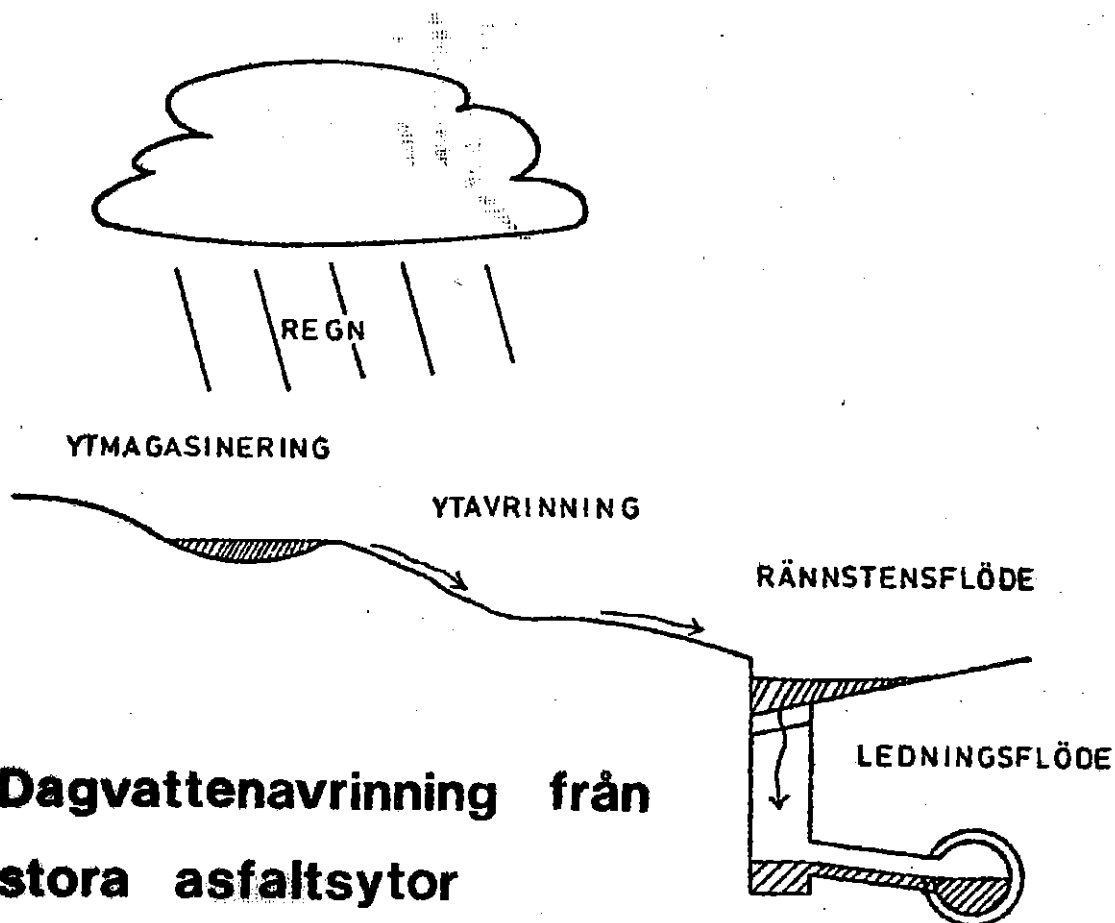




Dagvattenavrinning från stora asfaltsytor

av

Håkan Nordqvist

Birger Karlsson



Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

DAGVATTENAVRINNING FRÅN
STORA ASFALTSYTOR

Storm water run off from
an airport surface

av

Håkan Nordqvist
Birger Karlsson

Examensarbete 1981:3

Göteborg 1982

Adress: Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg

Telefon: 031/81 01 00

FÖRORD

Examensarbete utförs i fjärde årskursen vid Chalmers tekniska högskola i Göteborg. Vi båda läser på linjen för väg- och vattenbyggnad, och detta arbete har utförts vid institutionen för vattenbyggnad.

Arbetet omfattar dels en fältstudie i dagvattenavrinning, som utfördes vid Landvetter flygplats sommaren 1981. Därtill genomfördes under våren 1982, en utvärdering samt simulering i en datormodell.



Vår handledare Sven Lyngfelt.

Examensarbetet har bedrivits under sakkunnig handledning från Sven Lyngfelt, institutionen för vattenbyggnad.

Vi vill dessutom rikta ett varmt tack till driftspersonalen på Landvetter flygplats. Många problem löstes enkelt tack vare deras goda samarbetsvilja.

Göteborg 1982-06-11

Håkan Nordqvist

Birger L Karlsson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING:

sid.

SAMMANFATTNING, SYFTE OCH MÅL.	1
1. BAKGRUND OM DAGVATTENAVRINNING.	2
1.1 Allmänt om avledningssystem.	2
1.2 Analys/dimensioneringsmetoder för dagvattensystem.	4
2. OMRÅDESBESKRIVNING.	7
3. FÄLTMÄTNING.	13
3.1 Mätutrustning, Mätstation.	13
3.2 Installation.	18
3.3 Kalibrering av mätöverfall.	21
3.4 Mätfas.	22
3.5 Problem med fältmätningen.	23
4. UTVÄRDERING AV FÄLTMÄTNINGAR.	25
4.1 Avbördningskvantiteter.	25
4.2 Diagram över intensitet-tid, för nederbörd och avbörd.	32
4.3 Dagvattnets kvantitet-utvärdering.	45
4.4 Sambandet nederbördsvolym och avbördad volym.	47
4.5 Jämförelse för nederbörd med SMHI.	49
5. DATORMODELL.	51
5.1 Datormodellens struktur.	51
5.2 Beräkningsgång.	53
5.3 Noggrannhet.	55
5.4 Simulering av ytavrinning.	56
KOMMENTARER.	58
REFERENSLITTERATUR.	59

FIGURFÖRTECKNING:

	sid.
Fig. 1.1 Separatsystem.	3
Fig. 1.2 Duplikatsystem.	3
Fig. 1.3 Kombinerat system	3
Fig. 1.4 Blockregn och regnintensitets/varaktighetskurvor.	6
Fig. 2.1 Översiktskarta.	9
Fig. 2.2 Översiktsbild över flygplatsområdet.	10
Fig. 2.3 Ledningssystemet vid hangarbyggnad.	11
Fig. 2.4 Nivåkurvor.	12
Fig. 3.1 Ackumulerade regnmätare med flottörhus samt exempel på registrering av ett kraftigt regn.	14
Fig. 3.2 Skrivare och nivåmåtningsutrustning.	16
Fig. 3.3 Mätstation.	17
Fig. 3.4 Nivågivare (pegel) med stigarrör.	19
Fig. 4.1 Avbördningssamband flöde-nivå.	26
Fig. 4.2 - " -	27
Fig. 4.3 - " -	28
Fig. 4.4 - " -	29
Fig. 4.5 - " -	30
Fig. 4.6 - " -	31
Fig. 4.7 Det urbana vattnets kretslopp.	46
Fig. 4.8 Förhållandet avrunnen volym-regnvolym.	49
Fig. 5.1 Delprocesser i avrinningsförloppet.	52
Fig. 5.2 Noggrann modell av området.	56
Fig. 5.3 Förenklad modell av området.	57

BILDFÖRTECKNING:

Bild 2.1 Del av avrinningsområdet.	7
Bild 2.2 - " -	8
Bild 2.3 - " -	8
Bild 3.1 Nederbördsmätare, typ Hellman.	13
Bild 3.2 Nedstigningsbrunn före installation.	18
Bild 3.3 Nedstigningsbrunn efter montering av nivågivare.	19
Bild 3.4 Mätbod med skrivare m.m.	20
Bild 3.5 Översiktsbild vid mätplats.	21
Bild 3.6 Brandbil, hjälpmedel vid kalibrering.	21
Bild 3.7 Mätning av asfaltsyttans höjdvariationer.	23
Bild 5.1 Arbete med dator.	51

· DIAGRAMFÖRTECKNING:

sid.

Diagram 4.1	Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf	(Regn 1)	33
Diagram 4.2	- " -	(Regn 2)	35
Diagram 4.3	- " -	(Regn 3)	36
Diagram 4.4	- " -	(Regn 4)	38
Diagram 4.5	- " -	(Regn 5)	39
Diagram 4.6	- " -	(Regn 6)	40
Diagram 4.7	- " -	(Regn 7)	41
Diagram 4.8	- " -	(Regn 8)	43
Diagram 5.1	Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf	(Regn 1)	34
Diagram 5.2	- " -	(Regn 2)	35
Diagram 5.4	- " -	(Regn 4)	38
Diagram 5.5	- " -	(Regn 5)	39
Diagram 5.6	- " -	(Regn 6)	40
Diagram 5.7	- " -	(Regn 7)	42
Diagram 5.8	- " -	(Regn 8)	44

SAMMANFATTNING, SYFTE OCH MÅL.

Examensarbetet omfattar tre delar, fältmätning av dagvattenavrinning vid Landvetter flygplats, bearbetning och utvärdering av nederbörder och avrinningsmängder, samt simulering av avrinningen i datormodell.

Syftet med examensarbetet var att vi skulle få en insikt i problematiken vid fältmässiga förhållanden, överföring/bearbetning av fältdata, samt arbete med dagvatten-modell.

Dessutom skulle vi undersöka möjligheten att använda en förenklad beskrivning av området vid simuleringen.

Under fältmätningsperioden, juni-augusti 1981, inträffade ca. 15-20 regntillfällen, varav vi har använt oss av 8 st. Anledningen till detta är att vi främst inriktat oss på karaktteristiska sommarregn dvs. intensiva och snabbt övergående regn, samt att vi hade vissa svårigheter med att synkronisera nederbördsmätare och avrinningsmätare.

Magasineringsförmågan för den asfaltyta vi mätt på, beräknades vara 0,4 mm. Avrinningen simulerades med en numerisk modell baserad på den kinematiska vågekvationen. Ytavrinningsmodellen är av samma typ som ledningsnätmodellerna i tex. ILLUDAS eller NIVA-modellen.

När vi simulerade avrinningen på vår yta, använde vi två olika områdesbeskrivningar, en med noggrann områdesindelning och en förenklad. När vi sedan gjorde en jämförelse mellan dessa två modeller visade det sig att även den förenklade modellen gav en godtagbar bild av avrinningsförloppet. Sammanfattningsvis kan man säga att de simulerade avrinningsmodellerna väl överensstämmer med de uppmätta avrinningsförloppet.

1. BAKGRUND OM DAGVATTENAVRINNING.

1.1 Allmänt om avledningssystem.

Urban hydrologi är läran om dagvatten och grundvatten i tätorter. Genom att byggnader och gator anläggs görs marken hård och ogenomtränglig för vatten. Regnvattnet förmår inte längre infiltrera i marken. Vi får då stora dagvattenvolymer och höga flöden. De stora dagvattenvolymererna måste föras bort för att inte orsaka översvämningar. I tätorter har det då blivit byggt olika system för att ta hand om och transportera bort avloppsvatten (typ spillvatten, dräneringsvatten, dagvatten etc.). Nedan beskrivs i korthet de olika system vilka man särskiljer i separata system, duplikatsystem och kombinerat system.

Separata system:

Systemet kännetecknas av att endast spillvatten avleds i sluten ledning. För dagvattenavledningen ordnas öppna diken i vilka rännstenar odyl. mynnar ut, se fig. 1.1. Detta system används numera i undantagsfall, då i mindre samhällen av ekonomiska skäl.

Duplikat system:

Spillvatten och dagvatten avleds i skilda ledningar, se fig. 1.2. Dräneringsvattnet ansluts till något av dessa system. Dagvattenledningen får sedan mynna ut i närmaste recipient. Spillvattnet renas före det släpps ut i något vattendrag. Duplikat system är för närvarande det mest förekommande systemet vid nyanläggning.

Kombinerat system:

Vid detta system avleds såväl spill-, dränerings-, som dagvatten genom samma ledningsnät. Detta system har varit det vanligast förekommande i våra städer.

Fördelarna här är att anläggningskostnaderna är lägre än för duplikatsystemet och att dagvattnet vid små regnintensiteter kan föras till reningsverket för behandling.

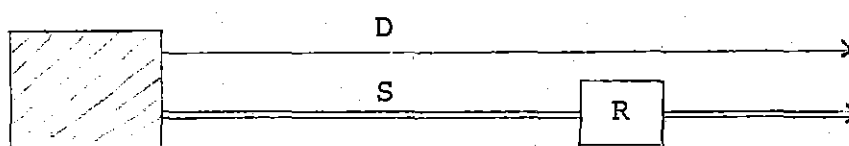


Fig. 1.1 Separatsystem

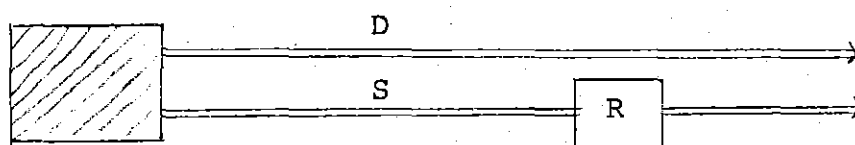


Fig. 1.2 Duplikatsystem

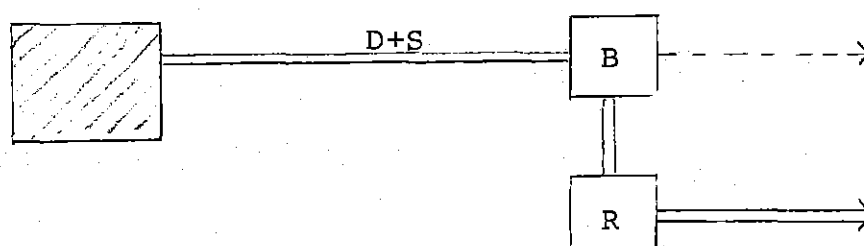


Fig. 1.3 Kombinerat system

S = Spillvatten

D = Dagvatten

B = Bräddning

R = Rening

Nackdelarna är att vid häftiga regn bräddas obehandlat avloppsvatten till recipienten och vid regn av sådan intensitet att ledningarnas kapacitet överskrids, kan källaröversvämningar med spillvatten uppstå.

Val av system: Vanligtvis är det ekonomiska synpunkter som fäller avgörande vid val av avloppssystem. Här gäller det emellertid att inte enbart ta hänsyn till anläggnings- och skötselkostnader utan till ett stort antal faktorer, typ riskbedömning av källaröversvämning, rening av avloppsvattnet, erforderlig reningsgrad m.m.

1.2 Analys/dimensioneringsmetoder för dagvattensystem.

En planering av urbana områdens avvattningssystem bör göras så att ovannämnda skadliga effekter i möjligaste mån undviks. Detta kräver beräkningsmetoder för uppskattning av dagvattenflödena. I det följande ges en översikt av de vanligaste metoderna.

Handräkningsmetoder: Vid dimensionering av dagvattensystem är man intresserad av att beräkna avrinningen från större områden som består av många avrinningsytor och långa ledningar. I Sverige används i de flesta fall den s k Rationella Metoden i vilken maxflödet beräknas som produkten av nederbördsintensiteten, ytans area och en avrinningskoefficient (andelen av totalytan som deltar).

Rationella metoden beräknas enligt:

$$q(T) = \phi \cdot MI(t, T)$$

$q(T)$ = maximalt flöde per ytenhet

T = återkomsttid (år)

ϕ = maxavrinningskoefficient (dimensionslös)

$MI(t,T)$ = blockregnets medelintensitet

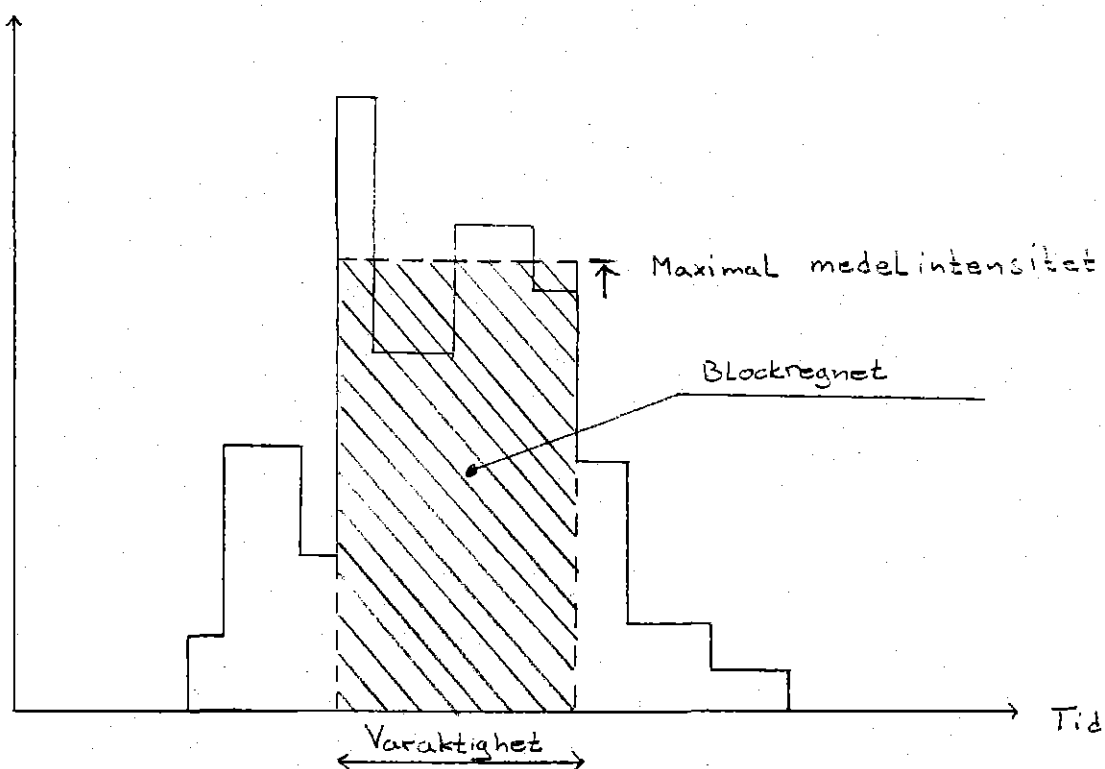
t = blockregnets varaktighet

Nederbörden representeras av den maximala medelintensiteten för en viss varaktighet, se fig 1.4. Rationella metoden är lämplig för överslagsberäkningar samt för dimensionering av ledningarna för nya mindre ledningssystem. För större ledningssystem finns andra handräkningsmetoder bland annat Tid-areametoden och volymavrinningsmetoden vilka vi inte går in på närmare.

Datormodeller: Det senaste årtiondets utveckling på datorsidan har skapat förutsättningar för att noggrannare beräkna avrinningen. Framför allt i USA har ett flertal datorbaserade avrinningsmodeller utvecklats. Dessa karakteriseras av att avrinningsförloppet beskrivs som sammansatt av olika delprocesser t.ex. avrinning från hårdgjorda (impermeabla) ytor och icke hårdgjorda (permeabla) ytor, ledningsflöde, magasinering och brädning. Intresset för denna typ av beräkningsmetoder, vid dimensionering av dagvattensystem, har ökat starkt på senare år. Kurser i användandet av datormodeller ges på olika ställen, bl.a. Chalmers, vilket har medfört att konsultföretagen i allt större utsträckning använder sig av datorbaserade avrinningsmodeller. Man kan i framtiden vänta sig ett ytterligare ökat utnyttjande av datorbaserade beräkningsmetoder.

De största svårigheterna vid användning av databaserade avrinningsmodeller är att välja representativa nederbördstillfällen och områdesbeskrivningar. Detta examensarbete avser just att diskutera detaljeringsgraden vid beskrivning av områdesindata.

Intensitet (Regn)



Regnintensitet i (l/s · ha)

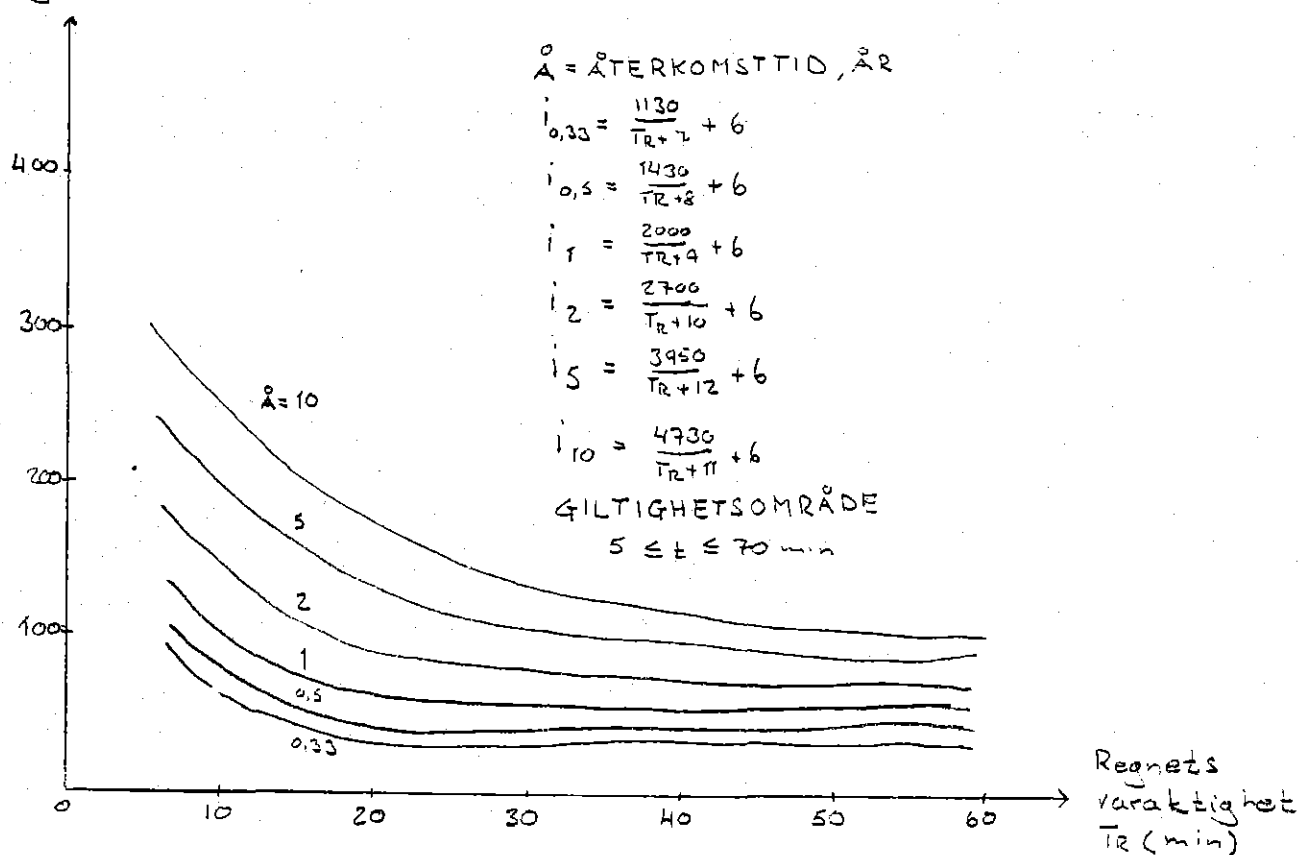


Fig. 1.4 Blockregn och regnintensitets/varaktighetskurvor.

