



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik

A wide, horizontal, wavy line in a light grey color, resembling a water surface or a stylized wave, spans across the width of the page.

E

XAMENSARBETE / Ledningsteknik

Modellering av dagvattenavrinning - Mousetrap

ANDERS MÅNSSON

Examensarbete 1998:1

Nyckelord **dagvatten**
avrinning
föroreningar
modellering
mousetrap



EXAMENSARBETE / Ledningsteknik

Modellering av dagvattenavrinning - Mousetrap

ANDERS MÅNSSON

Examensarbete 1998:1

Förord

Detta examensarbete är utfört under perioden maj -97 till januari -98. Sommaren -97 var mycket varm och med relativt få regntillfällen. Detta märkte jag av. Jag ville ha regn och mina kamrater förstod mig inte. I slutet av augusti kom regnet. Mer än 100 mm på en gång. Det var inte riktigt bra det heller då mätutrustningen inte klarade av det så bra och det blev ganska kraftiga översvämningar just kring Järnbrottsmotet. Sedan kom det lite vanliga regn och resten är nu historia.

Mätningar av regn och flöde i dagvattenledningarna samt analyser av provtagningarna utfördes av Göteborgs VA-verk. Ett tack till dem för detta.

För att bygga upp den fysiska modellen av ledningssystemet i MOUSE var Olle Ljunggren, VA-verket Göteborg, behjälplig med ritningar, kartor och en tidigare använd MOUSE-modell.

Behandling av indata för att få denna på ett format som var lämpligt för MOUSE har gjorts med programmet ANALYS 95. Detta har utvecklats av Thomas Pettersson, Institutionen för Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik, Chalmers Tekniska Högskola. Jag tackar honom för alla råd, tips, buggar och för den tid han har lagt ned för att hjälpa mig.

Slutligen vill jag tacka min handledare och examinator Gilbert Svensson, Institutionen för Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik, Chalmers Tekniska Högskola.

Sammanfattning

Detta examensarbete behandlar uppbyggandet och verifieringen av en MOUSE- och MOUSETRAP-modell. Det modellerade avrinningsområdet är beläget kring Dag Hammarskjöldsleden i sydvästra Göteborg. Området domineras av en motortrafikled, ett industriområde och några bostadsområden. Dagvattnet samlas upp och leds till en sedimenteringsbassäng belägen vid Järnbrottsmotet, för att sedan släppas ut i Stora ån.

MOUSE kan använda sig av flera olika metoder för att simulera ytavrinning och flödet i dagvattenledningar. I de redovisade simuleringarna har tid-areametoden använts i ytavrinningen och de dynamiska vågekvationerna i ledningsberäkningarna.

Under perioden 15 juni till 15 oktober 1997 har fem regntillfällen valts ut för att kalibrera modellen och ytterligare fem regntillfällen för att verifiera den. Vid kalibrering framkom det att framför allt Mannings tal och reduktionsfaktorn hade betydelse för det simulerade flödets variation. I modellen valdes att använda Mannings tal 45 och reduktionsfaktor 0,8. Att ett så lågt Mannings tal behövdes har det inte hittats någon riktigt bra förklaring till men modellen fick en bra överensstämmelse med de uppmätta flödesförloppen med detta. MOUSE-modellen får sägas fungera bra och stämmer väl överens med de verkliga flödesförloppen vid de gjorda simuleringarna.

För att kalibrera MOUSETRAP-modellen valdes fyra regntillfällen ut. Vid dessa tidpunkter hade det gjorts provtagningar och analyser av regnvattnet. Vid ett av dessa tillfällen fanns det detaljerad mätdata och vid de övriga tre samlingsprov. Då provtagningarna inte alltid var riktigt representativa var det svårt att göra någon kalibrering av modellen och modellen fungerar således inte tillfredsställande.

Avslutningsvis gjordes en simulering över ett helt år. Nederbördsdata kom ifrån mätstationen i Lundby år 1926. Under 1926 föll det 720 mm regn vilket är representativt som en årsmedelnederbörd. Här kunde det konstateras att systemet fungerar bra under medelår och att cirka 17 % av den totala nederbörds mängden bräddas till Stora ån före sedimenteringsbassängen.

Abstract

The aim of this thesis was to make and verify a rain simulator of an urban catchment area. To do this the MOUSE-package was used. The catchment area is located in the south-west of Göteborg and it is dominated by a heavily trafficed motorway, an industrial estate and some residential areas. The stormwater is lead to a stormwater detention pond before it is let out to the discharge steam.

The MOUSE-package is able to use several methods to simulate surface runoff and pipe flow. In this thesis the time-area method was used in the surface runoff simulations and the dynamic wave equations were used in the pipe flow simulations.

From June 15th to October 15th five rainevents were selected to calibrate the model and another five to verify it. During the calibration of the model it became clear that above all Mannings number and the reductionfactor were important for the flood routing. In this model Mannings number $M=45$ or $n=1/45$ and a reductionfactor 0,8 were used. With these figures the model worked good and the simulated flows agrees well with the measured.

To calibrate the MOUSETRAP-model four rainevents were used. At these events water samples were taken and analysed. At one event there was made a detailed analysis and at the other three events composit samples were taken. Since there have been some problems with the sampler the figures from the analyses not always represent the reality. Therefore it has been difficult to calibrate the model and it does not work satisfactorily.

Finally a simulation over a hole year was made. The raindata came from Lundby in Göteborg and was from 1926. That year it fell 720 mm rain which represents an average year in Göteborg. Here it was shown that the pipesystem works good and that approximately 17 % of the flow was overflowed. This overflow is lead to Stora ån without passing the stormwater detention pond.

Innehållsförteckning

FÖRORD	i
SAMMANFATTNING	ii
ABSTRACT	iii
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	iv
1 SYFTE	1
2 OMRÅDESBESKRIVNING	2
2.1 AVRINNINGSOMRÅDET	2
2.2 LEDNINGSNÄTET	2
3 MOUSE	3
3.1 ALLMÄNT	3
3.2 TID-AREAMETODEN	5
3.3 DYNAMISKA VÅGEKVATIONEN	7
3.4 YTAVRINNINGSMODELLEN	8
3.5 LEDNINGSMODELLEN	9
3.6 KALIBRERINGSPARAMETRARNA	10
3.6.1 Mannings tal	10
3.6.2 Koncentrationstid.....	12
3.6.3 Initialförlust.....	12
3.6.4 Reduktionsfaktor	13
3.6.5 Tid-areakurva.....	13
4 MOUSETRAP	15
4.1 YTAVRINNINGS-KVALITETSMODULEN (SQR).....	15
4.2 SEDIMENTTRANSPORTMODULEN (ST)	16
4.3 ADVEKTIONS-DISPERSIONSMODULEN (AD).....	16
4.4 VATTENKVALITETSMODULEN (WQ).....	17
5 IN- OCH KALIBRERINGSDATA	18
5.1 NEDERBÖRDSMÄTNINGARNA.....	18
5.2 FLÖDESMÄTNINGARNA	18
5.3 SUSPENSIONSMÄTNINGARNA	19
5.4 INDATABEHANDLING	20
6 SIMULERINGAR	21
6.1 KALIBRERINGSFÖRFARANDE	21
6.1.1 Mannings tal	21
6.1.2 Koncentrationstid.....	21
6.1.3 Initialförlust.....	22
6.1.4 Reduktionsfaktorn	22
6.1.5 Tid-areakurva.....	23
6.1.6 Sammanfattning av kalibreringsparametrarna	23
6.2 KALIBRERINGSSIMULERINGARNA	24
6.3 VERIFIERINGSSIMULERINGARNA	26
6.4 ÅRSSIMULERINGEN.....	28
6.5 TRAP-SIMULERINGARNA	28
7 FELKÄLLOR	30
8 SLUTSATSER	31

9 REFERENSER.....	32
--------------------------	-----------

BILAGOR

BILAGA A KARTOR

<i>Områdeskarta.....</i>	<i>A1</i>
<i>Ledningsnätkarta.....</i>	<i>A2</i>

BILAGA B KALIBRERINGSBERÄKNINGAR

<i>Koncentrationstid.....</i>	<i>B1</i>
<i>Tid-Area kurvor.....</i>	<i>B3</i>

BILAGA C NEDERBÖRDSDATA

<i>Sammanfattning</i>	<i>C1</i>
<i>Regntillfällen.....</i>	<i>C2</i>

BILAGA D FLÖDESDATA

BILAGA E MOUSE-SIMULERINGAR

<i>Sammanfattning</i>	<i>E1</i>
<i>Jämförelser flöde-simuleringar.....</i>	<i>E2</i>
<i>Kalibreringssimuleringar.....</i>	<i>E3</i>
<i>Verifieringssimuleringar.....</i>	<i>E8</i>

BILAGA F PROVTAGNINGAR

<i>Provtagningsstillfällen.....</i>	<i>F1</i>
<i>Provtagningsresultat.....</i>	<i>F5</i>

BILAGA G MOUSETRAP-SIMULERINGAR.....

BILAGA H ÅRSSIMULERING 1926

<i>Regnintensitet.....</i>	<i>H1</i>
<i>Simuleringsresultat.....</i>	<i>H2</i>

1. Syfte

Syftet med detta examensarbete har varit att bygga upp och verifiera en MOUSE-modell för dagvattenavrinningen från Dag Hammarskjölds led. Anledningen till att man vill ha en fungerande modell över detta ledningssystem är att det på Institutionen för VA-teknik genomförs ett doktorandprojekt som undersöker den sedimenteringsbassäng som är belägen innan dagvattensystemets utlopp i Stora ån. Med hjälp av en fungerande MOUSE-modell kan man få flödesindata till bassängen de gånger mätutrustningen av någon anledning varit ur funktion samt att man kan modellera inflödet till bassängen för önskade årsregn. Vidare skulle en MOUSETRAP-modell byggas upp och även denna verifieras. Här önskar man kunna modellera sedimenttransporten i ledningssystemet och studera hur mycket sediment som tillförs Järnbrottsmotets sedimenteringsbassäng.

2 Områdesbeskrivning

2.1 Avrinningsområdet

Avrinningsområdet är beläget i sydvästra Göteborg, i stadsdelarna Västra Frölunda och Högsbo. Det upptar en yta av 485 ha, varav 161 ha är hårdgjord yta. Området domineras av Dag Hammarskjölds led, vilket är den stora huvudleden för trafiken till Göteborgs centrum söderifrån.

Väster om Dag Hammarskjöldsleden är det beläget ett antal stora bostadsområden med företrädesvis större hyresfastigheter. I den här delen av området finns även ett antal skolor, ett sjukhus och en hel del grönområden. Avrinningsområdet gränsar i väster mot Ruddalens fritidsområde och Västra begravningsplatsen.

På den östra sidan av Dag Hammarskjöldsleden finns ett större industriområde. Den här delen har således, relativt det västra området, en större del hårdgjorda ytor. Öster om industriområdet ligger Änggårdsbergets naturreservat.

2.2 Ledningsnätet

Ledningssystemet är uppbyggt kring en huvudledning som löper utmed Dag Hammarskjöldsleden från norr till söder. På bägge sidor är grenledningar från de olika områdena anslutna. Längst ner i södra spetsen av ledningssystemet är ett bräddavlopp placerat. Detta består av ett skibord och bräddar till Stora ån. Från bräddavloppet leder en Ø1000 mm ledning till Järnbrottsmotets sedimenteringsbassäng. När flödet till bräddavloppet är 725 l/s startar bräddningen. Maximalt kan 1100 l/s ledas till sedimenteringsbassängen. Vid dessa tillfällen leds alltså 725-1100 l/s vidare till sedimenteringsbassängen medan resterande flöde bräddas direkt till Stora ån.

Efter Järnbrottsmotets sedimenteringsbassäng leds vattnet vidare ut i Stora ån. Ledningarna är framför allt gjorda i betong med dimensioner från Ø225 mm till Ø2000 mm. Högst belägna punkten på ledningsnätet är +65,81m (högsta punkt i min modell) och utloppet i sedimenteringsbassängen ligger på +10,90m. Vattennivån i sedimenteringsbassängen är som lägst +12,10m.

3 Mouse

3.1 Allmänt

MOUSE (Modelling Of Urban Sewers) ägs och vidareutvecklas av Dansk Hydraulisk Institut (DHI). Det introducerades i Sverige via ett samarbetsavtal med Svenska vatten och avloppsverksföreningen (VAV). Sedan 1989 är VBB VIAK ansvarig för installation och service i Sverige.

MOUSE är ett program som används för att beräkna och analysera avrinningen i ett avloppssystem. Det består av [4]:

- Ett menysystem för inläsning och redigering av data. Det fungerar dels som en guide runt i systemet dels som en hjälp för användaren att fylla i alla data på ett riktigt sätt.

Systemet är uppbyggt som en menyhierarki. Den högsta nivån består av systemmenyn, där man kan välja menyspråk och parametrar för den aktuella datorutrustningen. På den andra nivån ligger huvudmenyn. Här väljer man bl a inläsning av data, simulering eller resultatpresentation. Den tredje nivån utgörs av huvudmenyerna för inläsning av de olika indata som krävs för en körning. Under dessa finns sedan ett olika antal undermenyer där man specificerar modellens data.

- En regndatabas där man beskriver egna regnhändelser och där historiska regnserier finns tillgängliga.

De historiska regnen som finns lagrade i MOUSE består dels av serier med relativt kraftiga regn som används till dimensionering av ledningar och dels av ettårsserier som bl a kan användas till dimensionering av bräddavlopp och utjämningsmagasin.

Egna regnhändelser kan beskrivas i databasen i form av tabellregn, formelregn, individuella regn och historiska regn.

- Ytavrinningen som kan beräknas med två alternativa beräkningsnivåer.

Enkel ytbeskrivning som används tillsammans med tid-areametoden. Här medräknas endast avrinning från hårdgjorda ytor. Hydrauliken beräknas utgående från vald tid-areakurva och vald koncentrationstid.

En mer detaljerad beskrivning som används tillsammans med en kinematisk vågmodell. Modellen delas här upp i områden utgående från permeabilitet. Kinematisk vågteori används för att beakta den hydrauliska delen av modellen. Kunskapen om områdenas hydrologi är oftast för liten för att denna modell ska vara motiverad att använda.

- En ledningsnätsmodell för beräkning av flöden och vattennivåer i ledningar, brunnar och bräddavlopp. Denna modell består av tre beräkningsnivåer.

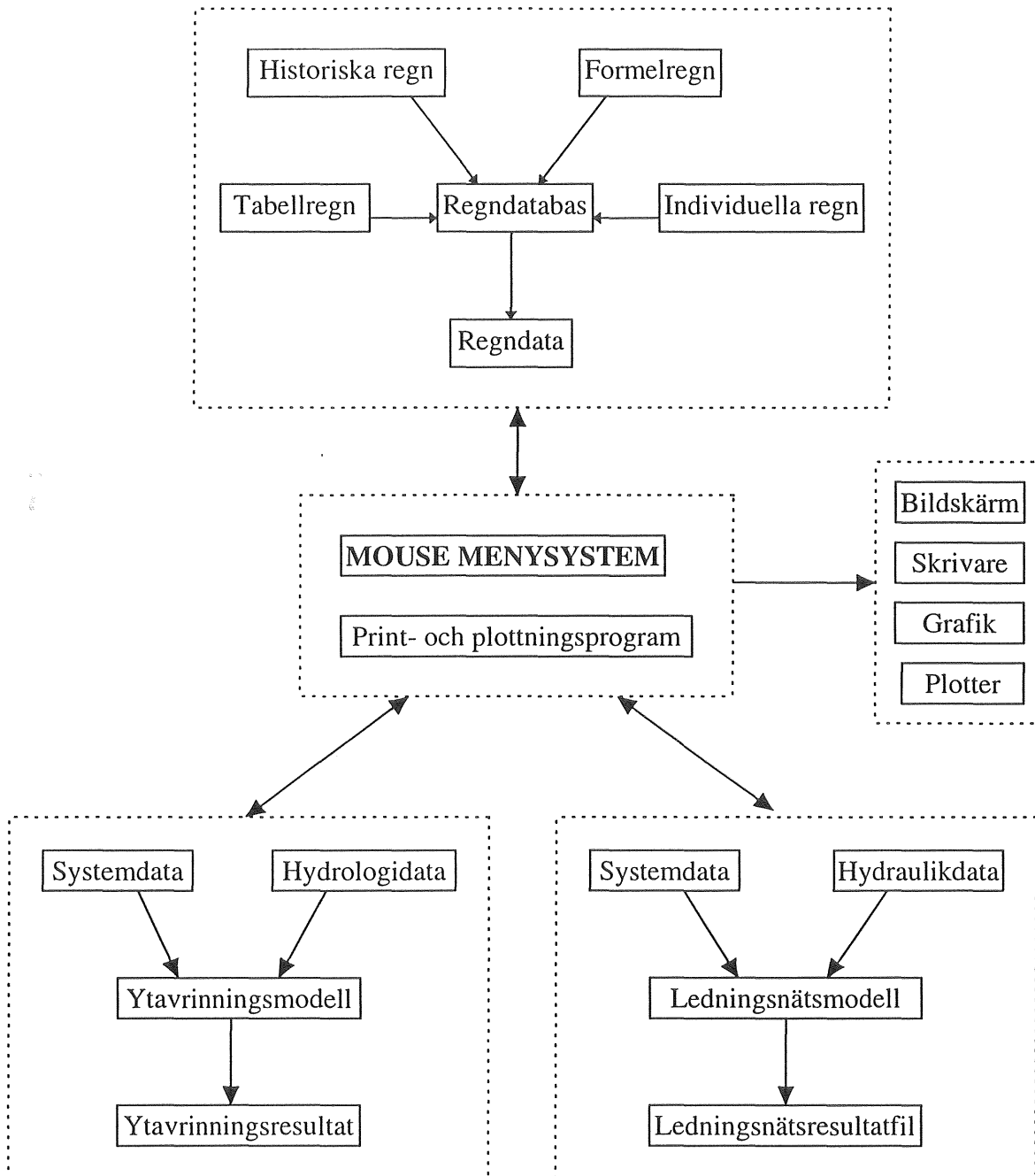
I den kinematisk vågmodellen tas hänsyn till friktionskrafter, tyngdkraften och fördröjning och magasinering i ledningarna. Detta innebär att det inte går att göra någon hydrauliskt korrekt beräkning av dämpningsförlopp. Beräkningar kan inte utföras med modeller som har ledningar med bakfall.

Den diffusiva vågmodellen tar förutom ovanstående hänsyn till tryckgradienten och det går i många fall att genomföra en tillräckligt noggrann beräkning av dämpningsfenomenet.

Den dynamiska vågmodellen gör en hydrauliskt korrekt flödesberäkning även vid dämning då den räknar med tröghetskrafter.

Normalt används den dynamiska vågmodellen men för att få en kortare beräkningstid kan en lägre beräkningsnivå användas. Vid svårigheter att få numerisk stabilitet med den dynamiska modellen kan det också vara motiverat att välja en lägre beräkningsnivå.

- Ett system för presentation av in- och utdata på skärm eller skrivare. Man kan även läsa in resultat på en textfil för presentation och redigering i andra program.



Figur 1 MOUSE-systemets struktur[4]

3.2 Tid-areametoden

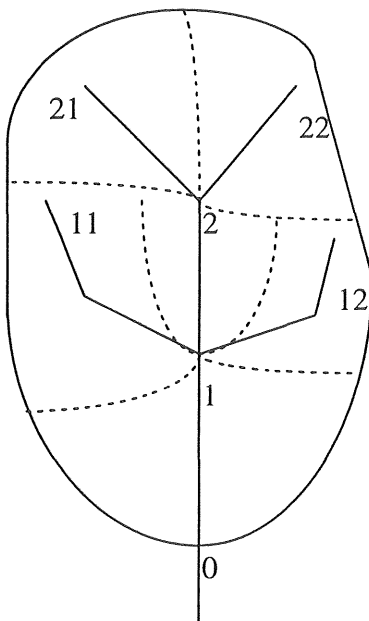
Tid-areametoden har fått sitt namn efter att man bestämmer en kurva över den i avrinningen deltagande arean som en funktion av tiden för en konstant regnintensitet. Detta kan göras genom att man delar in avrinningsområdet i mindre delområden och beräknar en tid-areakurva över tillrinningen till beräkningspunkten från varje delområde [1].

De matematiska samband som ligger till grund för tid-areametoden kan härledas från de kinematiska vågekvationerna med förutsättningen att vattenhastigheten är konstant i tiden men tillåts variera i rummet. Antagandet innebär att för varje punkt i avrinningsområdet är flyttiden till utloppet konstant [8].

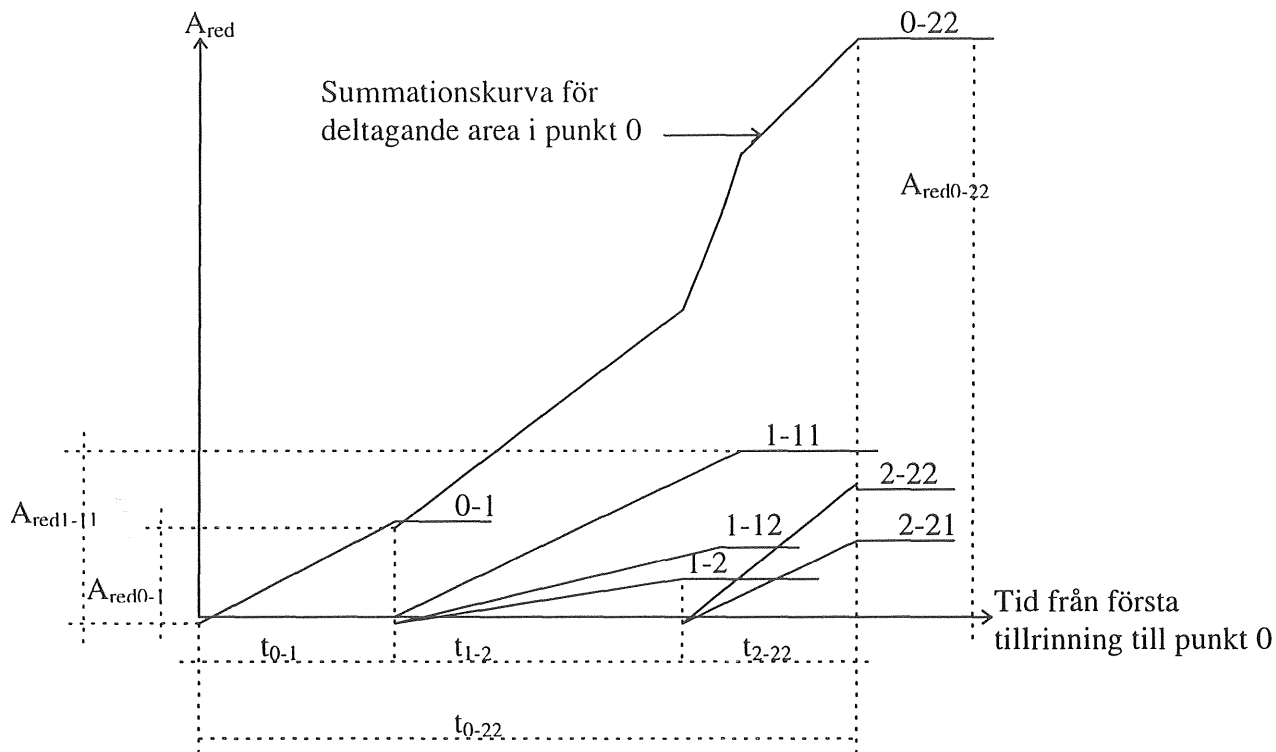
Vid användandet av tid-areametoden fastställs deltagande area för olika koncentrationstider. De olika områdena behandlas sedan enligt rationella metoden. När det gäller större områden kan man göra en uppdelning av områden efter till huvudledning anslutande grenledningar. Tid-areakurvan bestäms för varje delområde. Genom att förskjuta kurvorna den tid som ges av rinntiden i huvudledningen för de olika delområdena och sedan summera delarna kan den totala avrinningen beräknas. Detta kallas även retardationsmetoden [9].

I praktiken arbetar man med den totala flyttiden eller koncentrationstiden samt en schablonfördelning inom området under denna tid i form av ett tid-areadiagram. Tid-areadiagrammet beskriver hur stor andel av ytan som deltar efter en viss relativ tid [8]. Noggrannheten i beräknade maxflöde med tid-areametoden beror i första hand på hur väl man lyckats uppskatta deltagande area, koncentrationstiden samt tid-areakurvans form [1].

Beteckningar



- = Gräns för lokalt avrinningsområde
- 1 = Anslutningspunkt på huvudledning
- 11 = Ändpunkt på grenledning
- $A_{red1-11}$ = Reducerad area för lokalt avrinningsområde till ledning 1-11
- t_{1-11} = Längsta rinntid inom avrinningsområdet 1-11
- 1-11 = Tid-areakurva för avrinningsområde 1-11



Figur 2 Avrinningsområdet med delområden och tid-areakurvor för delområdena samt för hela området [1]

3.3 Dynamiska vågekvationen

Gemensamt för alla ansatser om flödesmodellering är att de kan härledas ur de grundläggande ekvationerna för vattenströmning med fri vattenyta, St Venants ekvationer. Dessa ekvationer består av en kontinuitetsekvation och en rörelsemängdsekvation. Om vi beskriver tillståndet i ett flödestvärsnitt med flödet Q och tvärsnittsarean A samt utgår från Mannings formel kan ekvationerna skrivas på detta sätt [9]:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (1)$$

$$Q = M \cdot A \cdot R^{2/3} \left(S_b - \frac{\partial Y}{\partial x} - \underbrace{\frac{1}{g \cdot A} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + \frac{1}{g \cdot A} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t}}_{\text{Dynamiska termer}} \right)^{1/2} \quad (2)$$

där

q = lateralt flöde
 R = hydraulisk radie
 M = Mannings tal
 S_b = bottenlutning
 Y = vattendjup
 x = längdkoordinat
 t = tidskoordinat

Ekvationssystemet beskriver med hänsyn till de förutsättningar som antas gälla vid härledningen olika typer av flödessituationer förvånansvärt väl [9]. Flödesvariationen som erhålls på ytor och i ledningar orsakade av regn har karaktären av en vågrörelse. Ekvationerna 1 och 2 ovan ger en fullständig dynamisk beskrivning av vågrörelsen och kallas ofta de dynamiska vågekvationerna.

Vid härledningen av de St Venantska ekvationerna görs följande antagande:

- Vattnet är inkompressibelt och homogent, dvs densitetens variation försummas.
- Bottenlutningen är liten, cosinus för vinkeln den gör mot horisontallinjen kan antas vara 1.
- Våglängderna är stora jämfört med vattendjupet. Flödet kan på alla ställen anses vara parallellt med botten och vertikala accelerationen kan försummas. Hydrostatiskt tryck längs vertikalen kan förutsättas
- Flödet är subkritiskt.

Ekvationssystemet måste för praktiska applikationer lösas numeriskt. Härvid erhålls en omfattande lösningsalgoritm som i princip ger en mycket noggrann lösning men är känslig (numeriskt instabil) och därmed svår att hantera praktiskt. Noggrannheten och omfattningen av modellen står inte heller i samklang med den grova förenkling av delområden som måste göras. Dessutom är ett av villkoren att flödet skall vara subkritiskt vilket det i verkligheten oftast inte är. Genom att försumma de dynamiska termerna fås ekvationerna för diffusiv våg. Den diffusiva vågmodellen är mer stabil men kan inte beskriva ett vattensprängs rörelser och profil.

Om man i MOUSE anger att man önskar göra beräkningen med dynamisk våg så görs detta i de fall där man har subkritisk strömning. Då flödet blir superkritiskt använder MOUSE den diffusiva vågekvationen istället. Modellen beaktar då dämning i systemet men kan inte beräkna ett eventuellt vattensprängs läge [3].

3.4 Ytavrinningsmodellen

Ytavrinningsmodellen är hämtad från en modell över området som är gjord 1989 av VBB VIAK.

Avrinningsområdet är uppdelat i 77 delområden. Delområdena varierar i storlek från 0,1 ha upp till 8,0 ha. Man har valt att ge alla områden en lutning på 10 ‰ och flytlängden 0 m. Den area man har angivit är delområdets hårdgjorda yta och således är den deltagande arean 100 %. Totalt är arean 156,7 ha. Enligt uppgifter från VA-verket i Göteborg är

avrinningsområdets totala hårdgjorda yta 161 ha. Skillnaden mellan dessa uppgifter (3%) har ignorerats och den lägre siffran är använd i modellen.

