgörs dels av Bergsjövägen i öster (bild 3.1), dels i norr av en skogsklädd bergskam som i halvcirkelform utgör en naturlig gräns mot närliggande områden (bild 3.2) och dels i sydväst av bostadshus som löper i en cirkelsektor (bild 3.3). Bebyggelsen består av 4 st 6-våningshus, 5 st 3-våningshus (bild 3.4) och ett köpcentrum i en våning.

Dessutom finns 2 st parkeringsdäck (bild 3.5), en telestation, en kiosk, en vändplats för bussar (bild 3.6), en vänthall för spårvagn, samt en bollplan (bild 3.7) och ett stort grönområde mitt i området (bild 3.8).

3:2 Marklutning

Se hypsografisk kurva bilaga 5 a-c.

Lutningarna är relativt stora i bergspartierna, medan de orörda områdena i närheten av husen lutar ganska måttligt. Exempelvis lutar skogspartiet i norr mellan 25 ‰ och 500 ‰ (se bild 3.2) medan gräsmattorna och asfaltytorna runt husen strax söder om skogsområdet lutar ganska måttligt, mellan 1 ‰ och 50 ‰ (se bild 3.4 och 3.8) med vissa smärre avvikelser i båda fallen.

3:3 Markförhållanden

Områdets ytor består till största delen av orörd mark, speciellt i norr och väster, och av asfalterade ytor. Gräsmattor har också en stor andel, företrädesvis i centrum av området. Tabellen nedan visar andelen mellan de olika markförhållanden som dominerar området.

Orörd mark	4, 614 ha
Asfalt	4, 467 ha
Gräsyta	3, 546 ha
Takyta	1, 628 ha

3:31 Ytans struktur

I skogspartierna består jorden oftast av barr i förruttnelse vilket blandat med

annan humus ger en starkt vattensugande jord, som maganiserar stora mängder vatten.

Ofta sticker berg upp ur gräsmattorna vilket medger att vatten kan infiltreras i kanten mellan berg och jord. (se bild 3.8). Mellan husen förekommer bl a planteringar och plattbelagda ytor (se bild 3.9). Skarvarna mellan plattorna är i vissa fall några centimeter breda, vilket ger möjlighet till infiltration. De sandytor som förekommer är oftast hårt packade med finkornt material, med undantag av sandlådor för barnen där dels sanden är uppluckrad i ytan dels en träsarg begränsar avrinningen.

Betongbeläggningarna är kvastade med ingjutna rännor för vattenavledning till brunnar.

Rabatter och buskar har en mycket varierande täthet men har samma jord som gräsmattorna.

Asfaltytorna är mycket homogena vilket innebär att det inte förekommer håligheter där vatten tydligt läcker ned. Vatten försvinner dock ner på en del ställen i det dränerande lagret strax under asfalten.

Takytorna består av papp och har lutningarna 22 % och 41 %. Detta gäller dock ej livsmedelshallen, korvkiosken, SL-kiosken och televerkets kiosk vilka har nästan plana tak.

3:4 Ledningar

Ledningssystemet består av betongrör med diametrar varierande mellan 225 mm och 800 mm. Den mest förekommande diametern är 225 mm. 800 mm:s ledningen är en transportledning mellan samlingspunkten för delledningarna och ned till mätstationen för avrinningen.

3:5

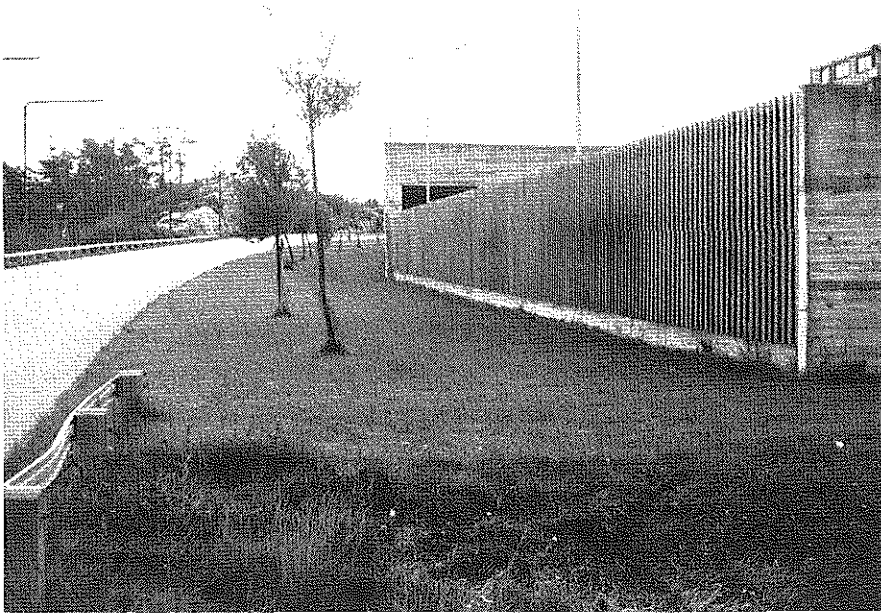
Fotografier

Bild 3.1

Bergsjövägen,
vattendelare i öster.

Bild 3.2

Bergskam,
vattendelare i norr.



Bild 3.3

3-vånings bostadshus,
vattendelare i sydväst.



Bild 3.4

3-våningshus inne
i området.

Bild 3.5

Parkeringsdäck.

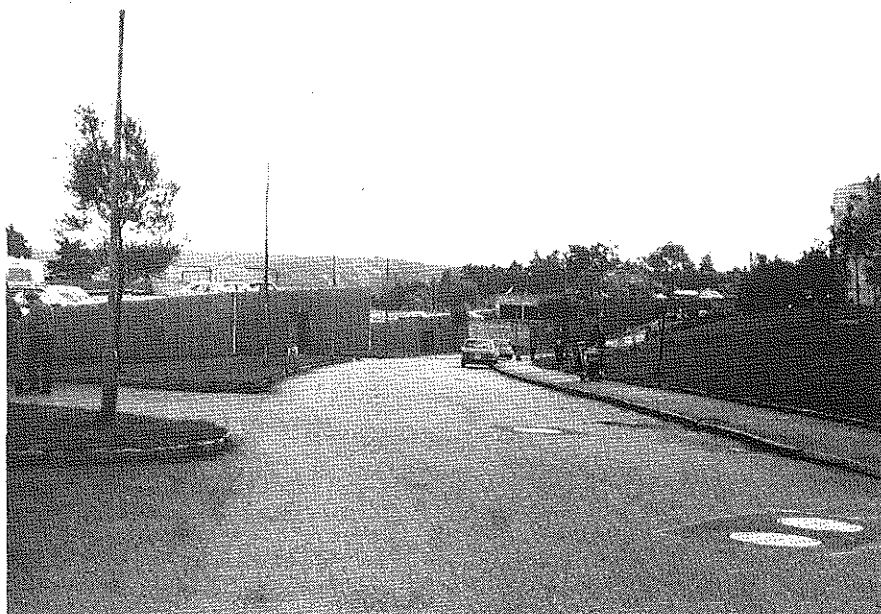


Bild 3.6

Vändplats för buss,
stor asfaltyta.



Bild 3.7
Lekplats med bollplan.

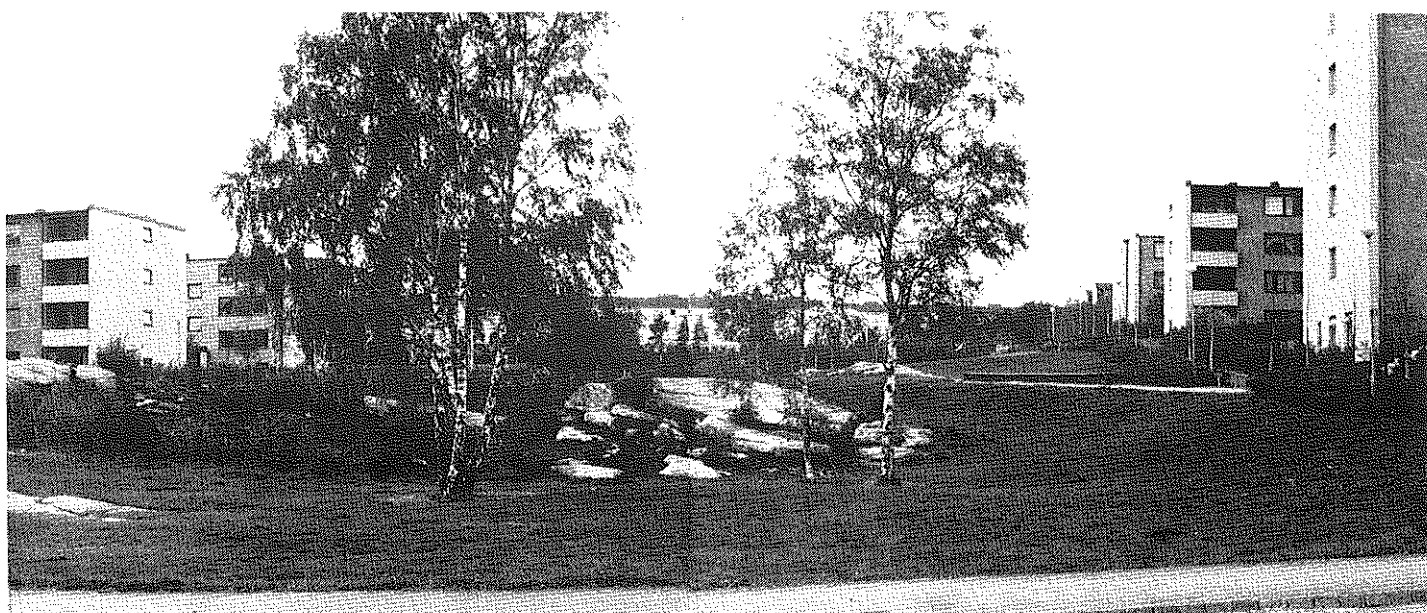


Bild 3.8 Orört markparti i centrum av området.



Bild 3.9
Gårdsplan mellan
3-våningshus.

4 MÄTUTRUSTNING

4:1 Regnmätning

För att simulera avrinningskurvor med hjälp av syntetiska enhetshydrografen har vi från en regnmätare tagit fram mätdata från ett visst antal regn. Denna regnmätare registrerar nederbörden enligt system Hellmann (flottörprincipen).

4:11 Regnmätarens uppställning.

Mätaren är uppställd i centrum av försöksområdets vattendelare. Öster om mätaren ligger en låg affärsbyggnad. Uppställningsplatsen är relativt skyddad och omges ej av något högre störande föremål.

Mätplatsen är inhängnat med ett 2 m högt staket, (bild 4.1)

4:12 Regnmätarens funktion

Nederbörden samlas upp i en tratt, med en area på 200 cm^2 , och leds ner i ett flottörhus. I flottörhuset flyter en flottör till vilken är kopplat ett ritstift. Vid nederbörd höjer sig flottören och ritstiftet ritar en kurva över den ackumulerade nederbörden som funktion av tiden på ett avlöpande papper. Genom att flottörhusets area är mindre än uppfångningstrattens area förstoras nederbördsmängden åtta gånger. När flottörhuset är fullt töms det genom en hävert (tömningstid 10-15 sek.) ner i ett kärl på botten av mätaren. Mätarens principiella utseende framgår av fig 4.1.

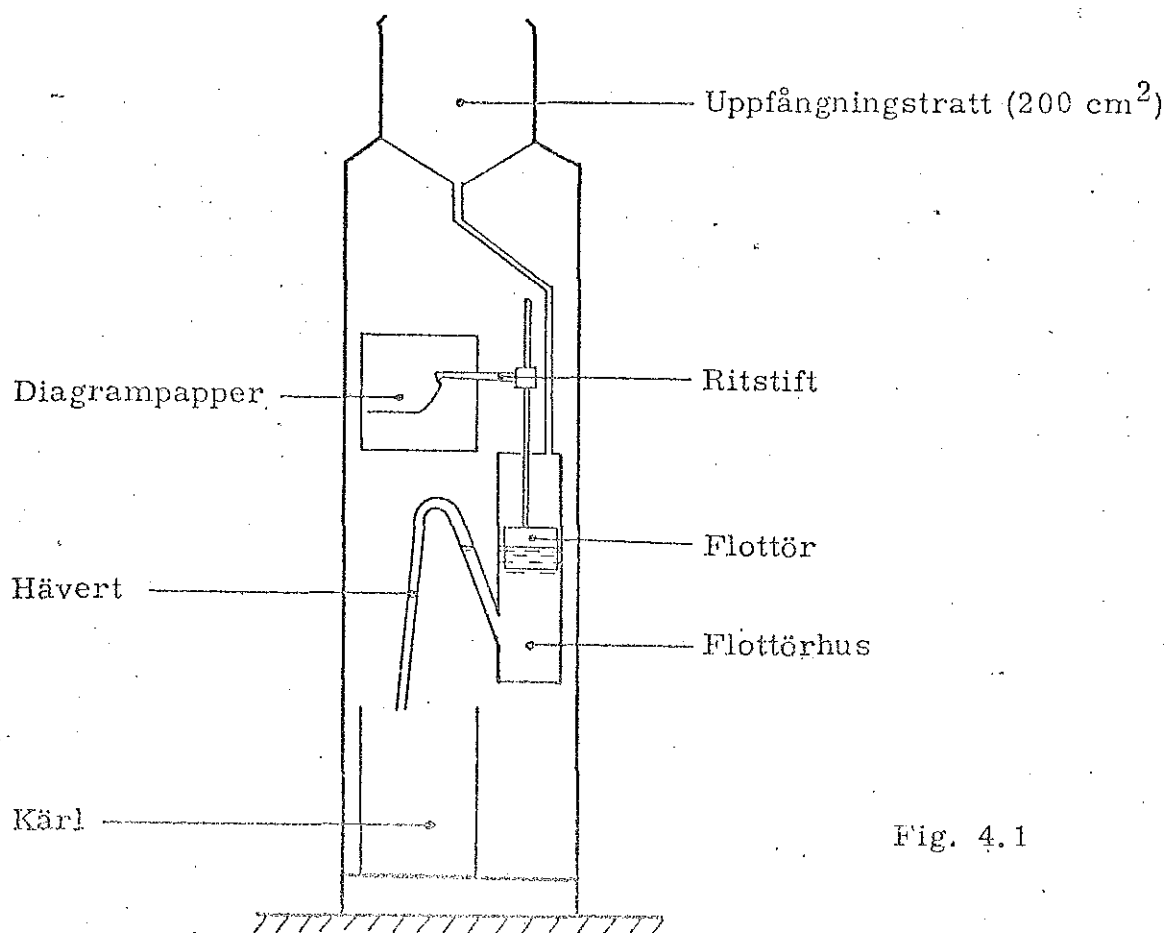


Fig. 4.1

Fig. 4.1 Nederbördsjätmarens principiella utseende.

Framdrivningshastigheten hos diagramappret är 40 mm/tim vilket medger utvärdering av nederbörd för tidsintervall ner till 2 - 3 min. I vår utvärdering har vi valt tidsintervallet 3 min. Nederbördshöjden kan utvärderas i tiondels mm. Exempel på en registrering framgår av fig. 4.2.

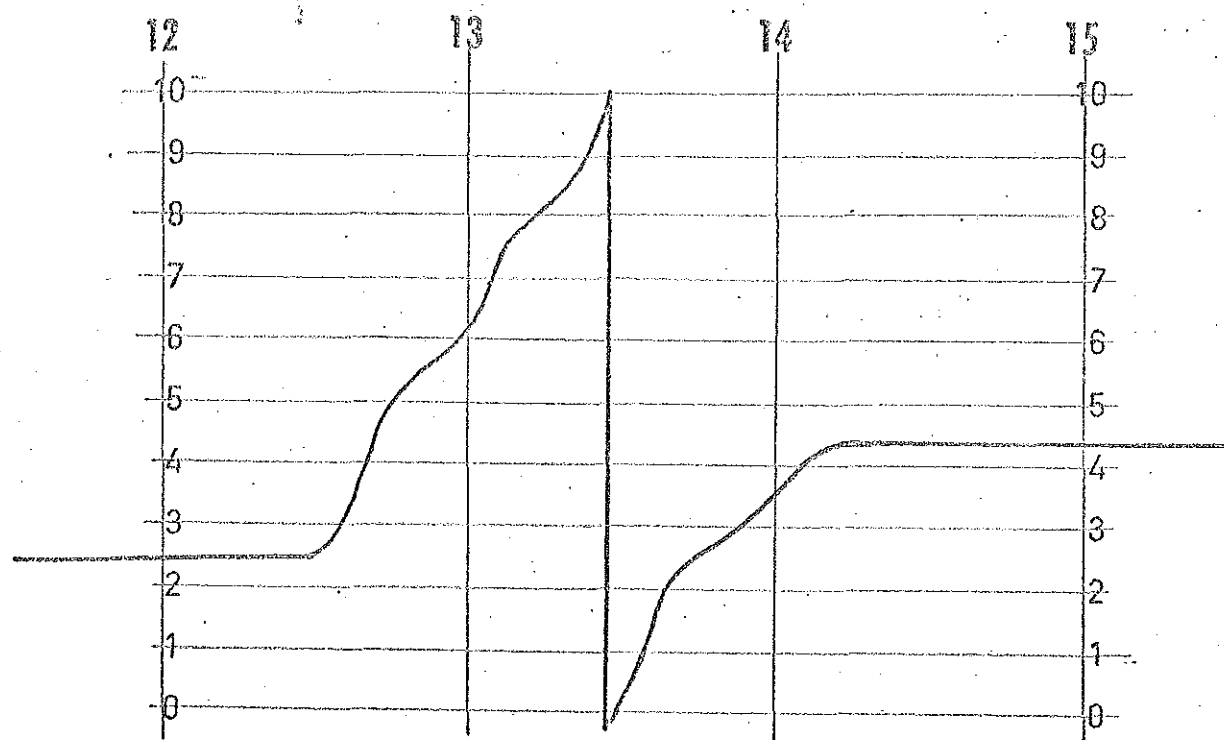


Fig. 4.2 Exempel på registrering av regn.

Vid varje servicetillfälle markeras exakt klockslag på remsan och vattenmängden i uppsamlingskärlet kontrollmätas.

4:2 Avrinningsmätare

För att få fram ett resultat har vi jämfört de beräknade avrinningskurvorna med de verkliga för varje regn. På detta sätt kan vi säga hur väl avrinningen simuleras med hjälp av syntetiska enhetshydrografmetoden.

Dessa data har vi fått från en mätstation som kontinuerligt mäter avrinning från försöksområdet.

4:21 Avrinningsmätaren läge

Dagvattenledningarna från avrinningsområdet samlas i en gemensam utloppsledning i områdets östra del. Där övergår ledningen ϕ 800 i en bergsravin. I direkt anslutning till utloppsledningen finns två dammar för uppmätning av avrinningsflödet. Den ena dammen är för uppmätning av små flöden, den andra för stora flöden. Vi har enbart använt oss av data från dammen för stora flöden, (bild 4.2).

