

DYNAMISKA MODELLER FÖR RENINGSVERK

Examensarbete utfört sommaren 1973 vid
Institutionen för reglerteknik, LTH

Per-Olof Gutman

Rickard Olsson

Handledare:

Gustaf Olsson

DYNAMISKA MODELLER FÖR RENINGSVERK

Examensarbete utfört sommaren 1973 vid
Institutionen för reglerteknik, LTH

Per-Olof Gutman

Rickard Olsson

Handledare:

Gustaf Olsson

Abstract

The purpose of this report is to study dynamic models of processes used in wastewater treatment. The report consists of a literature study and identifications of two different unit processes.

The literature study consists of a thorough search of some relevant periodicals, and the result is presented as a collection of abstracts of articles, treating dynamic aspects of waste water treatment technology. A dynamic model of an activated sludge process is presented in detail.

Identifications have been performed on data from an activated sludge process in Palo Alto, Calif. Chemical precipitation experiments followed by maximum likelihood identifications have also been performed for a unit of the Sjölanda Wastewater Treatment Plant, Malmö. Linear stochastic dynamic models of first and second order of the two processes are presented.

Sammanfattning

Syftet med detta examensarbete har varit att göra en studie av dynamiska modeller på avloppsreningsprocesser. Rapporten består av en litteraturstudie och två olika identifieringar.

Litteraturstudien omfattar en genomsökning av relevanta tidskrifter, och resultatet utgöres av en abstract-samling av artiklar, som behandlar dynamiska aspekter av avloppsreningsteknik. En dynamisk modell av en aktivslam-anläggning presenteras utförligare.

Identifiering är utförd på data från en aktivslamprocess i Palo Alto, Calif. Experiment och identifiering har vidare utförts på en kemisk fällningsprocess vid Sjölundaverket, Malmö. Linjära stokastiska modeller av första och andra ordningen presenteras av de båda processerna.

Vi vill framföra ett varmt tack till alla som bistått oss med råd och dåd i detta arbete. Främst tackar vi vår handledare Gustaf Olsson, vars tålamod med våra tappra försök och dumdristiga tilltag har varit outtömligt. Vi tackar även Bengt Andersson, Anders Hillmer och Erik Särner, som hjälpt oss planera experimenten och ordnat instrument till dessa. Ett tack riktas också till Kenneth Winge, som hjälpt oss hitta knappar och kranar vid experimenten, samt till Sven Norén, som försökt att lära oss kommunicera med datorn.

Dar-es-Salaam och Lund 1973

Per-Olof Gutman
Rickard Olsson

Innehållsförteckning

Kap. I. INLEDNING

Kap. II. BESKRIVNING AV DE VIKTIGASTE RENINGSPROCESSERNA

2.1	Inledning	II:1
2.2	Reningsverkets mål	II:1
2.3	Avloppsvatten	II:1
2.4	Mekanisk rening	II:2
2.5	Biologisk rening	II:3
2.6	Kemisk rening	II:4
2.7	Slambehandling	II:4
2.8	Reningsverkets uppbyggnad	II:5
2.9	Referenser	II:6

Kap. III. LITTERATURSTUDIE

Kap. IV. AKTIVSLAM-MODELL ENLIGT SMITH-EILERS

4.1	Inledning	IV:1
4.2	Modellen	IV:1
4.3	Plotrutinen	IV:3
4.4	Ett exempel på en körning	IV:3
4.5	Några reflexioner	IV:5
4.6	Referenser	IV:5

Kap. V. MODELLIDENTIFIERING AV AKTIVT-SLAM PROCESSEN

5.1	Inledning	V:1
5.2	Reningsverket i Palo Alto	V:1
5.3	Experimenten	V:3
5.4	Förberedande databehandlingsåtgärder	V:4
5.5	Programmet MLIDEN	V:5
5.6	Identifiering av experiment 1	V:8
5.7	Identifiering av experiment 2	V:17
5.8	Jämförelse mellan identifieringarna av experiment 1 och experiment 2	V:20
5.9	Slutsatser	V:21
5.10	Referenser	V:21

Kap. VI. EXPERIMENT OCH IDENTIFIERING AV DEN KEMISKA
FÄLLNINGSPROCESSEN

6.1	Inledning	VI:1
6.2	Försöksstationen	VI:2
6.3	Den kemiska fällningsprocessen	VI:2
6.4	Experimentuppställning	VI:5
6.5	Förexperimenten	VI:8
6.6	PRBS-Experimenten	VI:10
6.7	Allmänt om identifieringen	VI:12
6.8	Förberedande databehandlingsåtgärder	VI:13
6.9	Slamimpulssvar	VI:13
6.10	Kovariansundersökningar	VI:14
6.11	Bestämning av K_S	VI:14
6.12	Analys av experimenten 730706, 730711, 730713 och 730717	VI:15
6.13	Identifiering av experiment 730712	VI:15
6.14	Identifiering av experiment 730716	VI:17
6.15	Tidskonstanter	VI:18
6.16	Statisk förstärkning	VI:18
6.17	Sammanfattning och slutsatser	VI:19
6.18	Referenser	VI:21

Kap. VII. NÅGRA ALLMÄNNA SYNPUNKTER

I. INLEDNING

Syfte

Syftet med detta examensarbete har varit att utgöra en liten studie på dynamiskt modellbygge inom avloppsreningstekniken. Målet med modellerna är att de slutligen skall kunna användas för styrning av de aktuella processerna.

Omfattning

Examensarbetet omfattar fyra delar:

1. Litteraturstudium
2. Studium av dynamisk modell på aktivslam-process enligt Smith-Eilers
3. Identifiering på experimentella data på aktivslam-process i Palo Alto, California
4. Experiment och identifiering på kemisk fällnings-process vid försöksstationen i Sjölunda, Malmö

Litteraturstudien omfattar genomsökning av ett antal tidskrifter av årgång 1970 till 1973, varvid en abstract-samling har sammanställts. De artiklar som sammanställts har främst behandlat: Reningsprocessernas dynamiska uppförande, redovisade teoretiska och praktiska styrningsförsök samt möjligheterna att mäta adekvata variabler online. Resultatet av arbetet finns redovisat i kapitel III.

Arbetet på den dynamiska modellen enligt Smith-Eilers inskränker sig till omstansning av datamaskinprogrammet jämte utarbetande av rutiner för att möjliggöra plottning av resultaten. Redovisningen av detta avsnitt finns i kapitel IV.

Identifieringen på Palo-Alto experimenten är gjord med ett på institutionen utbyggt program, MLIDEN. Detta program beräknar en linjär stokastisk modell enligt ML-metoden. Arbetet resulterade i två modeller, som finns redovisade i kapitel V.

Experimentdelen i Sjölunda omfattar dels förexperiment och dels PRBS-experiment. Vid experimenten varierades kemikaliedoseringen och flödet, varvid slamhalten mättes dels vid inloppet och dels vid utloppet till processen. Resultatet blev en stor mängd rådata, som samlades, varefter identifiering vidtog. Denna gjordes med samma metod som i föregående del och resultaten är samlade i kapitel VI.

II. BESKRIVNING AV DE VIKTIGASTE RENINGSPROCESSERNA

2.1 Inledning

Syftet med detta kapitel är att ge den helt oinvidde en kort presentation av funktionen hos ett reningsverk. Framställningen har gjorts kort och för utförligare beskrivningar hänvisas till litteraturen. (Se referenser kap. 2.9).

2.2 Reningsverkets mål

Syftet med ett reningsverk är att inom de ekonomiska ramar som är uppställda söka åstadkomma så liten skada som möjligt i den mottagande recipientens ekologiska balans. För att uppnå detta mål har det utvecklats en mängd processer, vars syfte är att reducera halten av farliga föroreningar.

2.3 Avloppsvatten

Avloppsvatten består av, i motsats till vad man kanske tror, ganska mycket vatten, närmare bestämt till 99,95 %. För att vatten skall vara användbart krävs dock mycket högre "vattenhalt" och just här ligger ett av problemen med vattenrening. Den stora utspädningen gör nämligen att varje komponent föreligger i ytterst liten koncentration, vilket gör mätning och indikering svår.

För att karakterisera ett avloppsvatten kan man alltså inte ange halten av varje ämne som förekommer, dels på grund av mätproblem och dels beroende på den mångfald av komponenter som förekommer. I stället har man sökt finna andra vägar att karakterisera avloppsvatten. Dessa har fördelen att de går att mäta, nackdelen att de inte ger hela sanningen. De variabler som ofta användes för att ange vattenkvalité är:

Biokemisk syreförbrukning (BS), den syremängd som behöver tillföras för att mikroorganismer skall kunna överföra de organiska föroreningarna på stabil form. Mätning av denna variabel göres genom att mäta det syre, som ett uttaget prov förbrukar under 7 dagar (BS_7). Variabeln saknar helt intresse för styrning, då den tar så lång tid att mäta.

Kemisk syreförbrukning (KS), den mängd syre som behövs för att på kemisk väg oxidera föroreningarna. Denna kan idag mätas automatiskt

och ger efter cirka en halvtimme pålitliga resultat. BS och KS är ibland tillfredsställande korrelerade, men ej alltid. Detta är beroende av avloppsvattnets varierande sammansättning.

Slamhalt (SS), koncentration av suspenderat material i ett uttaget prov. Slamhalt kan idag mätas on-line med optiska metoder. Då många föroreningar föreligger i löst form är slamhalten en måttligt intressant storhet. Dock har man på utgående vatten funnit en korrelation mellan SS och fosfor. (Se kap. 6.4).

Övriga variabler som ibland mäts är totalt fosfor, totalt organiskt kol, totalt kväve, ph, löst syre med flera. I avloppsvatten föreligger emellertid en rad andra föroreningar, som ej indikeras med mätningarna av ovanstående variabler, men som kan vara direkt avgörande. Sådana är tungmetaller, fenol och andra liknande organiska ämnen från industrin, virus och diverse bakterier.

2.4 Mekanisk rening

Syfte

Den mekaniska reningens huvudsyfte är att borttaga sådant ur avloppsvattnet, som kan ha skadlig inverkan på efterföljande processer.

Processer

Borttagande av trasor och andra större föremål sker med galler eller rens-skärare. Sand och andra tyngre partiklar fås att sedimentera i ett så kallat sandfång. För att få bort fett, oljor och bensin låter man avloppsvattnet genomgå en förluftsningbassäng, där de kan flyta upp till ytan. De direkt avsättbara föroreningarna fås att sjunka till botten i en sedimenteringsbassäng, där strömmning är långsammare än i sandfånget. Sedimenteringsbassängerna kan utformas på många olika sätt för ex.vis horisontell eller vertikal strömmning (Se Eckenfelder eller Gustafsson). En väl utbyggd mekanisk reningsanläggning innehåller alla dessa delprocesser och en vanligt förekommande placering finns i fig. 2:1.

De reningsresultat som kan nås med enbart mekanisk rening är oftast otillräckliga, då vattnet fortfarande har höga halter BS_7 och fosfor, men den mekaniska reningen är nödvändig för fortsatt behandling. Dock förekommer en hel del verk med enbart mekanisk rening.