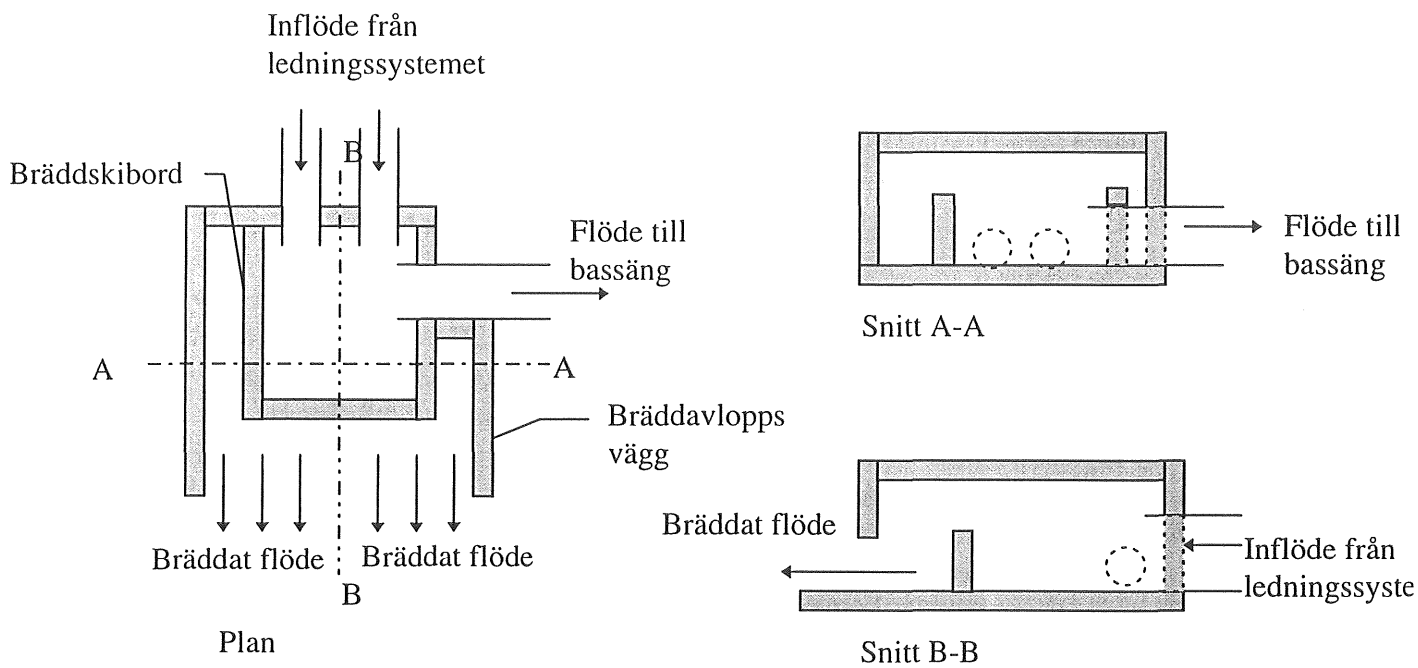
3.5 Ledningsmodellen

Samma modell har legat till grund för ledningsmodellen som för ytavrinningsmodellen. Då ledningssystemet har byggts ut efter 1989 med ledningar till sedimenteringsbassängen och ett bräddavlopp innan bassängen har modellen byggts ut med motsvarande delar.

Huvudledningen med en diameter på mellan $\varnothing 1400$ mm och $\varnothing 2000$ mm har en längd av 2,8 km. Ledningssystemet i modellen har en sammanlagd längd av 16,8 km. Till största delen består modellen av ledningar med dimensioner mellan $\varnothing 500$ mm och $\varnothing 1200$ mm, men vissa ledningar med dimensionen ned till $\varnothing 225$ mm har tagits med. I många fall har slutet av ledningarna inte tagits med utan istället beaktats vid bedömningen av koncentrationstiderna för området. Detta för att inte göra beräkningarna vid simuleringarna alltför omfattande. Ju mer man kan förenkla modellen desto kortare beräkningstider kan man erhålla.

Knutpunkterna i modellen är nedstigningsbrunnar i verkligheten. Koordinaterna samt vattengångens höjd i dessa punkter kommer från VA-verket. I de fall där markytans höjd inte har varit angiven har den satts till 2 m över vattengång. En planritning över det modellerade ledningssystemet finns i bilaga A.

Bräddavloppet i slutet av ledningssystemet är beläget precis före sedimenteringsbassängen och bräddningen sker ut till Stora ån. Vattengången på ledningen ut från bräddavloppet ligger på +11,40 m och skibords-höjden är +12,50 m. Inkommande ledningar har vattengång +11,10 m. Enligt VA-verket leds allt vatten vidare till sedimenteringsbassängen så länge flödet är mindre än 725 l/s. Där startar bräddningen och det maximala flödet till sedimenteringsbassängen är cirka 1100 l/s. Då vattennivån i sedimenteringsbassängen som lägst är 12,10 m kommer det alltid att stå vatten i ledningssystemets nedersta del och även i bräddavloppet.



Figur 3 Schematisk ritning av bräddavloppet

Bräddavloppet har modellerats som tre skibord i samma punkt som bräddar ut från modellen. Med detta menas att det vatten som bräddas inte kommer att beaktas någon annanstans i modellen utan försvinner helt enkelt. Två av skiborden har angivits som parallella med flödesriktningen medan det tredje som vinkelrätt. Skiborden har angivits som bredkantade men detta är inget som inverkar vid simuleringarna. Skibordens totala längd är 10,45 m.

3.6 Kalibreringsparametrarna

3.6.1 Mannings tal

1889 framlade den irländske ingenjören Robert Manning en formel, som efter smärre justeringar ser ut enligt följande [2]:

$$V = \frac{1,49}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (3)$$

där

- V = medelhastigheten i fot/s
- R = hydrauliska radien i fot
- S = energilinjens lutning
- n = Mannings tal

Efter omskrivning till SI-enheter och med användande av Mannings tal enligt svenskt bruk fås följande uttryck

$$Q = M \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (4)$$

där

Q = flödet i m³/s

M = Mannings tal enl. $M = \frac{1}{n}$

R = hydrauliska radien

S = energilinjens lutning

Mannings formel är inte dimensionsriktig vilket förklarar omräkningskonstanten mellan engelska enheter och SI-enheter. Vidare förutsätts rå strömning, dvs att friktionsförlusten är oberoende av Reynolds tal [6].

Att bestämma Mannings tal innebär att uppskatta flödesmotståndet i ledningen. För vana ingenjörer blir det en uppgift att uppskatta från erfarenhet och ingenjörsmässighet. För nybörjare blir det oftast en ren gissning [2].

I litteraturen finns presenterat att antal olika tabeller med Mannings tal för olika material. De värden som presenteras är ofta experimentellt bestämda och är således representativa för nya ledningar.

Tabell 1 Mannings tal för olika material[6]

<u>Material</u>	<u>Mannings tal</u>
Stål	90-110
Hyvlat trä	85-95
Ohyvlat trä	70-80
Slät betong	80-90
Bräddriven betong	65-75
Gjutjärn	60-70
Slät jord	35-50
Lös stenkastning	25-35
Berg	20-35

I MOUSE finns standardvärden angivna för olika material. Utöver dessa finns möjlighet att ange uppmätta eller antagna värden för hela eller delar av ledningssystemet.

Tabell 2 Mannings tal för olika material i MOUSE

<u>Material</u>	<u>Mannings tal</u>
Slät betong	85
Normal betong	75
Rå betong	68
Plast	80
Järn	70
Tegel	70
Mursten	80
Annat	50

3.6.2 Koncentrationstid

Betrakta ett avrinningsområde utsatt för ett regn med konstant intensitet. Utflödet från detta område kommer att gå från noll vid regnstart till ett maximalt värde som är beroende på regnintensiteten och de deltagande ytornas area. Den tid som det tar innan maxflödet uppnås svarar mot den tid det tar för en vattenpartikel från den mest avlägsna punkten i området att nå utloppet, dvs tiden som åtgår innan alla ytor samverkar. Tiden beror på avrinningsegenskaperna i området och regnintensiteten. Denna tid brukar betecknas koncentrationstid och kan betraktas som en områdesparameter [7].

I litteraturen finns ett antal olika ekvationer föreslagna för att uppskatta ett områdes koncentrationstid. Gemensamt för de flesta ekvationerna är att de är uppbyggda kring huvudledningens längd i området, huvudledningens lutning, regnintensiteten samt den deltagande avrinningsytan. I MOUSE ansätts 6 minuter som den globala koncentrationstiden som standard.

3.6.3 Initialförlust

När det regnar över ett område är det bara en del av vattnet som kommer att nå utloppet i form av direktavrinning. På de ytor som bidrar till avrinningen kommer en del av regnet att åtgå för fuktning av marken och uppfyllnad av ojämnheter. Man kan definiera dels deltagande area och dels initialförlust för denna yta enligt följande [8]:

$$V_a = (r - i_f) \cdot A_c \quad (5)$$

där

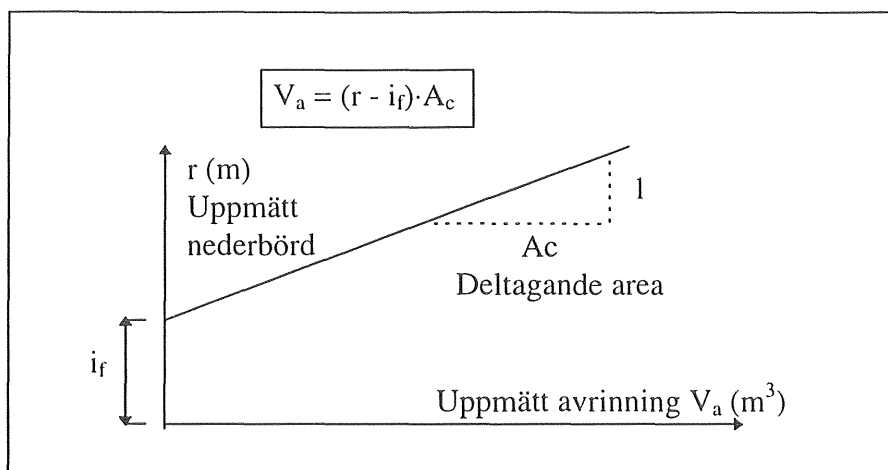
V_a = avrunnen volym

r = regnmängd

i_f = initialförlust

A_c = deltagande area

Initialförlust och deltagande area kan bestämmas genom att göra en regressionslinje över ett stort antal mätningar av regnmängd och avrunnen volym.



Figur 4 Bestämning av deltagande area och initialförlust[8]

Vid undersökningar på CTH har en genomsnittlig initialförlust på omkring 0,5 mm bestämts. Detta värde är relevant för tämligen jämna asfaltsytor med normal lutning ($>0,01$) och för normala bostadsområden med blandade ytor [8]. I MOUSE används 0,6 mm som standardvärde på initialförlusten.

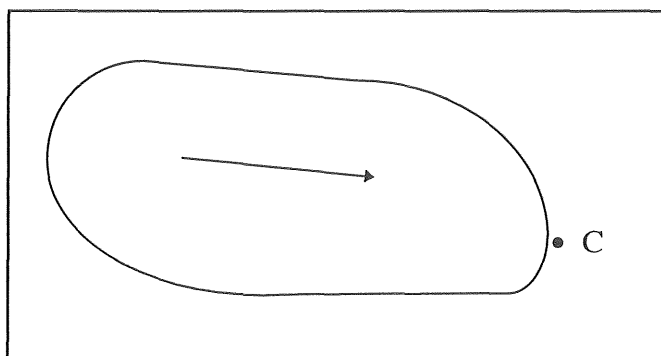
3.6.4 Reduktionsfaktor

Reduktionsfaktorn är en beskrivning av att inte allt vatten som faller över en yta når ledningssystemet. Hur stor del av regnet som når systemet är beroende på hur väl uppsamlingsanordningar som kantsten, hänggrännor etc utformas [8]. Att använda den karterade hårdgjorda ytan som deltagande area är att räkna på säkra sidan vid dimensionering. I många fall är den deltagande ytan 70-90% av den karterade ytan. För att beakta detta använder sig MOUSE av en reduktionsfaktor. Som standard i MOUSE används en reduktionsfaktor på 0,9.

Skillnaden mellan initialförlusten och reduktionsfaktorn är att initialförlusten tar bort det första regnet som faller medan reduktionsfaktorn påverkar den totala regnmängden som beaktas i modellen.

3.6.5 Tid-areakurva

Betrakta en yta med godtycklig form, fig. 5. Vid regn avvattnas ytan mot en punkt C.



Figur 5 Avrinningsyta

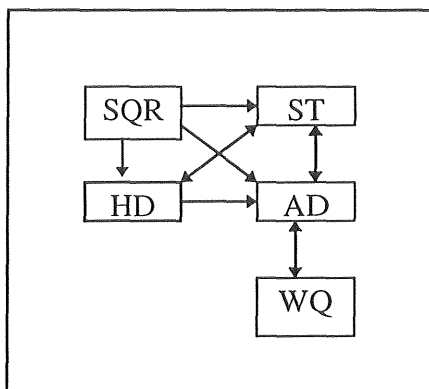
Antag att en störning i flödet utgår från någon punkt på ytan. Störningen kan exempelvis vara en snabbt förhöjd regnintensitet. Antag vidare att den tid som åtgår för störningen att nå C (flyttid) enbart är beroende av punktens läge på ytan och inte av flödets storlek. Om punkter med samma flyttid på ytan sammanbinds erhålls så kallade isokroner. För att regn med konstant regnintensitet som börjar vid tiden $t = 0$ är den area som deltar i avrinningen vid tiden $t = t_1$ den yta som ligger nedströms isokronen t_1 . Sambandet mellan deltagande yta A_d och motsvarande flyttid t beskrivs ofta i ett tid-areadiagram [7].

4 MOUSETRAP

MOUSETRAP är en modul i MOUSE-systemet som kan användas för att beräkna förorenings- och sedimenttransporter på ytor och i ledningar. En förutsättning för att kunna använda MOUSETRAP är att det finns en hydrodynamisk modul (HD) med ledningssystemets geometri beskriven

Modulen består av fyra delmoduler som kan användas var för sig eller tillsammans beroende på vad man önskar simulera. De delmoduler som ingår i MOUSETRAP är:

- Ytavrinnings-kvalitetsmodulen (SQR, Surface Quality Runoff module)
- Sedimenttransportmodulen (ST)
- Advektions-dispersionsmodulen (AD)
- Vattenkvalitetsmodulen (WQ)



Figur 6 Kopplingen mellan modulerna i MOUSETRAP

4.1 Ytavrinnings-kvalitetsmodulen (SQR)

Om man bara önskar studera vattenkvalitet och sedimenttransport på ytan är det tillräckligt att använda ytavrinnings-kvalitetsmodulen. Om man är intresserad av hur det transporteras vidare i ledningarna används resultatet från denna beräkning som indata av de moduler som är aktuella i ledningsberäkningarna.

Modulen är uppdelad i tre undermoduler. En som beskriver uppbyggnad och avspolning av partiklar på ytan, en som beskriver de sedimentbundna föroreningarna på ytan och en som beskriver uppbyggnad och urspolning av lösta föroreningar i sandfång.

Undermodulen som beskriver uppbyggnad och avspolning av partiklar på ytan arbetar med två partikelstorlekar, en fin och en grov. I modulen skall diameter, densitet och porositet för bägge storlekarna beskrivas. Tillgången till det fina sedimentet är begränsad i beräkningen medan

det för grovsediment finns obegränsad tillgång. Hur stor tillgång det finns på finsediment bestäms av uppbyggnadshastigheten, maxvärdet och uppehållstiden som man definierar. Resultatet från denna beräkning kan sparas som koncentration eller transport. Om man ska använda resultatet som indata till ledningsnätsmodulen är det dock nödvändigt att spara resultatet som en transport.

Beskrivningen av sedimentbundna föroreningar grundar sig på PPC-konceptet (pollutant partitioning coefficient) vilket betyder att man definierar den totala mängden av den aktuella föroreningen i gram per litet vått sediment och hur den fördelar sig på fin- respektive grovsediment i procent. Om man önskar koppla resultatet från en simulering med PPC-konceptet till en simulering av ledningsnätet är det nödvändigt att AD-, ST- och WQ-modulerna samtidigt medverkar i simuleringen.

4.2 Sedimenttransportmodulen (ST)

I sedimenttransportmodulen beräknas transporten av sediment i ledningssystemet. Sedimentet som transporteras kommer från ytmodellen, spillvattnet och från det initiala sedimentdjupet i ledningarna som definierats i denna modul.

Nivån på de olika sedimenttransportmodellerna som används varierar från de enklaste som endast beräknar det hydrauliska motståndet som orsakas av sedimentet i ledningarna till den mest komplicerade som är en morfologisk modell för sediment med flera olika fraktionsstorlekar.

I undermoduler anger man val av sedimenttransportmodell och formel. Om man väljer att uppdatera sedimentnivån kommer beräkningen att ske enligt den morfologiska modellen och om man väljer att inte uppdatera sedimentnivån kommer beräkningen att ske enligt den explicita modellen. Om man t ex bara är intresserad av att undersöka den hydrauliska kapaciteten i ledningarna ska den sistnämnda användas, i andra fall ska den morfologiska modellen användas. Beträffande sedimenttransportformler finns det idag fyra stycken att välja mellan.

Beräkningsparametrarna består av ett antal konstanter. Värdena på densitet, porositet och viskositet skall ändras för att stämma överens med övriga delmodulers ansatta värden medan värdena för övriga parametrar inte bör ändras om man inte är insatt i vilken betydelse detta får för resultatet.

Man anger även ett initialt sedimentdjup relativt bottenivån i ledningen. Olikt HD-modulen, där minsta vattenflöde är 2% av ledningsdimensionen, kan man här definiera ledningar utan något initialt sedimentdjup utan att få instabilitet i beräkningarna.

4.3 Advektions-dispersionsmodulen (AD)

Advektions-dispersionsmodulen används för att beräkna transporten av lösta föroreningar och/eller temperaturvariationen i ledningssystemet.

I undermoduler anger man vilka föroreningsparametrar som ska ingå i beräkningen. Om man väljer "single component" ingår bara de föroreningar man definierat medan om man väljer "PPC components" kommer föroreningar bundet till fint respektive grovt sediment och lösta

föroreningar av de definierade föroreningarna att ingå. Sedan väljer man vilken enhet som ska användas i beräkningen och vilken koncentration i torrvädersflödet som varje komponent har.

4.4 Vattenkvalitetsmodulen (WQ)

I denna modul tas hänsyn till ett antal kemiska och biologiska processer i avloppsvattnet. Det är också här man beskriver PPC-konceptet gällande för sediment i ledningarna. På samma sätt som för ytan beskrivs den totala mängden föroreningar i gram per liter vått sediment. Fördelningen är här uppdelat på lösta föroreningar och föroreningar bundet till fint respektive grovt sediment till skillnad från ytmodellen där lösta föroreningar inte ingår i PPC-konceptet.

Vid modellering med PPC-konceptet är det nödvändigt att AD- och ST-modulen samtidigt medverkar i simuleringen.

5 In- och kalibreringsdata

5.1 Nederbördsmätningarna

Nederbörds­mätningarna är utförda av VA-verket i Göteborg tillsammans med Institutionen för VA-teknik, Chalmers. Mät­punkten är belägen precis vid bräddavloppet i den södra delen av avrinningsområdet. Mätutrustningen består av en vippskål med en volym som motsvarar 0,2 mm regn och som tömms automatisk när den volymen uppnåtts och ger då en signal till en datalogger som registrerar regnförloppet. Resultatet från dataloggern presenteras som millimeter regn per minut.

Under perioden 15 juni till 15 oktober har ett urval gjorts av nederbördstillfällena som sedan har använts för att kalibrera och verifiera MOUSE-modellen. De utvalda regnen har haft en total regnmängd mellan 4,5 mm och 14,3 mm. Regntiden har varit från 48 minuter upp till 23 timmar. Högsta intensitet som registrerats under ett regntillfälle är 15,8 mm/h (4,4 µm/s). Torrperioden före varje regntillfälle har inte alltid kunnat bestämmas med säkerhet. Detta beroende på att mätutrustningen ibland har varit ur funktion med följd­en att regnregistrering saknas. I dessa fall redovisas den tid som med säkerhet kan sägas vara utan regntillfälle. Den verkliga torrperioden kan således vara längre än den redovisade.

Tabell 3 Sammanställning av nederbördsdata

	Datum	Tid	Mängd	Maxint.	Torrperiod
		(h)	(mm)	(mm/h)	(dygn)
Kalibrering	21 juni	22,8	14,3	5,8	0,5
	24 juni	3,2	4,9	8,6	0,8
	1 juli	12,8	8,5	8,6	1,4
	8 september	5,5	4,6	4,7	0,7
	12 september	4,2	4,5	3,2	3,7
Verifiering	22 augusti	0,8	5,8	15,8	1,4
	17 september	4,7	8,1	4,7	2,8
	1 oktober	3,9	12,6	7,9	1,7
	6 oktober	3,2	5,3	4,7	2,0
	10 oktober	3,1	5,5	3,2	0,6

En sammanställning av utförligare nederbördsdata samt diagram över de enskilda regnen finns i bilaga C.

5.2 Flödesmätningarna

Även flödesmätningarna är utförda av VA-verket i Göteborg tillsammans med Institutionen för VA-teknik, Chalmers. Mätningen är gjord på ledningen mellan bräddavloppet och sedimenteringsbassängen, precis efter utloppet från bräddavloppet. Flödesmätaren är en V-H-mätare från ISCO, som är monterad på ledningens botten (ISCO, 750 Area Velocity Module). Flödet är registrerat av en datalogger med ett värde per minut. Detta värde är ett medelvärde

under denna minut. Medelvärde är baserat på avläsningar var 10:e sekund. Enhet på flödet anges i l/s av mätutrustningen. Maximalt har det registrerats ett flöde på 1000 l/s vilket stämmer bra överens med det teoretiska maximala värdet på 1100 l/s. Även flödesmätningens utrustningen har ibland varit ur funktion med följd att vissa mätningar inte representerar hela de tidsperioder som är använda i simuleringarna. Mätningstiden för flödet överstiger vid samtliga tillfällen regntiden.

Tabell 4 Sammanställning av flödesdata

	Datum	Tid (h)	Mängd (m ³)	Maxflöde (l/s)
Kalibrering	21 juni	25,6	15840	840
	24 juni	5,7	5105	870
	1 juli	15,8	6367	1030
	8 september	6,7	4845	690
	12 september	4,4	3946	630
Verifiering	22 augusti	2,8	3155	890
	17 september	6,3	8276	690
	1 oktober	4,3	8137	860
	6 oktober	4,0	5558	720
	10 oktober	4,4	6073	650

En sammanställning av utförligare flödesdata och diagram över de enskilda flödesförloppen finns i bilaga D och E

5.3 Suspensionsmätningarna

Analyserna för att få fram vattnets halt av suspenderade ämnen är utförda av VA-verket i Göteborg. Provtagningarna sköts även de av VA-verket. Provtagningarna sker i samma punkt som flödesmätningarna dvs på ledningen precis efter bräddavloppet. Utrustningen som tar provet är flödesberoende dvs. flödesproportionella prov. Detta gör att vid provtagning genom ett samlingsprov kan man få icke representativa värden. Om flödet ligger och pendlar mellan olika värden precis vid gränsen för provtagningsstart kan apparaturen ta ut prov med mycket korta mellanrum. Denna fas av avrinningen blir då överrepresenterad i samlingsprovet. Man får då ett för lågt samlingsvärde på suspensionshalten om det tas många prov då suspensionshalten är låg. Det omvända gäller givetvis också. Alltså måste man göra en noggrann analys av provtagningarna för att se hur representativt ett samlingsprov är för just dessa regntillfälle.

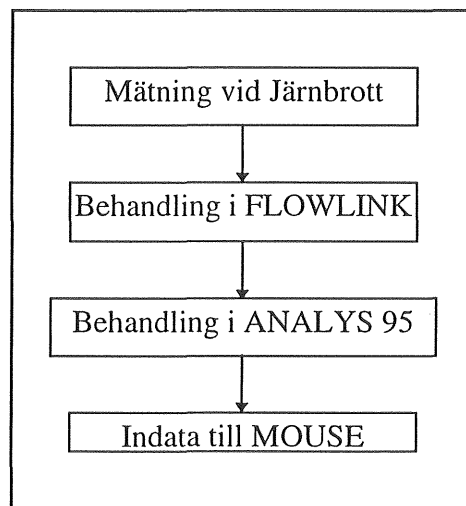
Vid vissa tillfällen görs mer detaljerade analyser av provtagningarna. Man tar då fram suspensionshalten vid varje provtagningstillfälle under ett regntillfälle. Denna data är således mycket bättre att använda vid kalibrering och verifiering av MOUSETRAP-modeller. Provtagaren är en ISCO 6700 med inbyggd logger där regndata samt flödesdata har loggats. Vid de regntillfällen som har använts för att kalibrera och verifiera denna MOUSETRAP-modell har det tagits prov vid fyra regntillfällen. Av dessa är ett ”detaljerat” medan de övriga tre är samlingsprov.

Tabell 5 Sammanställning av provtagningar

Datum	Typ av prov
8 september	Samlingsprov
12 september	Samlingsprov
1 oktober	Samlingsprov
6 oktober	Detaljerat prov

5.4 Indatabehandling

Alla mätdata från VA-verket är i ISCO-format. För att bearbeta samt välja ut och lagra data för specifika regn användes programmet FLOWLINK. FLOWLINK är ett presentations och databearbetningsprogram för mätdata lagrat i ISCO-loggar [5]. Från FLOWLINK kommer regnet uttryckt i mm varje minut. Utdata från FLOWLINK är i ASCII-format och användes som indata i ANALYS 95, ett program utvecklat av Thomas Pettersson, Institutionen för VA-teknik Chalmers. Här beräknas regnintensiteten. Den beräknades varannan minut som medelvärdet över en femtonminutersperiod. Den mätserie som var resultatet från ANALYS 95 blev indata till min MOUSE-modell.



Figur 7 Behandling av mätvärden till färdig indata

6 Simuleringar

6.1 Kalibreringsförfarande

Kalibrering har skett mot fem regntillfällen från juni till september 1997. Dessa regntillfällen varierar i mängd från 4,5 till 14,3 mm och i tid från drygt tre timmar upp till knappt ett dygn.

Först genomfördes en simulering med data enligt den standard som finns i MOUSE. Därefter ändrades en parameter i taget för att studera vilka effekter på flödesförloppet som denna parameter hade. Dessa simuleringar gjordes framför allt med regnet den 24 juni. Härur kunde slutsatser dras om vilka parametrar som hade störst inverkan på flödesförloppet och alltså var viktigast vid kalibrering av modellen.

Det framkom att framför allt Mannings tal och reduktionsfaktorn påverkade flödet. De påverkade framför allt rinntiden i ledningssystemet och den totala volymen.

Därefter gjordes simuleringar med olika värden på Mannings tal och reduktionsfaktorn på de fem kalibreringsregntillfallen för att få fram optimala värden.

6.1.1 Mannings tal

Vid kalibreringssimuleringarna upptäcktes att Mannings tal för slät betong, $M=85$ enligt MOUSE, var allt för högt för att representera ledningarna i systemet. En sänkning av Mannings tal till 70, vilket motsvarar rå betong, gav en sänkning av flödestoppen men långt ifrån tillräckligt. För att få ett flödesförlopp som stämde väl överens med gjorda mätningar i fält var det nödvändigt att använda ett så lågt Mannings tal som 45.

Om ett Mannings tal på 45 representerar den verkliga råheten i ledningen är okänt. För att få kännedom om detta skulle det vara nödvändigt med fältmätningar av flödesförloppen på flertal ställen ledningssystemet. Det har inte legat inom ramen för detta examensarbete.

En tänkbar förklaring av det låga Mannings tal är att det representerar ett genomsnitt mellan råheten i ledningarnas botten och väggar. Det är möjligt att det finns en del avlagringar på ledningsbotten, vilket skulle kunna ge en råhet som motsvaras av ett mycket lågt Mannings tal (<30). Väggarna däremot kan vara glatta och representeras av ett normalt Mannings tal (≈ 70), tabell 1.