2. OMRÅDESBESKRIVNING.

Fältmätningarna har utförts vid Landvetter flygplats, cirka 2 mil öster om Göteborg (se fig. 2.1). Den undersökta ytan ligger inom flygplatsområdet framför hangarbyggnaden, i norra delen av fältet (se fig. 2.2).



Bild 2.1 Del av avrinningsområdet.

Avrinningsytan består enbart av asfalt. Den omges på två sidor av gräs- respektive stenytor. De andra två sidorna är höjdryggar som delar av den stora asfaltplanen i olika delområden. Avrinningsområdet har en total yta på 10134 m^2 , samt 8 st. rännstensbrunnar med ett inbördes avstånd på 30 m. De ligger på en rät linje med en nord-sydlig sträckning (se fig. 2.3). Samtliga rörledningar har diametern $\varnothing 300 \text{ mm}$, med en medellutning på cirka 2,5 promille. Avståndet mellan mätbrunnen och första rännstensbrunnen är 44 m. Längsta flytlängd är ungefär 65 m. Avrinningsytans största lutning har uppmätts till 15 promille, medel är cirka 10 promille.

Detta område lämpar sig väl för mätningar av ytvattenav-
rinning. Dels består det av stora jämna lätt definierbara
och homogena ytor. Ledningssystemet är nylagt, och kan
därför antagas vara i gott skick. Dessutom är dess läge
fördelaktigt, emedan endast en ringa trafikmängd påverkar
det pågående mätarbetet.



Bild 2.2 Del av avrinningsområde.



Bild 2.3 Del av avrinningsområde.

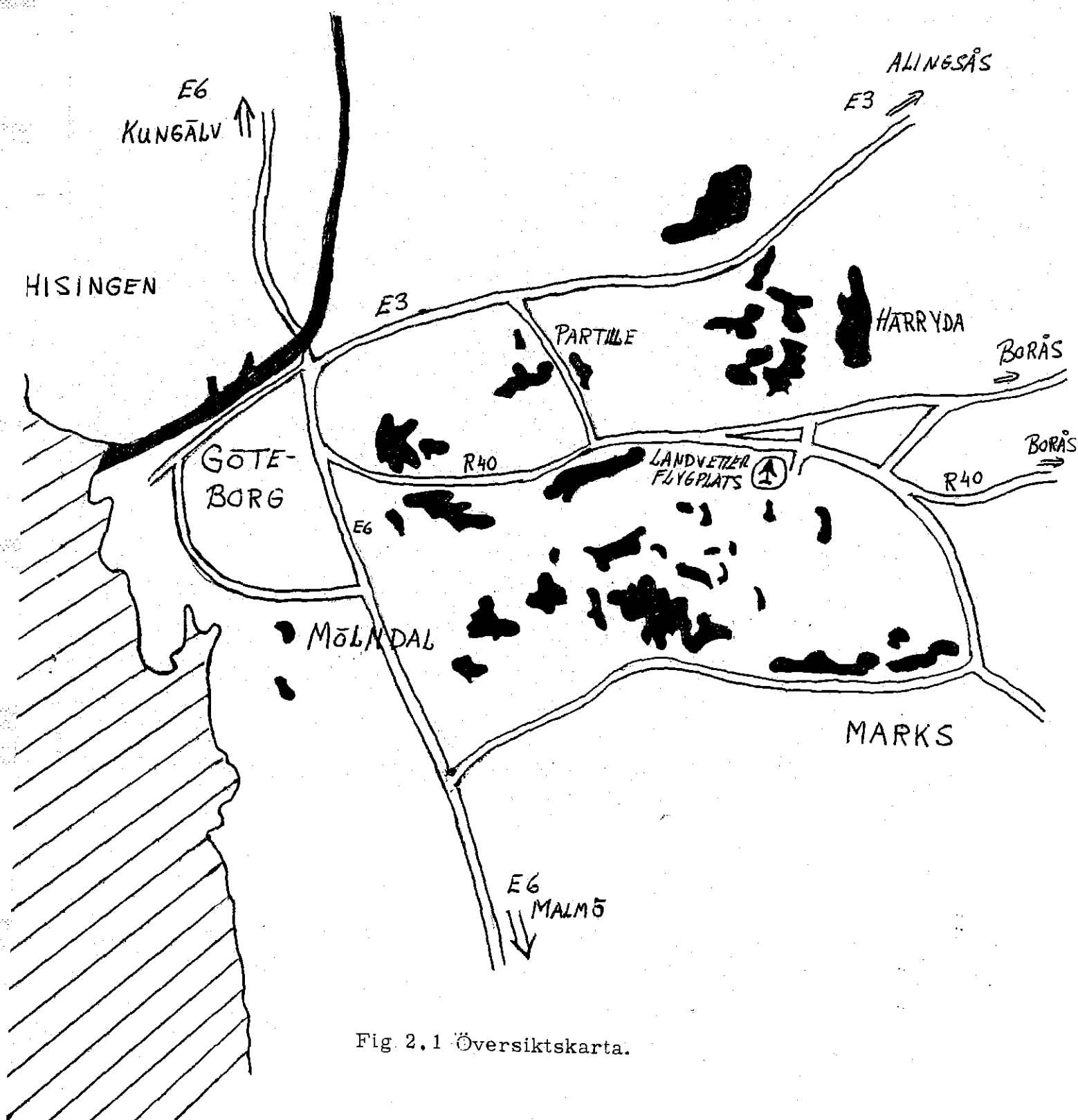


Fig 2.1 Översiktskarta.

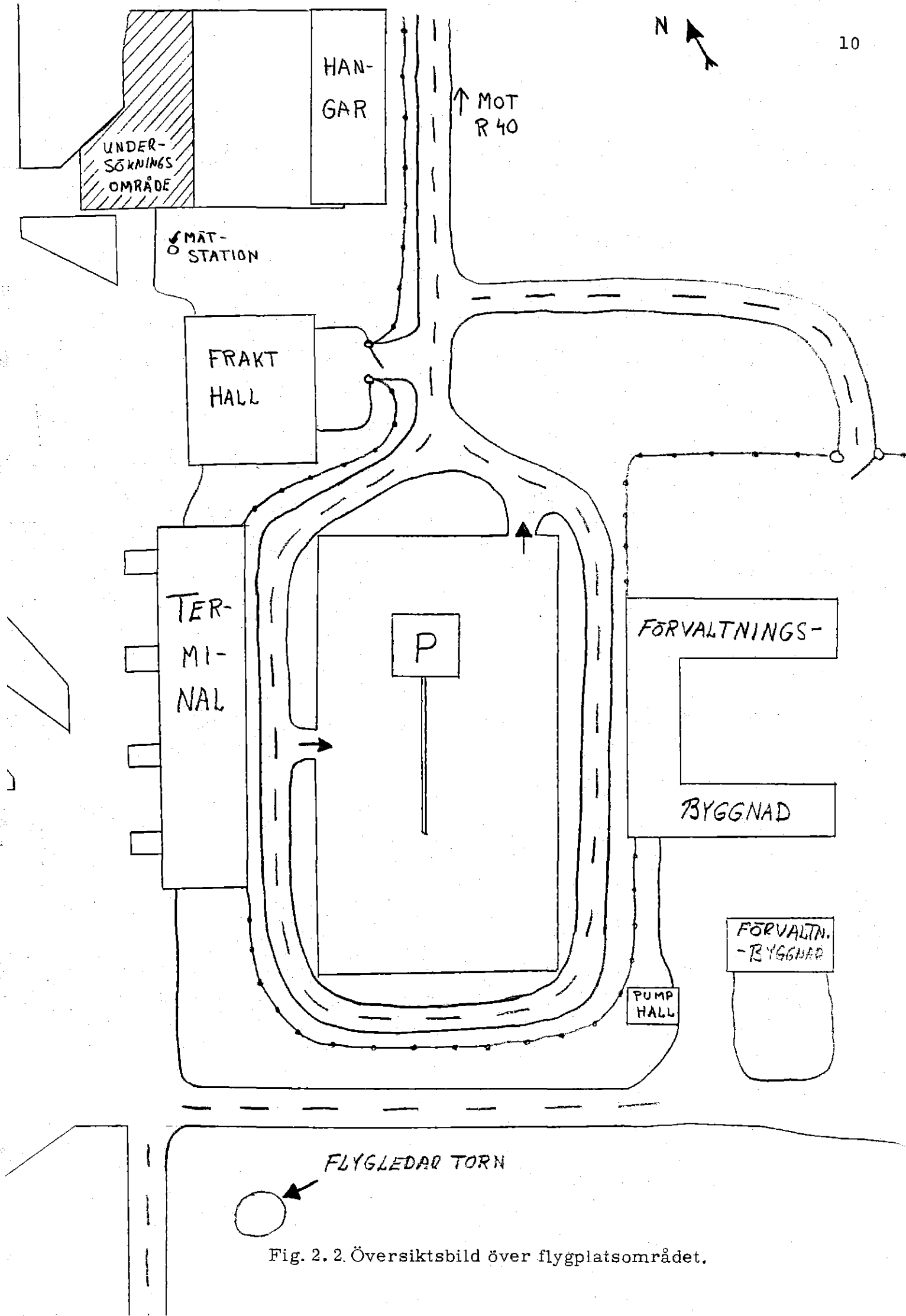


Fig. 2. 2. Översiktsbild över flygplatsområdet.

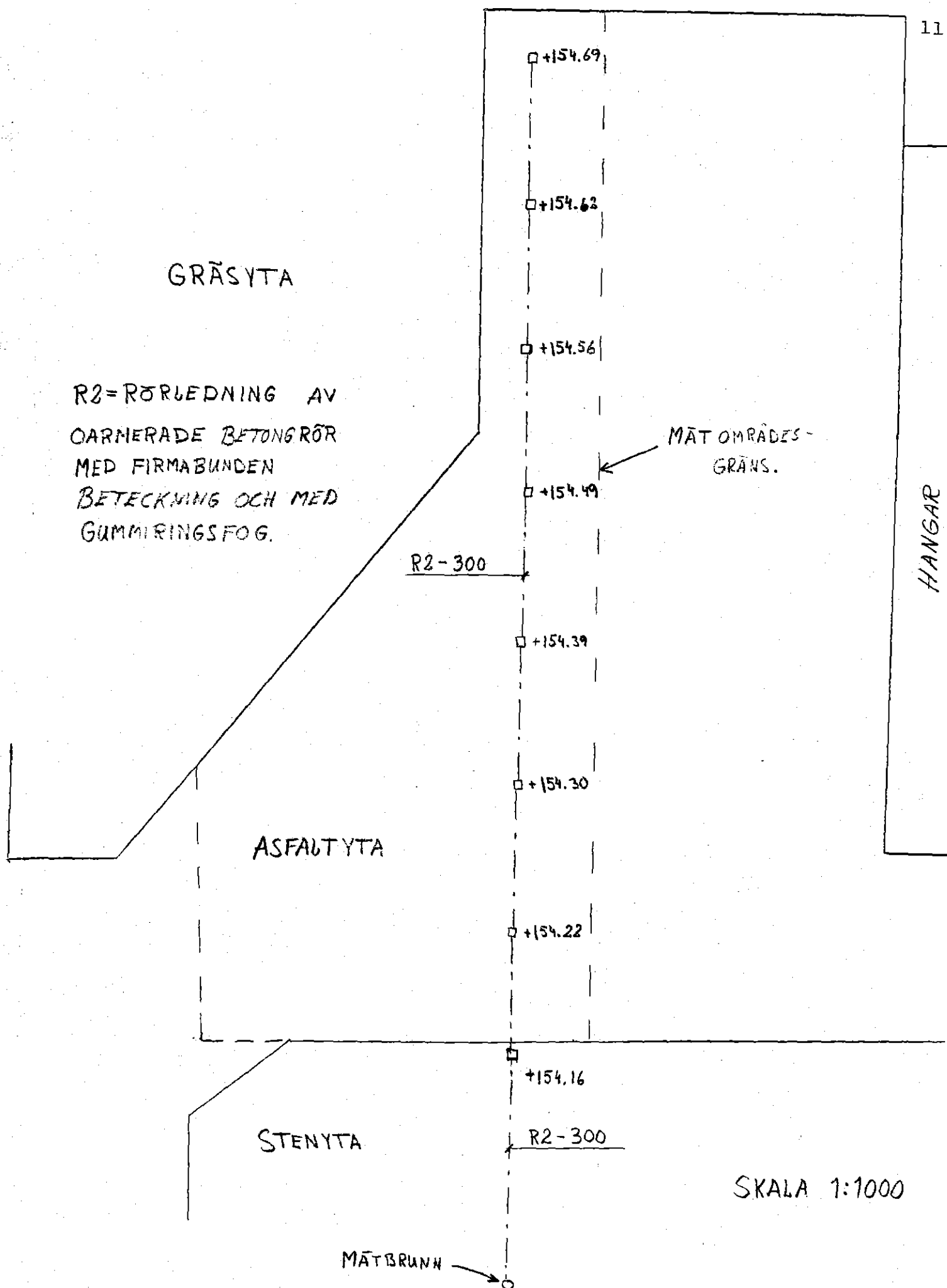


Fig. 2. 3. Ledningssystemet vid hangarbyggnaden.

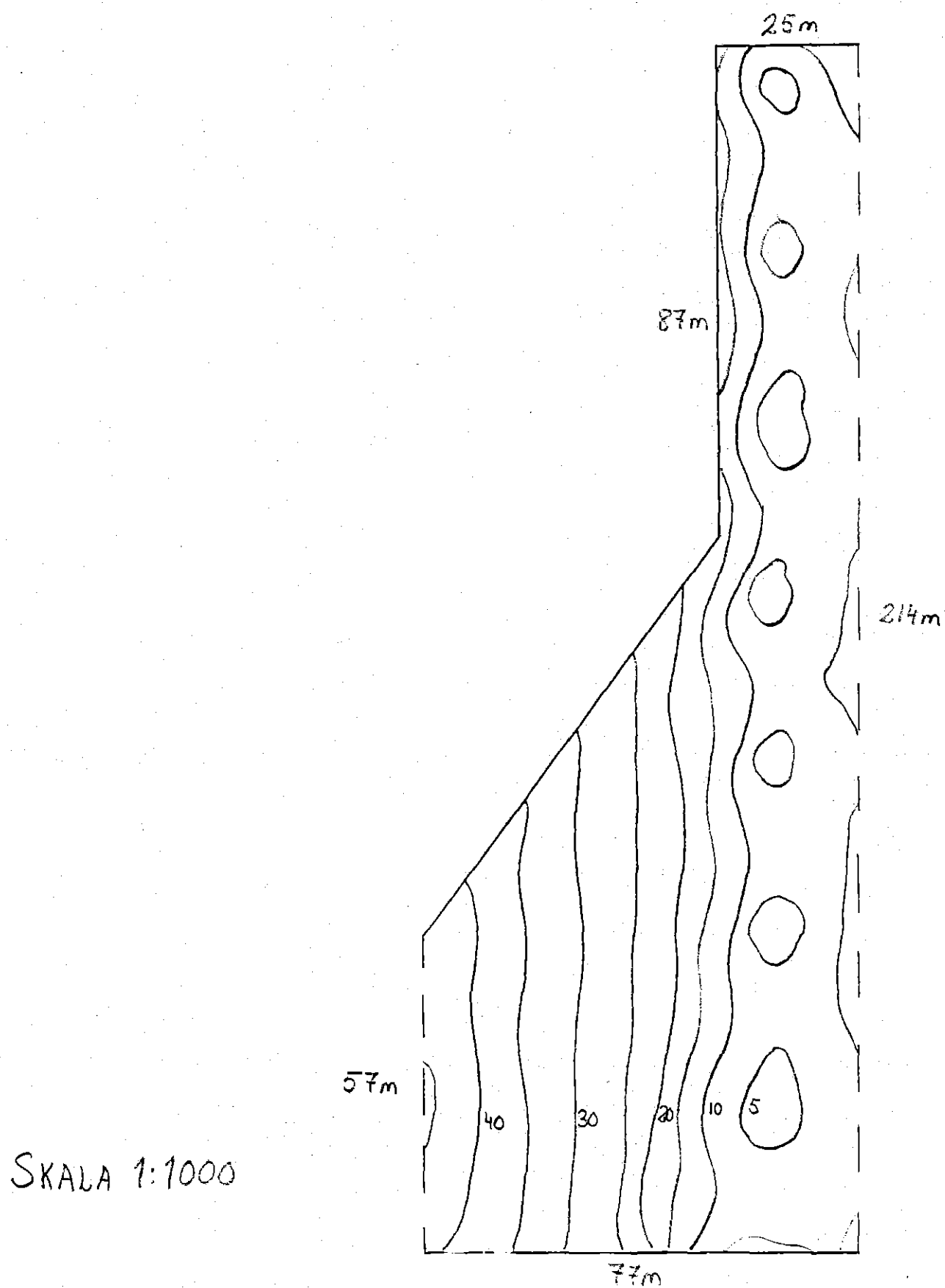


Fig. 2. 4. Nivåkurvor (cm).

3. FÄLTMÄTNING.

3.1 Mätutrustning, Mätstation.

Nederbördsrätare:

Nederbördsrätaren placerades cirka 100 m från avrinningsytans centrum. Den är av typ Hellman, se fig. eller bild 3.1.



Bild 3.1 Nederbördsrätare, typ Hellman.

Nederbörden samlas upp i en trätt (area 200 cm^2), och rinner vidare ner i ett flottörhus. Flottören stiger då vattenet ansamlas. Ett ritstift kopplat till flottören överför dess höjdvärningar till ett diagramapparat. När flottörhuset är fullt, töms det genom en hävert. Diagramapparat drivs fram med en hastighet av 40 mm/tim , vilket ger en möjlighet till avläsning av nederbörden med ett intervall av 2 minuter. Detta ger en kontinuerlig kurva av nederbörden avsatt på en tidsaxel.

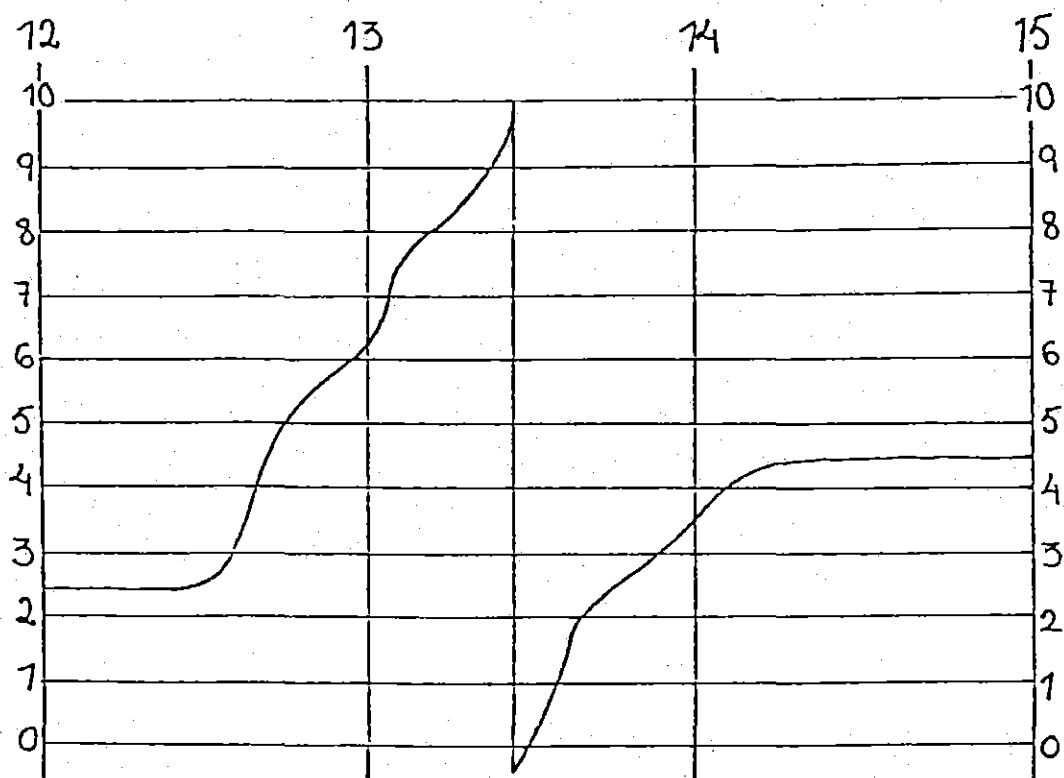
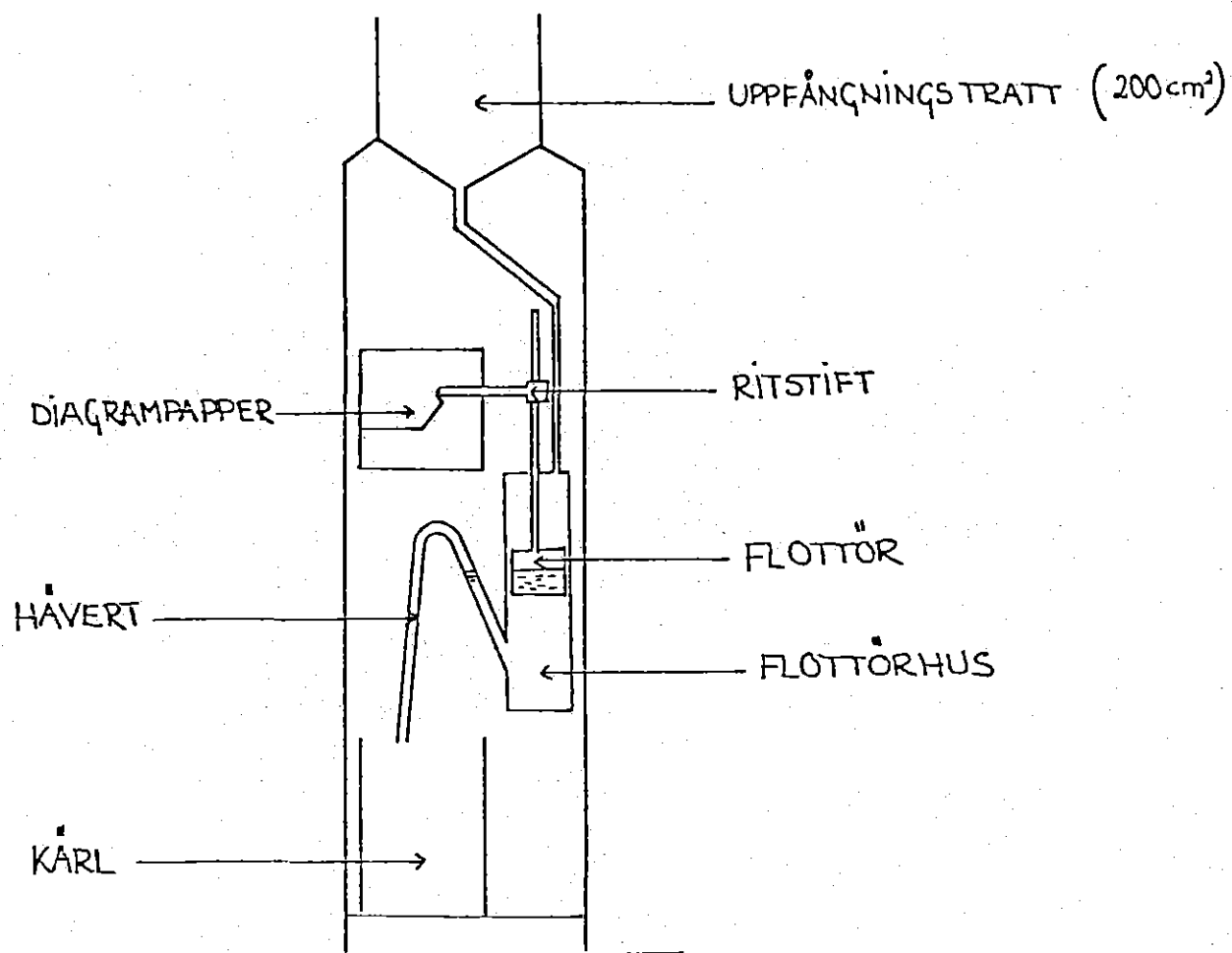


Fig. 3.1. Ackumulerande regnmätare med flottörhus samt exempel på registrering av ett kraftigt regn.