4:22 Mätstationens funktion

I anslutning till resp. damm finns bandskrivpeglar av typ OTT Kempten. Stora mätdammen är uppbyggd av liggande råspont på regler. Tätningen mot berg är utförd med betong. Själva mätöverfallet består av en skarpkantad aluminiumplåt med 120° vinkel. (Thompson överfall). Pegeln är utrustad med en flöttör, ϕ 250, och återger höjdvariationerna i skala 1:2, 5. Vid service på pegeln antecknas exakt tid på pappersremsan. Flödet över överfallet har vi beräknat med hjälp av följande formel:

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot t \cdot g(\phi/2) h^{5/2} (\mu_0 + kh^{3/2})$$

där k och μ är konstanter, ϕ är vinkeln i överfallet och h är vattenhöjden i meter. Enligt tidigare kalibrering är $k = 0,25$ och $\mu_0 = 0,6$.

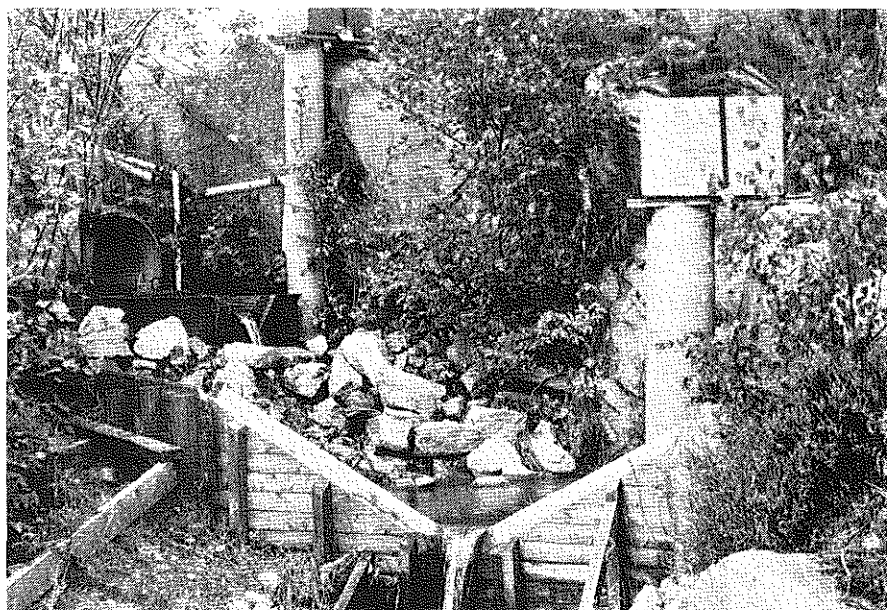
4:3

Fotografier

Bild 4.1

Regnmätare.

Bild 4.2

Mätstation för
avrinning.

5. BERÄKNING AV SYNTETISKA ENHETSHYDROGRAFEN FÖR OMRÅDET

Vi har valt att beräkna syntetiska enhetshydrografen för ett enhetsregn med 3 min varaktighet och en volym av 1mm. Alla längder, höjder och areor har vi med hjälp av linjal, höjdkurvor och planimeter mätt oss till på kartor (skala 1:1000) som Janis (6) har framtagit.

5:1 Fördröjningen, t_p

För att få fram fördröjningen, t_p , behöver vi känna till flyttiden dels på marken, t_M , och dels i ledningarna, t_L .

5:11 Flyttid på marken, t_M

Flyttiden på marken är den tid det tar för vattnet att rinna till en brunn. På hela området finns 477 st brunnar, vilket medför att varje brunn i genomsnitt tar emot vatten från en yta som är 338 m^2 . Denna yta har vi ansett som cirkulär, således blir radien lika med den aktuella flytsträckan $r = 1 = 10,35 \text{ m}$. Flyttiden för denna sträcka uppskattas enligt tidigare med formeln

$$t^2 = \frac{1}{k}$$

där

$$k = f(I_M, \phi_0)$$

Marklutningen, I_M , fås som $I_M = \frac{H}{L} = 47,8^\circ/100$. (Bil. 5 a b c) Avrinningskoefficienten, $\phi_0 = 0,43$ enligt bil. 10 för hela området. Då de flesta brunnar ligger i asfalt eller betongområden har vi valt $\phi_0 = 0,65$. Med dess ingångsvärden i tab. (bil. 3) fås efter extrapolering $k = 0,65$. Detta medför att $t_M = 3,99 \text{ min}$.

5:12 Flyttid i ledningarna, t_L

Dagvattenledningarna har vi delat upp i två delar (bil. 7). En del (1) som består av flera delledningar i området samt en del (2) som transporterar vattnet från området till mätpunkten för våra flödesmätningar. Flyttiden fås ur formeln

$$t_L = \frac{\bar{L}}{\bar{V}}$$

där \bar{L} är medelflytsträckan i ledningarna framtaget enligt bil. 6 a b. \bar{V} är vattnets medelb hastighet uppskattad enligt Colebrooks diagram (bil. 2) samt korrektionsvärde för delvis fylld ledning (bil. 3). Ingångsvärdena

till Colebrook diagrammet, ledningslutning och ledningsdiameter, har vi beräknat med hjälp av Janis (6) uppmätta värden. Vi har använt oss utav medellutning och medeldiameter som erhålls ur nedanstående formler

$$I_L = \frac{\sum L_i \cdot I_i}{\sum L_i} \quad \text{och} \quad \phi_m = \frac{\sum L_i \phi_i}{\sum L_i}$$

som ger med längder och avvägningar uppmätta inom forskningsprojektet:

$$I_{L1} = 38,3 \text{ } ^\circ/\text{oo} \quad I_{L2} = 86 \text{ } ^\circ/\text{oo}$$

och enligt bilaga 8:

$$\phi_{m1} = 285 \text{ mm} \quad \phi_{m2} = 800 \text{ mm}$$

Med ett antaget fyllnadsdjup i ledningarna av 0,5 d fås enligt $V_{df} = V_f \cdot \text{konst.}$

$$\begin{aligned} V_{df1} &= 2,45 \text{ m/s} & \Rightarrow & t_{L1} = 2,14 \text{ min} \\ V_{df2} &= 5,9 \text{ m/s} & \Rightarrow & t_{L2} = 0,53 \text{ min} \end{aligned}$$

5:13 Total tidsfördröjning, t_p

Den totala fördröjningen blir.

$$t_p = t_M + t_{L1} + t_{L2} = 6,66 \text{ min}$$

5:2 Avrinning q, Q

För bestämning av det maximala flödet behöver vi enligt tidigare veta områdets area samt områdets medellutning. Områdets area har uppmätts till $A = 16,01 \text{ ha}$. Medellutning, I_o , har vi beräknat utgående från markens lutning och lutningarna i ledningarna i själva området. Ledningen som transporterar vattnet från området till vår kontrollpunkt har inte medräknats på grund av att det på denna sträcka inte tillkommer något extra vatten, utan vattnet som transporteras är det som kommit från området. Denna sträcka kan alltså inte förändra totala flödet i ledningen. Medellutningen, I_o , erhålls då som

$$I_o = \frac{I_M \cdot t_M + I_{L1} \cdot t_{L1}}{t_M + t_{L1}}$$

Med tidigare beräknade värden på lutningar och flyttider fås $I_0 = 44,5^0/00$.
Maximala flödet kan nu bestämmas som

$$Q_{\max} = 914 \cdot I_0 \cdot A = 650 \text{ l/s eller}$$

$$q_p = 40,7 \text{ l/sha}$$

5:3 Varaktigheter T, W

Varaktigheterna är en funktion av q_p och blir

$$W_0 = T = \frac{430}{q_p} = 10,56 \text{ min}$$

$$W_{50} = \frac{150}{q_p} = 3,68 \text{ min}$$

$$W_{75} = \frac{90}{q_p} = 2,21 \text{ min}$$

Nu har vi således beräknat samtliga parametrar som erfordras för att syntetiska enhetshydrografen skall kunna konstrueras.

Vi har beräknat: (1 mm regn under 3 min)

$$t_p = 6,66 \text{ min}$$

$$Q = 650 \text{ l/s}$$

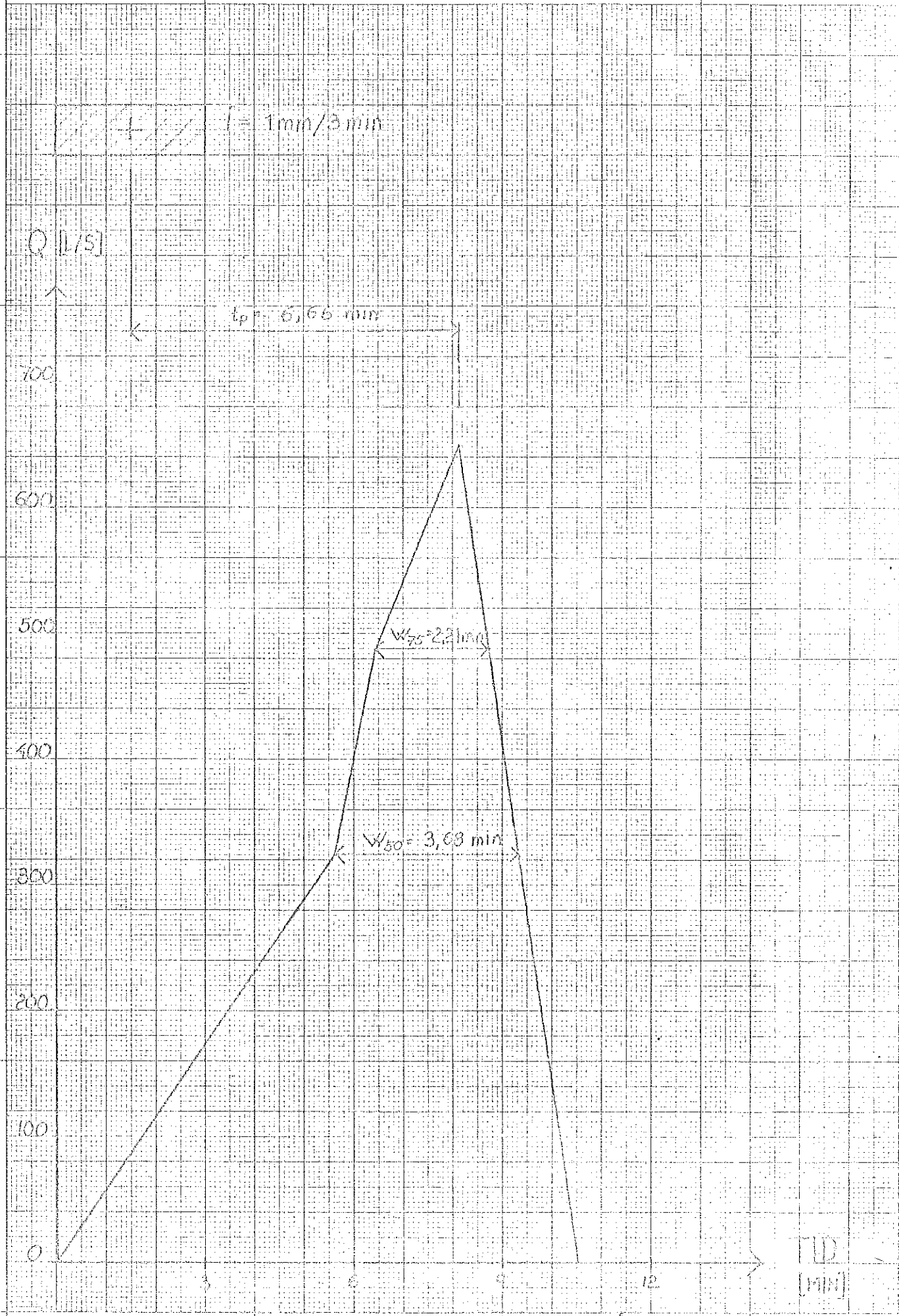
$$W_0 = 10,56 \text{ min}$$

$$W_{50} = 3,68 \text{ min}$$

$$W_{75} = 2,21 \text{ min}$$

Med dessa parametrar får hydrografen följande utseende:

SYNTEKISKA ENHETSHYDROGRAFEN



6. JÄMFÖRELSE MELLAN BERÄKNAD OCH VERKLIG AVRINNING

För att kunna göra en bedömning av resultatet av enhetshydrografen med tillämpning på området i Bergsjön har vi jämfört våra framräknade kurvor med de avrinningskurvor vi fått fram genom mätningar av regn och avrinning.

Genom att från ett regn ta bort den del som inte avrinner från ytorna, får man fram det effektiva regnet. Anledningen till att inte allt avrinner är t ex magasinering, bortdränering, infiltration, att hela området inte medverkar osv.

Eftersom vi vet regnintensitet och områdets yta kan vi då få fram den totala mängden regn som faller över området. Ur avrinningskurvorna kan vi, genom planimetrering, få fram den mängd vatten som ur dagvattenledningen lämnar området. Genom att för varje regn dividera avrinningsvolymen med regnvolymen, erhåller vi varje regns effektivitet. Medelvärdet av dessa effektiviteter för de valda regnen blir 26,3%, (bil. 9). Att ur områdeskaraktäristika beräkna en sådan volymavrinningskoefficient är mycket svårt, och någon litteratur om detta har vi ej påträffat.

Vid beräkning av avrinning från regn med hjälp av enhetshydrografen har vi använt oss av varje regns verkliga effektivitet. Denna effektivitet har vi multiplicerat med varje regnintervall i ett regn. På så sätt tar vi bort procentuellt lika stor volym av varje regnintervall.

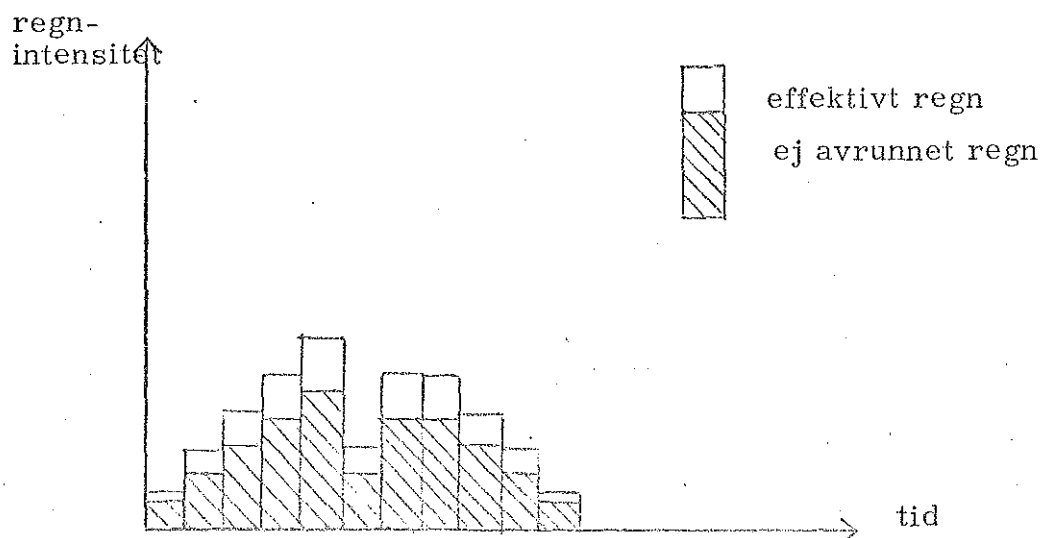


Fig. 6.1 Avrinningen procentuellt lika för varje regnintervall.

Det finns flera andra sätt att ta hänsyn till effektiviteten, bl a har vi undersökt:
 1) att ta bort en viss konstant mängd av varje regnintervall (fig. 6.2) och 2) att effektiviteten ökar med tiden (fig. 6.3.)

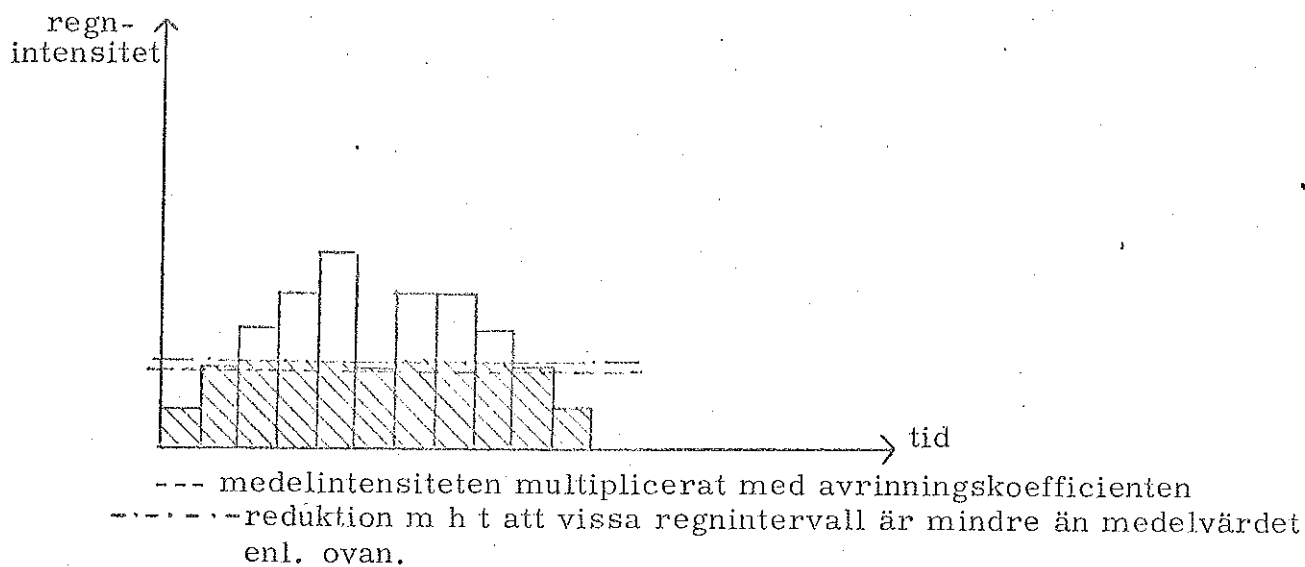


Fig. 6.2 Avrinningen består av en konstant mängd av varje regnintervall

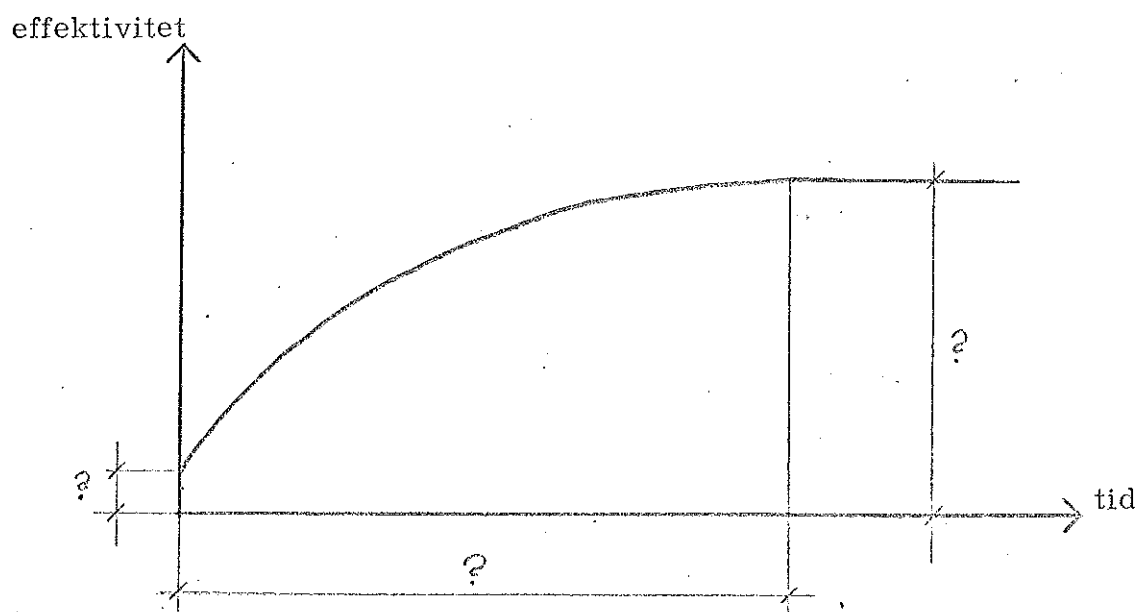


Fig. 6.3 Effektiviteten varierar med tiden på ett regn.