6.1.2 Koncentrationstid

För att bestämma delområdenas koncentrationstider i modellen användes följande ekvation som är hämtad från [7]:

$$t_c = 0,079 \cdot \frac{L_{h80}^{0,71}}{i^{0,32} \cdot S_h^{0,35} \cdot A_{del}^{0,05}} \quad (6)$$

där

- t_c = koncentrationstiden, (min)
- L_{h80} = huvudledningens längd fram till längst uppströms liggande rännstensbrunn + 80m, (m)
- S_h = medellutning utmed huvudledningen
- A_{del} = deltagande avrinningsyta (ha)
- i = regnintensiteten, (l/s·ha)

Tillägget till huvudledningens längd kan ses som ett sätt att ta hänsyn till ytavrinningen. Därför är det viktigt att påpeka att det handlar om överslagsmässiga uppskattningar [7].

För alla delområdena i modellen gjordes en uppskattning av huvudledningens längd och deltagande area. Därefter beräknades koncentrationstiden för alla delområdena för de fem olika kalibreringstillfällena. Ur dessa data gjordes sedan en medelvärdesberäkning. Den globala koncentrationstiden skulle enligt detta beräkningssätt vara 13 minuter. Beräkningarna finns i bilaga B

Vid kalibreringen gjordes körningar med olika koncentrationstider för att studera effekten av en ändring i koncentrationstid. Härvid gjordes erfarenheten att det behövs en ganska kraftfull förändring för att påvisa någon förändring av flödesförloppet. En ökning av koncentrationstiden med sex gånger gav en minskning i maxflödet med 1/12. En annan effekt av ökad koncentrationstid var givetvis att flödesförloppet gick långsammare, dvs maxflödet inträffade vid en senare tidpunkt. Med dessa simleringserfarenheter som bakgrund valdes koncentrationstiden till tio minuter för samtliga delområden i modellen.

6.1.3 Initialförlust

En ökning av initialförlusten skalar av en större del av regnet i början. Starten på flödesförloppet blir således senarelagt. Dock förändras inte det fortsatta flödesförloppet i någon nämnvärd utsträckning. Den totala avrunna volymen blir givetvis mindre.

Vid kalibreringssimuleringarna användes MOUSE standardvärde på 0,6 mm vilket gav tillfredsställande start på flödet och var således det värde som stämde bäst med verkligheten.

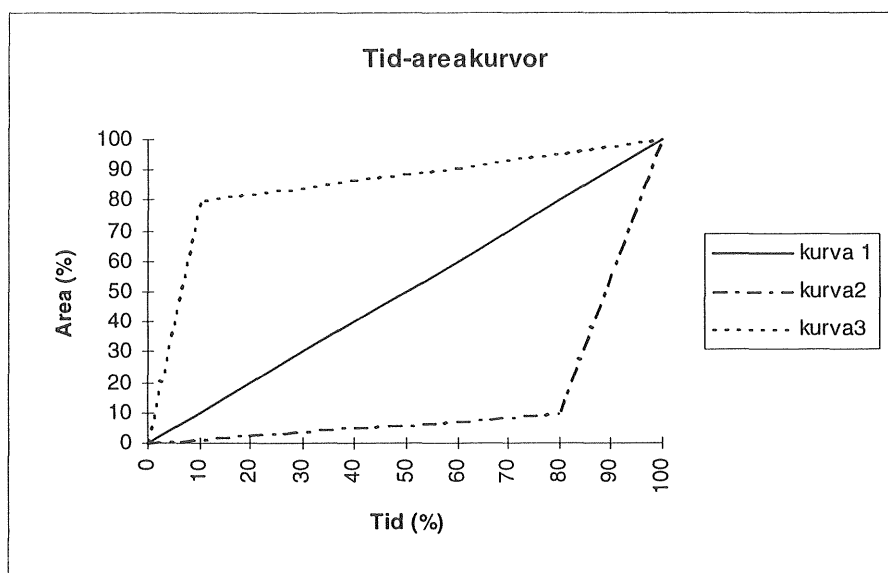
6.1.4 Reduktionsfaktorn

För att studera reduktionsfaktorns inverkan på simuleringarna gjordes ett antal simuleringar med olika reduktionsfaktorer. Här framkom att faktorn hade en stor betydelse för flödesförloppet. En sänkning av reduktionsfaktorn gav ett ”dämpat” flödesförlopp, den totala volymen minskade och flödestopparna minskade. Då även Mannings tal inverkar på just flödestopparna var det fråga om ett samspel mellan dessa faktorer som påverkade flödestoppens läge och storlek. Mannings tal påverkade främst flödestoppens läge i tiden medan reduktionsfaktorn mer påverkade storleken.

Vid kalibreringssimuleringarna framkom det att en reduktionsfaktor på 0,8 svarade bra mot de gjorda flödesmätningarna.

6.1.5 Tid-areakurva

Vid kalibreringen av modellen användes tre olika tid-areakurvor, se figur 8. Dessa kurvor visar hur avrinningen från de deltagande ytorna varierar under regntillfället. Den räta linjen (kurva 1) är den kurva som används som standard i MOUSE. De andra två är konstruerade för att se vilka förändringar på flödesförloppet som sker. Dessa kurvor kan kanske anses som lite väl extrema, vilket var meningen, jämför med de S-formade kurvor som oftast används i tid-areametoden.



Figur 8 Tid-areakurvorna som är använda i kalibreringen

Vid kalibreringen erfor man att tid-areakurvans form inte spelade någon stor roll för flödesförloppet. Skillnaderna i flödet mellan användandet av dessa tre kurvor är små. Maxflöden varierade mindre än 10 % och maximum inträffade i alla tre fallen inom en tidsram på 15 minuter. Med dessa erfarenheter som bakgrund valdes den tid-areakurva som var standard i MOUSE, dvs rät linje.

6.1.6 Sammanfattning av kalibreringsparametrarna

Efter de gjorda kalibreringssimuleringarna framkom det att följande uppsättning av parametrarna gav ett bra simuleringsresultat.

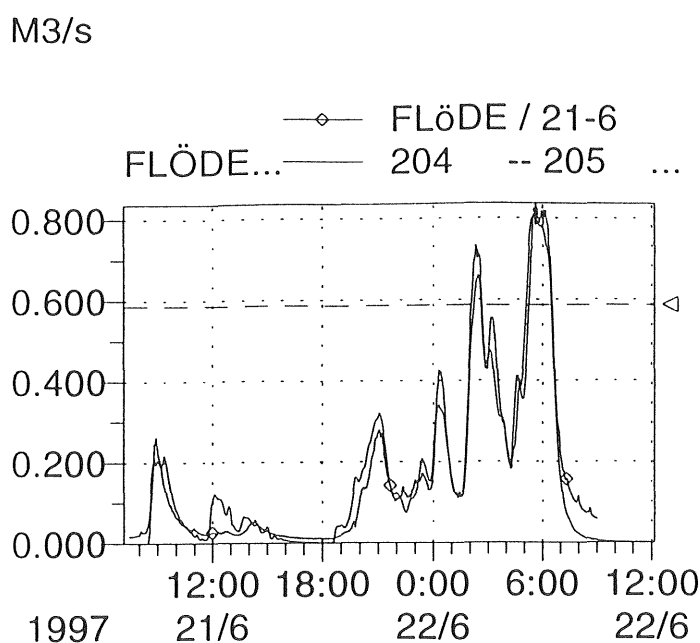
Tabell 6 Sammanställning av kalibreringsparametrarna

Mannings tal	45
Koncentrationstid	10 min
Initialförlust	0,6 mm
Reduktionsfaktor	0,8
Tid-areakurva	kurva 1

6.2 Kalibreringssimuleringarna

Som kalibreringstillfällen valdes fem regntillfällen. Det var två regn i juni, ett i juli och två i september. Regnen varierade i mängd från 4,5 mm upp till 14,3 mm och regntiden varierade mellan 3 och 23 timmar. Resultatkurvor över simuleringarna jämfört med de gjorda mätningarna finns i bilaga E.

Överlag erhålls en god överensstämmelse mellan simuleringar och mätningar. I figur 9 visas simuleringen över regntillfället den 21 juni. Detta var den längsta simuleringen som gjordes, drygt 28 timmar.

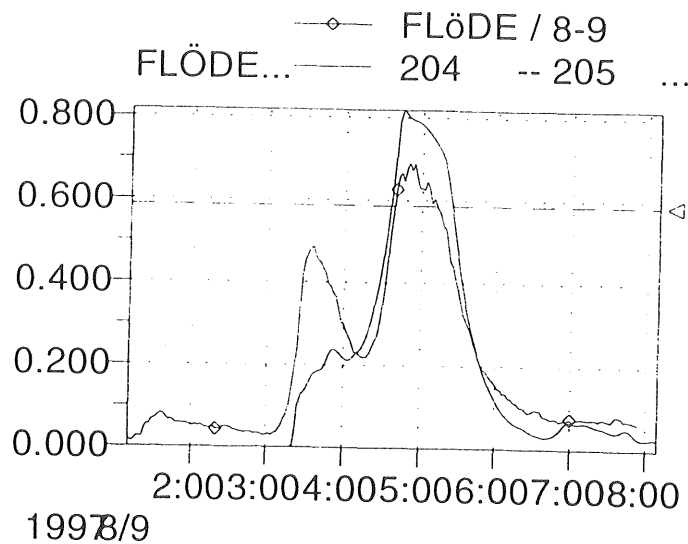


Figur 9 Simulering mot mätning 21 juni

I figur 9 ser man hur väl simuleringen följer det uppmätta flödet. De flödestoppar som är simulerade stämmer väl med de uppmätta i såväl flödesstorlek som i tidpunkten då de inträffade. I denna simuleringen är det ett flertal flödestoppar och en period med relativt lite nederbörd i mitten av simuleringstiden.

I figur 10 visas simuleringen av regntillfället den 8:e september. Här kan man se en flödestopp i mätserien som inte återfinns i simuleringen.

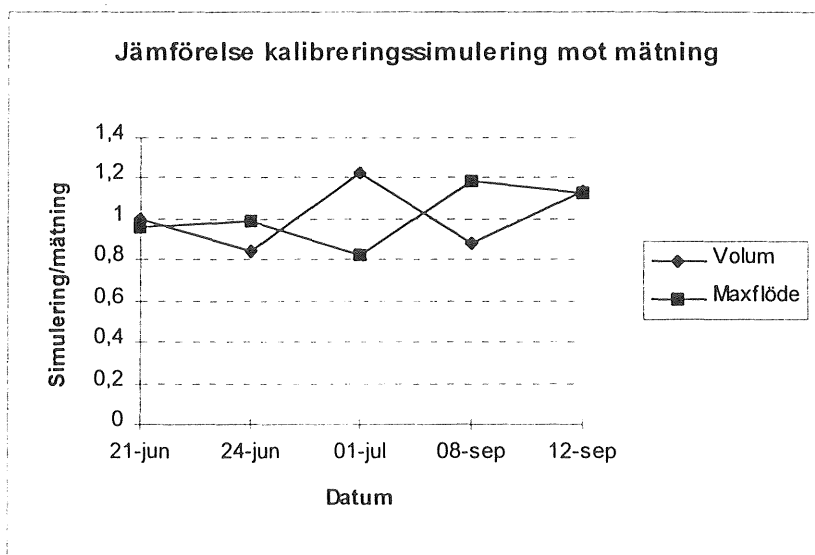
M3/s



Figur 10 Simulering mot mätning 8 september

Anledningen till detta fenomen är troligen att det har regnat lokalt inom avrinningsområdet och detta har inte registrerats i nederbördsmätaren. Detta problem uppstår då man har stora avrinningsområden och man kan således inte täcka in hela området i nederbördsmätningarna. Ju fler nederbördsmätare man har inom området desto mindre blir denna typ av fel.

En jämförelse mellan kalibreringssimuleringarna och mätningarna visas i figur 11.



Figur 11 Jämförelse kalibreringssimulering mot mätning

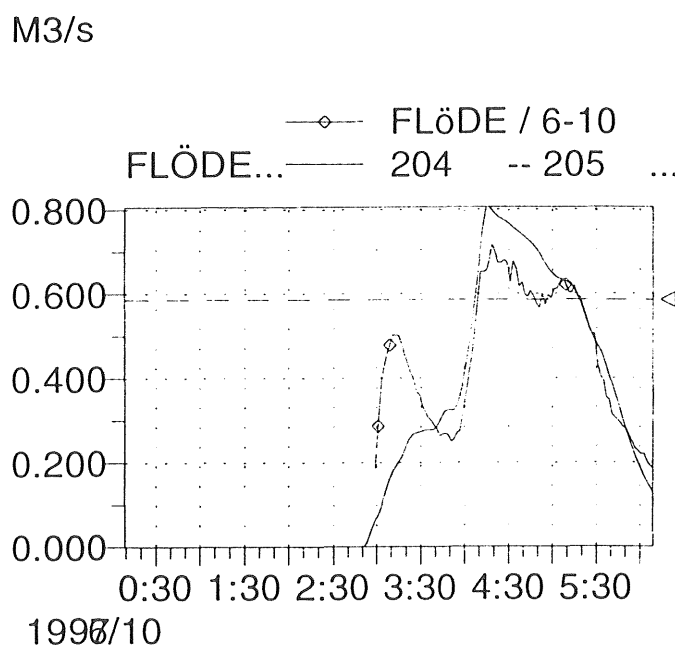
Här ser man att felen i såväl den avrunna volymen som maxflödet ligger mellan -20 och +25 procent. Man kan också observera att när volymen ligger högt så är maxflödet lågt och

omvänt. Vad detta beror på har inte undersökts i detta examensarbete. Vid två av simuleringstillfällena, 21 juni och 12 september, stämmer såväl maxflödet som den avrunna volymen mycket bra.

6.3 Verifieringssimuleringarna

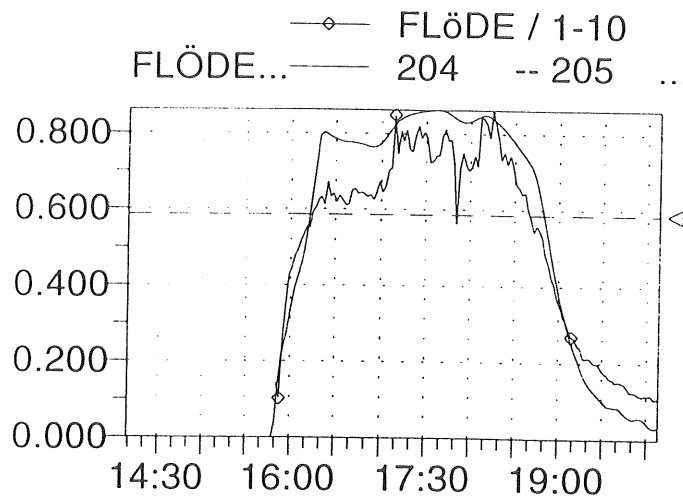
För att verifiera den gjorda kalibreringen av modellen valdes ytterligare fem regntillfällen ut. Det blev ett regn i augusti, ett i september och tre i oktober. Dessa regn varierade mellan 5,3 mm och 12,6 mm och regntiden varierade mellan en och fem timmar. Resultatkurvor över de gjorda simuleringarna jämfört med uppmätta flödeskurvor finns i bilaga E.

Den 6 oktober, figur 12, kan man se samma fenomen som den 8 september, figur 10, med en flödestopp som inte återfinns i simuleringen. Vidare kan man i figur 12, och speciellt i figur 13, se hur simuleringen inte följer samma snabba förlopp som det verkliga flödesförloppet har. Den uppmätta flödeskurvan har ett mycket ryckigt förlopp medan det simulerade flödet är mera jämt och har lugnare förändringar.



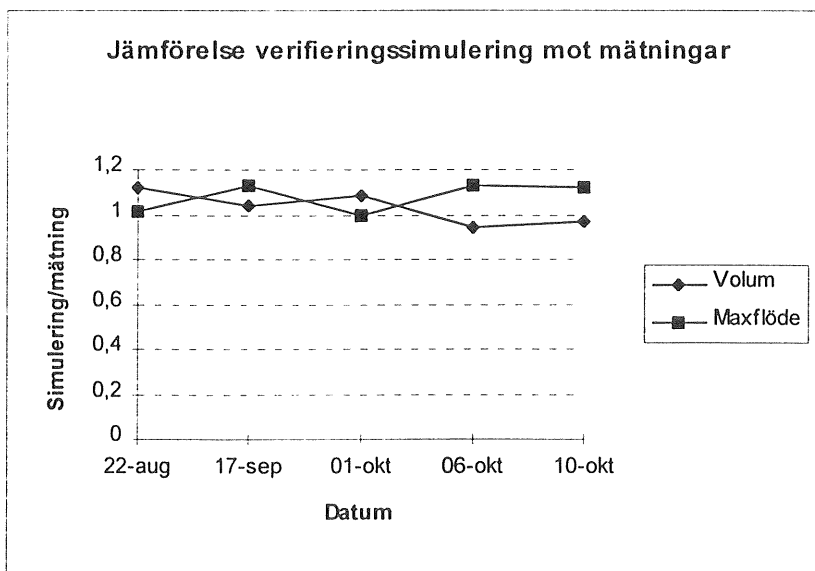
Figur 12 Simulering mot mätning 6 oktober

M3/s



Figur 13 Simulering mot mätning 1 oktober

En jämförelse mellan verifieringssimuleringarna och mätningarna visas i figur 14.



Figur 14 Jämförelse verifieringssimulering mot mätning

I verifieringssimuleringarna är felen mindre än i kalibreringssimuleringarna. Detta kan bero på att verifieringsregnen är mer av homogen typ, som ger en kraftig och specifikt avgränsad flödestopp. Då blir felspridningen mindre om modellen stämmer väl överens med just denna typ av regnförlopp.

6.4 Årssimuleringen

Årssimuleringen är gjord med regndata från Lundby år 1926. Nederbördsdata för detta år erhöles av Thomas Pettersson. Den totala regnmängden i denna mätserien är 720 mm. Enligt Göteborgs VA-verk så är årsmedelvärdet under åren 1917 - 1996 vid Barlastplatsen 704 mm [10]. Detta medför att 1926 är bra att simulera för att få fram data för ett medelårs variationer i flödet till Järnbrottsmotets sedimenteringsbassäng.

Regntillfällena är jämt utspridda under hela året med ett undantag i mars då det förekommer en längre period utan regn. All registrerad nederbörd under året är antagen som regn. Har det under vintern fallit snö lagras denna tills det blir töväder och det sker en avsmältning. I simuleringen har detta inte beaktats utan flödessimuleringen beskriver det förlopp som blir om all nederbörd faller i form av regn.

Intensiteten i regnen är vanligtvis låg men det förekommer 7 tillfällen då regnintensiteten är 70 - 290 mm/h (20 - 80 $\mu\text{m/s}$). Detta kan jämföras med det maximala värdet på 16 mm/h (4,4 $\mu\text{m/s}$) som är uppmätt under kalibrerings- och verifieringstillfällena.

Simuleringen visar att flödet till sedimenteringsbassängen uppgår till drygt 1000 l/s vid ett regntillfälle. Det stämmer också väl överens med det maximala teoretiska värdet på 1100 l/s.

Bräddavloppet träder i funktion cirka 40 gånger detta medelår. I den gjorda simuleringen bräddades totalt 151 000 m³ av den totala flödesvolymen på 900 000 m³. Det är 17 % av flödet som bräddas. Regn- och flödesdiagram finns i bilaga H.

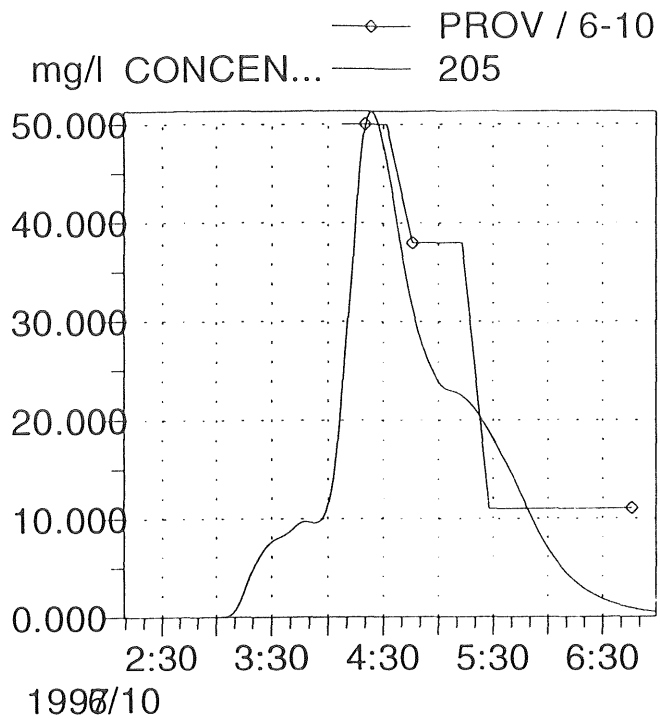
6.5 MOUSETRAP-simuleringarna

Då det bara fanns kalibreringsdata (analyserat innehåll av suspenderat material), för MOUSETRAP-modellen, vid fyra av de utvalda regntillfällena valdes dessa ut för simulering. Den 6 oktober gjordes en detaljerad provtagning och det föreföll därför naturligt att i först hand kalibrera mot denna. Diagram över koncentrationen av suspenderat material i simuleringarna finns i bilaga G.

I figur 15 visas den simulerade koncentrationen av suspenderat material och den gjorda provtagningen den 6 oktober.

Överensstämmelsen mot den gjorda mätningen är inte tillfredsställande. Toppvärdet ligger på rätt koncentration men i simuleringen sjunker koncentrationen snabbare än i mätningen. Detta gäller hela koncentrationsminskningsförloppet och simuleringen når nollkoncentration mycket snabbare än verkligheten. Då det inte förelagat några mätvärden för den första delen av simuleringen har inte koncentrationsuppgången kunnat kalibreras.

Vid de övriga simuleringstillfällena är det endast gjort analys av samlingsprover. Då det, som nämnts i 5.3, funnits problem vid provtagningarna är inte dessa prov alltid riktigt representativa för det verkliga förloppet. Därvid är det svårt att utföra någon riktig kalibrering av modellen. I de tre gjorda simuleringarna ligger i två av fallen samlingsprovets koncentration av suspenderat material högre än toppvärdet i simuleringen. I det tredje fallet är samlingsprovets koncentration i ett rimligt förhållande till simuleringen. Enligt Gilbert Svensson är det ett ovanligt problem att simuleringsvärdena ligger lågt. I detta examensarbetet är det inte utrett varför simuleringsvärdena är låga.



Figur 15 Simulering mot provtagning 6 oktober

7 Felkällor

Vid modellering av dagvattenavrinning över så här stora urbana områden finns det naturligtvis ett antal felkällor som man bör beakta. Det mest tydliga är att verkligheten inte är helt homogen över dessa områden. Vid nederbördsmätningarna har endast en mätpunkt används. Detta är givetvis inte tillfredsställande då regnintensiteten kan variera kraftigt under ett regntillfälle. Olyckligtvis är dessutom mätpunkten belägen i avrinningsområdets utkant vilket inte gynnar mätvärdenas representation för hela området.

Det förekommer tillfällen då regnmätaren är ur funktion. Dessa funktionsavbrott är ibland enstaka minuter. Vid databehandlingen i ANALYS 95 sätts då regnintensiteten till 0 mm/h. Detta kan orsaka fel i nederbördsdatan om det vid just detta mättillfälle faktiskt kom regn. Felet är dock så litet att det inte bör leda till fel i simuleringarna. Har regnmätningen varit ur funktion längre tid kan man inte använda sig av detta nederbördstillfälle i simuleringarna.

Vid uppbyggandet av ytavrinningsmodellen och ledningsnätsmodellen görs många förenklingar och uppskattningar. Det är givetvis av stor vikt att dessa görs så noggrant som möjligt och av kompetent personal. En alltför noggrann uppdelning av modellerna ger dock orimligt långa beräkningstider vid simuleringarna, vilket gör att man bör göra en bedömning av hur noggrann modell man behöver.

Som har beskrivits i avsnitt 5.3 finns stor osäkerhet i analyserna av suspensionshalten. Härvid kan fel uppkomma i modellen om man lutar alltför mycket på dessa analyser. En noggrann bedömning om riktigheten i analyserna bör göras.

8 Slutsatser

Det är möjligt att bygga upp en MOUSE-modell som stämmer väl överens med gjorda mätningar av flödesförloppet. Det är dock önskvärt med ett större antal mätpunkter i området för att kunna få bättre överensstämmelse vid regionala regnintensitetstoppar.

I modellen är Mannings tal 45 använt. Detta är mycket lägre än vad som antogs i början av arbetet och vad som brukar anges i litteraturen. Anledningen till att det lägre värdet ger bra resultat är inte undersökt inom ramen för detta examensarbete. En möjlig teoretisk förklaring finns i att sedimentavlagringar i ledningssystemet spelar en avgörande roll för friktionstalet.

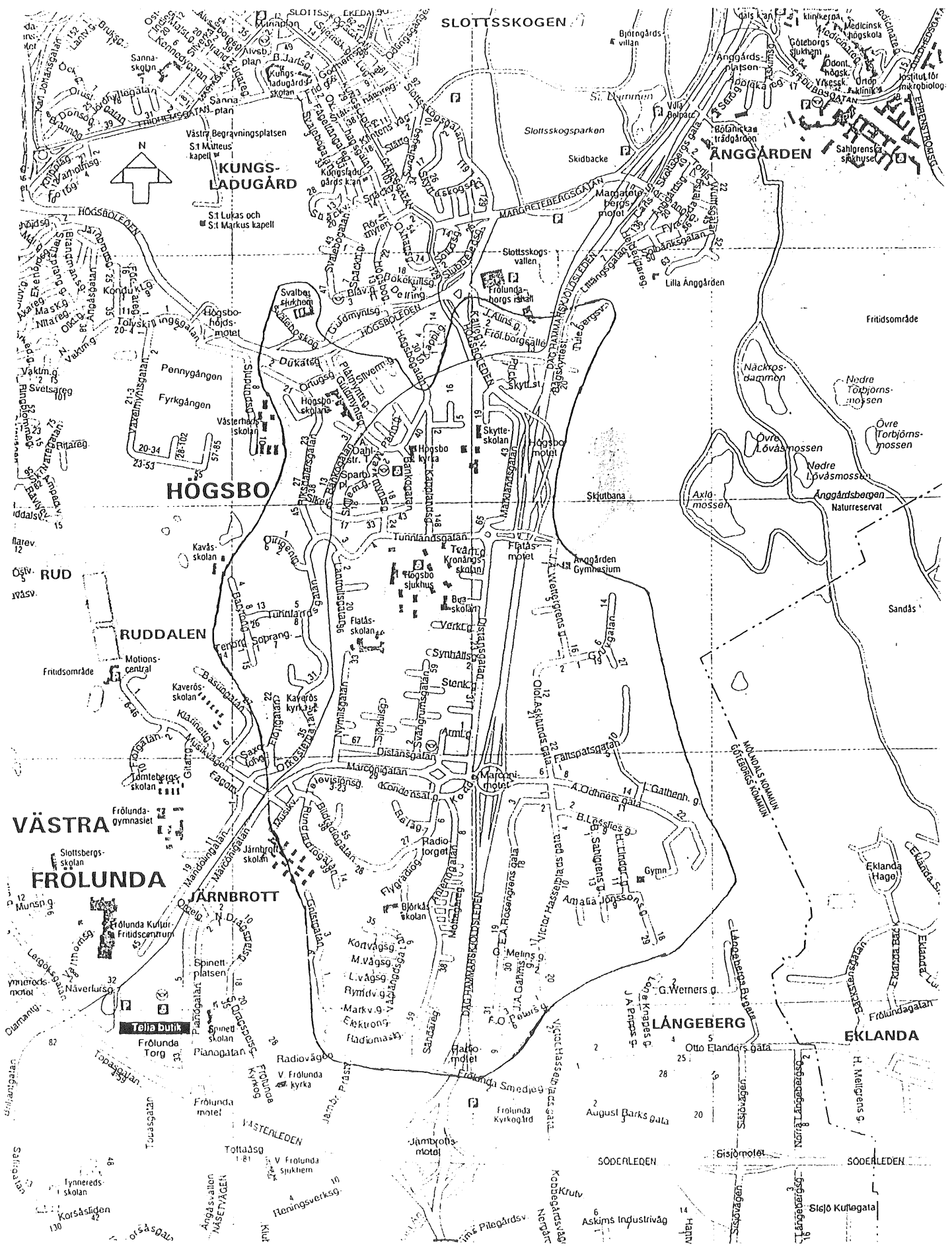
Modelleringen av sedimenttransporten i ledningssystemet har tyvärr inte givit några säkra resultat. Detta beroende på att det inte finns några tillförlitliga mätvärden i tillräckligt stor utsträckning för att kunna kalibrera modellen. Som det verkar så blir resultaten från MOUSETRAP-modellen låga. Detta är ovanligt, enligt Gilbert Svensson, då problemet brukar vara det omvända. Någon förklaring till detta har inte hittats.