Nivåmätare:

För att enklast mäta de avbördade vattenmängderna, så lät vi de passera ett Thomson överfall. Genom uppmätning av vattennivån uppströms överfallet, kan man med hjälp av en så kallad överfallsformel beräkna flödet (se kap. 4). Utrustningen för nivåmätning består av en nivåmätare samt en skrivare (se fig. 3.2). Nivåmätaren registrerar ändringar av vattennivån uppströms överfallet, och skrivaren noterar de uppmätta värdena som funktion av tiden. Nivåmätaren är en så kallad ekolodsmätare, som sänder ut ljudimpulser. De utsända ljudimpulserna reflekteras mot vattenytan och återvänder till givarenheten. För att erhålla så goda reflexer som möjligt, så placerades givaren i ett rör. Tiden som mäts för de utsända signalerna omvandlas till spänning som är proportionell mot mät höjden. Skrivaren ritar ett diagram av vattennivån som funktion av tiden. Flödet kan vid utvärdering sedan beräknas för varje tidsintervall. Till skrivaren finns speciella justeranordningar för att ge möjlighet att variera mätspannet, samt att korrigera nollnivån. Därtill sammankopplades ett urverk för att med större precision styra händelserna till exakt tid.

Mätstation:

I ett tidigare ex-jobb hade ett Thomson överfall redan monterats i en nedstigningsbrunn. Det är placerat i avslutningen på ett tilloppsror som har diametern $\varnothing$ 800 mm (se fig.3.3). Dvs. att ett $\varnothing$ 300 mm rör avslutas med detta grövre rör de sista tre metrarna. På så vis fick vi en damm uppströms överfallet i denna rörsektion. Detta är nödvändigt ty nedstigningsbrunnen vars diameter endast är 1 m, skulle inte kunna erbjuda plats för denna dammbyggnad (se bild 3.2).

För att erhålla tillförlitliga resultat krävs:

- tät tilloppsledning
- tät damm, inget läckage får förekomma.

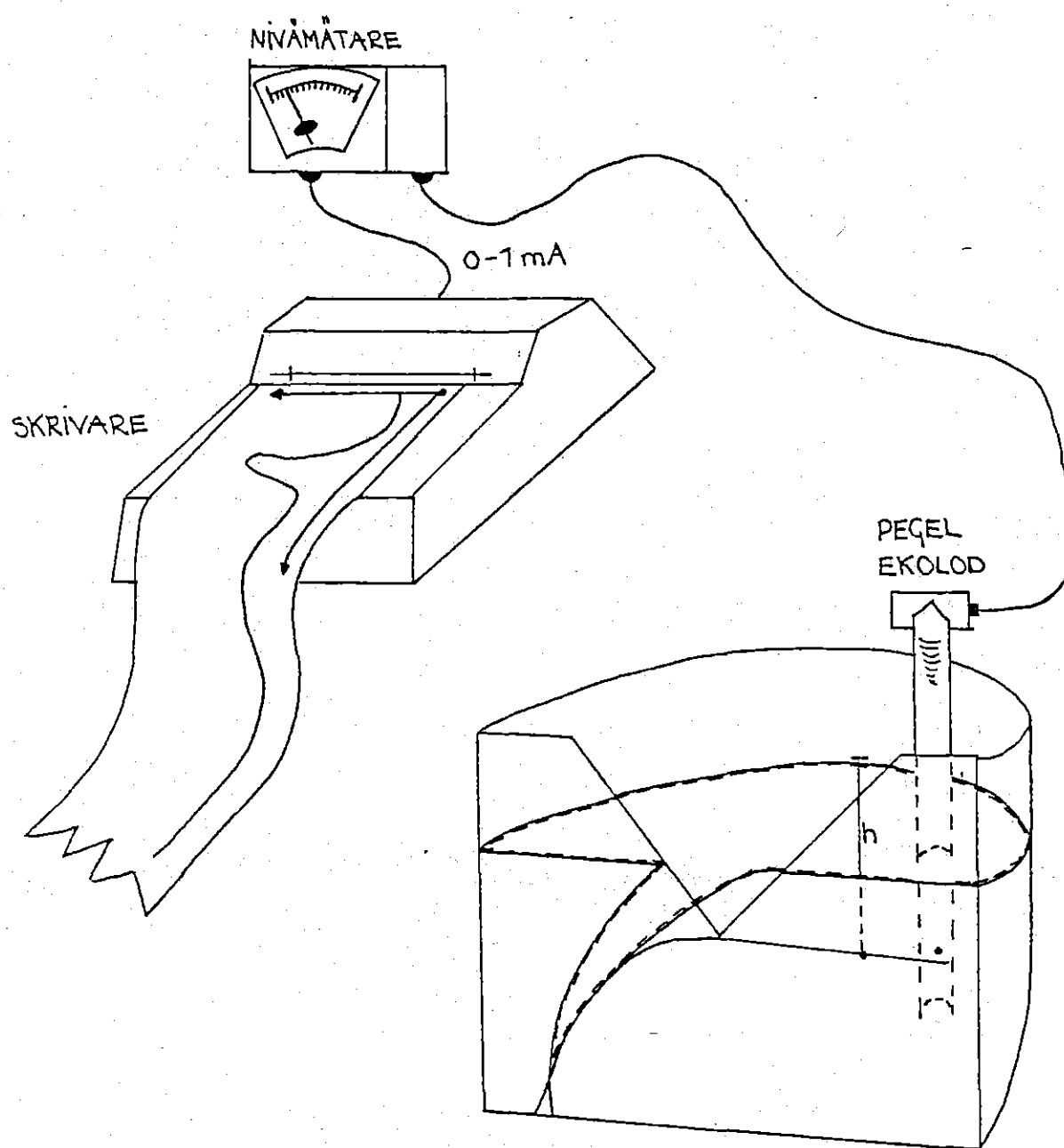


Fig.3.2. Skrivare och nivåmätningstrustning.

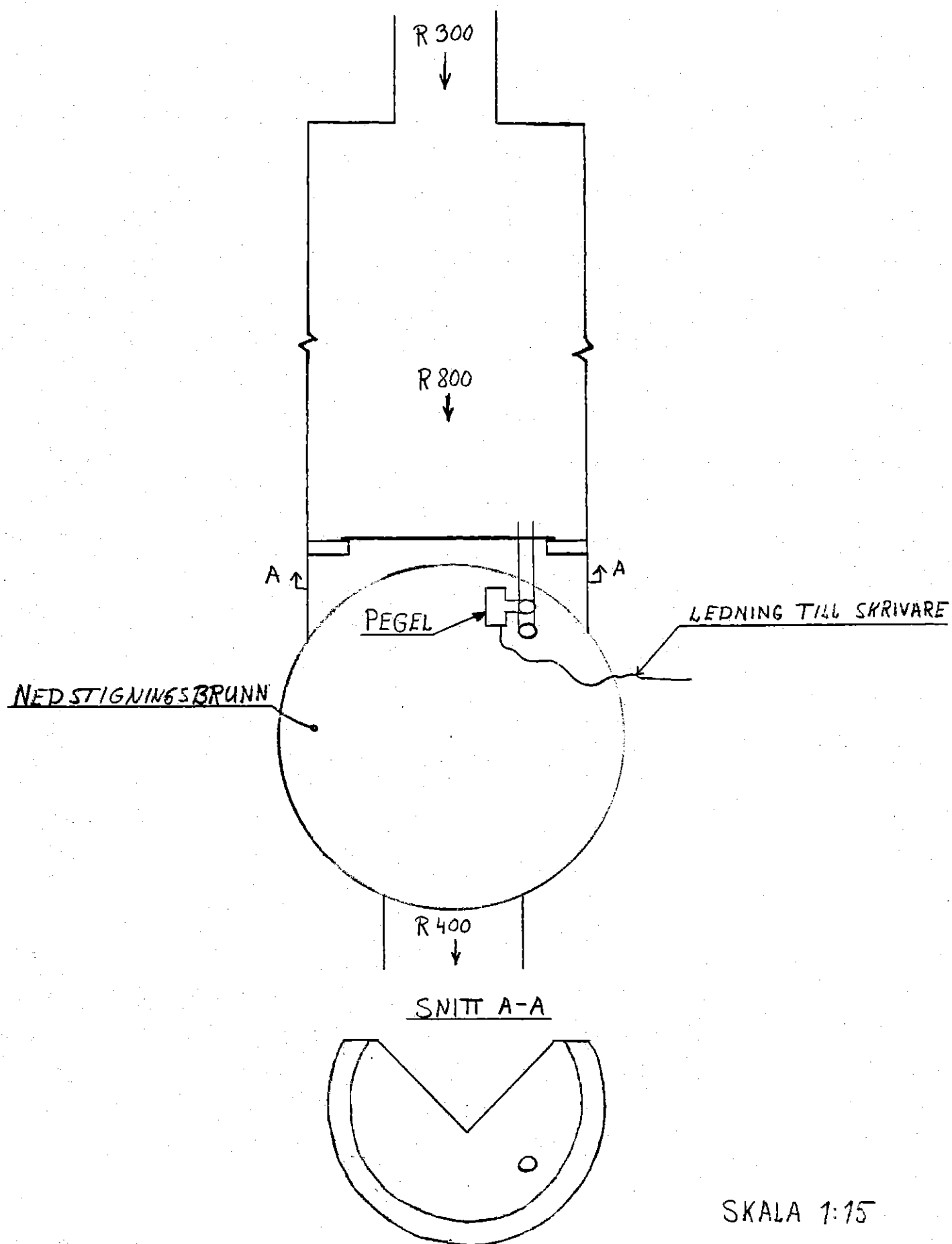


Fig. 3.3 Mätstation.

- att vattenstrålen över mätöverfallet är helt luftad dvs. vattenytan nedströms får ej nå upp till överfallskanten.
- "stillastående dammvatten", dvs. tilloppsvattnet skall inte påverka dammens vatten så mycket att det strömmar mot överfallet.

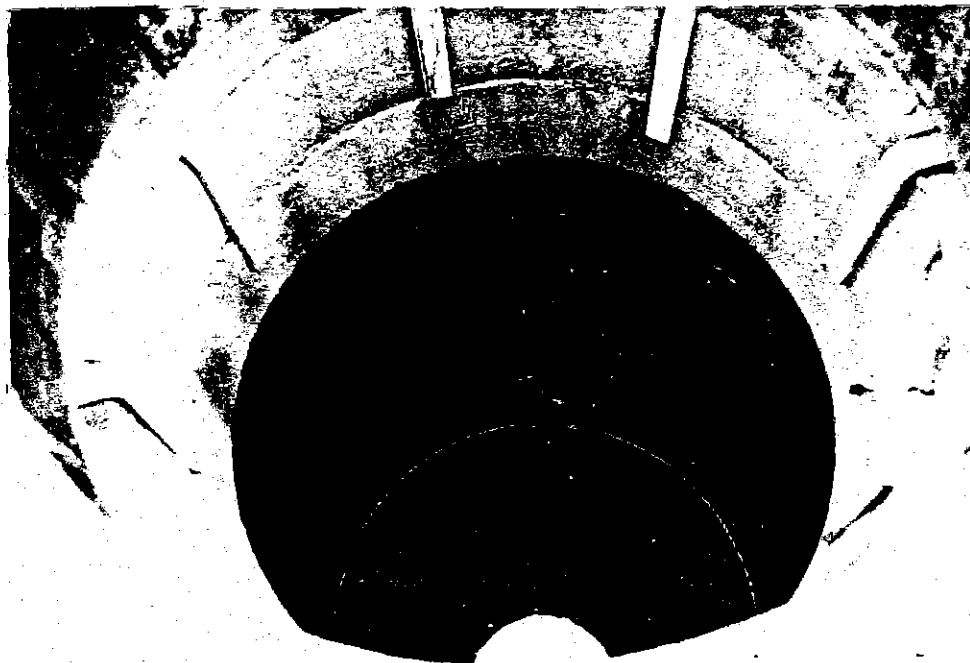


Bild 3.2 Nedstigningsbrunn före installation.

3.2 Installation.

Efter kontroll och tätning av överfallsskivan, var dammen klar att tagas i bruk. Nästa åtgärd var att montera impuls-givaren (pegeln) på en lämplig plats. Den gick inte att placera innuti utloppsröret, varför vi var tvungna att sätta den i nedstigningsbrunnen. Med några rörkrökar och skarvbitar lyckades vi få fast pegeln på ett tillfredsställande sätt. Resultatet kan ses på bild 3.3.

För att undvika inströmning av sand och slam, placerades in-taget till pegelns rör en bit ifrån dammbotten, samtidigt sätts det så att strömvirvlar och svallning undviks. Dessutom påmonterades ett extra stigarrör med diverse håltagningar. Kalibrering, samt efterföljande kontroller kunde sen

göras snabbt och enkelt, eftersom kalibrering sker med hjälp av de fasta håltagningsnivåerna (se fig.3.4). Nertill på rörkopplingarna placerades en stängningsventil, för att möjliggöra denna kalibrering.

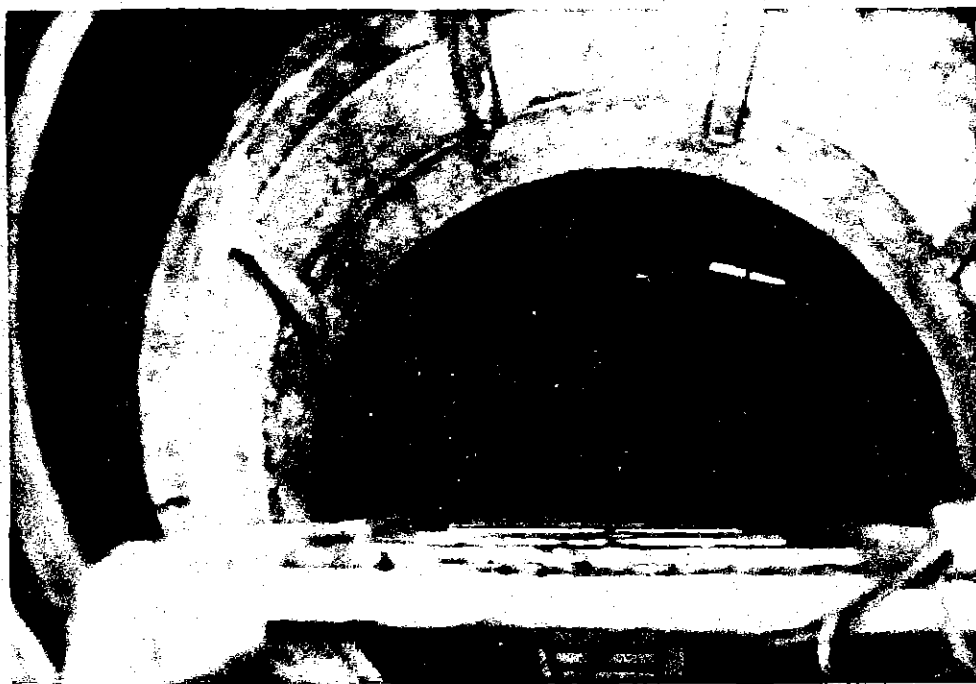


Bild 3.3 Nedstigningsbrunn efter montering av nivågivare.

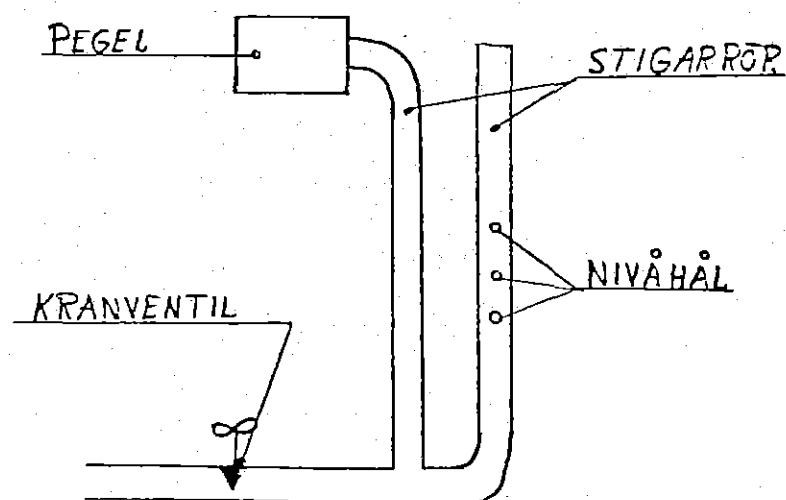


Fig. 3.4 Nivågivare (pegel) med stigarrör.

Eftersom nedstigningsbrunnen är så trång, bestämde vi oss för att placera skrivaren utanför brunnen. Skrivaren, urverk och justeringsboxar sattes därför i en liten mätbod (se bild 3.4).



Bild 3.4 Mätbod med skrivare m.m.

Den är mycket praktisk att använda, samtidigt som den rymmer mycket av den övriga utrustningen (diagramrullar, verktyg osv.). På baksidan av mätboden gjordes hål för genomdragnings av diverse elledningar. Med ett gott samarbete med de ansvariga för drift och underhåll på flygplatsen, lyckades vi relativt snabbt att få utdraget en 200 m lång elledning till vår mätbod.

Nederbördsräknaren spikades fast i en horisontalcentrerad träställning. Det visuella resultatet av installationsarbetet kan ses på bild 3.5.



Bild 3.5 Översiktsbild vid mätplats.

3.3 Kalibrering av mätöverfall.

Man kan misstänka att den teoretiska avbördningsformeln inte stämmer särskilt väl för den ganska speciella utformningen av mätbrunnen som vi har. Därför gjordes en kalibrering av överfallet.

På grund av mycket stora avstånd till mätplatsen, kunde vi inte dra dit några brandslangar för att simulera olika avbördningsintensiteter. Istället fick vi av flygfältets brandkår låna en man samt brandbil (se bild 3.6).

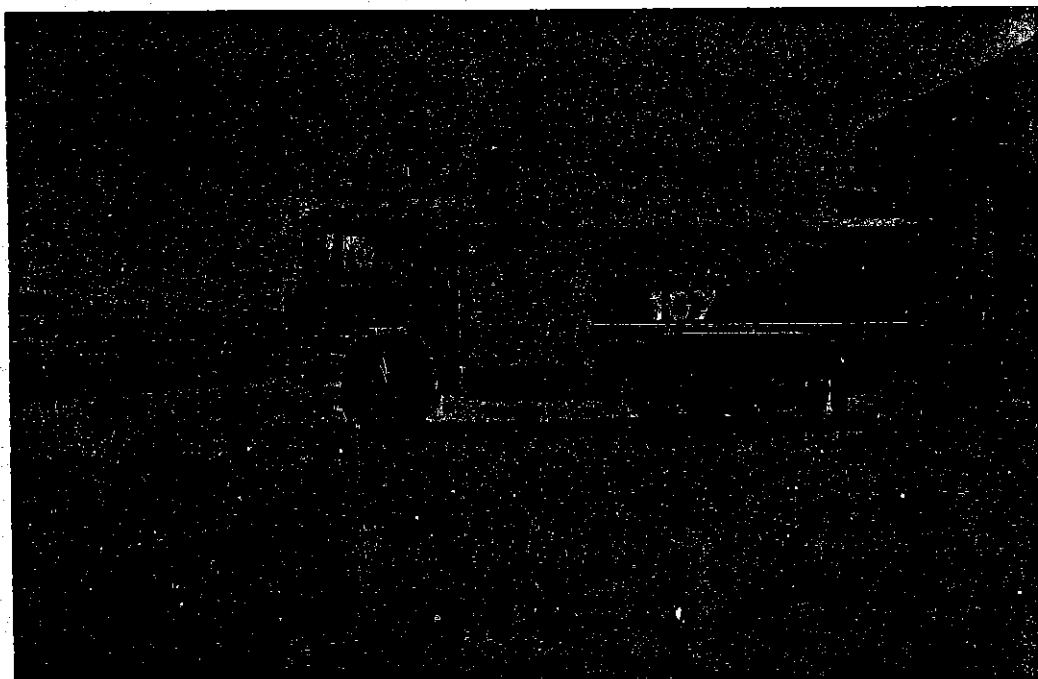


Bild 3.6 Brandbil, hjälpmedel vid kalibrering.

Med hjälp av denna kunde vi spruta ner vatten i en utav avrinningsytans brunnar. När flödet hade blivit konstant, kunde mätningar vidtagas.

Skrivaren avlästes för att bestämma vattnets aktuella höjd över Thomsonöverfallet. Dessutom mättes tiden för att fylla upp ett 60 liters kar. Dessa mätningar upprepades 3 gånger för varje flödesbestämning. Genom att variera flödet, kunde vi få sambandet mellan verkligt flöde och nivåmätarens höjddregistrering. Vi gjorde dessutom en kontroll av nivåmätarens utslag vid uppfyllning av stigarrörens olika nivåer. De värdena användes senare endast för att kontrollera att nivåmätaren gav likartade utslag, och inte ändrades med tiden. Denna kontroll var av betydelse, emedan skrivarens nollnivå fick justeras med hänsyn till lufttemperaturens variationer.