Svårigheterna var vid första fallet att vid långvariga regn försvann flera regnintervall p g a att man måste ta bort en viss total mängd. Detta gjorde att syntetiska enhetshydrografens form inte alls stämde med de uppmätta hydrografernas och det beräknade toppvärdet blev för högt. Det andra fallet vid ökande effektivitet, var svårigheterna att bestämma hur lång tid det tar innan effektiviteten har nått sitt max-värde, vilken effektivitet den första regnstapeln har och vilka maxeffektivitet man kan räkna med. På grund av att denna osäkerhet uteslöt vi denna metod.

På bilagorna 11 - 22 har vi lagt in de beräknade avrinningarna tillsammans med den verkliga avrinningen. Som resultat av detta har vi sett att formen på den beräknade avrinningen stämmer väl överens med den verkliga. Tiden för toppvärdets inträffande är i de flesta fallen bra, men det finns starkt avvikande fall också. Vad som är viktigast när det som här rör sig om avrinning från ett enda område är toppvärdet och i viss mån formen på avrinningskurvan.

7. STATISTISK JÄMFÖRELSE

7:1 Statistiska metoder

För att skaffa oss en uppfattning om syntetiska enhetshydrografens noggrannhet har vi gjort statistiska jämförelser mellan de uppmätta hydrograferna och de hydrografer med verklig effektivitet som räknats fram med hjälp av syntetiska enhetshydrografen. Vi har använt oss utav tre olika jämförelser som tidigare använts för att få fram hydrografers korrelation och finns beskrivna i (8). Med de tre metoderna får vi fram

Correlation Coefficient, R

Special Correlation Coefficient, R_s

Integral Square Error, ISE

7:11 Correlation Coefficient, R

Om det antages finnas ett linjärt samband mellan den observerade hydrografen och den framräknade är den linjära korrelationskoefficienten definierad enligt följande:

$$R = \frac{N \sum_{i=1}^N O_i C_i - \left(\sum_{i=1}^N O_i \right) \left(\sum_{i=1}^N C_i \right)}{\left[\left(N \sum_{i=1}^N O_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N O_i \right)^2 \right) \left(N \sum_{i=1}^N C_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N C_i \right)^2 \right) \right]^{1/2}}$$

där

N = antal observationer

O_i = observerade värden

C_i = framräknade värden i = regn nr. i

Koefficienten R har följande egenskaper

- 1) $-1 \leq R \leq +1$
- 2) Ju närmare värdet på R är +1 eller -1 desto bättre är korrelationen
- 3) Ett värde på R i närheten av 0 anger att det inte finns någon korrelation.

7:12 Special Correlation Coefficient, R_s

Den speciella korrelationskoefficienten definieras som

$$R_s = \frac{2 \sum_{i=1}^N O_i C_i - \sum_{i=1}^N C_i^2}{\sum_{i=1}^N O_i^2}$$

Koefficienten R_s , har följande egenskaper:

- 1) $R_s \leq + 1$
- 2) $R_s = + 1$ om $O_i = C_i$ för $i = 1, N$.
- 3) $R_s = 0$ om $C_i = 2O_i$

7:13 Integral Square Error, ISE

ISE definieras som

$$ISE = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (O_i - C_i)^2 \right]^{1/2}}{\sum_{i=1}^N O_i} \times 100$$

Ju mindre ISE är desto bättre stämmer hydrograferna överens.

7:2 Jämförelse mellan observerad och framräknad hydrograf

Vi har funnit det lämpligt att för den statistiska jämförelsen använda oss utav parametrarna maxflöde (Q_{max}), volym (V) samt tiden från regnets början till maxflödets inträffande (T).

För att få ett mått på vad som är bra och dålig överensstämmelse har vi använt oss utav de i (8) uppställda intervallen:

$0,99 \leq R, R_s < 1,00$	Utmärkt
$0,95 \leq R, R_s < 0,99$	Mycket bra
$0,90 \leq R, R_s < 0,95$	Bra
$0,85 \leq R, R_s < 0,90$	Tillfredsställande
$0,00 \leq R, R_s < 0,85$	Dålig
$0,0 \% < ISE \leq 3,0 \%$	Utmärkt
$3,0 \% < ISE \leq 6,0 \%$	Mycket bra
$6,0 \% < ISE \leq 10 \%$	Bra
$10 \% < ISE \leq 25 \%$	Tillfredsställande
$25 \% < ISE$	Dålig

För våra tolv olika hydrografer har vi fått följande värden: (se bil. 23)

	R	R _s	ISE
Maxflöde, Q _{max}	0,96	0,96	6,6%
Volym, V	0,99	0,99	3,3%
Tid, T	0,93	0,96	6,5%

Alla statistiska värden på överensstämmelsen mellan observerad och framräknad hydrograf hamnar i intervallet "Bra" eller bättre.

Den förträffliga överensstämmelsen vad gäller volymen faller sig helt naturlig, eftersom vi i våra beräkningar har använt den verkliga effektiviteten på avrinningen. Nämnas bör också att ännu bättre maxflödeskorrelation troligen hade kunnat konstateras om regnets effektivitet som funktion av regnintensitet och tid hade varit känd.

Den något sämre tidskorrelation kan bero dels på att regnmätaren och flödesmätaren inte registrera på rätt klockslag dels på att våra beräkningar av flyttiden inte är exakta.

8 DATAPROGRAM

8:1 Allmänt

För att vi skall kunna pröva flera olika regn och effektiviteter, och därigenom kunna få fram ett bättre resultat, har vi gjort ett dataprogram. Detta program räknar fram avrinningen från ett regn, med hjälp av en given enhetshydrograf och givna effektiviteter. Med hjälp av ett dataprogram kan vi även räkna fram mera komplexa regn. Hur programmet är konstruerat framgår av flödes-schemat på sidan 31.

8:2 Indata

Ur syntetiska enhetshydrografen får man fram värden för olika tidsintervall. Dessa värden skall vart och ett multipliceras med de olika effektiva regn-intensiteterna. Detta ger en mängd avrinningsvärden, som skall adderas på sådant sätt att man får en förskjutning i tiden i enlighet med hur det verkliga regnet ser ut. Indatavärden ur syntetiska enhetshydrografen blir de värden som motsvarar de valda tidsintervallen. Då maxvärdet på enhetshydrografen oftast ligger inom ett tidsintervall måste även detta medtagas. För att få kontinuitet i programmet måste man då även ta med värden mellan de övriga tidsintervallen, så att tidsförskjutningen i intervallen stämmer med den tidsförskjutning som maxvärdet ligger inom sitt intervall.

Om maxvärdet inte ligger inom ett tidsintervall utan på gränsen mellan två skall man ändå ta med ett värde mellan varje tidsintervall, då programmet är uppgjort för att ta hänsyn till värden inom ett tidsintervall.

8:21 Specifikation av indata

Kort nr 1 betecknar antal regn, formatet två heltal.

Kort nr 2 betecknar antal värden i enhetshydrografen, formatet två heltal.

Kort nr 3 anger värden på enhetshydrografen, 20 värden per kort, med format fyra heltal.

Dessa tre kort skall ligga först då de är samma för alla regn inom samma område. För de olika regnen blir indata enligt nedan:

Kort nr 4, det första talet anger hur många regnintensiteter detta regn har, format fyra heltal. Det andra talet betecknar hur många tidsintervall som maskinen skall räkna. Detta räknar man ut genom följande formel:

$$2(a-1)+b$$

a = antal regnintensiteter

b = antal värde på enhetshydrografen

Det sista värdet anger hur många olika effektiviteter som skall medräknas, vilket blir samma som antalet regnintensiteter, format 4 heltal.

Kort nr 5 anger de olika regnintensiteterna i mm/hr, 12 st värden på varje kort format 3 heltal + 1 decimal.

Kort nr 6 anger år, mån, dag, tim, min. Två siffror för varje, t ex 74 08 08 14 15.

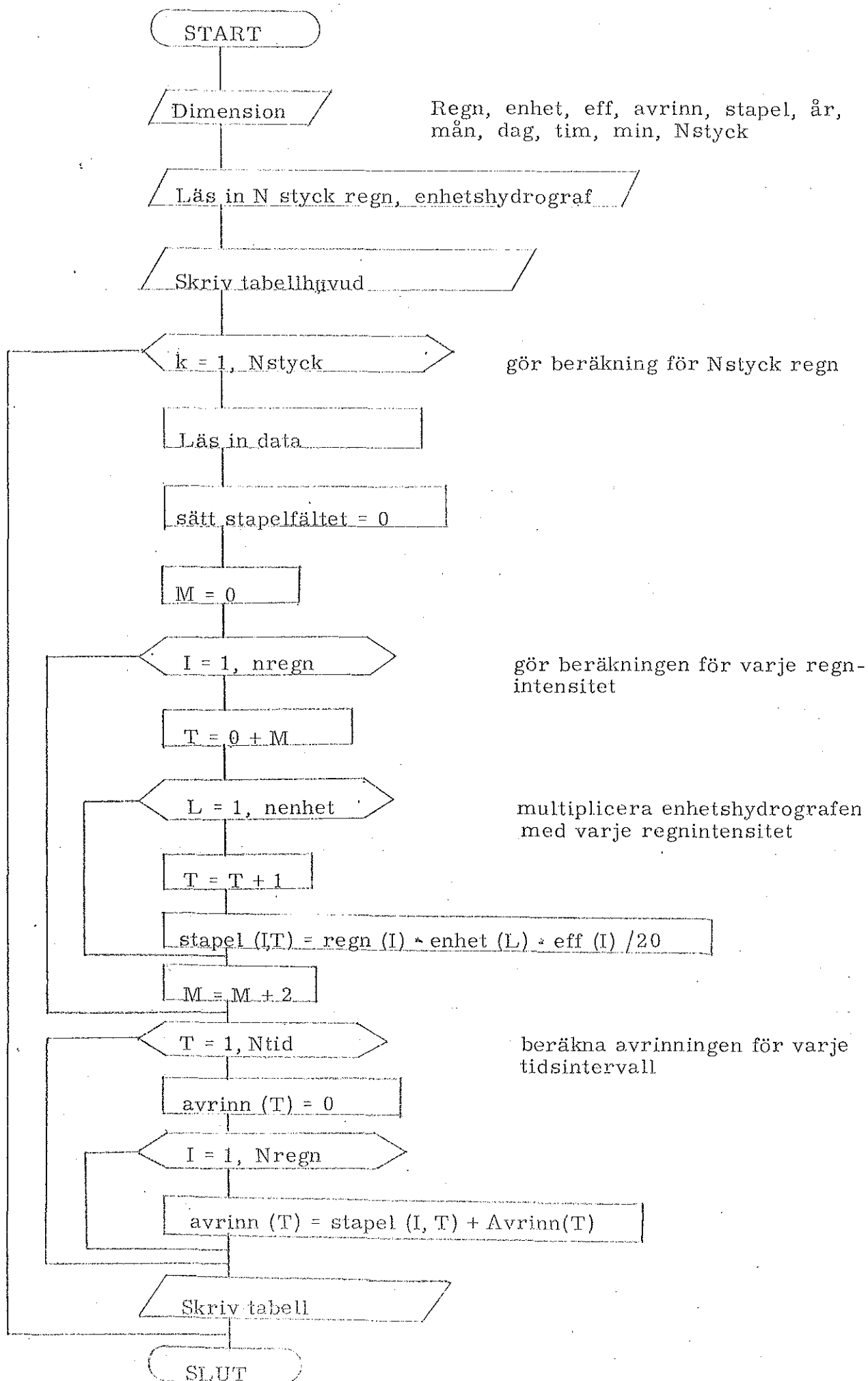
Kort nr 7 anger effektiviteten i % för varje regnintensitet, 12 st på varje kort, format ett heltal + 3 decimaler.

8:3

Utskrift

I utskriften får man ut avrinningsvärden i l/s som plottas i diagram.

Flödesschema



DATAPROGRAM

```

DIMENSION REGN(50), ENHET(20), EFF(50), AVRINN(118), STAPEL(50,118)
INTEGER AR, MAN, DAG, TIM, MIN, T, ENHET
READ 150, NSTYCK
READ 160, NENHET
READ 120, (ENHET(J), J=1, NENHET)
PRINT 210
DO 60 K=1, NSTYCK
READ 100, NREGN, NTID, NEFF
READ 120, (REGN(J), J=1, NREGN)
READ 110, AR, MAN, DAG, TIM, MIN
READ 140, (EFF(J), J=1, NEFF)
DO 50 I=1, 50
DO 50 J=1, 118
50 STAPEL(I, J)=0
M=0
DO 20 I=1, NREGN
T=0+M
DO 10 L=1, NENHET
T=T+1
STAPEL(I, T)=REGN(I)*ENHET(L)*EFF(I)/20
10 CONTINUE
M=M+2
20 CONTINUE
DO 30 I=1, NTID
AVRINN(I)=0
DO 40 I=1, NREGN
AVRINN(I)=STAPEL(I, T)+AVRINN(I)
40 CONTINUE
30 CONTINUE
PRINT 200, AR, MAN, DAG, TIM, MIN
PRINT 205, (AVRINN(T), T=1, NTID)
60 CONTINUE
100 FORMAT (3I4)
110 FORMAT (5I2)
120 FORMAT (12F5.1)
130 FORMAT (20I4)
140 FORMAT (12F5.3)
150 FORMAT (I2)
160 FORMAT (I2)
210 FORMAT (//, 40X, 'CHALMERS TEKNISKA HOGSKOLA', /, 40X, 'AVRINNINGSSTUDIE',
*P I BERGSJON', /, 40X, 'BERAKNING AV AVRINNING MED HJALP AV', /, 40X,
**SYNTETISKA ENHETSHYDROGRAFEN', /, 40X, 'VARDEN I L/S', /)
200 FORMAT (////, 40X, 'REGN DEN', I1, I2, I2, I2, 6X, 'KL', I2, ' ', I2, /)
205 FORMAT (24X, 8F9.2, /)
STOP
END

```

8:4 Exempel på dataprogrammet

Som exempel har vi valt ett regn som föll den 23/7 - 1973

Detta regn började kl. 13.45 och höll på till kl. 14.18. Indelat i treminutersintervall blir det 11 st regnintervall. Effektiviteten väljes i detta exempel till 26,3%, vilket var medelvärdet bland de framtagna regnen, som används på alla regnintervall.

Indatakortet kommer nu att se ut såsom visas på nästa sida.

Om man kör dessa värden i datamaskinen får man följande utskrift.

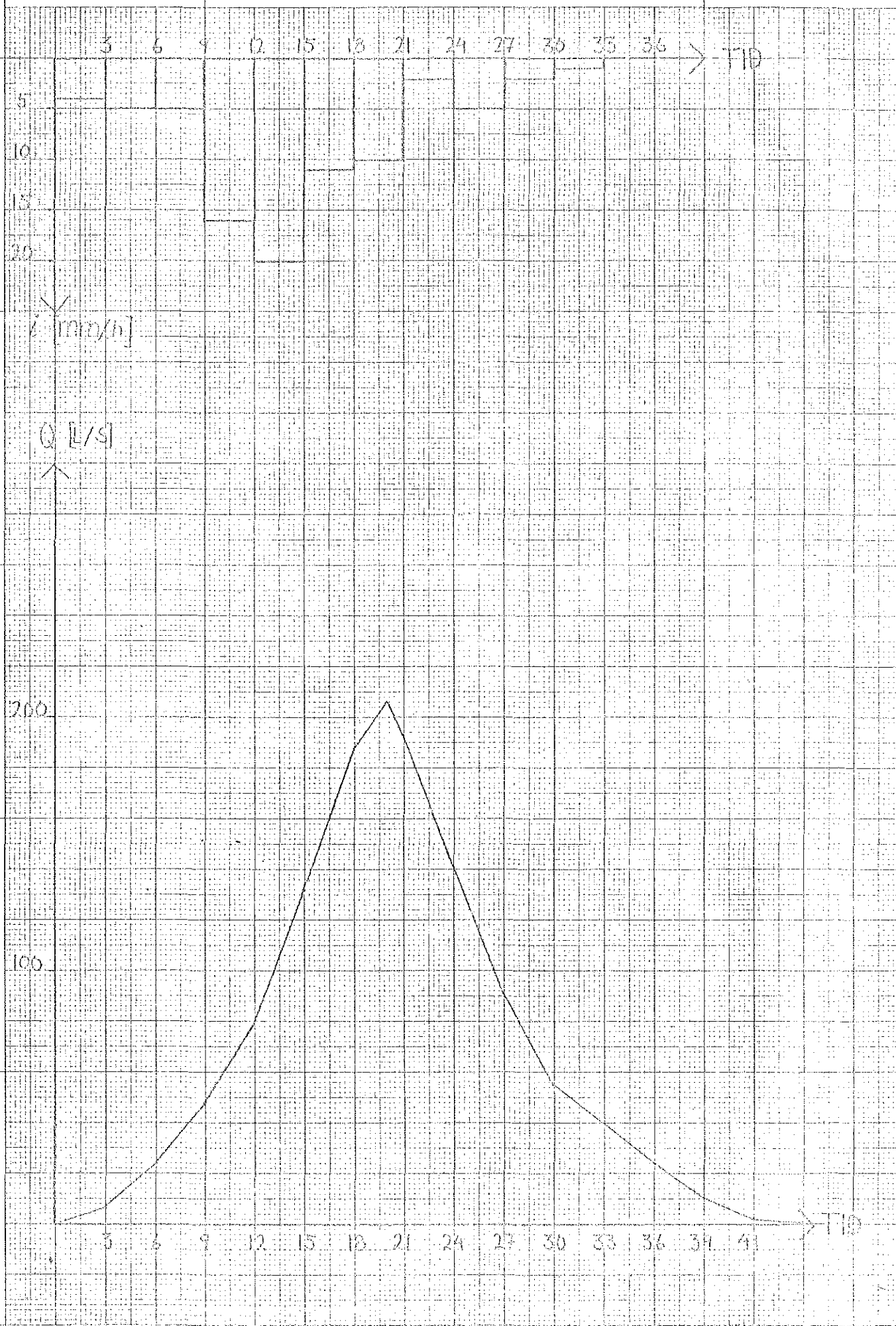
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
AVRINNINGSSSTUDIER I BERGSJÖN
BERÄKNING AV AVRINNING MED HJÄLP AV
SYNTEITISKA ENHETSHYDROGRAFEN
VÄRDEN I L/S

REGN DEN 73 723				KL13:45			
0.0	4.37	6.63	16.40	24.17	42.44	47.81	71.42
79.37	112.08	132.47	178.13	187.72	206.39	193.13	163.05
141.94	116.94	91.97	64.79	55.93	49.81	40.11	30.03
24.67	15.67	9.98	4.50	2.45	0.85	0.17	0.0

Ur denna utskrift kan man rita upp en avrinningskurva. Toppvärdet (206,39) är enligt syntetiska enhetshydrografen förskjutet 1,96 min (1 min 57,5 sek) inom sitt intervall.