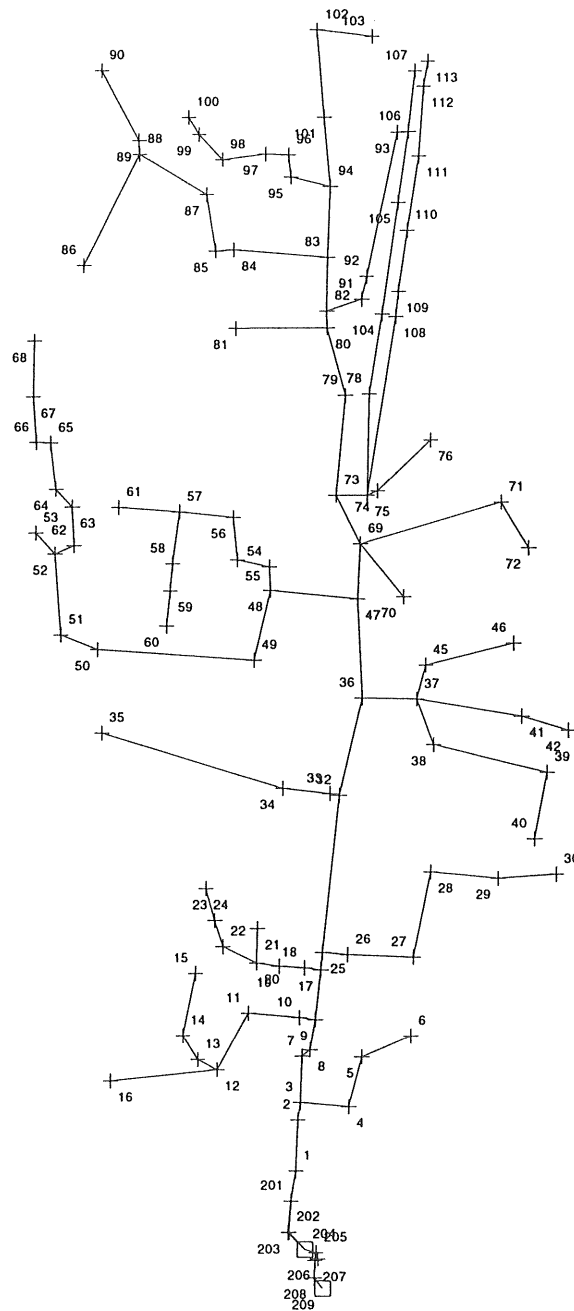
Simuleringen över hela året 1926 visar att systemet fungerar tillfredsställande under normalår. Bräddavloppet träder i funktion cirka 40 gånger och det ger att 17 % av vattnet bräddas ut till Stora ån före sedimenteringsbassängen.

9 Referenser

- [1] Arnell Viktor, Dimensionering och analys av dagvattensystem - Val av beräkningsmetod, Meddelande nr 50, Geohydrologiska Forskningsgruppen, CTH, Göteborg 1980
- [2] Chow Ven Te, Open-channel hydraulics, McGraw-Hill Book Company Inc., New York 1959
- [3] Danish Hydraulic Institute, MOUSE Technical Reference, 1994
- [4] Fjällström Eva och Karlsson Dick, Kvalitetsstyrning av avloppsvatten, exemplifierat på Kodammarnas pumpstation, Examensarbete 1995:12, Institutionen för VA-teknik, CTH, Göteborg 1995
- [5] Flowlink 3, Instruction Manual, ISCO, 1995
- [6] Häggström Steffen, Hydraulik för V-teknologer, undervisningsskrift nr 1988:8, Institutionen för vattenbyggnad, CTH, Göteborg, upplaga 2 1992
- [7] Lyngfelt Sven, Dimensionering av dagvattensystem - Rationella metoden, Meddelande nr 56, Geohydrologiska Forskningsgruppen, CTH, Göteborg 1981
- [8] Lyngfelt Sven, Simulering av ytavrinning i dagvattensystem, Report Series B:53, Institutionen för vattenbyggnad CTH, Göteborg 1991
- [9] VA-ledningsteknik, Kompendium i VA-teknik, CTH, Göteborg, 1995
- [10] VA-verket Göteborg, Nederbörden i Göteborg 1996, Göteborg 1997

Bilagor





DATAFIL : JARNBROT.SWF
REDIGERAD : 25-NOV-1997 15:23
SKALA : 1:20000



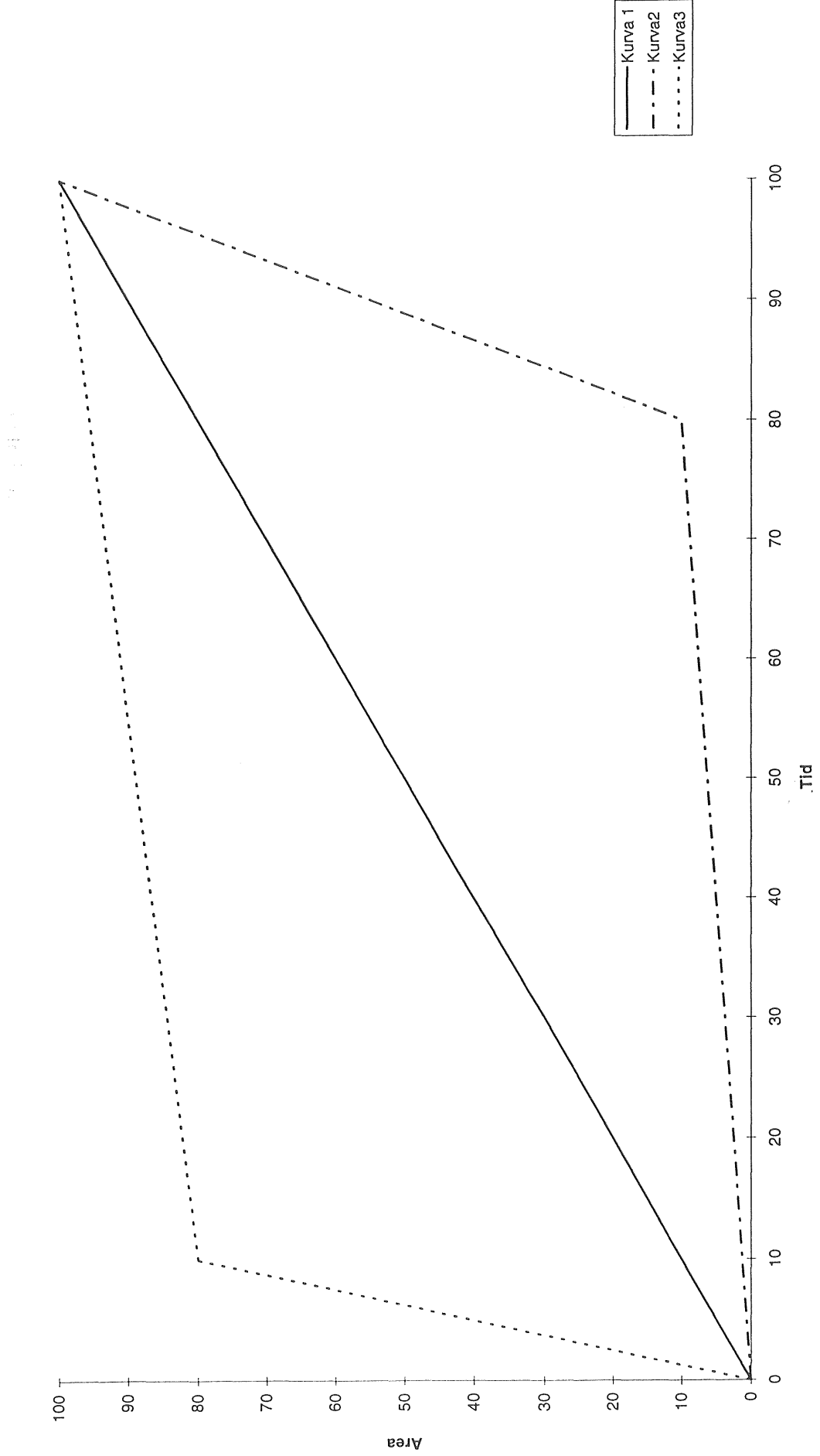
Konc.tid

Koncentrationstider									
Beräknat lvärde för koncentrationstiden för varje delområde för fem olika regntillfällen.									
Medelvärde för varje enskilt delområde, varje regntillfälle samt totalt medelvärde.									
Global lutning:		0,01							
		21-jun	24-jun	01-jul	08-sep	12-sep			
Medelnederbörd:		1,72	4,09	1,7	2,3	2,94	l/s*ha		
Omr. nr	Ledn. m	Yta ha	Konc.tid min	Konc.tid min	Konc.tid min	Konc.tid min	Konc.tid min	Medelvärde min	
6	0	0,62	7,65	5,80	7,68	6,97	6,44	6,91	
7	20	1,17	8,69	6,58	8,72	7,91	7,32	7,84	
8		0,28	7,96	6,03	7,99	7,25	6,71	7,19	
9		0,57	7,69	5,83	7,72	7,00	6,47	6,94	
11	90	1,00	12,76	9,67	12,81	11,63	10,75	11,52	
12	120	2,22	13,76	10,43	13,81	12,54	11,59	12,43	
13	200	1,00	18,19	13,78	18,25	16,57	15,32	16,42	
14	110	1,00	13,81	10,47	13,86	12,58	11,63	12,47	
15	90	0,74	12,96	9,82	13,01	11,81	10,92	11,70	
16	50	1,00	10,55	7,99	10,59	9,61	8,88	9,53	
17		5,99	6,83	5,18	6,86	6,23	5,76	6,17	
20	420	2,79	26,08	19,76	26,17	23,76	21,97	23,55	
21	250	0,51	21,13	16,02	21,21	19,26	17,80	19,08	
22	310	1,12	22,88	17,34	22,96	20,85	19,27	20,66	
23	800	4,67	37,96	28,77	38,11	34,59	31,98	34,28	
24	115	0,56	14,48	10,97	14,53	13,19	12,19	13,07	
25	250	1,24	20,22	15,33	20,30	18,43	17,03	18,26	
26	170	1,77	16,31	12,36	16,37	14,86	13,74	14,73	
27	160	0,62	16,69	12,65	16,75	15,21	14,06	15,07	
28	150	2,00	15,28	11,58	15,33	13,92	12,87	13,80	
29	100	3,50	12,48	9,46	12,53	11,37	10,51	11,27	
30	120	1,00	14,32	10,86	14,38	13,05	12,07	12,93	
32	420	5,87	25,12	19,04	25,22	22,89	21,16	22,69	
33	200	0,64	18,60	14,10	18,67	16,95	15,67	16,80	
35	190	0,62	18,16	13,76	18,23	16,55	15,30	16,40	
36	300	4,65	20,92	15,85	21,00	19,06	17,62	18,89	
37		5,26	6,88	5,21	6,90	6,27	5,79	6,21	
38	70	2,49	11,15	8,45	11,20	10,16	9,40	10,07	
40		1,50	7,32	5,55	7,35	6,67	6,17	6,61	
41	270	2,36	20,41	15,47	20,49	18,60	17,19	18,43	
42	210	1,41	18,33	13,89	18,40	16,70	15,44	16,55	
45		1,50	7,32	5,55	7,35	6,67	6,17	6,61	
46	50	1,63	10,29	7,80	10,33	9,38	8,67	9,30	
47	90	3,98	11,91	9,03	11,95	10,85	10,03	10,75	
48		3,46	7,02	5,32	7,05	6,40	5,92	6,34	
49	750	2,50	37,57	28,48	37,71	34,24	31,65	33,93	
50	50	1,37	10,38	7,87	10,42	9,46	8,75	9,38	
51		1,54	7,31	5,54	7,34	6,66	6,16	6,60	
52		3,38	7,03	5,33	7,06	6,41	5,92	6,35	
53		0,95	7,49	5,68	7,52	6,83	6,31	6,77	
57	140	4,26	14,25	10,80	14,31	12,99	12,01	12,87	

Konc.tid

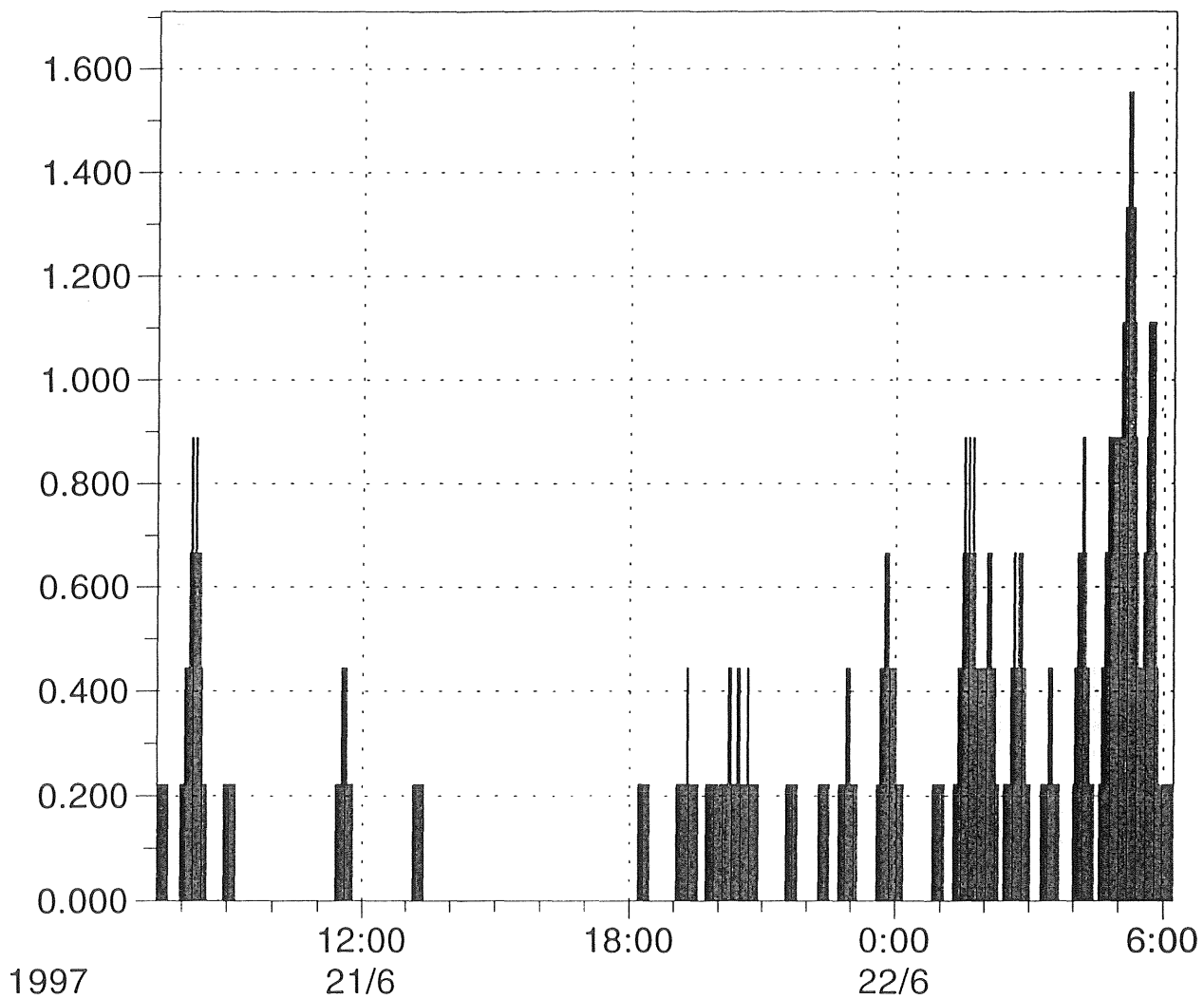
58	200	1,00		18,19	13,78	18,25	16,57	15,32		16,42
59		0,50		7,74	5,86	7,76	7,05	6,52		6,99
60	40	0,63		10,20	7,73	10,24	9,29	8,59		9,21
61	360	1,27		24,77	18,77	24,86	22,57	20,86		22,36
66		3,73		7,00	5,30	7,02	6,38	5,89		6,32
67		2,65		7,12	5,39	7,14	6,49	6,00		6,43
68		0,35		7,88	5,97	7,91	7,18	6,64		7,12
69		3,93		6,98	5,29	7,00	6,36	5,88		6,30
70	160	2,88		15,46	11,72	15,52	14,09	13,02		13,96
71	200	0,10		20,41	15,47	20,48	18,59	17,19		18,43
72	120	0,77		14,51	11,00	14,57	13,22	12,23		13,11
73	210	2,02		18,00	13,64	18,07	16,40	15,16		16,26
76	400	3,91		24,91	18,88	25,00	22,69	20,98		22,49
79	120	5,10		13,20	10,01	13,25	12,03	11,12		11,92
80	170	3,27		15,82	11,99	15,87	14,41	13,32		14,28
81	850	2,79		40,52	30,71	40,67	36,92	34,13		36,59
83	130	1,09		14,77	11,19	14,82	13,45	12,44		13,33
84	450	6,58		26,04	19,73	26,14	23,73	21,93		23,51
85	100	0,43		13,87	10,51	13,92	12,64	11,68		12,52
86	330	1,47		23,39	17,73	23,47	21,31	19,70		21,12
88	200	7,98		16,39	12,42	16,45	14,94	13,81		14,80
90	300	1,17		22,41	16,98	22,49	20,42	18,88		20,24
93	100	0,52		13,74	10,41	13,79	12,52	11,57		12,40
94		3,09		7,06	5,35	7,09	6,44	5,95		6,38
100	80	0,64		12,50	9,48	12,55	11,39	10,53		11,29
101	200	4,33		16,90	12,81	16,96	15,40	14,24		15,26
103	270	2,70		20,27	15,37	20,35	18,47	17,08		18,31
104	200	1,19		18,03	13,66	18,09	16,43	15,19		16,28
105	150	0,73		16,07	12,18	16,13	14,64	13,54		14,51
106		1,24		7,39	5,60	7,42	6,74	6,23		6,68
107	70	0,34		12,33	9,35	12,38	11,24	10,39		11,13
108		0,63		7,65	5,79	7,67	6,97	6,44		6,90
110	200	1,36		17,91	13,57	17,98	16,32	15,09		16,17
111		1,22		7,40	5,61	7,43	6,74	6,23		6,68
113	70	0,41		12,21	9,25	12,26	11,13	10,29		11,03
									Globalt	13,43
									medelvärde	
Medelvärde:	(min)			14,87	11,27	14,93	13,55	12,53		13,43

Tid-Area kurvor



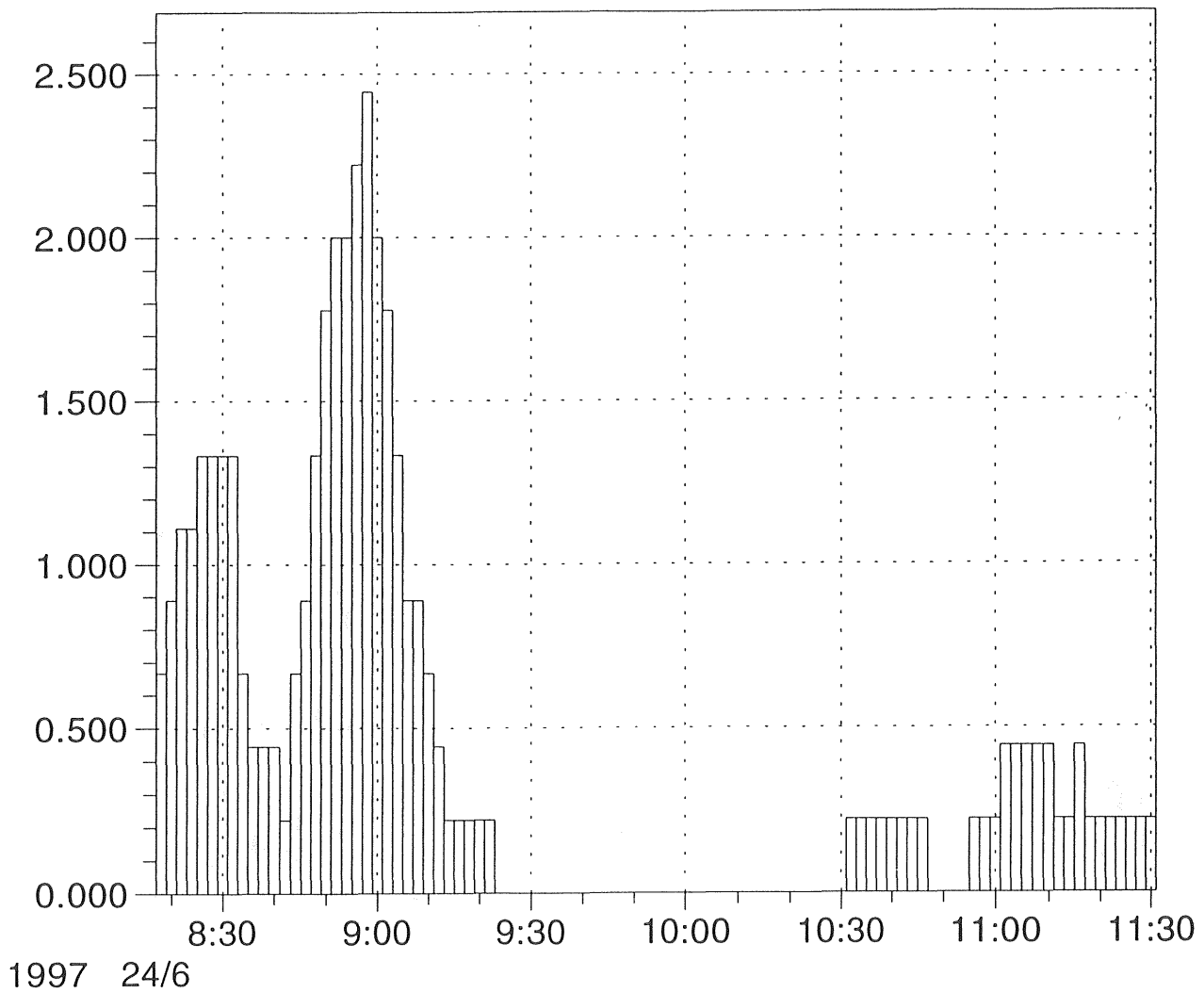
Nederbörd								
Data för nederbördstillfällena.								
	Datum	Start (kl)	Stopp (kl)	Tid (h:min)	Tid (h)	Tid (min)	Mängd (mm)	Maxintensitet (my-m/s)
Kalibrering	21-jun	7:25	6:13	22:48	22,8	1368	14,3	1,56
	24-jun	8:17	11:31	3:14	3,2	194	4,9	2,44
	01-jul	15:13	3:59	13:48	12,8	828	8,5	2,44
	08-sep	1:09	6:41	5:32	5,5	332	4,6	1,33
	12-sep	6:23	10:37	4:14	4,2	254	4,5	0,89
Verifiering	22-aug	18:09	18:57	0:48	0,8	48	5,8	4,44
	17-sep	2:09	6:51	4:42	4,7	282	8,1	1,33
	01-okt	14:45	18:39	3:54	3,9	234	12,6	2,22
	06-okt	2:09	5:23	3:14	3,2	194	5,3	1,33
	10-okt	14:09	17:17	3:08	3,1	188	5,5	0,89
	Datum	Torrperiod						
		(dygn)	(h)					
Kalibrering	21-jun	0,54	13					
	24-jun	0,79	19					
	01-jul	1,38	33					
	08-sep	0,71	17					
	12-sep	3,67	88					
Verifiering	22-aug	1,38	33					
	17-sep	2,79	67					
	01-okt	1,71	41					
	06-okt	2,00	48					
	10-okt	0,58	14					

1Y-M/S REGN,



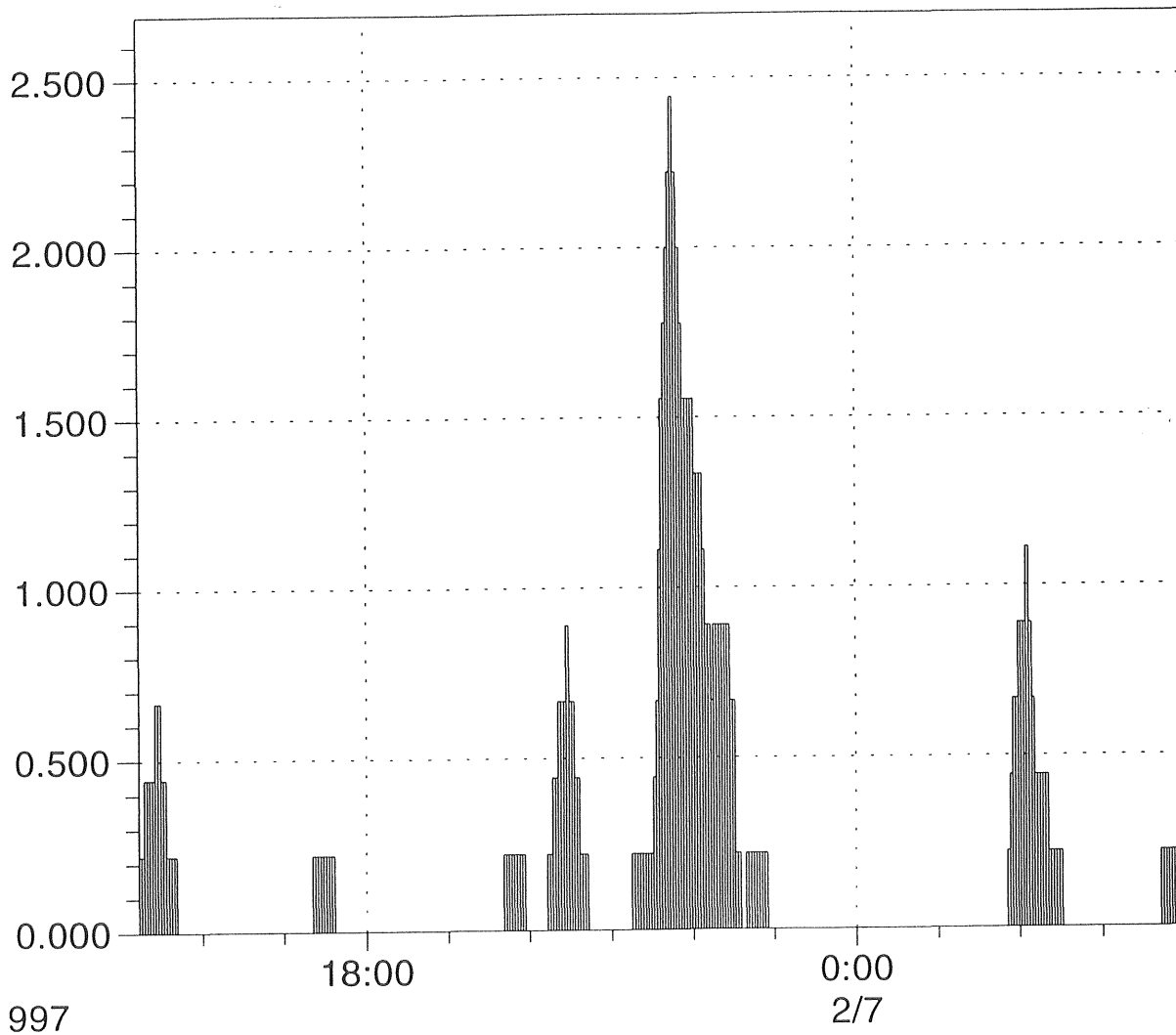
Nederbördeintensitet 21 juni
Regnmängd: 14,3mm
Tid: 22,8h

