

**MÄTNING OCH SIMULERING AV
AVRINNINGEN FRÅN EN ASFALTYTA**

AV

**HANS JOHANSSON
PER ARNE BERNHARDSSON**

FÖRORD

Vid linjen för väg- och vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola i Göteborg, utförs i fjärde årskursen ett examensarbete. I vårt fall har detta arbete bedrivits vid institutionen för vattenbyggnad.

Arbetet omfattar dels en fältstudie i dagvattenavrinning vid Landvetter flygfält samt utvärdering och simulering i en datormodell.

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

Göteborg 1980-12-05

Per-Arne Bernhardsson

Hans Johansson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING:

SAMMANFATTNING

1.	ALLMÄNT OM DAGVATTENAVRINNING, MÅLSÄTTNING.	2
1.1.	Olika typer av avledningssystem.	2
1.2.	Analys/ dimensioneringsmetoder för dagvattensystem.	4
1.3.	Målsättning.	5
2.	FÄLTMÄTNINGAR VID LANDVETTER FLYGPLATS.	7
2.1.	Beskrivning av området och mätutrustningen.	7
2.1.1.	Områdesbeskrivning.	7
2.1.2.	Mätutrustning.	12
2.2.	Byggnation av mätstation, installation m.m.	16
2.2.1.	Dammbyggnad.	16
2.2.2.	Kalibrering av mätöverfall.	18
2.2.3.	Installation av mätutrustning.	18
2.3.	Genomförande av fältmätningar.	20
3.	DAGVATTNETS KVANTITET.	21
3.1.	Avbördnings samband flöde-nivå.	21
3.2.	Nederbördshyetografer med tillhörande avrinnings- hydrografer.	27
3.3.	Utvärdering regn-flöden.	41
3.4.	Sambandet mellan nederbördsvolym och avrunnen volym.	43
4.	DATORMODELL.	45
4.1.	Datormodellens struktur.	45
4.2.	Beräkningsgång.	45
4.3.	Noggrannhet.	49
5.	SIMULERING AV AVRINNING.	50
	BILAGA	64
	LITTERATUR	65

FIGURFÖRTECKNING:

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	Översiktlig karta	8
Fig. 2.2	Översiktlig bild över mätområdet	9
Fig. 2.3	Ledningssystemet vid förvaltningsbyggnaden	10
Fig. 2.4	Nivåkurvor	11
Fig. 2.5	Akkumulerande regnmätare med flottörhus samt exempel på registrering av ett kraftigt regn	13
Fig. 2.6	Skrivare och nivåmätningsutrustning	14
Fig. 2.7	Mätstation vid förvaltningsbyggnad	17
Fig. 2.8	Mätstation vid fraktplatta	19
Fig. 3.1	Avbördningssamband flöde-nivå	22
Fig. 3.2	- " -	23
Fig. 3.3	- " -	24
Fig. 3.4	- " -	25
Fig. 3.5	- " -	26
Fig. 3.6	Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf (regn 1)	28
Fig. 3.7	- " - (regn 2)	29
Fig. 3.8	- " - (regn 3)	30
Fig. 3.9	- " - (regn 4)	31
Fig. 3.10	- " - (regn 5)	32
Fig. 3.11	- " - (regn 6)	33
Fig. 3.12	- " - (regn 7)	34
Fig. 3.13	- " - (regn 7)	35
Fig. 3.14	- " - (regn 8)	36
Fig. 3.15	- " - (regn 9)	37
Fig. 3.16	- " - (regn 9)	38
Fig. 3.17	- " - (regn 9F)	39
Fig. 3.18	- " - (regn 9F)	40

Fig. 3.19	Det urbana vattnets kretslopp	42
Fig. 3.20	Förhållandet avrunnen volym-regnvolym	44
Fig. 4.1	Delprocesser i avrinningsförloppet	46
Fig. 5.1	Förenklad modell av området	51
Fig. 5.2	Noggrann modell av området	51
Fig. 5.3	Nederbördshyetograf och avrinningshydrografer (regn 1)	52
Fig. 5.4	- " - (regn 2)	53
Fig. 5.5	- " - (regn 3)	54
Fig. 5.6	- " - (regn 4)	55
Fig. 5.7	- " - (regn 5)	56
Fig. 5.8	- " - (regn 6)	57
Fig. 5.9	- " - (regn 7)	58
Fig. 5.10	- " - (regn 8)	59
Fig. 5.11	- " - (regn 9)	60
Fig. 5.12	- " - (regn 9)	61
Fig. 5.13	- " - (regn 9F)	62
Fig. 5.14	- " - (regn 9F)	63

BILDFÖRTECKNING:

Bild 2.1	Del av avrinningsområdet	7
Bild 2.2	Nederbördsmätare typ Hellman	15
Bild 2.3	Skrivarenhet för nivåmätning	15
Bild 2.4	Uppmätning av området	20

SAMMANFATTNING

Examensarbetet omfattar mätningar av dagvattenavrinning och nederbördsmängder, samt utvärdering och simulering i datormodell.

Mätningar av nederbörd och tillhörande dagvattenavrinning har gjorts vid 15 regntillfällen. Av dessa redovisas endast 9 st. Orsaken till att inte alla regn redovisas är diverse komplikationer såsom elavbrott, svårigheter med att synkronisera nederbördsmätare och avrinningsmätare. Jämförelsen mellan nederbördsvolym och avrunnen volym visar att ytans initiella magasineringsförmåga i genomsnitt är 0,44 mm. Vid simulering i datormodell har vi jämfört den uppmätta avrinningen med simulerad avrinning. Vid den simulerade avrinningen har vi använt oss av två olika områdesmodeller. Den ena modellen beskriver området så noggrant som möjligt, medan den andra är en förenklad modell av ytan. Resultaten av dessa jämförelser visar att en förenklad beskrivning av ytan kan ge ett väl så bra resultat som en noggrann.

Förutsättningen är då att lämpliga värden på längd/breddförhållandet i den förenklade beskrivningen kan bedömas.

Allmänt stämmer simulerad avrinning väl överens med uppmätt och den använda modelltypen kan sägas väl beskriva förloppet.

1. ALLMÄNT OM DAGVATTENAVRINNING, MÅLSÄTTNING

1.1 Olika typer av avledningssystem

Läran om dagvatten och grundvatten i tätorterna kallas urban hydrologi. När en tätort byggs ut och byggnader, gator och parkeringsplatser anläggs görs marken hård och ogenomtränglig för vatten. De stora dagvattenvolymererna måste föras bort för att inte orsaka översvämningar. Omfattande ledningssystem har därför byggts i vilka dagvattnet avleds.

Nedan ges en kort översikt av olika avloppssystem och andra metoder för omhändertagande av dagvatten.

Separata systemet: Detta system kännetecknas av att endast spillvatten avleds i sluten ledning. För dagvattenavledningen ordnas öppna diken i vilka rännstenar o d mynnar ut, se fig. 1.1.

Separatsystemet används mest i mindre samhällen främst av ekonomiska skäl.

Duplikatsystemet: Duplikatsystemet innebär ett dubbelt ledningssystem med särskild ledning för spillvatten och särskild ledning för dagvatten, 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.

Kombinerat system: Här ges avloppsledningarna en sådan dimension att allt avloppsvatten (spillvatten, dräneringsvatten och dagvatten) kan avledas i ett gemensamt ledningsnät, se fig. 1.3. Detta system har varit det vanligast förekommande i våra städer. Svårigheten med detta system är att dimensionera det så att man inte får olägenheter i form av källaröversvämningar o d vid stark nederbörd. Vanligt är att man låter vattnet från kombinerade system brädda ut i mindre vattendrag.

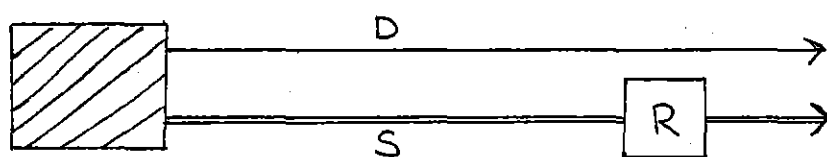


Fig. 1.1 SEPARATSYSTEM.

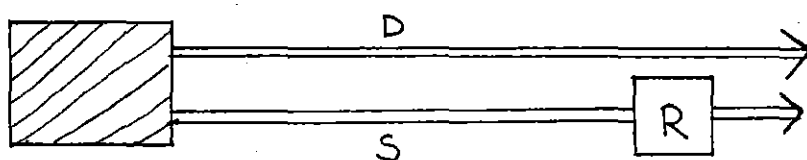


Fig. 1.2 DUPLIKATSYSTEM.

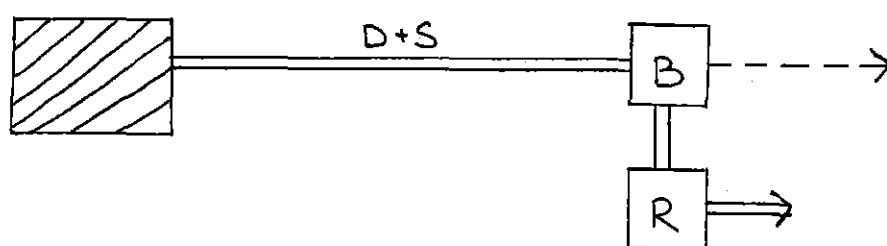


Fig. 1.3 KOMBINERAT SYSTEM.

S= SPILLVATTEN

D= DAGVATTEN

B= BRÄDDNING

R= RENING

LOD (lokalt omhändertagande av dagvatten): Problem såsom sättningar på grund av grundvattensänkning, förorening av vattendrag vid utsläpp av dagvatten och dimensioneringsproblem av avloppssystem kan i stort sett undvikas genom en naturlig infiltration av regnvatten. LOD nämns bara här som ett alternativ till de konventionella systemen. Ytterligare information om dess för- och nackdelar kan studeras i "Infiltre-ra dagvatten" (Holmstrand, Lindvall (1979)).

Val av system: Vanligt är att det är ekonomiska synpunkter som faller 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:

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

$$q(T) = \text{maximalt flöde per ytenhet}$$

$$T = \text{återkomsttid (år)}$$

$$\phi = \text{maxavrinningskoefficient (dimensionslös)}$$

$MI(t,T)$ = 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 bräddning. Hittills har denna typ av beräkningsmetoder använts i ganska liten utsträckning för dimensionering av dagvattensystem. Detta beror till stor del på att bristande fältdata medfört att man ej kunnat testa modellerna tillräckligt. Problem med källaröversvämningar m.m. tillsammans med kostnadsutvecklingen för anläggningsarbeten har ökat behovet av noggrannare beräkningsmetoder. Kurser i användandet av datormodeller ges på olika ställen, bl.a. Chalmers, vilket har medfört att konsultföretagen nu i större utsträckning använder sig av datorbaserade avrinningsmodeller. Man kan i framtiden vänta sig ett ytterligare ökat utnyttjande av datorbaserade beräkningsmetoder.

1.3 Målsättning

I detta examensarbete har vi haft som målsättning att testa en datorbaserad modell för dagvattenavrinningsförlopp. Genom noggranna fältmätningar av dagvattenavrinning och nederbörds-

mängder fås ett underlag som kan utvärderas och simuleras i datormodellen.

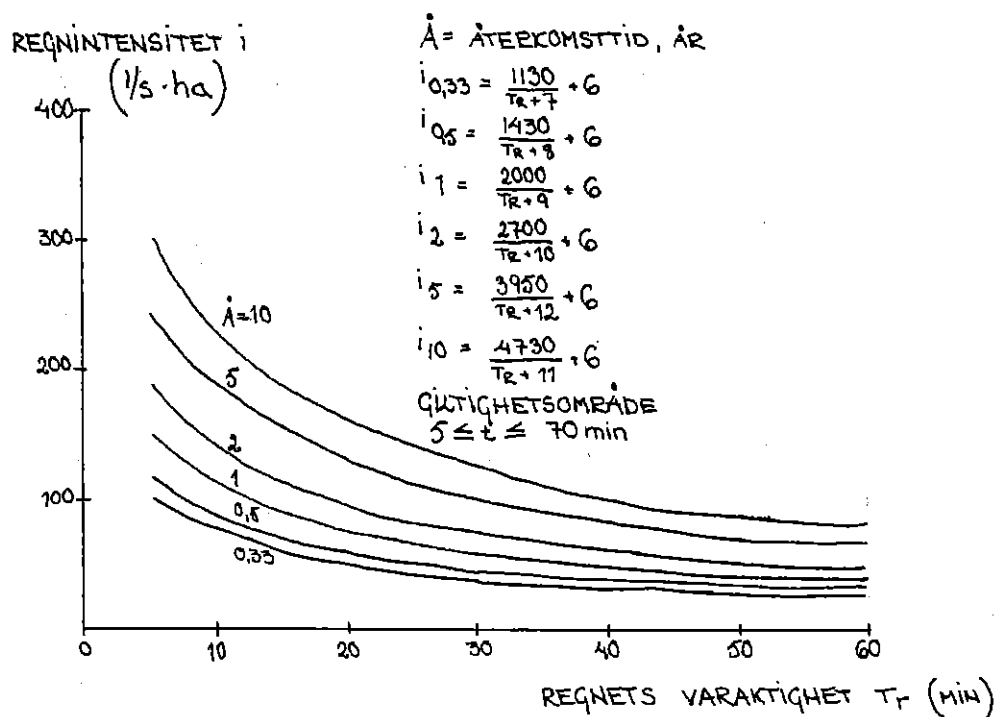
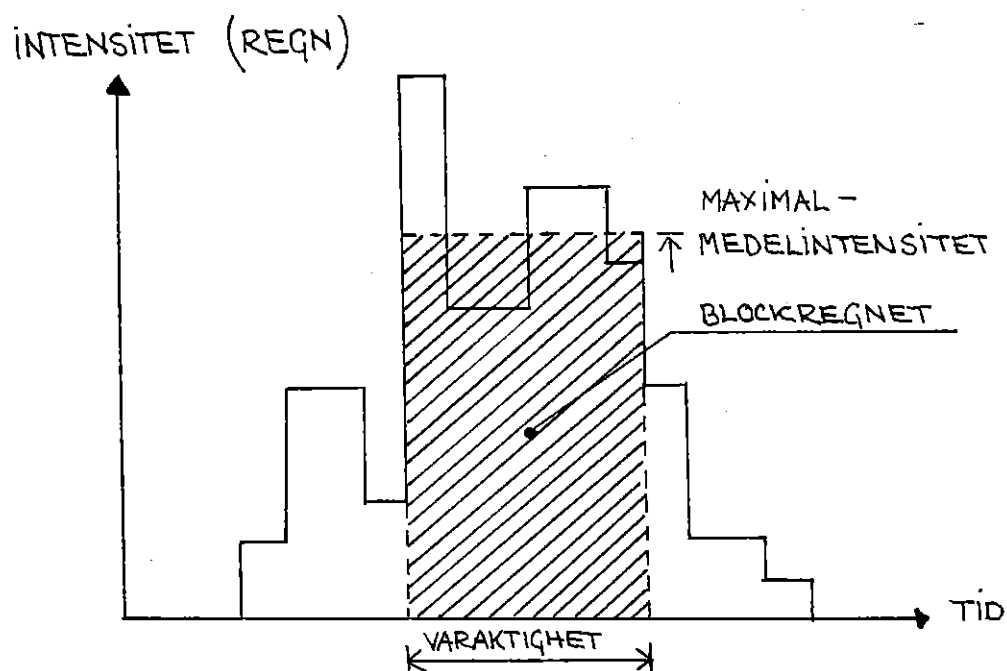


Fig. 1.4 Blockregn och regnintensitets/varaktighetskurvor.

2. FÄLTMÄTNINGAR VID LANDVETTER FLYGPLATS

2.1 Beskrivning av området och mätutrustningen

2.1.1 Områdesbeskrivning

Undersökningsområdet är beläget vid Landvetter flygplats cirka 2 mil öster om Göteborg, se fig. 2.1. Avrinningsytan ligger inom flygplatsområdet vid förvaltningsbyggnaden, se fig. 2.2. Avrinningsytan består enbart av asfalt och har uppmätts till 4260 m^2 . Ytan begränsas i norr och söder av byggnaden. I öster och väster är ytan begränsad av kantsten förutom på 2 ställen där in- och utfarter för trafik finns. Området har 3 st rännstensbrunnar som ligger på linje i riktningen öster-väster med ett avstånd av 30 meter mellan varandra. Alla ledningar har samma diameter $\varnothing 300$ och en lutning 10 o/oo , se fig. 2.3. Längsta flytlängd är ungefär 30 m. Avrinningsytans största lutning är uppmätt till 11 o/oo , se fig. 2.4. Vi har antagit att ytan och ledningarna håller hög standard då flygplatsen inte varit i bruk mer än några år. Mätbrunnen är belägen cirka 10 m från avrinningsytan. Motiveringen till att vi valde just denna yta för våra mätningar är dels att ytans sammanhängande area är relativt stor, ytans jämnhet gör den lätt att beskriva och nedstigningsbrunnens konstruktion är utformad på ett lämpligt sätt.

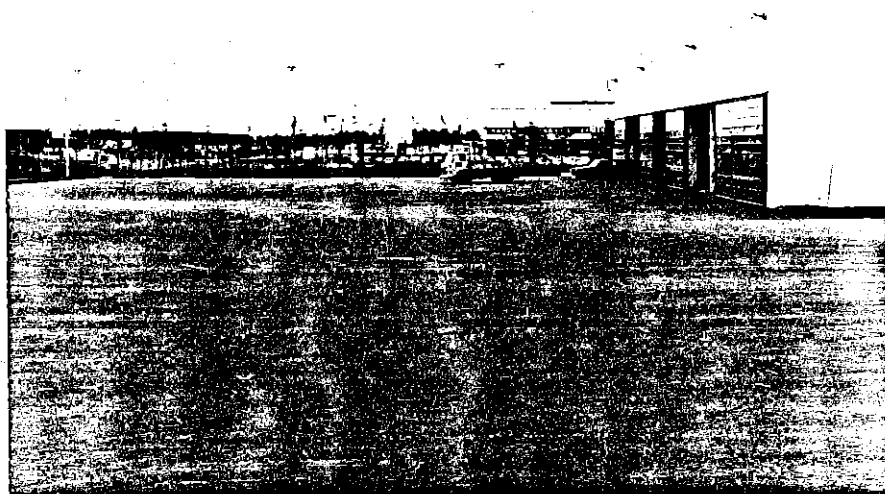


Bild 2.1 Del av avrinningsområdet.

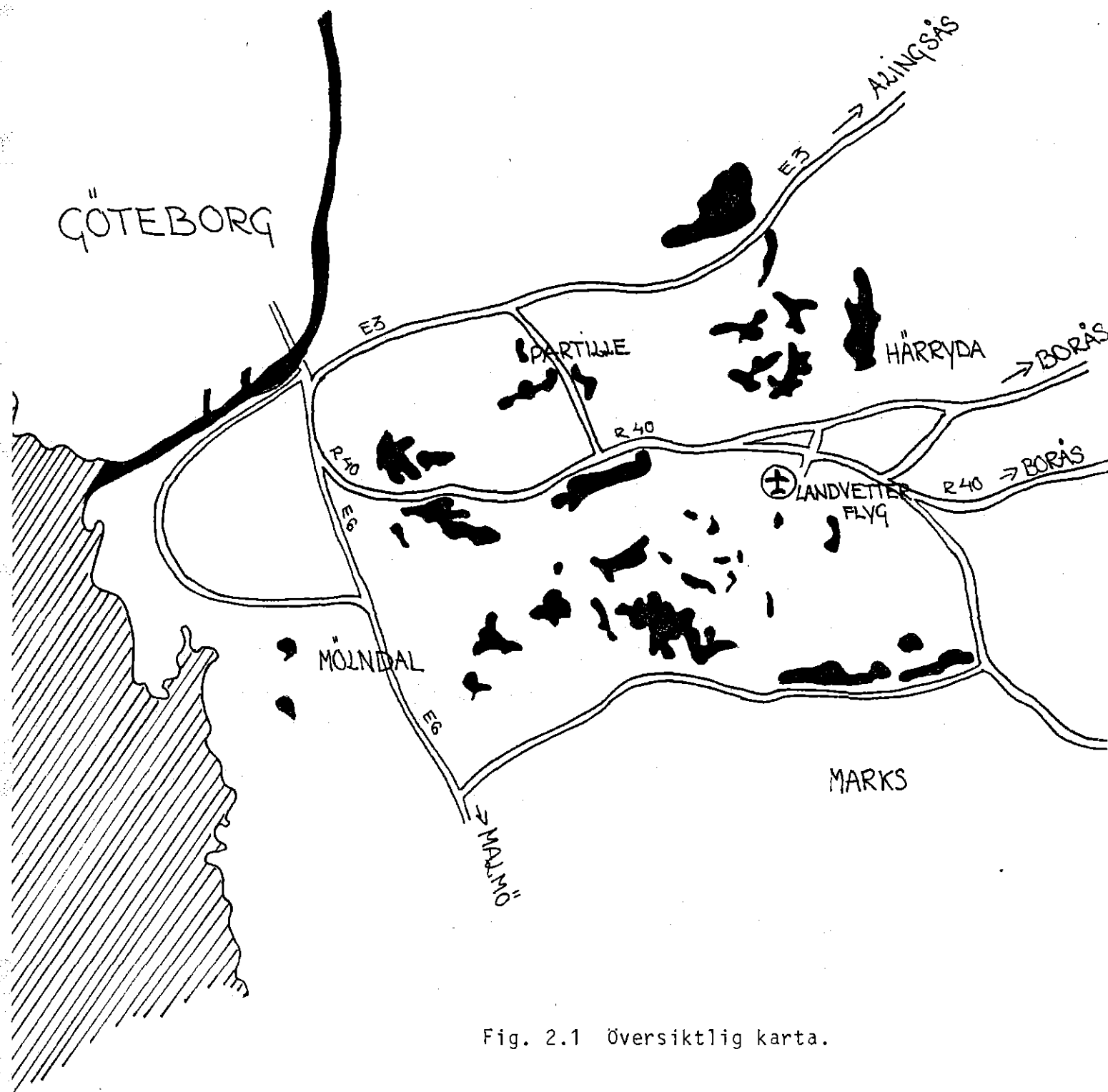


Fig. 2.1 Översiktlig karta.

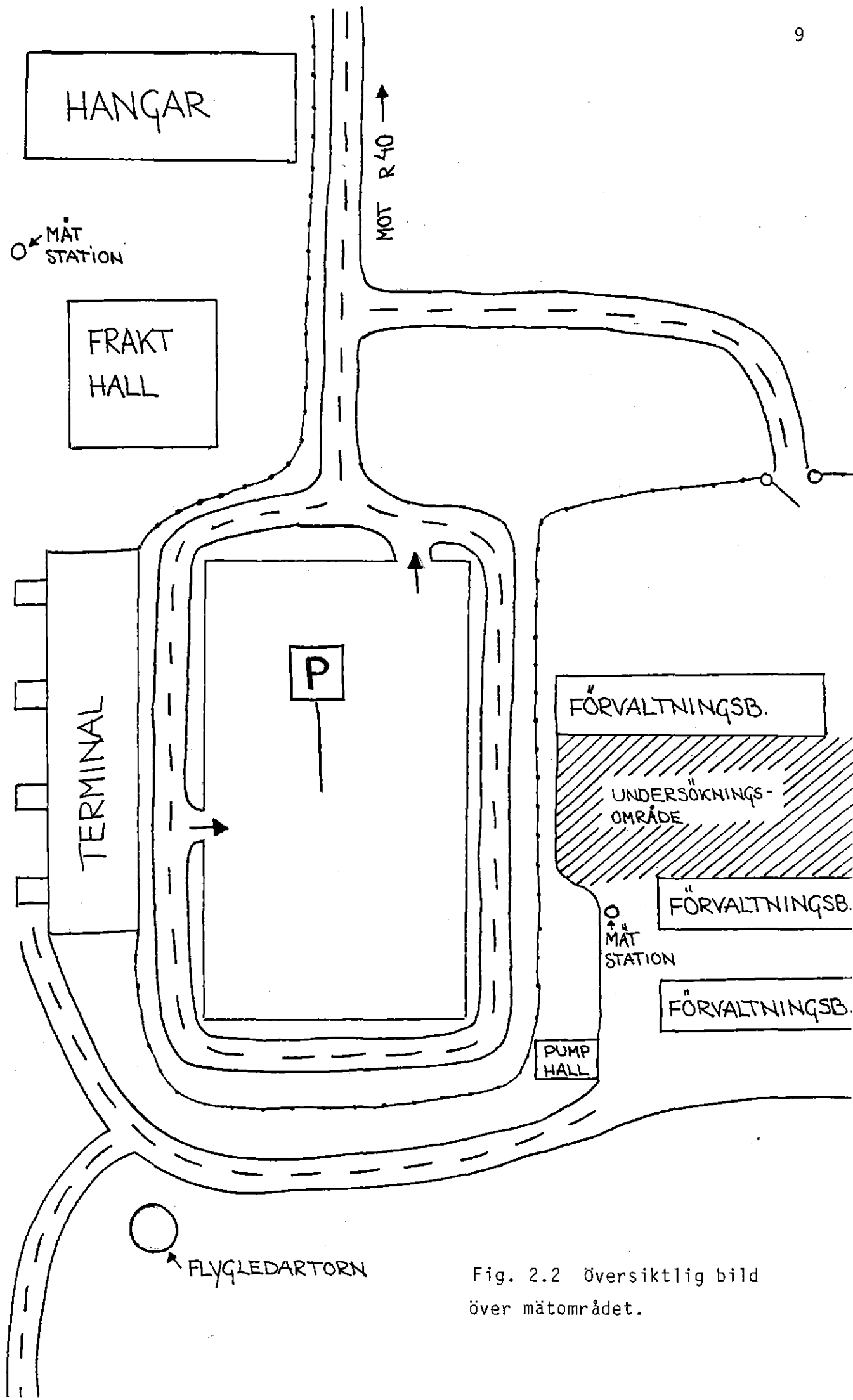


Fig. 2.2 Översiktlig bild
över mätområdet.