Reglertekniska aspekter: Den variabel som tycks vara av störst värde att reglera är flödet, då variationer i detta stör sedimenteringen i såväl sandfång som sedimenteringsbassäng, varför flödet bör hållas så konstant som möjligt för god reningseffekt. (Se G. Olsson /73/).

2.5

Biologisk reningSyfte

I det biologiska steget sker främst en sänkning av BS_7 -halten, men även ett visst upptag av fosfor.

Processer

För biologisk rening omnämns i litteraturen tre olika tillvägagångssätt: Biologisk damm, biobädd och aktiv-slammetoden.

Den biologiska dammen är bara användbar vid mindre verk, då man samlar allt avloppsvattnet i en damm, där de naturliga processerna får verka. Därefter släppes det något mindre smutsade vattnet ut. Det finns dock en hel del hygieniska aspekter att lägga på dessa dammar.

Den biologiska bädden (se fig. 2:2) består av en stor behållare, som är fylld med sten, klinker eller liknande. Förbehandlat avloppsvatten utsprides sedan över hela bädden, genom vilken det får passera långsamt. På fyllnadsmaterialet i bädden föreligger en riklig biologisk aktivitet och om luft införes underifrån sker en biologisk oxidation av avloppsvattnet. Detta förs sedan till en sedimenteringsbassäng, där medspolade flockar från bäddmaterialet fås att sedimentera. Genom att återföra en del av utflödet kan man uppnå en bättre reningseffekt.

I aktiv-slam processen (se fig. 2:3), som är den vanligast förekommande på större verk, sker i princip samma processer som i biobädden, men de sker i stället i luftningsbassängen på de slamflockar som finns där. Då processerna föregår i vattnet måste syre tillföras artificiellt och så sker genom att luft pressas ut i vattnet från ex.vis botten. Efter en viss tid i luftningsbassängen föres vattnet vidare till en sedimenteringsbassäng, där slammet fås att sedimentera. En stor del av det avsatta slammet återföres till inloppet igen för att verka på det nya inkommande vattnet. Den återstående delen går till slambehandling. Det utgående vattnet befrias från bakterier genom klorening och släppes därefter ut eller får genomgå ytterligare rening. I litteraturen omnämnes en del olika varianter av aktiv-slam processen

beroende på hur det inkommande vattnet ympas i luftningsbassängen. (Se ex.vis G. Olsson /1973/).

Störningar: Både den biologiska dammen och biobädden är relativt okänsliga för störningar, då den biologiska aktiviteten i dessa är relativt utbredd. Aktiv-slam processen däremot är mycket känslig mot många typer av störningar som t.ex. förändringar i flöde och substratkoncentrationer (se G. Olsson /73/). Plötsliga giftutsläpp kan slå ut stora delar av bakteriekulturen, som kan ta veckor att reparera. Detta gäller vid alla typer av biologisk rening.

Reglertekniska aspekter: Den ur reglerteknisk synpunkt mest intressanta processen är alltså utan tvekan aktiv-slam processen. Då processens dynamiska egenskaper i nuläget är relativt okända, är ett av de första problemen att konstruera en dynamisk modell, som hyfsat förklarar beskriva processen. Sedan återstår att hitta lämpliga kriterier på god drift och slutligen att finna lämpliga styrlagar.

2.6 Kemisk rening

Syfte

Den kemiska reningens främsta syfte är att sänka halten av närsalter i avloppsvattnet. I Sverige har man främst koncentrerat sig på att sänka fosfathalten, men på många ställen har man i stället inriktat sig på att få fram metoder för kvävereduktion. Här kommer bara fosforreduktion att diskuteras, för övriga metoder, se i referenserna i kap. 6:18.

Processer

Vid en anläggning för kemisk fällning av fosfat använder man sig vanligen av någon av följande kemikalier: $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ eller CaO . Alla dessa bildar svårslösliga salter med de flesta fosfater och dessa kan på så sätt fås att sedimentera. Vid processen använder man sig vanligen av 3 bassänger, en mindre där iblandningen sker, en större där flockar uppbygges under omrörning och en sedimenteringsbassäng, där avskiljandet sker. (Se kap. 6.3).

2.7 Slambehandling

Syfte

Det slam som tas ut i de olika processerna måste på något sätt oskadliggöras. Detta sker i den efterföljande slambehandlingen, där ämnena i slammet bryts ned till ofarligare produkter.

Processer

Slambehandlingen kan grovt indelas i fyra faser: Slamförtjockning, slamstabilisering, slamavvattning och disponering.

Slamförtjockningen utföres som regel i bassänger, där vattnet fås att dekantera över kanten. Olika slamtyper (råslam, aktivt slam, slam från kemisk fällning) är olika svåra att förtjocka, men efter denna fas ligger halten torrs substans på mellan 3 och 10 procent.

Slamstabiliseringen kan ske såväl aerobt som anaerobt. Den idag vanligaste typen är den anaeroba rötningen, som får försiggå i en stor behållare, en s.k. rötkammare. Vid processen bildas gas (CH_4 och CO_2), som kan användas till uppvärmning av rötkammaren, då sönderdelningen sker bäst vid högre temperaturer ($\sim 25 - 30^\circ \text{C}$).

Det slam som lämnar rötkammaren innehåller fortfarande mest vatten och för att få slammet i fast form måste det avvattnas ytterligare. Detta kan bland annat ske genom pressning, lufttorkning, vakumfiltrering eller med centrifugering.

Den slutliga disponeringen sker sedan genom land- eller sjötippning, förbränning eller som jordförbättringsmedel. Den bästa disponeringen ur resursbalanssynpunkt torde vara att göda åkrar med slammet. Detta är emellertid idag i många fall omöjligt på grund av vådligt höga halter tungmetaller, som härrör från ansvarslösa industriutsläpp. Att bränna det torkade slammet är ej så lämpligt, då många skadliga ämnen följer med röken. Den slutliga slamdisponeringen är idag ett stort problem.

Reglertekniska aspekter: Ur regleringssynvinkel synes rötningen vara den process, där störst kontroll tycks krävas. Idag förekommer i alla fall ofta reglering av temperaturen, men då många andra variabler är av vikt för framgångsfull drift, synes här finnas många utvecklingsmöjligheter.

2.8 Reningsverkets uppbyggnad

Allmänt

Av de angivna processerna väljer man vid konstruktionen av ett reningsverk ut några av dessa. I praktiken förekommer många olika sammansättningar. Vanligt förekommande är enbart mekanisk, mekanisk-kemisk, mekanisk-biologisk och mekanisk-biologisk-kemisk. (Se även fig. 2:4).

Med låggradig rening avses att endast mekanisk rening utföres, medan med höggradig rening avses även biologisk rening. Man talar ofta om tredje steget och avser då som regel kemisk utfällning av fosfor.

Då samtliga processer i ett reningsverk är kopplade till varandra, och då en process' utflöde utgör inflöde till en annan, är det av vikt att beakta hur processerna inbördes påverkar varandra.

Ett typiskt sådant problem är var en eventuellt kemisk fällning av fosfor skall ske, före eller efter en eventuell biologisk rening. I praktiken förekommer många olika varianter. (Se fig. 2:5). Andra och liknande problem återkommer vid slambehandlingen, där slammets avvattningsförmåga är en viktig variabel att beakta. Även de problem som uppstår vid återföring av slamvatten till processen är av vikt, då detta vatten har visat sig störa förloppet i luftningsbassängerna högst märkbart.

Det är alltså viktigt, om man söker optimera körningen av en process, att tillse att detta inte får menliga effekter på övriga processer och därmed på verket som helhet.

2.9

Referenser

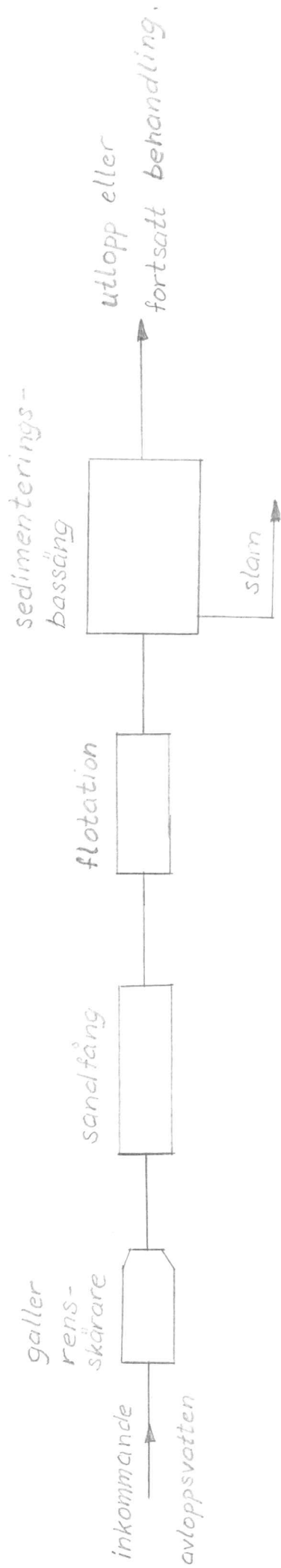
R.L. Culp, G.L. Culp: Advanced Wastewater Treatment, van Nostrand Environmental Engineering Series 1972

W.W. Eckenfelder Jr., D.J. O'Conner: Biological Waste Treatment, Pergamon Press 1961