MY-M/S REGN,



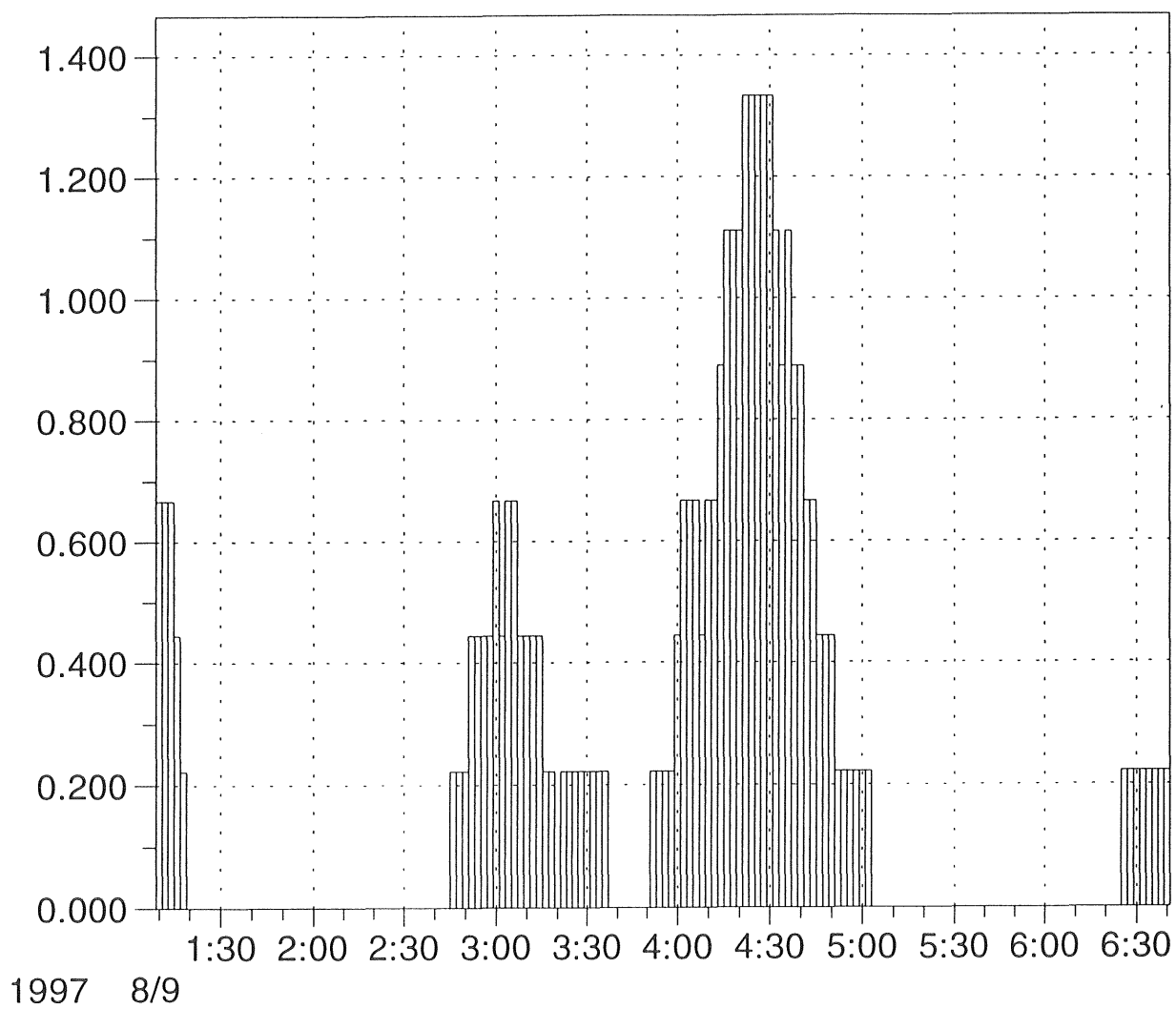
Nederbördeintensitet 24 juni
Regnmängd: 4,9mm
Tid: 3,2h

1Y-M/S REGN,



Nederbördeintensitet 1 juli
Regnmängd: 8,5mm
Tid: 12,8h

MY-M/S REGN,



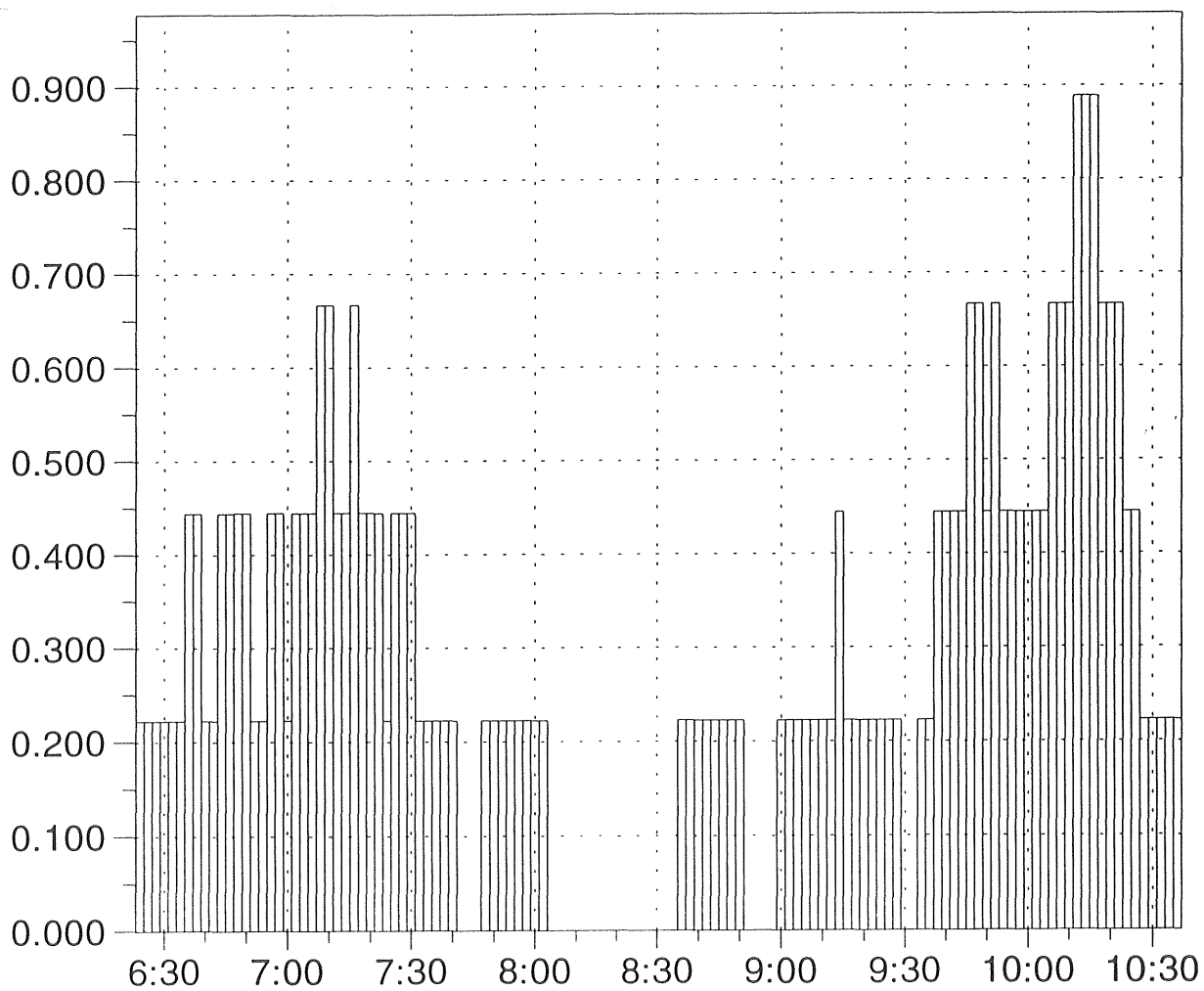
1997 8/9

Nederbördeintensitet 8 september
Regnmängd: 4,6mm
Tid: 5,5h

C5



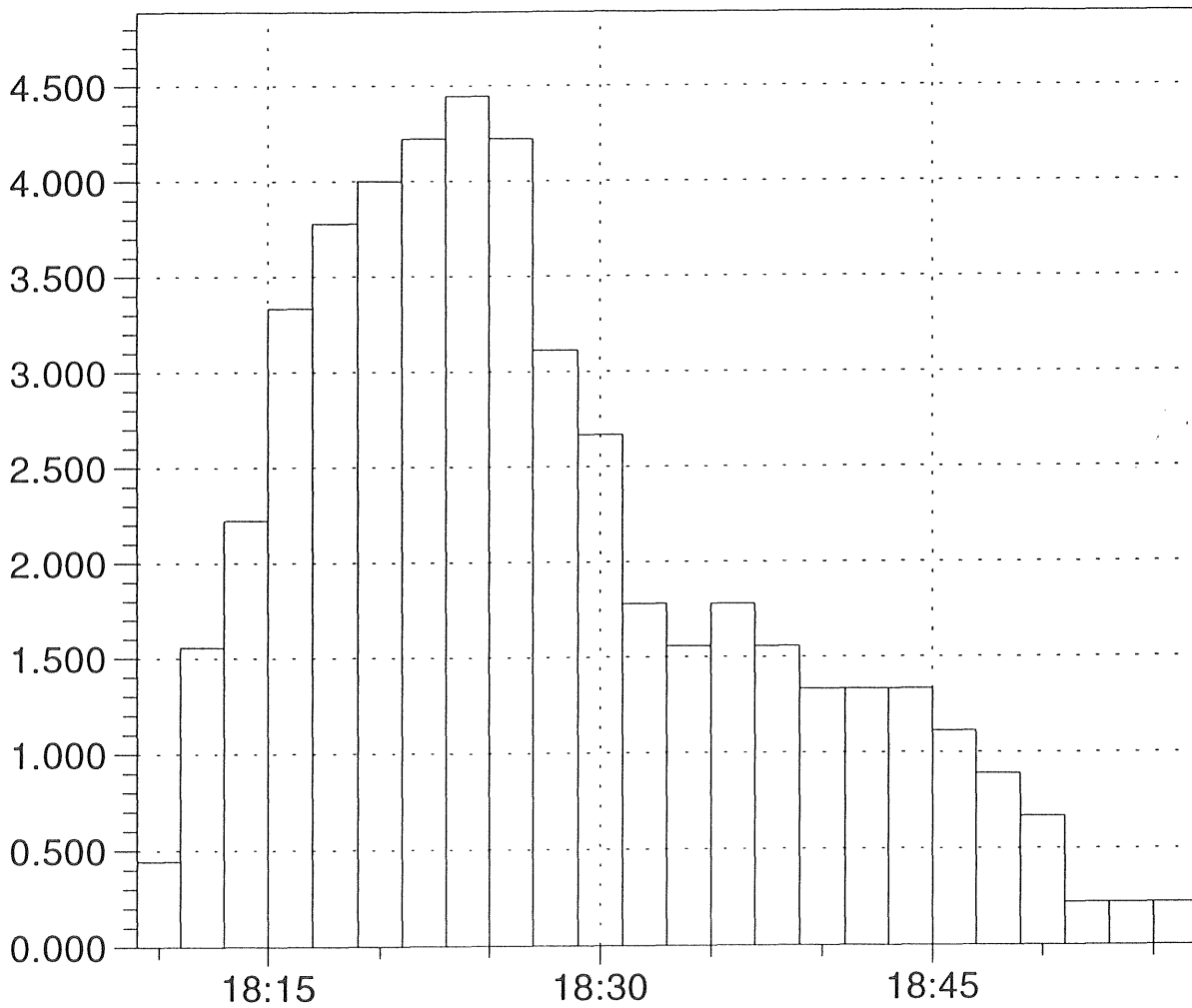
Y-M/S REGN,



1997 12/9

Nederbördeintensitet 12 september
Regnmängd: 4,5mm
Tid: 4,2h

MY-M/S REGN,



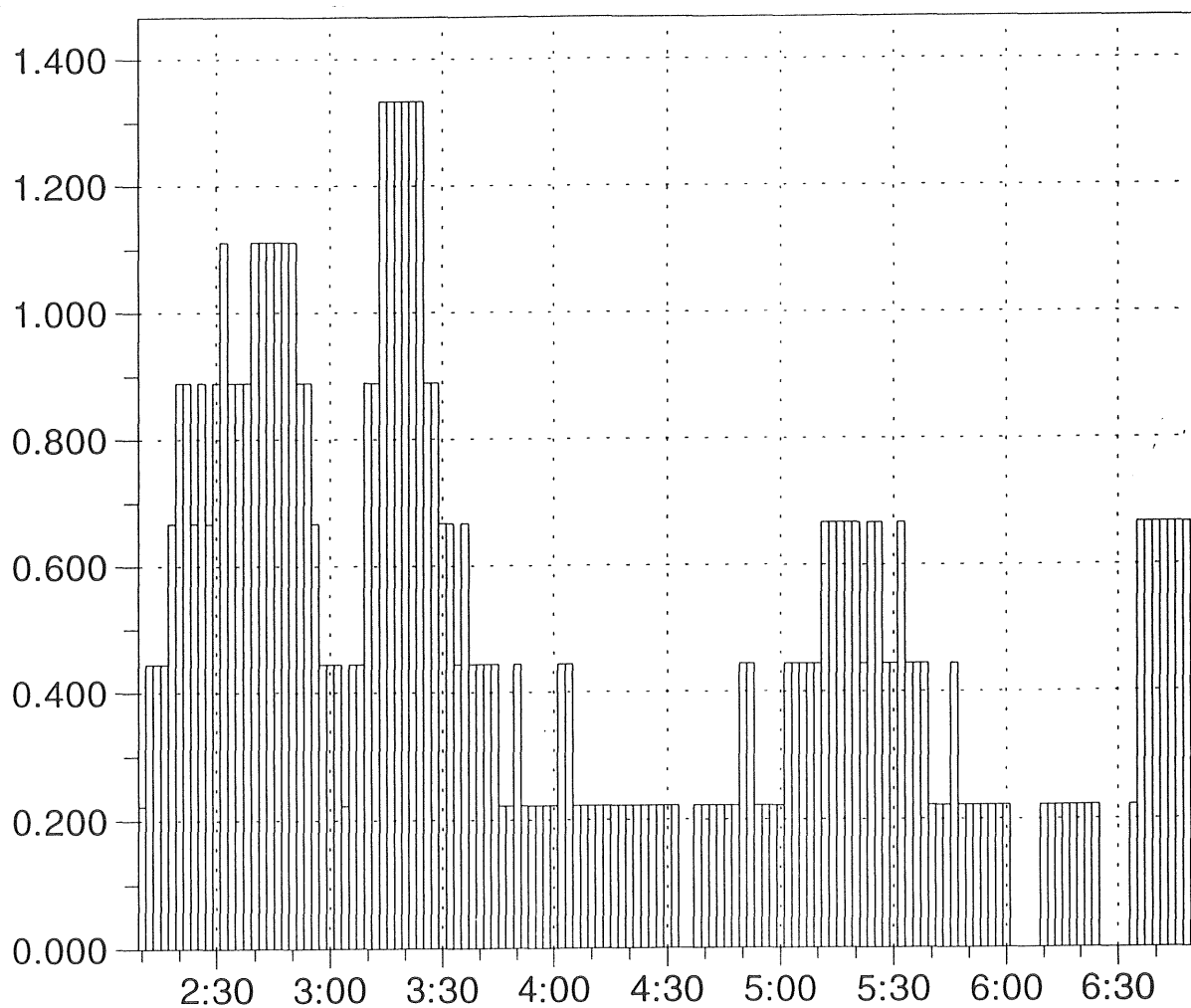
1997 22/8

Nederbördeintensitet 22 augusti
Regnmängd: 5,8mm
Tid: 0,8h

C7



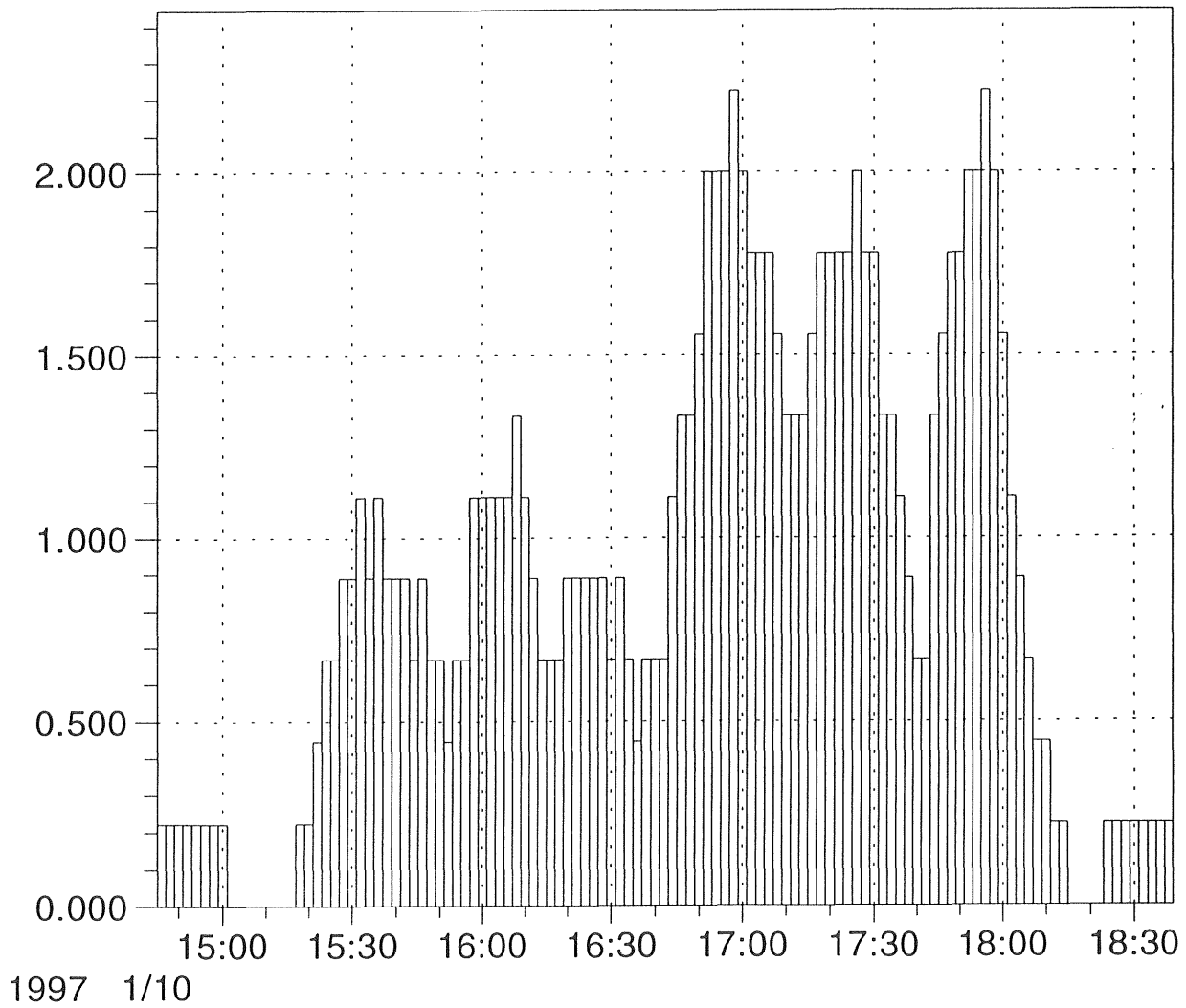
NY-M/S REGN,



1997 17/9

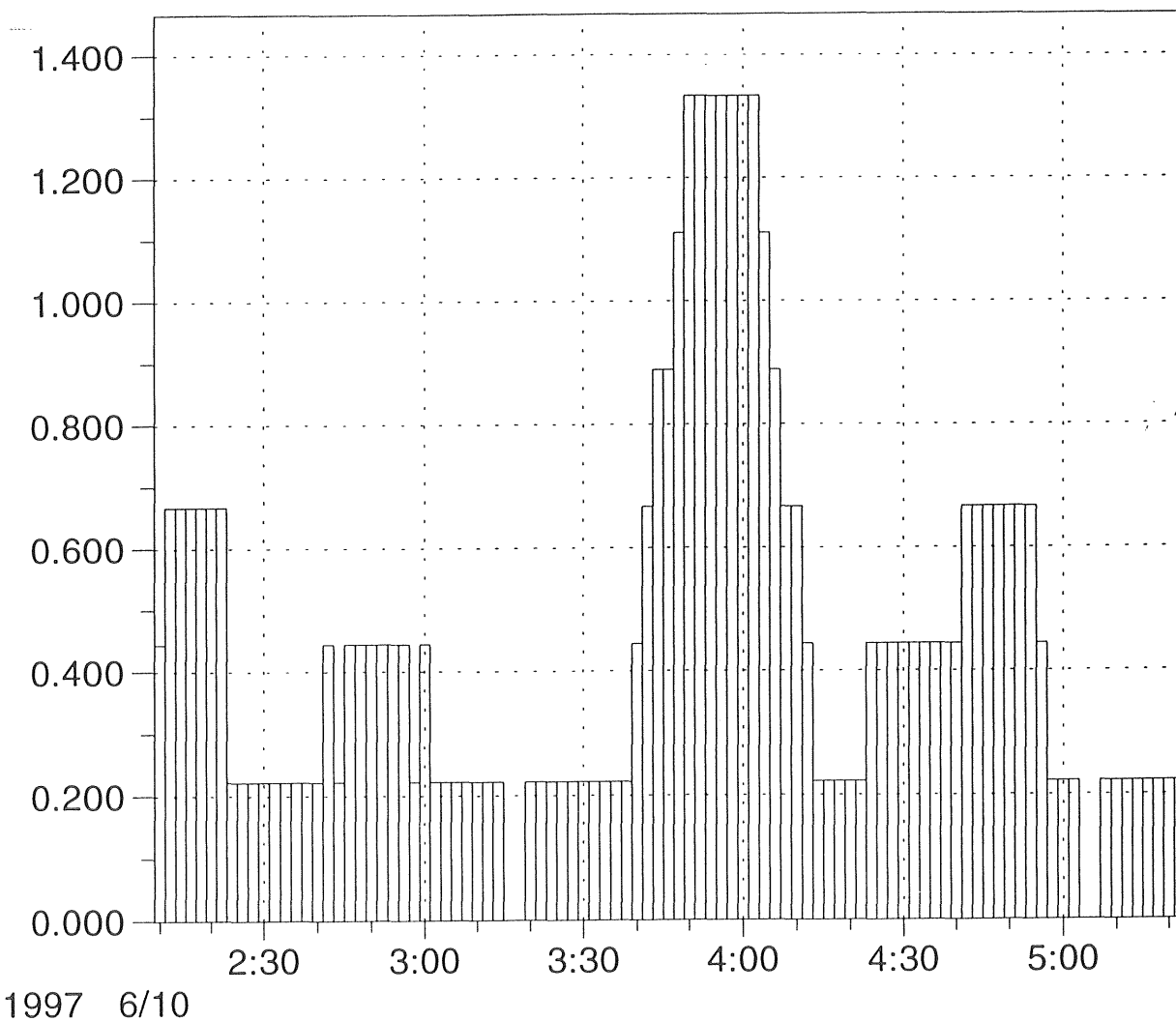
Nederbördeintensitet 17 september
Regnmängd: 8,1mm
Tid: 4,7h

MY-M/S REGN,



Nederbördeintensitet 1 oktober
Regnmängd: 12,6mm
Tid: 3,9h

Y-M/S REGN,



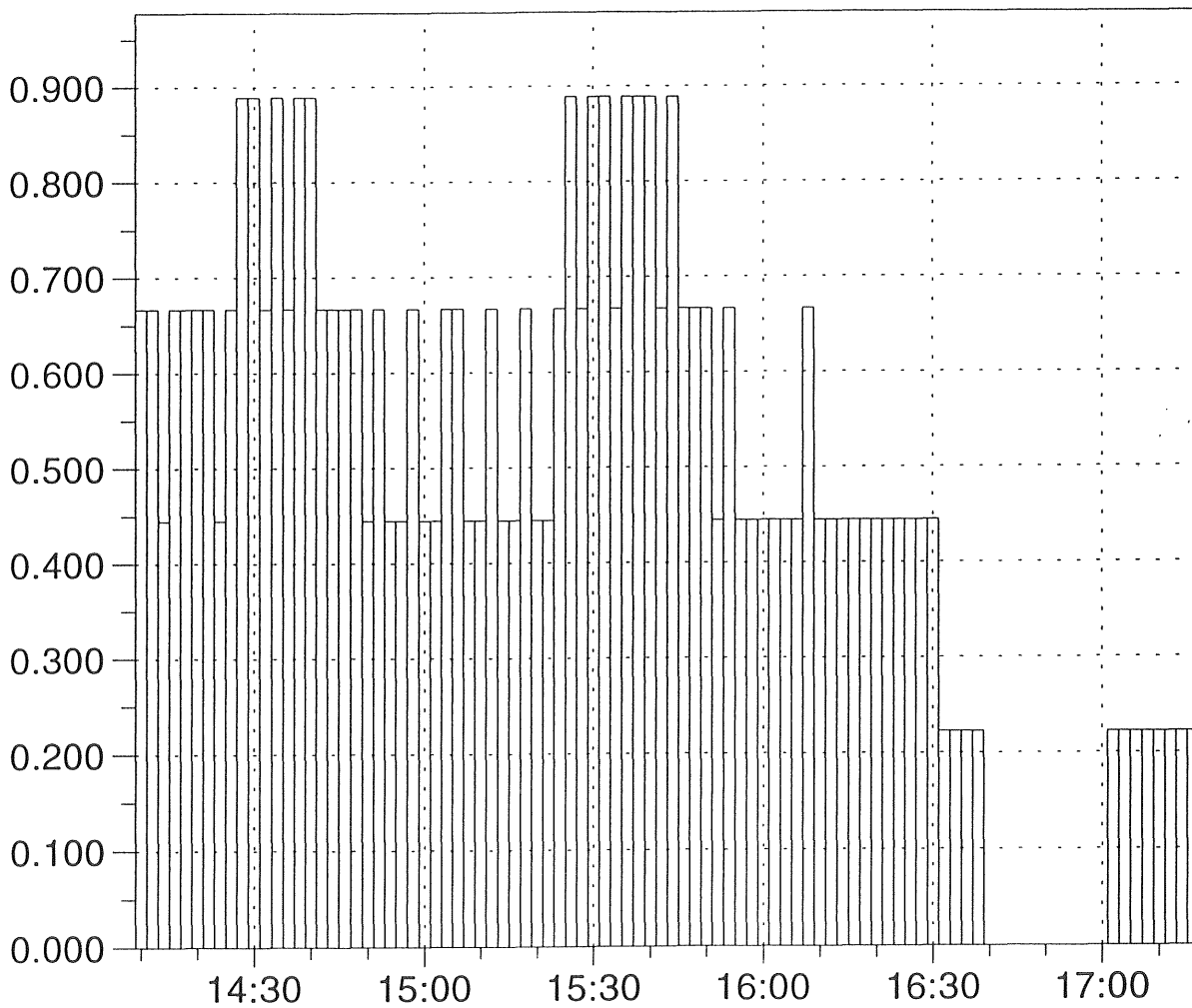
1997 6/10

Nederbördeintensitet 6 oktober
Regnmängd: 5,3mm
Tid: 3,2h

C10



MY-M/S REGN,



1997 10/10

Nederbördeintensitet 10 oktober
Regnmängd: 5,5mm
Tid: 3,1h

C11



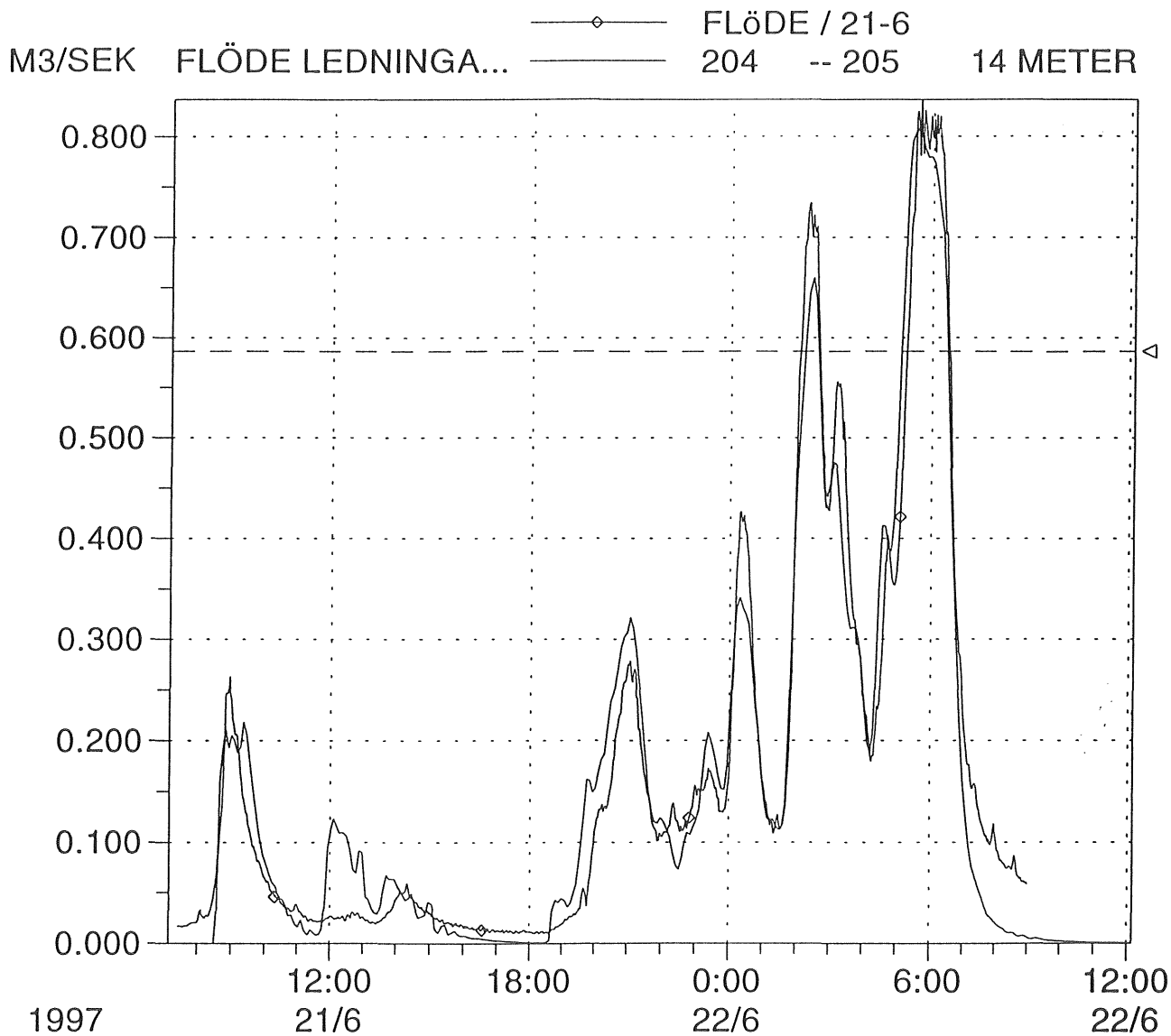
				Flöde			
Flödesdata för nederbördstillfällena.							
	Datum	Start (kl)	Stopp (kl)	Tid (h:min)	Tid (h)	Mängd (m3)	Maxflöde (m3/s)
Kalibrering	21-jun	7:26	9:00	25:34:00	25,6	15840	0,84
	24-jun	8:18	14:00	5:42	5,7	5105	0,87
	01-jul	15:14	7:00	15:46	15,8	6367	1,03
	08-sep	1:10	7:54	6:44	6,7	4845	0,69
	12-sep	6:24	10:48	4:24	4,4	3946	0,63
Verifiering	22-aug	18:10	21:00	2:50	2,8	3155	0,89
	17-sep	2:41	9:01	6:20	6,3	8276	0,69
	01-okt	15:51	20:09	4:18	4,3	8137	0,86
	06-okt	2:59	7:01	4:02	4	5558	0,72
	10-okt	14:37	19:01	4:24	4,4	6073	0,65

Simuleringar							
Data från MOUSE-simuleringarna.							
	Datum	Start (kl)	Stopp (kl)	Tid (h:min)	Tid (h)	Mängd (m3)	Maxflöde (m3/s)
Kalibrering	21-jun	7:09	12:09	29:00:00	29	15760	0,81
	24-jun	8:09	16:09	8:00	8	4285	0,86
	01-jul	14:11	8:10	17:59	18	7777	0,85
	08-sep	1:09	8:09	7:00	7	4276	0,82
	12-sep	6:23	11:22	4:59	5	4486	0,71
Verifiering	22-aug	17:09	0:09	7:00	7	3532	0,9
	17-sep	2:09	11:38	9:29	9,5	8586	0,78
	01-okt	14:09	20:08	5:59	6	8814	0,89
	06-okt	0:09	6:09	6:00	6	5224	0,81
	10-okt	14:09	0:08	9:59	10	5896	0,76

Jämförelser

Jämförelser av tid, mängd och maxflöde mellan MOUSE-simuleringarna och det uppmätta flödet.