Exemplet är uppritat på sidan 35.

EXEMPEL FÖR DATORBERÄKNING



73 25 01 - 523 A4 - 1 x 1 mm

I vårt examensarbete har vi med hjälp av ett försöksområde, som ligger i Bergsjön, en stadsdel i Göteborg, utfört dagvattenstudier. Dessa studier har tillgått så att vi med syntetiska enhetshydrografen har av framtagna regnvärden beräknat avrinningen från försöksområdet. Syntetiska enhetshydrografen har vi räknat fram enbart med hjälp av kartmaterial. För att kunna få en uppfattning om riktigheten i beräkningarna har vi jämfört våra beräknade avrinningar med de verkliga för varje regn. Den verkliga avrinningen mäts i en damm, dit allt vatten från området samlas. Resultatet har blivit att de beräknade avrinningskurvorna mycket väl stämmer överens med de uppmätta.

En statistisk jämförelse har givit att vid användandet av regnens verkliga effektiviteter är resultatet mycket bra. Regnens verkliga effektiviteter har vi kunnat få fram då vi har regndata och avrinningskurvor.

Svårigheterna i metoden syns ligga i hur man beräknar effektiviteten och de konstanter som ingår i formlerna vid framräknandet av enhetshydrografen. Man skall dock tänka på att svårigheterna med effektiviteten ligger inte enbart i denna metod, utan gäller så gott som alltid vid dagvattenstudier. De konstanter som vi i beräkningarna har använt oss av, har vi fått från amerikanska undersökningar.

Vi tycker att metoden är bra och att med lite större kunskap om effektiviteten skulle metoden passa utmärkt för dimensionering av ledningar, då det går snabbt att räkna fram den syntetiska enhetshydrografen och med hjälp av ett dimensionerande regn beräkna avrinningen.

10 LITTERATURFÖRTECKNING

- (1) Snyder, F. F.
Synthetic Unit Hydrographs
(Transactions, AGU Vol. 19, s. 447, 1938)
- (2) Eagleson, P. S.
Unit Hydrograph Characteristics for Sewered Areas
(ASCE, Hydraulics, div. March 1962)
- (3) Lind, Falkenmark.
Hydrologi
(Studentlitteratur, Lund 1972)
- (4) Rahm, Sjöberg.
Hydrologi
(Särtryck ur handboken Bygg del 1A, 1971)
- (5) Weijman-Hane.
Kompendium i VA-teknik
(Chalmers Tekniska Högskola, 1972)
- (6) Janis, S.
Dagvattenstudier i Bergsjön.
(Examensarbete i vattenbyggnad 1972:10 Chalmers Tekniska Högskola)
- (7) Arnell, Sjölander
Mätning av nederbördsintensiteten i Göteborgsregionen,
Stationsbeskrivning.
(Meddelande nr 10, Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers
Tekniska Högskola i samarbete med VA-verket i Göteborg, Göte-
borg 1974).
- (8) Marsalek, Dick, Wisner, Clarke.
Comparative evaluation of three urban runoff models.
(22nd Annual Specialty Conference of the Hydraulics Div
of ASCE, July 31 - August 3, Knoxville 1974).
- (9) Sherman, L. K.
Stream flow from rainfall by the unit graph method, Eng News-Record,
vol 108, 1932.

SORTOMVANDLING

Enligt Eaglesson (2) får man för 1 inch = 1 tum effektivt regn:

Avbördningen

$$q_p = \frac{Q_{\max}}{A} = 2,13 \cdot 10^5 \cdot I$$

Varaktigheterna

$$W_{75} = \frac{21.000}{q_p}$$

$$W_{50} = \frac{35.500}{q_p}$$

$$W_0 = \frac{100.000}{q_p}$$

där

q = maxflöde uttrycks i cfs/(mi)²

Q = maxflöde uttrycks i cfs

A = area uttrycks i (mi)²

I = lutning

W = varaktighet uttrycks i (min)

$$1 \frac{\text{cfs}}{(\text{mi})^2} = 0,109 \text{ l/sha}$$

$$1 \text{ inch} = 25,4 \text{ mm}$$

detta medför att för 1 mm effektivt regn fås

$$q_p = \frac{Q_{\max}}{A} = \frac{2,13 \cdot 10^5 \cdot 0,109}{25,4} = 914,055 \cdot I$$

$$W_{75} = \frac{21.000 \cdot 0,109}{q_p \cdot 25,4} = \frac{90,1}{q_p}$$

$$W_{50} = \frac{35.500 \cdot 0,109}{q_p \cdot 25,4} = \frac{152,3}{q_p}$$

$$W_0 = \frac{100.000 \cdot 0,109}{q_p \cdot 25,4} = \frac{429,3}{q_p}$$

där

q_p = uttrycks i l/sha

Q = uttrycks i l/s

A = uttrycks i ha

W = uttrycks i min



FRIKTIONSFÖRLUST I RÖRLEDNINGAR
 DIAGRAM ENLIGT COLEBROOKS FORMEL

$$\frac{1}{\lambda} = -2 \log \left[\frac{k/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right]$$

k = 1,0 mm
 VATTEN 10°C

BILAGA

FRIKTIONS-
 FÖRLUST %

LEDNINGSDIAMETER mm

FRIKTIONS-
 FÖRLUST %

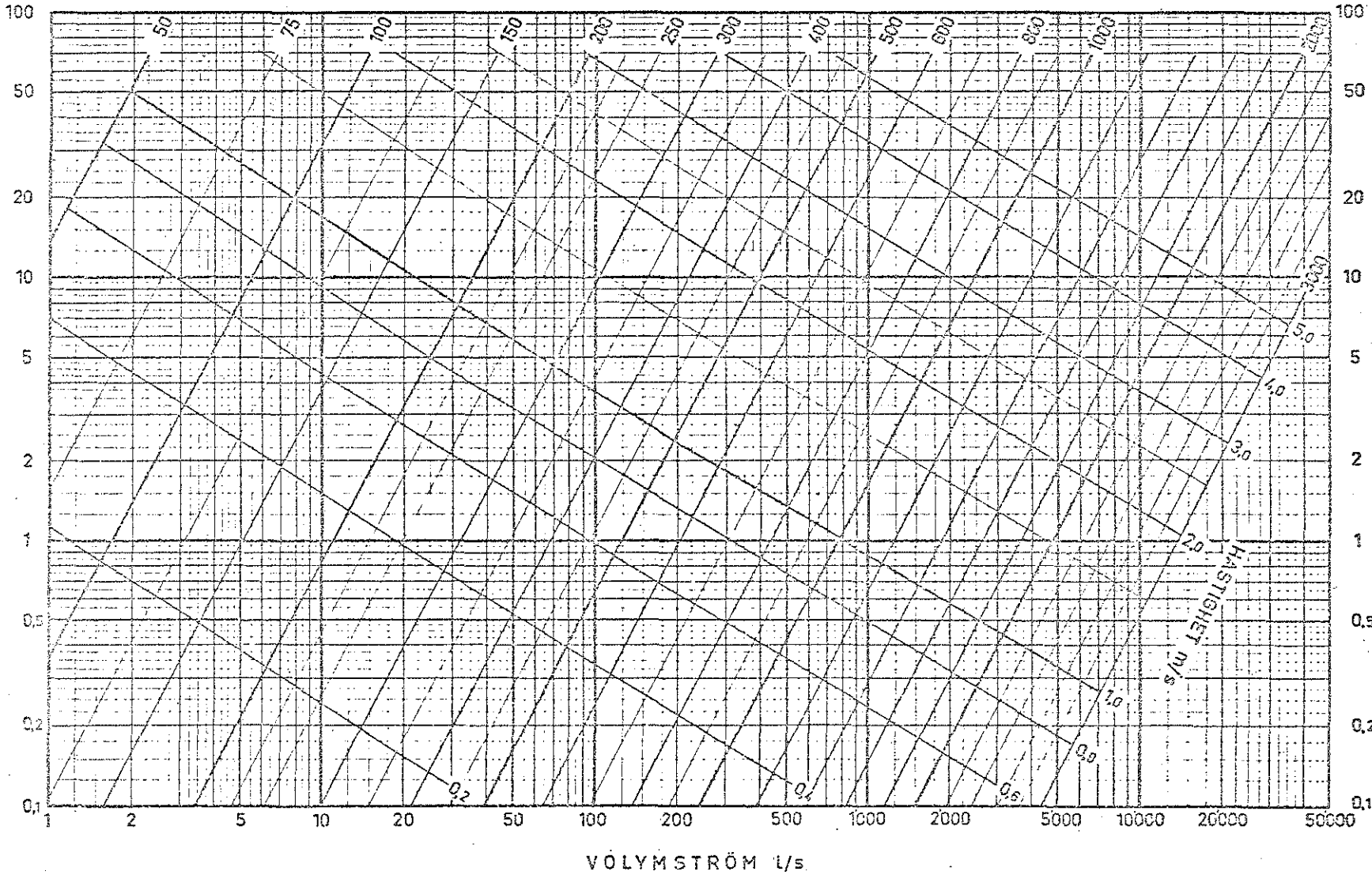


DIAGRAM UPPRITTAT 1965 AV VATTENRÖRGNADSPRÅH (VÖB) KONSULTERANDE INGENJÖRER OCH ARKITEKTER, BOX 5039, STHLM 5

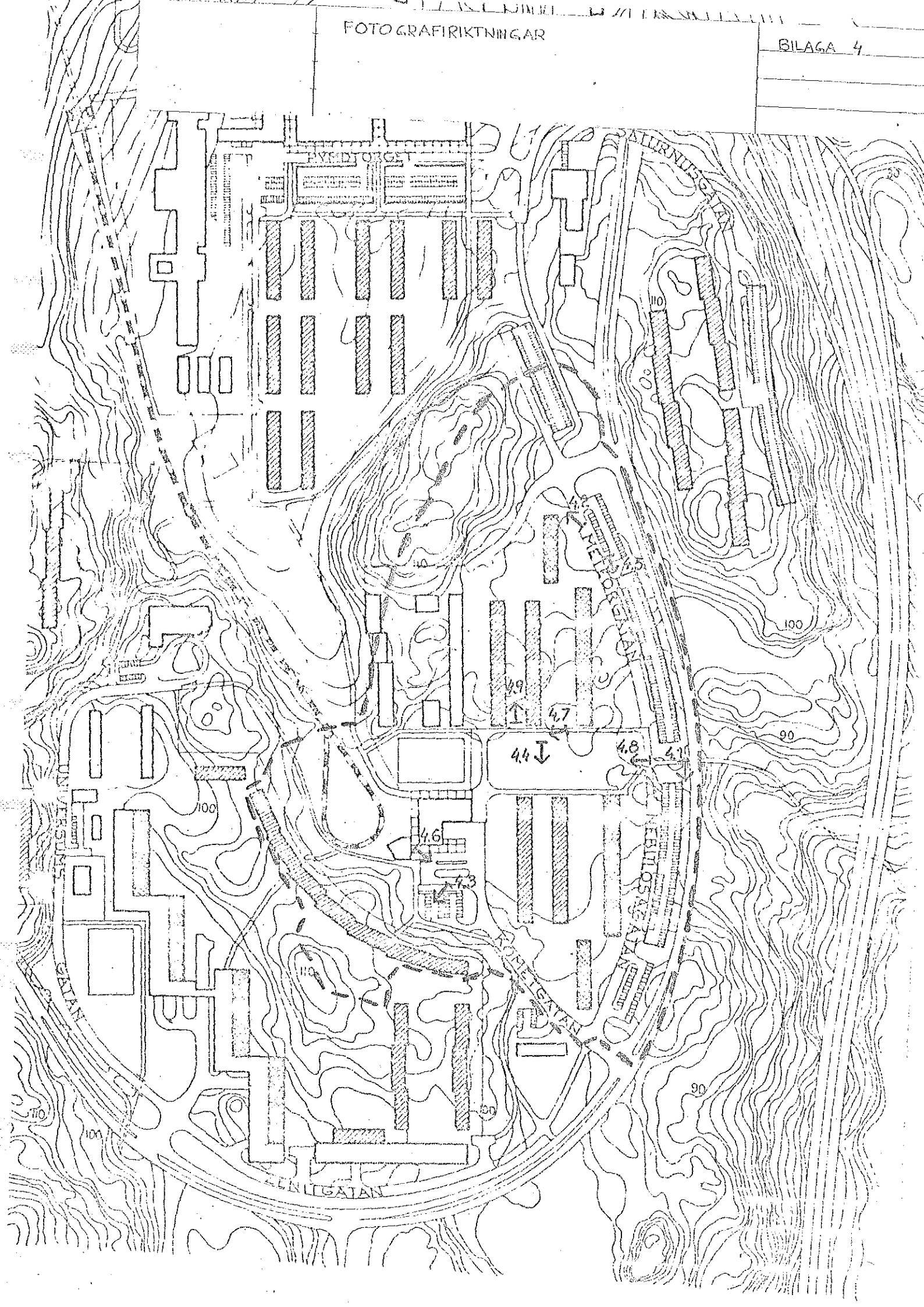
FIG. 5-2.

Tabell för delvis fylld ledning

h/d	c_q	c_v	h/d	c_q	c_v
1,00	1,000	1,000	0,550	0,502	0,890
0,990	1,035	1,037	0,525	0,461	0,867
0,980	1,045	1,050	0,500	0,420	0,841
0,975	1,048	1,055	0,475	0,381	0,814
0,970	1,050	1,059	0,450	0,343	0,785
0,960	1,052	1,066	0,425	0,306	0,756
0,950	1,051	1,072	0,400	0,271	0,725
0,925	1,043	1,079	0,375	0,237	0,693
0,900	1,026	1,082	0,350	0,206	0,660
0,875	1,004	1,082	0,325	0,176	0,625
0,850	0,977	1,078	0,300	0,149	0,589
0,825	0,946	1,072	0,275	0,123	0,552
0,800	0,912	1,064	0,250	0,1004	0,513
0,775	0,876	1,054	0,225	0,0797	0,473
0,750	0,838	1,042	0,200	0,0615	0,432
0,725	0,798	1,027	0,175	0,0457	0,389
0,700	0,757	1,013	0,150	0,0323	0,343
0,675	0,715	0,996	0,125	0,0214	0,297
0,650	0,673	0,978	0,100	0,0129	0,247
0,625	0,630	0,958	0,075	0,0066	0,195
0,600	0,588	0,938	0,050	0,0026	0,140
0,575	0,545	0,915	0,025	0,0005	0,078

k-värde vid beräkning av tid för vatten att rinna på mark av olika beskaffenhet.

Avrinnings- koefficient. Lutning $^{\circ}/\infty$	0,90	0,65	0,50	0,30	0,15
5	1,205				
10	1,815	0,389	0,244	0,144	0,090
15		0,473	0,298	0,177	0,112
20		0,552	0,333	0,200	0,130



BERÄKNING AV MARKENS MEDELLUTNING

Medellutning fås som

$$I_m = \frac{\text{områdets medelhöjd}}{\text{områdets medellängd}}$$

Områdets medelhöjd:

Höjdkurva	Yta (genom planimetrering)
90 m	5130 m ²
95 "	82410 "
100 "	49920 "
105 "	18210 "
110 "	7790 "
115 "	3630 "
120 "	300 "

$$\Sigma 167360 \Rightarrow \bar{H} = 11,2 \text{ m}$$

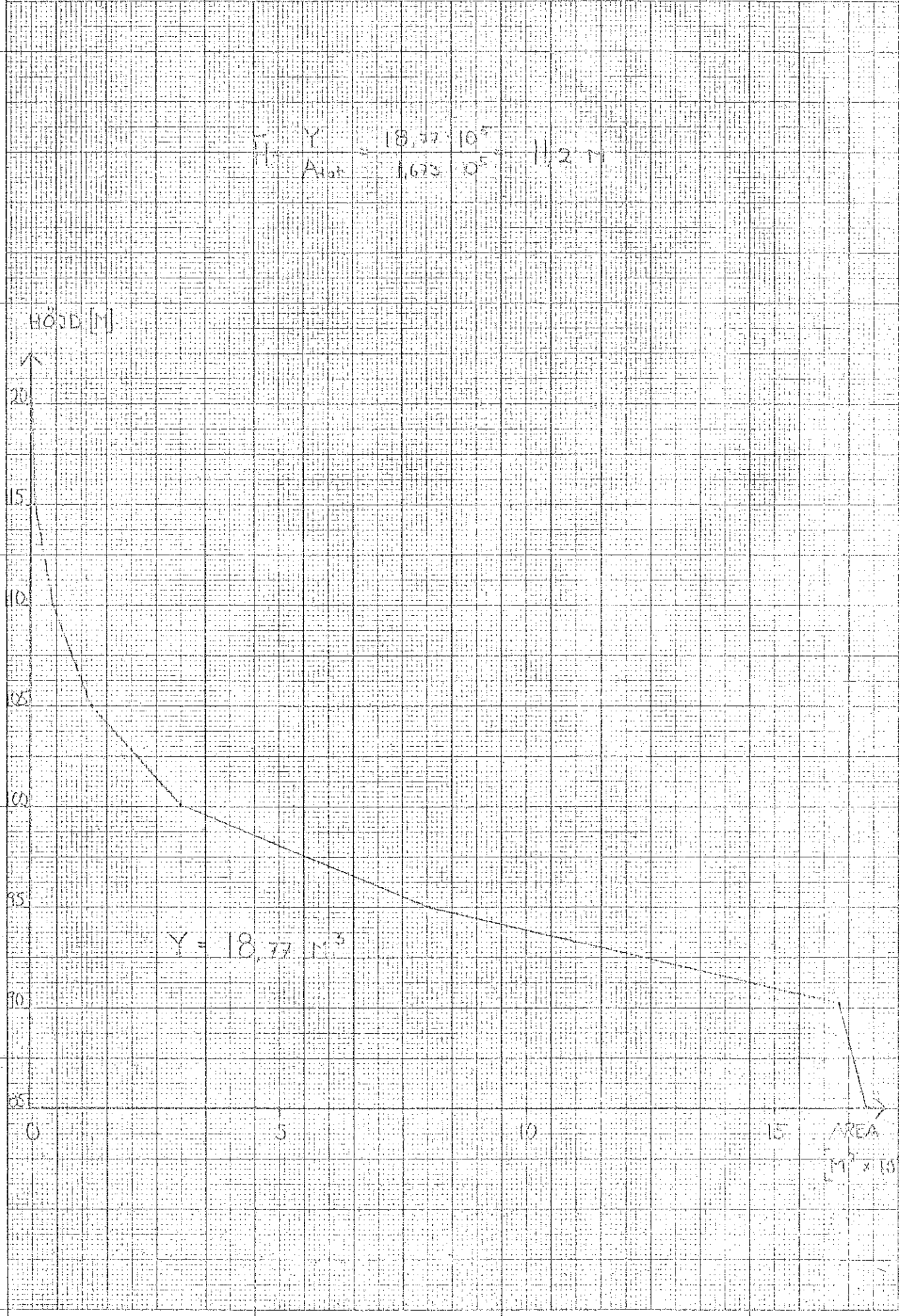
Områdets medellängd

Längd	Yta (genom planimetrering)
1 - 100 m	15420 m ²
0 - 200 "	58400 "
0 - 300 "	120130 "
0 - 400 "	160220 " $\Rightarrow \bar{L} = 234,3 \text{ m}$