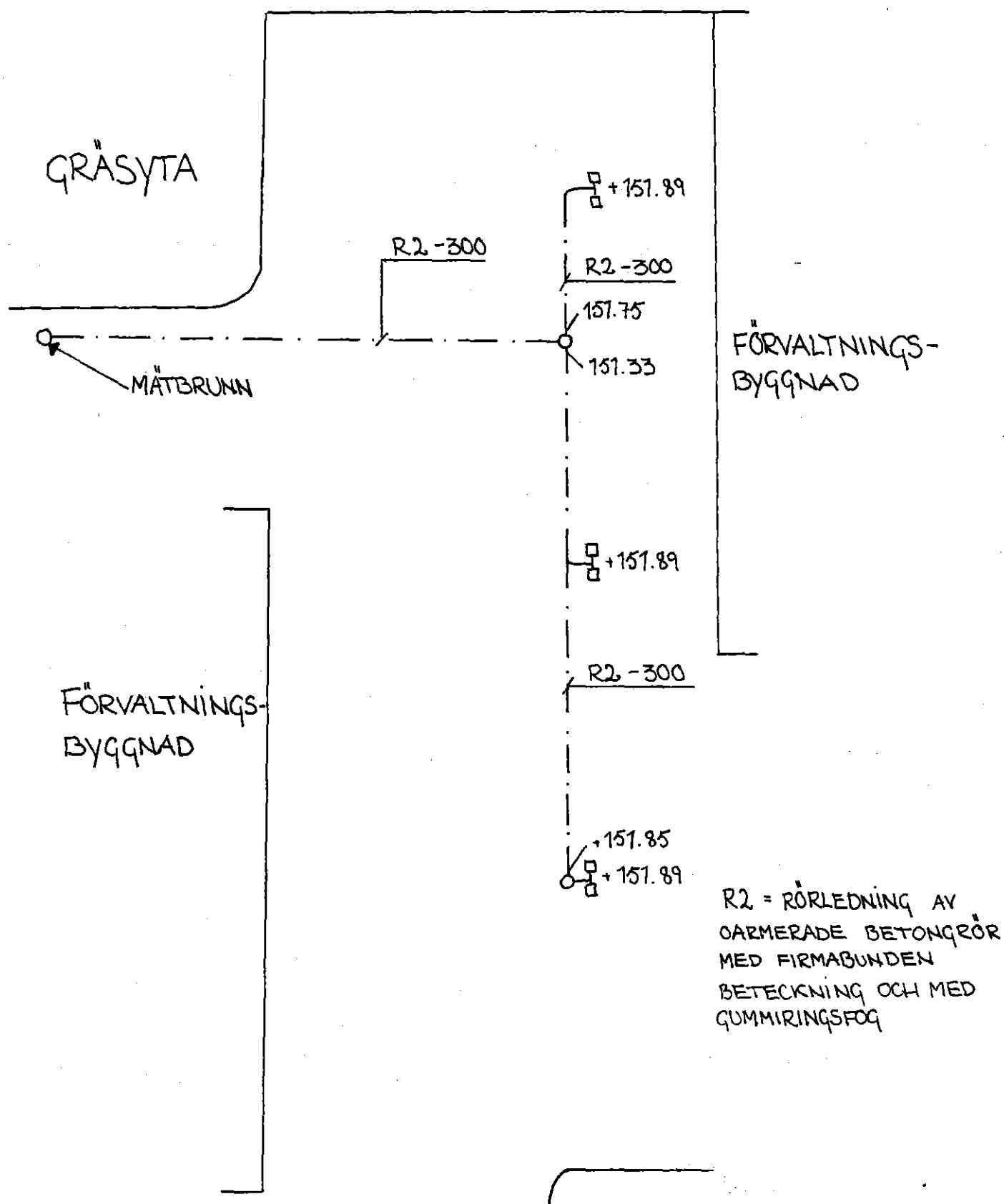


Fig. 2.3 Ledningssystemet vid förvaltnings-
byggnaden.

SKALA 1:500

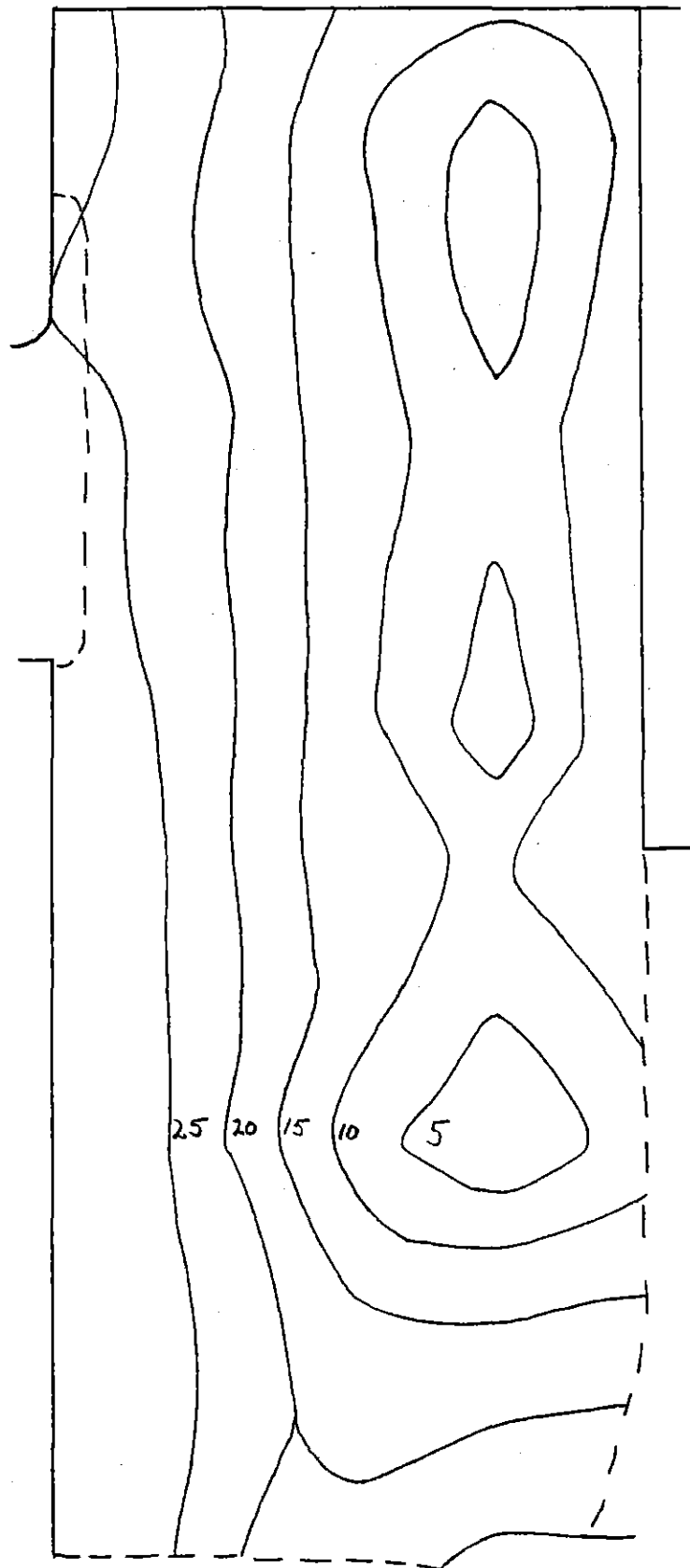


Fig. 2.4 Nivåkurvor (cm)

SKALA 1:500

2.1.2 Mätutrustning

I detta avsnitt behandlas den mätutrustning som använts vad gäller nederbördsmätning och flödesnivåmätning och hur den fungerar.

Nederbördsmätare

Nederbördsmätares är placerad cirka 45 m från avrinningsytans centrum. Nederbördsmätares är av typ Hellman, se fig. 2.5. Nederbörden samlas upp i en trätt (area 200 cm^2) och leds ner i ett flottörhus. Flottören stiger då vattnet ansamlas. Ett ritstift är kopplat till flottören och på ett diagram-papper uppritas en kurva över den ackumulerade nederbörden. När flottörhuset är fullt töms det genom en hävert. Framdrivningshastigheten hos diagram-papperet är 40 mm/tim , vilket möjliggör en utvärdering av den ackumulerade nederbörden ner till ett tidsintervall av 2 min.

Nivåmätning

Flödet har bestämts genom att låta uppdämt vatten passera ett Thomsonöverfall. Genom att mäta vattennivån uppströms överfallet kan man med hjälp av vissa formler beräkna flödet (en så kallad överfallsformel). Utrustningen för nivåmätningen består av en nivåmätare och en skrivare. Nivåmätares registrerar ändringar av vattennivån uppströms överfallet och skrivaren noterar mätvärdena som funktion av tiden, se fig. 2.6. Den nivåmätare som använts är en ekolodsmätare med en givarenhet. En ljudsignal utsänds pulsvis från givaren, signalen reflekteras mot vattenytan och mottages av givaren. Tiden som mäts för signalen, omvandlas till spänning som är proportionell mot mät höjden. Givaren är placerad i ett rör för största möjliga återreflektion. Skrivaren ritar diagram över vattennivån som funktion av tiden. Flödet kan därefter beräknas för varje tidsintervall.

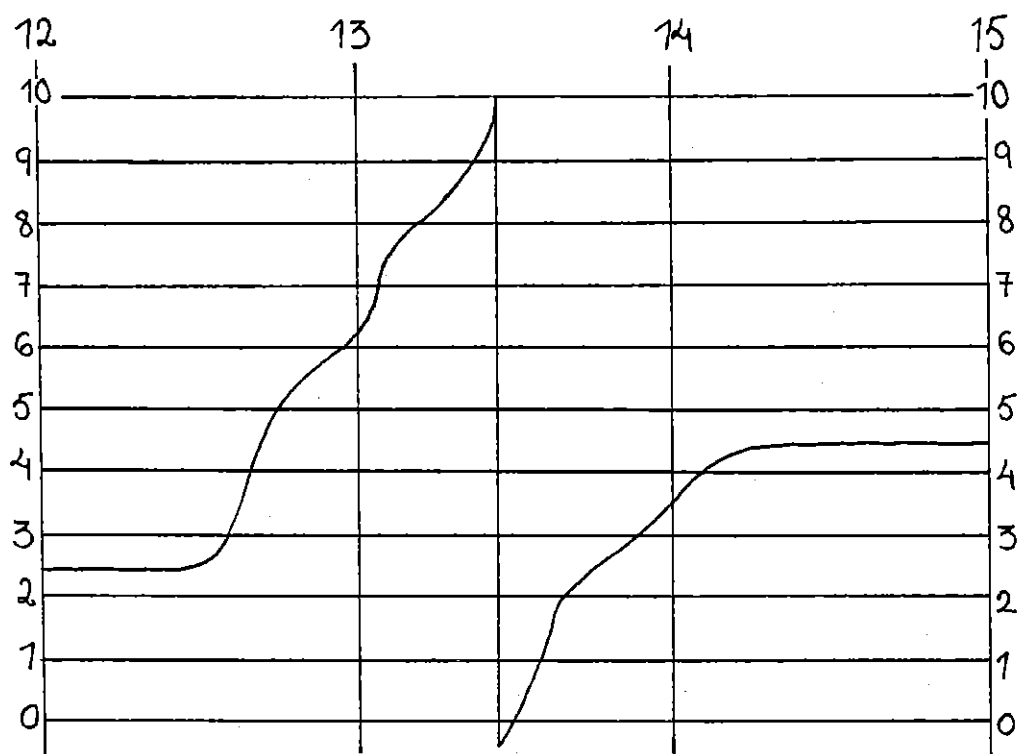
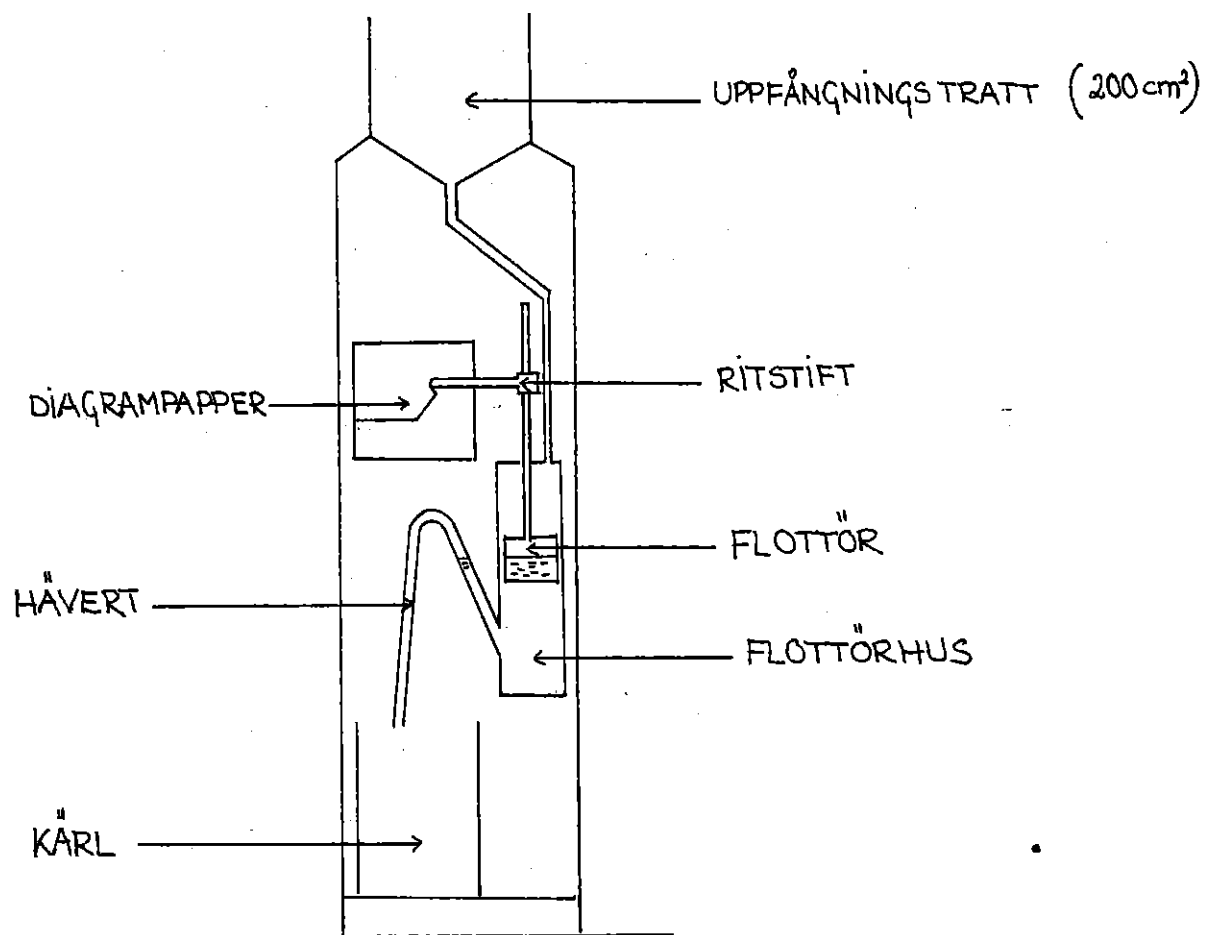


Fig. 2.5 Ackumulerande regnmätare med flottörhus samt exempel på registrering av ett kraftigt regn.

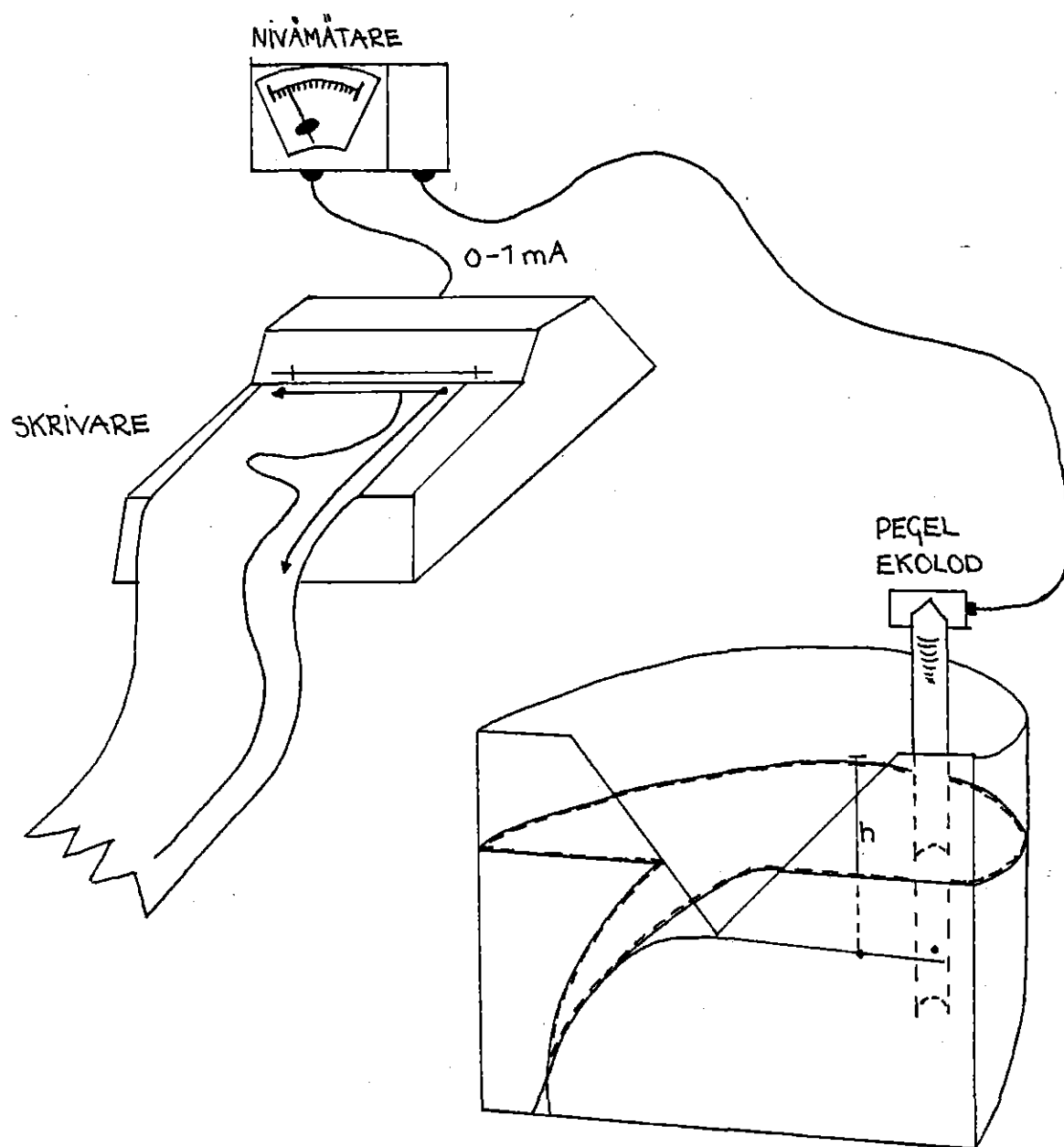


Fig. 2.6 Skrivare och nivåmätningstrustning

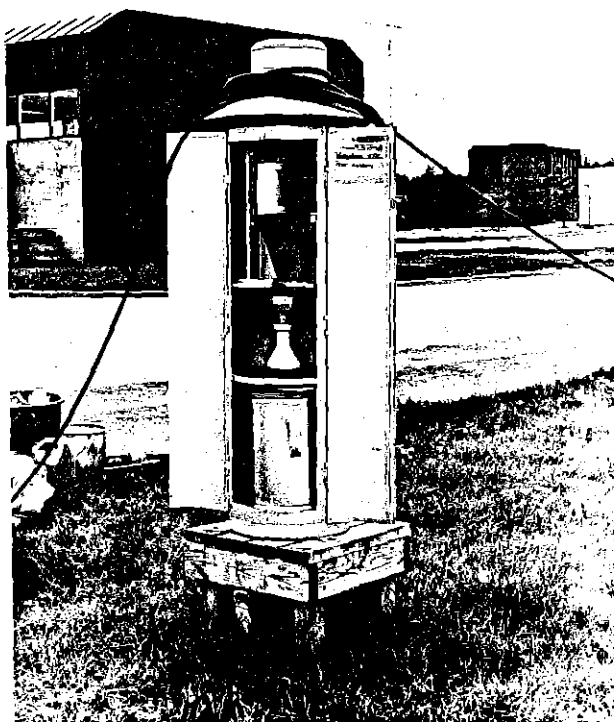


Bild 2.2 Nederbördsjätare typ Hellman.



Bild 2.3 Skrivarenhet för nivåmätning.

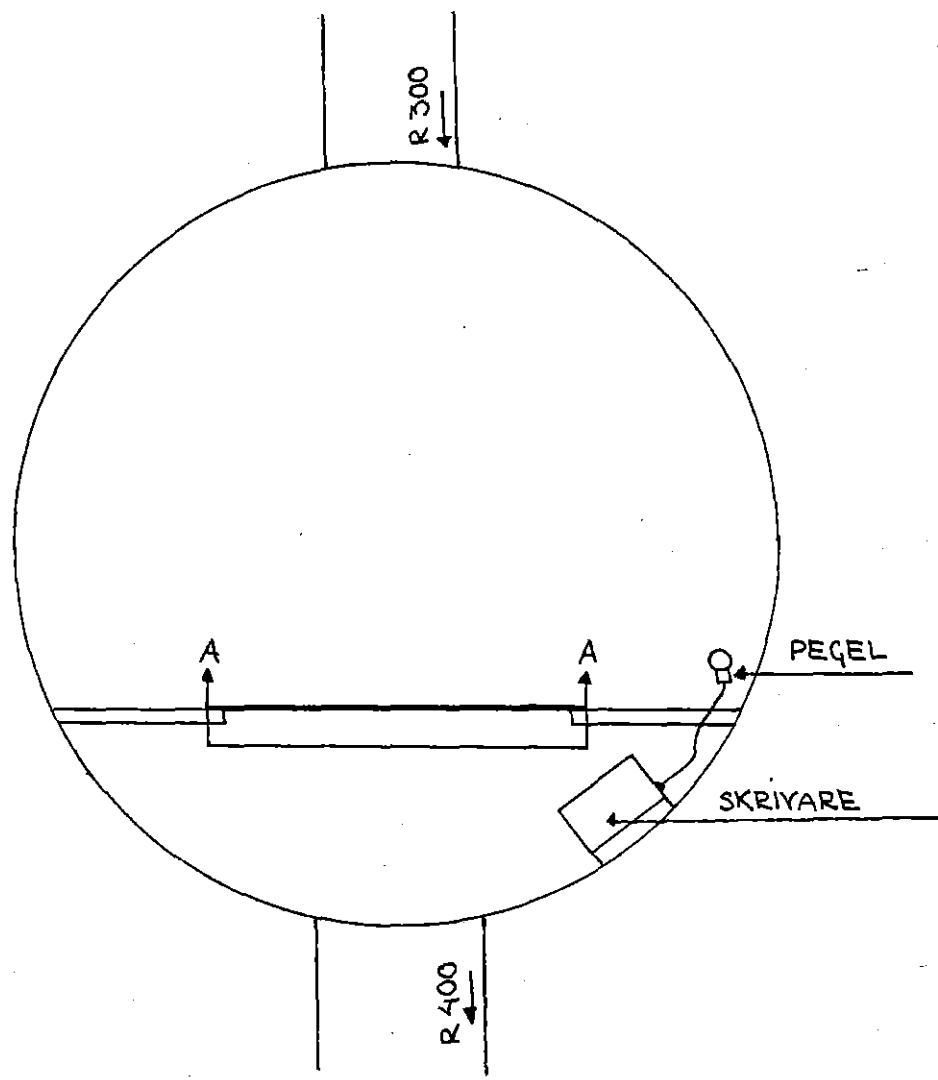
2.2 Byggnation av mätstation, installation m.m.