B. Gustafsson, J. Garberg: Kompendium i avloppsteknik. KTH, Stockholm 1969

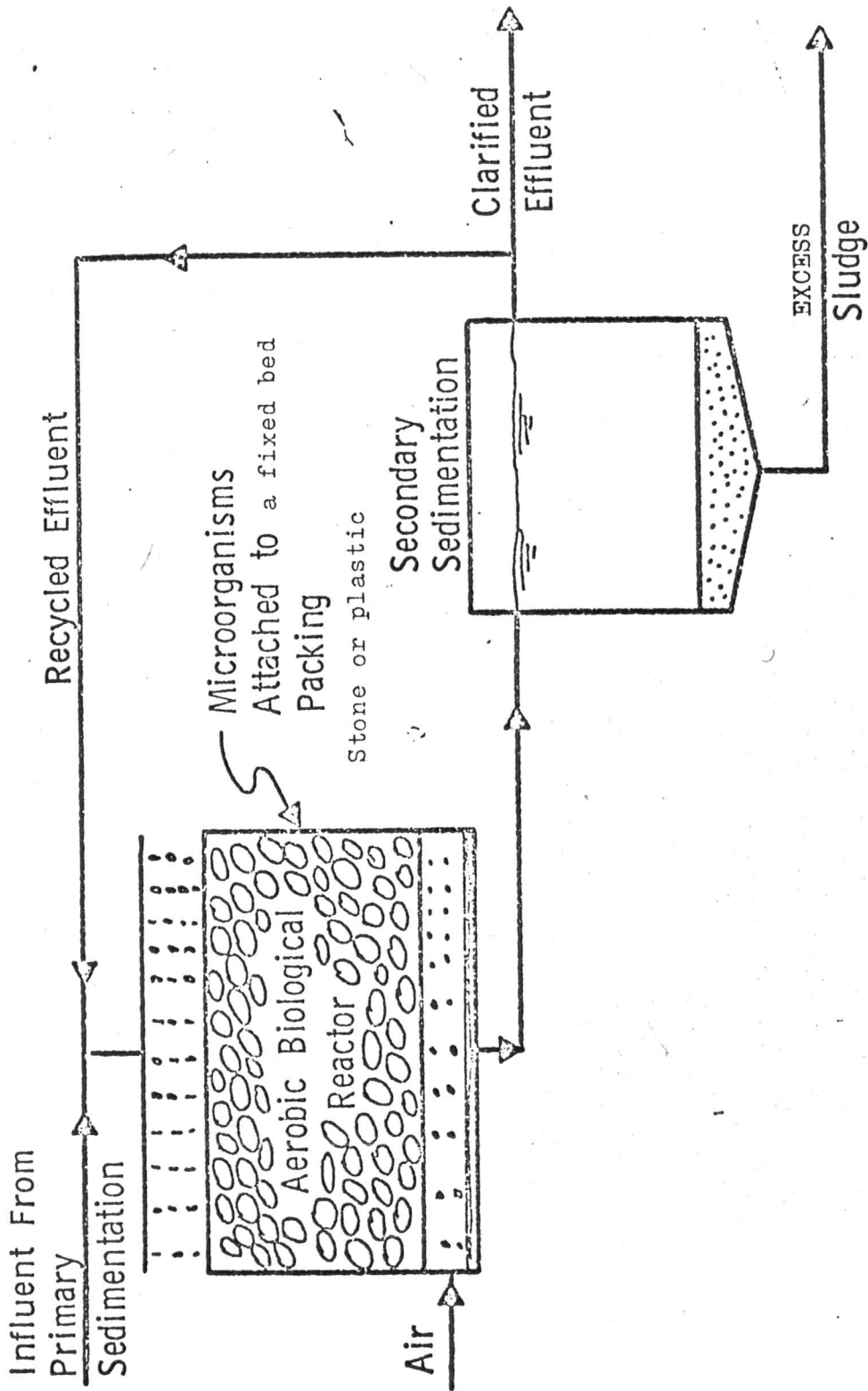
G. Olsson, K.I. Dahlqvist, K. Eklund, L. Ulmgren: Control Problems in Wastewater Treatment Plants. The Axel Johnsson Institute for Industrial Research, Nynäshamn 1973

Figur 2:1



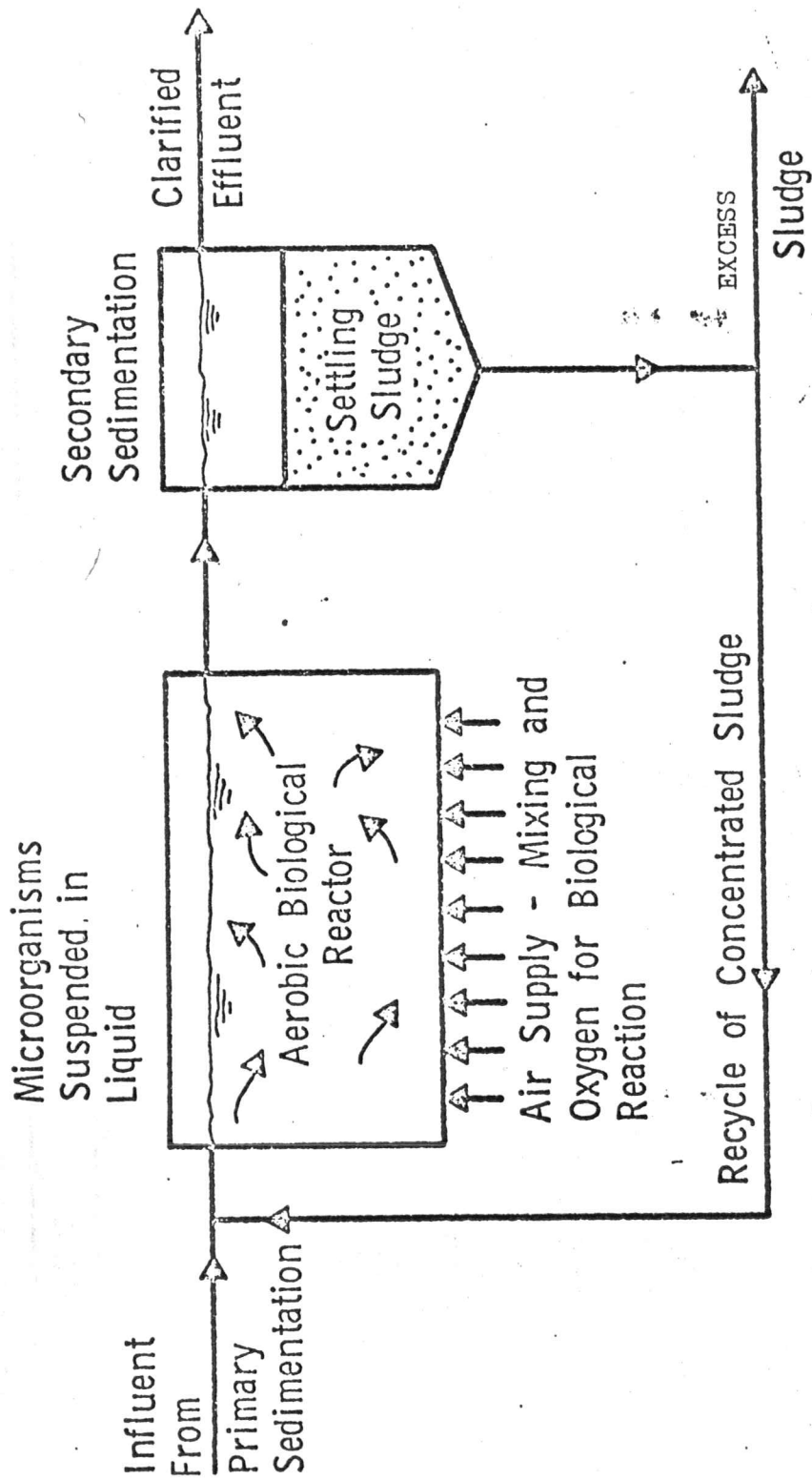
Mekanisk reningsanläggning.

Figur 2:2 Biobädd.



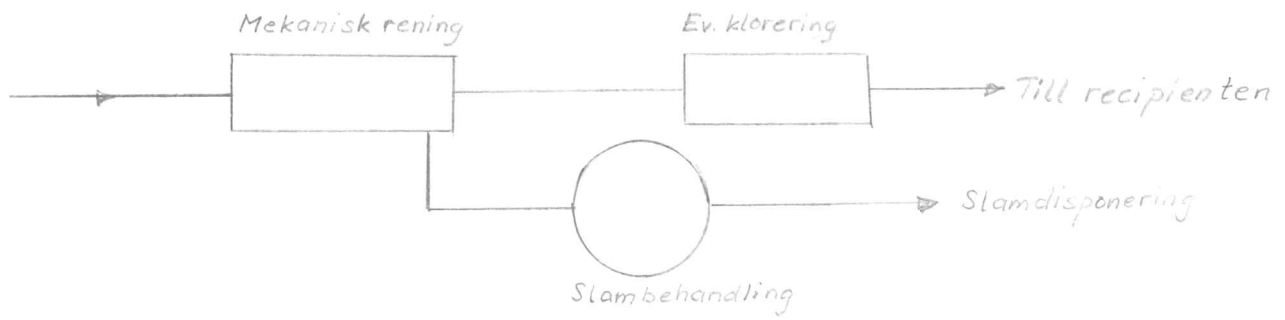
207

Figur 2:3. Aktiv slam-anläggning.

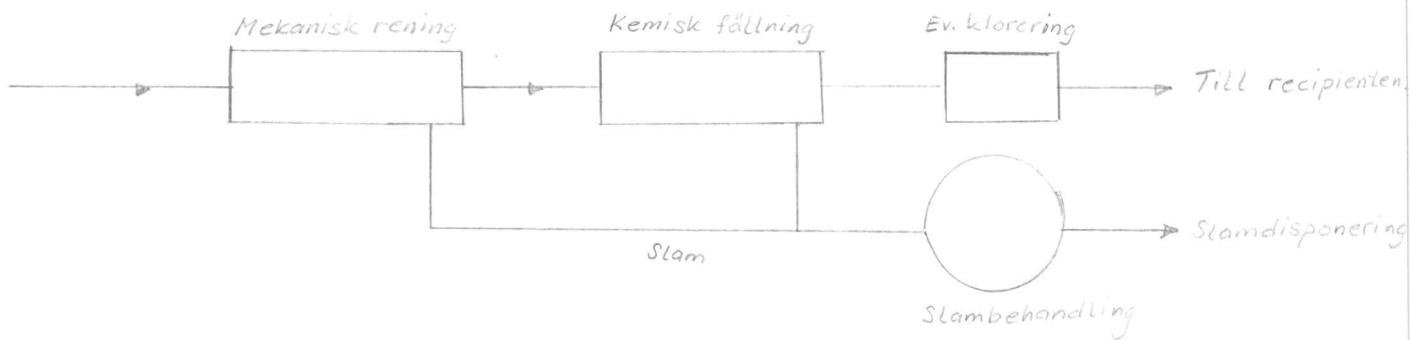


Facet

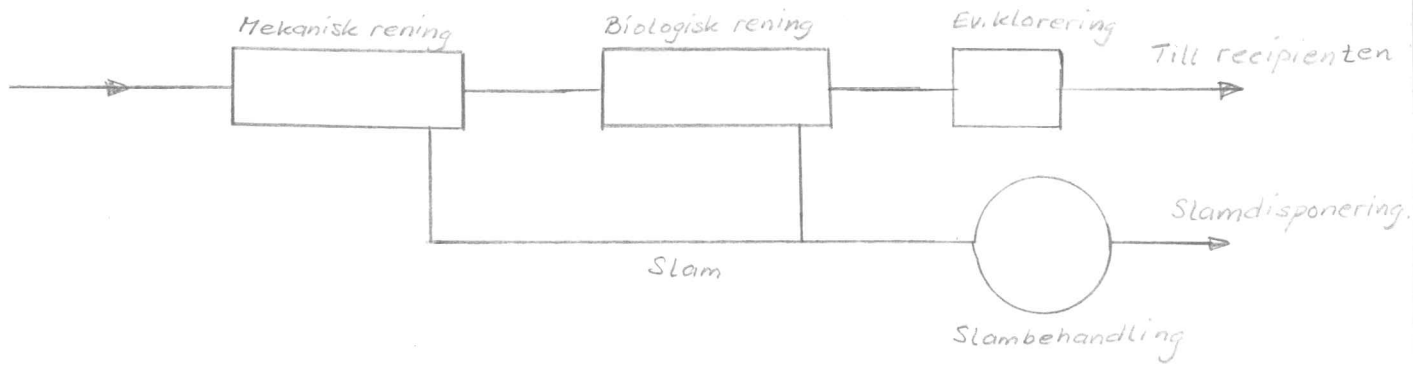
Figur 2:4 Några olika process-konfigurationer.