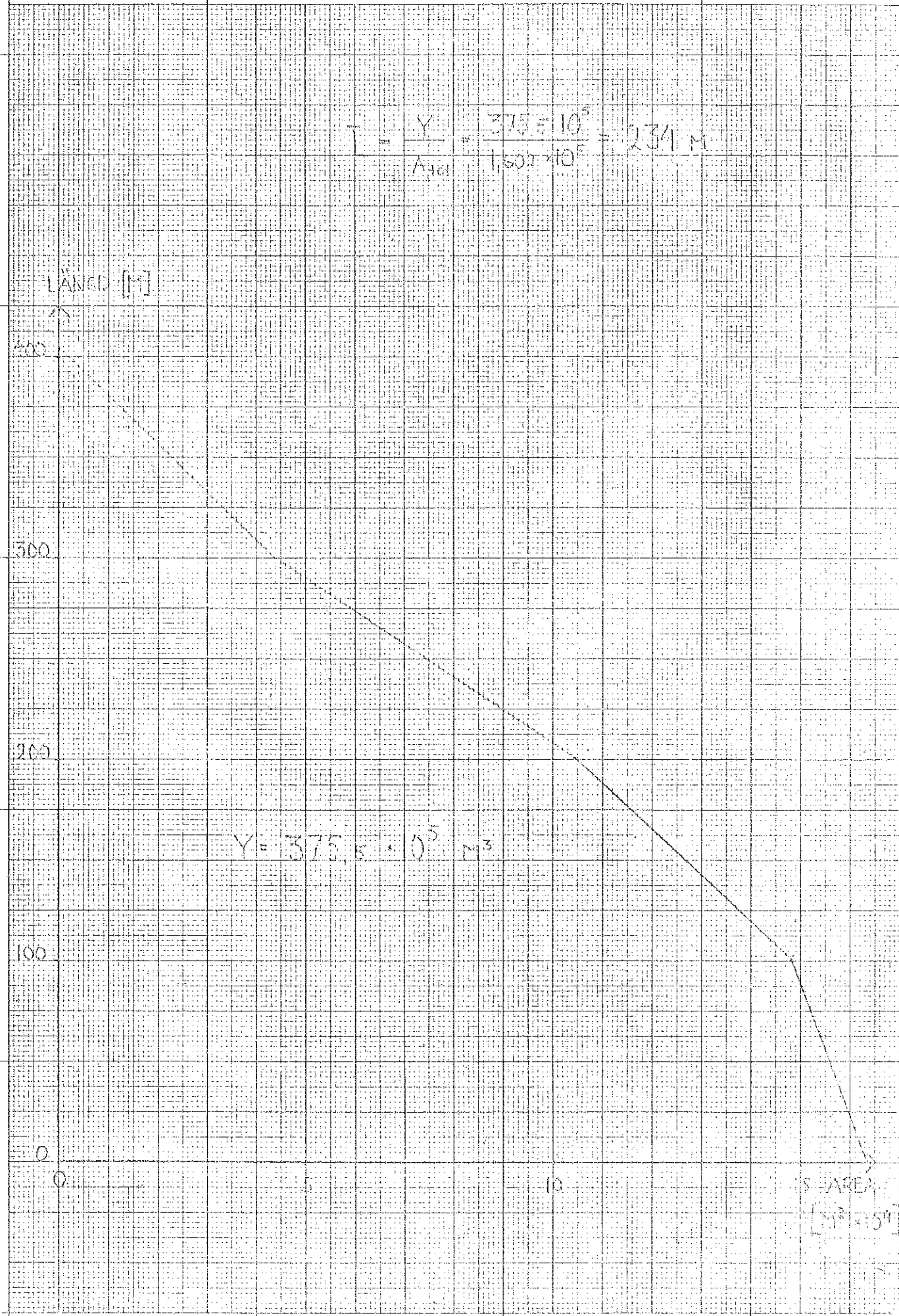
Markens medellutning $I = \frac{11,2}{234,3} = \underline{47,8 \text{ ‰}}$

AREA-HÖJD DIAGRAM (marken)

$$\begin{aligned} \bar{Y} &= 18,77 \cdot 10^5 \\ A_{\text{tot}} &= 1,673 \cdot 10^5 \quad 11,2 \text{ m} \end{aligned}$$



AREA - LÄNGD DIAGRAM (märken)



BERÄKNING AV LEDNINGARNAS MEDELLÄNGD

Längd	Yta (genom planimetrering)
100 m	$6,00 \times 10^3 \text{ m}^2$
200 m	32,50 x " "
300 m	71,07 x " "
400 m	117,06 x " "
500 m	142,16 x " "
575 m	160,10 x " " $\Rightarrow L_o = 315,7 \text{ m}$

$$\bar{L} = L_o + L^1$$

L_o = ledningarnas medellängd inne i själva området

L^1 = den sista sträckan ner till mätdammen = 190,5 m

$$\bar{L} = 315,7 + 190,5 = 506,2 \text{ m}$$

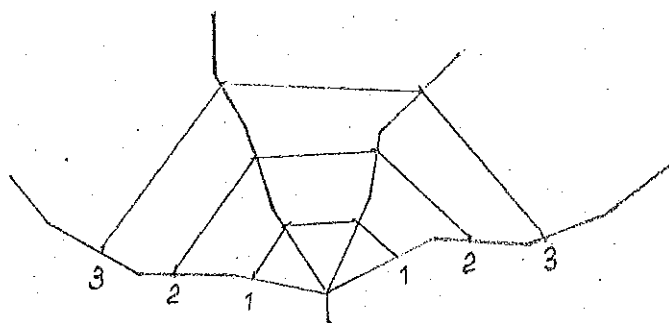
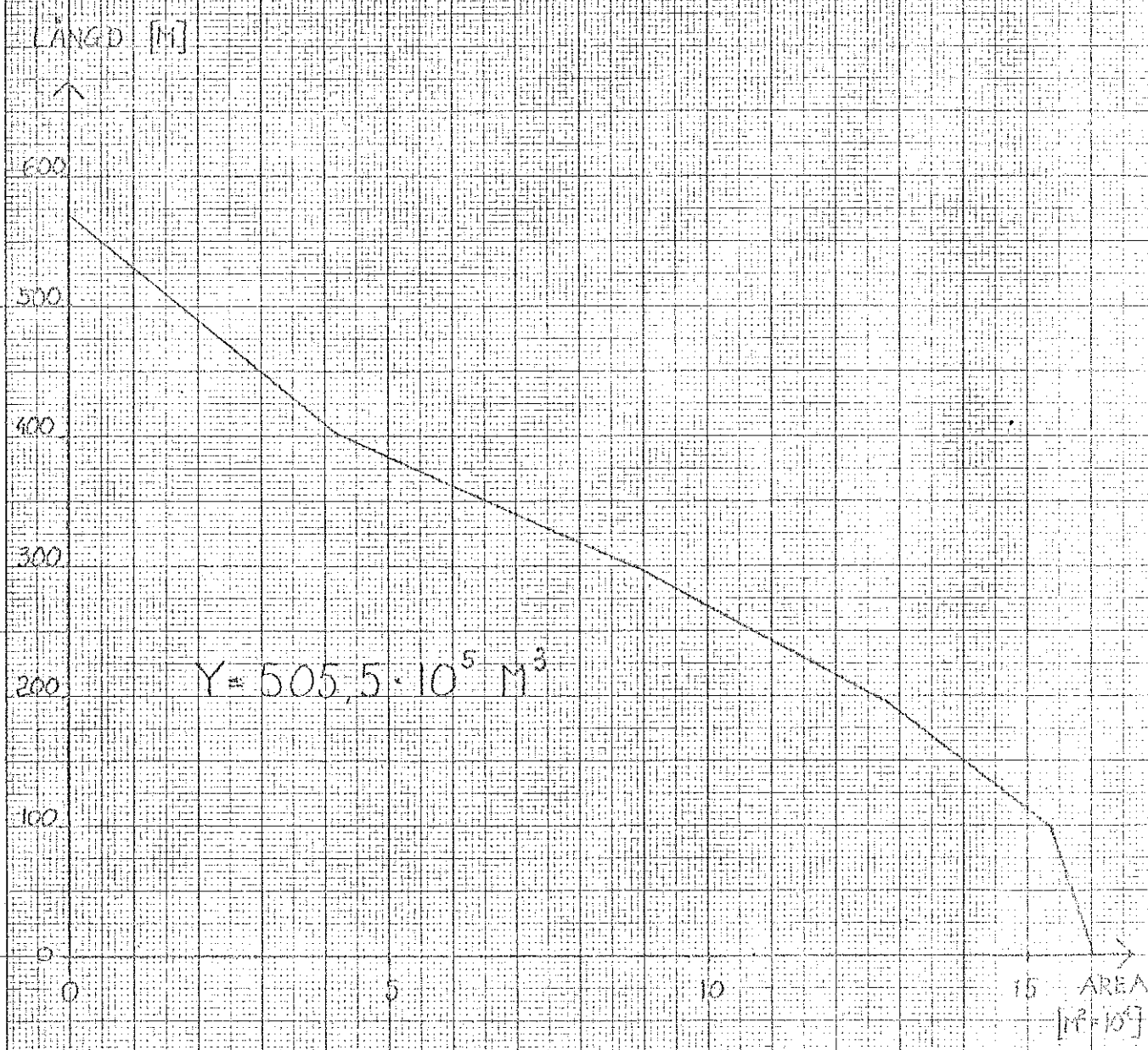
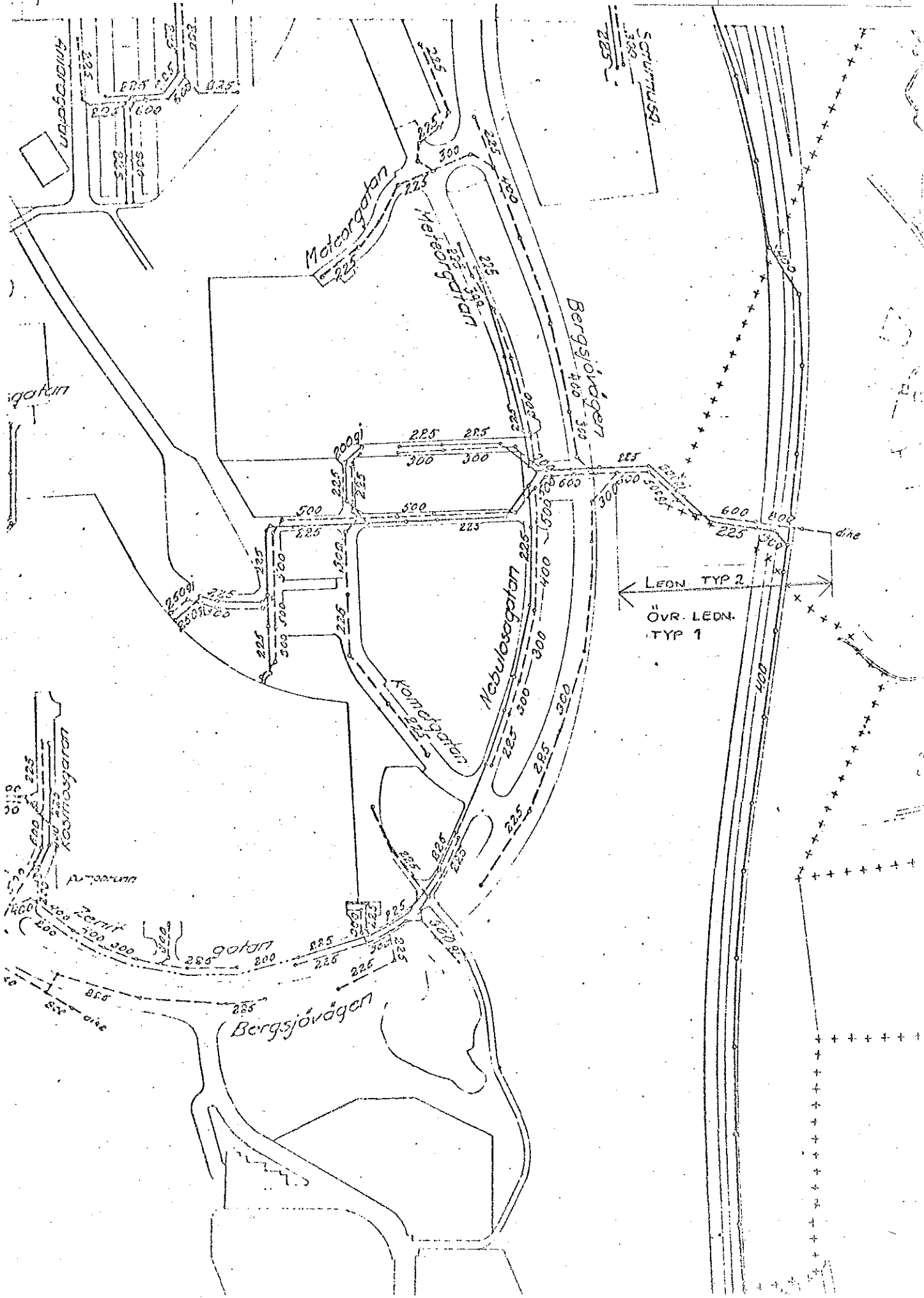


Fig. Genom att sammanbinda 100 metersintervall på resp. ledningar och planimetrera dess ytor får man fram ledningarnas medellängd.

AREA - LÄNGD DIAGRAM (LEDNINGAR)

$$L = \frac{Y}{A_{tot}} = \frac{505,5 \cdot 10^5}{1601 \cdot 10^2} = 315,7 \text{ M}$$





LEDNINGSDIAMETRAR

	mm	l(m)	≤ 1	$\phi \times \leq 1$
ϕ	800	55	55	44×10^3
"	600	45	45	27 "
"	500	66		
"	"	25		
"	"	60		
"	"	7		
"	"	156		
"	"	63		
"	"	5		
"	"	77		
"	"	27	486	243 "
"	400	79		
"	"	272	342	136,8 "
"	300	28		
"	"	190		
"	"	85		
"	"	62		
"	"	75		
"	"	107		
"	"	8		
"	"	160		
"	"	112		
"	"	48	875	262,5 "
"	250	15	15	3,75 "
"	225	142		
"	"	45		
"	"	150		
"	"	60		
"	"	28		
"	"	45		
"	"	117		
"	"	132		
"	"	240		
"	"	240		
"	"	280		
"	"	240		
"	"	222		
"	"	320	2261	508,725 "

AVRINNINGSKOEFFICIENTENS (ϕ) VARIATION

ϕ = VOLYMSAVRINNINGSKOEFFICIENT

ϕ = AYRUNNEN VOLYM
REGNVOLYM

$\phi_{medel} = 26,3 \%$

AVRINNING
[M³]

←

400

300

200

100

100

200

300

400

500

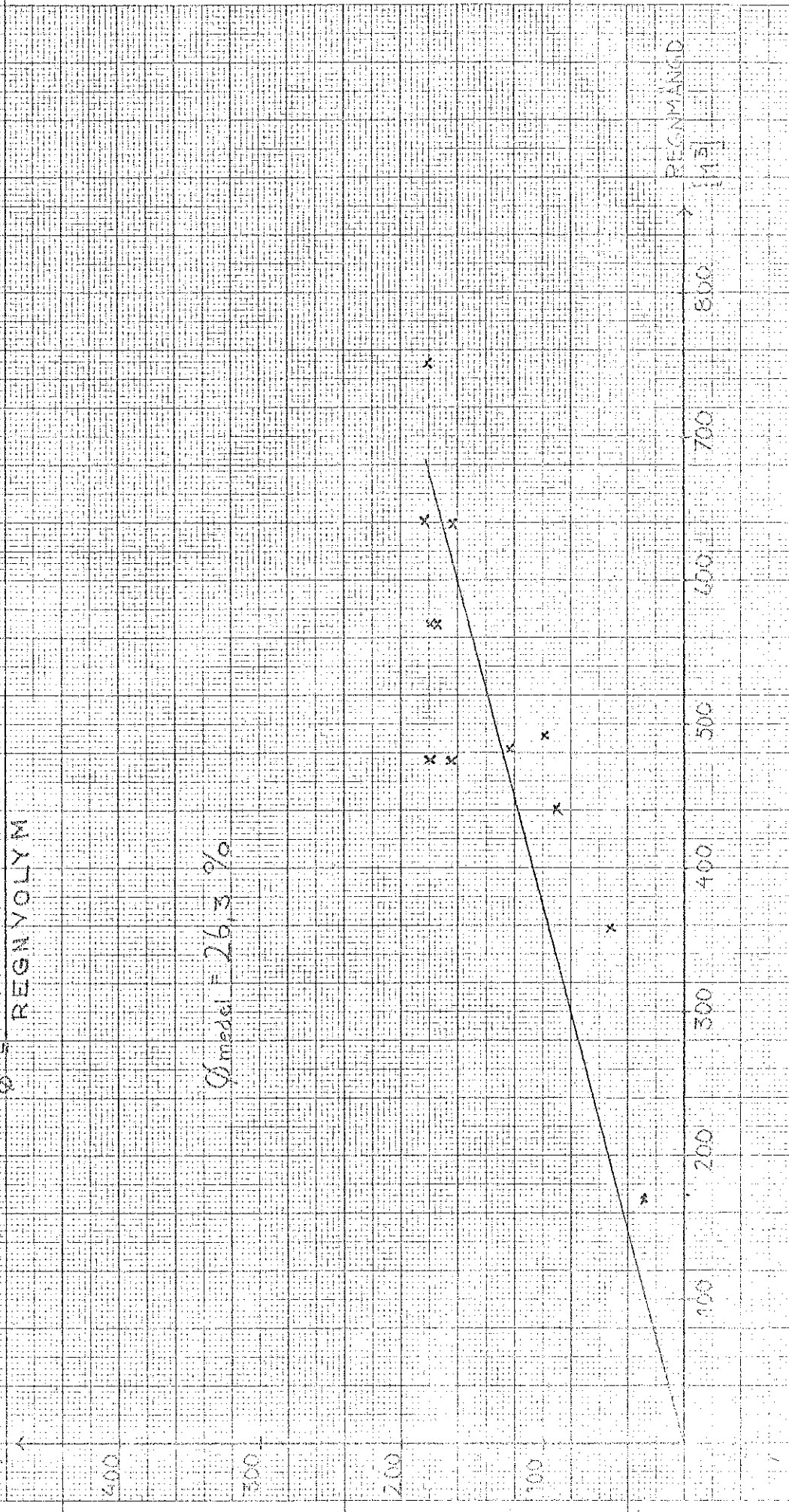
600

700

800

REGNMANGD
[mm]