3.4 Mätfas.

Mätningarna utfördes under sommarmånaderna juni t.o.m. augusti 1981. För att kontrollera apparaturen samt att justera tidssynkroniseringen mellan skrivare och nederbördsamatör, gjordes täta besök till Landvetter. Tre dagar i veckan var en normal besöksfrekvens. På så vis kunde störande tidsavvikelser minimeras. Även temperaturens inverkan var av betydelse. Skrivarens nollpunkt fick ofta korrigeras på grund av relativt stora fluktuationer i lufttemperaturen. Mätningarna skedde som sagt under sommaren, för att "fånga" så många korta intensiva regn som möjligt. Vi erhöll ett tjugotal kraftiga regn. Tyvärr kunde endast 8 st användas och bearbetas på grund av de övriga regnens oerhörda varaktighet. För att bestämma områdets exakta yta och dess nivåkurvor, användes avvägningsinstrument samt stålmåttband. Även brunnarnas höjdnivåer uppmättes. Det var ett digert jobb att kartlägga den 10134 m^2 stora ytans höjdvariationer, samt att på de två långsidorna precisera var ytans höjdryggar befann sig. En överblick av nederbördsområdets höjdvariationer erhålls i fig.2.4.



Bild 3.7 Mätning av asfaltsytans höjdvariationer.

3.5 Problem med fältmätningen.

Att klara sig från problem och svårigheter är inte alltid så lätt, även om man så här efteråt inte tycker att arbetet medgav några större sådana. Fältarbetet gav oss ändå vissa problem.

Dels fick vi åka Göteborg runt för att hitta ett skarvrör (till pegeln) med rätt dimension och gängning. Slutligen fann vi en liten mekanisk verkstad som kunde uppfylla våra önskemål.

Ett annat litet problem var avsaknaden av en fast brandpost vid kalibreringen. Den brandbil vi istället fick låna, hade en vattentank som innehöll 16 m^3 . Denna tank tömdes åtskilliga gånger, och på så vis fick vi ofta avbryta kalibreringen för att fylla upp tanken igen. Den stora vattenåtgången kan förklaras genom att det var mycket svårt att hitta lagom tappmängd från brandbilen. Dessutom tog det ett par minuter innan konstant flöde erhöles, efter det att ändring av tappmängd gjorts. Vid stora tappmängder (ca. 20 l/s), var det mycket svårt att med ett 60 liters kar uppskatta tiden för dess uppfyllnad.

Det var närmast en komisk syn att se Håkan badandes i vattenmassorna, samtidigt som vattenångorna välvde upp ur den lilla nedstigningsbrunnen.

Apparaturen fungerade inte alltid som vi hade tänkt oss. En dag hade det varit strömavbrott, varför synkroniseringen mellan skrivare och regnmätare inte stämde. Veckan efter hade någon "rört eller snubblat" över vår ledning ner till nivåmätaren. Skadan begränsades endast till att en skruvkontakt behövdes lagas, men samtidigt missades 5 mätdagar.

Som tidigare nämnts undveks tidsavvikelser i synkroniseringen mellan skrivare och nederbörds-mätare, genom täta besök på flygplatsen.

4. UTVÄRDERING AV FÄLTMÄTNINGAR.

4.1 Avbördning.

Sambandet flöde-nivå får man fram vid ett Thomson-överfall ur formeln:

$$q = \frac{8}{15} \mu \sqrt{2g} h^{5/2}$$

q = avbördningen i m^3/s

μ = avbördningskoefficient (0,57 μ 0,63)

h = lungnvattenytans höjd över spetsen i m

För att få fram det avbördningssamband som är anpassad tillvårt mätöverfall, använde vi oss av de nedanstående 6 kalibreringsvärdena:

q (l/s)	H (cm)
1,67	6,3
3,16	8,0
7,50	11,5
9,20	12,5
12,00	14,0
17,10	17,5

Efter dessa ovanstående värden passningsräknade vi oss fram till följande:

1. $\frac{8}{15} 0,57 \sqrt{2g} h^{5/2} = 0,0135 h^{2,5}$ (för låg se fig. 4.1)
2. $0,0148 h^{2,5}$ (för låg se fig. 4.2)
3. $0,018 h^{2,4}$ (för låg se fig. 4.3)
4. $0,018 h^{2,6}$ (för hög se fig. 4.4)
5. $0,019 h^{2,5}$ (för hög se fig. 4.5)
6. $0,018 h^{2,47}$ (överensstämmer bra med de 5 lägsta värdena)

Figurer har uppritats (4.1-4.6) på följande sidor där är

q = avbördningen i l/s och

h = lungnvattenytans höjd över spetsen i cm

Vi ansåg att kurva ($q = 0,018 h^{2,47}$) i fig. 4.6 beskrev verkligheten bäst, och väljer denna i fortsatta beräkningar.

⊙ = uppmätta värden

$$q = \frac{8}{15} \cdot 0,57 \sqrt{2g} h^{5/2} = 0,0135 h^{2,5}$$

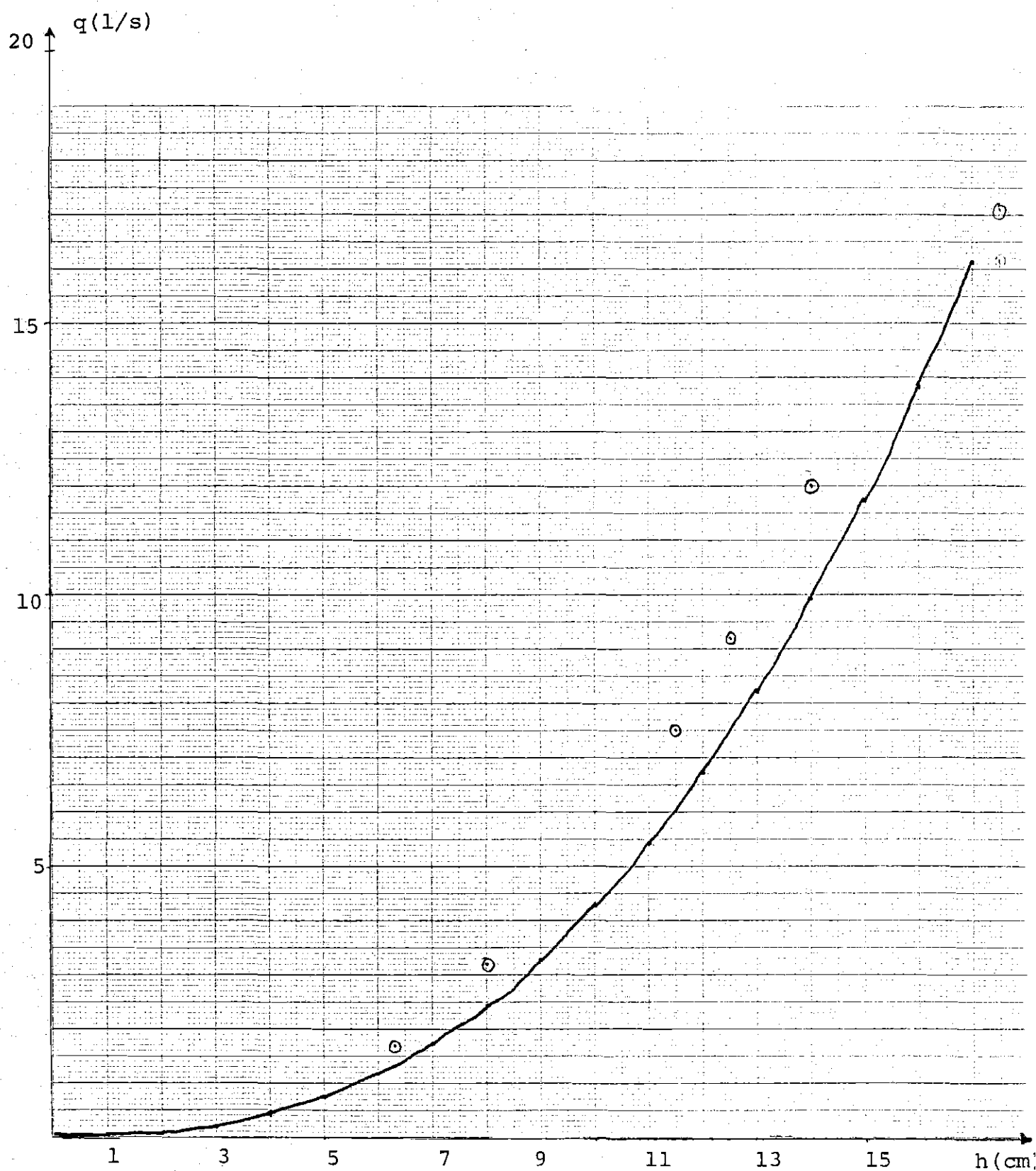


Fig. 4.1 Avbördringssamband flöde-nivå.

⊙ = uppmätta värden

$$q = 0,0148 h^{2,5}$$

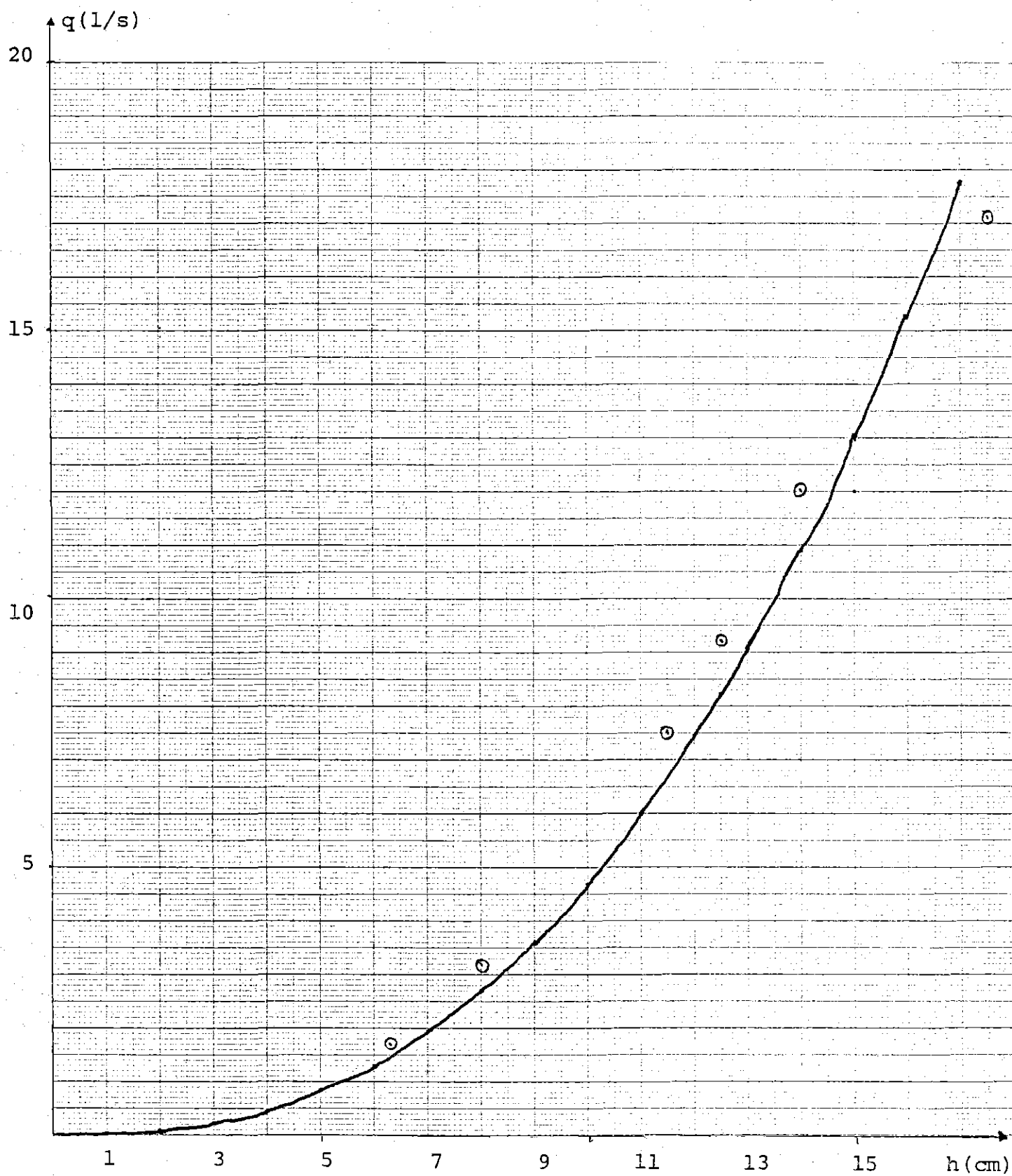


Fig. 4.2 Avbördningssamband flöde-nivå.

⊙ = uppmätta värden

$$q = 0,018 h^{2,4}$$

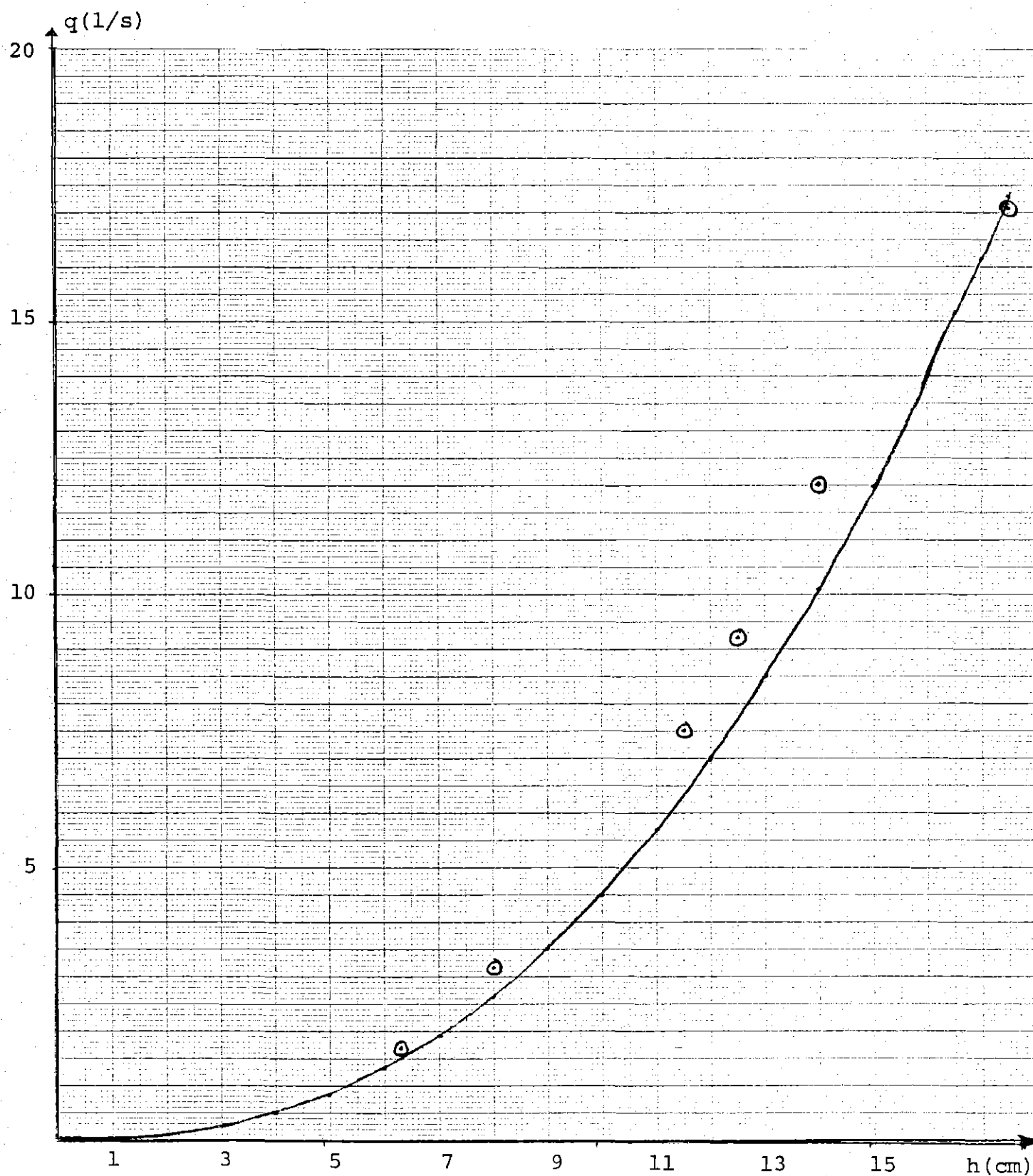


Fig. 4.3 Avbördningssamband flöde-nivå.

⊙ = uppmätta värden

$$q = 0,018 h^{2,6}$$

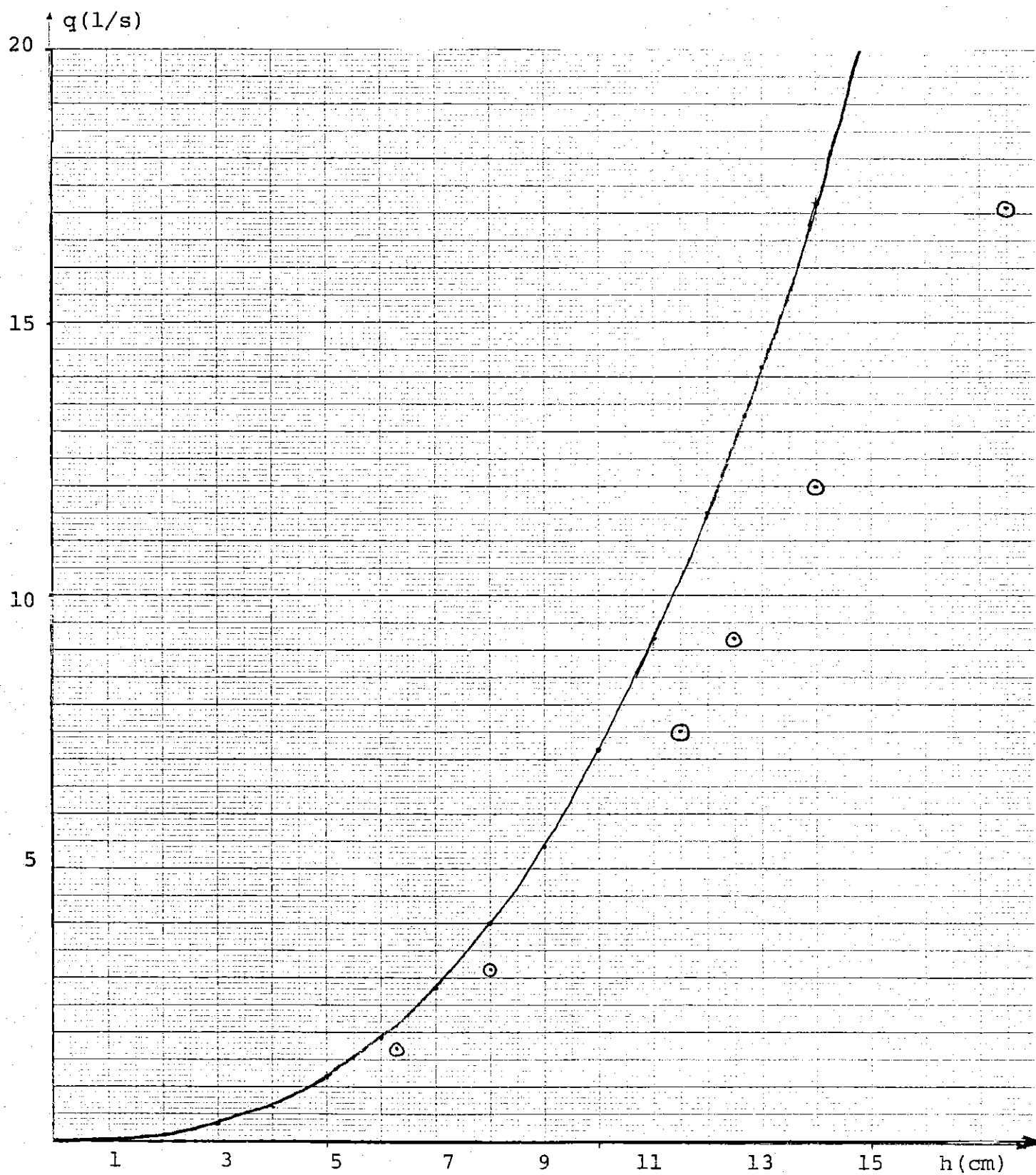


Fig. 4.4 Avbördningssamband flöde-nivå.

⊙ = uppmätta värden

$$q = 0,019 h^{2,5}$$

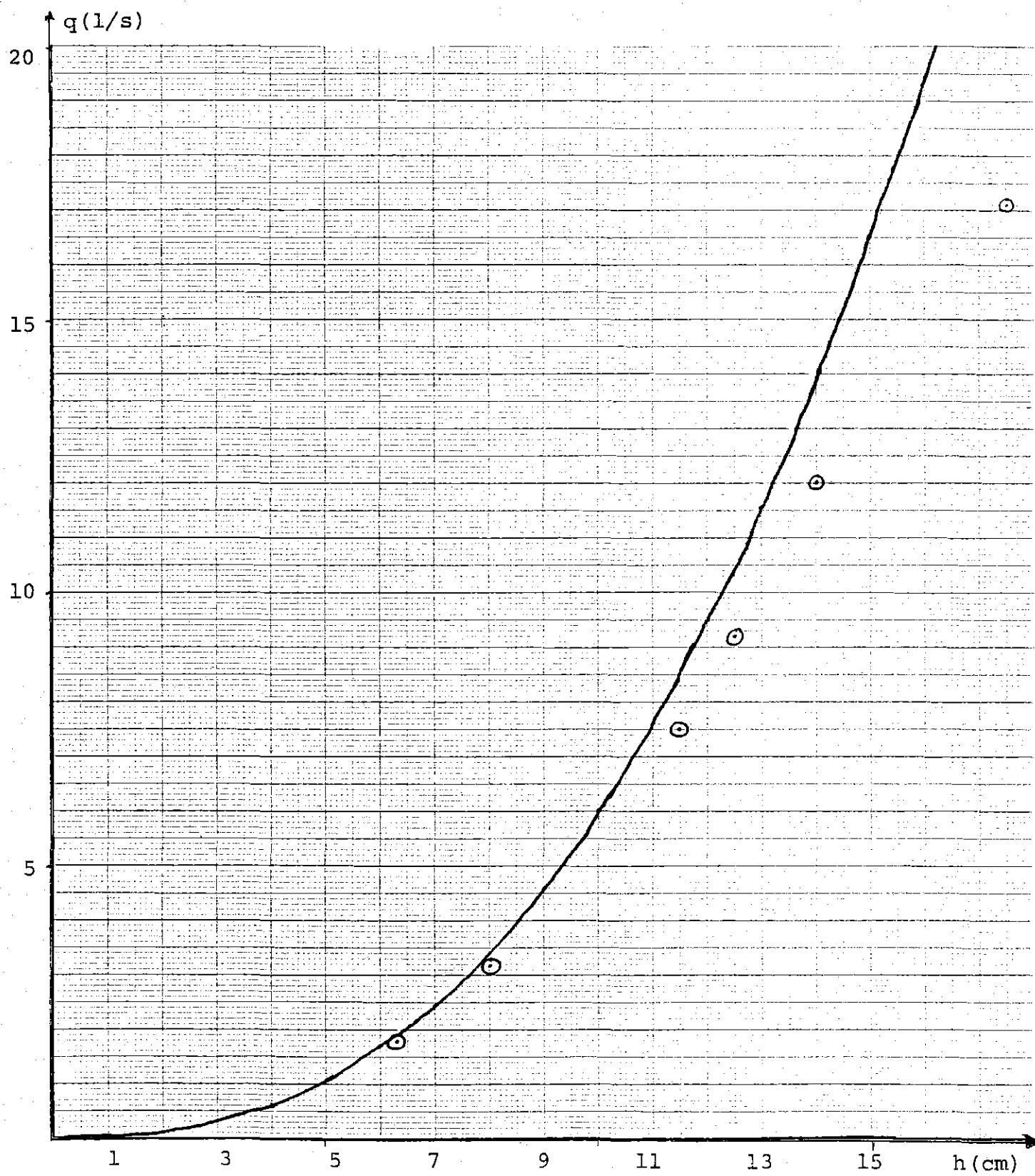


Fig. 4.5 Avbördrningssamband flöde-nivå.