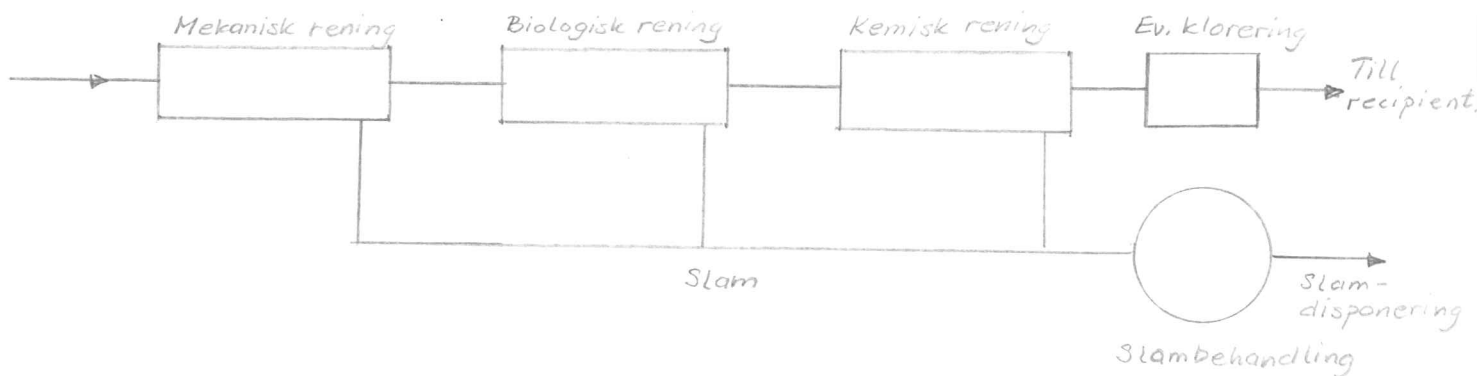
Låggradig rening.



Mekanisk-kemisk rening.

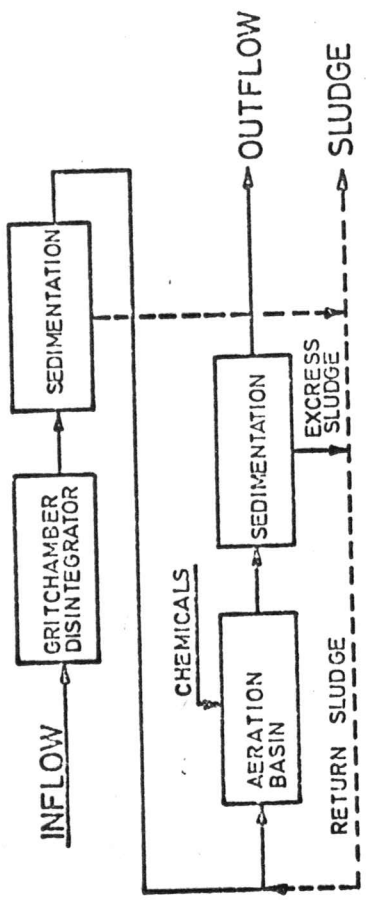


Höggradig rening.

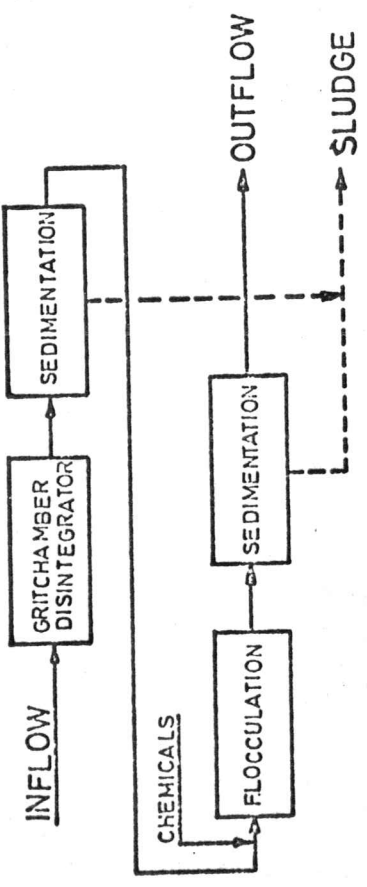
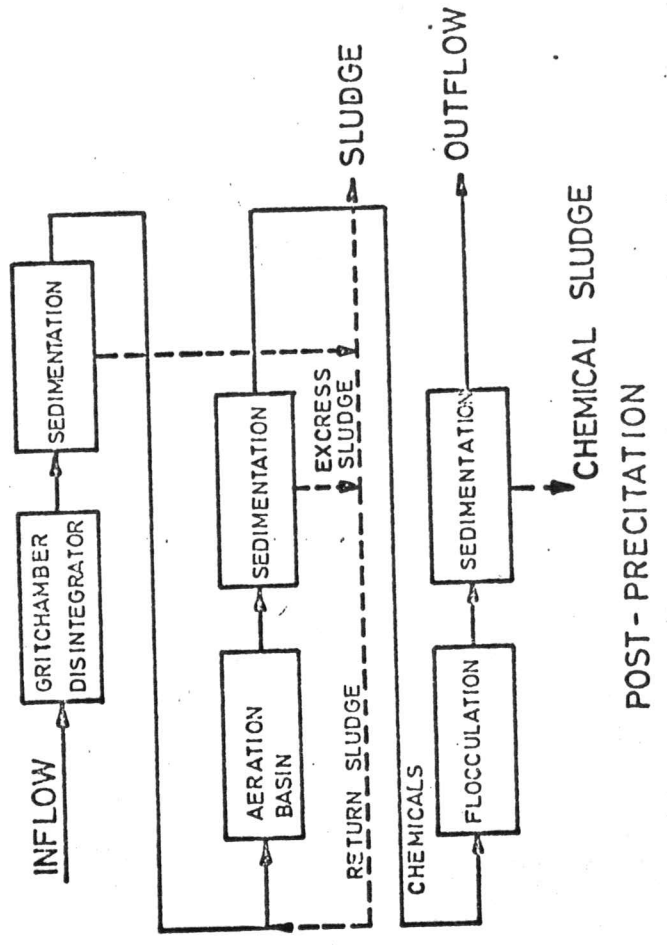


Höggradig rening med tredje steget.

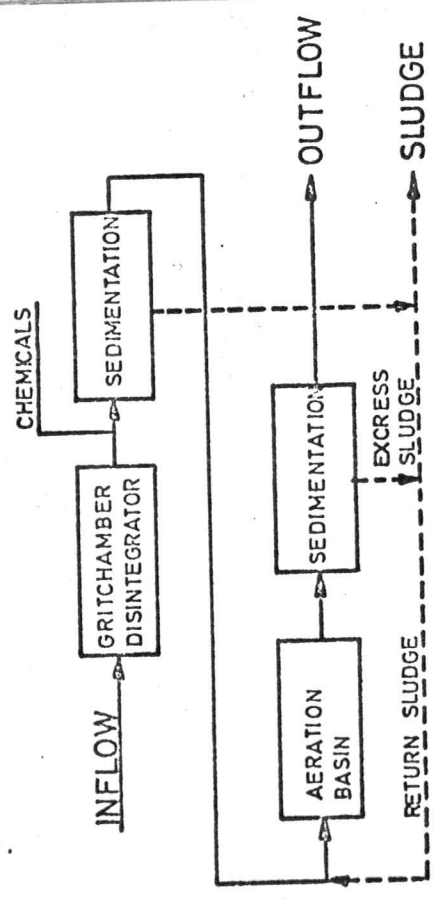
Figur 2:5 Olika placeringar av kemisk fällning.



SIMULTANEOUS PRECIPITATION



SECONDARY PRECIPITATION (DIRECT)



PRE - PRECIPITATION

III. LITTERATURSTUDIESyfte och resultat

Litteraturstudiens syfte är att göra en sammanställning av tidskriftsartiklar, som kan komma till användning vid försöken att reglera avloppsreningsprocesser. Studiens resultat är ett kortregister och en samlingspärm med artikelkopior, vilket sammanfattas av figur 3:1 på sid III:5.

Tidskrifter och tidskriftsblad

Då den regleringstekniska aspekten av avloppsreningen är relativt ny, har intresset koncentrerats till ett urval relevanta tidskrifter under åren 1970 - 1973. Förljande tidskrifter har genomsökts:

- o American Society of Civil Engineers. Sanitary Engineering Division. Journal
- o Automatica
- o Computer and Control Abstracts
- o IEEE Transactions on Automatic Control
- o Journal American Water Works Association
- o Pollution Abstracts
- o Water Pollution Control Federation Journal
- o Water Research
- o Vatten

Över varje tidskrift har ett tidskriftsblad upprättats (se sid III:7 - III:15). På tidskriftsbladet finns nedanstående uppgifter angivna, där uppgifter, som ej alltid förekommer, är satta inom parantes:

- o Tidskriftens namn
- o (Använd förkortning av tidskriftens namn)
- o Utgivare och/eller förläggare
- o Utgivningsfrekvens
- o Tillgänglighetstabell. Denna tabell anger vilka tidskriftsnummer, som varit tillgängliga för studien. För tolkning av tillgänglighetstabellen, se kodnyckeln på sid III:6.
- o Bibliotekshänvisning. Här anges vilka bibliotek, som har tidskriften. För tolkning av förkortningarna av bibliotekens namn, se kodnyckeln på sid III:6.
- o (Övriga uppgifter)

Ämnesområden

Artiklar inom nedan nämnda ämnesområden har medtagits. Förhoppningsvis har alla relevanta artiklar i de undersökta tidskriftsnumren kommit med.

- o Dynamiska modeller för reningsprocesser
- o Matematiska modeller för mikroorganismers tillväxtdynamik och tillväxtkinetik
- o Datorstyrning av reningsprocesser
- o Reglering av reningsprocesser
- o Simulering av reningsprocesser

I viss mån har artiklar från följande områden tagits med:

- o Reningsteknisk mätteknik
- o Icke-dynamisk karakteristik av reningsprocesser
- o Reningsteknologins utveckling och problematik

Registreringskort

För varje tidskriftsartikel har ett registreringskort skrivits. På detta finns följande information (punkter inom parantes finns ej på alla kort):

1. (Författare, medförfattare)
2. Kortregistersektionsbokstav
3. Tidskriftsartikelns titel
4. (Abstract, dvs en kort sammanfattning av artikelns innehåll)
5. (Tidskriftsreferens, dvs namn och övriga uppgifter på den tidskrift, ur vilken artikeln hämtats)
6. (Bibliotekshänvisning, dvs i vilket bibliotek artikeln finns)
7. (Övriga uppgifter)

Kommentarer:

1. Det första författarnamnet har strukits under på varje kort. I de få fall då ingen författare anges, har något lämpligt ord i titeln strukits under. Detta understrukna ord, sökordet, används vid inplaceringen av korten inom kortregistrets sektioner (se nedan sid III:3 - III:4).
2. Kortregistersektionsbokstaven anger, till vilken sektion av kortregistret kortet tillhör (se nedan sid III:3).
4. Abstract finns för alla artiklar, som
 - a) varit till hands för genomläsning; eller
 - b) hittats i Computer and Control Abstracts, Pollution Abstracts eller Water Pollution Control Federation Journal (Literary Review) och i dessa refererats med abstract.