15



OMRÅDETS DELYTOR

Områdets totala area 16,01 ha

	Area (A)	Avrinningskoefficient (ψ)
Takyta	1,628 ha	0,9
Gräsyta	3,546 "	0,1
Betongyta	0,508 "	0,8
Sand-, grus- och makadamyta	0,476 "	0,3
Plantering	0,522 "	0,15
Stenplattor och gatsten	0,249 "	0,70
Orörd mark	4,614 "	0,15
Asfalt	<u>4,467 "</u>	0,8
	Σ 16,01 ha	

$$\psi_{\text{tot}} = \frac{\sum A_i \psi_i}{\sum A_i} = 0,43$$

ψ -värden har erhållit ur Weijman-Hane (5)

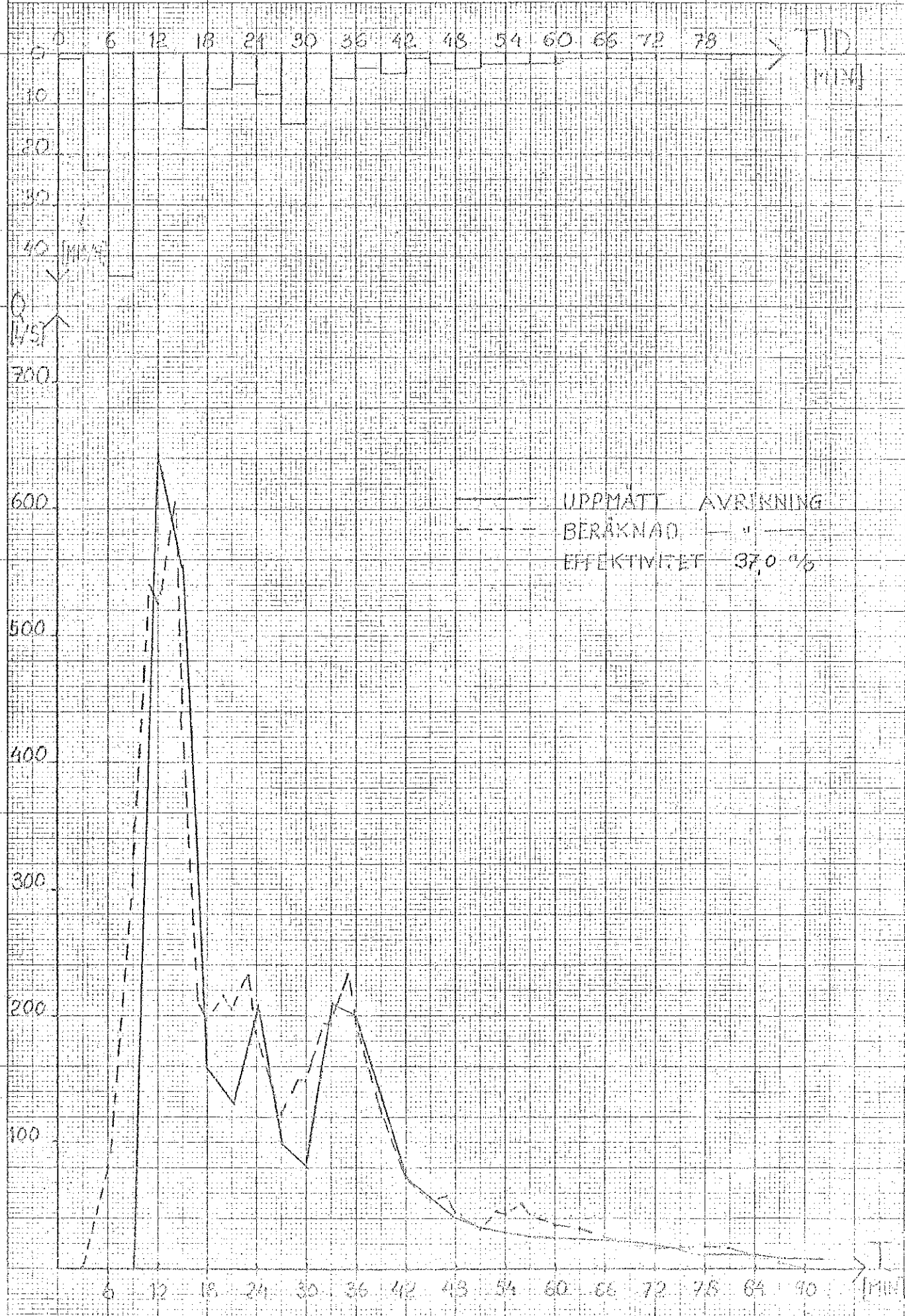
EXAMENSARBETE I VATTENBYGGNAD

BILAGA 11

AVRINNING

730708

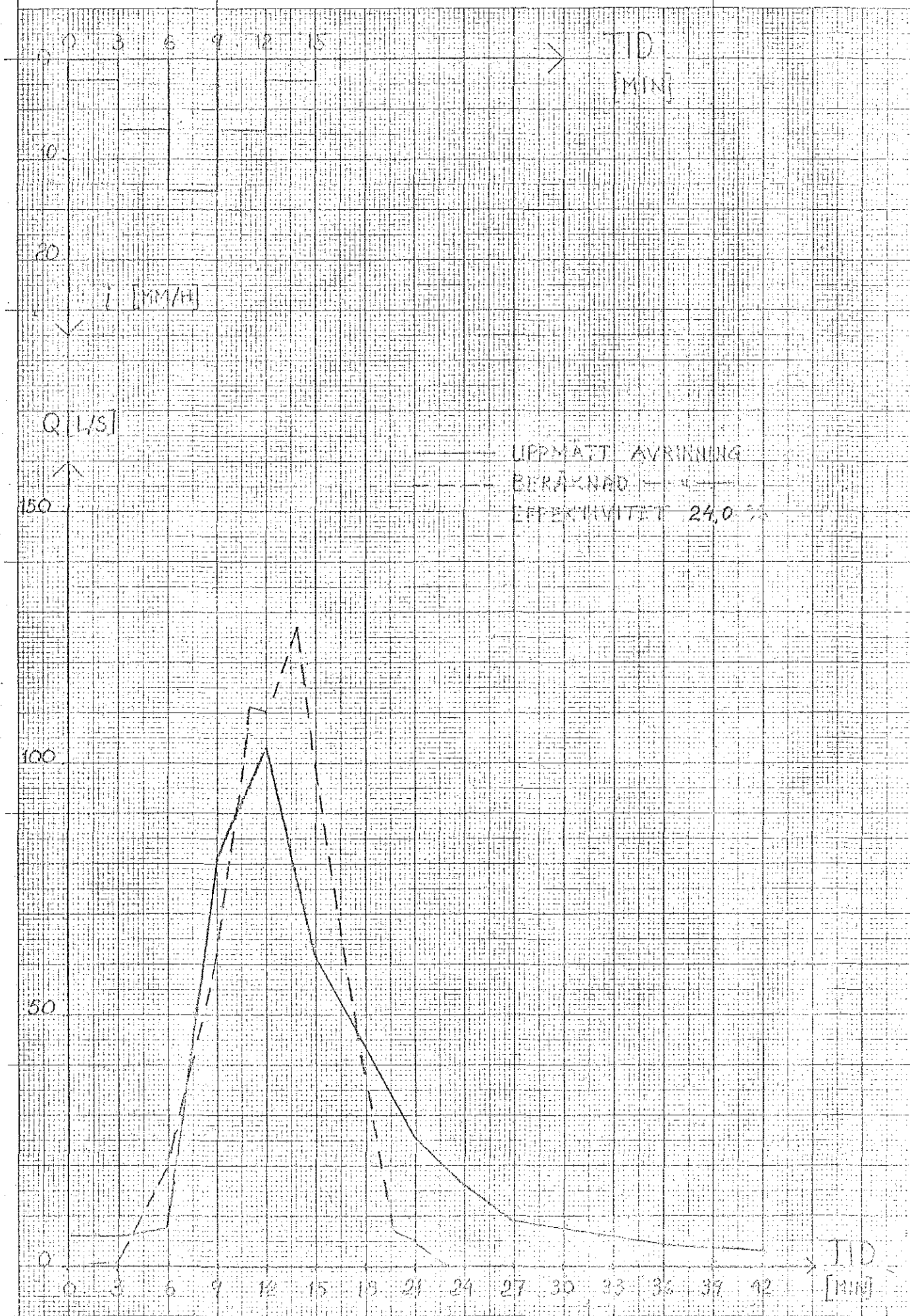
KL 14:27



243 1/2 25 01 - S43 A4 - 1 x 1 mm



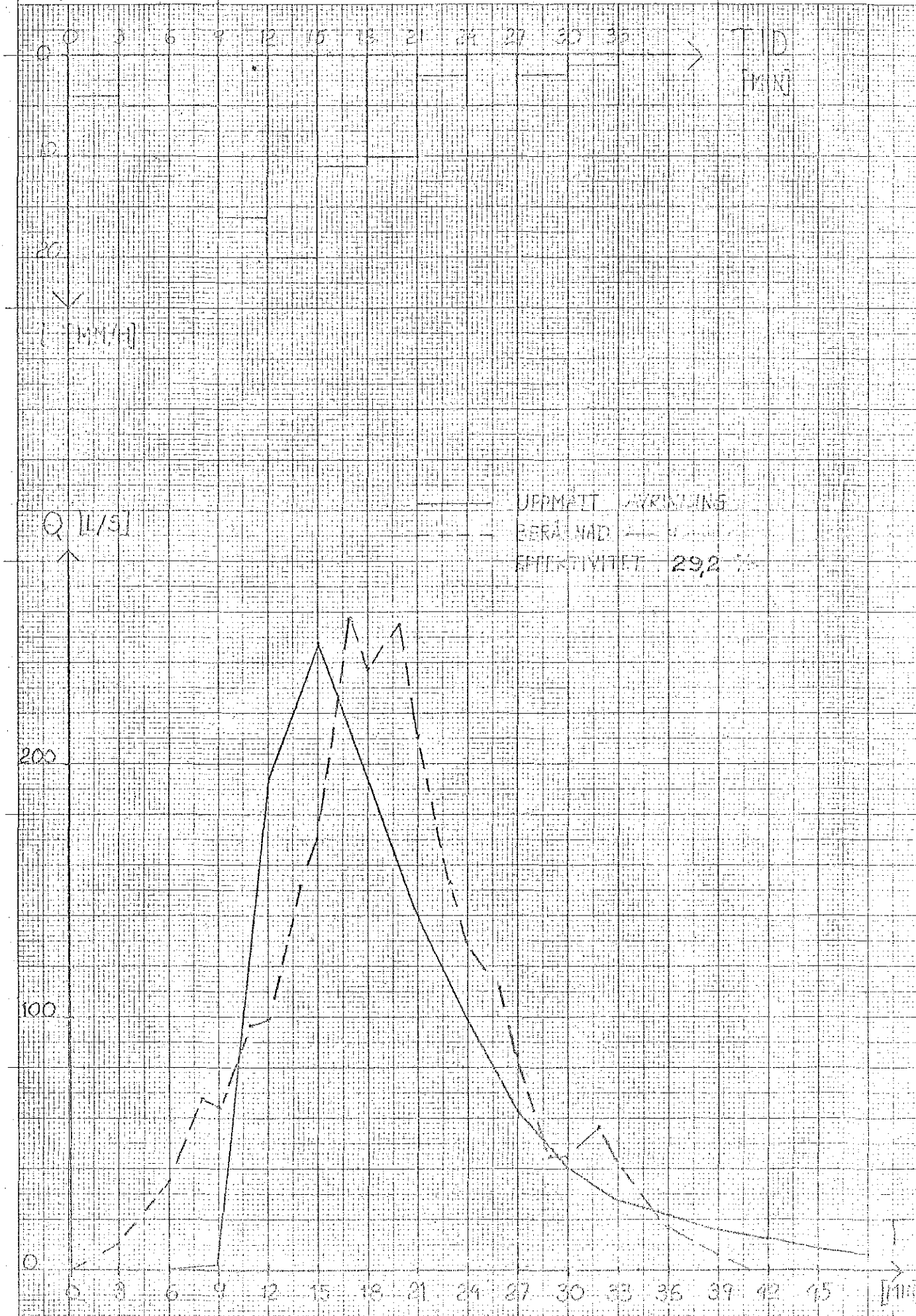
AVRINNING 730710 KL 9:00



AVRINNING

730723

KL 13:45

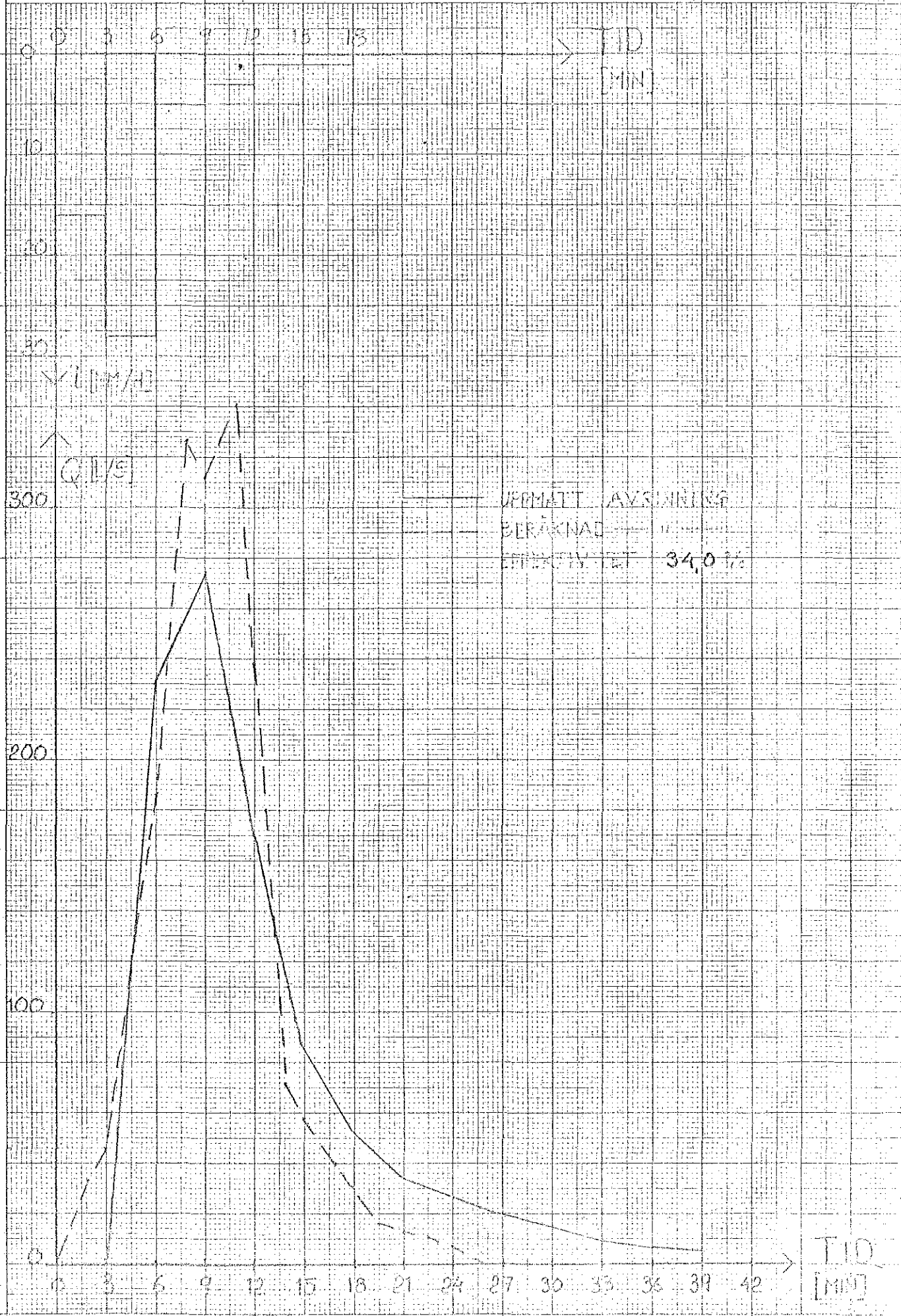


UPPMÄTT AVRINNING
 BERÄKNAD AVRINNING
 EFFIKTIVITET 29,2 %

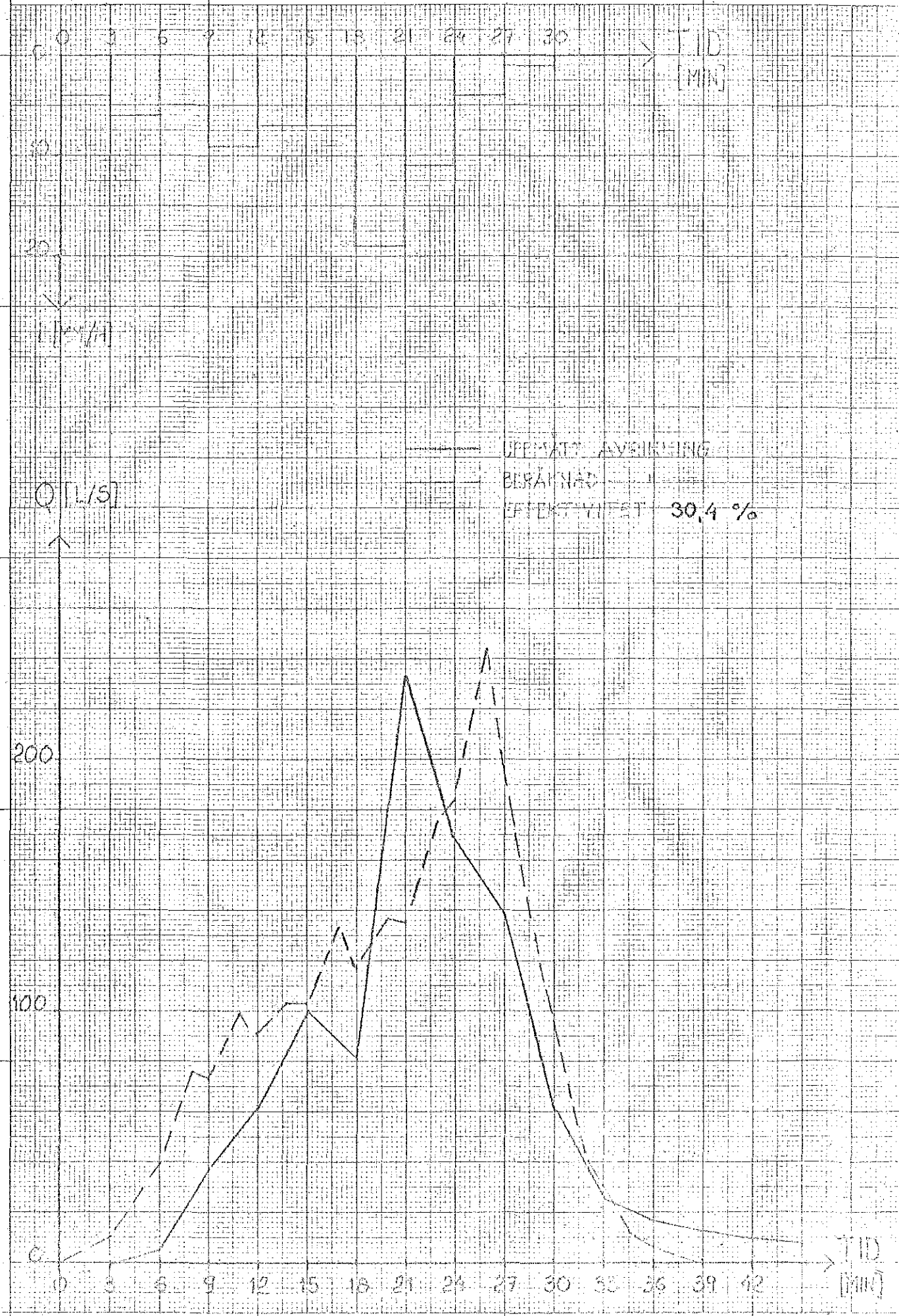
AVRINNING

730726

KL 13:15

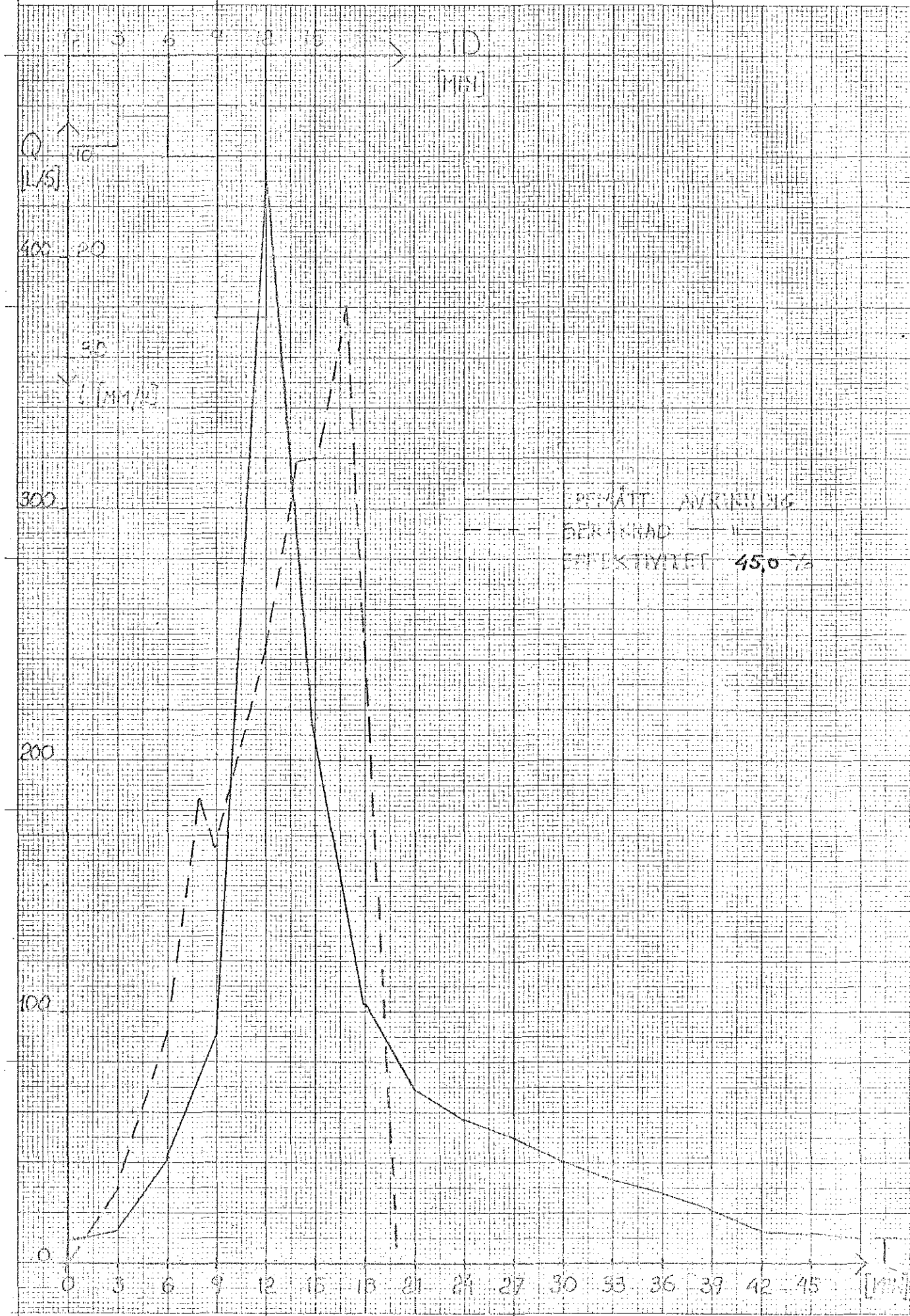


AVRINNING 730804 KL 5:36



732501 - 523 A4 - 1 x 1 mm

AVRINNING 731009 KL 14:40

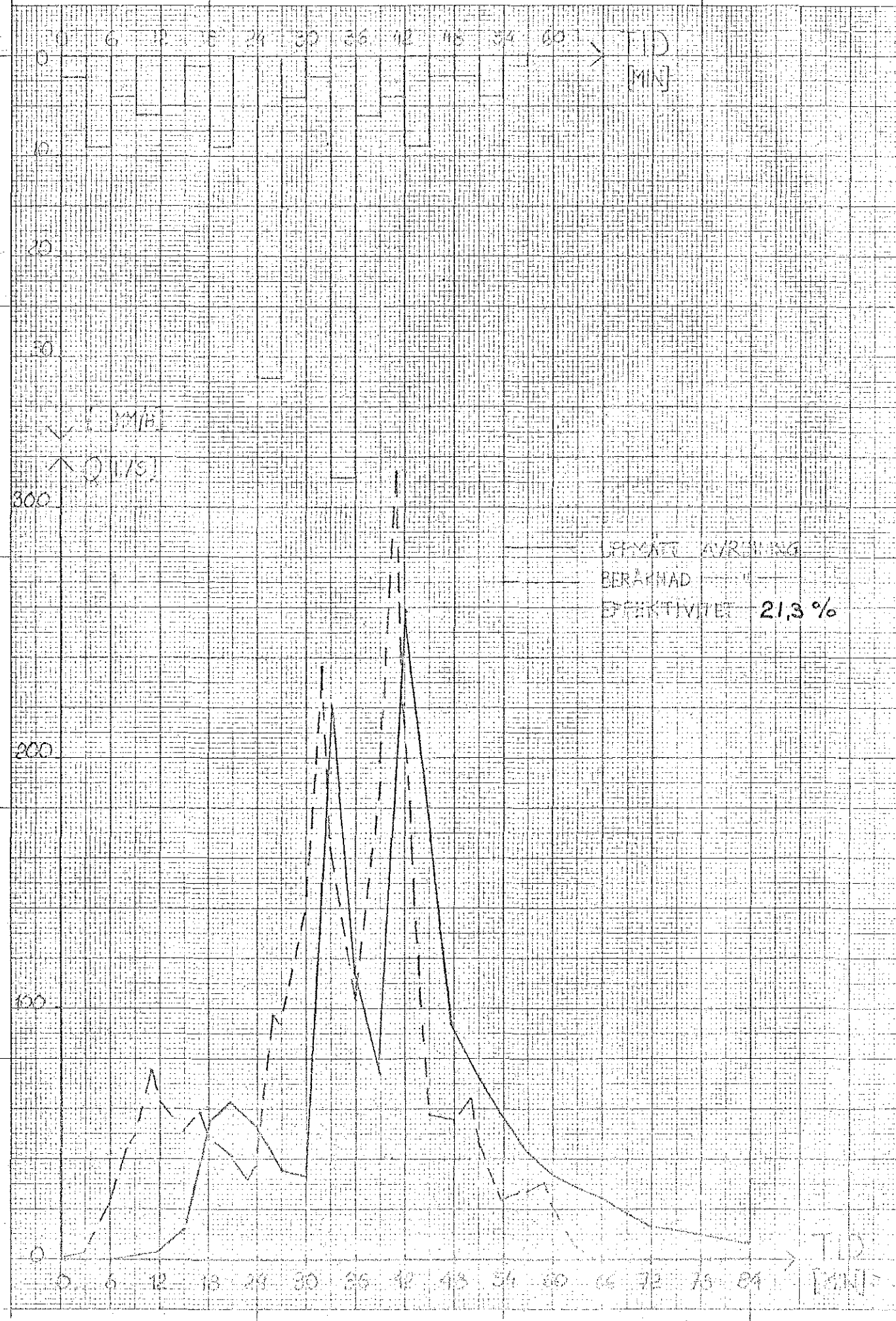


ÖSKÄTT AVVÄNDRIG
 BERÄKNAD
 EFFEKTIVITET 45,0 %

AVRINNING

740728

KL 9:15

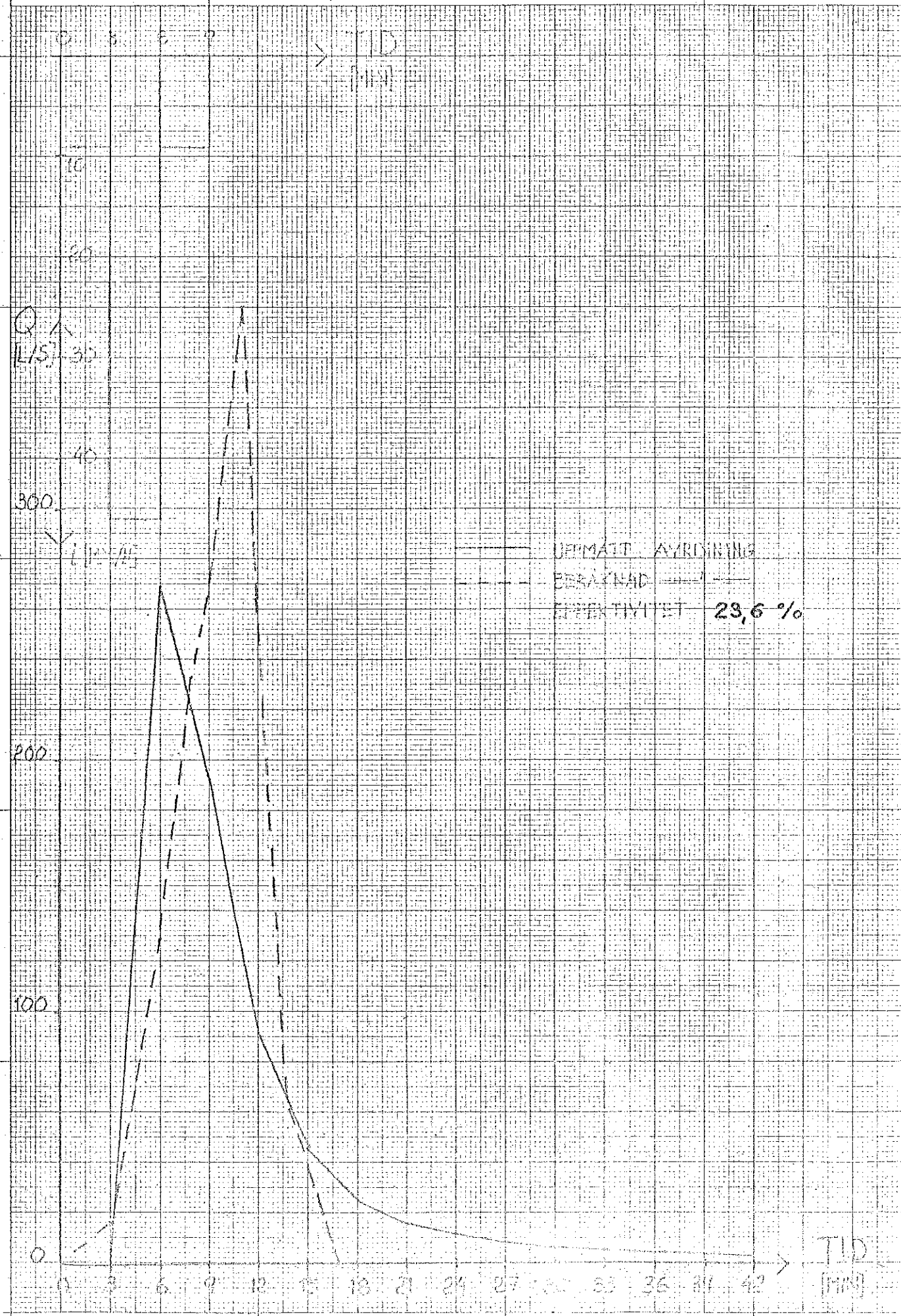