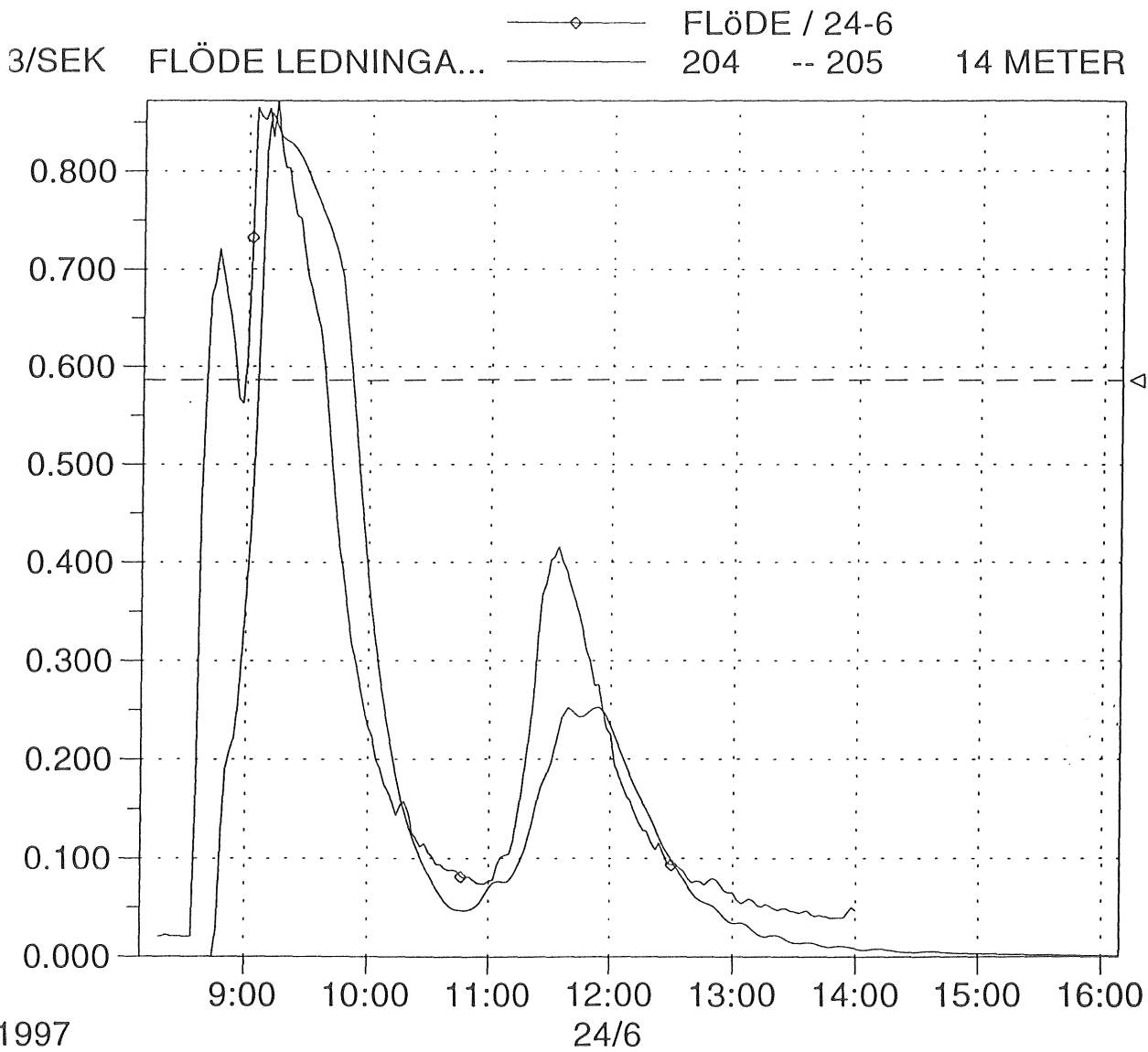
		Tid (h)	Mängd (m3)	Maxflöde (m3/s)
21-jun	Nederbörd	22,8		
	Flöde	25,6	15840	0,84
	Simulering	29	15760	0,81
24-jun	Nederbörd	3,2		
	Flöde	5,7	5105	0,87
	Simulering	8	4285	0,86
01-jul	Nederbörd	12,8		
	Flöde	15,8	6367	1,03
	Simulering	18	7777	0,85
08-sep	Nederbörd	5,5		
	Flöde	6,7	4845	0,69
	Simulering	7	4276	0,82
12-sep	Nederbörd	4,2		
	Flöde	4,4	3946	0,63
	Simulering	5	4486	0,71
22-aug	Nederbörd	0,8		
	Flöde	2,8	3155	0,89
	Simulering	7	3532	0,9
17-sep	Nederbörd	4,7		
	Flöde	6,3	8276	0,69
	Simulering	9,5	8586	0,78
01-okt	Nederbörd	3,9		
	Flöde	4,3	8137	0,86
	Simulering	6	8814	0,86
06-okt	Nederbörd	3,2		
	Flöde	4	5558	0,72
	Simulering	6	5224	0,81
10-okt	Nederbörd	3,1		
	Flöde	4,4	6073	0,68
	Simulering	10	5896	0,76



21 juni Nederbördsmängd: 14,3mm Torrperiod: 13h
 Mätning Mängd: 15840m3 Maxflöde: 0,84m3/s Tid: 25,6h
 Simulering Mängd: 15760m3 Maxflöde: 0,81m3/s Tid: 29,0h

DATAFIL : JARBROT.SVÄDNINGSNÄTSMODELL, DYNAMISK
 RESULTATFIL : 21-6.PRF BERÄKNAT : 11-DEC-1997, 17:26

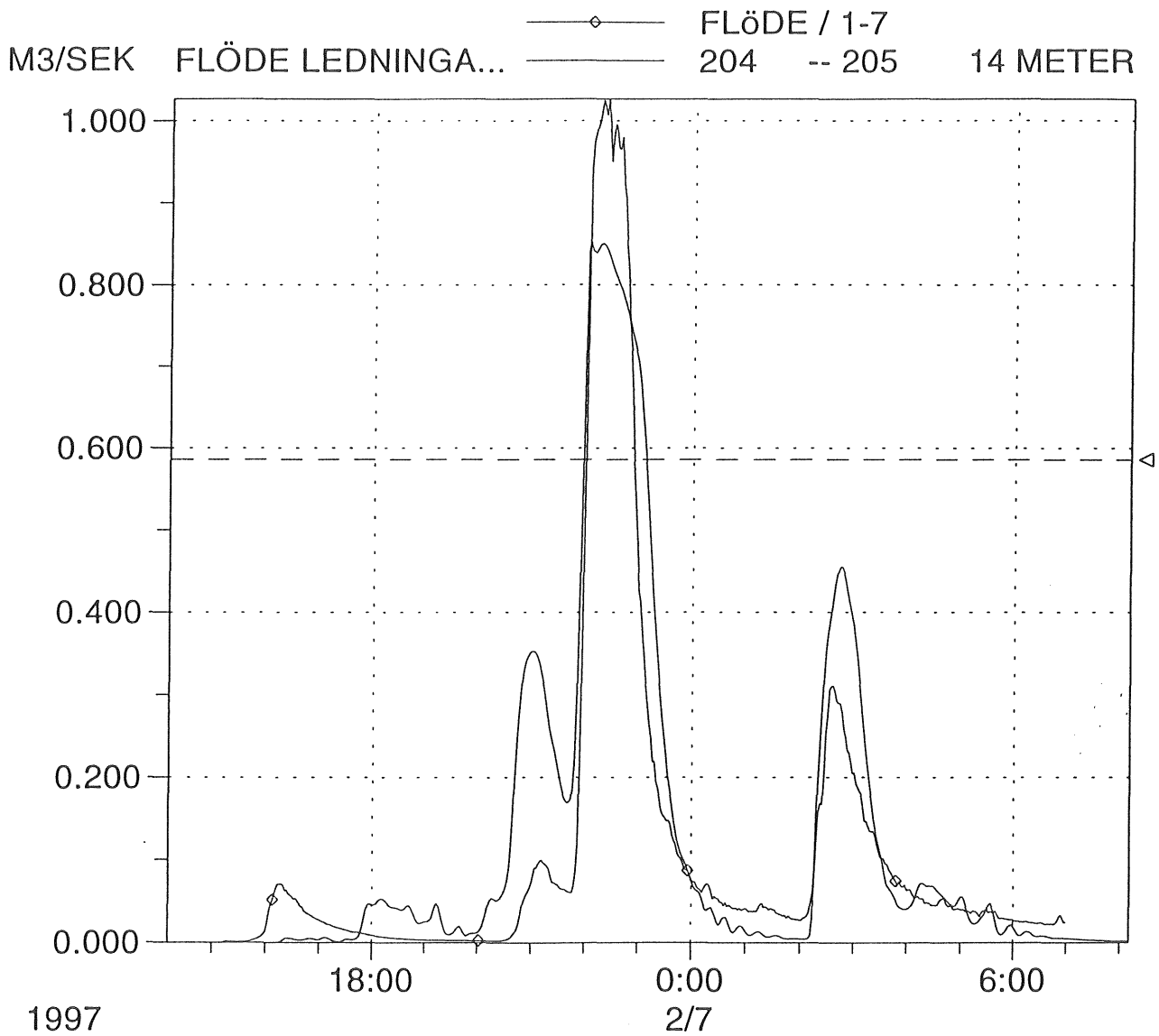




24 juni Nederbörd: 4,9mm Torrperiod: 19h
 Mätning Mängd: 5105m³ Maxflöde: 0,87m³/s Tid: 5,7h
 Simulering Mängd: 4285m³ Maxflöde: 0,86m³/s Tid: 8,0h

DATAFIL : JARBROT.SVEBODNINGSNÄTSMODELL, DYNAMISK
 RESULTATFIL : 24-6.PRF BERÄKNAT : 11-DEC-1997, 16:14

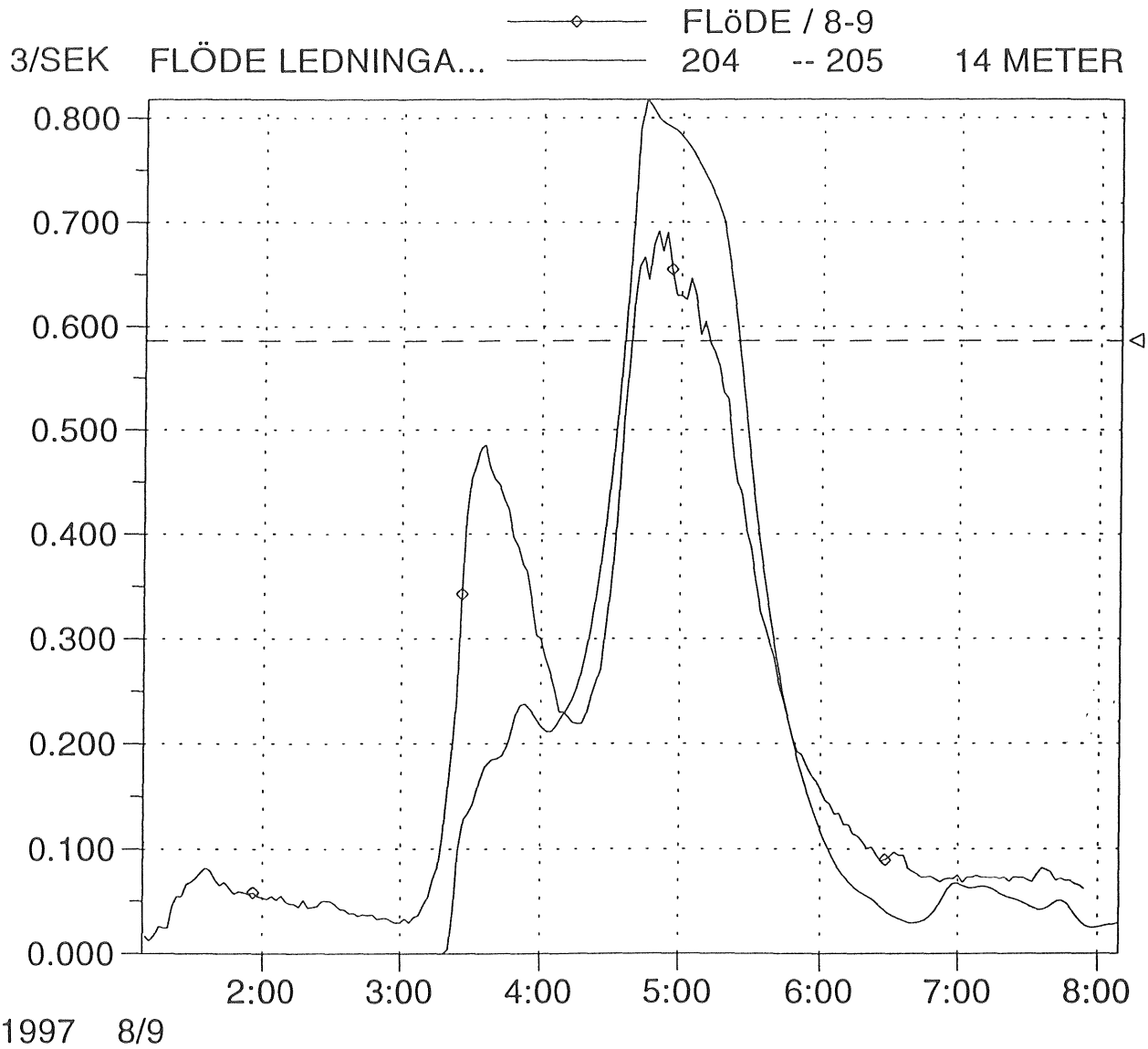




1 juli Nederbörd: 8,5mm Torrperiod: 33h
 Mätning Mängd: 6367m3 Maxflöde: 1,03m3/s Tid: 15,8h
 Simulering Mängd: 7777m3 Maxflöde: 0,85m3/s Tid: 18,0h

DATAFIL : JARBROT.SVÄDNINGSNÄTSMODELL, DYNAMISK
 RESULTATFIL : 1-7.PRF BERÄKNAT : 11-DEC-1997, 16:25

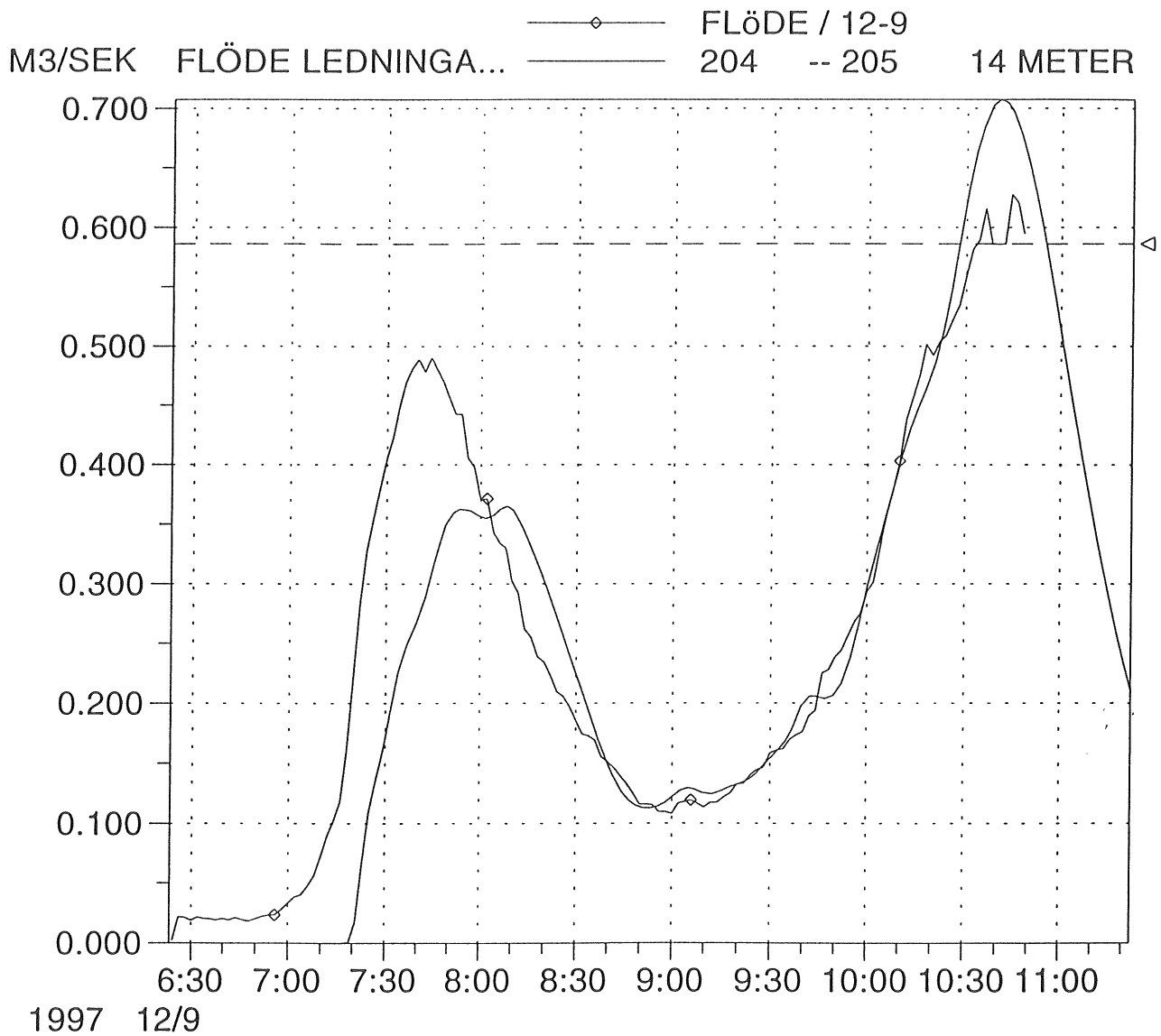




8 september Nederbörd: 4,6mm Torrperiod: 17h
 Mätning Mängd: 4845m³ Maxflöde: 0,69m³/s Tid: 6,7h
 Simulering Mängd: 4276m³ Maxflöde: 0,82m³/s Tid: 7,0h

TAFIL : JARBROT.SVEPNINGSNÄTSMODELL, DYNAMISK
 RESULTATFIL : 8-9.PRF BERÄKNAT : 11-DEC-1997, 16:59

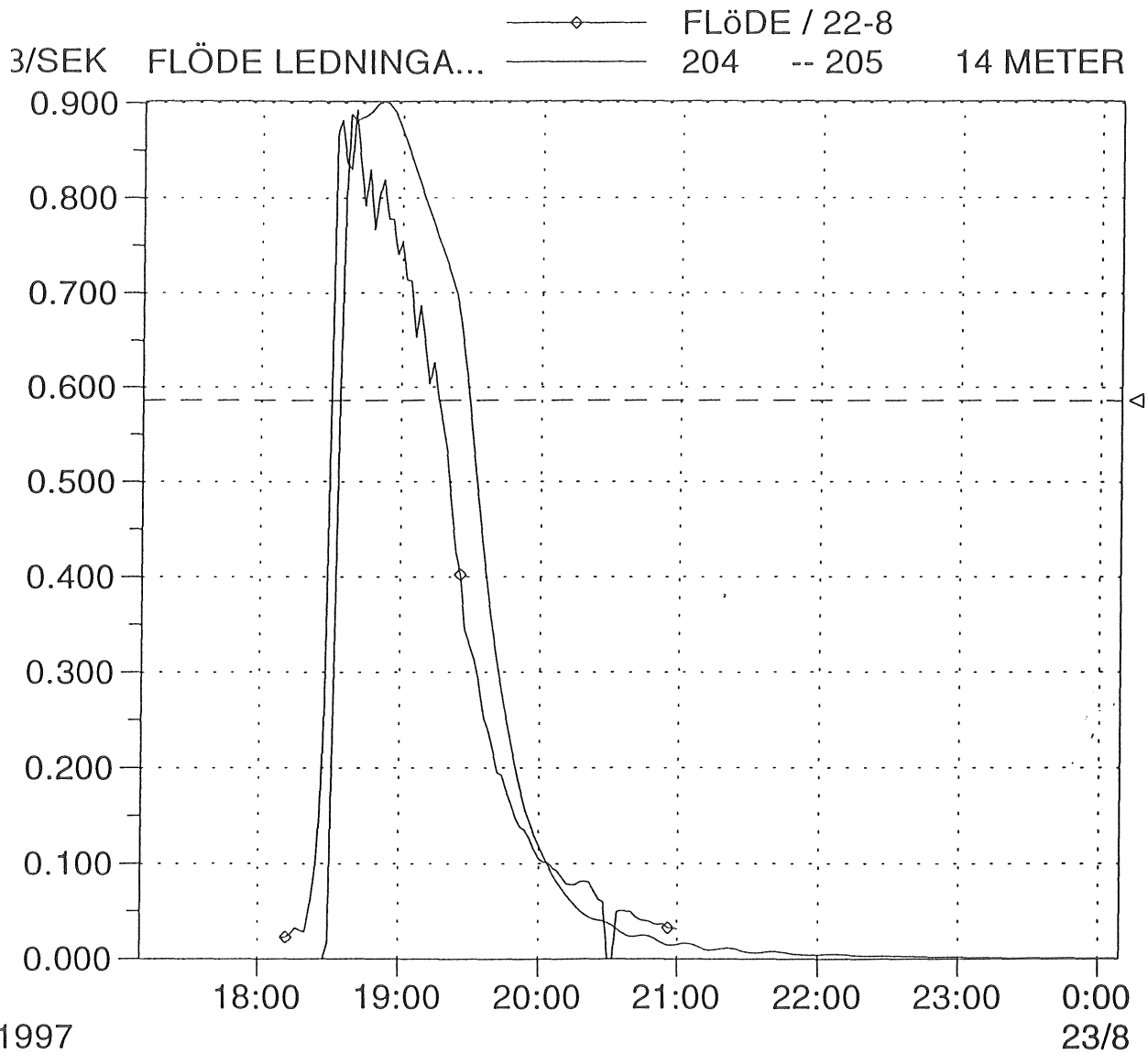




12 september Nederbörd: 4,5mm Torrperiod: 88h
 Mätning Mängd: 3946m³ Maxflöde: 0,63m³/s Tid: 4,4h
 Simulering Mängd: 4486m³ Maxflöde: 0,71m³/s Tid: 5,0h

DATAFIL : JARBROT.SVEFNINGSNÄTSMODELL, DYNAMISK
 RESULTATFIL : 12-9.PRF BERÄKNAT : 11-DEC-1997, 16:52



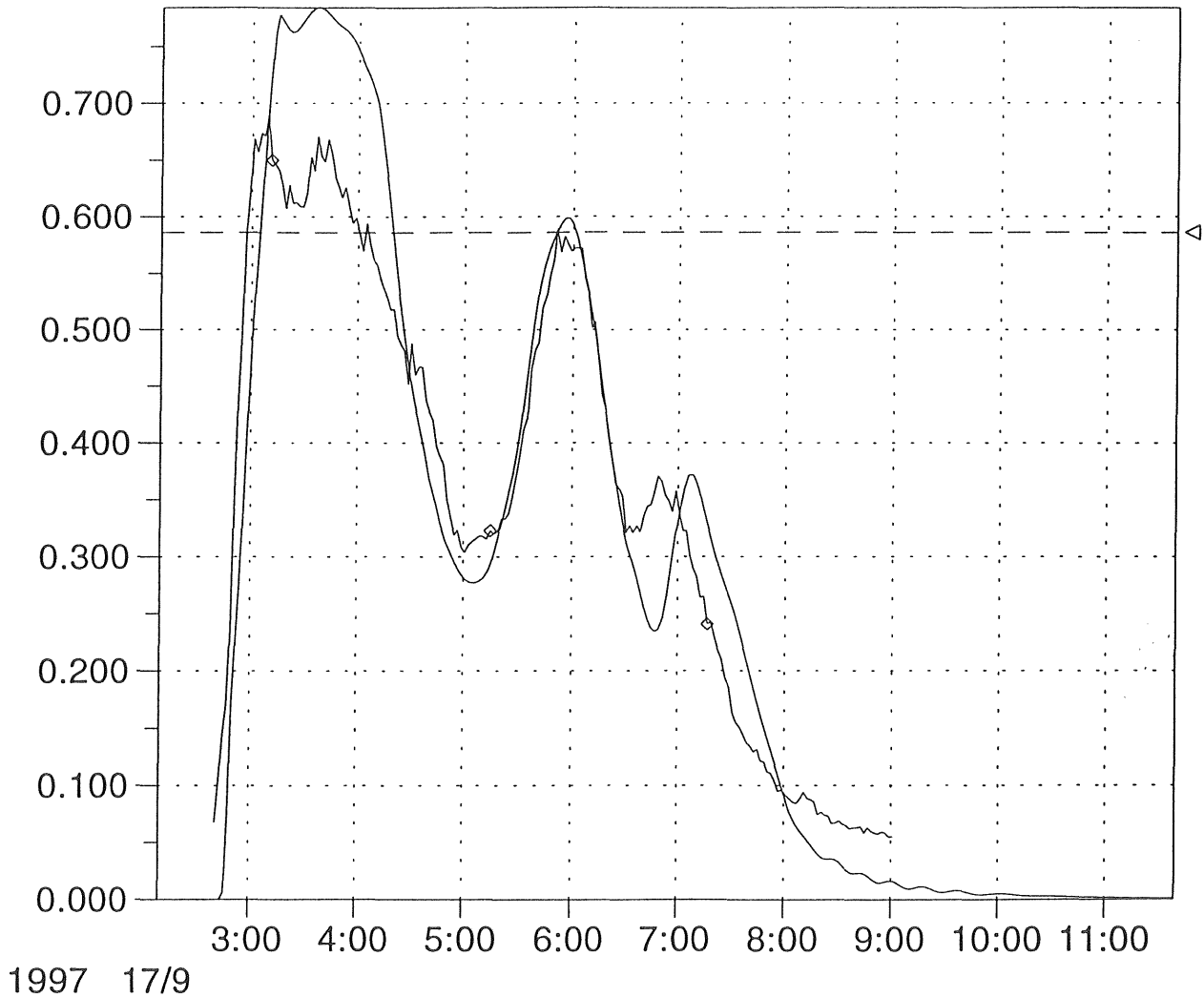


22 augusti Nederbörd: 5,8mm Torrperiod: 33h
 Mätning Mängd: 3155m³ Maxflöde: 0,89m³/s Tid: 2,8h
 Simulering Mängd: 3532m³ Maxflöde: 0,90m³/s Tid: 7,0h