5. I de få fall tidskriftsreferens ej anges, finns artikeln säkert i Avloppsreningspärmen på biblioteket vid Institutionen för Reglerteknik, LTH (se nedan sid III:4).
6. För tolkning av bibliotekshänvisningen, se kodnyckeln sid III:6. I de fall bibliotekshänvisning ej finns, kan man lämpligen vända sig till Universitetsbiblioteket, UB, för hjälp.
7. Om artikeln hittats i Computer and Control Abstracts, Pollution Abstracts eller Water Pollution Control Federation Journal (Literary Review), står detta angivet inom rak parantes (/ /) under denna punkt. I vissa tidskrifter föranleder en artikel följdinlägg i senare nummer; en referens till dessa finns i förekommande fall under punkt 7: Övriga uppgifter.

Kortregistret och dess sektioner

Registreringskorten står ordnade i ett kortregister, som är indelat i sektioner efter ämne. Kortregistret har följande sektioner:

- Innehållsförteckning
- A. Hur ett registreringskort ser ut
Bibliotekskodnyckel
- B. Allmänna översikter
- C. Optimering av reningssystem i makroskala, såsom regionplanering, konstruktion av reningsverk, kombination av enhetsprocesser
- D. Principer för praktisk mät- och reglerteknik
- E. Installerade regler- och övervakningssystem
- F. Mätprinciper och mätteknik
- G. Mätprinciper och mätteknik: BS-mätning, KS-mätning, syremätning
- H. Flöden och hydraulik
- I. Avloppsflödens innehåll av organisk substans
- J. Aktivt-slam processen: modeller för bakteriepopulationens beteende, m m
- K. Aktivt-slam processen: dynamiska modeller för processer i aktivt-slam reaktorn
- L. Aktivt-slam processen: reglerteori och reglering
- M. Aktivt-slam processen: styrbara insignalers (statiska) påverkan
- N. Aktivt-slam processen: optimal konstruktion av luftningsbassänger
- O. Kemisk fällning
- P. Sedimentering
- Q. Slambehandling
- Ö. Övrigt

Observera, att ett registreringskort, som hör till flera sektioner, är placerat i den sektion, dit det huvudsakligen hör. Inom varje sektion är registreringskorterna ordnade i alfabetisk ordning efter det understrukna sökordet på varje kort.

Kortregistret finns som kopia i ett appendix till denna litteraturstudie, se nedan sid III:16 ff.

Avloppsreningspärmen

På biblioteket vid Institutionen för Reglerteknik, LTH, har en samlingspärm iordningställts. Denna pärm, Avloppsreningspärmen, innehåller kopior på några av de artiklar som medtagits ur de genomsökta tidskrifterna. Även några andra uppsatser av intresse har fått sin plats i pärmen; givetvis finns även för dem kort i kortregistret. Innehållet i Avloppsreningspärmen är:

Innehållsförteckning

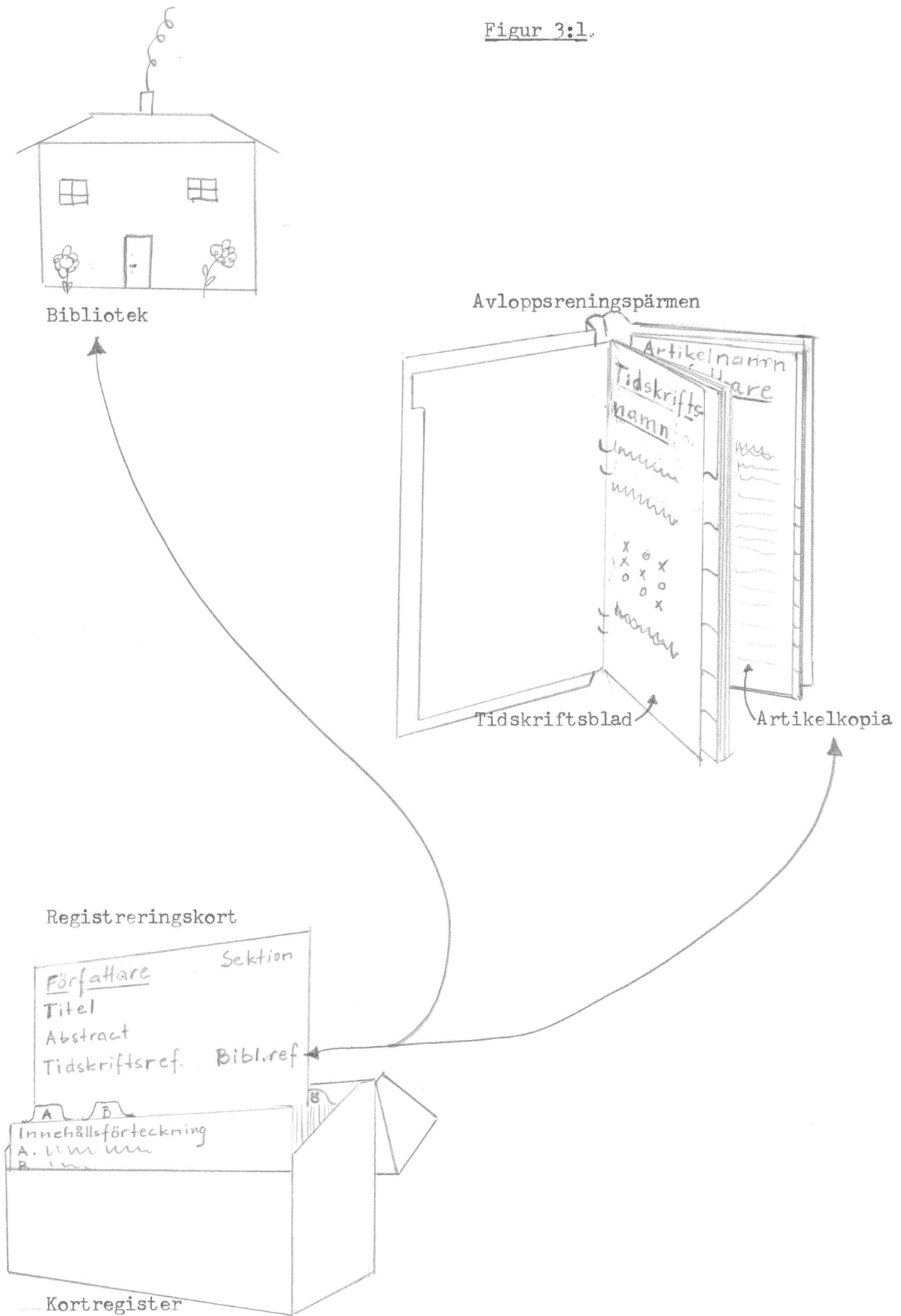
1. Denna litteraturstudie i tillämpliga delar
- 2 - 10. Tidskriftsblad för varje tidskrift, samt i förekommande fall vissa innehållsförteckningar till tidskriften i fråga
12. Artikelkopiorna i alfabetisk ordning efter det med rött understrukna sökordet. Sökordet är detsamma som på registreringskortet.

Avslutning

Det är vår förhoppning att denna litteraturstudie kommer till nytta, och att den kompletteras med fler tidskrifter och nytgivna artiklar.

I skrivande stund, 2.8.73, innehåller kortregistret 126 kort och Avloppsreningspärmen 39 artiklar.

Figur 3:1.



Kodnyckel

I kortregistret och på tidskriftsbladen gäller följande bibliotekskod:

CTH = Chalmers Tekniska Högskola
Biblioteket
Göteborg

KTH = Kungliga Tekniska Högskolan
Biblioteket
Stockholm

LiH = Linköpings Tekniska Högskola
Linköping

N = Statens Naturvårdsverk
Biblioteket
Solna

Rb = Institutionen för Reglerteknik
Biblioteket
Lunds Tekniska Högskola
Lund

Rp = Den Avloppsreningspärm, som sammanställts i samband med denna
litteraturstudie. Pärmerna finns hos
Institutionen för Reglerteknik
Biblioteket
Lunds Tekniska Högskola
Lund

UB = Universitetsbiblioteket /Kodbeteckningen efter UB, t ex UBpf 170, är
Lund UB:s interna./

V = Institutionen för Vattenbyggnad
Lunds Tekniska Högskola
Lund

Tillgänglighetstabellerna på tidskriftsbladen, som skall ange i vilken
utsträckning enskilda tidskriftsnummer har varit tillgängliga för denna
litteraturstudie, följer följande kod:

- x = numret har varit tillgängligt för genomgång
- o = endast numrets innehållsförteckning har varit tillgängligt för
genomgång
- = numret har ej utgivits

Innehållet i ommarkerade nummer har över huvud taget ej varit tillgängligt
för genomgång.

American Society of Civil Engineers
Sanitary Engineering Division
Journal

Förkortning: ASCE, Jour.Sanit.Eng.Div

Utgivare: American Society of Civil Engineers, New York, USA

Utkommer med 6 nummer per år

Tillgänglighetstabell:

	Feb	Apr	Jun	Aug	Okt	Dec
	SA 1	SA 2	SA 3	SA 4	SA 5	SA 6
1970	x	x	o	x	x	o
1971	o		x	o	x	
1972	x	x	x	x	x	o
1973	o	o				

Tidskriften finns hos CTH

V (de i tillgänglighetstabellen med x markerade numren)

Automatica

Utgivare: International Federation of Automatic Control

Förläggare: Pergamon Press, Oxford, New York, Braunschweig

Utkommer med 6 nummer per år

Tillgänglighetstabell:

	Jan	Mar	Maj	Jul	Sep	Nov
1970	x	x	x	x	x	x
1971	x	x	x	x	x	x
1972	x	x	x	x	x	x
1973	x	x	x	x		

Tidskriften finns hos Rb
UB

Computer and Control Abstracts

Förkortning: Comp. Contr. Abs.

Utgivare: Institution of Electric Engineers och
 Institute of Electrical & Electronics Engineers, New York, USA

Utkommer med 12 nummer per år

Tillgänglighetstabell:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1970	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1971	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1972	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1973	x	x	x	x	x	x	x					

Tidskriften finns hos Rb
 UB

Abstractsamling över utgivna artiklar och föredrag

IEEE Transactions on Automatic Control

Förkortning: IEEE Trans. Aut. Control

Utgivare: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, USA

Utkommer med 6 nummer per år

Tillgänglighetstabell:

	Feb	Apr	Jun	Aug	Okt	Dec
1970	x	x	x	x	x	x
1971	x	x	x	x	x	x
1972	x	x	x	x	x	x
1973	x	x	x			

Tidskriften finns hos CTH
KTH
Rb
UB

Journal American Water Works Association

Förkortning: Journal AWWA

Utgivare: American Water Works Association, New York, USA

Utkommer med 12 nummer per år

Tillgänglighetstabell:

	Jan	Feb	Mär	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
1970	x	o	x	o	x	o	x	o	x	x	x	x
1971	x	x	x	x	o	x	o	o	x	x	x	x
1972		x	x	x	x	x	x	x		x	x	
1973	o	x	x									

Tidskriften finns hos KTH

V (de i tillgänglighetstabellen med x markerade numren)

Pollution Abstracts

Förkortning: Poll. Abs.