2.2.1 Dammbyggnad

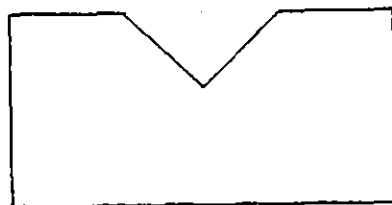
För att kunna utföra flödesmätningar av avrinningen från området orsakat av nederbörd har vi byggt en damm med Thomsonöverfall. Dammen är belägen i en nedstigningsbrunn med diametern 2000 mm, se fig. 2.7. För att erhålla tillförlitliga mätresultat krävs:

- tät tilloppsledning
- horisontell bottenyta
- konstant vattennivå, dvs inga läckage får förekomma
- att vattenstrålen över mätöverfallet är helt luftad, dvs vattenytan nedströms får ej nå upp till överfallets överkant.

Vid utförandet av mätöverfallet har vi använt oss av s.k. marinplywood som sågats till i lämpliga storlekar (brunnslockets diameter är 600 mm så därför måste man ha flera bitar som sedan skruvas ihop nere i brunnen). På plywoodskivan har sedan överfallsplåten skruvats fast. Med hjälp av vinkeljärn har mätöverfallet fästs i betongen. I samband med detta gjordes även en vertikal- och horisontalcentrering av överfallet. För att sedan få brunnen tät använde vi oss av tidigare beprövade tätningsmedel. Detta fungerade inte alls, ty vattentrycket blev så stort att tätningsmassan spolades bort. Denna typ av tätningsmassa saknar vidhäftning mot betong och har ej den elasticitet som krävs. Vi fann till slut ett tätningsmedel som fungerade utmärkt vid dessa speciella förhållanden. Tätningsmedlet är av tvåkomponentstyp och heter Thioflex (ett vanligt förekommande tätningsmedel bland båtbyggare). För att erhålla ett bra resultat med Thioflex krävs det att man först primar ytorna. En annan stor fördel med detta tätningsmedel är att det härdar snabbast under vatten. Nu fungerade dammen och inte en droppe vatten läckte ut.



SEKTION A-A



SKALA 1:20

Fig. 2.7 Mätstation vid förvaltningsbyggnad.

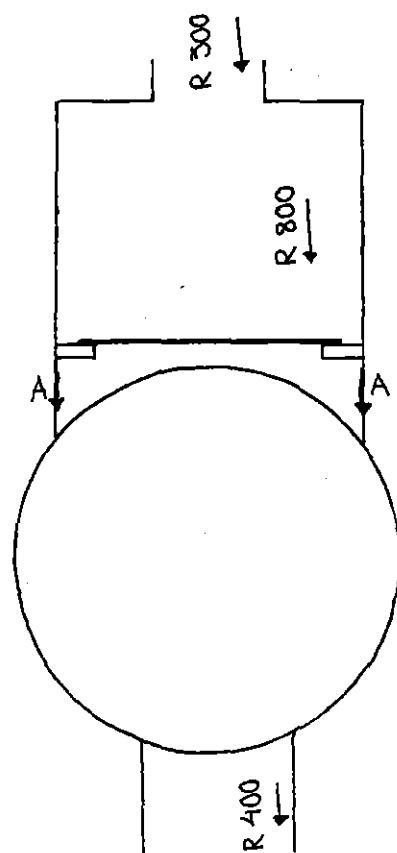
Ytterligare en damm med Thomsonöverfall byggdes vid fraktplattan, se fig. 2.2. Då tilloppsledningen hade en annorlunda utformning gjordes en cirkelformad damm som är placerad inne i tilloppsledningen, se fig. 2.8. På grund av tidsbrist hann vi ej utföra några mätningar på fraktplattan, varför denna mätstationsstation är ett gott förarbete för ett nytt examensarbete.

2.2.2 Kalibrering av mätöverfall

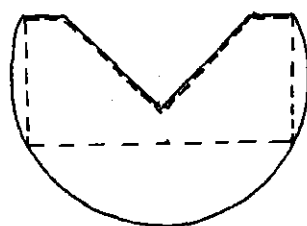
För att inte enbart vara hänvisade till i litteraturen förekommande avbördningsformler och för att få fram en exaktare formel för just denna mätning använde vi oss av följande metod: Från flygfältets brandkår fick vi låna cirka 100 m brandslang, vilken anslöts till en brandpost. Genom att sedan låta vattnet rinna genom en av brunnarna på avrinningsytan fick vi konstanta flöden till mätstationen. Efter att skrivaren stabiliserat sig för en viss vattennivå i dammen noterades detta värde. Därefter uppmättes det konstanta vattenflödet till mätstationen med hjälp av tidtagarur och ett 100 liters vattenkar. Detta upprepades 3 gånger för varje flödesbestämning och ett medelvärde framräknades. Då vi kunde variera flödet fick vi fram sambandet mellan verkligt flöde och nivåmätares registrering.

2.2.3 Installation av mätutrustning

Ekolodets plaströr monterades en bit ovanför bottenytan för att undvika att få in sand och slam genom öppningen. Plaströret placerades på sådant sätt att svallning och strömvirvlar undveks. Till skrivaren tillverkades en speciell plåtlåda för att undvika fukt och dropp från brunnslocket. Plåtlådan placerades på brunnsväggen med hjälp av konsoler. Nederbördsmataren placerades på en träställning som horisontalcentrerats.



SEKTION A-A



SKALA 1:20

Fig. 2.8 Mätstation vid fraktplatta.

2.3 Genomförande av fältmätningar

Mätningarna utfördes sommaren 1979. Systemet var i drift från början på juni till slutet på augusti. Då tidssynkroniseringen mellan nederbördsräknare och skrivare inte fungerade önskvärt blev vi tvingade att ta ner skrivaren och ta med den till skolan för kontroll. Trots att vissa komponenter byttes ut i skrivaren fungerade den aldrig så väl att vi helt kunde lita på den. För att erhålla tillförlitliga mätresultat blev vi tvingade, oavsett om det regnat eller inte, att åka ut till Landvetter i genomsnitt varannan dag för att korrigera avdriften i systemet. Med denna täta korrigering fungerade mätningarna ganska väl förutom under en tidsperiod på en vecka med häftiga regn, då nederbördsräknarens tidur var ur funktion. Som resultat av mätningarna erhöles nio stycken separata nederbördstillfällen, ur vilka nederbörds- och avrinningsintensitet kunde utvärderas. Områdets exakta mått och nivåkurvor uppmättes med hjälp av stålmåttband resp. avvägningsinstrument.

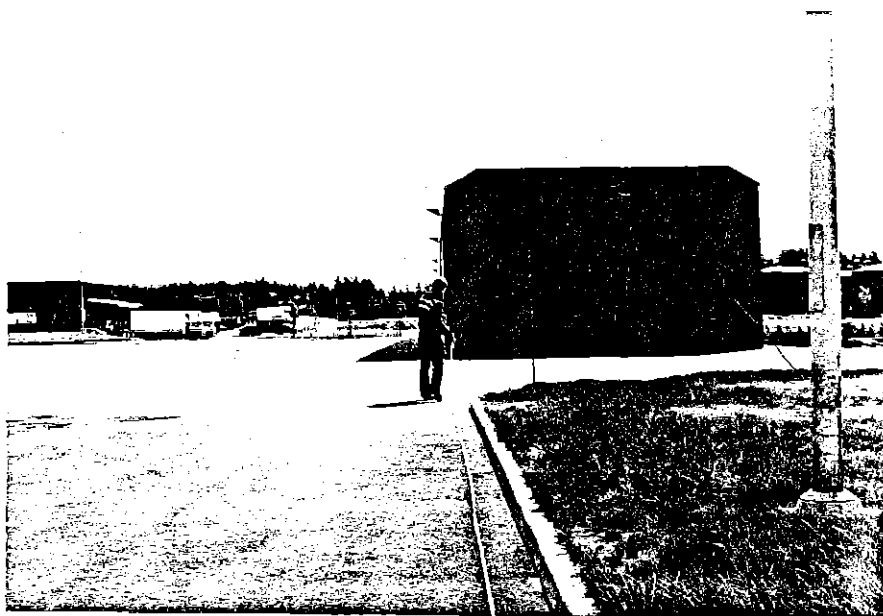


Bild 2.4 Uppmätning av området.

3. DAGVATTNETS KVANTITET

3.1 Avbördningssamband flöde-nivå

Avbördningen q över ett Thomsonöverfall fås teoretiskt ur formeln $q = \frac{8}{15} \mu \sqrt{2g} \cdot h^{5/2}$, där

q = avbördningen i m^3/s

μ = avbördningskoefficient ($0.57 < \mu < 0.63$)

h = lugnvattenytans höjd över spetsen i m

Beräkningen enligt denna formel, med $\mu = 0.62$, stämmer ganska väl överens med våra erhållna kalibreringsvärden. Med hjälp av våra 5 kalibreringsvärden (1,6 l/s, 2,9 l/s, 4,7 l/s, 13,3 l/s, 18,3 l/s) försökte vi dock få en ännu mer anpassad avbördningsfunktion enligt minsta kvadratmetoden.

Vi tog fram 4 stycken avbördningsfunktioner med följande utseende:

1. Alla 5 kalibreringsvärdena används: $q = 0,017 h^{2.4512}$
2. De 3 minsta kalibreringsvärdena används: $q = 0,0147 h^{2.5209}$
3. De 4 "- " " " " " " " : $q = 0,0142 h^{2.5372}$
4. De 3 minsta + det största kalibreringsvärdet
användes: $q = 0,01846 h^{2.4101}$

Figurer har uppritats i fig. 3.1–3.5,

där q = avbördningen i l/s

h = lugnvattenytans höjd över spetsen i cm

Då vi jämförde de 4 alternativen med den teoretiska formeln visade det sig att alternativ 1 ($q = 0,017 h^{2.4512}$) enligt vårt bedömande beskrev verkligheten bäst.

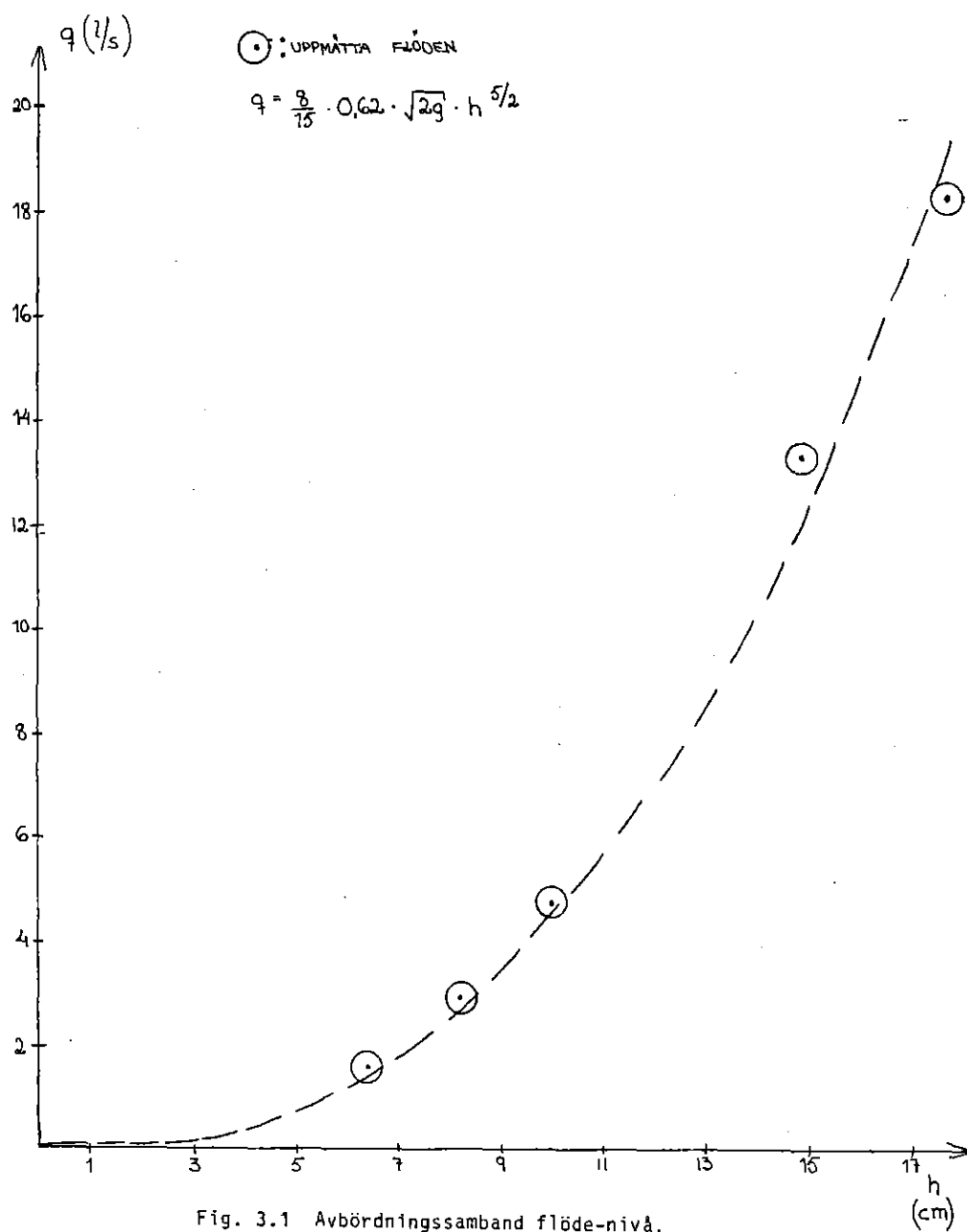
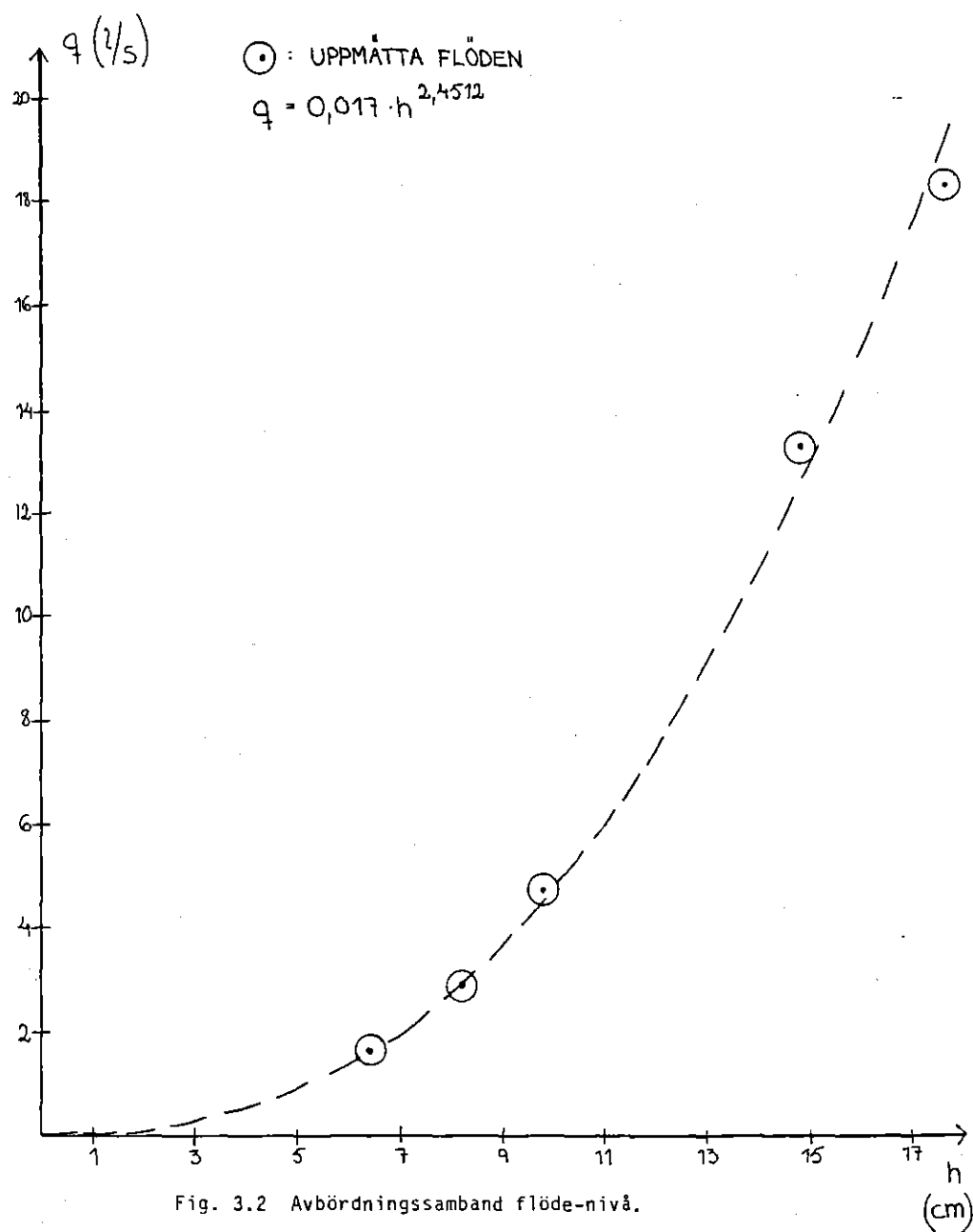


Fig. 3.1 Avbördningssamband flöde-nivå.



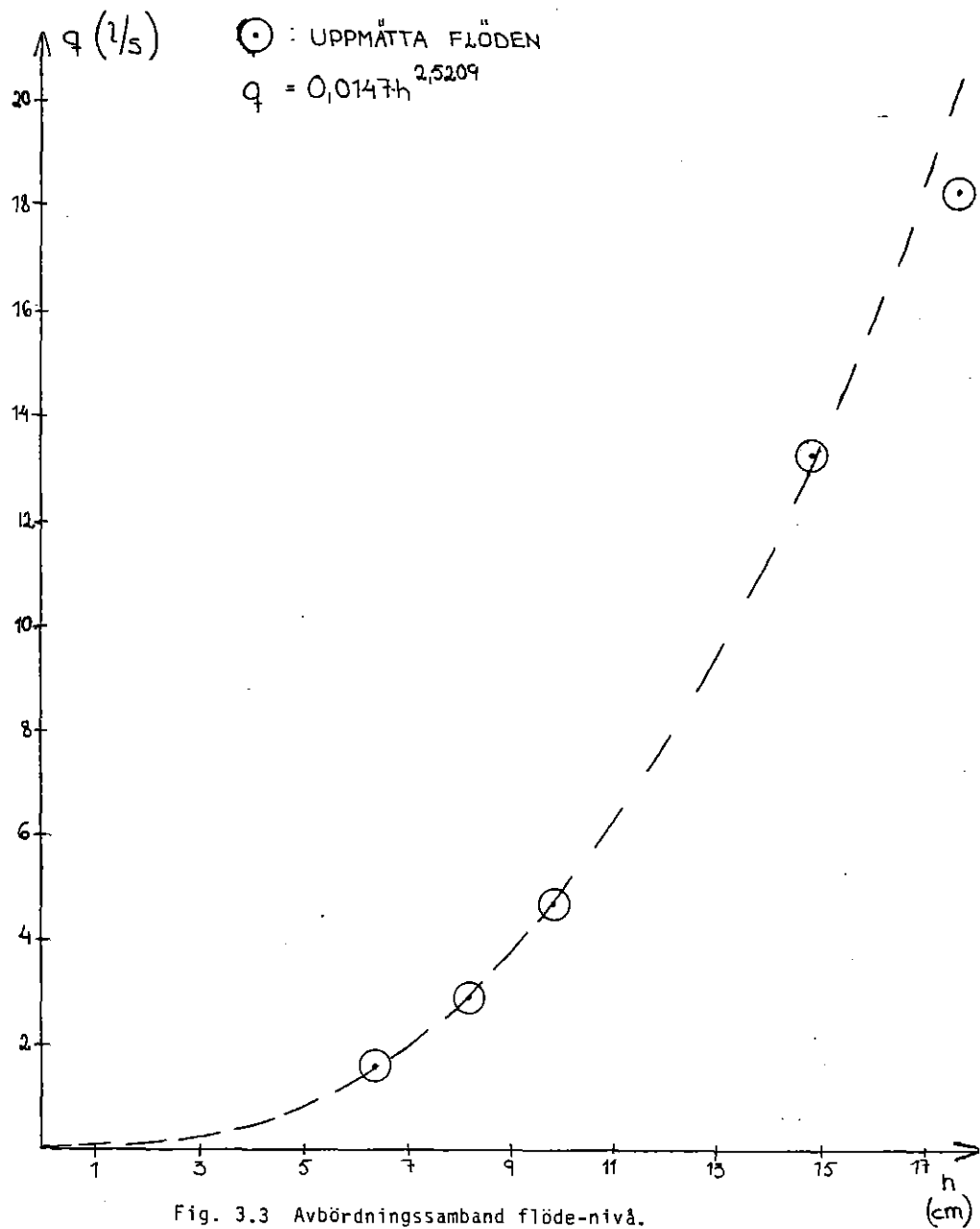


Fig. 3.3 Avbörningssamband flöde-nivå.