732501-523 A4-1x1 mm

AVRINNING

740729

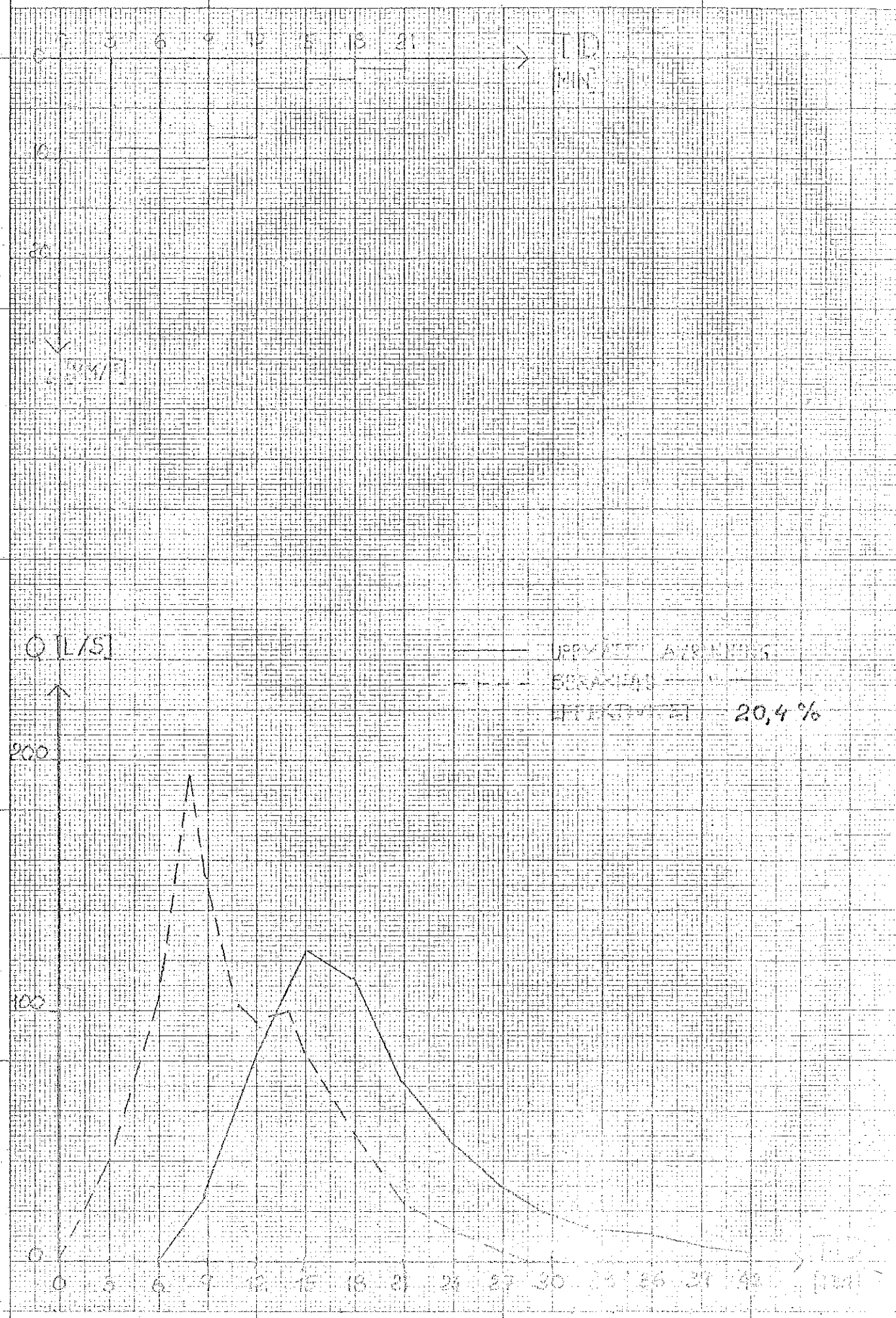
KL 10:18



AVRINNING

740802

KL 15:42



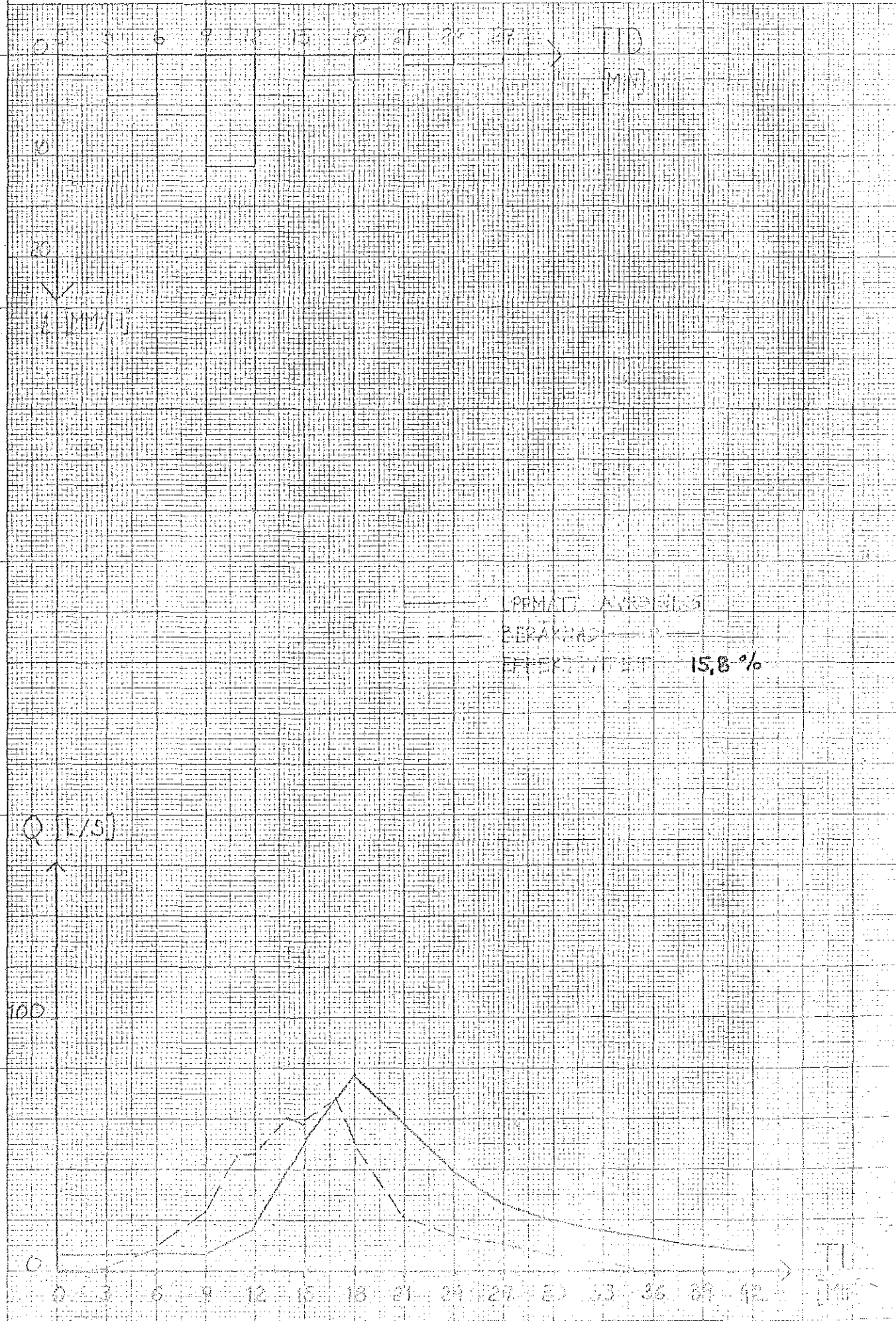
7325 01 - 523 A4 - 1 x 1 mm



AVRINNING

740811

KL 14:24

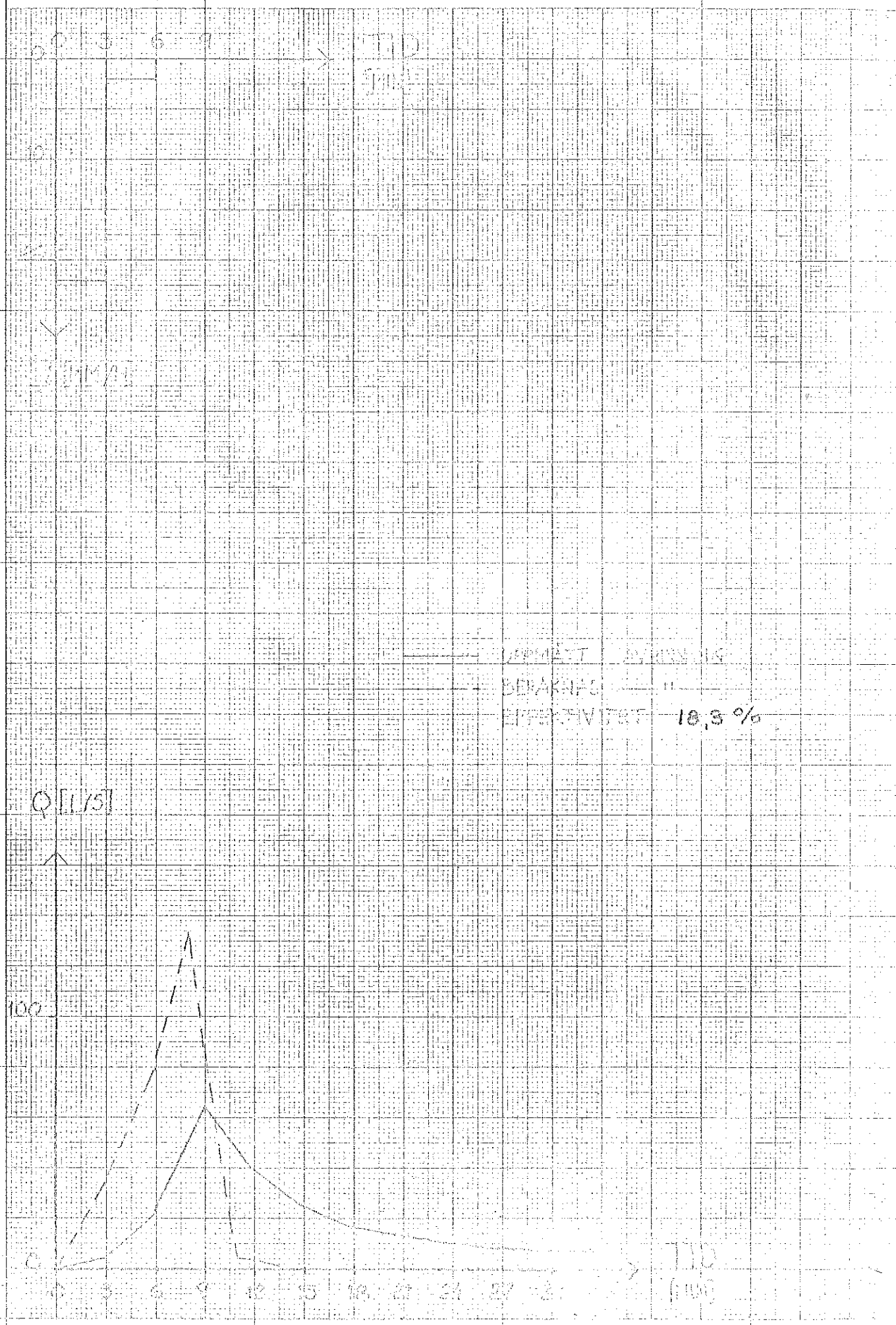


73 25 01 - 523 A4 - 1x1 mm

AVRINNING

740908

KL 14:15



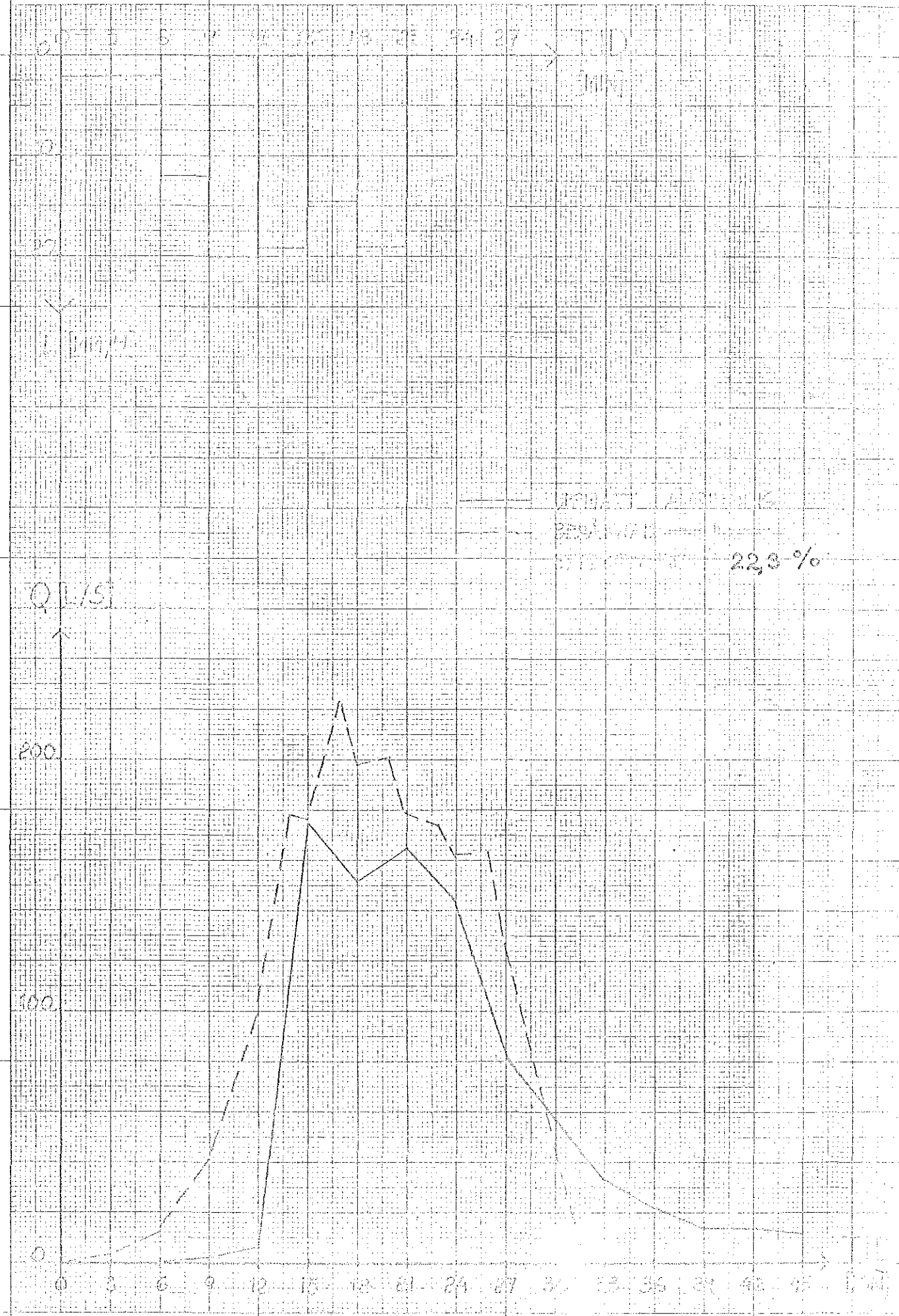
528 732501 - 523 A4 - 1x1 mm



AVRINNINGS

746909

KL 8:51



732501 - S23 A4 - 1 x 1 mm



BERÄKNING AV MAXFLÖDESKORRELATION (se kap. 7)

O_i (l/s)	C_i (l/s)	O_i^2	C_i^2	$O_i C_i$	$(O_i - C_i)^2$
644	607	414736	368449	390908	1369
103	128	10609	16384	13184	625
248	258	61504	66564	63984	100
274	341	75076	116281	93434	4489
234	245	54756	60025	57330	121
434	380	188356	144400	164920	2916
260	315	67600	99225	81900	3025
270	381	72900	145161	102870	12321
124	193	15376	37249	23932	4761
78	68	6084	4624	5304	100
65	134	4225	17956	8710	4761
174	224	30276	50176	38976	2500
Σ 2908	3274	1001498	1126494	1045452	37088

$$R = 0,958$$

$$R_s = 0,963$$

$$ISE = 6,62\%$$

BERÄKNING AV VOLYMKORRELATION (se kap. 7)

$O_i(m^3)$	$C_i(m^3)$	O_i^2	C_i^2	$O_i C_i$	$(O_i - C_i)^2$
510	540	259855	291600	275400	900
65	62	4242	3844	4030	9