Utgivare: Pollution Abstracts, La Jolla, Calif., USA

Utkommer med 6 nummer per år

Tillgänglighetstabell:

	1	2	3	4	5	6
1970	x	x	x	x	x	x
1971	x	x	x	x	x	x
1972	x	x	x	x	x	x
1973		x				

Tidskriften finns hos UB

Abstractsamling över utgivna artiklar och föredrag

Water Pollution Control Federation
Journal

Förkortning: Journal WPCF

Utgivare: Water Pollution Control Federation, Washington D. C., USA

Utkommer med 12 nummer per år

Tillgänglighetstabell:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1970	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1971	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1972	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1973	x	x	x	x	x							

Tidskriften finns hos UB

Water Research

Utgivare: International Association on Water Pollution Research

Förläggare: Pergamon Press, Oxford, London, New York, Paris

Utkommer med 12 nummer per år

Tillgänglighetstabell:

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
1970	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1971	x	x	x	x	x	o	x	x	x	x	x	x
1972	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	x
1973	o	o	o	o								

Tidskriften finns hos N
UB

Vatten

Utgivare: Föreningen för Vattenhygien, Stockholm, Sverige

Utkommer med 4 till 5 nummer per år

Tillgänglighetstabell:

	1	2	3	4	5
1970	x	x	x	x	-
1971	x	x	x	x	-
1972	x	x	x	x	x
1973	x				

Tidskriften finns hos CTH
KTH
N
UB
V

IV. AKTIVSLAMMODELL ENLIGT SMITH & EILERS

4.1 Inledning

Med sig hem från sin studieresa i USA 1973 hade Gustaf Olsson en dynamisk modell på aktivslamprocessen, konstruerad av Robert Smith och Richard G. Eilers. Denna modell bygger på Monod's ekvationer.

Resultat och syfte

Syftet med vårt arbete var att göra programmet körbart för Univac 1108 samt att skriva plotrutiner så att variablernas tidsberoende kunde plottas på Univac 1108 på Lunds Datacentral. Resultatet blev 3 subrutiner för plottningsändamål och en omstansning av programmet till den F-kod som normalt användes på LDC.

4.2 Modellen

För mer detaljerad beskrivning hänvisas till Smith (1970) varifrån uppgifterna nedan hämtats. Den process som modellen avser att simulera är en aktivslamprocess inkluderande luftnings- och sedimenteringsbassänger. För experimentsyfte kan även en utjämningsbassäng inplaceras framför inflödet och en stabiliseringstank på returslamslingan.

Luftningsbassängen

Luftningsbassängen behandlas som ett antal seriekopplade fullständigt blandade tankar med lika storlek. Användare kan fritt välja mellan en och sju beroende på den typ av luftningsbassäng man avser simulera. (Se fig. 4:1).

Sedimenteringsbassängen

Sedimenteringsbassängen antas kunna beskrivas av två parametrar XRSS och URSS. XRSS är den del av inkommande susp.halt, som följer med utflödet, medan URSS definieras som koncentrationen av susp.halt i returslamflödet dividerat med koncentrationen av susp.halt i inflödet till bassängen. Dessa parametrar behandlas som konstanter men kan med smärre förändringar i programmet även behandlas som tidsvariabler, dock måste man då känna deras variation.

Biologiska processerna

All biologisk aktivitet anses förekomma i luftnings- och stabiliseringsbassängerna och denna aktivitet antas kunna beskrivas med

följande massbalansekvationer. Den biologiska tillväxten antages följa Monod's samband, se vidare t.ex. G. Olsson (1973):

$$\frac{dS_i}{dt} = \frac{Q_i(S_{i-1} - S_i)}{V_i} - \frac{C_1 S_i X_i}{C_4(C_2 + S_i)}$$

$$\frac{dX_i}{dt} = \frac{Q_i(X_{i-1} - X_i)}{V_i} + \frac{C_1 S_i X_i}{C_2 + S_i} - C_3 X_i$$

där: S = Substrat koncentration

X = Microorganism konc.

Q = Flöde

V = Volym

t = Tid

i = Stationsnummer efter luftn.bass. (se fig. 4:1)

C₁ ... 4 = Konstanter

I bassängerna antas 3 typer av organismer förekomma: heterotrofa bakterier, som använder BS₅ som substrat, nitrosomas, som använder NH₃ som substrat och producerar nitrit samt nitro-bakterier, som konsumerar nitrit och producerar nitrat. De angivna ekvationerna antas giltiga för alla tre typerna av mikroorganismer men med olika värden på de fyra konstanterna. Med hjälp av massbalanser (och de angivna diff.ekv.) byggs modellen upp. Man integrerar fram värdena i den första tanken, som utför insignaler till nästföljande o.s.v. Vidare antas initialvärdena kända för samtliga koncentrationer och dessa utgör startvärden för modellen.

Svagheter

Modellen förutsätter att man kan bestämma C₁, C₂, C₃, C₄. Detta är emellertid utomordentligt svårt utom i laboratorie-skala. Vidare förutsättes C₁, .. C₄ vara konstanta, vilket ej är fallet, bland annat är C₁ beroende av belastningen på processen, vilket dock har byggts in i modellen. Vidare är modellen av sedimenteringsbassängen ej speciellt väl utvecklad.

4.3 Plotrutinen

Plottningen av variablerna bygger på subrutinen "Ritd", som finns i programbiblioteket. För uttagning av de variabler som önskas plottade, har till den ursprungliga versionen av programmet lagts två subrutiner: "Datose" och "Select". Vidare har ett plotprogram byggts upp, som använder sig av subrutinen Rita.

Subrutinen DATOSE

I denna subrutin inläses de data som användes i Select, d.v.s. vektorerna IR och JR, som styr urvalet av variablerna, samt antalet önskade variabler och samplingsperiod. För beskrivning av datakort, se comment på listning av Datose. (Lista 4:2).

Subrutinen SELECT

lägger upp de värden, som önskas plottade, på en fil på trumman (logisk enhet ≤ 40). Värdena lägges i den ordning de uträknas. Se även lista 4:3.

Plotprogrammet, subrutinen ASMPLT

Plotprogrammet, som bygger på anrop av subrutinen Rita, kan med fördel läggas som en subrutin till huvudprogrammet. Det kan också köras separat. Programmet läser de utlagda variabelvärdena, men då dessa ej är sorterade, läses bara de värden in, som hör till den aktuella variabeln. Detta får som följd, att filen får läsas lika många gånger som det antal variabler som önskas plottade. I övrigt består programmet av beräkningar av parametrar till Rita. För beskrivning av datakort, se comment i lista 4:4.

4.4 Ett exempel på en körning

För att få rimliga värden på parametrarna provkördes programmet på det i Smith-Eilers (1970) givna exemplet. Dock ändrades N till 600 och NCALC sattes till 10. Vidare valde vi att plotta följande variabler: BOD 1 (inkommande), BOD 14 (utgående), Q1, ACC.BOD AT ST. 14. De datakort som behövs för körningen finns på datablanketterna i slutet av denna avdelning. För beskrivningen av datakortet till huvudprogrammet hänvisas till Smith (1970).

Datakort till Datose

Se lista 4:2, comment.

Kort 1

Då totalt fyra variabler skall plottas blir $NMAX = 4$. Vidare valde vi att läsa in samtliga beräknade värden, då N ej är större än 600 och $ASMPLT$ klara av upp till 4000, d.v.s. $NSAMP = 1$.

Kort 2

Då $BOD-KONC.$ står i femte kolonnen (i utskr. från huv.pr) blir $I(1)=5$, eftersom vi önskade koncentrationen vid station 1 blir $J(1)=1$.

Kort 3

Som ovan.

Kort 4

Eftersom flödena finns i första kolonnen blir $I(3)=1$, och då stationsnumret är 1 blir $J(3)=1$.

Kort 5

Då ackumulerad BOD vid station 14 ej finns i matrisen blir $I(4)=9$ och då denna variabel har tilldelats J -värdet 1 blir $J(4)=1$.

Datakortet till ASMPLTKort 1

Då logiska enheten har valts till 40 blir $LU = 40$. Antalet diagram ger $NMAX = 4$. Då N i huvudprogrammet valts till 600 och vi önskar alla punkter plotade blir $NP = 600$. Om vi önskar att diagrammet skall få plats på en A4-sida bör det ej överstiga 29 cm. Då NX borde vara jämnt delbart med 50 blir $NX = 25$ lagom. Längden på diagrammet blir nu $600/25 \text{ cm} = 24 \text{ cm}$.

Kort 2

Då vi i huvudprogrammet valt $H = 0,01$ blir $TSAMP = 0,01$, om vi väljer enheten dagar på X -axeln.

Kort 3 - 6

Självförklarande.

Resultatet

Resultat av körning finns redovisade i figur 4.2 - 4.5 och listan finns i pärmen för listor hörande till detta examensarbete.

4.5 Några reflexioner

För att modellen skall bli användbar för att beskriva dynamiken i en aktiv-slam anläggning krävs, att den utvecklas ytterligare, främst sedimentationsdelen, som endast beskrivs med statistiska samband. Om plotrutiner bör tilläggas, att de i nuläget är ganska klumpiga och använder onödigt mycket maskintid, då de läser trumman mer än en gång. Programmet gjordes så för att det skulle bli så generellt som möjligt. Om man bara ämnar plotta ett mindre antal diagram, fem till tio stycken, kan man sortera data och lägga dem på olika filer. Detta får till följd, att programmet bara behöver läsa data en gång och detta bör snabba upp det.