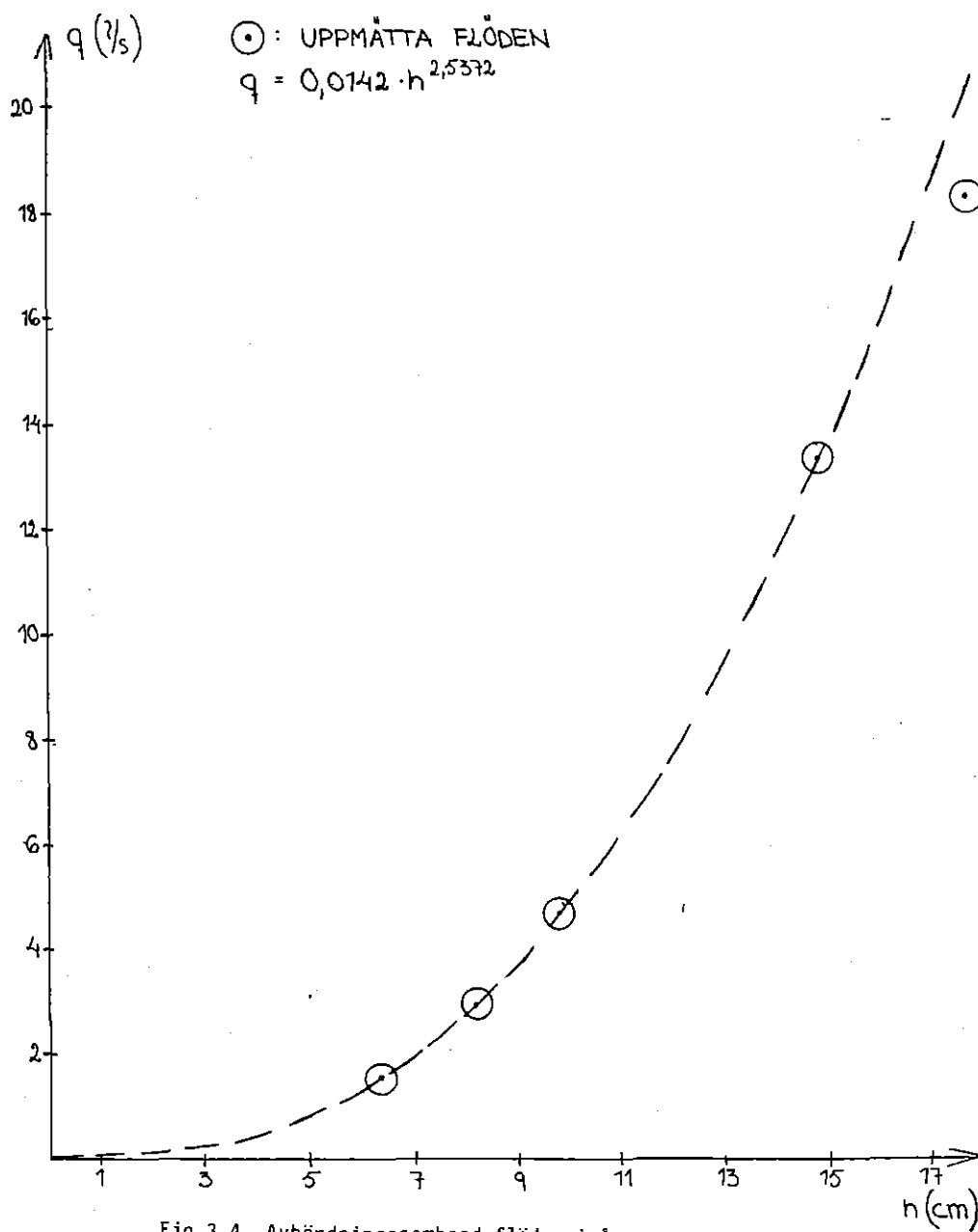
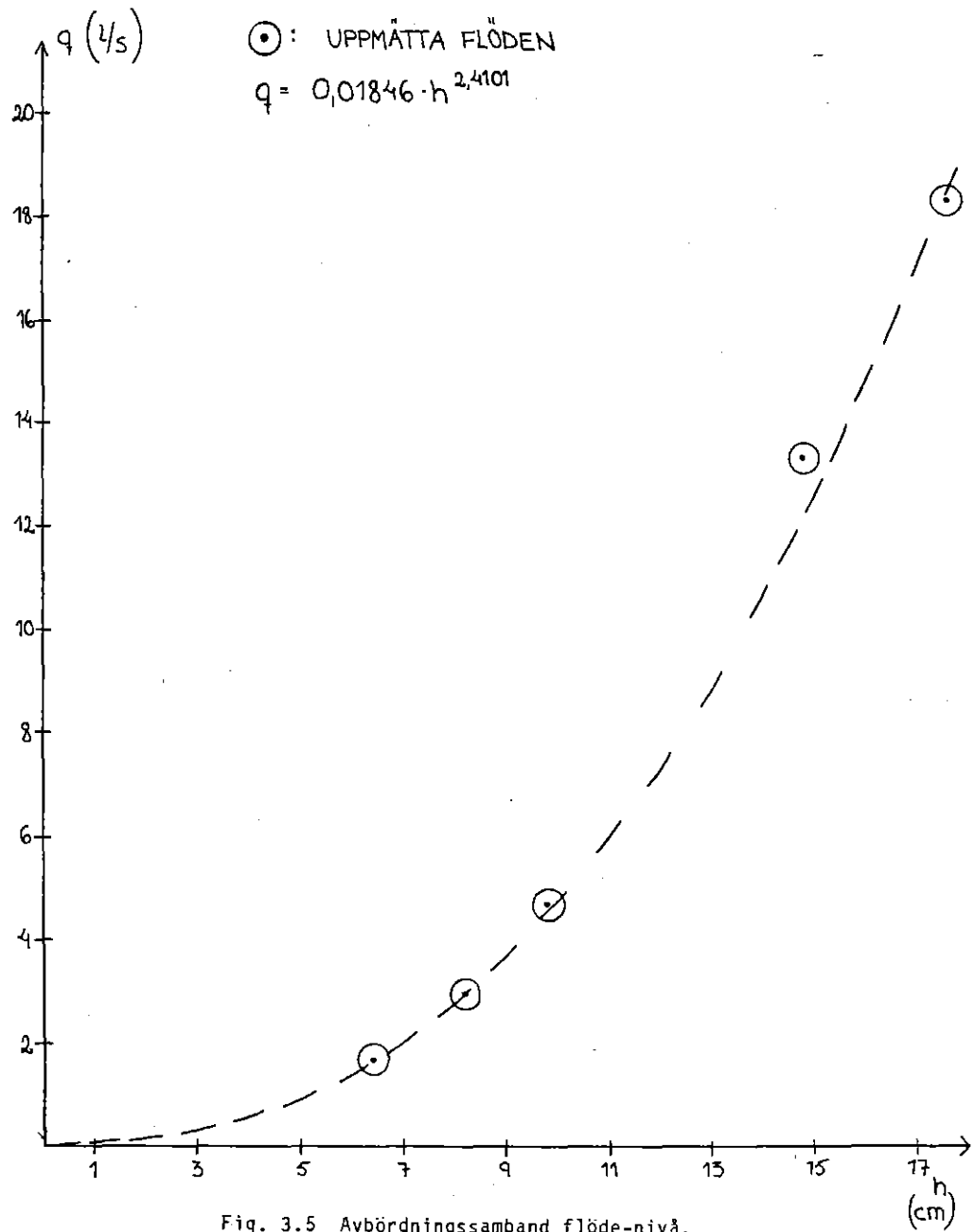


Fig 3.4 Avbörningssamband flöde-nivå.

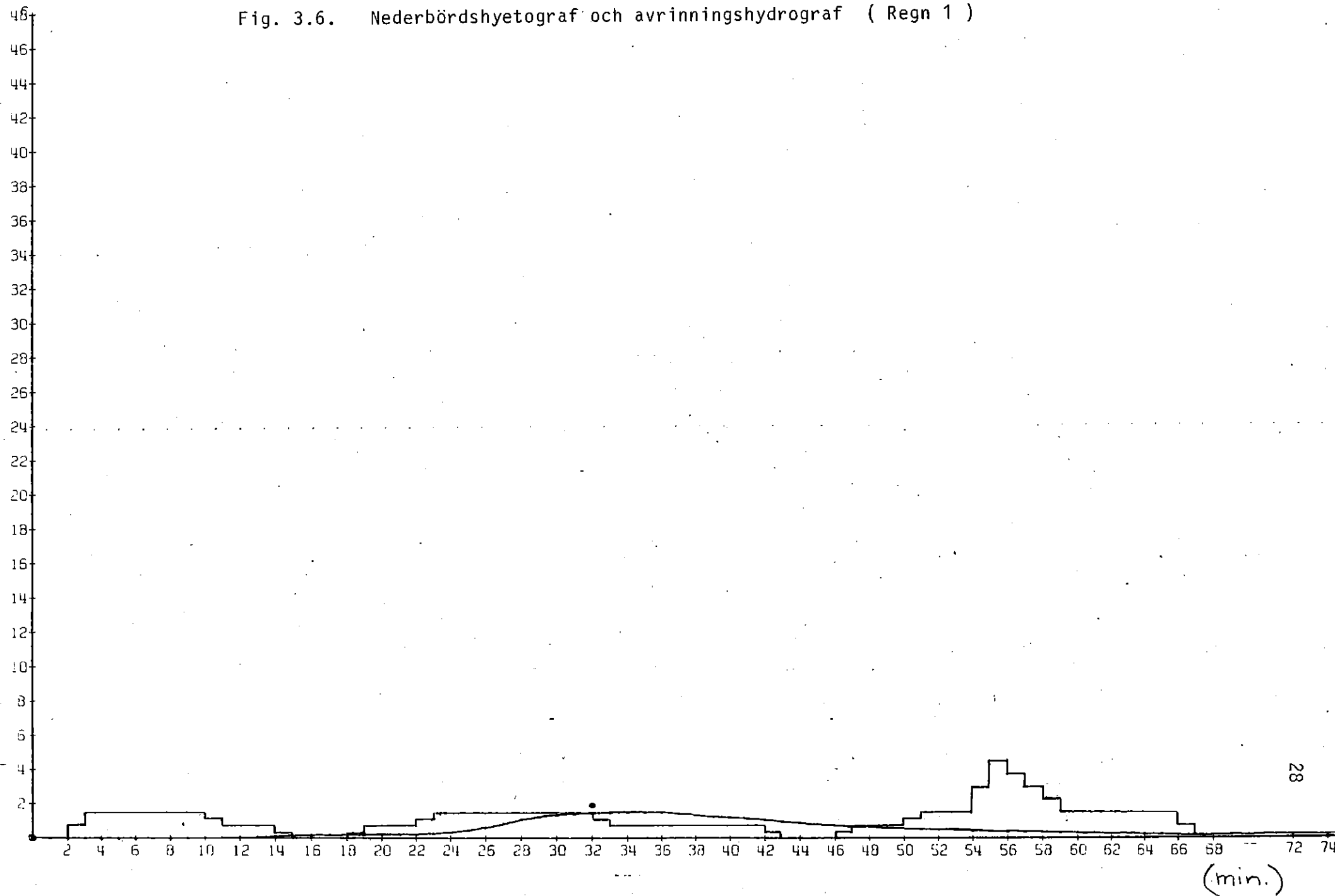


3.2 Nederbördshyetografer med tillhörande avrinningshydrografer

Vid uppritandet av avrinningshydrografen med tillhörande nederbördshyetograf har flödet dividerats med avrinningsytans totala yta (4260 m^2) och multiplicerats med 3600 sek. Härigenom fås avrinningen uttryckt i mm/tim vilket underlättar jämförelsen mellan nederbörd och avrinning. Fig. 3.6 - 3.18 redovisar 9 stycken regntillfällen där regnintensitetens variationer presenteras tillsammans med avrinningens flödesvariationer. Nederbörden presenteras i form av stapeldiagram. Avrinningshydrografen är den heldragna kurvan i figuren. Felaktig synkronisering mellan nederbördsmätning och flödesmätning orsakar i vissa fall tidsförskjutningar som medför att hydrografen ligger fel i tid jämfört med regnet. (Detta märks hos regn 1 och 9f). Allmänt bör noteras att mätfel på 10-15% kan förekomma vid flödesmätningar av denna typ.

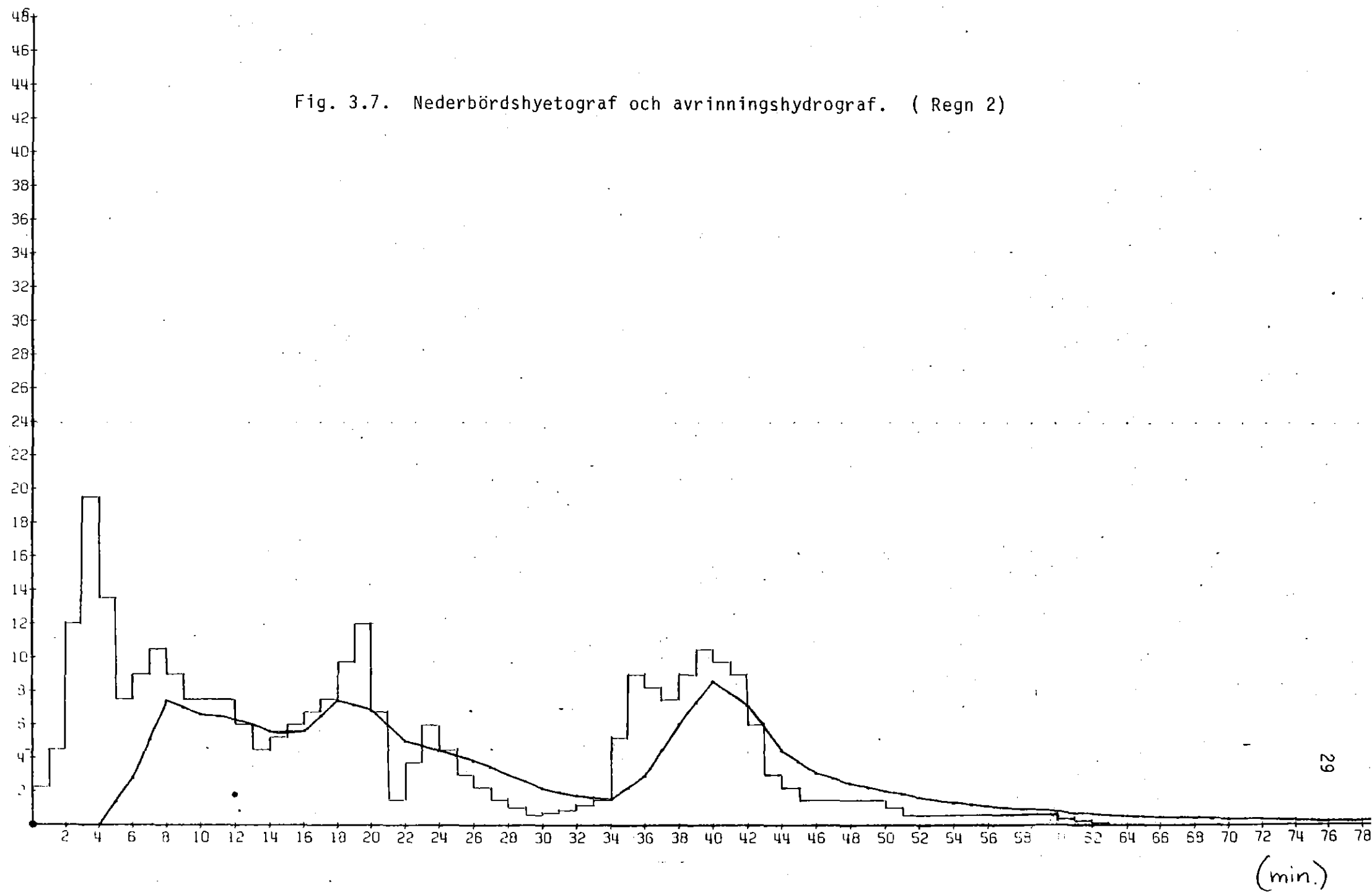
(mm/tim)

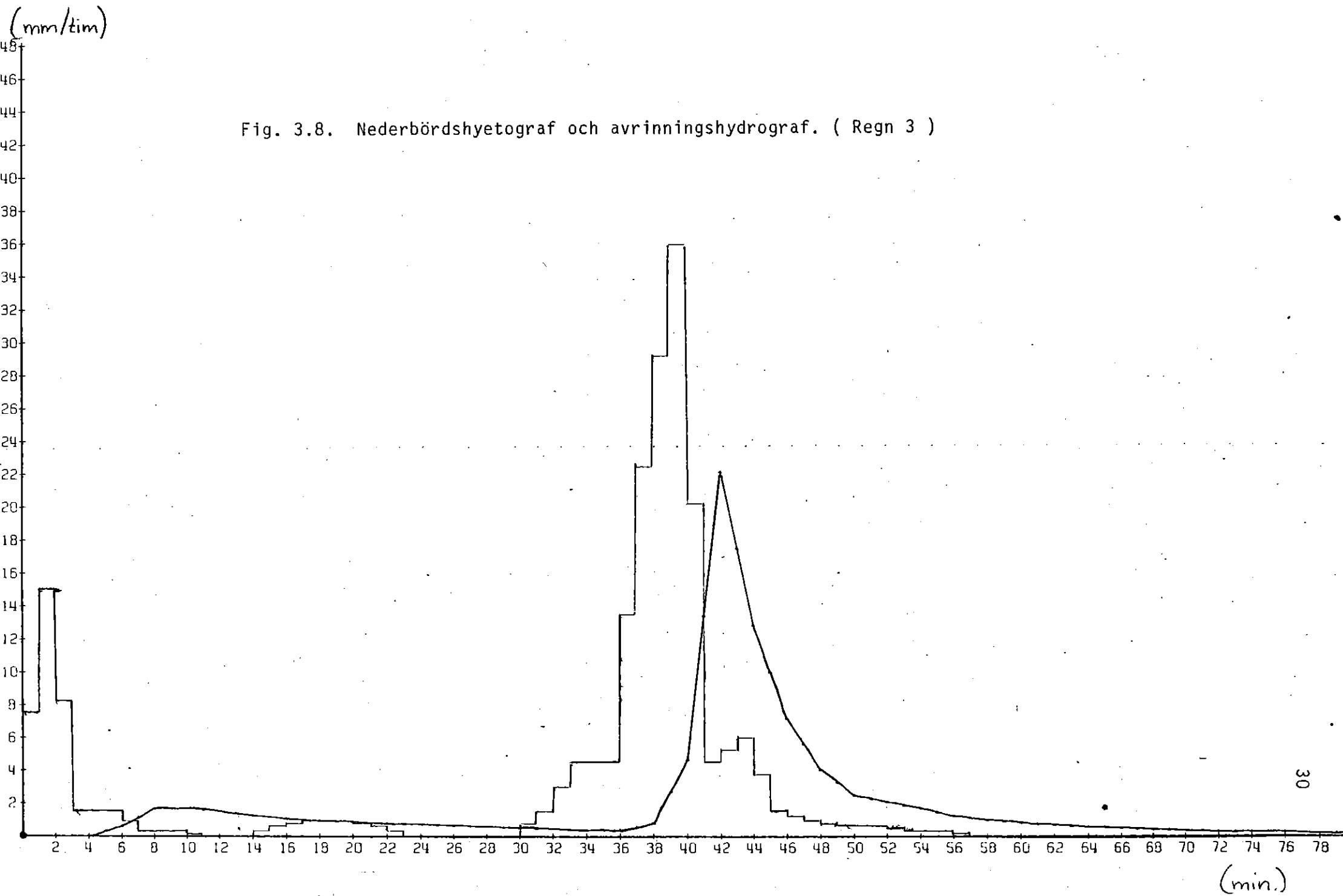
Fig. 3.6. Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf (Regn 1)



(mm/tim)

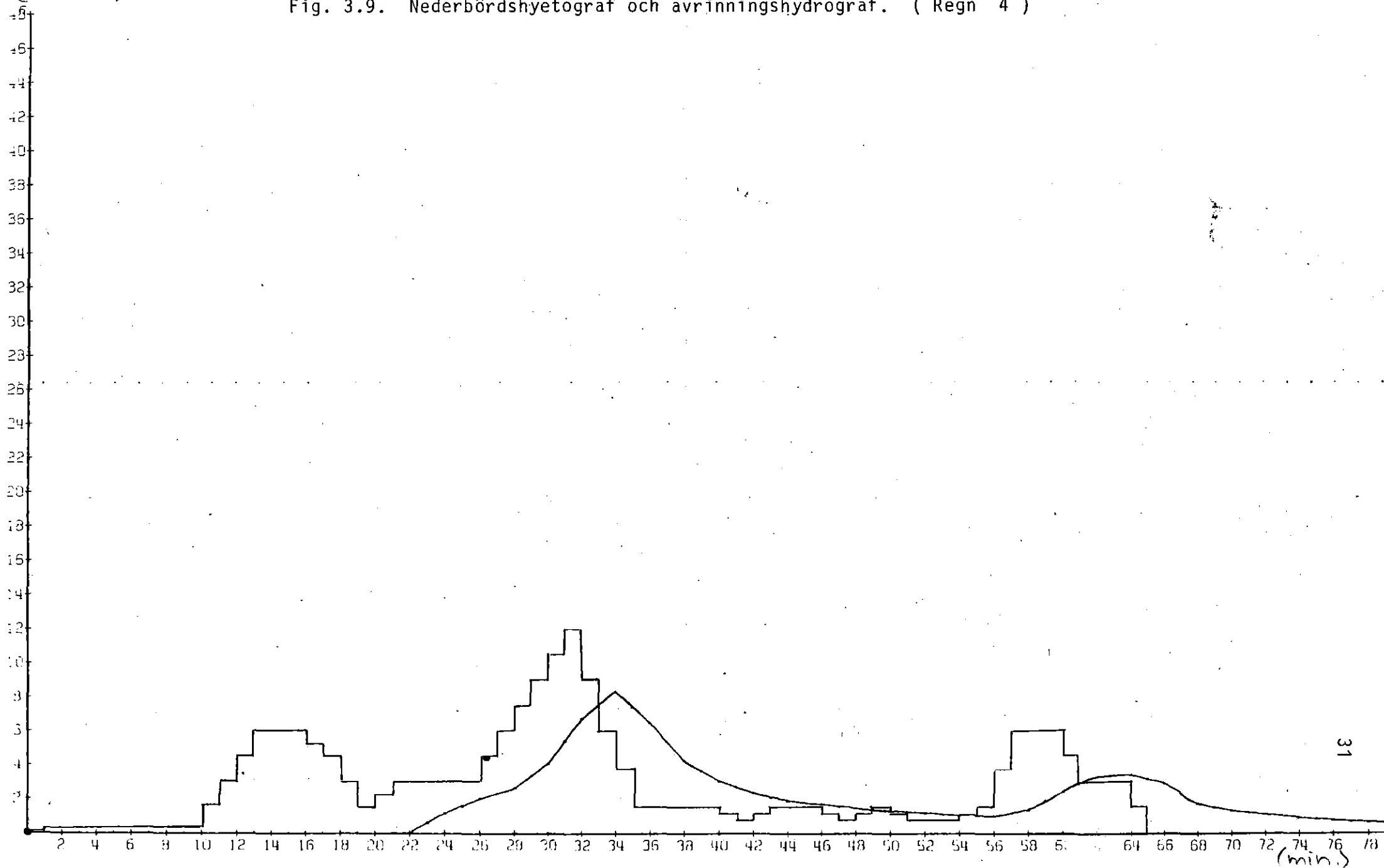
Fig. 3.7. Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 2)





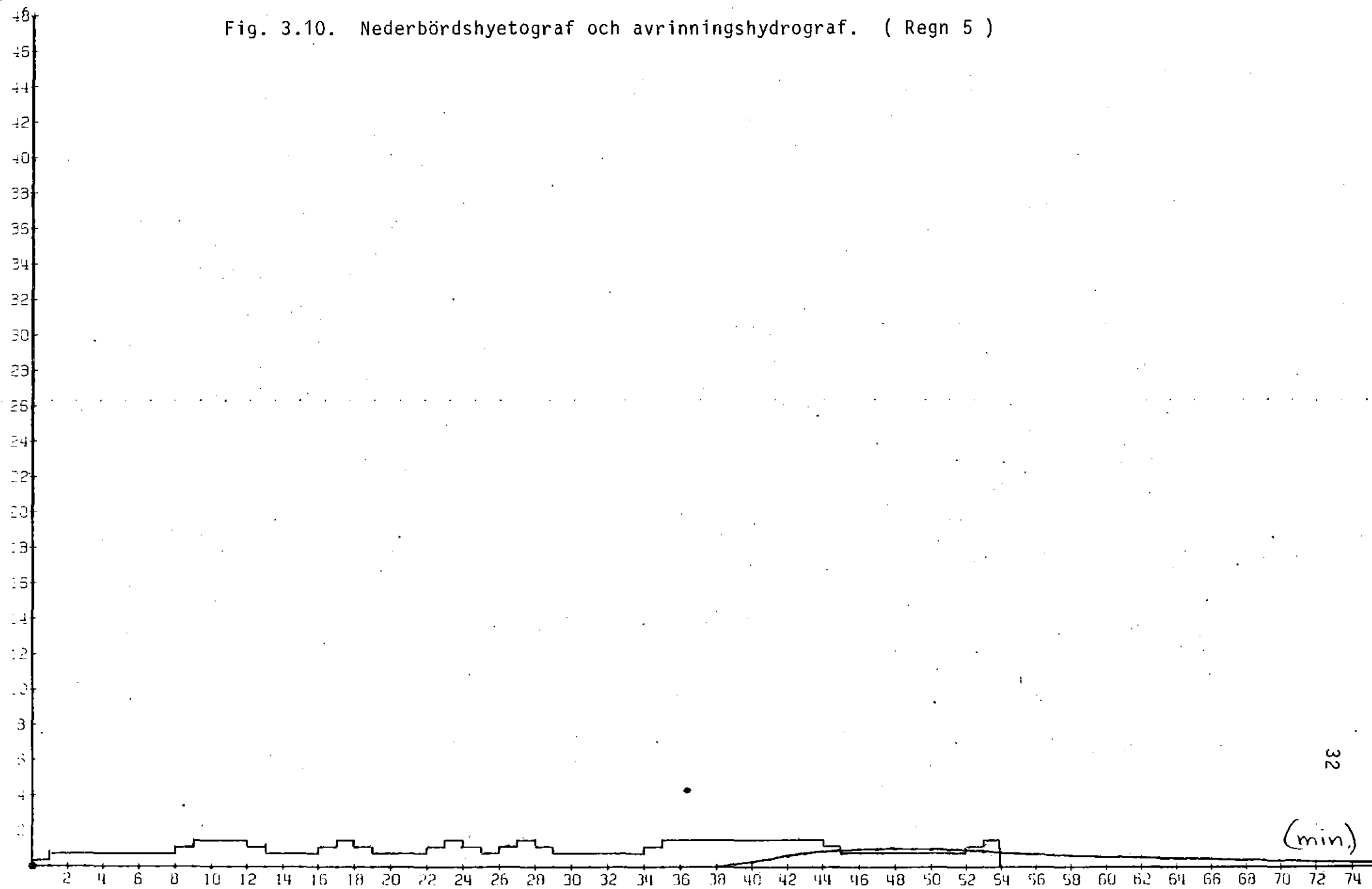
(mm/tim)