⊙ = uppmätta värden

$$q = 0,018 h^{2,47}$$

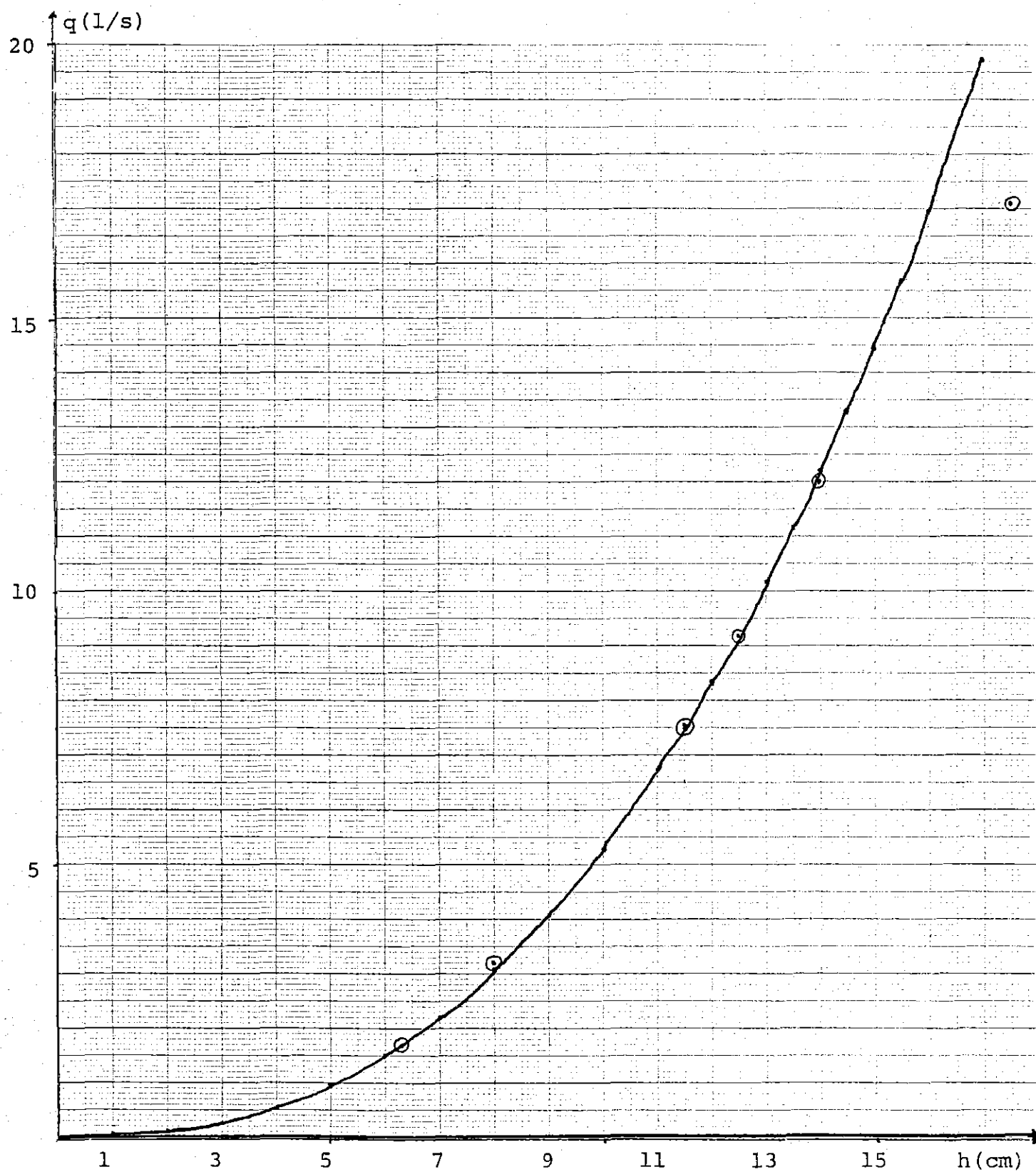


Fig. 4.6 Avbörningssamband flöde-nivå.

4.2 Diagram över intensitet-tid, för nederbörd och avrinning.

För de följande hyetograferna och hydrograferna (Diag. 4.1-4.8) har vi dividerat flödet med avrinningsytans totala yta (10134 m^2) och multiplicerat med 3600 sek., varefter vi får avrinningen uttryckt i mm/tim vilket då gör jämförelsen mellan nederbörd och avrinning lättare.

Nederbörden presenteras i stapelform, men vi har ej ritat i de vertikala delarna på staplarna, för att vi skall få en mer enhetlig och klar bild av nederbörden när vi sedan jämför med de simulerade avrinningarna (i Diag. 5.1-5.7)

Avrinningshydrografen är den heldragna kurvan i diagramen.

Svårigheterna att mäta nederbörd och avrinning (avseende på synkronisering) innebär att man allmänt kan räkna med mätfel på upp till 10 a 15 %. De i figurerna redovisade mätningarna har sannolikt ej större mätfel.

Diagram 4.1 Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf (Regn 1)

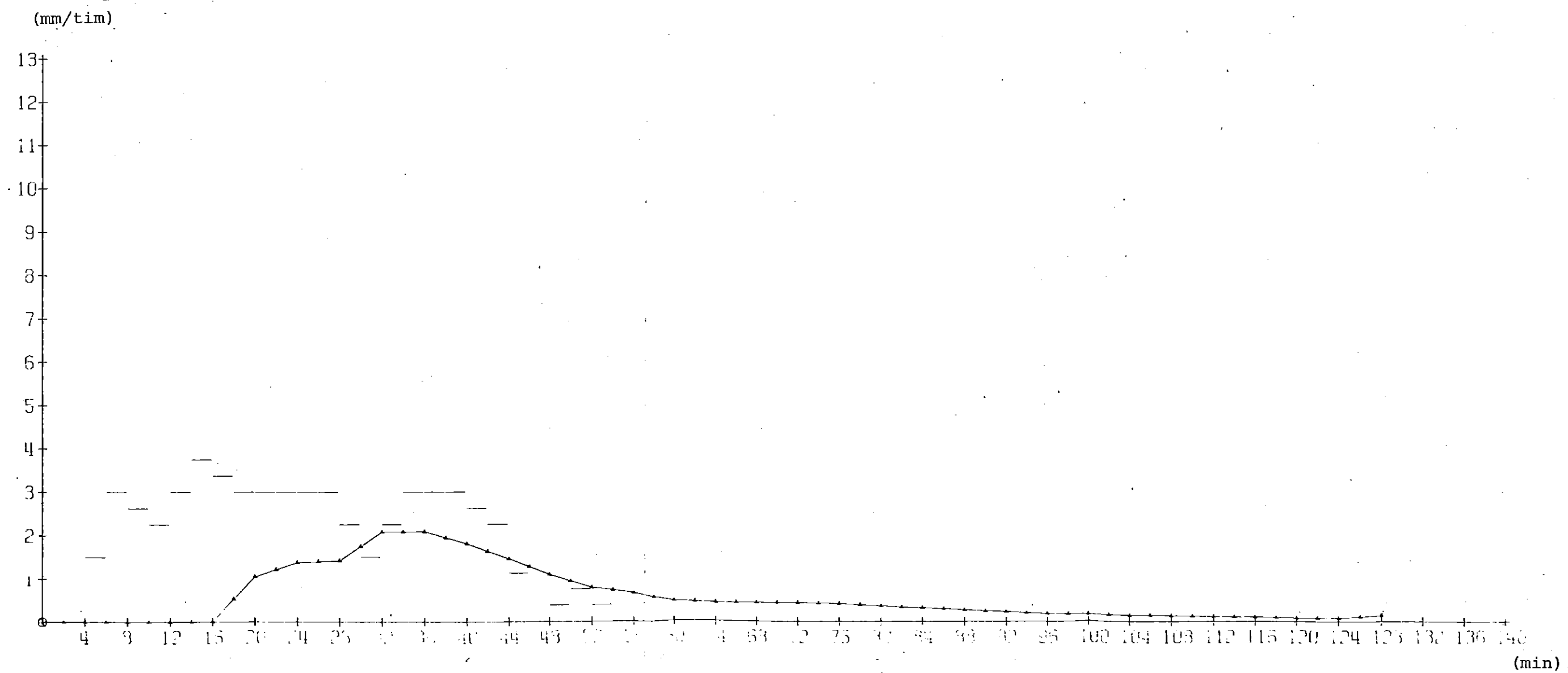


Diagram 5.1 Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 1)

- ● = Uppmätt avrinningsvolym
- + + = Översiktlig modell
- ▲ ▲ = Noggrann modell

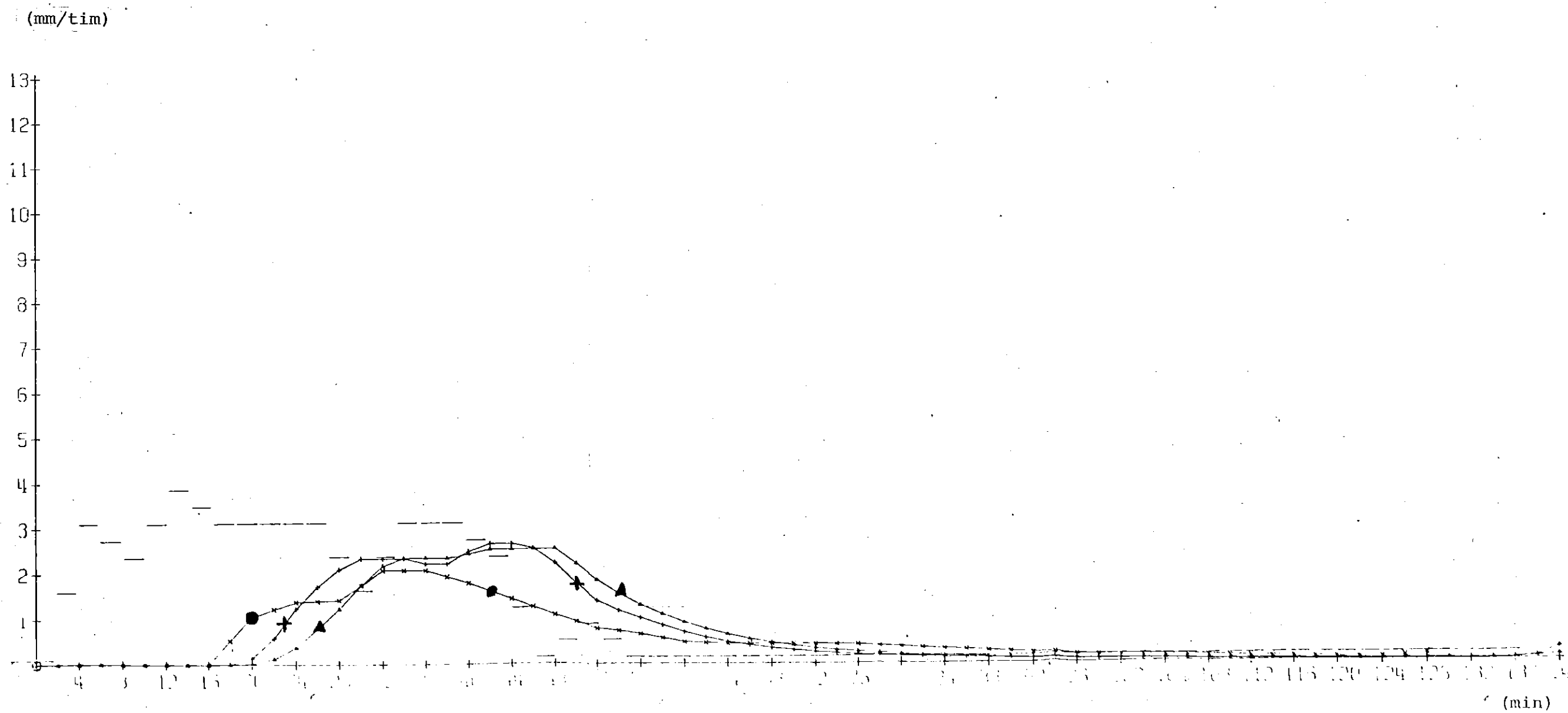


Diagram 4.2 Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf (Regn 2)

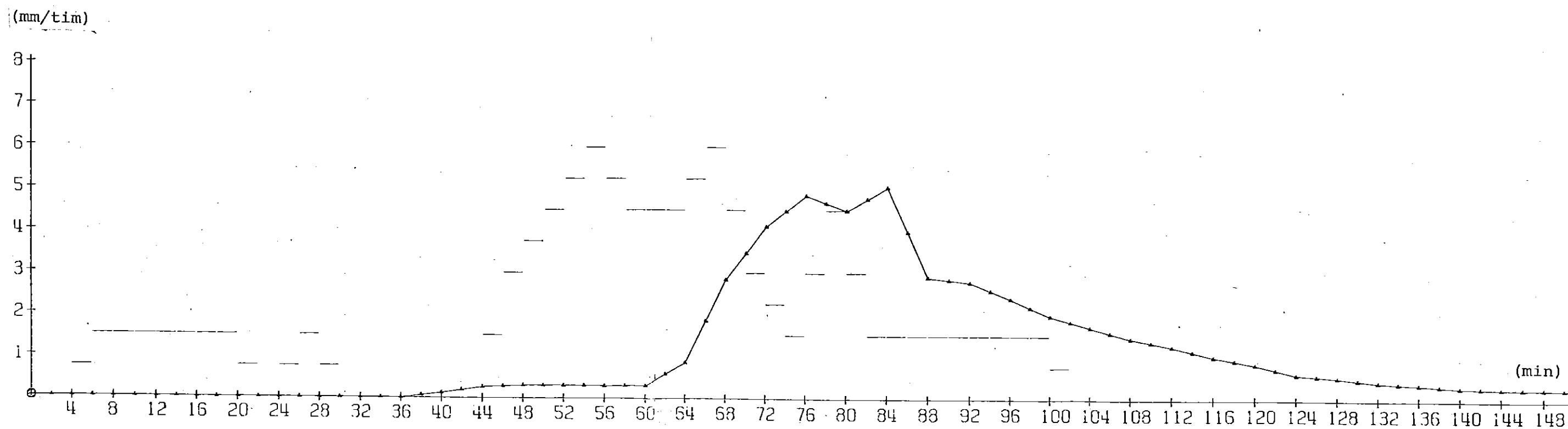


Diagram 5.2 Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 2)

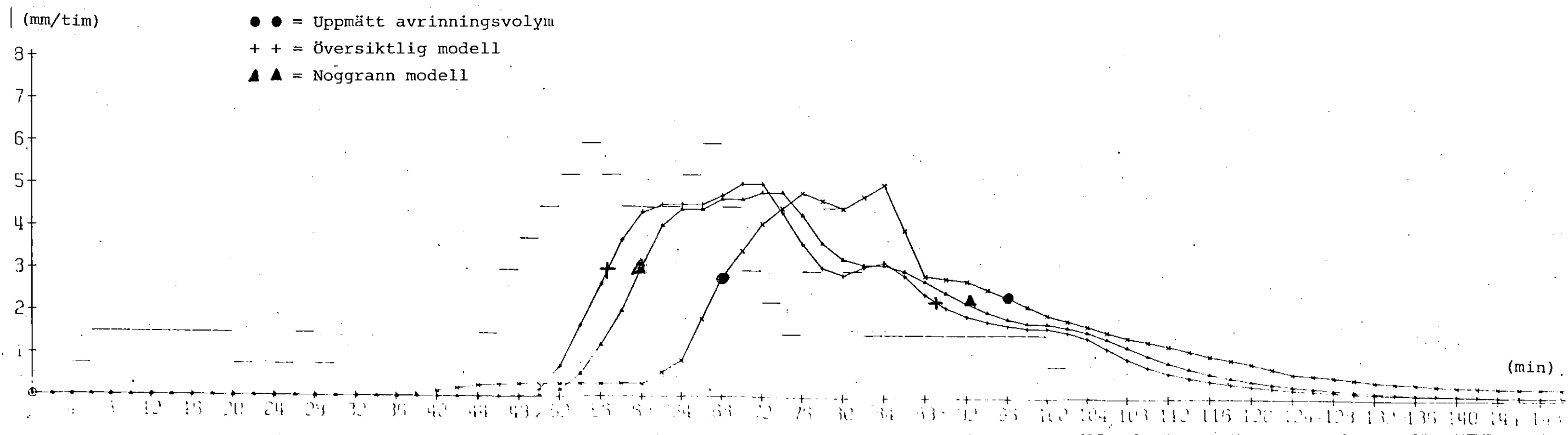
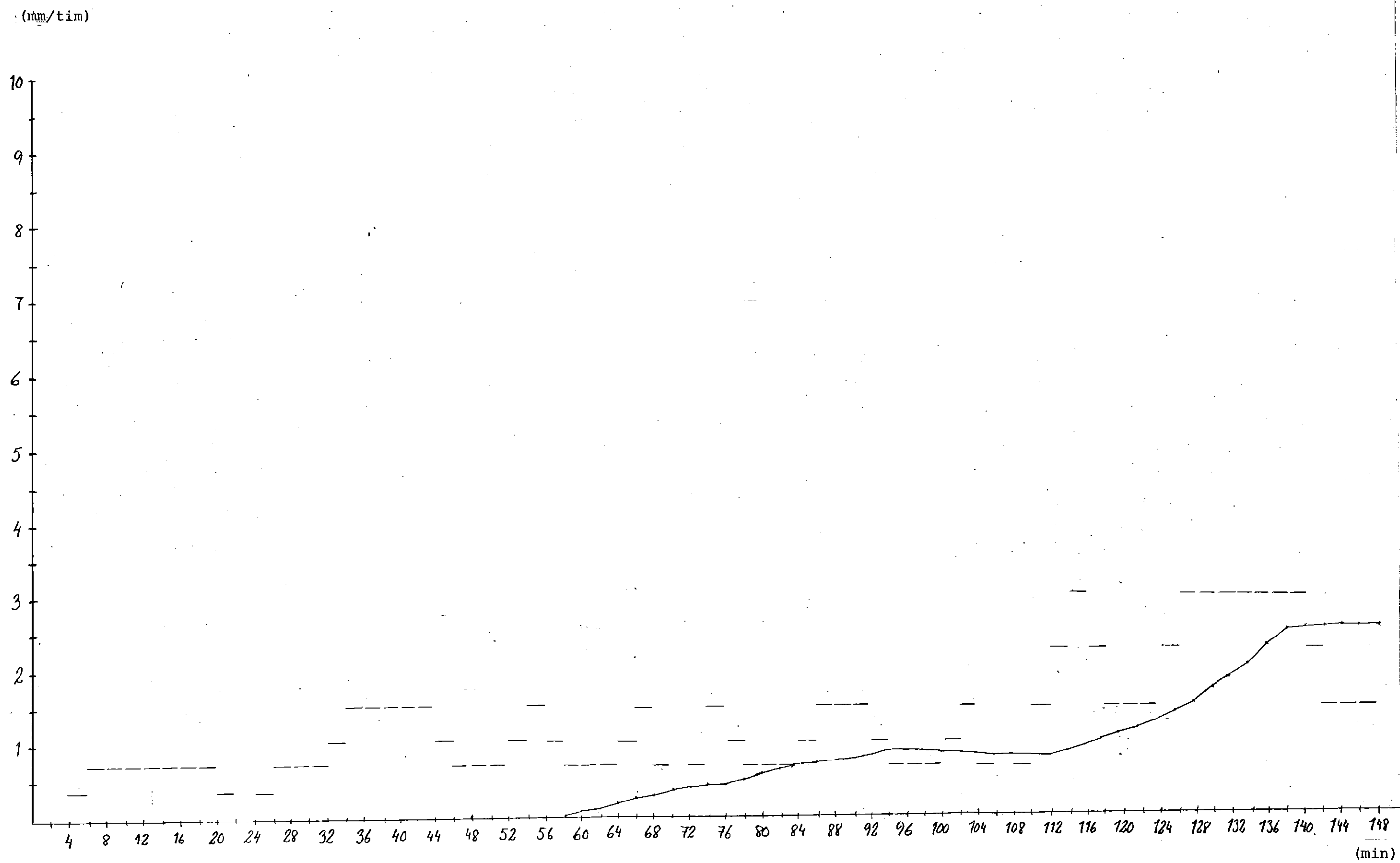


Diagram 4.3 Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf (Regn 3)



(mm/tim)