189	216	35721	46656	40824	729
168	168	28264	28264	28264	0
171	201	29241	40401	34371	900
220	203	48224	41209	44660	289
272	277	73984	76729	75344	25
124	133	15336	17689	16492	81
100	107	10016	11449	10700	49
57	49	3235	2401	2793	64
43	37	1835	1369	1591	36
154	194	23963	37636	29876	1600
Σ 2073	2187	533916	599247	564345	4682

$$R = 0,994$$

$$R_s = 0,992$$

$$ISE = 3,30$$

BERÄKNING AV TIDSKORRELATION (se kap. 7)

O_i (min)	C_i (min)	O_i^2	C_i^2	$O_i C_i$	$(O_i - C_i)^2$
12	14	144	196	168	4
12	14	144	196	168	4
15	17	225	289	255	4
9	11	81	121	99	4
21	26	441	676	546	25
12	17	144	289	204	25
42	41	1764	1681	1722	1
6	11	36	121	66	25
15	8	225	64	120	49
18	17	324	289	306	1
9	8	81	64	72	1
15	17	225	289	255	4
Σ 186	201	3834	4275	3981	147

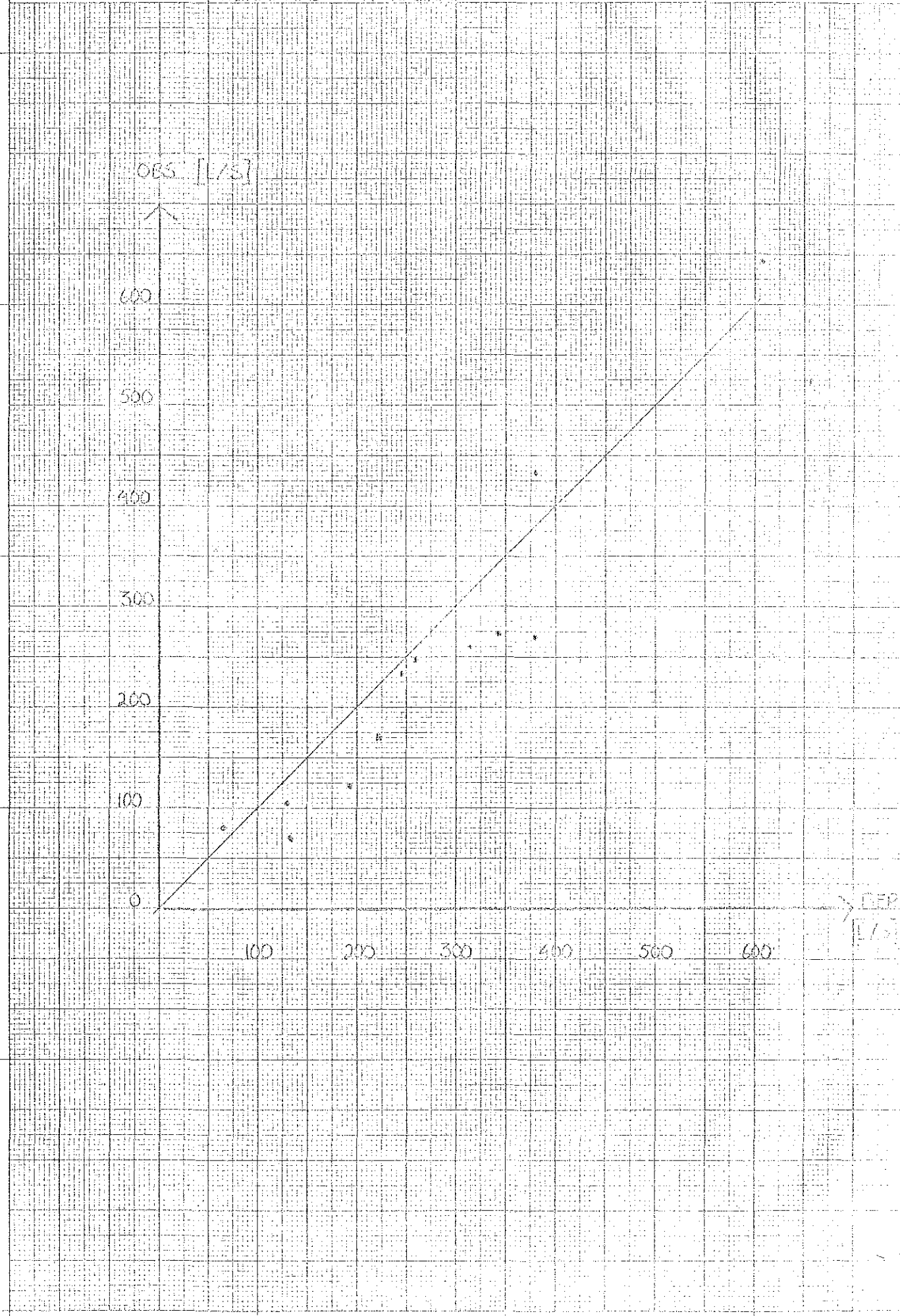
$$R = 0,931$$

$$R_s = 0,962$$

$$ISE = 6,52\%$$

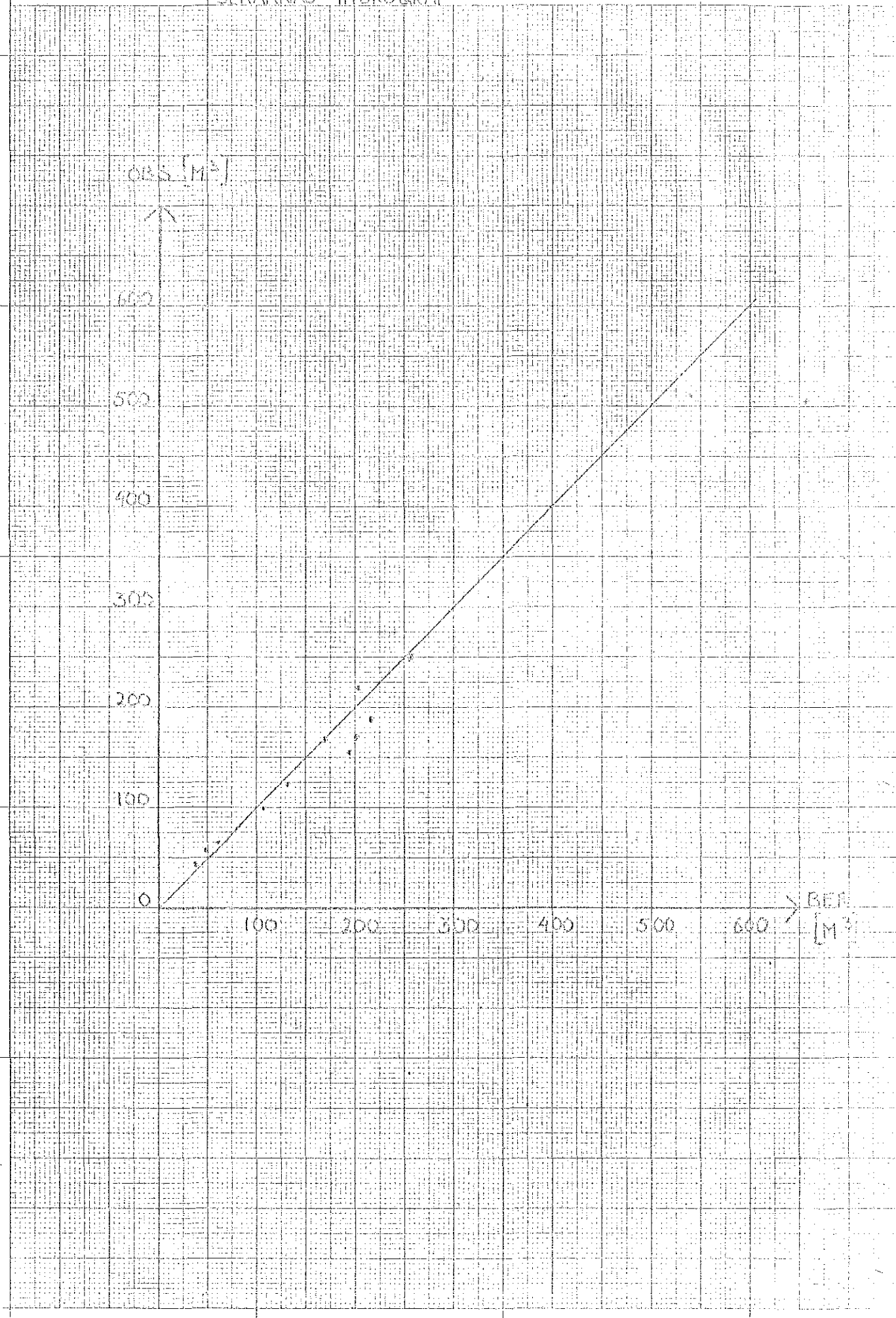
EXAMENSARBETE I VATTENBYGGNAD
MAXFLÖDE
KORRELATION MELLAN OBSERVERAD OCH
BERÄKNAD HYDROGRAF

BILAGA 23 a



VOLYM (AVRINNING)

KORRELATION MELLAN OBSERVERAD OCH
BERÄKNAD HYDROGRAF



EXAMENSARBETE I VATTENBYGGNAD
TIDEN FRÅN REGNETS BÖRJAN TILL MAXFLÖDET
KORRELATION MELLAN OBSERVERAD OCH
BERÄKNAD HYDROGRAF