Fig. 3.9. Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 4)



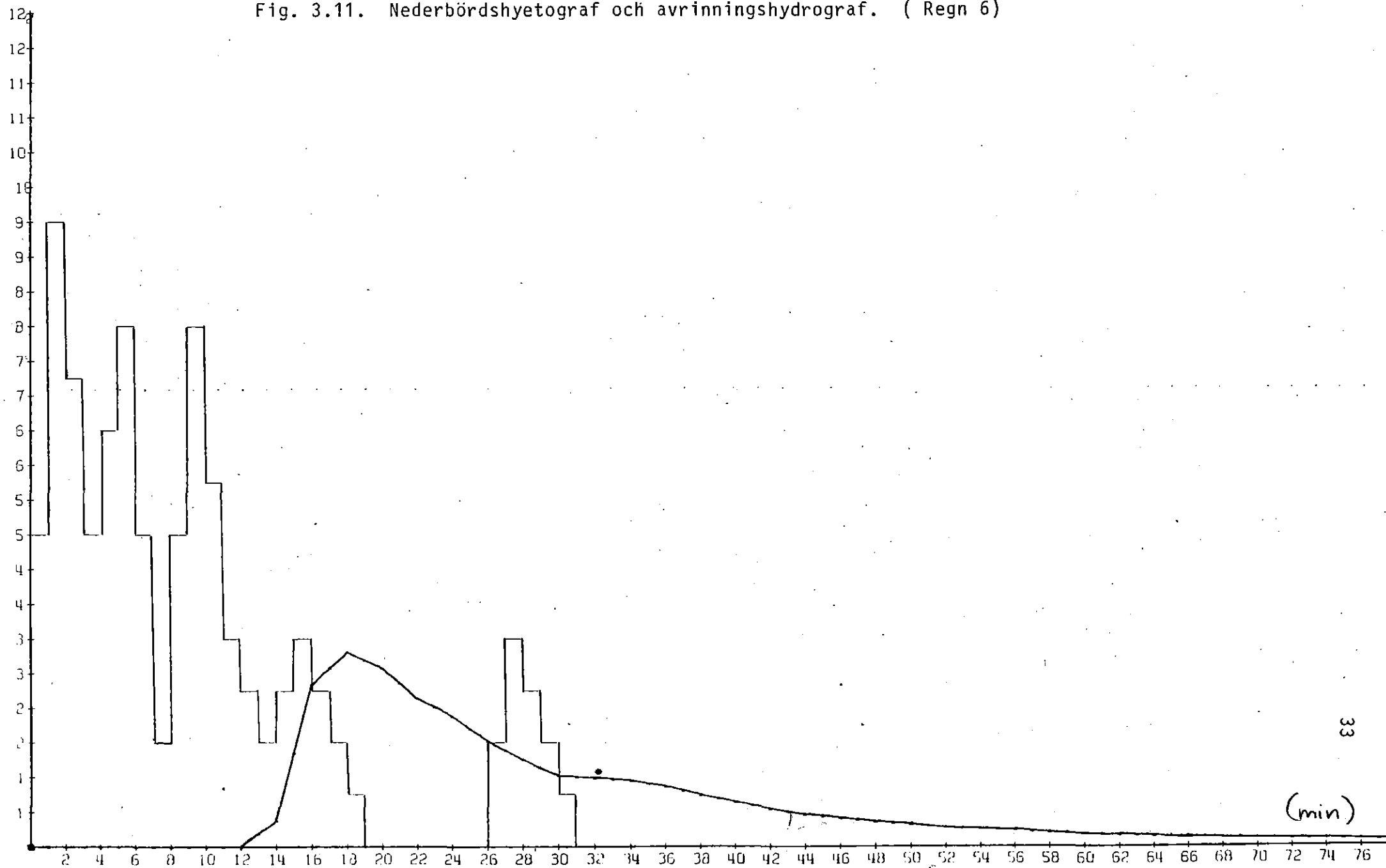
(mm/tim)

Fig. 3.10. Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 5)



(mm/tim)

Fig. 3.11. Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 6)



mm/tim

Fig. 3.12. Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 7)

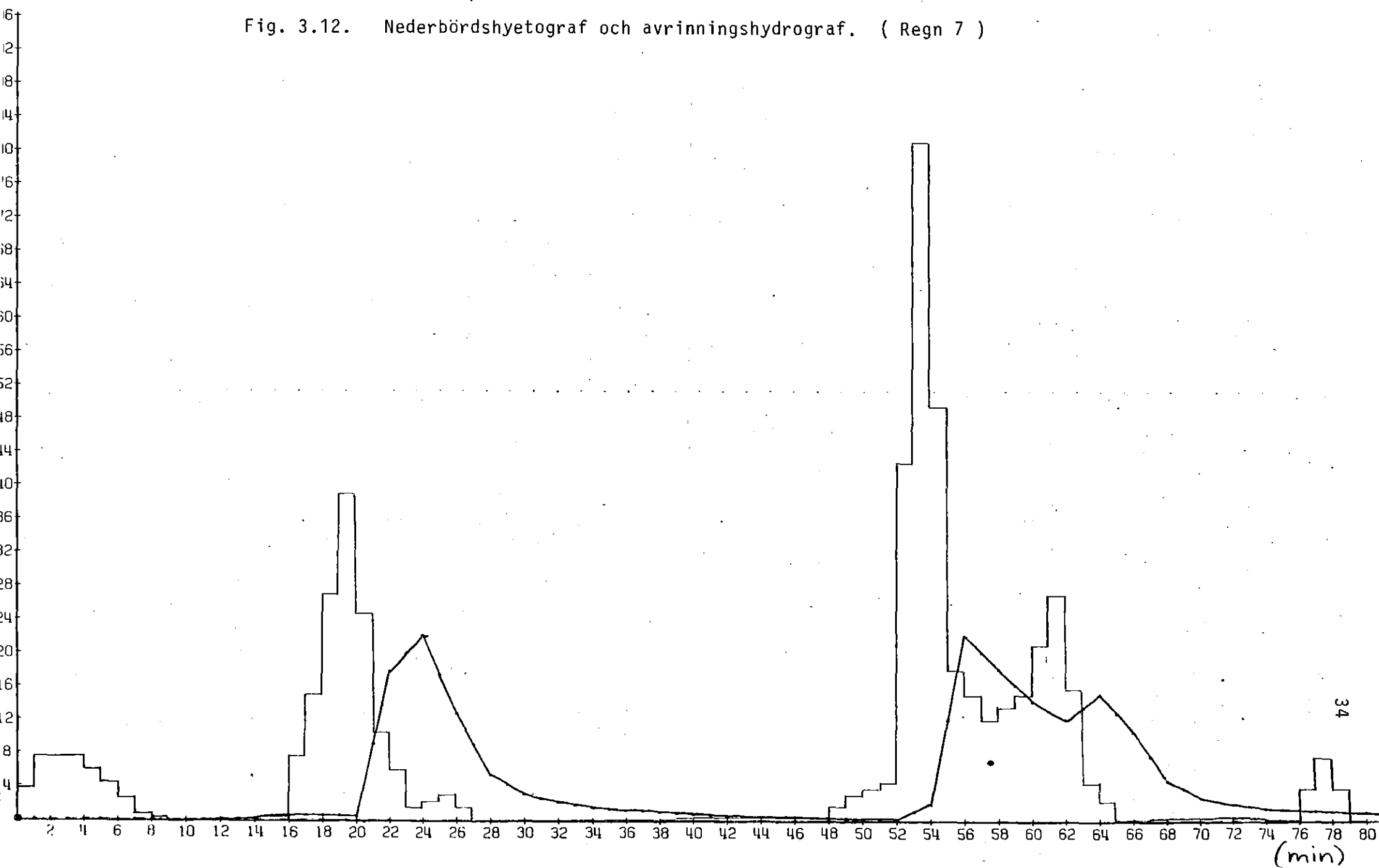
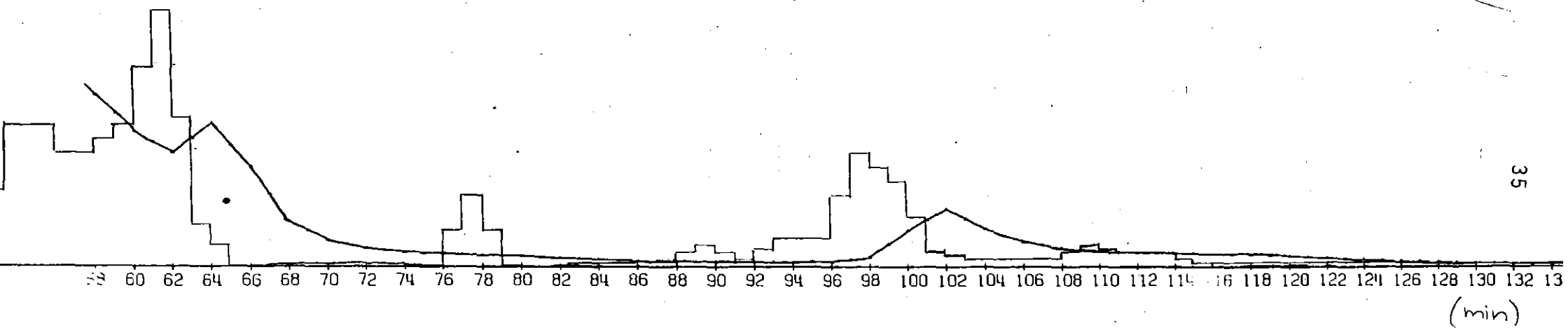
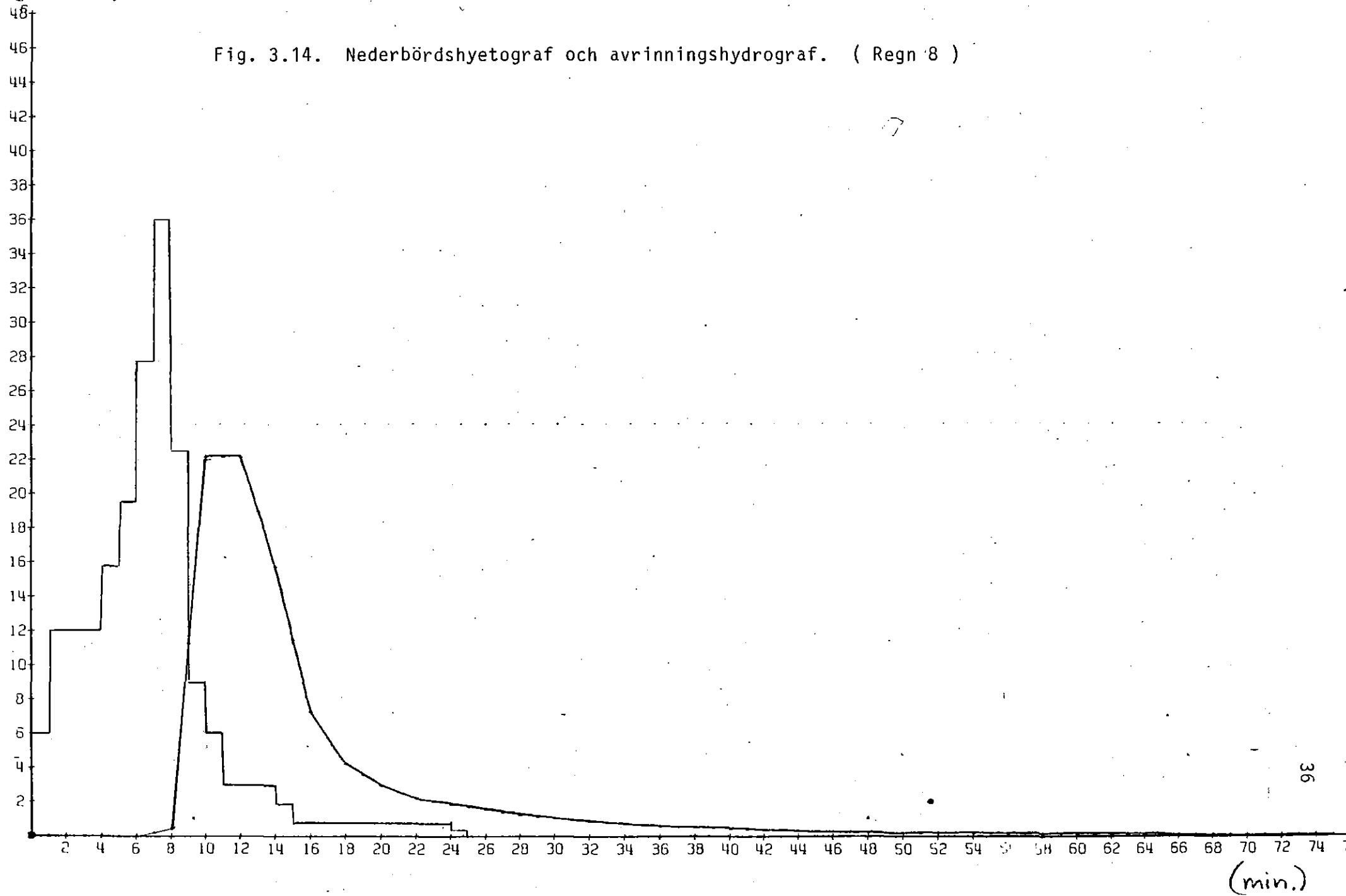


Fig. 3.13. Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 7 forts.)



(mm/tim)

Fig. 3.14. Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 8)



(mm/tim)

Fig. 3.15. Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 9)

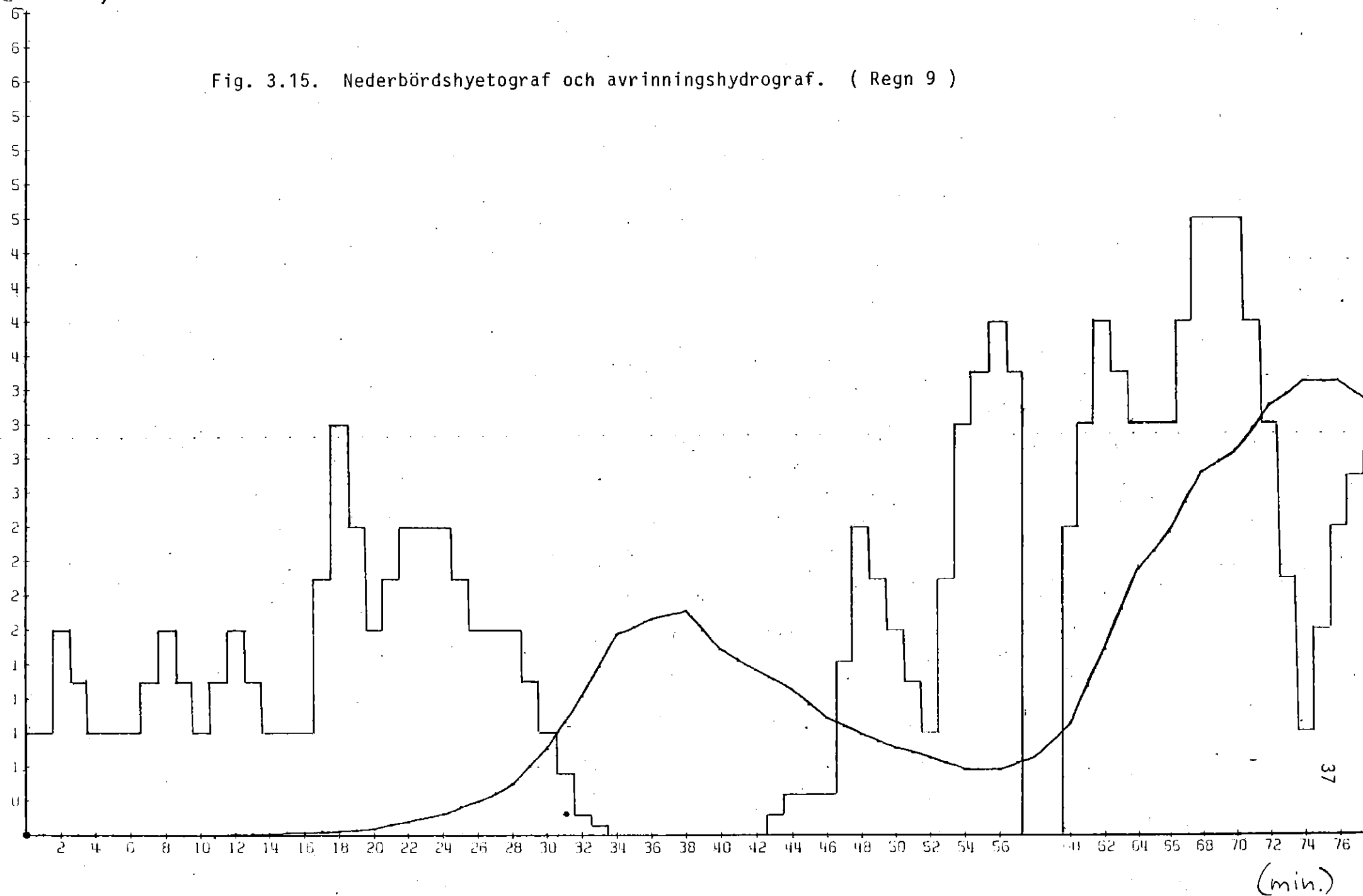
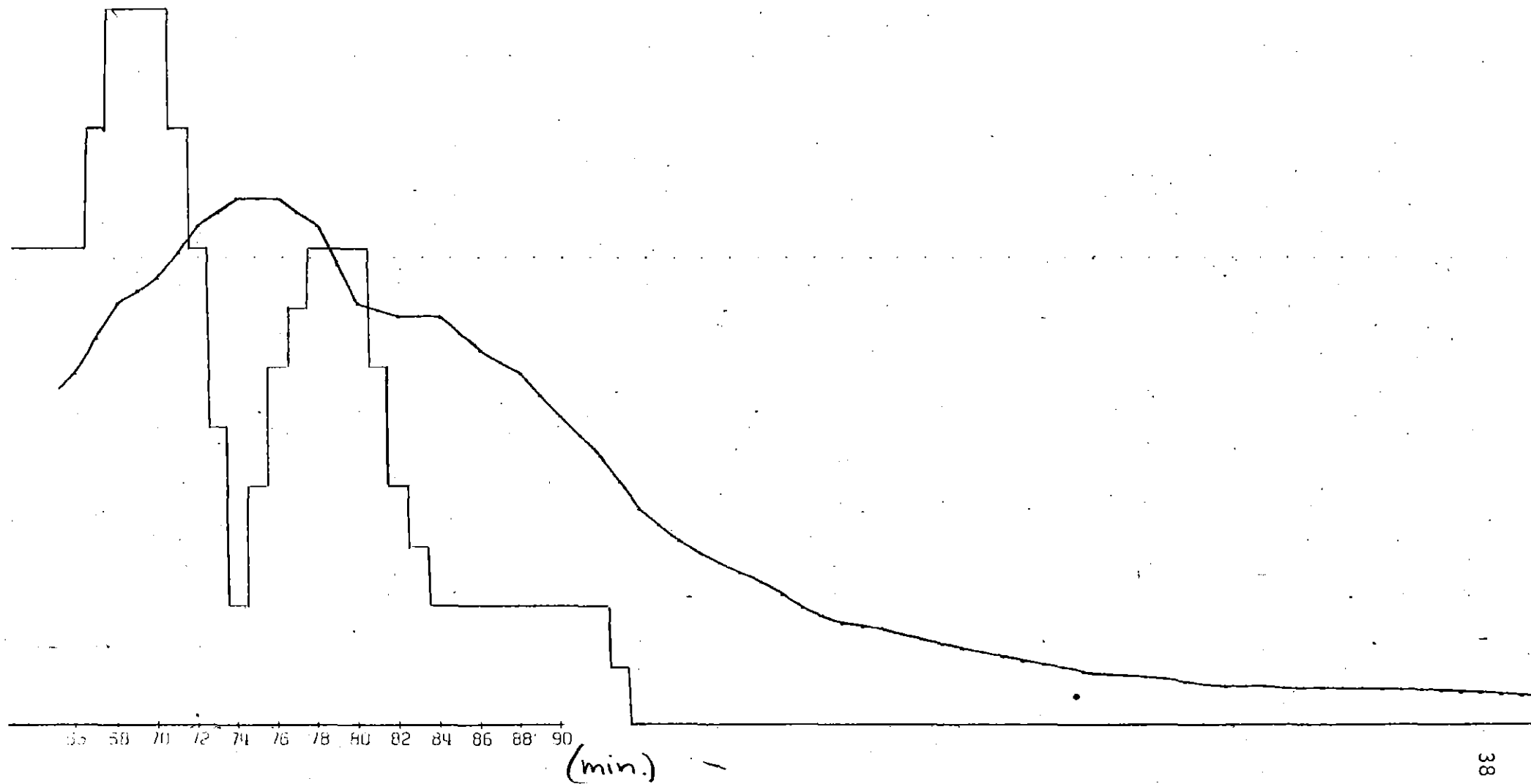


Fig. 3.16. Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 9 forts.)



mm/tim

Fig. 3.17. Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 9F)

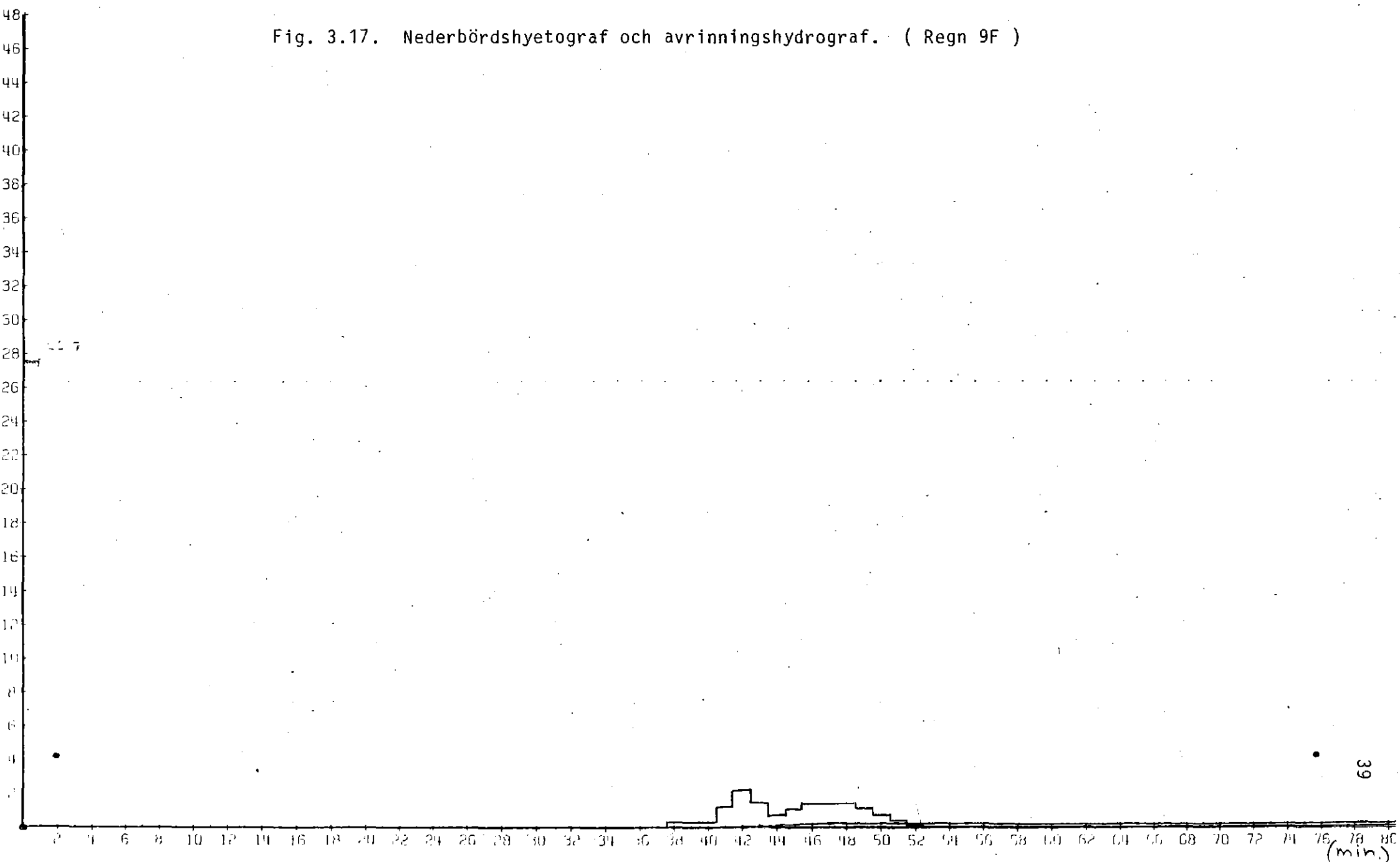
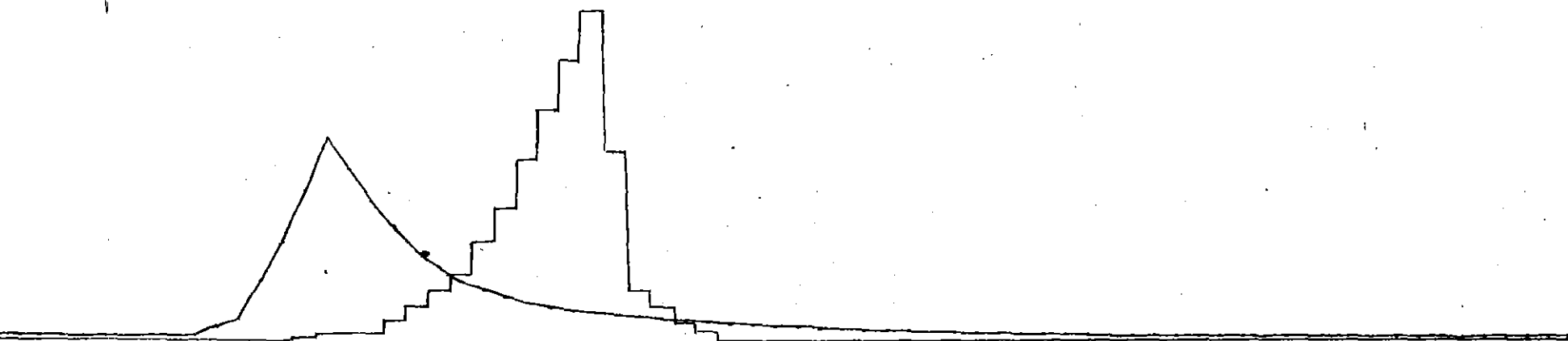


Fig. 3.18. Nederbördshyetograf och avrinningshydrograf. (Regn 9F forts.)