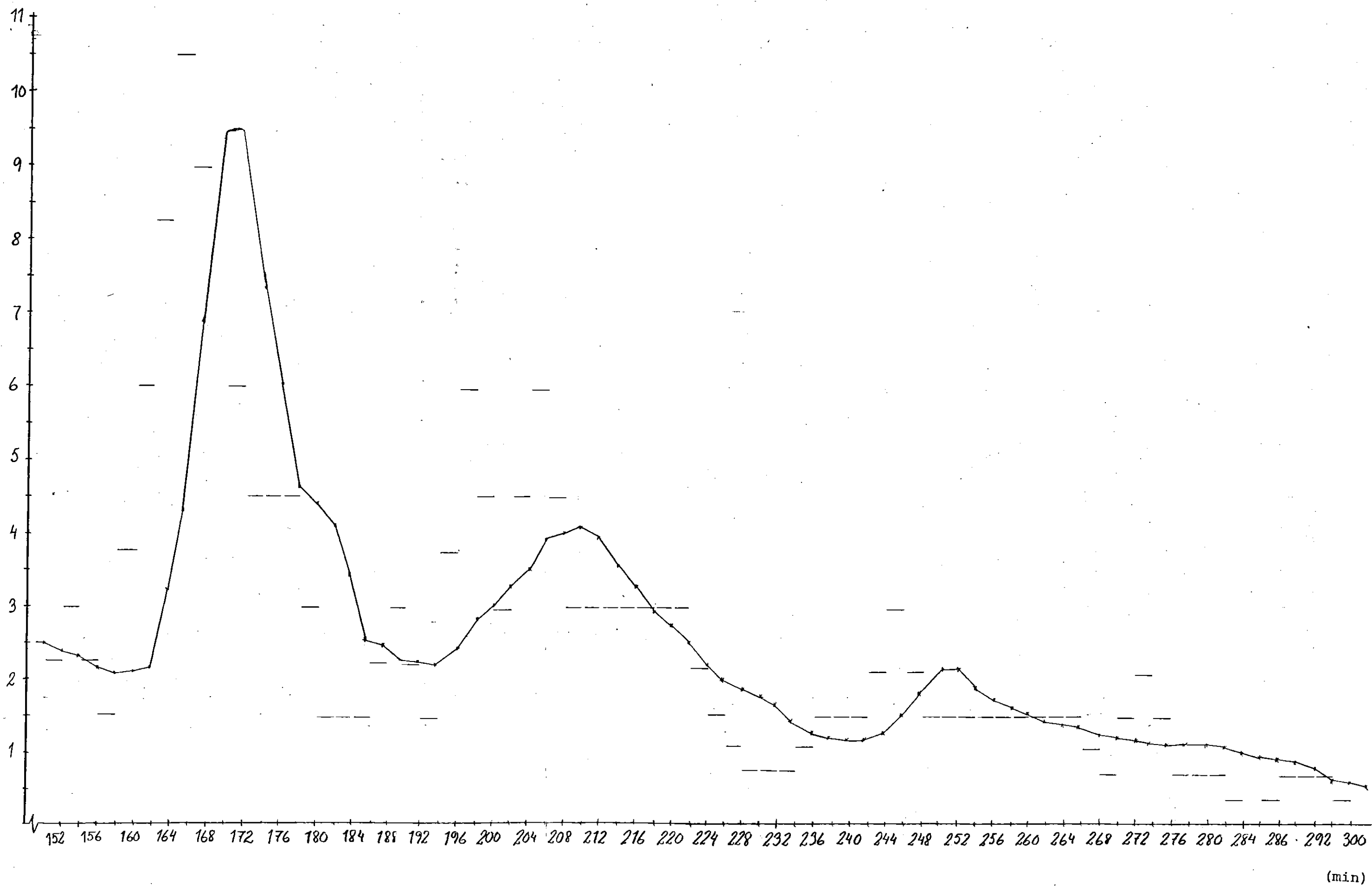


Diagram 4.4 Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf (Regn 4)

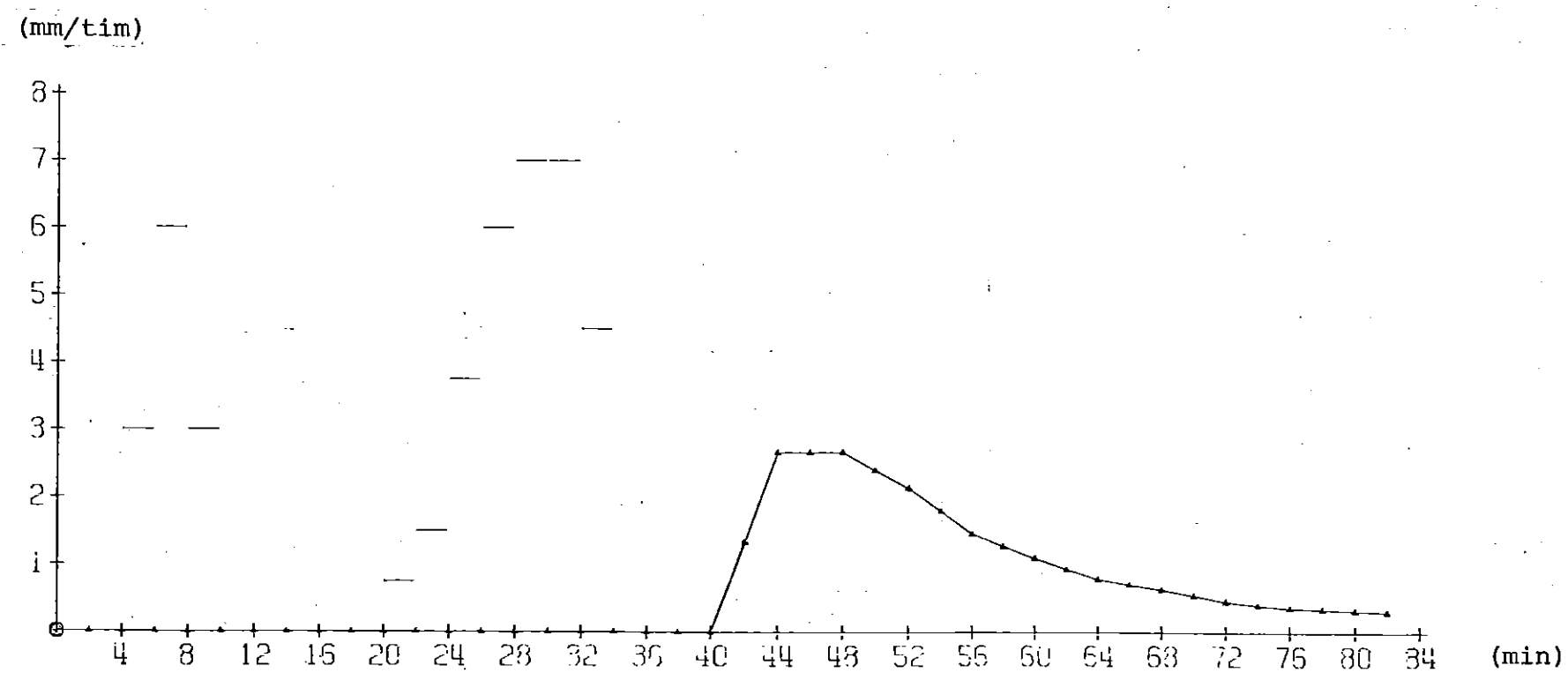
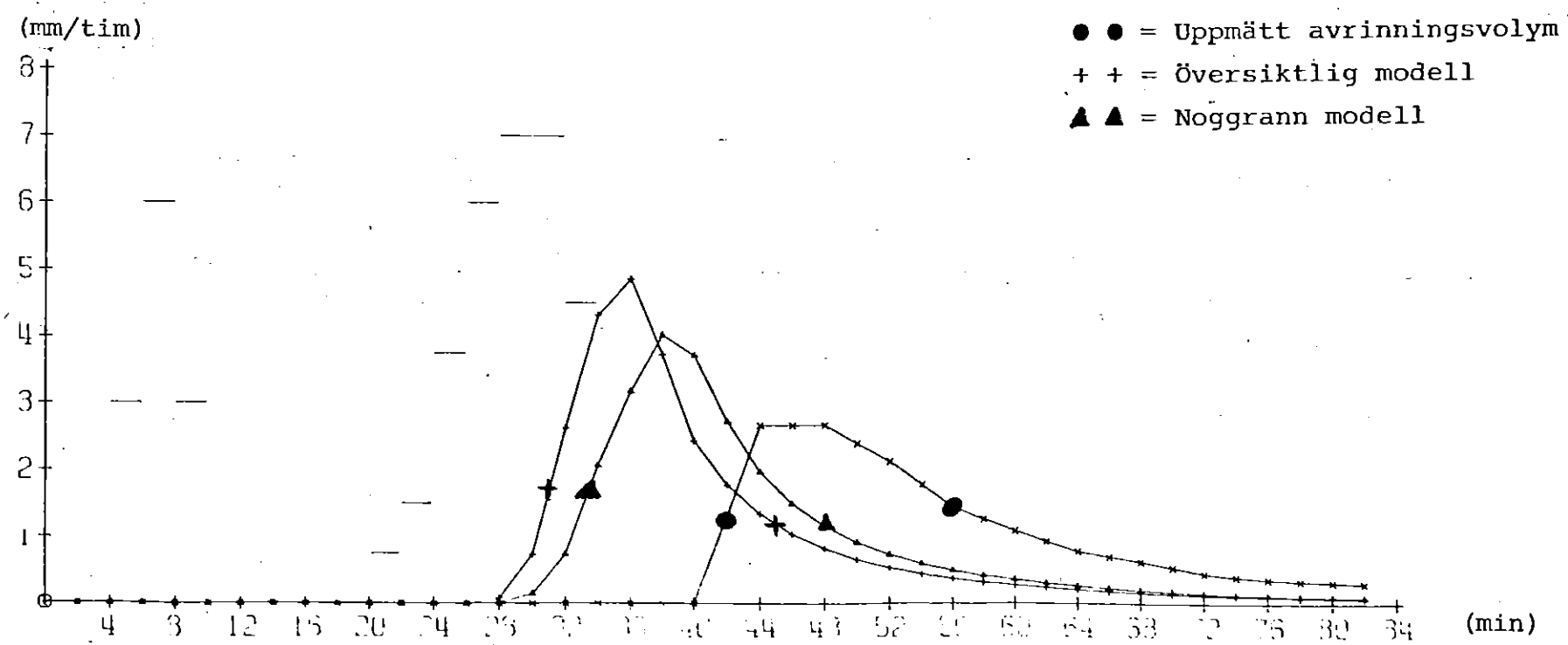


Diagram 5.4 Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 4)



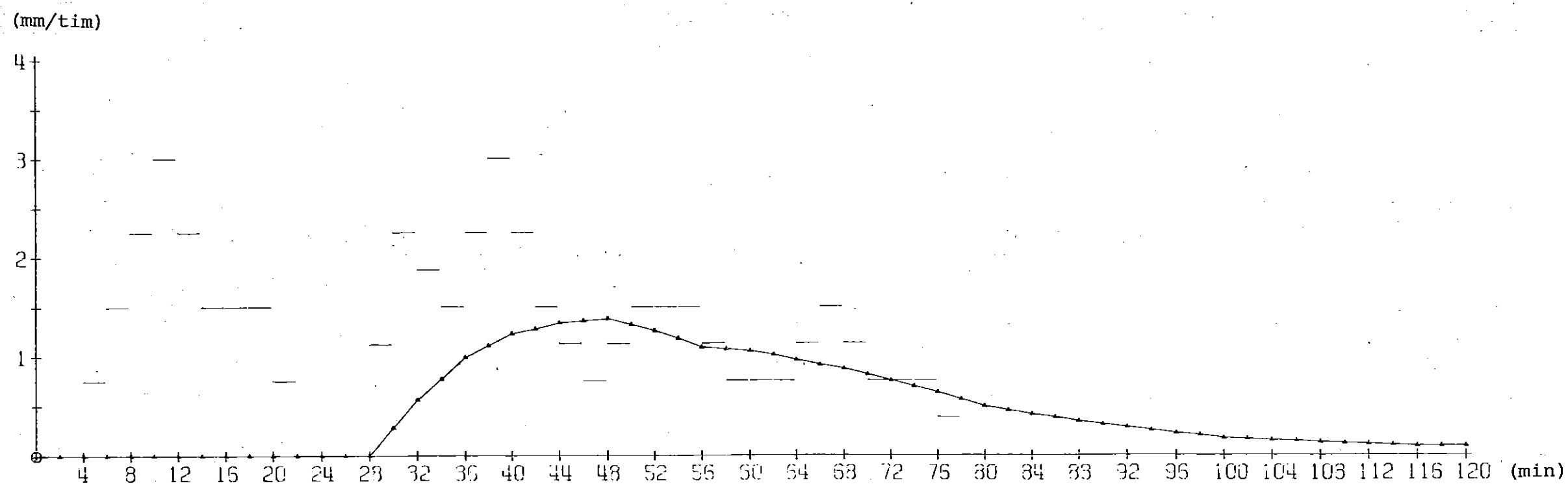


Diagram 5.5 Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 5)

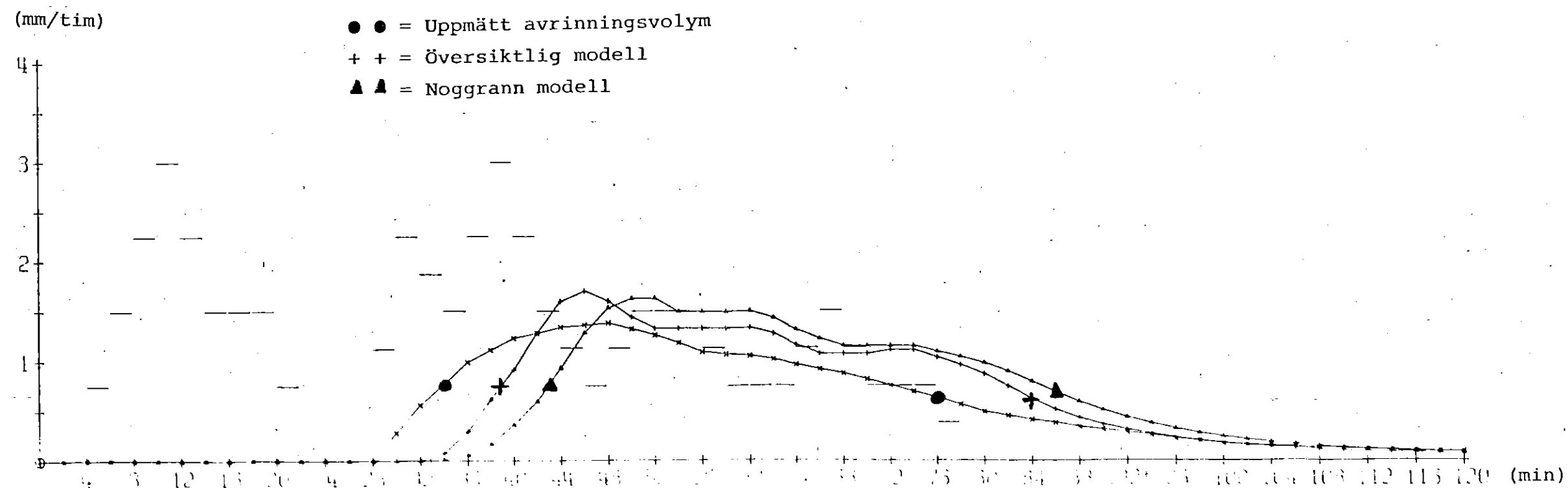


Diagram 4.6 Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf (Regn 6)

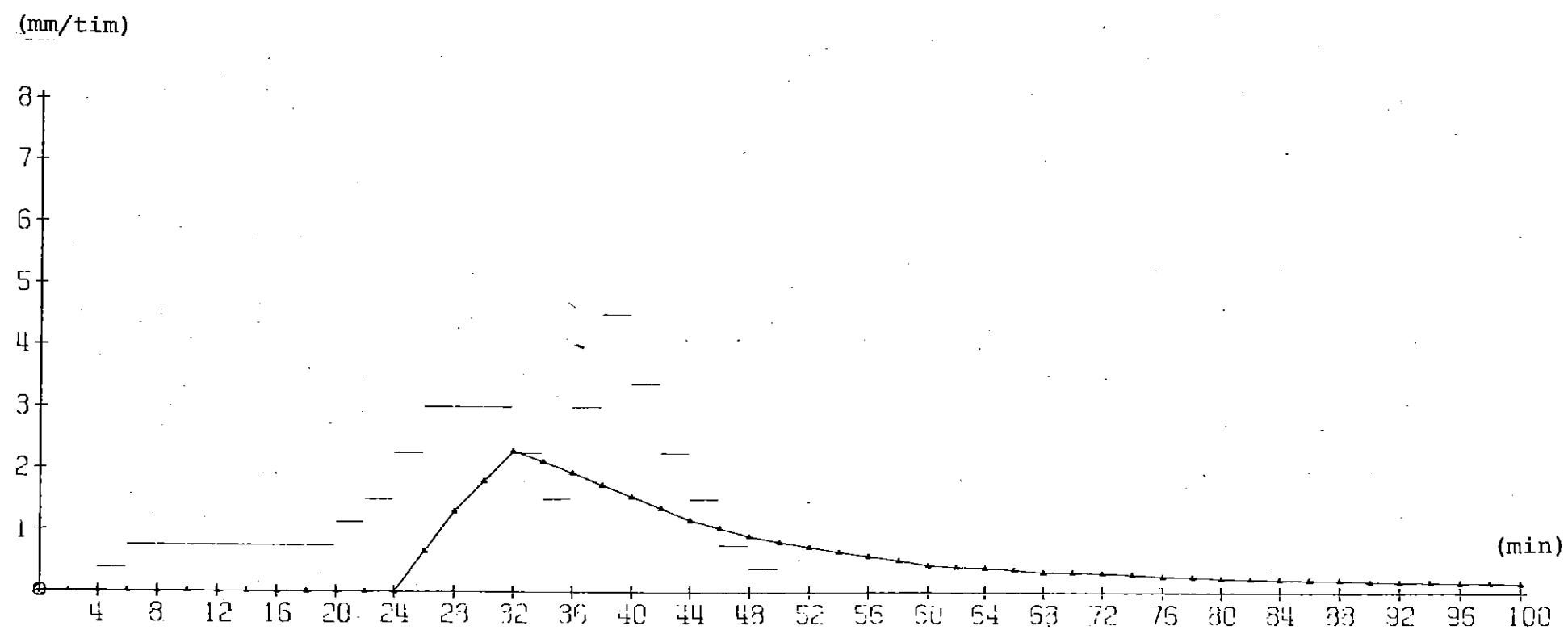


Diagram 5.6 Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 6)

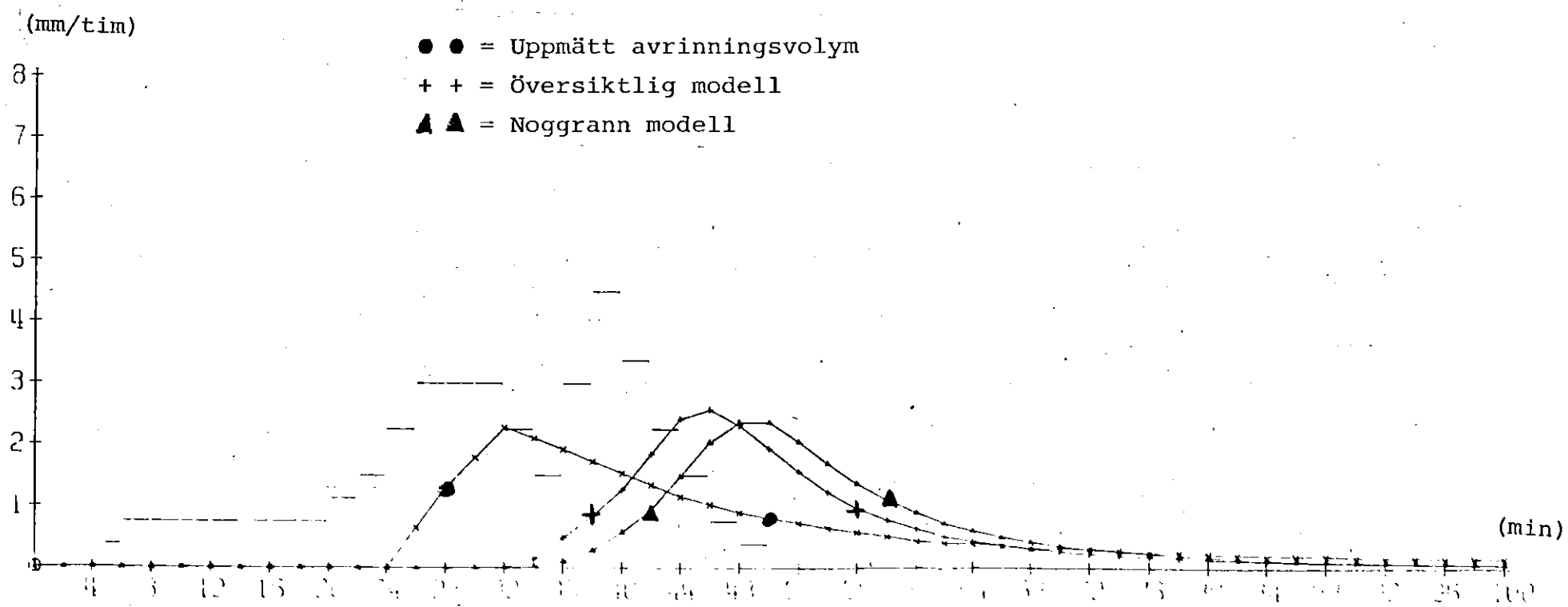


Diagram 4.7 Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf (Regn 7)

(mm/tim)