RESULTATFIL : JARNBROT.SVEBODNINGSNÄTSMODELL, DYNAMISK
 RESULTATFIL : 22-8.PRF BERÄKNAT : 16-DEC-1997, 15:10



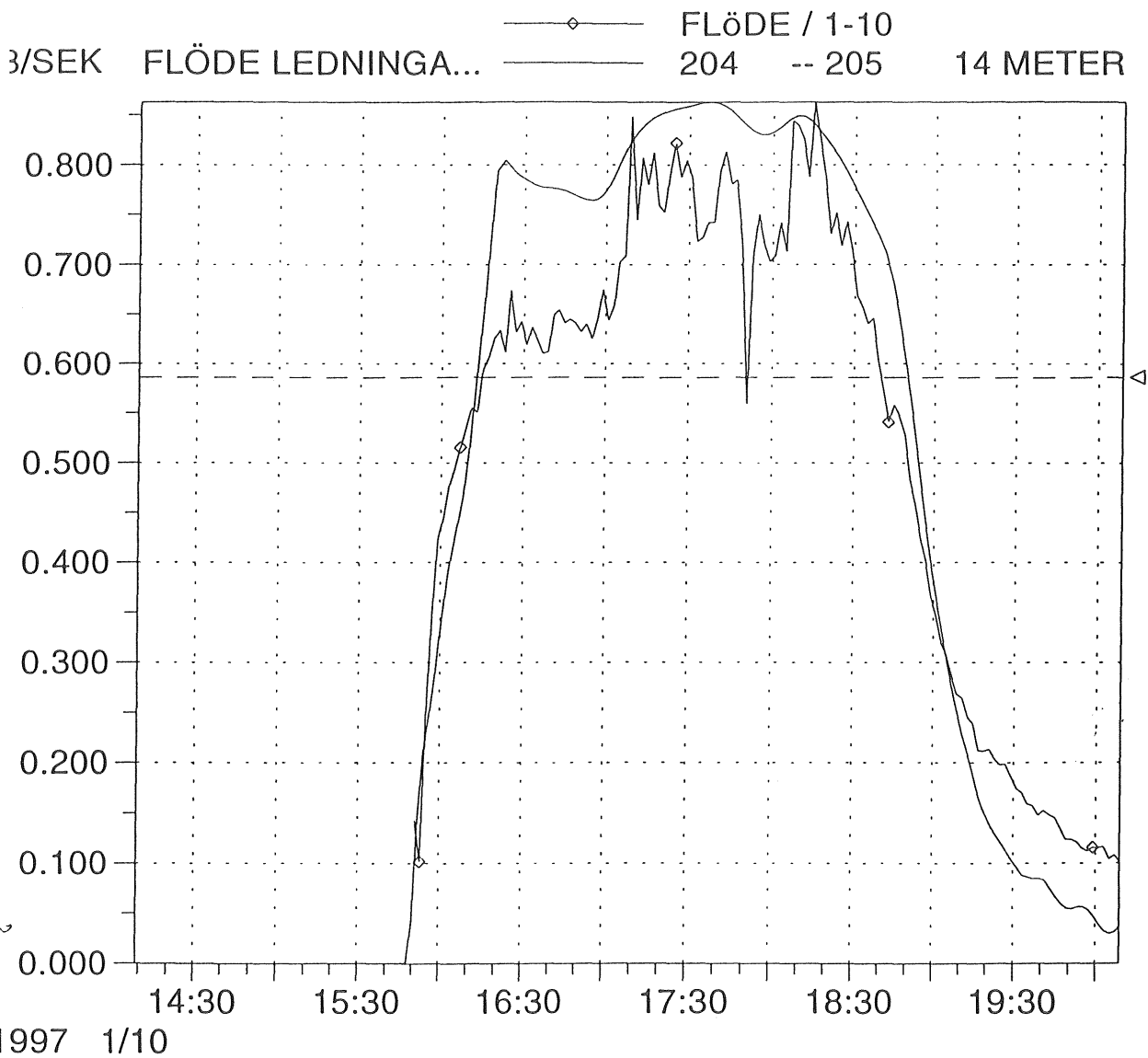
M3/SEK FLÖDE LEDNINGA... FLÖDE / 17-9 204 -- 205 14 METER



17 september Nederbörd: 8,1mm Torrperiod: 67h
 Mätning Mängd: 8276m3 Maxflöde: 0,69m3/s Tid: 6,3h
 Simulering Mängd: 8586m3 Maxflöde: 0,78m3/s Tid: 9,5h

DATAFIL : JARBROT.SVÄDNINGSNÄTSMODELL, DYNAMISK
 RESULTATFIL : 17-9.PRF BERÄKNAT : 16-DEC-1997, 15:16

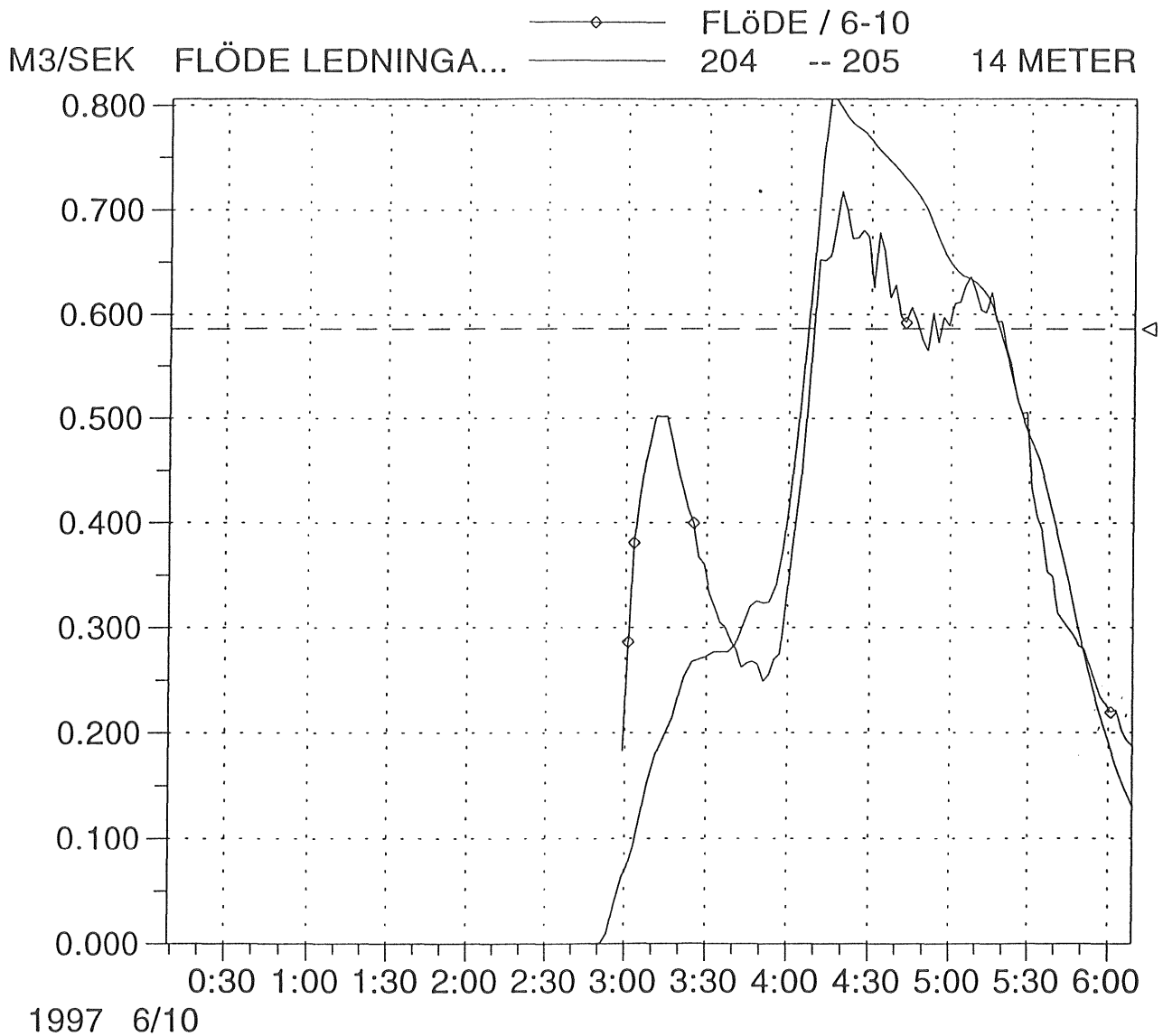




1 oktober	Nederbörd: 12,6mm	Torrperiod: 41h
Mätning	Mängd: 8137m ³	Maxflöde: 0,86m ³ /s Tid: 4,3h
Simulering	Mängd: 8814m ³	Maxflöde: 0,89m ³ /s Tid: 6,0h

AFIL : JARNBROT.SVEVNINGSNÄTSMODELL, DYNAMISK
 ULTATFIL : 1-10.PRF BERÄKNAT : 16-DEC-1997, 15:22

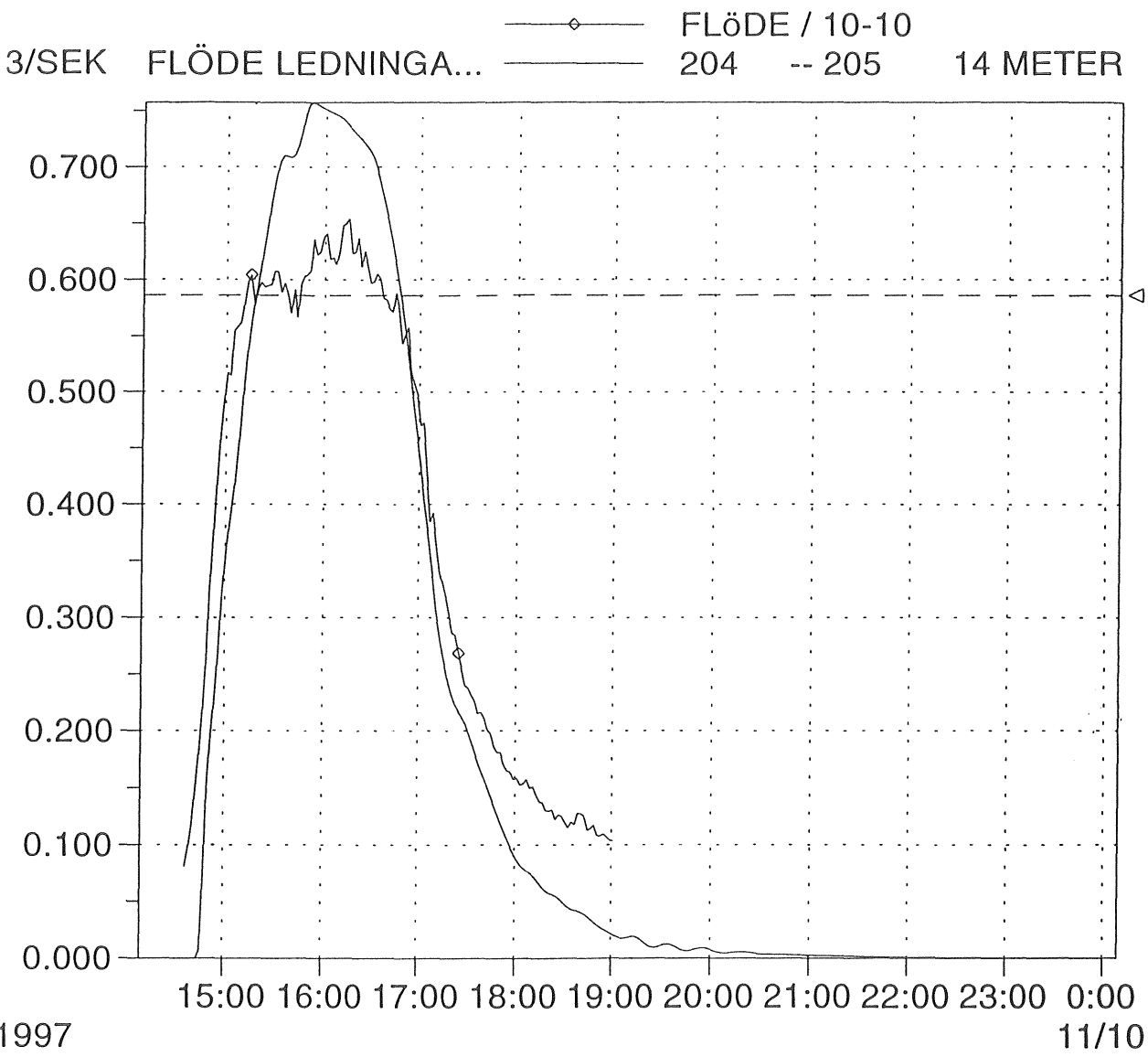




6 oktober Nederbörd: 5,3mm Torrperiod: 48h
 Mätning Mängd: 5558m³ Maxflöde: 0,72m³/s Tid: 4,0h
 Simulering Mängd: 5224m³ Maxflöde: 0,81m³/s Tid: 6,0h

DATAFIL : JARBROT.SVÄDNINGSNÄTSMODELL, DYNAMISK
 RESULTATFIL : 6-10.PRF BERÄKNAT : 16-DEC-1997, 15:27





10 oktober Nederbörd: 5,5mm Torrperiod: 14h
 Mätning Mängd: 6073m³ Maxflöde: 0,65m³/s Tid: 4,4h
 Simulering Mängd: 5896m³ Maxflöde: 0,76m³/s Tid: 10,0h

DATAFIL : JARBROT.SVÄDNINGSNÄTSMODELL, DYNAMISK
 RESULTATFIL : 10-10.PRF BERÄKNAT : 16-DEC-1997, 15:33



"6700 IN JB 0905"

"Sample Ev Sample"

"Bottle #",05,"Mon", "08 Sep 1997", "01:26",35681.05972
 "Bottle #",06,"Mon", "08 Sep 1997", "01:27",35681.06042
 "Bottle #",06,"Mon", "08 Sep 1997", "01:43",35681.07153
 "Bottle #",06,"Mon", "08 Sep 1997", "01:48",35681.07500
 "Bottle #",07,"Mon", "08 Sep 1997", "01:49",35681.07569
 "Bottle #",07,"Mon", "08 Sep 1997", "01:50",35681.07639
 "Bottle #",07,"Mon", "08 Sep 1997", "03:13",35681.13403
 "Bottle #",08,"Mon", "08 Sep 1997", "03:39",35681.15208
 "Bottle #",08,"Mon", "08 Sep 1997", "04:02",35681.16806
 "Bottle #",08,"Mon", "08 Sep 1997", "04:33",35681.18958
 "Bottle #",09,"Mon", "08 Sep 1997", "04:47",35681.19931
 "Bottle #",09,"Mon", "08 Sep 1997", "04:59",35681.20764
 "Bottle #",09,"Mon", "08 Sep 1997", "05:13",35681.21736
 "Bottle #",10,"Mon", "08 Sep 1997", "05:30",35681.22917
 "Bottle #",10,"Mon", "08 Sep 1997", "06:10",35681.25694
 "Bottle #",10,"Mon", "08 Sep 1997", "07:54",35681.32917
 "Bottle #",11,"Mon", "08 Sep 1997", "07:57",35681.33125
 "Bottle #",11,"Mon", "08 Sep 1997", "07:59",35681.33264
 "Bottle #",11,"Mon", "08 Sep 1997", "08:00",35681.33333
 "Bottle #",12,"Mon", "08 Sep 1997", "08:01",35681.33403
 "Bottle #",12,"Mon", "08 Sep 1997", "08:02",35681.33472
 "Bottle #",12,"Mon", "08 Sep 1997", "08:03",35681.33542
 "Bottle #",13,"Mon", "08 Sep 1997", "08:05",35681.33681
 "Bottle #",13,"Mon", "08 Sep 1997", "08:13",35681.34236

Provtagningsstillfälle

"6700 IN JB 0908"

"Sample Ev Sample"

"Bottle #",04,"Fri","12 Sep 1997","07:07",35685.29653
"Bottle #",05,"Fri","12 Sep 1997","07:08",35685.29722
"Bottle #",05,"Fri","12 Sep 1997","07:38",35685.31806
"Bottle #",05,"Fri","12 Sep 1997","07:55",35685.32986
"Bottle #",06,"Fri","12 Sep 1997","08:23",35685.34931
"Bottle #",06,"Fri","12 Sep 1997","09:22",35685.39028
"Bottle #",06,"Fri","12 Sep 1997","10:02",35685.41806
"Bottle #",07,"Fri","12 Sep 1997","10:22",35685.43194
"Bottle #",07,"Fri","12 Sep 1997","10:43",35685.44653
"Bottle #",07,"Fri","12 Sep 1997","10:53",35685.45347

"6700 IN JB 0930"

"Sample Ev Sample"

"Bottle #",01,"Wed", "01 Oct 1997", "15:49", 35704.65903
 "Bottle #",01,"Wed", "01 Oct 1997", "16:11", 35704.67431
 "Bottle #",01,"Wed", "01 Oct 1997", "16:24", 35704.68333
 "Bottle #",02,"Wed", "01 Oct 1997", "16:37", 35704.69236
 "Bottle #",02,"Wed", "01 Oct 1997", "16:50", 35704.70139
 "Bottle #",02,"Wed", "01 Oct 1997", "17:03", 35704.71042
 "Bottle #",03,"Wed", "01 Oct 1997", "17:14", 35704.71806
 "Bottle #",03,"Wed", "01 Oct 1997", "17:25", 35704.72569
 "Bottle #",03,"Wed", "01 Oct 1997", "17:36", 35704.73333
 "Bottle #",04,"Wed", "01 Oct 1997", "17:46", 35704.74028
 "Bottle #",04,"Wed", "01 Oct 1997", "17:58", 35704.74861
 "Bottle #",04,"Wed", "01 Oct 1997", "18:09", 35704.75625
 "Bottle #",05,"Wed", "01 Oct 1997", "18:19", 35704.76319
 "Bottle #",05,"Wed", "01 Oct 1997", "18:31", 35704.77153
 "Bottle #",05,"Wed", "01 Oct 1997", "18:44", 35704.78056
 "Bottle #",06,"Wed", "01 Oct 1997", "19:04", 35704.79444
 "Bottle #",06,"Wed", "01 Oct 1997", "19:44", 35704.82222
 "Bottle #",06,"Wed", "01 Oct 1997", "21:02", 35704.87639
 "Bottle #",07,"Wed", "01 Oct 1997", "21:07", 35704.87986
 "Bottle #",07,"Wed", "01 Oct 1997", "21:12", 35704.88333
 "Bottle #",07,"Wed", "01 Oct 1997", "21:15", 35704.88542
 "Bottle #",08,"Wed", "01 Oct 1997", "21:17", 35704.88681
 "Bottle #",08,"Wed", "01 Oct 1997", "21:20", 35704.88889
 "Bottle #",08,"Wed", "01 Oct 1997", "21:22", 35704.89028
 "Bottle #",09,"Wed", "01 Oct 1997", "21:25", 35704.89236

Provtagningsstillfälle

"6700 IN JB 1005"

"Sample Ev Sample"

"Bottle #",01,"Mon", "06 Oct 1997", "02:58", 35709.12361
"Bottle #",01,"Mon", "06 Oct 1997", "03:17", 35709.13681
"Bottle #",01,"Mon", "06 Oct 1997", "03:41", 35709.15347
"Bottle #",02,"Mon", "06 Oct 1997", "04:07", 35709.17153
"Bottle #",02,"Mon", "06 Oct 1997", "04:20", 35709.18056
"Bottle #",02,"Mon", "06 Oct 1997", "04:32", 35709.18889
"Bottle #",03,"Mon", "06 Oct 1997", "04:46", 35709.19861
"Bottle #",03,"Mon", "06 Oct 1997", "05:00", 35709.20833
"Bottle #",03,"Mon", "06 Oct 1997", "05:13", 35709.21736
"Bottle #",04,"Mon", "06 Oct 1997", "05:28", 35709.22778
"Bottle #",04,"Mon", "06 Oct 1997", "05:53", 35709.24514
"Bottle #",04,"Mon", "06 Oct 1997", "06:46", 35709.28194
"Bottle #",05,"Mon", "06 Oct 1997", "07:10", 35709.29861
"Bottle #",05,"Mon", "06 Oct 1997", "07:11", 35709.29931
"Bottle #",05,"Mon", "06 Oct 1997", "07:12", 35709.30000
"Bottle #",06,"Mon", "06 Oct 1997", "07:13", 35709.30069
"Bottle #",06,"Mon", "06 Oct 1997", "07:16", 35709.30278
"Bottle #",06,"Mon", "06 Oct 1997", "07:29", 35709.31181



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium
REPORT issued by an Accredited laboratory

0045

Lackarebäckverket

Adress Telefon Telefax
Box 123 031-87 19 88 031-87 72 75
424 23 Angered

Analysmetod enligt laboratoriets kvalitetshandbok bilaga I (Metodförteckning).

Provtagningsdatum	Ankomstdatum	Utskriftsdatum	Rapport nr.	Sid
970908	970908	971031	26.181	1 (

DAGVATTEN
JÄRNBROTT SED.BASSÄNG
Provtagare: CN
Uppdragsgivare: PJ

1. In
2. Ut
3. In filtrat
4. Ut filtrat

Substansmängd i 1 l vatten	1	2	3	4	5	6	7
Suspenderade ämnen	mg 10	12					
Susp ämnens glödg rest	mg <5	6					
Totalnitrogen	mgN 0.92	1.5					
Fosfatfosfor	µgP 35	47					
Bly	µgPb 4	4	<3	<3			
Kadmium	µgCd 0.4	0.1	0.3	0.1			
Koppar	µgCu 31	22	18	15			
Zink	mgZn 0.04	0.02	0.02	<0.02			

Instrumentvärde Bly Pkt 3 och 4; 1.4 och 0.9 µgPb
Instrumentvärde Zink Pkt 4; 0.00 mgZn
Susp ämnens glödg rest pkt 1; 4 mg
Susp ämnens glödg rest ej ackrediterad metod.
Ersätter tidigare utskrivna rapporter.

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorier uppfyller kraven i SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989) och ISO/IEC Guide 25 (1990:E).

Denna rapport får endast återges i sin helhet om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.

Uppgifter om metod och mätosäkerhet kan erhållas på begäran.

Ansvarig undersökare

Ingvald Aronsson



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium
REPORT issued by an Accredited Laboratory

0045

Lackarebäckverket

Adress Telefon Telefax
Box 123 031-87 19 86 031-87 72 75
424 23 Angered

Analysmetod enl laboratoriets kvalitetshandbok bilaga I (Metodförteckning).

Provtagningsdatum	Ankomstdatum	Utskriftsdatum	Rapport nr.	Sid
970912	970912	971031	26.182	1 (1)

DAGVATTEN

JÄRNBROTT SED. BASSÄNG

Provtagare: CN

Uppdragsgivare: PJ

1. In
2. Ut

Substansmängd i 1 l vatten	1	2	3	4	5	6	7
Suspenderade ämnen	mg 24	<5					
Susp ämnens glödg rest	mg 10	<5					
Totalnitrogen	mgN 3.3	1.3					
Fosfatfosfor	µgP 56	41					
Bly	µgPb 7	3					
Kadmium	µgCd 0.3	0.1					
Koppar	µgCu 52	19					
Zink	mgZn 0.09	0.03					

Susp ämnen Pkt 2; 4 mg
Susp ämnens glödg rest Pkt 2; 0 mg
Susp ämnens glödg rest ej ackrediterad metod.
Ersätter tidigare utskriven rapport.

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven i SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989) och ISO/IEC Guide 25 (1990:E).

Denna rapport får endast läsas i sin helhet om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.

Uppgifter om metod och måttosäkerhet kan erhållas på begäran.

Ansvarig undersökare

Ingabill Aronsson



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium
REPORT issued by an Accredited laboratory

0045

Lackarebäckverket

Adress Telefon Telefax
Box 123 031-87 19 88 031-87 72 75
424 23 Angered

Analysmetod enligt laboratoriets kvalitetshandbok bilaga I (Metodförteckning).

Provtagningsdatum	Ankomstdatum	Utskriftsdatum	Rapport nr.	Sida
971001	971001	971104	26.309	1 (1)

DAGVATTEN

JÄRNBROTT

Provtagare: CN

Uppdragsgivare: PJ

1. In
2. Ut
3. In filtrat
4. Ut filtrat

Substansmängd i 1 l vatten	1	2	3	4	5	6	7
Suspenderade ämnen	mg 97	38					
Susp ämnens glödg rest	mg 72	25					
Totalnitrogen	mgN 1.4	1.4					
Fosfatfosfor	µgP 106	53					
Bly	µgPb 14	9	<3	<3			
Kadmium	µgCd 0.4	0.4	0.3	0.3			
Koppar	µgCu 46	31	18	18			
Zink	mgZn 0.14	0.08	0.06	0.06			

Instrumentvärde Bly Pkt 3 och 4; 1.3 och 1.0 µgPb.
Ersätter tidigare utsänd rapport.

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven i SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989) och ISO/IEC Guide 25 (1990:E).

Denna rapport får endast återges i sin helhet om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.

Uppgifter om metod och mätosäkerhet kan erhållas på begäran.

Anna-Karin Revell
Ansvarig undersökare

Anna-Karin Revell

Lackarebäckverket

Adress Telefon Telefax
 Box 123 031-87 10 88 031-87 72 75
 424 23 Ängered

Analysmetod enl laboratoriets kvalitetshandbok bilaga I (Metodföreteckning).

Provtagningsdatum	Ankomstdatum	Utskriftsdatum	Rapport nr.	Sid
971006	971006	971105	26.405	1 (1)

in 1-6
ut 1-6

1. In 1
2. In 2
3. In 3
4. In 4
5. In 5
6. In 6

DAGVATTEN
 JÄRNBROT (1)
 Provtagare: CN
 Uppdragsgivare: PJ


Substansmängd i 1 l vatten	1	2	3	4	5	6	7
Suspenderade ämnen	mg 52	50	38	11	21	17	
Susp ämnens glödg rest	mg 37	32	25	<5	11	7	
Totalnitrogen	mgN 1.4	0.99	0.63	0.63	0.61	0.65	
Fosfatfosfor	µgP 100	29	62	27	29	27	
Bly	µgPb 8	9	7	3	<3	<3	
Kadmium	µgCd 0.3	0.2	0.1	<0.1	<0.1	0.1	
Koppar	µgCu 39	34	31	22	21	21	
Zink	mgZn 0.08	0.10	0.08	0.06	0.07	0.06	

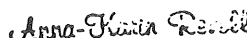
Susp ämnens glödg rest ej ackrediterad metod.
 Instrumentvärde Bly Pkt 5 och 6; 2.5 och 2.5 µgPb.
 Instrumentvärde Kadmium Pkt 4 och 5; 0.09 och 0.09 µgCd.
 Susp ämnens glödg rest Pkt 4; 3 mg.