3.3 Utvärdering regn-flöden

Ytorna i vårt avrinningsområde är utjämnade och impermeabla. Dagvattenledningarna ger en nästan obefintlig magasinering. Avrinningsförloppet sker därför mycket snabbt. Vi får höga och kortvariga flöden med variationer i en tidsskala jämförbar med nederbördens intensitetsvariationer och "reaktions-tiden" (tiden från regnintensitetsmaximum till flödesmaximum) blir mycket kort. Detta medför att kortvariga regn med hög intensitet ger de högsta flödena.

Fig. 3.19 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, ytmagasineringen, 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. 4).

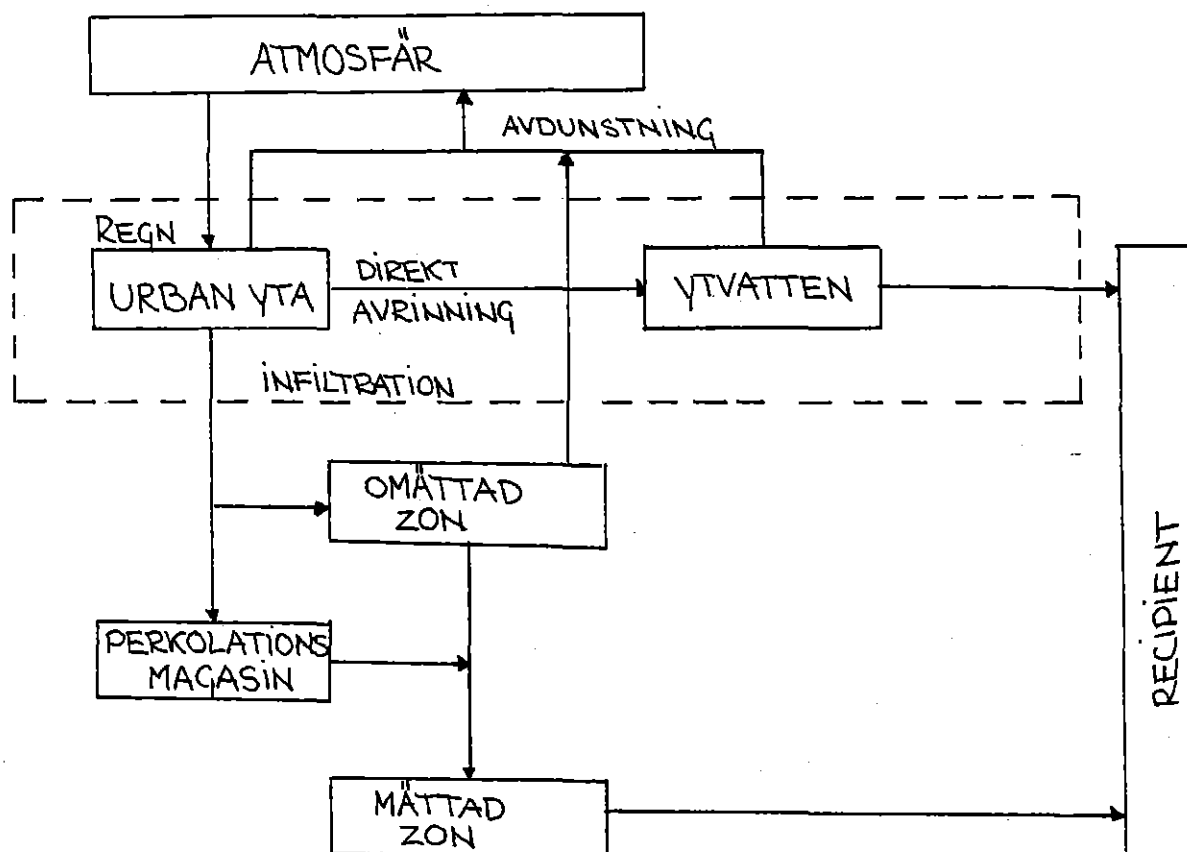


Fig. 3.19 Det urbana vattnets kretslopp.

3.4 Sambandet mellan nederbördsvolym och avrunnen volym

Vår mätyta är asfaltsbelagd och helt tät, varför ingen hänsyn behövt tas till någon infiltration i marken. När nederbörd faller över en torr yta sker först en uppfuktning av ytmaterialen och en uppfyllnad av håligheter. Detta ytmagasin avrinner aldrig utan avdunstar efter det att regnet upphört. Resten av vattnet avrinner från ytorna och avleds via ledningssystemet. De faktorer som inverkar på ytmagasinet är förutom ytans ojämnheter även medellutning och ytmaterialens ojämnheter. Vid nederbördstillfällen av någorlunda varaktighet spelar ytmagasinet en liten roll för maxflödets storlek. För vart och ett av de registrerade nederbördstillfallen har nederbördsvolym och motsvarande avrunnen volym bestämts och plottats i fig. 3.20. Om vi antar att avrunnen volym är lika med nederbördsvolym innebär detta att vi får en linje i koordinatsystemet som har en lutning på 45° . Som jämförelse med 45° -linjen har en regressionslinje för mätpunkterna bestämts. Linjen erhöles ekvationen $y = 0.9096x - 0.405$. Ekvationen gör en uppskattning av genomsnittligt ytmagasin möjlig. Om man sätter $y=0$ (avrunnen volym) erhålls $x = 0.445$. x -värdet anger den regnvolym som behövs för att fylla upp håligheterna (ytmagasinet) innan någon avrinning från ytan kan ske.

Vid jämförelser med andra undersökningar t ex Arnell, Lyngfelt 1975, visar det sig att detta värde på ytmagasinet håller sig inom de gränser som Arnell, Lyngfelt anger (0.4-0.5 mm). Regressionslinjen har en lutning på 42.3° vilket innebär 9% 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. Härvid kan avvikelserna 9% betraktas som ett bra resultat.

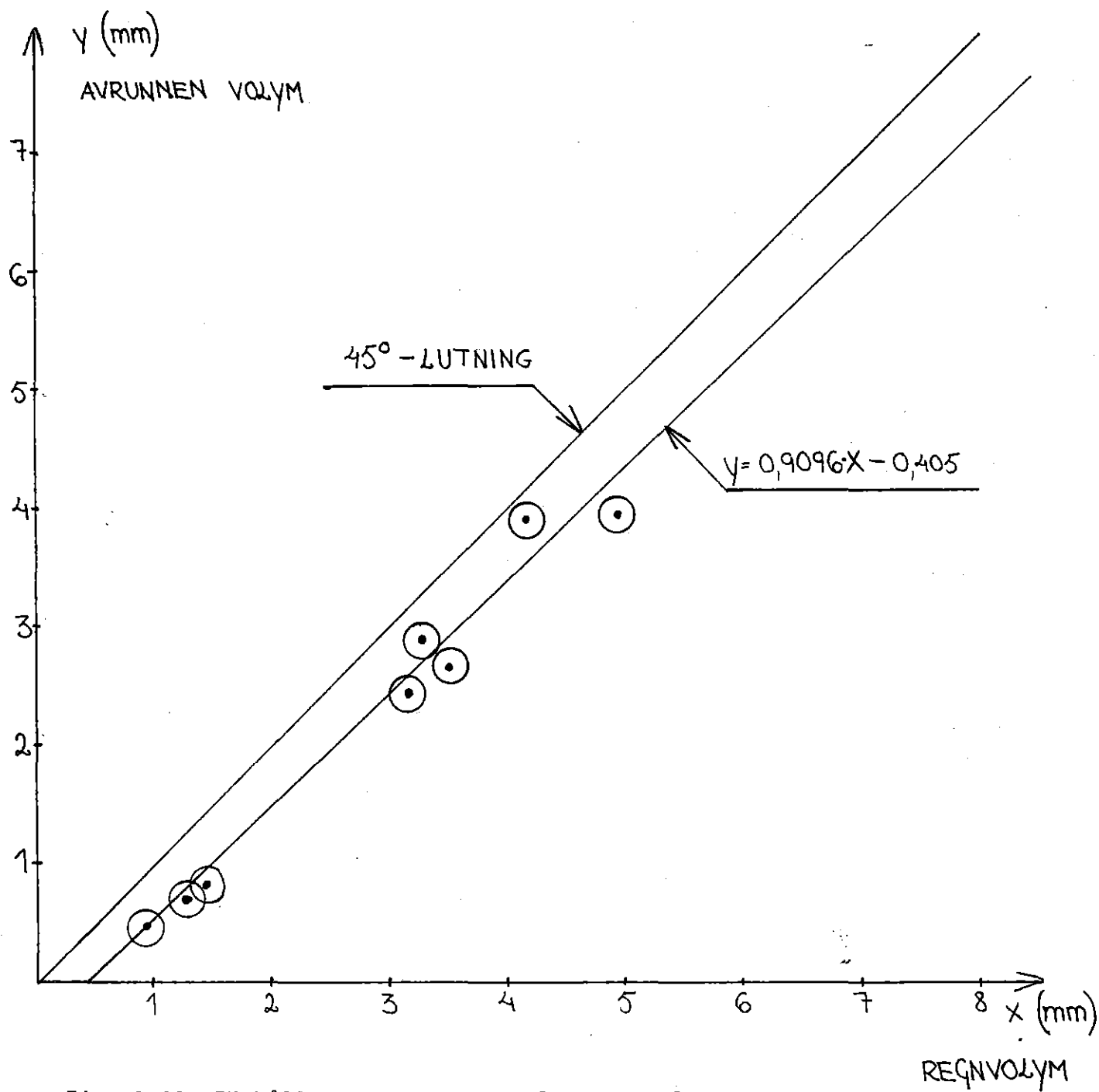


Fig. 3.20 Förhållandet avrunnen volym-regnvolym.

4. DATORMODELL

4.1 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 dimensionerande 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, ytvattenmagasinering, ytvattenavrinning, rännstensflöde och flöde i ledningsnätet, se fig. 4.1. 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).

4.2 Beräkningsgång

Beräkningen av ett område sker på så sätt att avrinningsområdet till varje rännstensbrunn indelas i delytor, 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 magasinmodellen. 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 $Q_{in} = i(t) \cdot L_0 \cdot B_0$, utflödet Q_{ut} och magasineringen S ger konti-

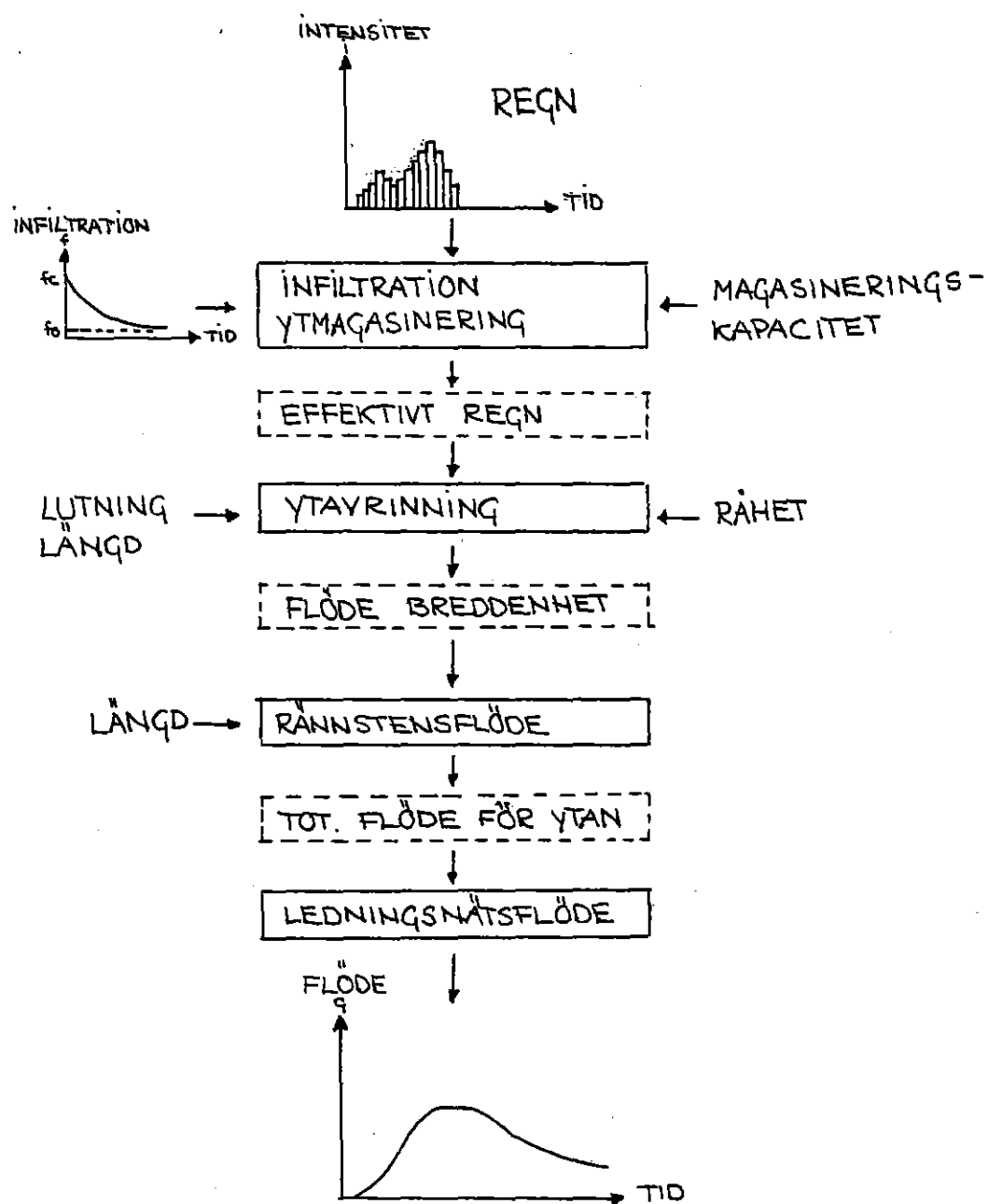


Fig. 4.1 Delprocesser i avrinningsförloppet.

nuitetsvillkoret för ett tidssteg Δt : $(Q_{in} - Q_{ut})\Delta t = \Delta S$

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

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

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):

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

För ytavrinningen 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 = flöde, A = flödesarea, M = Mannings tal, 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:

$$a = \sqrt{I_0} \cdot M$$

$$b = 5/3$$

$$Q_{ut} = a(A_n)^b = \sqrt{I_0} \cdot M(A_n)^{5/3} \quad \text{eller}$$

$$A_n = \left(\frac{1}{M}\right)^{0.6} \cdot I_0^{-0.3} (Q_{ut})^{0.6}$$

$$\text{Om } \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{M}\right)^{0.6} \cdot L_0}{I_0^{0.3} \cdot \Delta t} = k \quad \text{fås per breddmeter}$$

$$Q_{ut}^{m+1} + k \cdot (Q_{ut}^{m+1})^{0.6} = k ((Q_{ut}^m)^{0.6} + Q_{in}^m + Q_{in}^{m+1} - Q_{ut}^m)$$

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

En noggrannare beräkningsgång erhålls om ytan delas upp i n delar, så att $\Delta x \cdot n = L_0$ 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 rännstens geometri. Vid beräkning av ledningsflödet ersätts ekv. (3) med den s.k. Brettings formel (samband mellan Q och A för ledningar). I övrigt är beräkningsrutinerna för ytavrinning, rännstensflöde och ledningsflöde identiska.

4.3 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 regnvolymer 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. Simulering av avrinning

Vid simuleringen av indata har vi använt oss av tre olika områdesmodeller för att beskriva ytan. Dessa kan indelas enligt:

- noggrann modell (10 ytor, 4 rännstenar)
- medelnoggrann modell (2 ytor, 1 rännsten)
- översiktlig modell (1 yta, 1 rännsten).

Den översiktliga modellen har testats med 3 olika flytlängder (20 m, 30 m, 40 m). Vi har alltså simulerat 5 olika områdesmodeller. Vid granskning av resultaten har det visat sig att de som bäst överensstämmer med den uppmätta avrinningsvolymen är dels den noggranna modellen, samt den översiktliga modellen med 20 m flytlängd. Simuleringens resultat visar att en noggrann beskrivning av området inte nödvändigtvis ger ett bättre resultat.

Vi har valt att endast redogöra för de modeller som bäst överensstämmer med den uppmätta avrinningsvolymen (se fig. 5.1 och 5.2).

Resultatet från datorkörningarna har körts i ett plotprogram för att få ett överskådligt material. I detta kapitel visas körningarna från de olika regnen i diagramform (se fig. 5.3 - 5.14).

Vissa tidsförskjutningar förekommer beroende på felaktig synkronisering mellan nederbördsmätning och flödesmätning (se fig. 5.3, 5.13, 5.14).

Av resultaten framgår att:

- En noggrann modell ger tillräckligt bra resultat för alla simuleringar av denna typ.
- En förenklad ansats kan visa sig ge ett lika bra resul-

tat som den noggranna. Svårigheten med en förenklad modell är att hitta en lämplig flytlängd.

För att kunna få en bättre uppfattning om hur flytlängden ska väljas, krävs fler undersökningar.

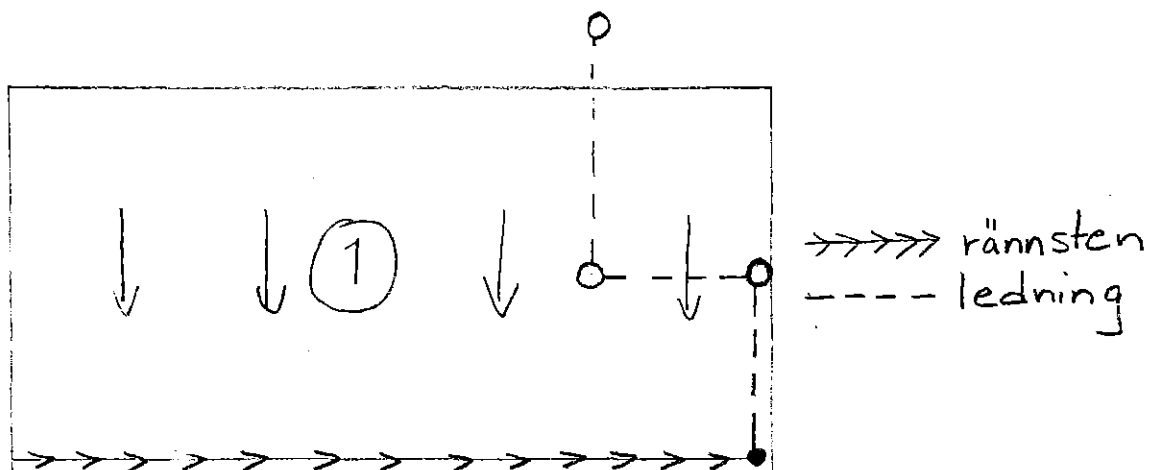


Fig. 5.1 Förenklad modell av området.
(En yta, en rännsten)

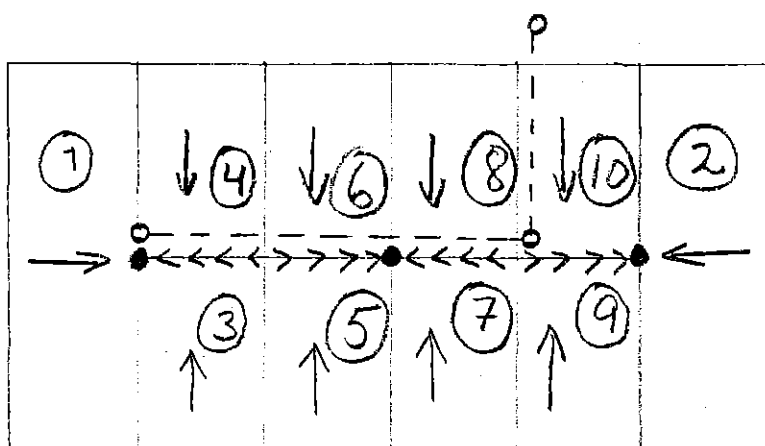
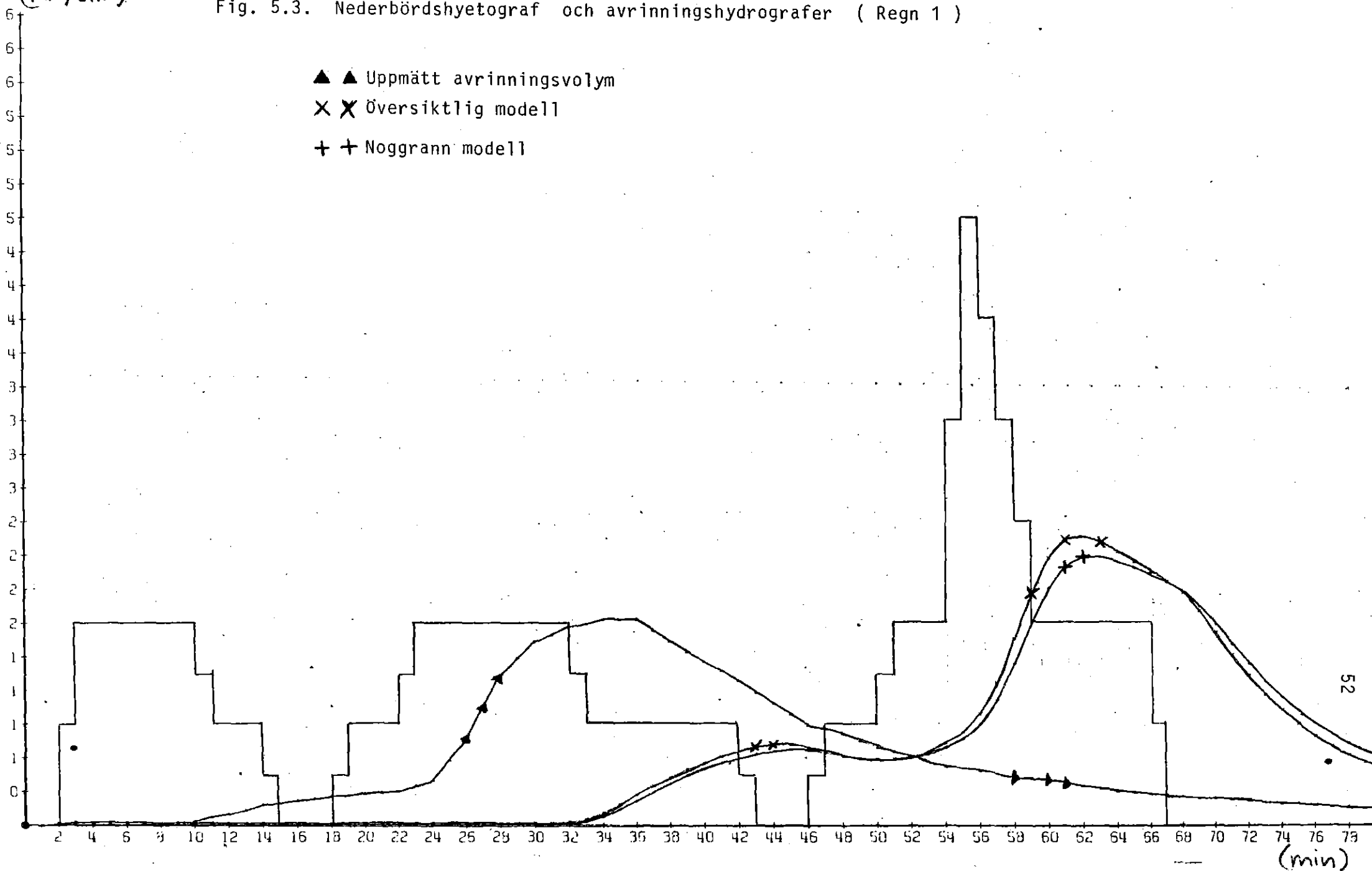