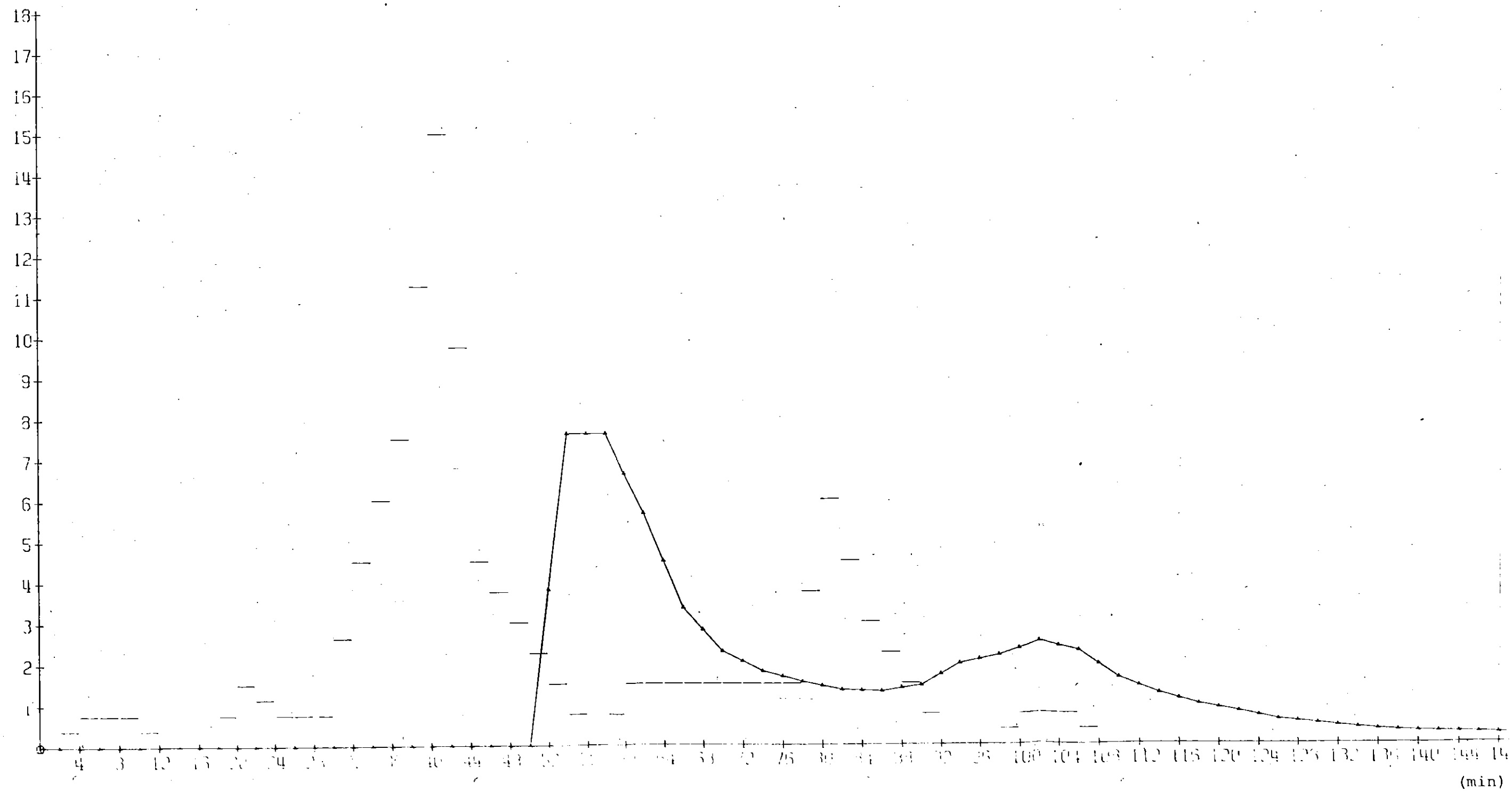


Diagram 5.7 Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 7)

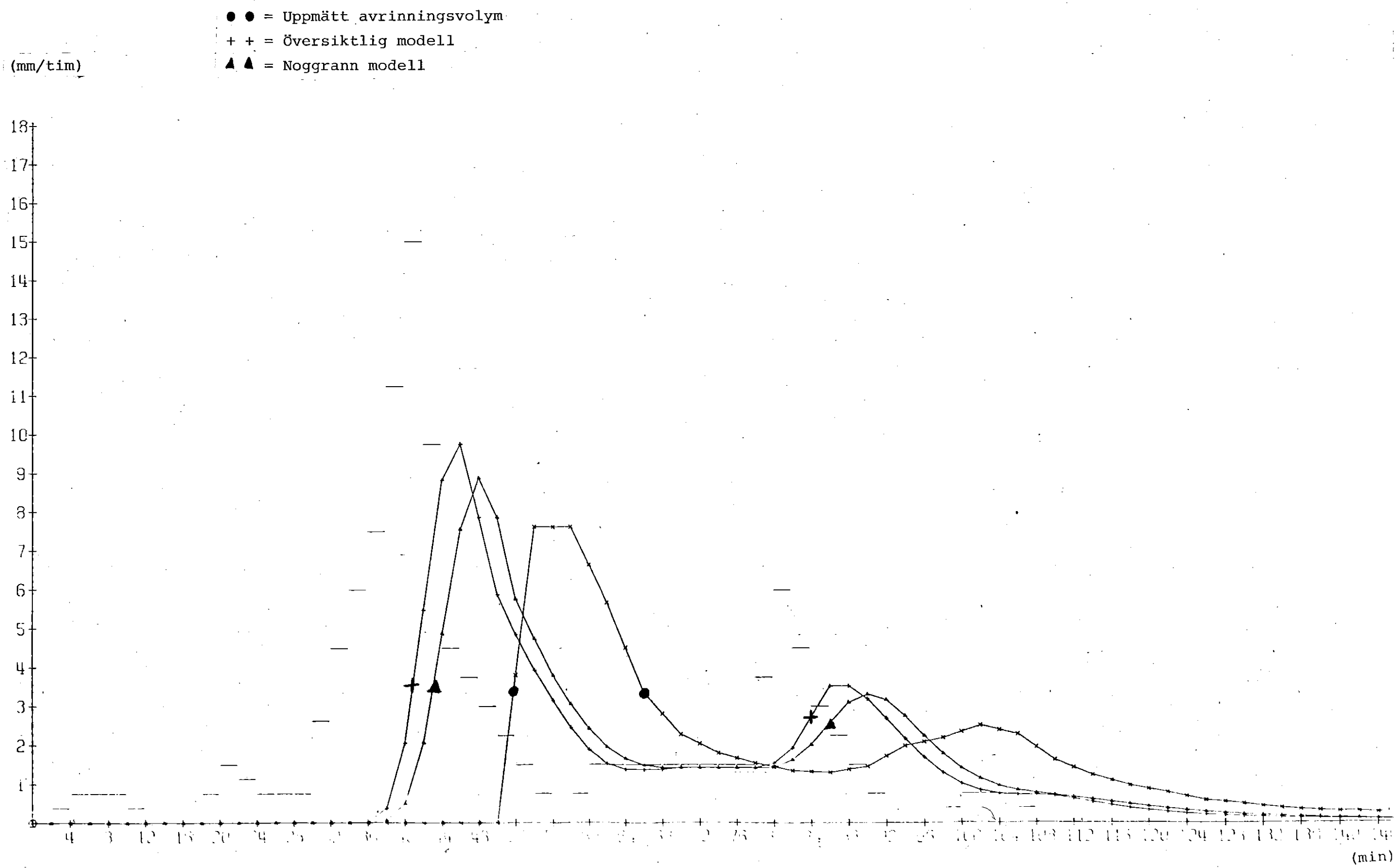


Diagram 4.8 Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf (Regn 8)

(mm/tim)

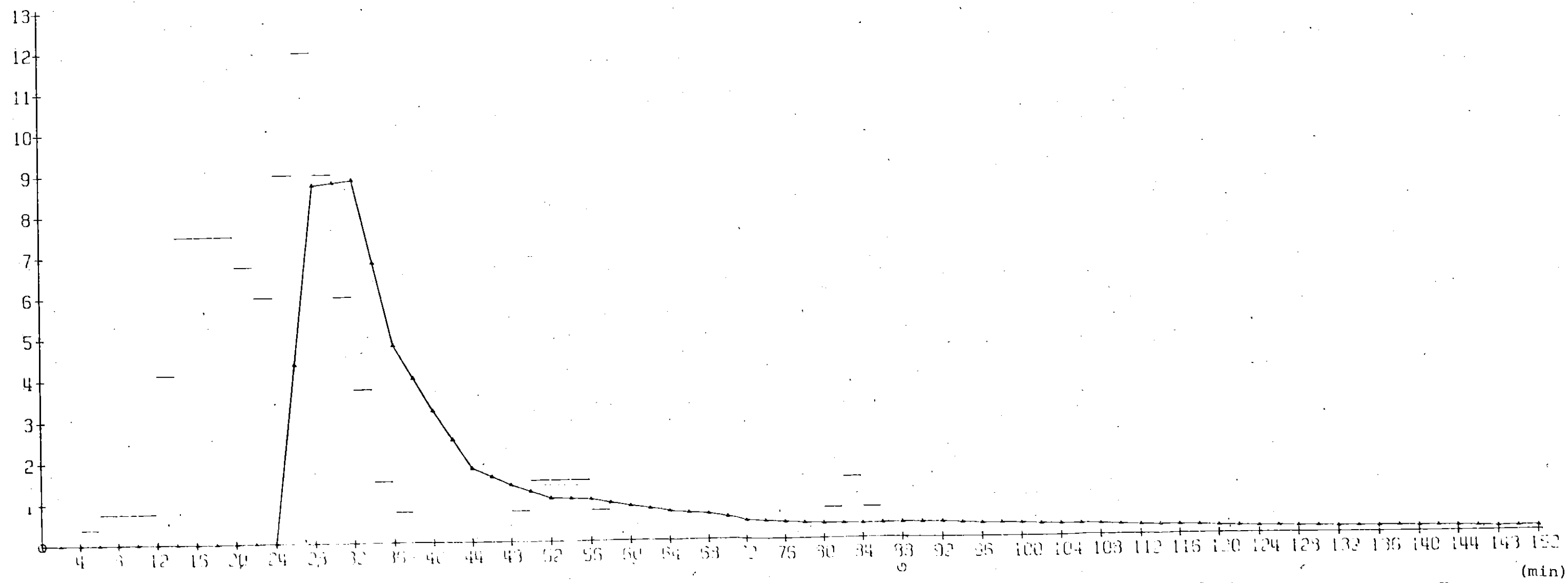
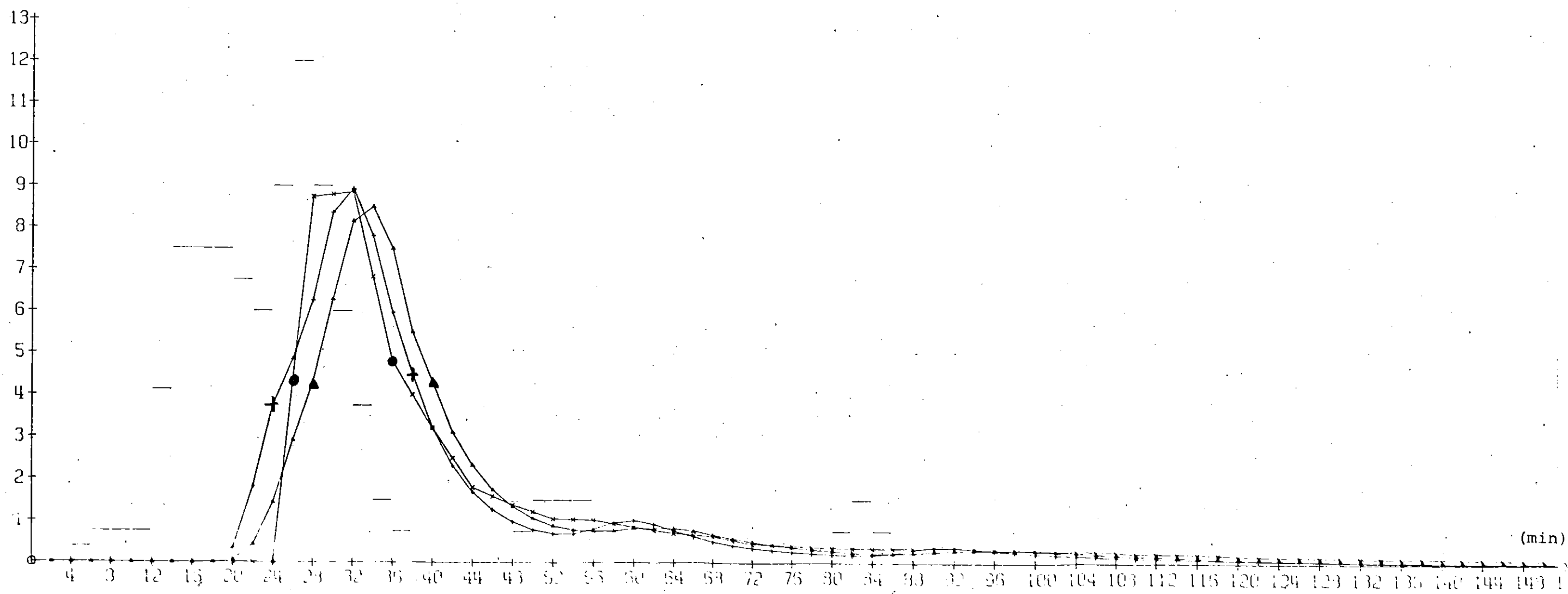


Diagram 5.8 Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 8)

- ● = Uppmätt avrinningsvolym
- + + = Översiktlig modell
- ▲ ▲ = Noggrann modell

(mm/tim)



4.3 Dagvattnets kvantitet - utvärdering.

En stor del av ytorna i urbana områden är utjämnade och impermeabla (gator, tak, etc.) och dagvattenledningarna ger en nästan obefintlig magasinering. Avrinningsförloppet sker därför snabbare i bebyggda områden än i naturområden. Vi får då höga och kortvariga flöden med variationer i en tidskala jämförbar med nederbördens intensitetsvariationer och "reaktionstiden" (tiden från regnintensitetsmaximum till flödesmaximum) blir mycket kortare. Detta medför att kortvariga regn med hög intensitet ger de högsta flödena.

Fig. 4.7 visar en schematisk bild av det hydrologiska kretsloppet för ett område. Blocken representerar olika delar av området och pilarna de processer som transporterar vattnet mellan delarna. De processer som här är av intresse är nederbörden, infiltrationen, ytmagasinering, avrinningsförloppet på ytorna samt avrinningen i ledningssystemet.

Vid anläggning av dagvattensystem är man i huvudsak intresserad av det maxflöde som systemet skall dimensioneras för och vid dimensionering av utjämningsmagasin dessutom av tillrinningshydrografens form och den totala volymen.

Bearbetningen av nederbörds-avrinningsmätningarna har därför koncentrerats dels till ett studium av sambandet mellan nederbördsvolym och avrunnen volym, men framför allt användning av en avrinningsmodell för simulering av avrinningshydrografer med givna nederbördsdata (mer om detta i kap. 5).

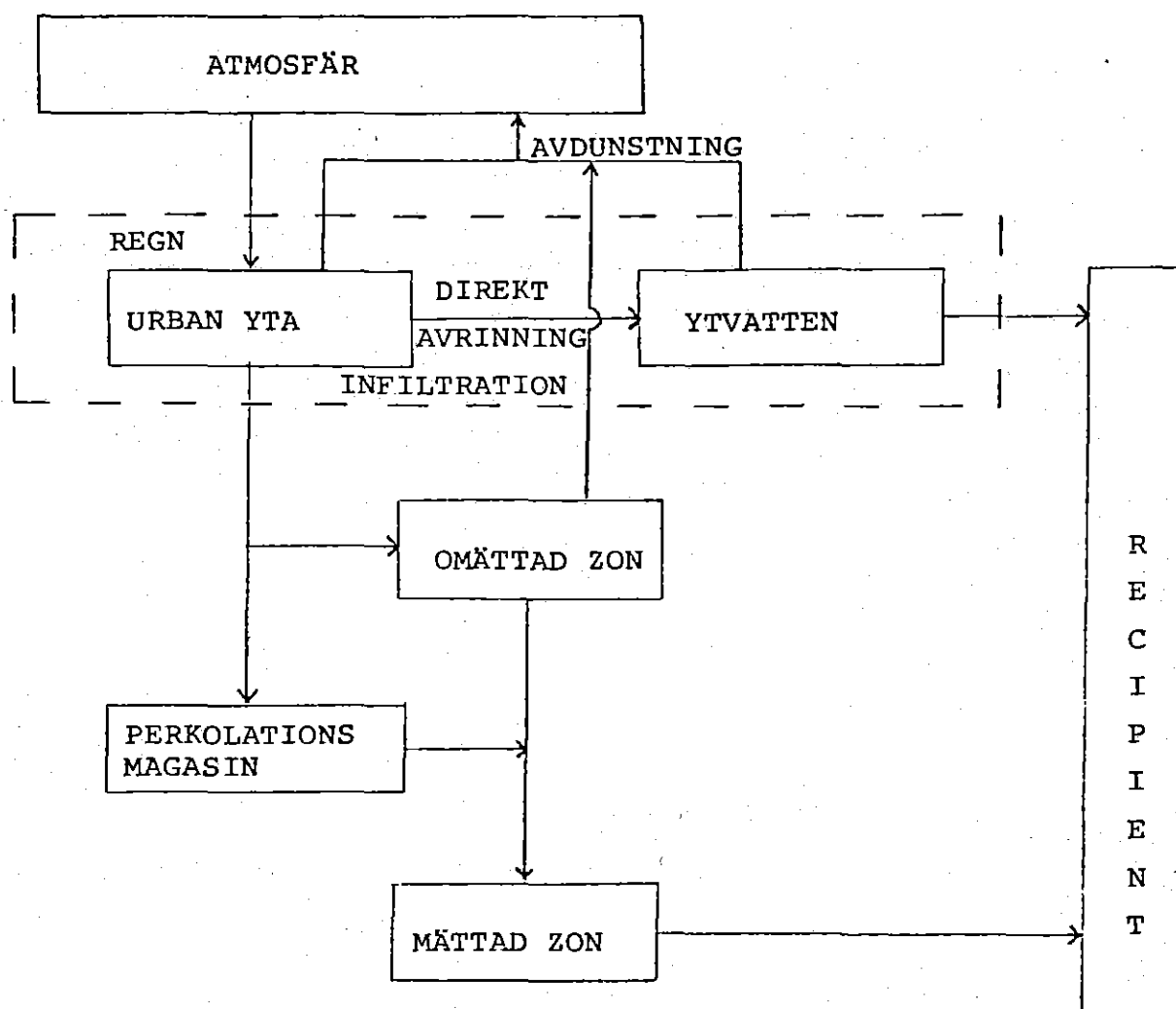


Fig. 4.7 Det urbana vattnets kretslopp.

4.4 Sambandet nederbördsvolym och avbördad volym.

De flesta urbana områden har en betydande andel permeabla ytor (gräsmattor, lekplatser, etc). Mätningar av infiltrationskapaciteten för olika marktyper i urbana områden, har visat på mycket höga värden jämfört med normala svenska nederbördsintensiteter. Avrinningen från permeabla ytor är sålunda tämligen sällsynt.

I vårt fall har vi endast impermeabla ytor, och detta leder till att vi ej behöver ta hänsyn till någon infiltration i marken.

När nederbörd faller över en torr yta sker först en uppfuktning av ytmaterialet och en uppfyllnad av håligheter. Detta ytmagasin avrinner aldrig utan avdunstar efter det att regnet upphört. Resten av vattnet avrinner från ytorna och leds bort via ledningssystemet. De faktorer som inverkar på ytmagasinet är förutom ytans "buktighet" även medellutningen och ytmaterialets ojämnheter. Vid beräkning av avrinning för extrema nederbördstillfällen spelar ytmagasineringsen en mycket liten roll för maxflödets storlek. En bra överblick över sambandet mellan nederbörd och avrinning fås i fig. 4.8. Där visas nederbördsvolymen med tillhörande avrinningsvolym för 8 st uppmätta regn i m^3 respektive mm. Den sortomvandling vi gör är ej helt korrekt ty när vi multiplicerar mängden (mm) med avrinningsområdets yta får vi med eventuella mätfel men detta fel understiger 5 %. Antar vi att avrunnen volym är lika med nederbördsvolym innebär detta att vi får en linje i koordinatsystemet som har en lutning på 45° . Att jämföra med denna 45° -linje har en regressionslinje för mätpunkterna bestämts.

Linjen erhöill ekvationen $y=0,954 x - 0,382$. Ekvationen ger en uppskattning av genomsnittligt ytmagasin möjlig, då vi sätter $y=0$ (avrunnen volym) får vi $x=0,40$. Detta x-värde anger ytmagasinet.

Att lutningen på linjen (42.9°) i fig. 4.8 är mindre än 45° betyder att vi har en förlust som är direkt proportionell mot nederbördsmängden.

Detta leder till att vi får en lägre avbördad volym jämfört med det förväntade värdet.

Detta lägre värde kan bero på:

Mätfel i nederbörds-avrinningsmätningen

Mätfel vid uppmätning av asfaltytan

Delar av den uppmätta ytan kanske inte deltar i avrinningen

Utläckage i ledningarna

Lutningen på linjen kan därför betraktas som ett mått på mätningens och ledningens kvalitet, (se vidare kommentarer).

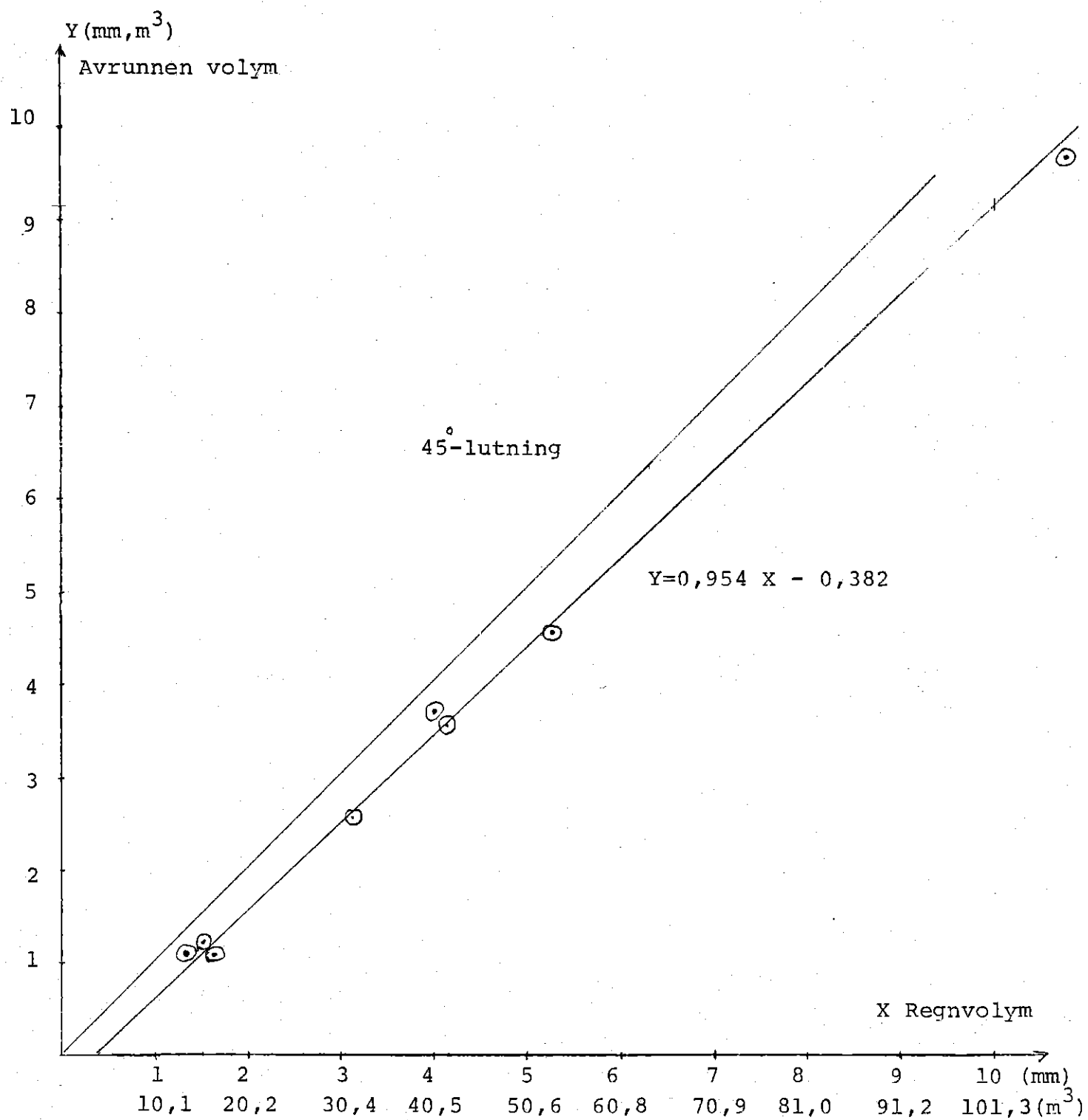


Fig. 4.8 Förhållandet avrunnen volym-regnvolym.