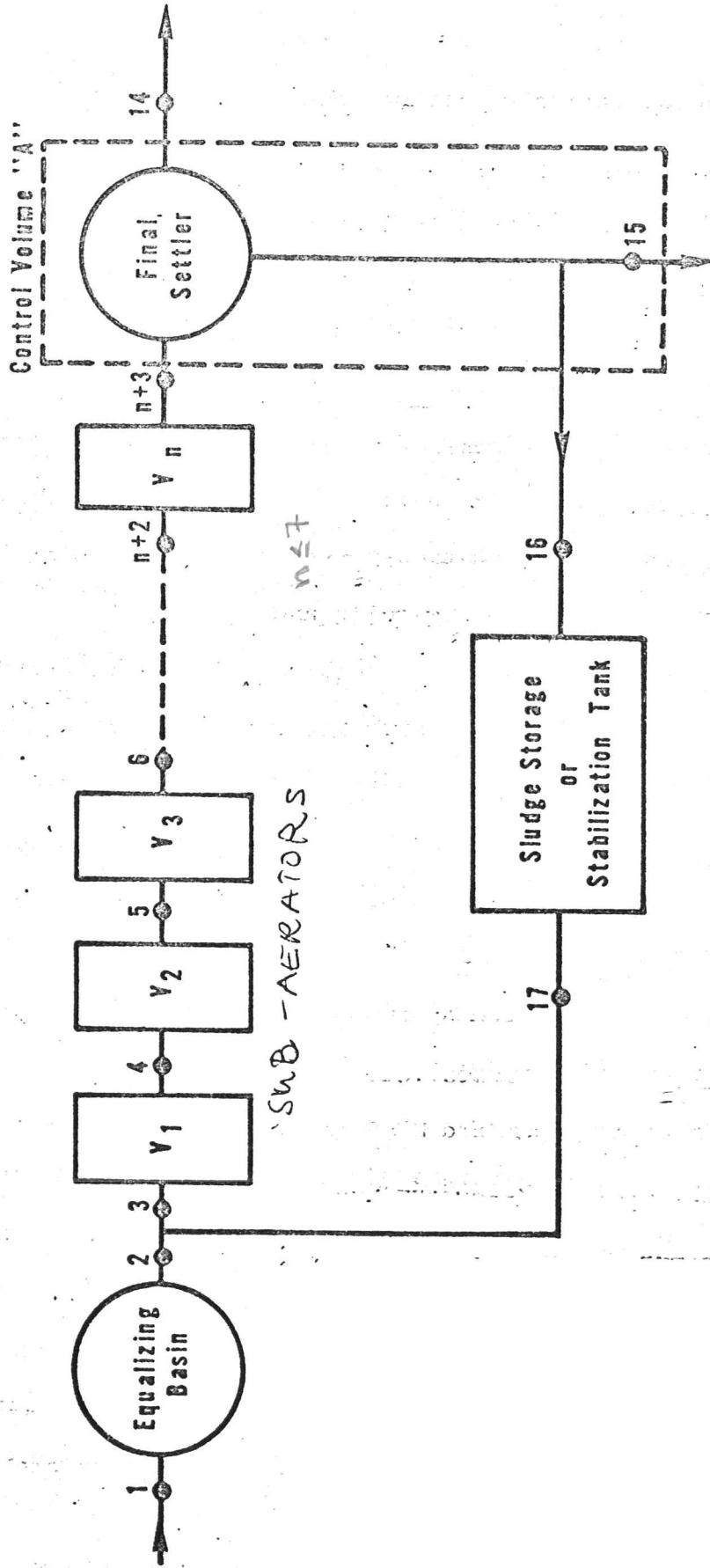
4.6 Referenser

R. Smith, R.G. Eilers: Simulation of the Time-dependent Performance of the Activated Sludge Process using Digital Computer. U.S. Department of the Interior Federal Water Quality Administration Advanced Waste Water Treatment Branch, Division of Research, Cincinnati, Ohio, October, 1970.

Institutionens för reglerteknik programbibliotek för Univac 1108.

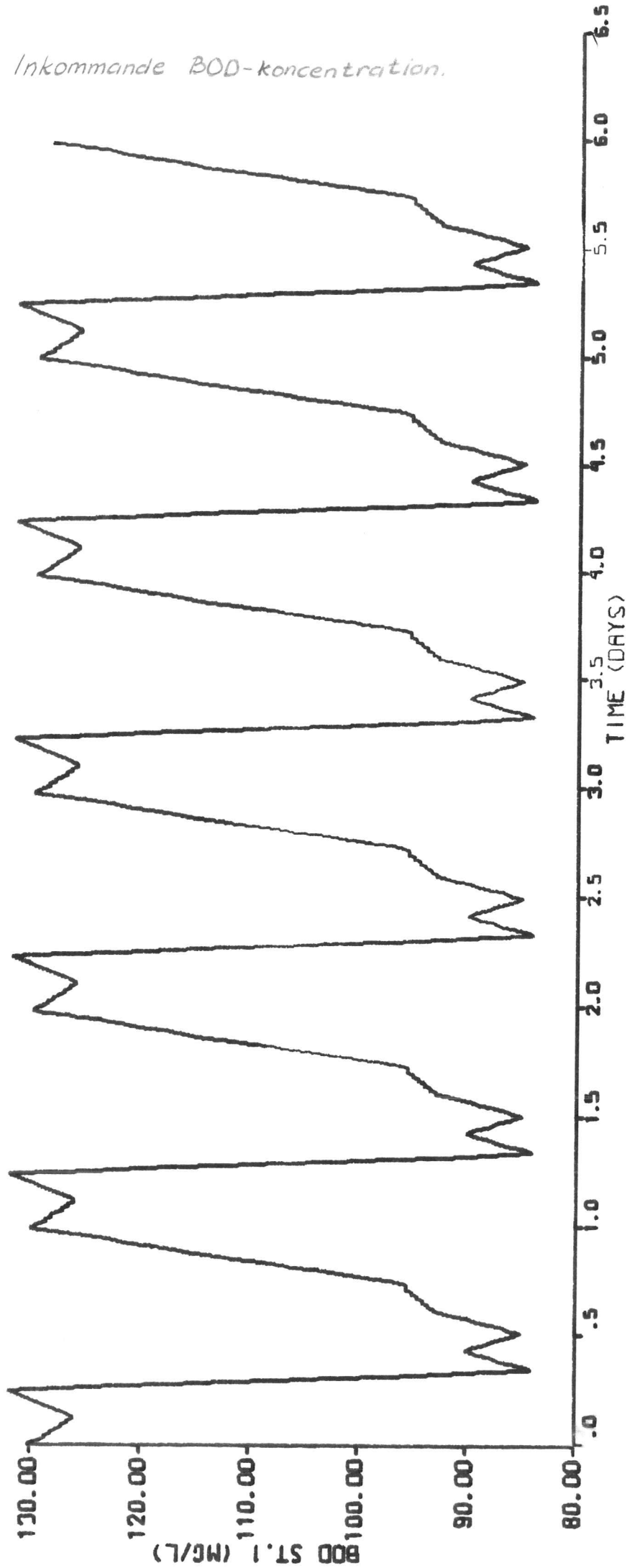
Figur 4:1

Bassängbeskrivning.



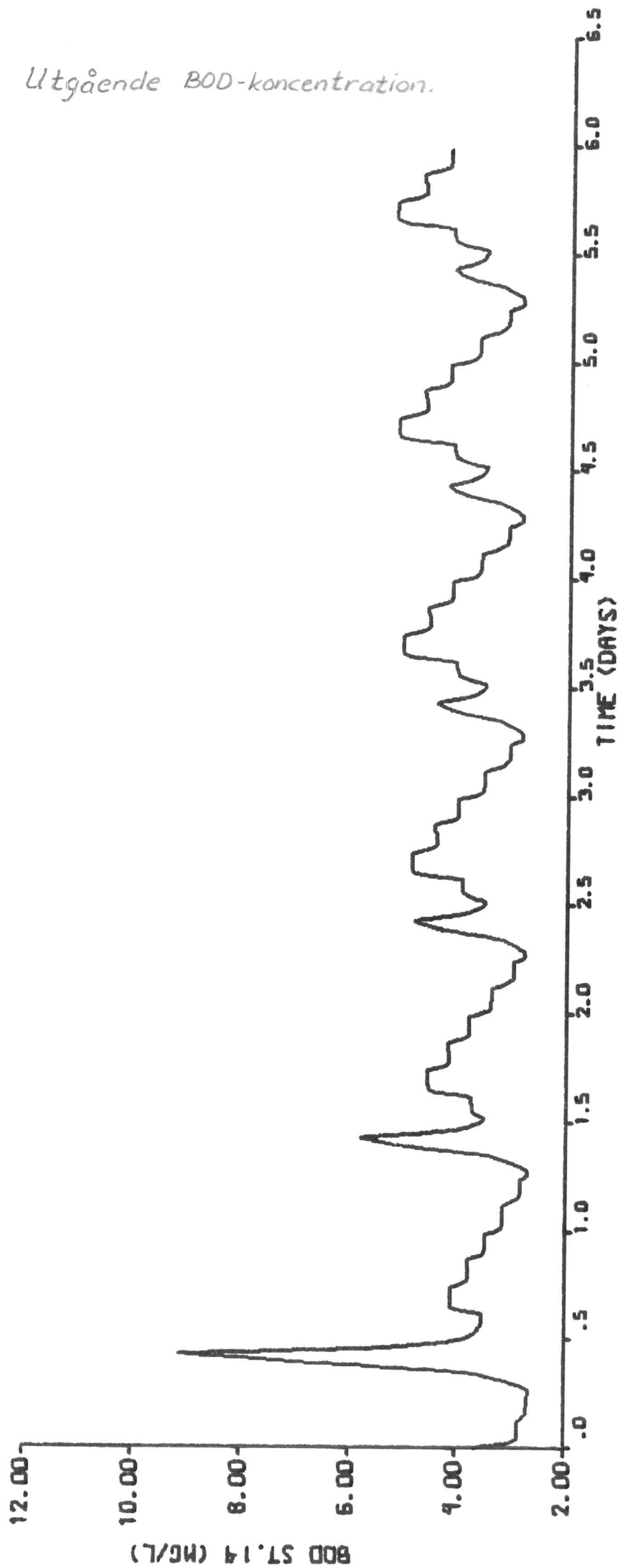
Figur 4:2

Inkommande BOD-koncentration.



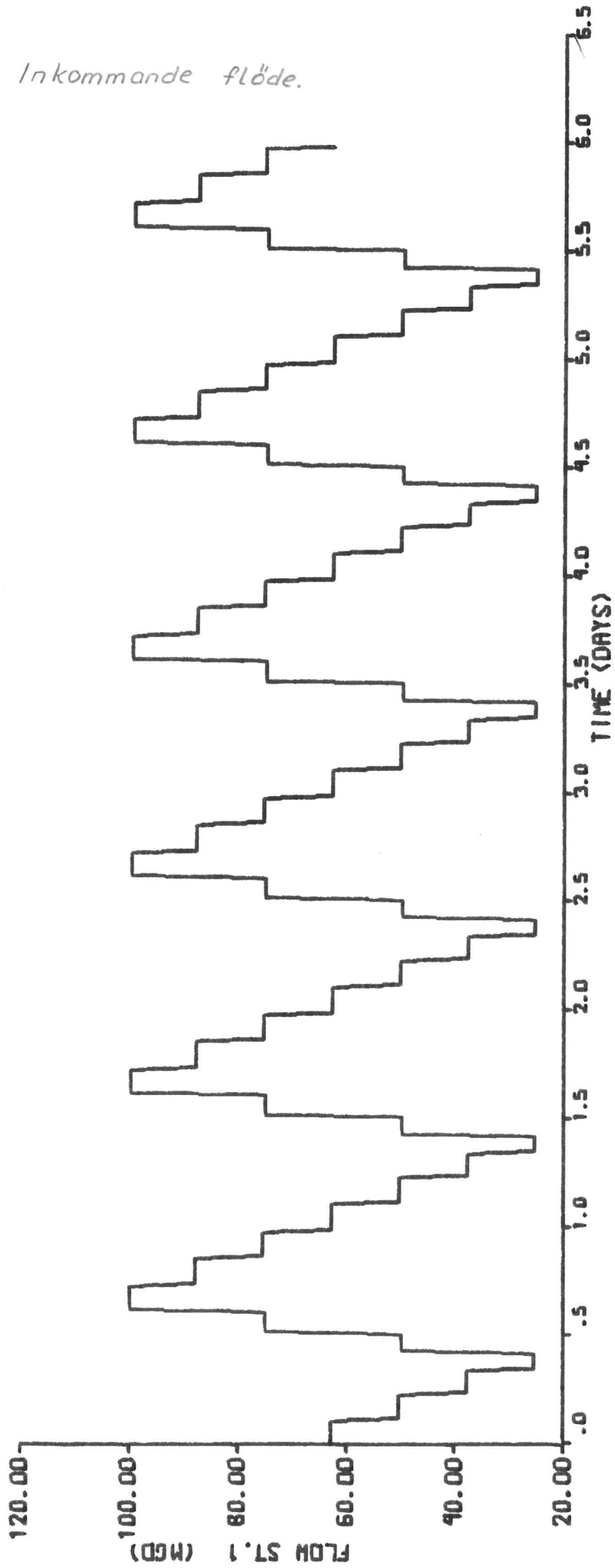
Figur 4:3

Utgående BOD-koncentration.