Fig. 5.2 Noggrann modell av området.
(10 ytor, 4 rännstenar)

(mm/tim)

Fig. 5.3. Nederbördshyetograf och avrinningshydrografer (Regn 1)

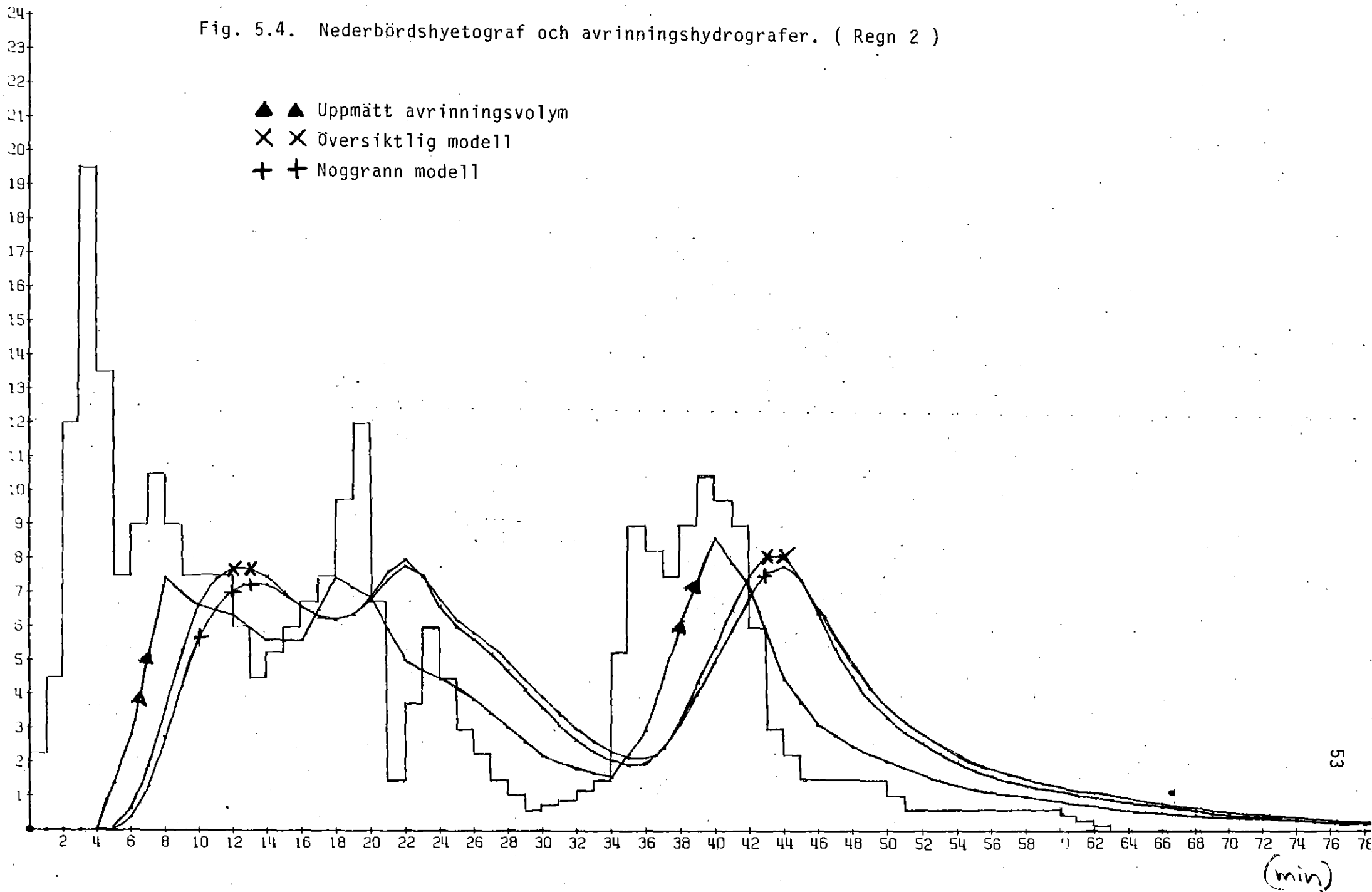
- ▲ ▲ Uppmätt avrinningsvolym
- × × Översiktlig modell
- + + Noggrann modell



(mm/tim)

Fig. 5.4. Nederbördshyetograf och avrinningshydrografer. (Regn 2)

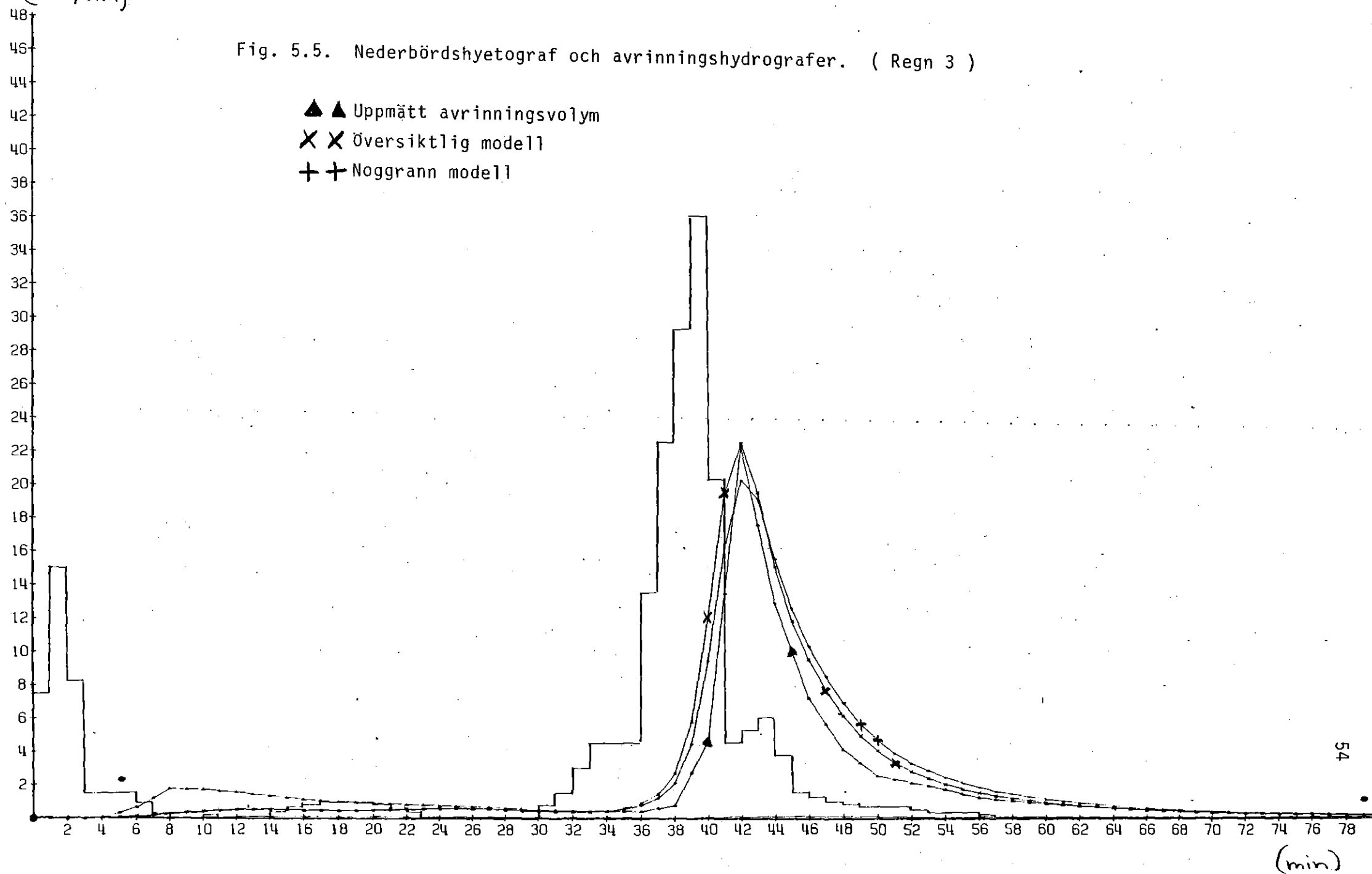
- ▲ ▲ Uppmätt avrinningsvolym
- × × Översiktlig modell
- + + Noggrann modell



(mm/tim)

Fig. 5.5. Nederbördshyetograf och avrinningshydrografer. (Regn 3)

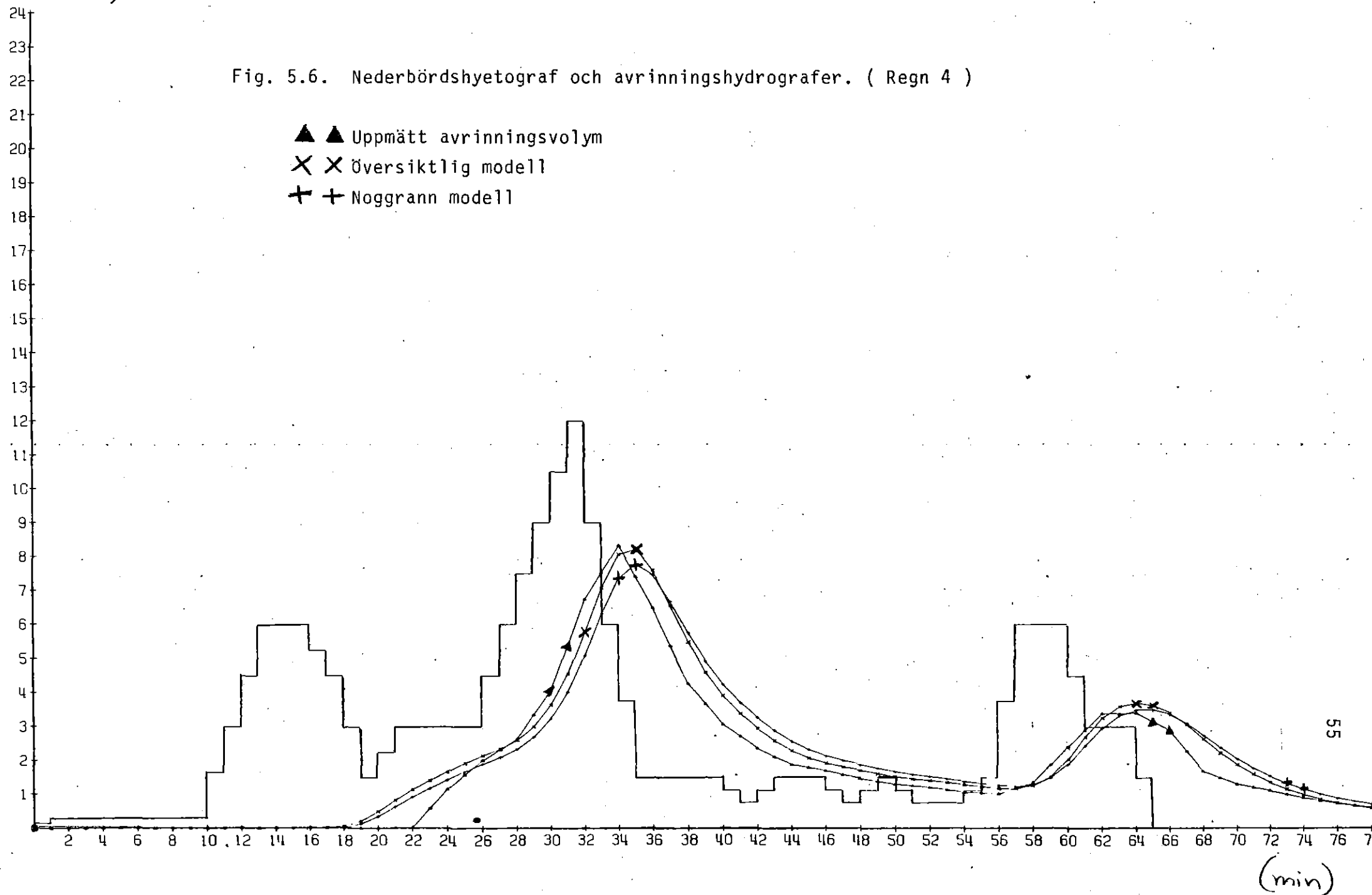
- ▲▲ Uppmätt avrinningsvolym
- ×× Översiktlig modell
- + + Noggrann modell



(mm/tim)

Fig. 5.6. Nederbördshyetograf och avrinningshydrografer. (Regn 4)

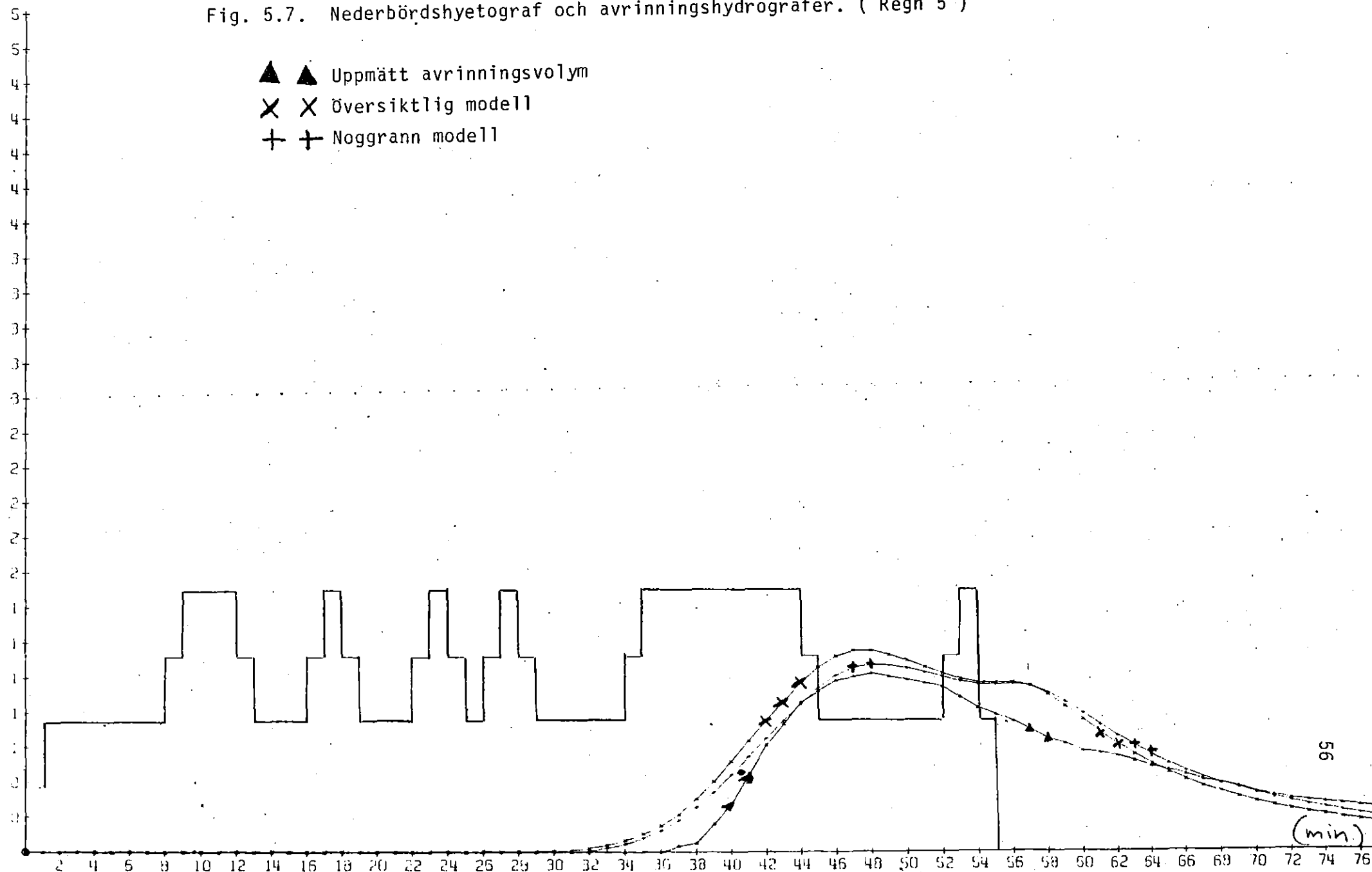
- ▲▲ Uppmätt avrinningsvolym
- ×× Översiktlig modell
- + + Noggrann modell

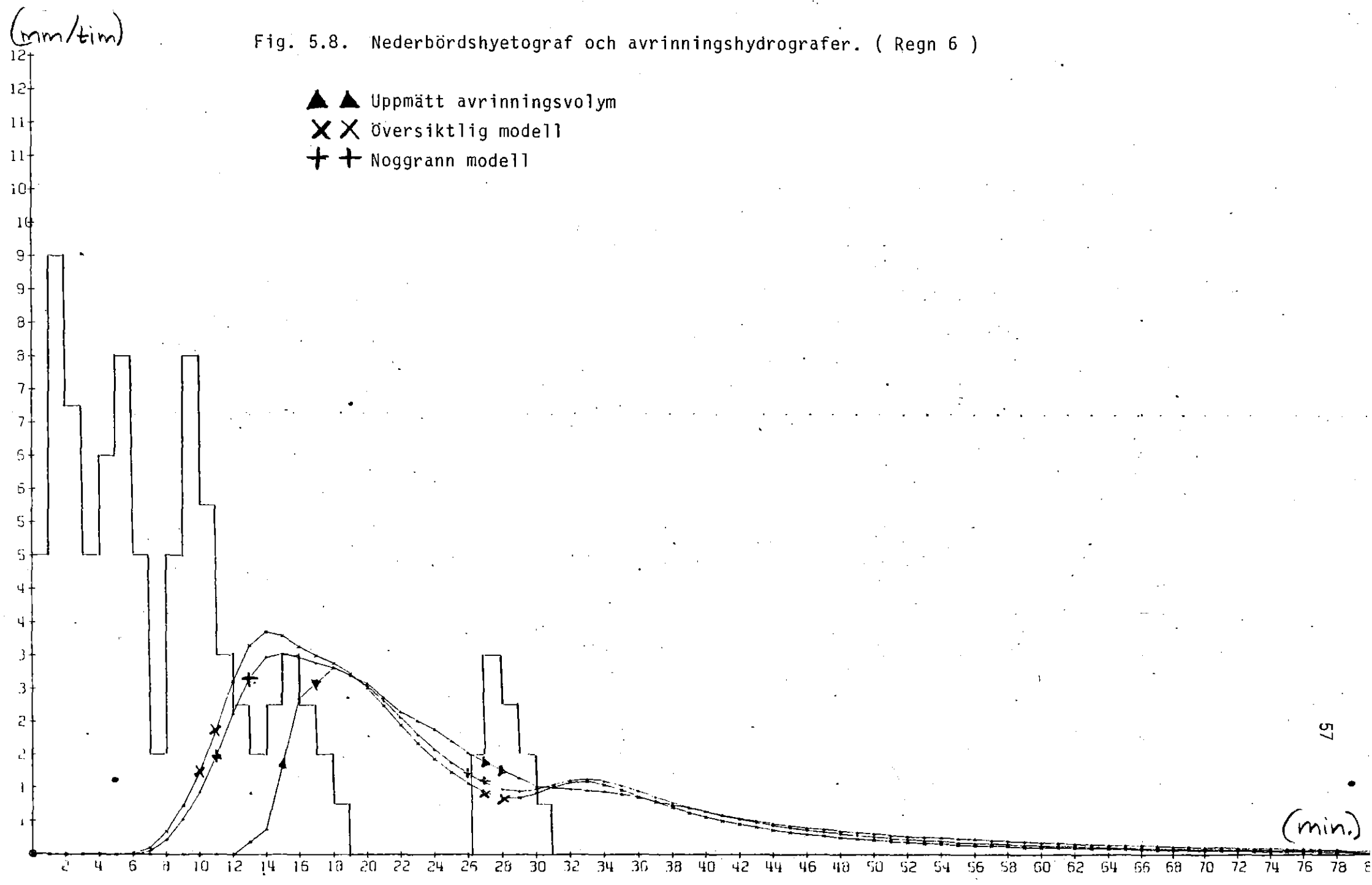


(mm/tim)

Fig. 5.7. Nederbördshyetograf och avrinningshydrografer. (Regn 5)

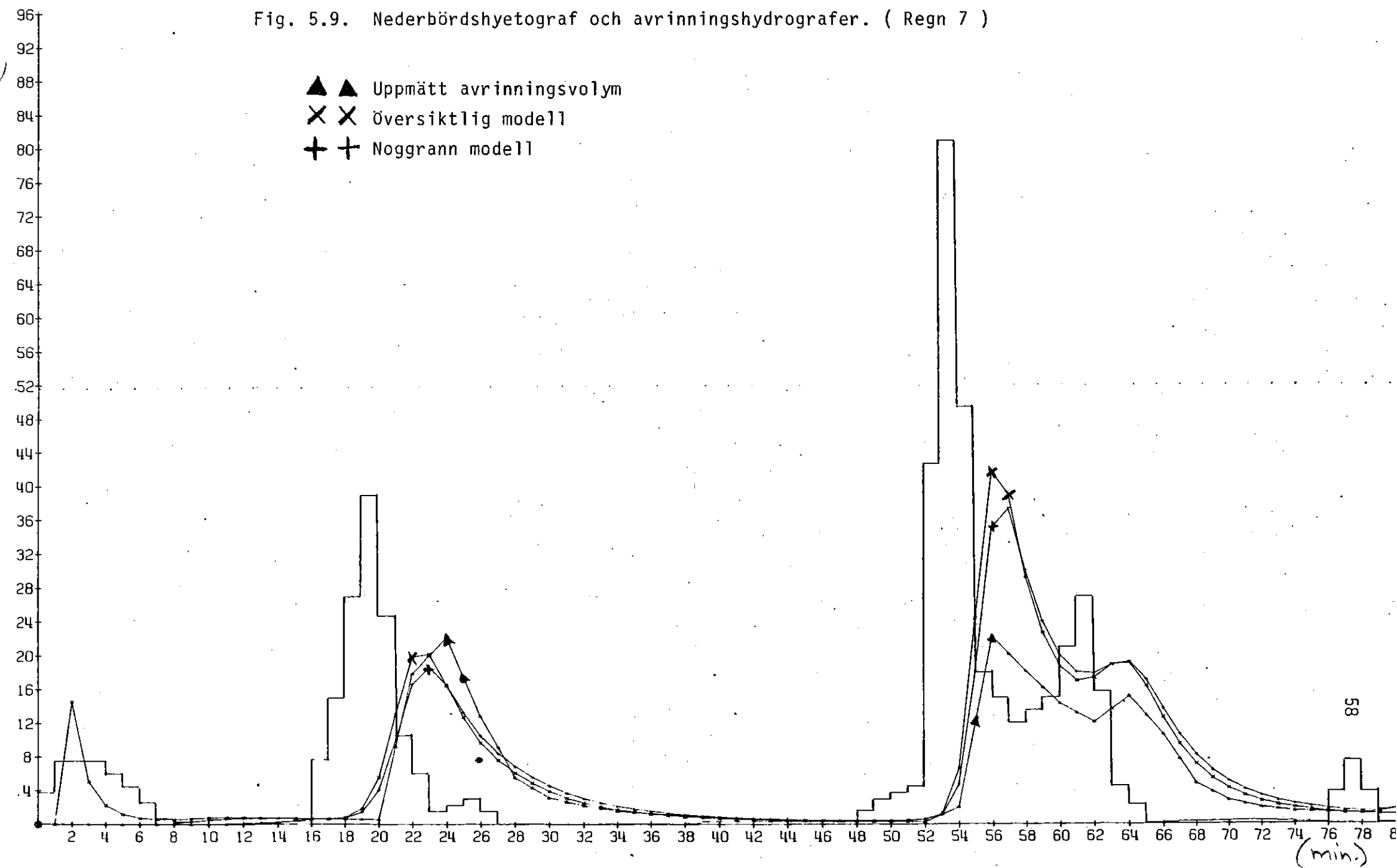
- ▲ ▲ Uppmätt avrinningsvolym
- × × Översiktlig modell
- + + Noggrann modell