4.5 Jämförelse för nederbörd med SMHI.

Vid Landvetter flygplats ligger en av SMHI:s hydrologiska mätstationer. Denna kontaktade vi och härigenom kunde vi göra en jämförelse mellan de uppmätta nederbördsvärden vi erhållit vid fraktplattan och med SMHI:s dygnsrapporter.

Vi avläste då alla de värden som uppmätts och sammanställde, över juni och juli månad, till dygnsnederbörder. Resultatet med denna jämförelse stämde väl i stort men vissa variationer kunde vi upptäcka, detta kan bero på att mätstationerna ligger ca 1 km ifrån varandra och att de typiska sommarregnen (korta, intensiva) kan uppträda väldigt lokalt. Jämförelsen är ändå intressant att göra för att man skall kunna få en mer säker nederbördshydrograf.

5. DATORMODELL.



Bild 5.1 Arbete med dator.

5.1 Datormodellens struktur.

Avrinningsförloppet spelar en avgörande roll vid planering och dimensionering av utjämnings- och perkolationsmagasin. Det är därför viktigt att man bildar sig en uppfattning om hur avrinningshydrografen för det dimensionerade regnet ser ut. Det finns inga enkla metoder att noggrant beskriva avrinningsförloppet. På institutionen för vattenbyggnad, CTH, har man utvecklat flera datorbaserade avrinningsmodeller. Modellerna består av en eller flera delmodeller som beskriver infiltration, ytvattenmagasinerings, ytvattenavrinning, rännstensflöde och flöde i ledningsnätet, se fig. 5.1. Den modell som används här är speciellt utvecklad för studier av ytavrinning (forskningsmodell). På det sätt som den används här representerar den dock en modelltyp som finns tillgänglig bland konsulter (kinematisk vågteori).

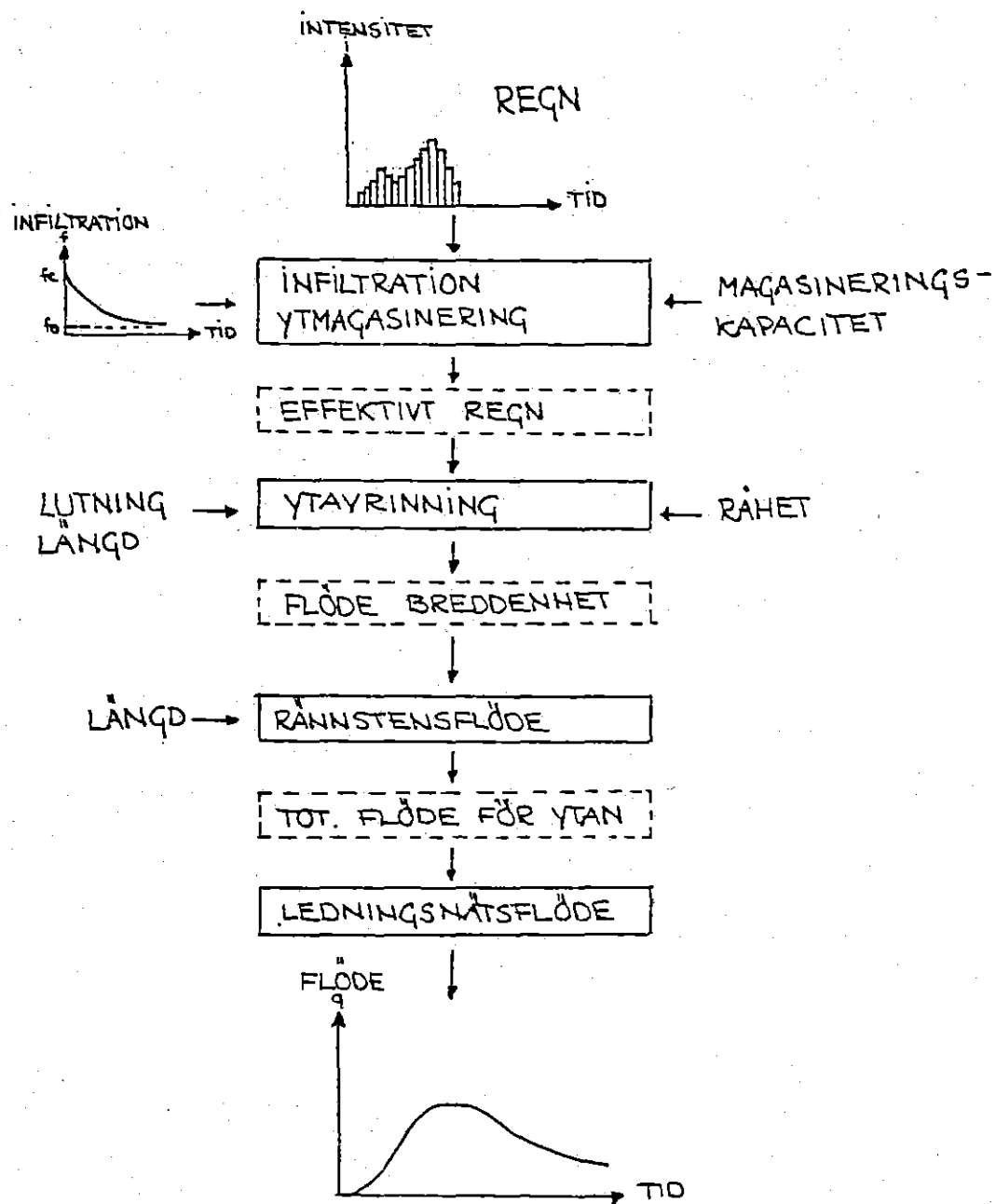


Fig 5.1 Delprocesser i avrinningsförloppet.

5.2 Beräkningsgång.

Beräkningen av ett område sker på så sätt att avrinningsområdet till varje rännstensbrunn indelas i del-
 ytor, dvs. ytor med enhetlig lutning och ytstruktur. Ytvattenavrinningen från delytan beräknas först med regnintensiteten som ingångsvärde. Därefter beräknas avrinningen från rännstenen med avrinningen från ytan som ingångsvärde. Flödet från rännstenen ansluts via verkliga eller fiktiva brunnar till ledningsnätet. För att beskriva ytvattenflödet, rännstensflöde och ledningsflöde kan man använda sig av en förenklad beskrivning av förloppet, den s k. magasinsmodellen. Denna baseras på att hela ytan (rännstenen, ledningen) betraktas som en enhet och att utflödet är kopplat till den magasinerade vattenvolymen i ett entydigt samband. Betrakta en impermeabel yta. Ytan har längden L_0 i flödesriktningen och bredden B_0 och är utsatt för ett regntillfälle med intensiteten $i = i(t)$ (variabel i tiden). Om inflödet till ytan betecknas $Q_{in} = i(t) L_0 B_0$, utflödet Q_{ut} och magasineringen S ger kontinuitetsvillkoret för ett tidssteg t :
 $(Q_{in} - Q_{ut}) \Delta t = \Delta S.$

Om den magasinerade vattenvolymen tänkes jämnt fördelad över ytan fås medelvattendjupet $Y_n = \Delta S / (L_0 B_0)$ och motsvarande flödesarea $A_n = \Delta S / L_0 = Y_n B_0$. Medelvärden för flödena bildas över tidssteget t , (index m betecknar börjar på tidsstegen och index $(m+1)$ slutet), då fås:

$$\frac{Q_{in}^m + Q_{in}^{m+1}}{2} - \frac{Q_{ut}^m + Q_{ut}^{m+1}}{2} = \frac{A_n^{m+1} - A_n^m}{\Delta t} \cdot L_0 \quad (1)$$

Här är, om förhållandet under föregående tidssteg förutsättes kända, Q_{ut}^{m+1} och A_n^{m+1} obekanta. Om Q_{ut} antages vara en entydig funktion av A_n kan utflödet successivt beräknas. Ekvationerna kan skrivas (obekanta termer i vänsterledet):

$$\begin{cases} Q_{ut}^{m+1} + A_n^{m+1} \cdot \frac{2L_0}{\Delta t} = A_n^m \cdot \frac{2L_0}{\Delta t} + (Q_{in}^m + Q_{in}^{m+1} - Q_{ut}^m) & (2) \\ Q_{ut} = a (A_n)^b & (3) \end{cases}$$

För ytaavrinningen fås om Mannings formel används för relationen $Q_{ut} = A_n$, och vi räknar på en breddmeter dvs.

$$A_n = Y_n \cdot B_o = Y_n:$$

$$I_o = \frac{Q^2}{A^2 \cdot M^2 \cdot r^{4/3}}$$

där I_o = bottenlutning, Q = flödesarea, M = Manningstal, r = hydraulisk radie.

För en breddmeter fås $R = \frac{A}{P} = \frac{A}{1} = A$ där P är den våta perimetern (här lika med 1 m).

$$I_o = \frac{Q^2}{A^2 \cdot M^2 \cdot A^{4/3}} \quad \text{Eller} \quad Q = \sqrt{I_o} \cdot M \cdot A^{5/3}$$

Konstanterna a och b blir då:

$$a = \sqrt{I_o} \cdot M$$

$$b = 5/3$$

$$Q_{ut} = a(A_n)^b = \sqrt{I_o} \cdot M(A_n)^{5/3} \quad \text{eller}$$

$$A_n = \left(\frac{1}{M}\right)^{0,6} \cdot I_o^{-0,3} (Q_{ut})^{0,6}$$

$$\text{Om } \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{M}\right)^{0,6} \cdot L_o}{I_o^{0,3} \cdot \Delta t} = k \text{ fås per breddmeter}$$

$$Q_{ut}^{m+1} + k \cdot (Q_{ut}^{m+1})^{0,6} = k \left((Q_{ut}^m)^{0,6} + Q_{in}^m + Q_{in}^{m+1} - Q_{ut}^m \right)$$

Med ovanstående ekvation kan flödesvärdena successivt beräknas för ett givet nederbördstillfälle.

En noggrannare beräkningsgång erhålls om ytan delas upp i n delar, så att $\Delta x \cdot n = L_o$ samt magasinsberäkningen utförs för varje del.

Detta är principen för beräkningsgången i den använda modellen för ytavrinning, rännstensflöde och ledningsflöde. Vid beräkning av rännstensflödet erhålls endast andra värden på konstanterna a och b som beror av rännstensens geometri. Vid beräkning av ledningsflödet ersätts ekv. (3) med den s.k. Brettings formel (sambandet mellan Q och A för ledningar). I övrigt är beräkningsrutinerna för ytavrinning, rännstensflöde och ledningsflöde identiska.

5.3 Noggrannhet.

Noggrannheten i indata påverkar i olika grad resultatet. Denna beror på flera faktorer t.ex. subjektiva bedömningar under fältarbetet, mätfel, approximationer. I manual för Illudas (1979) redogörs för hur olika fel i indata påverkar beräkningarna:

- a) Andelen deltagande hårdgjorda ytor är den i särklass betydelsefullaste parametern. Såväl maxflöde som avrunnen volym är så gott som proportionell mot hårdgjord yta.
- b) Den initiella förlusten på hårdgjorda ytor är betydelsefull främst för avrunnen volym och i högre grad ju mindre regnvolymen är. Initieell förlust på icke hårdgjorda ytor är vanligen mindre betydelsefull.
- c) Ledningsråheten påverkar maxflödena. Ju glattare ledningen är, desto högre blir maxflödet. Känsligheten är störst vid glatta ledningar.
- d) Längd/breddförhållandet och lutningen på delytorna påverkar maxflödena.
- e) Infiltrationskapaciteten, dvs. markslag och fukthalt, påverkar både maxflöde och avrunnen volym. Inverkan är emellertid relativt liten vid de markslag respektive regnintensiteter och regnmängder som är vanliga i Sverige.

5.4 Simulering av ytvavrinning

Vid simulering av indata har vi använt oss av två olika områdesmodeller för att beskriva ytan. Dessa kan beskrivas enligt följande:

- noggrann modell (30 ytor, 15 rännstenar)
- förenklad modell (2 ytor, 2 rännstenar)

I den noggranna modellen försöker vi att efterlikna verkligheten så mycket som möjligt. Det ger en komplex modell med en stor indatamängd (se fig.5.2).

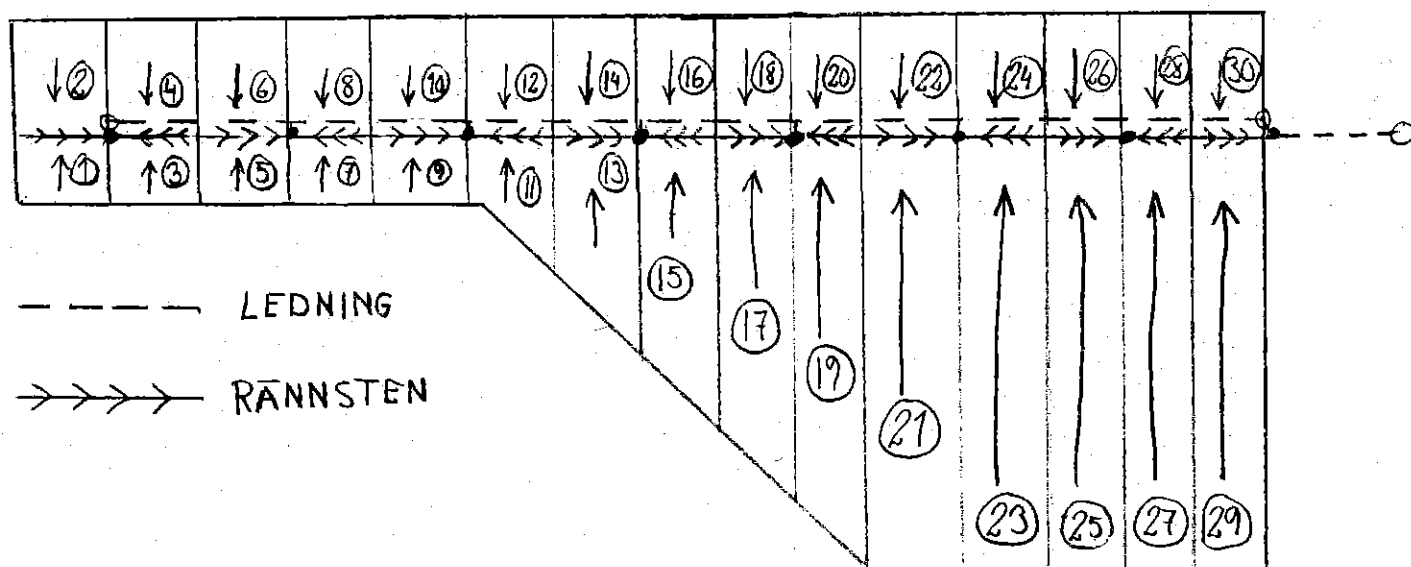


Fig.5.2 Noggrann modell av området.
(30 ytor, 15 rännstenar)

För att jämföra hur stor betydelse noggrannheten av indata har, så gjorde vi också en förenklad modell. I denna modell har en del av områdets brunnar borttagits, samt ledningssektioner har ersatts med rännsten. Vi har också approximerat områdets form, så att det beskrivs med två rektanglar (se fig. 5.3)

Resultatet från datorkörningarna (se diag.5.1-5.8 under kap.4) har bearbetats i ett plottprogram för att få ett överskådligt material. Där jämförs i diagramform den verkliga avrinningen med de simulerade resultaten.

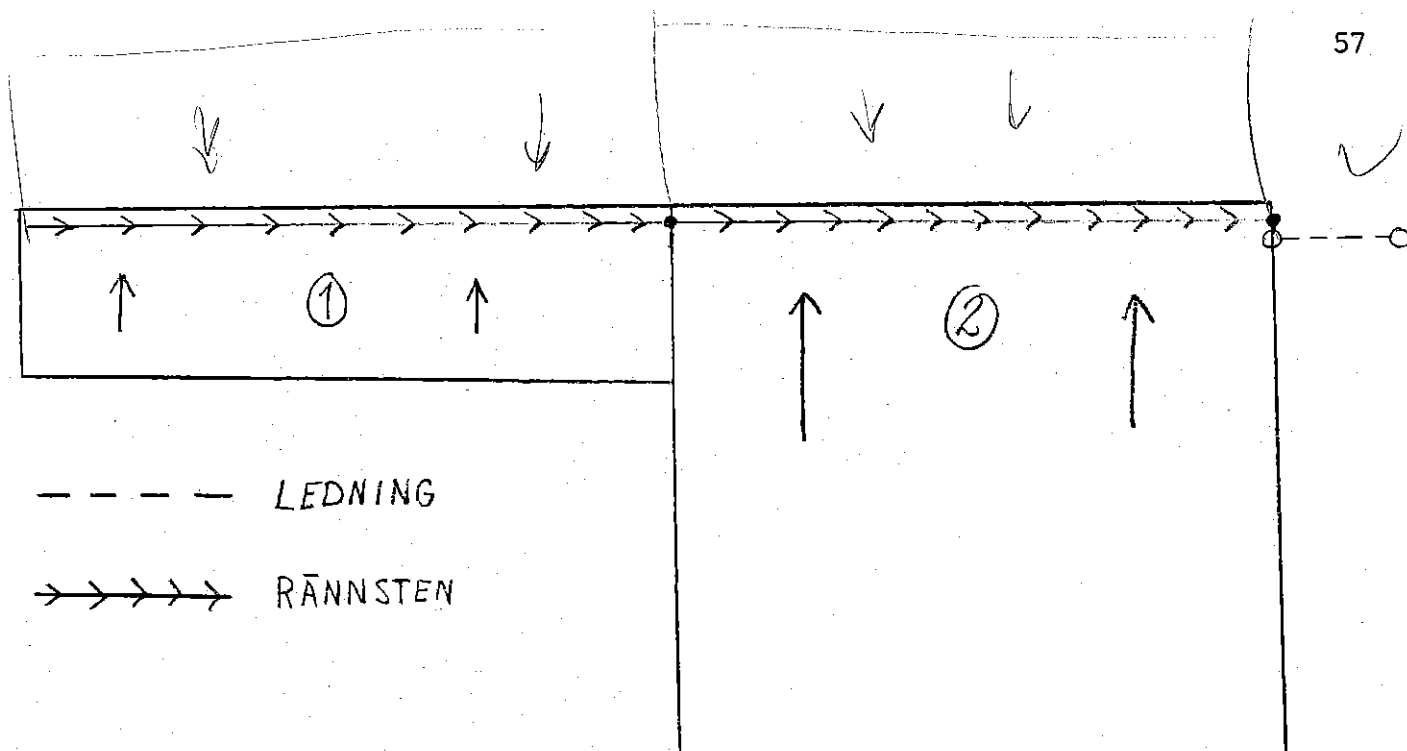


Fig.5.3 Förenklad modell av området.
(2 ytor, 2 rännstenar)

Av simuleringen framgår att:

- Modellen simulerar avrinningsförloppet med god noggrannhet.
- Resultaten av de uppmätta maxintensiteterna överensstämmer överraskande bra med de verkliga.
- Några regn har två flödestoppar. Den simulerade tidsskillnaden mellan två på varandra följande flödestoppar stämmer väl överens med motsvarande uppmätt tid för var och en av dessa "två skurs" regn. Detta visar att modellen simulerar flythastigheterna väl. Man kan därför anta att tidsförskjutningar mellan simulerad och uppmätt hydrograf beror på bristande synkronisering mellan flödes- och nederbörds-mätning.
- En förenklad modell ger nästan lika bra resultat som den noggranna modellen. (Vi använde oss av uppskattade medelvärden för att bestämma flytlängder, vilket gav bra resultat.)
- Vid regn med höga intensiteter, ger den simulerade modellen en tidigare start av avrinningshydrografens begynnelseförlopp, jämfört med det uppmätta. Men vid regn med låga intensiteter är början av avrinningshydrografen senare än motsvarande uppmätta.

KOMMENTARER.

Den nederbördsyta som vi har mätt på är relativt stor, varför vi har erhållit långa avrinningstider för de åtta regn som vi använt. En annan anledning till de långa rinntiderna är att rörsystemet ligger i en mycket flack lutning (2,5 promille) jämfört med konventionella dagvattenledningar. Vad vi mer kan säga om ledningsnätet är att inga direkta tecken på läckage föreligger.

Vi anser vidare att planering inför en fältmätning (eller dylik praktiskt arbete) är en mycket viktig del. I och med detta undgick vi en rad problem. Dessutom fick vi en uppfattning av hur känslig mätutrustningen kan vara och vikten av regelbundna tillsyningsbesök.

REFERENSLITTERATUR:

Cederwall, Hällgren, Malmqvist, 1978

Forskning om dagvatten och grundvatten i tätorter.

Särtryck ur stadsbyggnad 11-12, 1978, FOU-plan 1979/80

Lyngfelt, 1978

An analysis of parameters in a kinematic wave model of overland flow in urban areas.

Instutionen för vattenbyggnad, CTH, rapport, serie B:13

Ericsson, Cedergårdh, Svensson, 1978

Perkolationsanläggning i Halmstad.

Examensarbete i vattenbyggnad, CTH, 1976:2

Arnell, 1980

Dimensionering av dagvattensystem, val av beräkningsmetod.

Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH, meddelande nr 50

Lyngfelt, 1981

Dimensionering av dagvattensystem, RATIONELLA METODEN.

Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH, meddelande nr 56

Lyngfelt, 1979

On Numerical Solutions of the Kinematic Wave Equations Used in Overland Flow.

Institutionen för vattenbyggnad, CTH, report, serie C:8

Arnell, Falk, Malmqvist, 1977

Urban storm water research in Sweden.

Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH, report no 19

Johansson, Bernhardsson, 1981

Mätning och simulering av avrinningen från en asfaltyta.

Examensarbete i vattenbyggnad, CTH, 1980:2