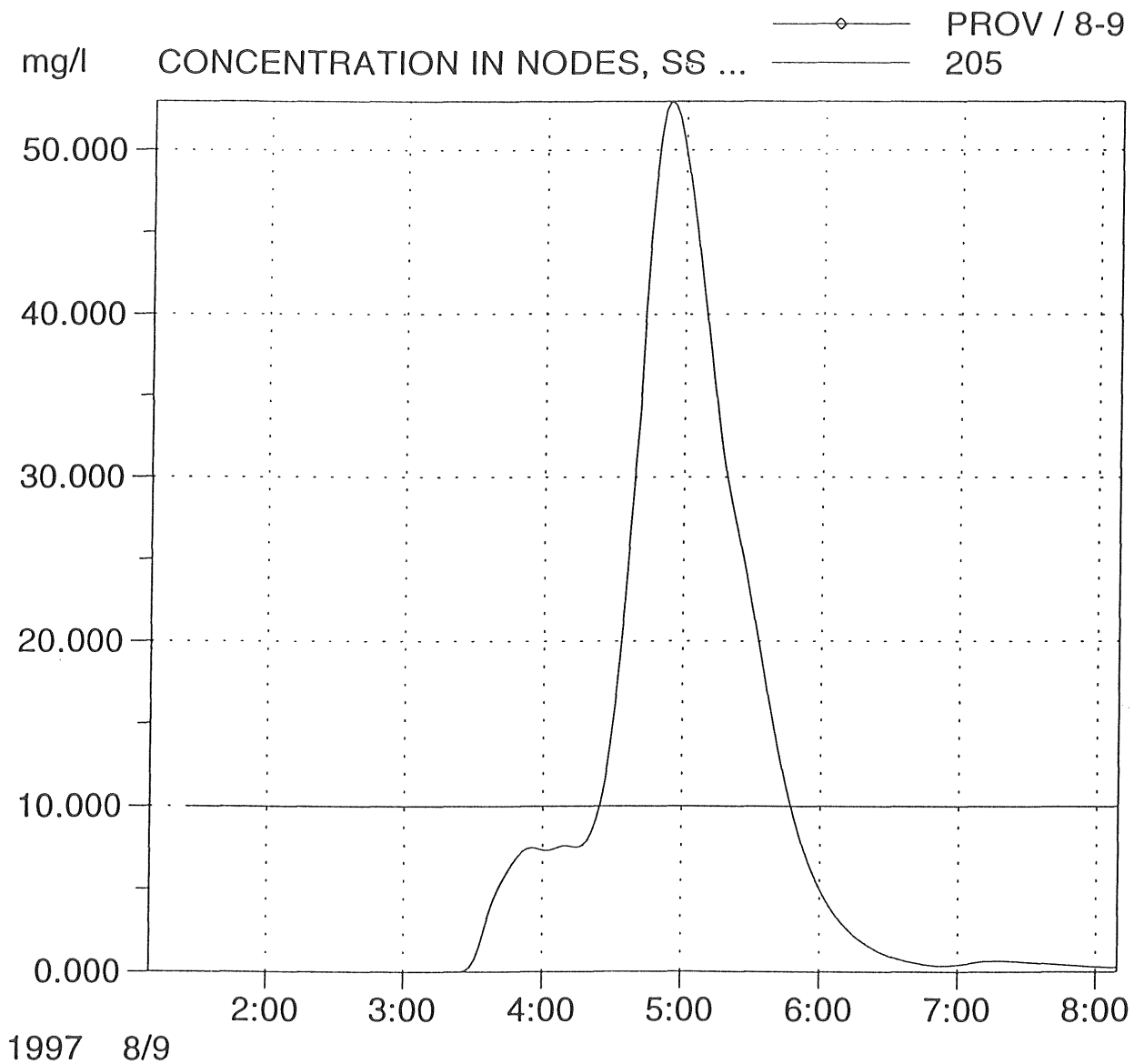
Laboratorium ackrediteras av Styrelsen
 för ackreditering och teknisk kontroll
 (SWEDAC) enligt svensk lag. Verksam-
 samheten vid de svenska ackrediterade
 laboratorier uppfyller kraven i
 SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989)
 och ISO/IEC Guide 25 (1990:E).

Denna rapport får endast åtgäras i sin
 helhet om inte SWEDAC och utfärdande
 laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.

Uppgifter om metod och mätosäkerhet kan erhållas
 på begäran.


 Ansvarig undersökare

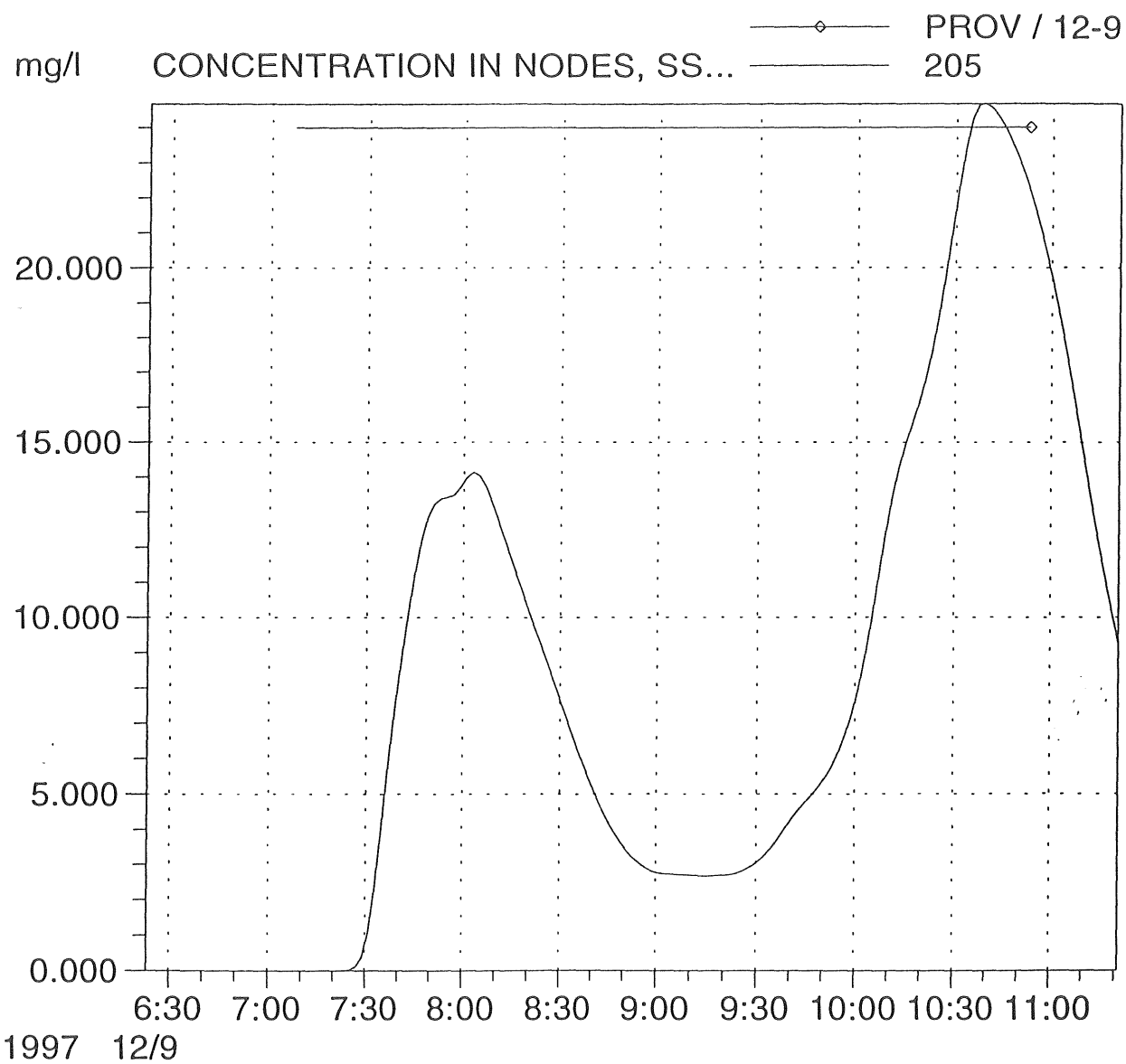




TRAP-simulering 8 september
Samlingsprov: 10 mg/l

DATAFIL : JARNBROT.SWF
RESULTATFIL : TR8-9.TRF BERÄKNAT : 12-JAN-1998, 15:59

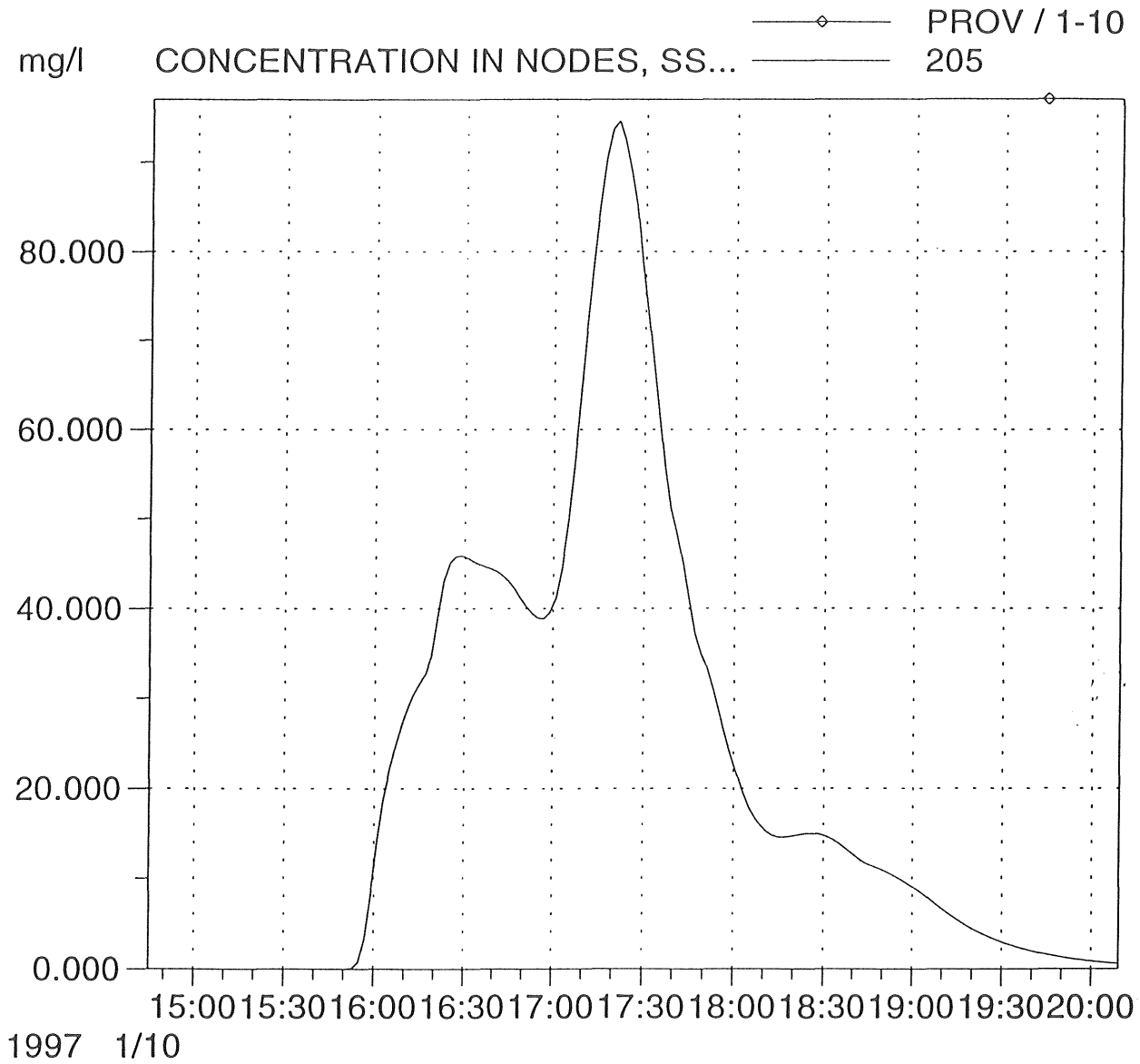




TRAP-simulering 12 september
 Samlingsprov: 24 mg/l

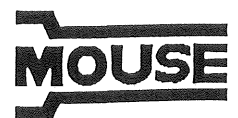
TAFIL : JARNBROT.SWF
 SULTATFIL : TR12-9.TRF BERÄKNAT : 12-JAN-1998, 16:43



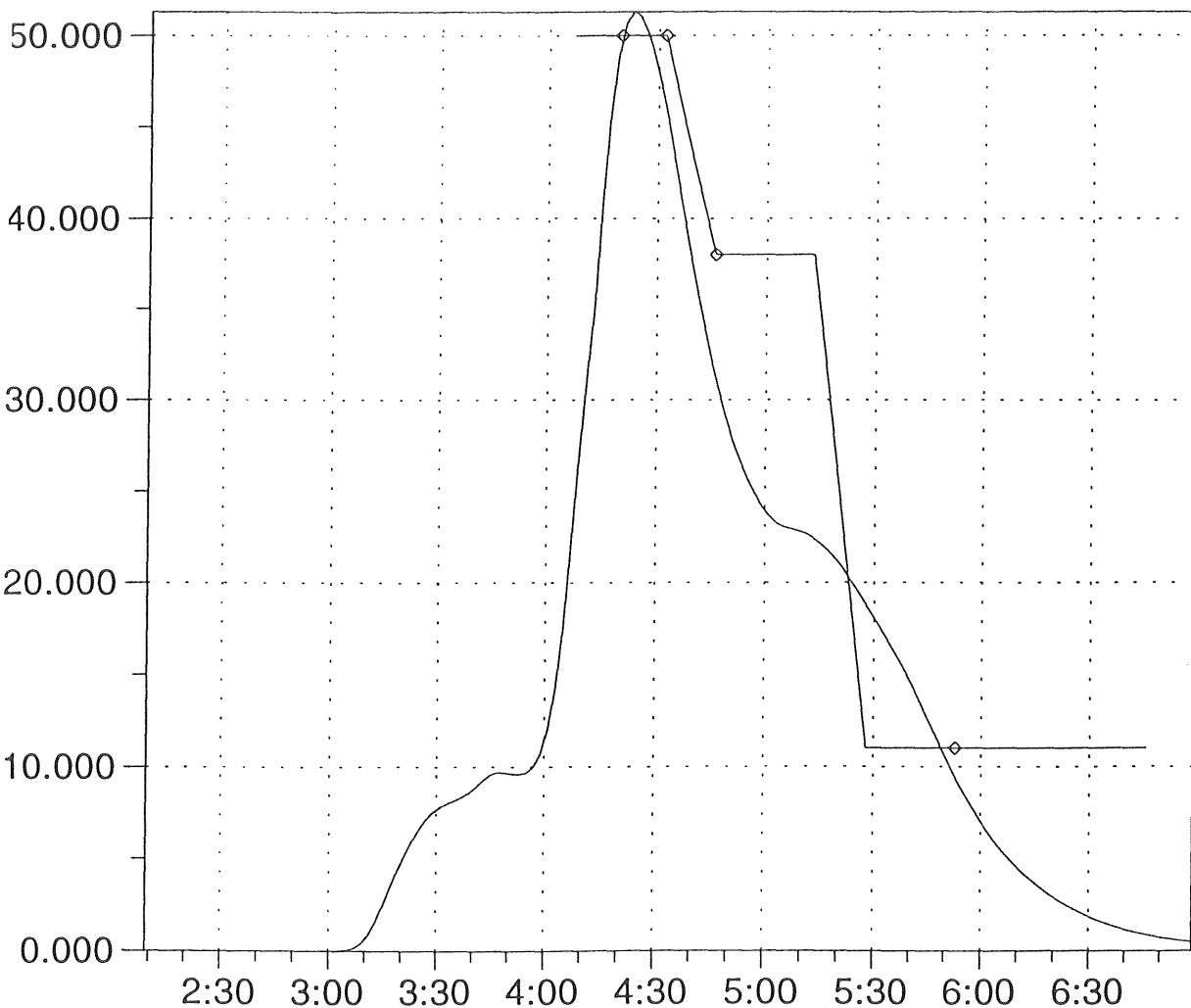


TRAP-simulering 1 oktober
 Samlingsprov: 97 mg/l

DATAFIL : JARNBROT.SWF
 RESULTATFIL : TR1-10.TRF BERÄKNAT : 12-JAN-1998, 15:07



mg/l CONCENTRATION IN NODES, SS... PROV / 6-10 205



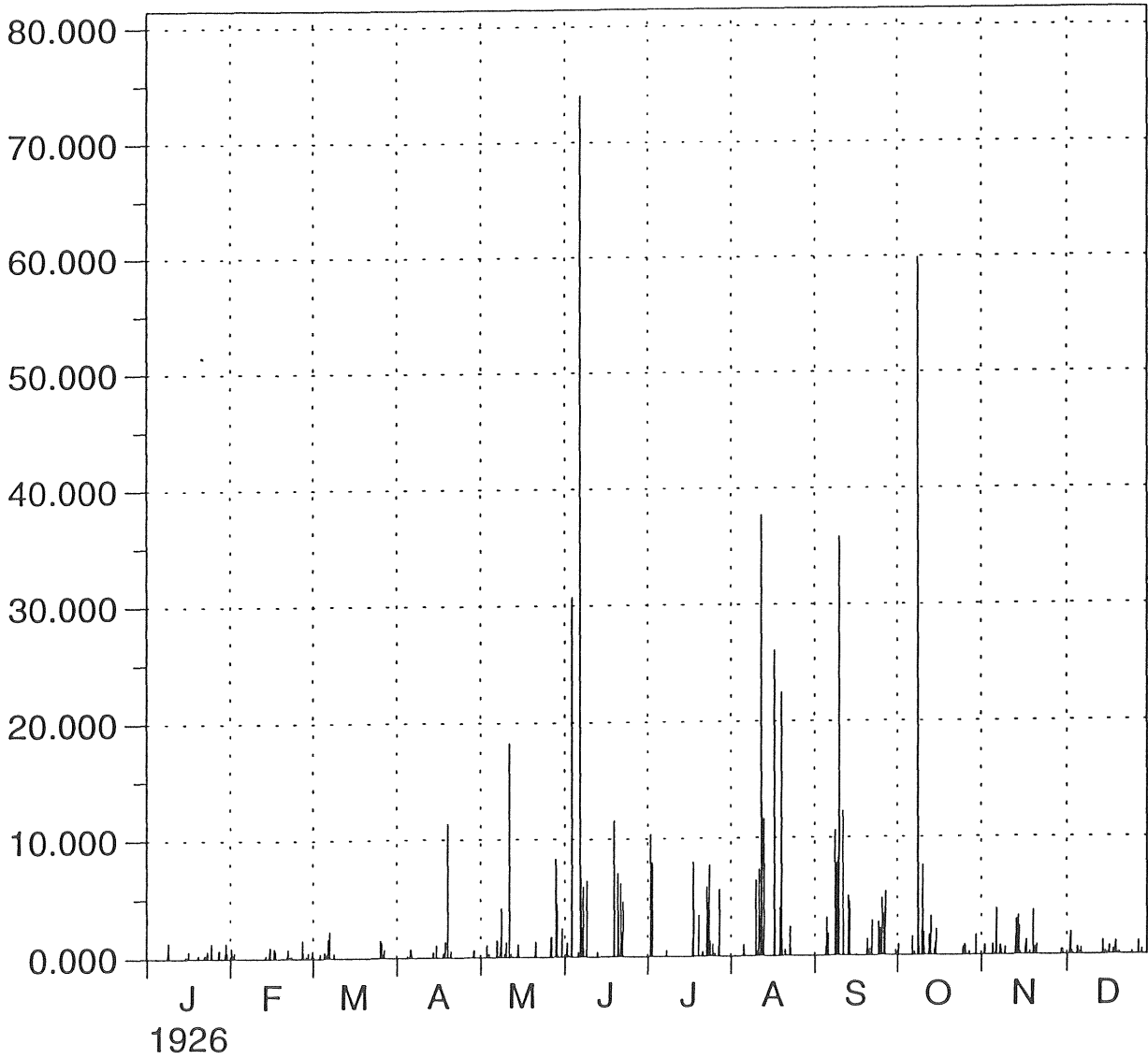
1997 6/10

TRAP-simulering 6 oktober
Detaljerat prov

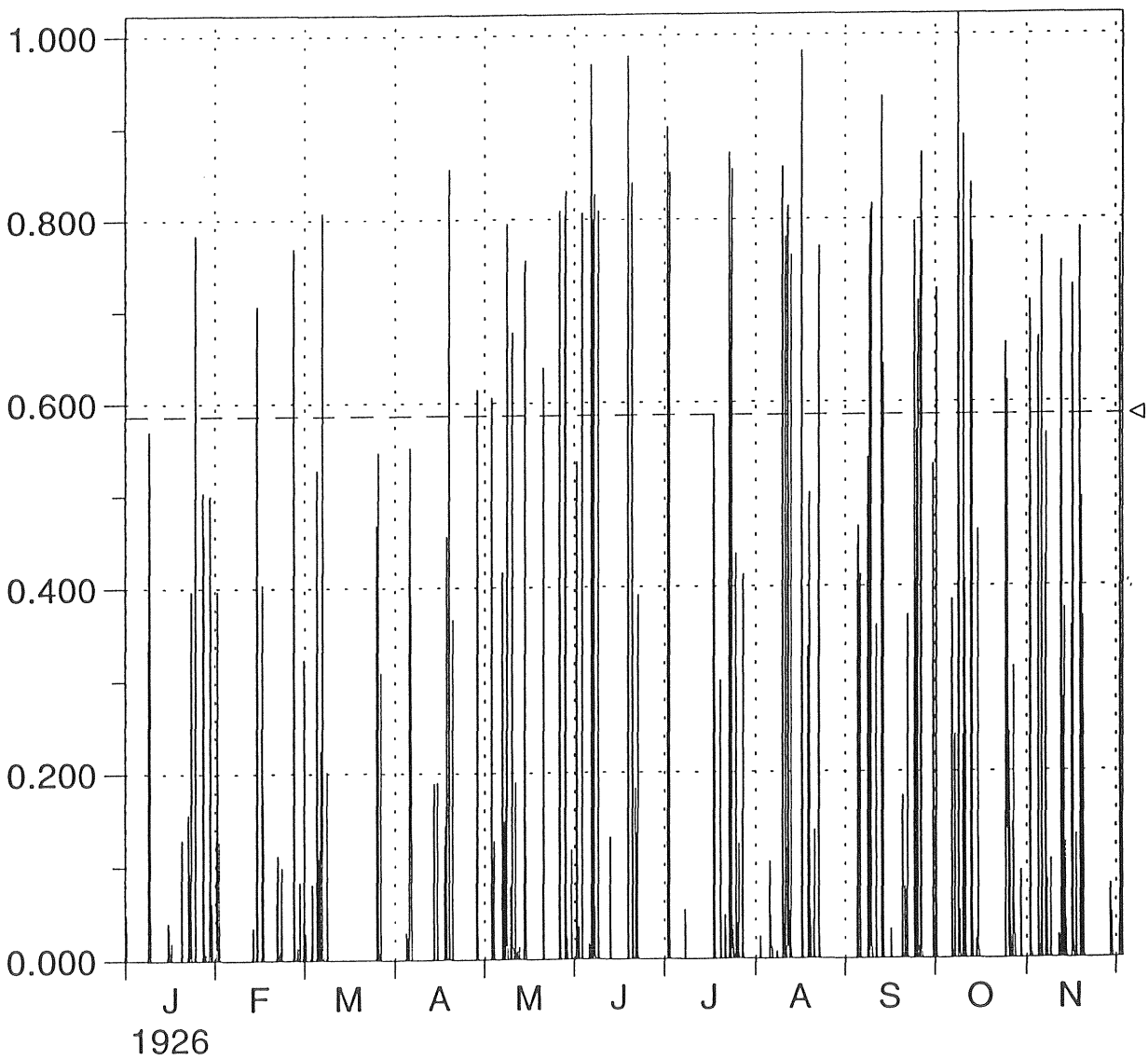
AFIL : JARNBROT.SWF
ULTATFIL : TR6-10.TRF BERÄKNAT : 12-JAN-1998, 11:56



MY-M/S REGN,



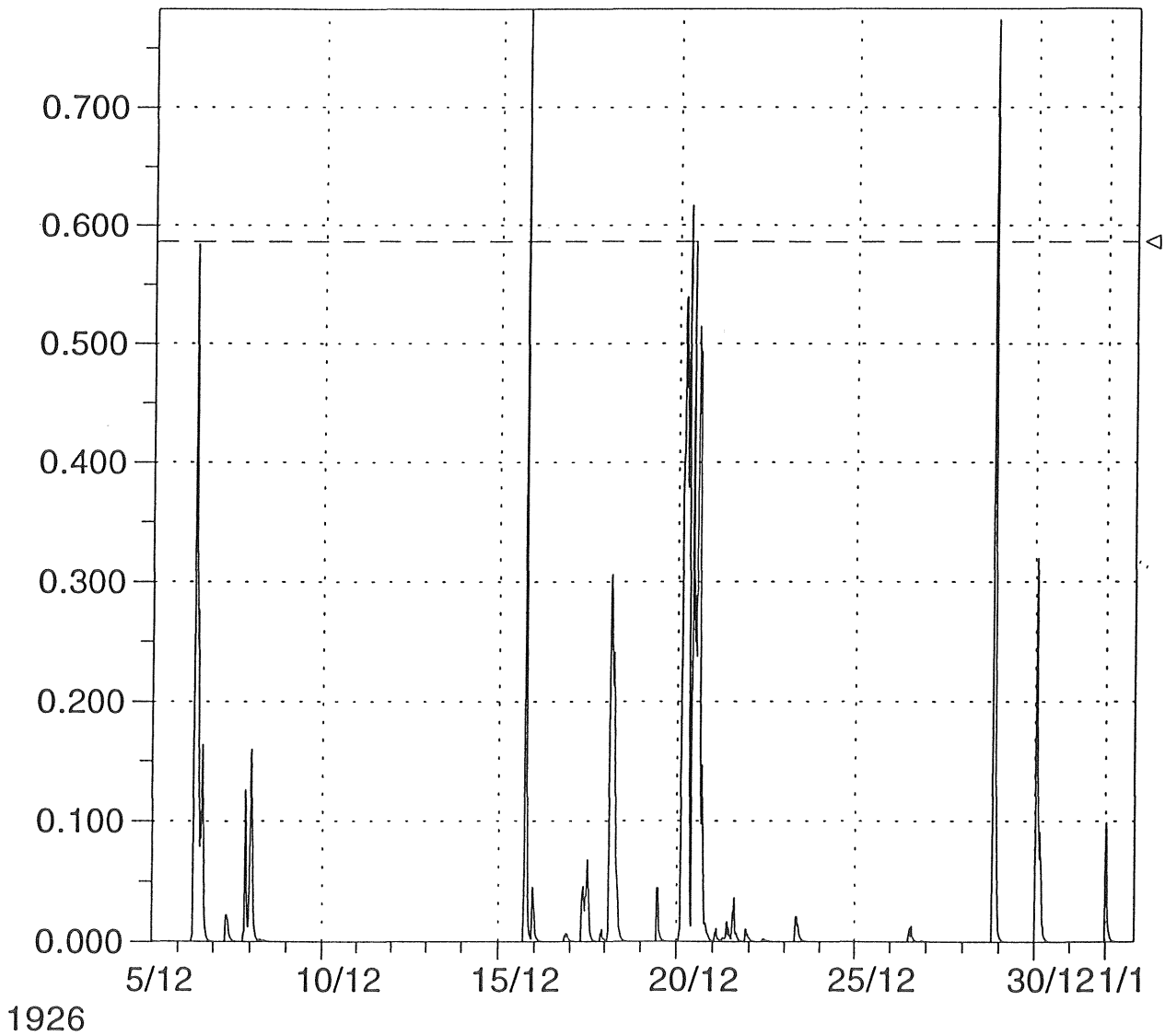
/SEK FLÖDE LEDNINGA... — 204 -- 205 14 METER



AFIL : JARBROT.SVÄDNINGSNÄTSMODELL, DYNAMISK
ULTATFIL : LUNDBY26.PBERÄKNAT : 20-JAN-1998, 20:16



M3/SEK FLÖDE LEDNINGA... — 204 -- 205 14 METER



DATAFIL : JARNBROT.SVÄDNINGSNÄTSMODELL, DYNAMISK
RESULTATFIL : 26-ANDRA.PPRÄKNAT : 22-JAN-1998, 17:58