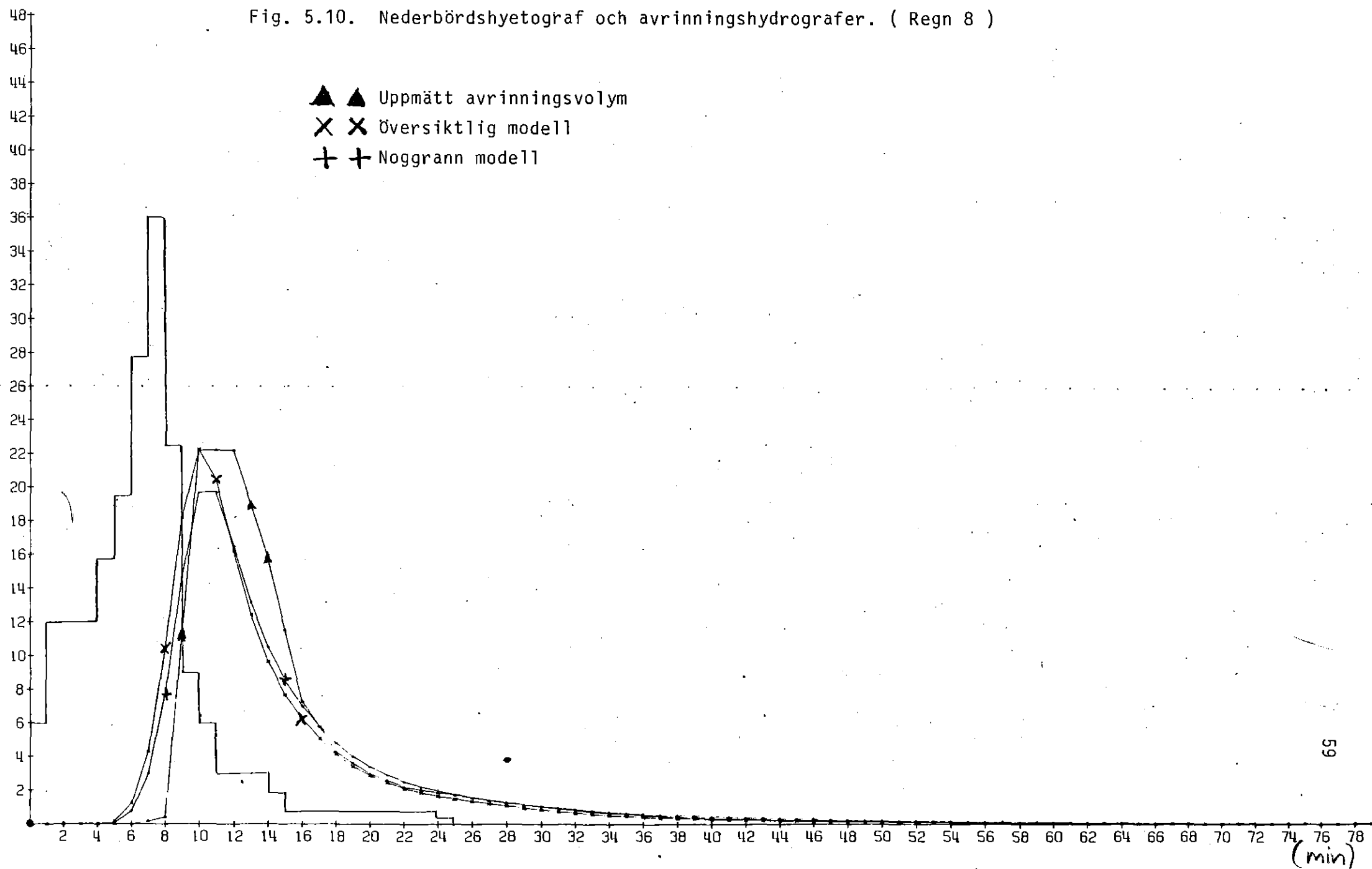
(mm/tim)

Fig. 5.9. Nederbördshyetograf och avrinningshydrografer. (Regn 7)



(mm/tim)

Fig. 5.10. Nederbördshyetograf och avrinningshydrografer. (Regn 8)



(mm/tim)

Fig. 5.11. Nederbördshyetograf och avrinningshydrografer. (Regn 9)

- ▲ ▲ Uppmätt avrinningsvolym
- × × Översiktlig modell
- + + Noggrann modell

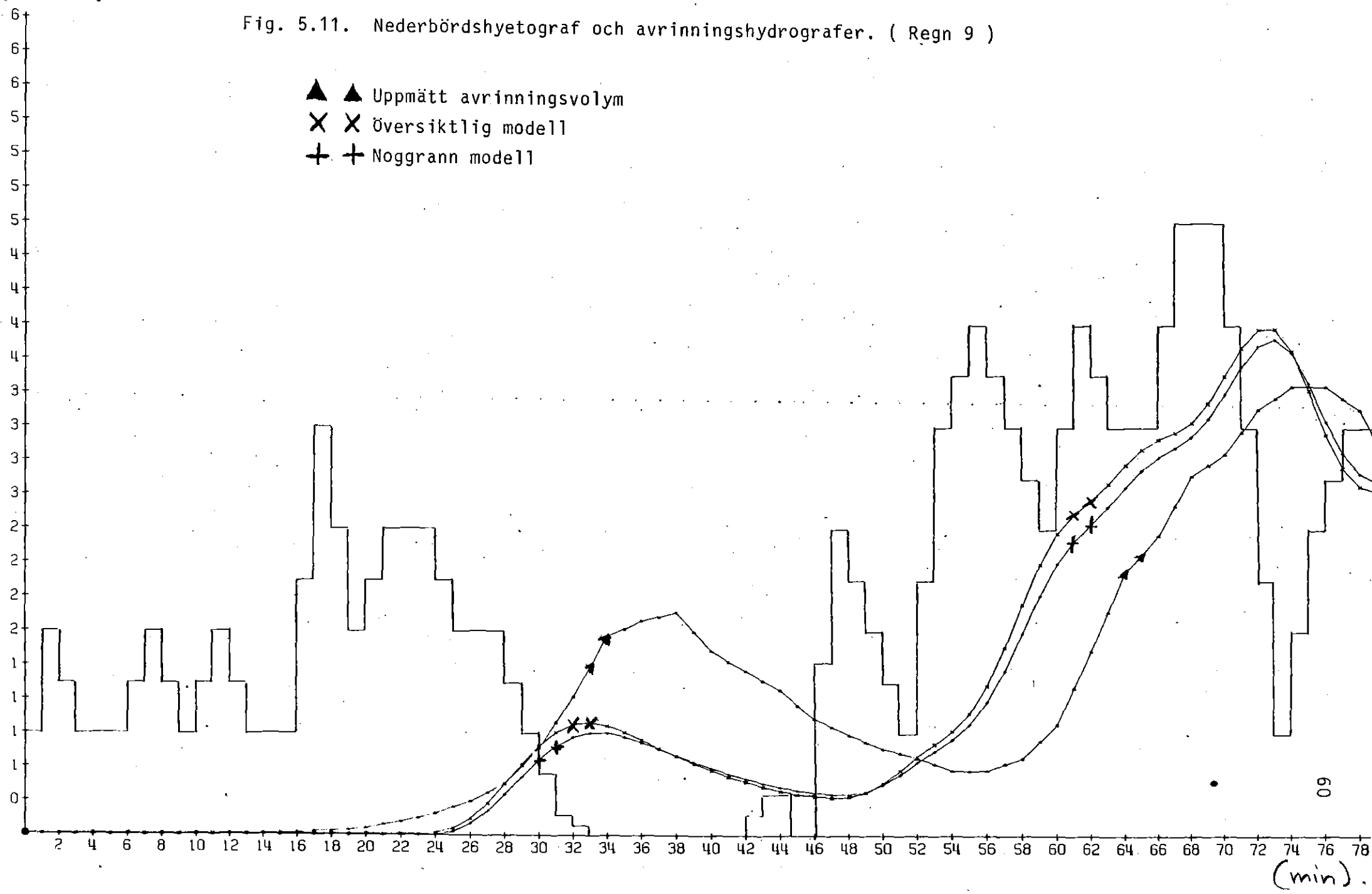
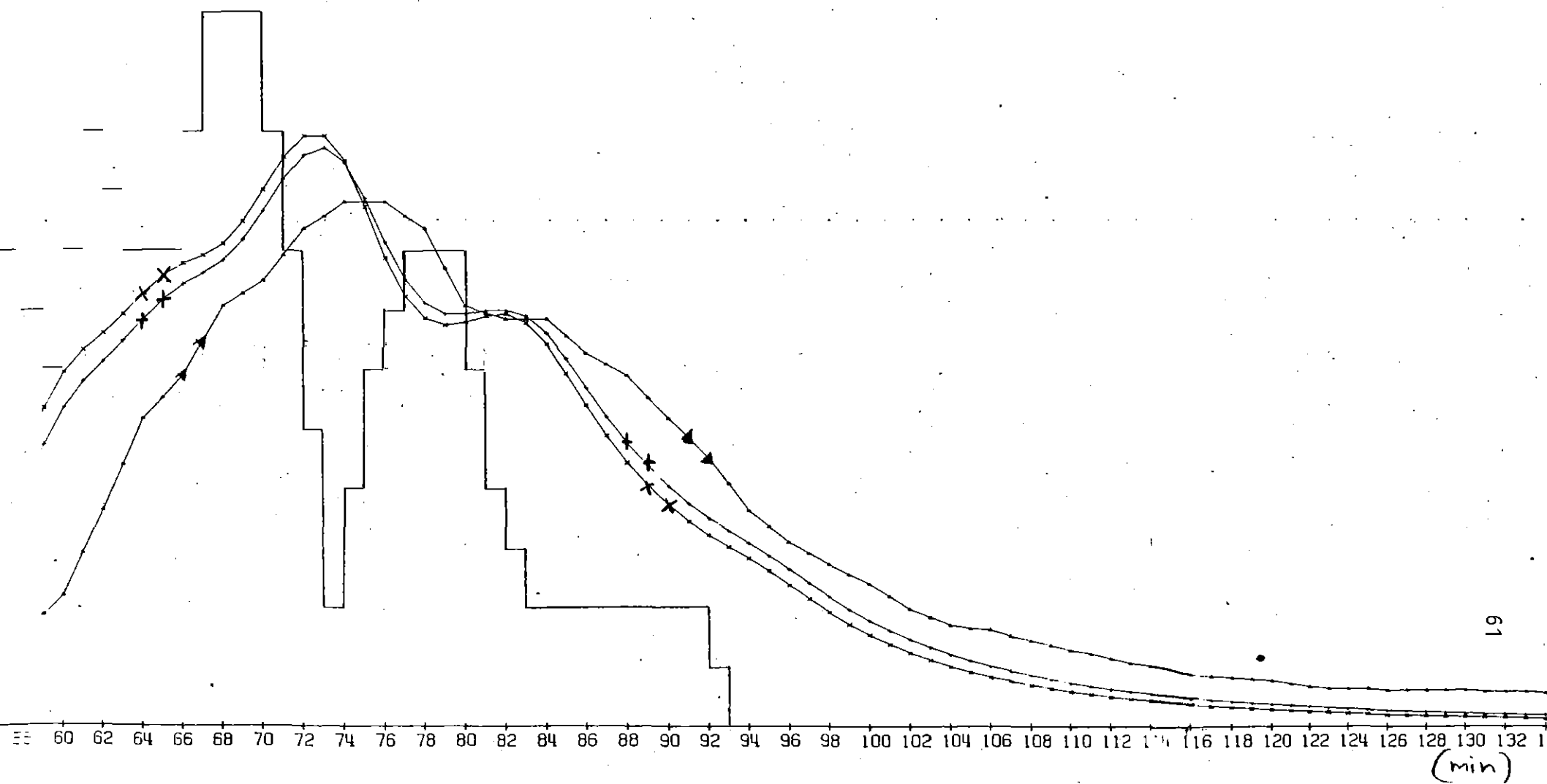


Fig. 5.12. Nederbördshyetograf och avrinningshydrografer. (Regn 9 forts.)

- ▲ ▲ Uppmätt avrinningsvolym
- × × Översiktlig modell
- + + Noggrann modell



(mm/tim)

Fig. 5.13. Nederbördshyetograf och avrinningshydrografer. (Regn 9F)

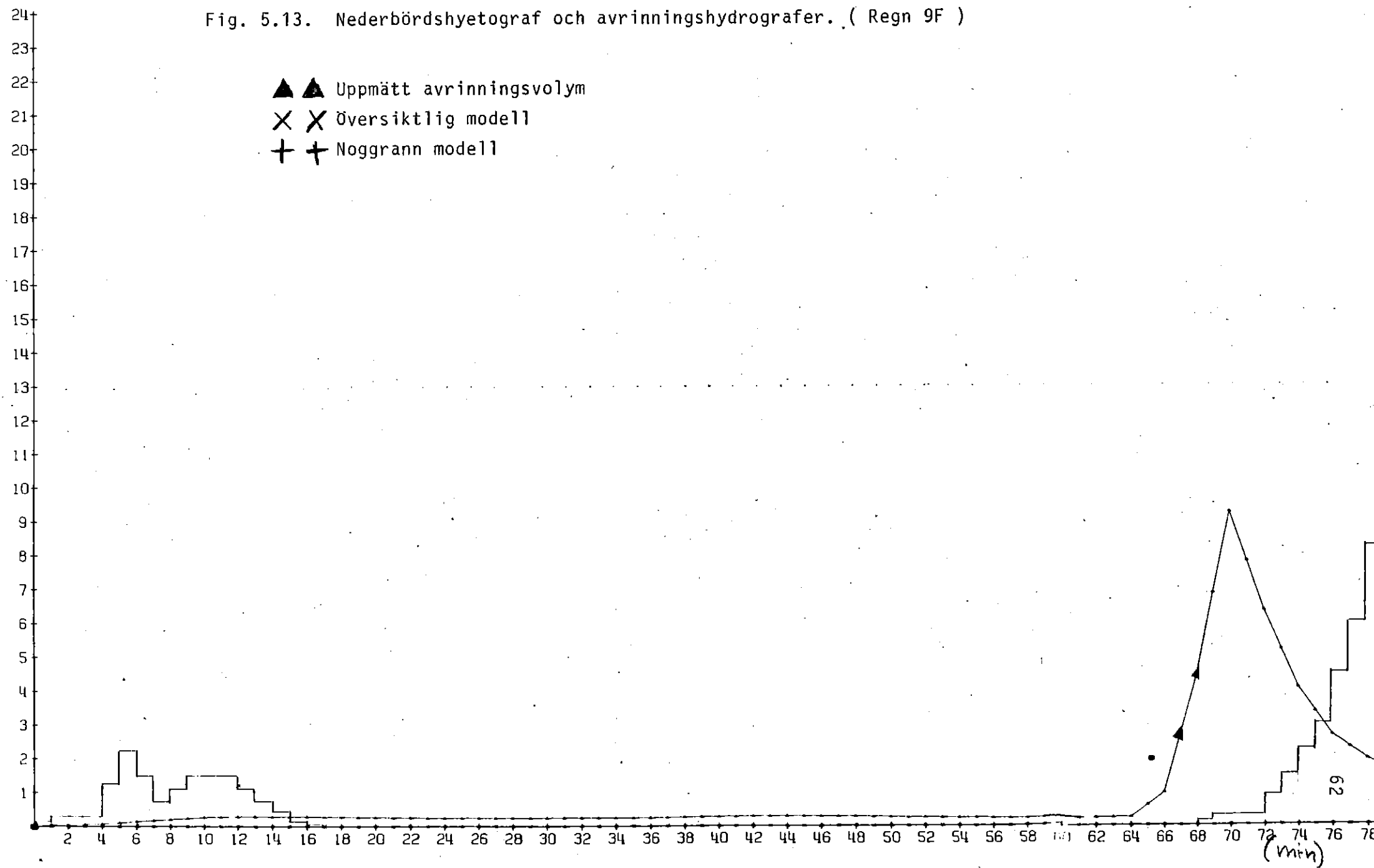
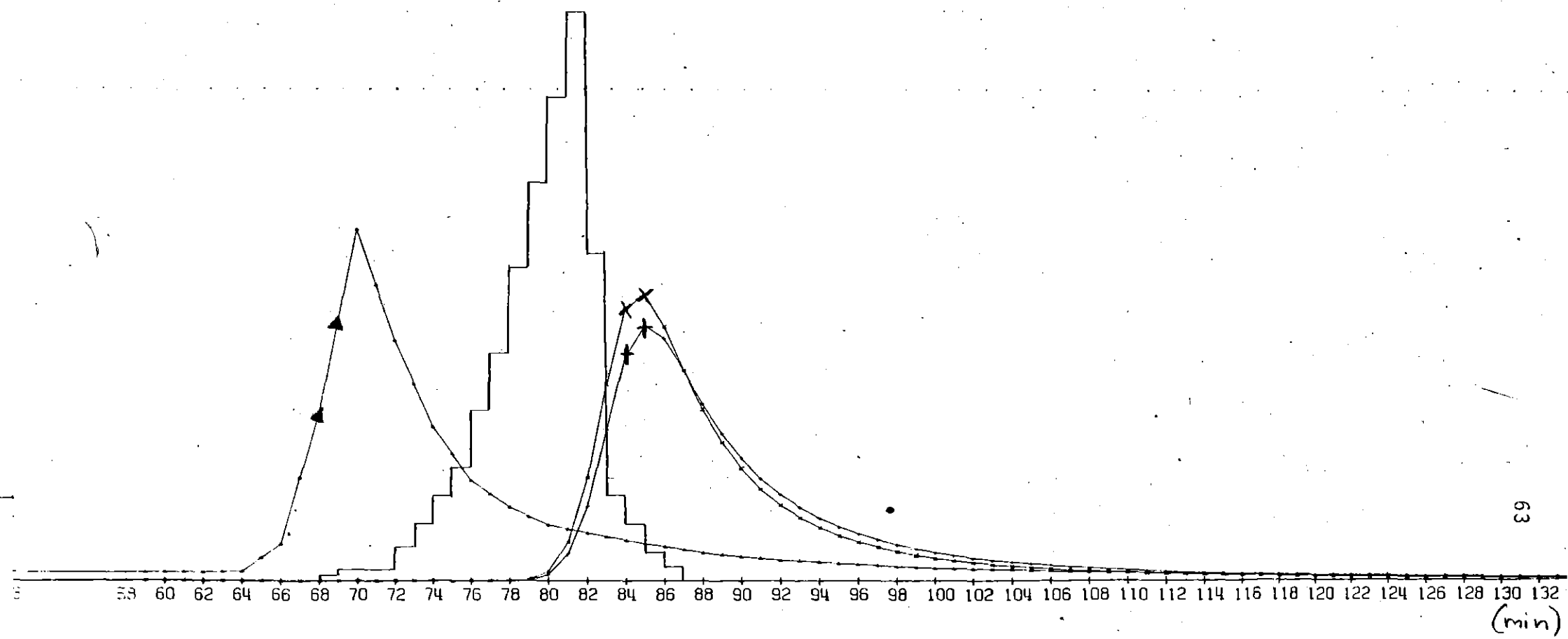


Fig 5.14. Nederbördshyetograf och avrinningshydrografer. (Regn 9F forts.)

- ▲ ▲ Uppmätt avrinningsvolym
- × × Översiktlig modell
- + + Noggrann modell



X-LANDVETTER R2 KOMBINATIONSKÖRNING

REGNSTEG=105

BERÄKNINGSSTEG130

ANTAL MAGASIN= 20

TIDSSTEGETS LÄNGD(SEK) 60.0

ITERATIONSKRAV(YTOR,RANNST.).000400

LEDNING.005000

REGNSORT(SE LISTA) 2

YTKORREKTION1.000

RRHETSAKTOR1.000

YTMAGASINSAKTOR1.000

2

NR	QIN1	QIN2	QIN3	QUT	SLAG	DELN	UTSK	SLOP	RRHET	LÄNGD	ZEBED	YTMAG	IVOL	UVOL	ITM	ANM
1	3	1	1	4	1	2	1	0.0070	0.0120	29.5000	38.0000	0.49884	5.0613	5.0466	***	
3	3	1	1	5	1	2	1	0.0050	0.0120	11.0000	17.5000	0.08566	0.8691	0.8743	1.9	
4	3	1	1	6	1	2	1	0.0110	0.0120	31.0000	17.5000	0.24141	2.4494	2.4478	1.9	
11	5	6	1	7	3	2	1	0.0050	0.0120	17.5000	0.0800	0.0	3.3219	3.3220	2.0	
12	4	7	1	8	4	2	1	0.0100	0.0120	29.5000	0.3000	0.0	8.3685	8.3578	1.3	
5	3	1	1	9	1	2	1	0.0040	0.0120	10.5000	12.0000	0.05607	0.5689	0.5746	1.8	
6	3	1	1	10	1	2	1	0.0080	0.0120	31.0000	12.0000	0.16554	1.6796	1.6794	1.9	
17	9	10	1	11	3	2	1	0.0070	0.0120	12.0000	0.0800	0.0	2.2538	2.2539	2.0	
7	3	1	1	12	1	2	1	0.0070	0.0120	10.5000	19.0000	0.08878	0.9007	0.9063	1.9	
8	3	1	1	4	1	2	1	0.0080	0.0120	28.5000	19.0000	0.24097	2.4449	2.4427	2.0	
NR	QIN1	QIN2	QIN3	QUT	SLAG	DELN	UTSK	SLOP	RRHET	LÄNGD	ZEBED	YTMAG	IVOL	UVOL	ITM	ANM
14	12	4	1	5	3	2	1	0.0040	0.0120	19.0000	0.0800	0.0	3.3488	3.3489	2.0	
13	8	11	5	6	4	2	1	0.0100	0.0120	22.5000	0.3000	0.0	13.9604	13.9414	1.3	
9	3	1	1	7	1	2	1	0.0100	0.0120	10.0000	14.4000	0.06408	0.6502	0.6565	1.7	
10	3	1	1	8	1	2	1	0.0080	0.0120	28.5000	14.5000	0.18390	1.8658	1.8656	1.9	
15	7	8	1	9	3	2	1	0.0040	0.0120	14.5000	0.0800	0.0	2.5219	2.5220	2.0	
2	3	1	1	10	1	2	1	0.0060	0.0120	15.0000	41.0000	0.27367	2.7767	2.7776	2.0	
16	9	10	1	11	4	2	1	0.0100	0.0120	11.5000	0.3000	0.0	5.2996	5.2992	1.1	
18	6	11	1	12	4	2	1	0.0050	0.0120	47.0000	0.3000	0.0	19.2397	19.1804	1.4	
19	6	11	1	11	6	2	1	845.0701	0.0	0.0	0.0	0.0	*****		1.4	
20	6	11	1	12	6	2	1	1.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	*****		1.4	

REGNVOLYM(M3)

21.165

EFFEKTIVT REGN(M3)

19.266

REGNFÖRLUST(M3)

1.899

Bilaga. Typexempel på indata till datorkörningarna.

LITTERATUR:

Arnell, Falk, Malmquist, 1977

Urban storm water research in Sweden.

Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH, rapport nr 19.

Arnell, Lyngfelt, 1975

Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973-1974.

Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH, meddelande nr 13

Cederwall, Hällgren, Malmquist, 1978

Forskning om dagvatten och grundvatten i tätorter.

FOU-plan 1979/80

Ericsson, Cedergårdh, Svensson, 1978

Perkolationsanläggning i Halmstad.

Examensarbete i vattenbyggnad, CTH, 1976:2

Haegerström, Melin, Ryberg, 1977

Simulering av dagvattenavrinning i två bostadsområden i Linköping med en datormodell.

Examensarbete i vattenbyggnad, CTH, 1976:1

Lyngfelt, 1978

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

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