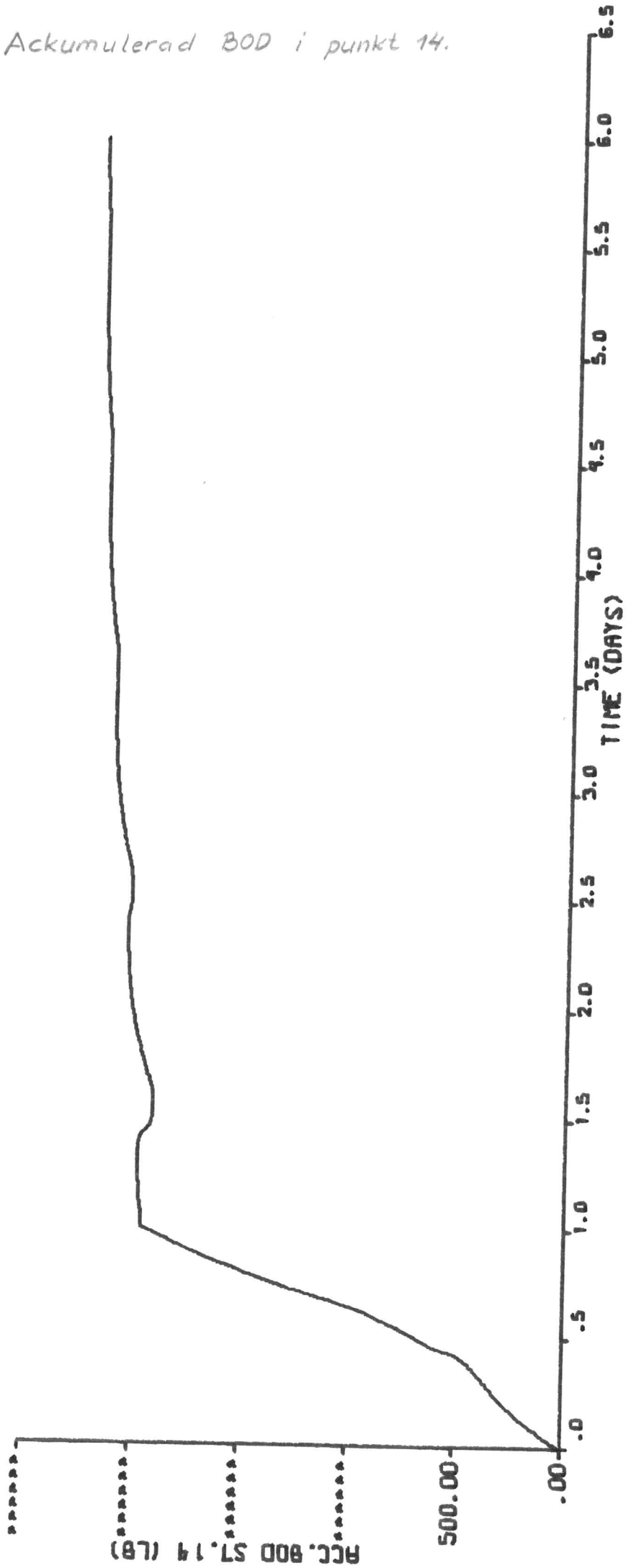
Figur 4:4

Inkommande flöde.



Figur 4:5

Akkumulerad BOD i punkt 14.



Lista 4:1 Huvudprogram.

```

C*TIME DEPENDENT MATHEMATICAL MODEL FOR ACTIVATED SLUDGE
C THIS DECK USES BRUTE FORCE NUMERICAL INTEGRATION
  DIMENSION X(3,17),S(3,17),Q(17),V(17),C1(3),C2(3),C3(3),C4(3),
  . DELS(3,17),DELX(3,17),DLS17(3),DLX17(3),XXX(100),YYY(100),
  . ZZZ(100)
  DIMENSION SMATX(100),QMATX(100),UMATX(100)
  DIMENSION IR(156),JR(156)
  DATA X/51*0.0/,S/51*0.0/,Q/17*0.0/,V/17*0.0/
  DATA C1/3*0.0/,C2/3*0.0/,C3/3*0.0/,C4/3*0.0/
  DATA XXX,YYY,ZZZ,Y,XREM,XLOAD/303*0.0/
  DATA M,I11/0,1/
  DS17F(A,B,C,D,E,F)=(Q16*A-Q17*B)/V17-C*B*D/(E+B)/F
  DS0TF(A,B,C,D,E,F,G)=Q5*(A-B)/C-D*B*E/(F+B)/G
  DXDTF(A,B,C,D,E,F,G)=Q5*(A-B)/C+D*B*E/(F+E)-G*B
  DX17F(A,B,C,D,E)=(Q16*A-Q17*B)/V17+C*B*D/(E+D)
  IH=5
  IO=6
101  FORMAT(10F3.2)
102  FORMAT(I10,5F10.3,I10)
103  FORMAT(3F10.5)
104  FORMAT(4F10.5)
105  FORMAT(5X,52HACCUMULATED BOD AT STATION 14 = ,E11.5,2X,2HLB)
106  FORMAT(I10,6F10.3,F10.4)
107  FORMAT(5X,8HXLOAD = E11.5,5X,7HXREM = ,E11.5,7X,
  . 6HC1(1)=,F6.3,5X,4H1/L=,F6.5)
108  FORMAT(5X,I2,5X,E10.4,5X,E10.4,4X,E10.4,3X,E10.4,3X,
  . E10.4,3X,E10.4,3X,E10.4)
109  FORMAT(4X,4HTANK,5X,3HMGD,8X,9HBOD USERS,5X,12HNITROSUMONAS
  . 2X,11HNITROBACTER,5X,3HBOD,8X,7HAMMONIA,6X,7HNITRITE,8X,4HVAER/)
110  FORMAT(74X,7HTIME = ,F6.2)
111  FORMAT(1H1,'N=',I6,12X,'H=',F8.3,10X,'T=',F5.1,15X,
  . 'TD=',F5.1,10X,'NCALC=',I4,7/,1X,
  . 'C1(1)=',F5.2,9X,'C2(1)=',F5.1,9X,'C3(1)=',F4.2,10X,'C4(1)=',
  . F4.2,7/,1X,'C1(2)=',F4.2,10X,'C2(2)=',F4.2,10X,'C3(2)=',F4.2,10X,
  . 'C4(2)=',F5.3,7/,1X,'C1(3)=',F4.2,10X,'C2(3)=',F4.2,10X,'C3(3)=',
  . F4.2,10X,'C4(3)=',F5.5,7/)
112  FORMAT(1X,'XRSS=',F7.4,8X,'URSS=',F4.2,11X,'Q(15)=',F5.3,
  . 9X,'CTEMP=',F6.2,5X,'AMP=',F7.3,8X,'FLAG=',F7.3,7/,1X,'NTKS=',I2,
  . 13X,'VAER=',F5.2,10X,'V(2)=',F6.3,9X,'V(17)=',F5.5,7/)
114  FORMAT(10F10.5)
115  FORMAT(1H1,777777)
  READ(IN,101) (SMATX(I),I=1,100)
  READ(IN,101) (QMATX(I),I=1,100)
  READ(IN,101) (UMATX(I),I=1,100)
  READ(IN,102) N,H,T,TD,FLAG,AMP,NCALC
  READ(IN,106) NTKS,VAER,V(2),V(17),CTEMP,Q(15),URSS,XRSS
  K=NTKS+5
  READ(IN,104) (C1(I),C2(I),C3(I),C4(I),I=1,3)
  READ(IN,103) (S(I,2),I=1,3)
  READ(IN,103) ((X(I,J),I=1,3),J=4,K)
  READ(IN,103) ((S(I,J),I=1,3),J=4,K)
  READ(IN,103) (X(I,17),I=1,3)
  READ(IN,103) (S(I,17),I=1,3)
  CALL DATUSE(NMAX,NSAMP,IR,JR)
  WRITE(IO,115)
  WRITE(IO,114) SMATX,QMATX,UMATX
  WRITE(IO,111) N,H,T,TD,NCALC,C1(1),C2(1),C3(1),C4(1),C1(2),C2(2),
  . C3(2),C4(2),C1(3),C2(3),C3(3),C4(3)

```

Lista 4:1 (forts.)

```

WRITE(10,112) XRSS,URSS,Q(15),CTEMP,AMP,TLAG,NIKS,VAER,V(2),V(17)
T=.002
DO 20 J=4,K
20 V(J)=VAER/NIKS
NSTOP=N+1
DO 900 LL=1,NSTOP
ICNT=ICNT+1
Q(1)=QMATX(ICNT)
S(1,1)=SMATX(ICNT)
S(2,1)=18.
50 S(3,1)=0.
X(1,2)=0.0
X(2,2)=0.0
X(3,2)=0.0
XXL=VAER*X(1,2)/(Q(1)*S(1,1))
C1(1)=0.45/-4.454*(ALOG(XXL))
C1(1)=C1(1)*1.047**((CTEMP-20.))
IF(C1(1)) 60,60,70
60 C1(1)=0.
70 IF(V(2)) 100,80,100
80 S(1,2)=S(1,1)
S(2,2)=S(2,1)
S(3,2)=S(3,1)
Q(2)=Q(1)
GO 10 120
100 Q(2)=10.
120 DO 140 I=1,5
X(I,14)=X(I,K)*XRSS
X(I,15)=X(I,K)*URSS
140 X(I,16)=X(I,K)*URSS
DO 180 I=1,5
S(I,14)=S(I,K)
S(I,15)=S(I,K)
180 S(I,16)=S(I,K)
IF(V(17)) 220,200,220
200 DO 210 I=1,5
S(I,17)=S(I,16)
210 X(I,17)=X(I,16)
220 Q(16)=Q(2)*(1.-XRSS)/(URSS-1.)-Q(15)*(URSS-XRSS)/(URSS-1.)
Q(17)=Q(16)
IF(Q(17)) 240,280,280
240 Q(17)=0.
280 Q(3)=Q(2)+Q(17)
Q(14)=Q(3)*(URSS-1.)/(URSS-XRSS)
Q(16)=Q(3)-Q(14)-Q(15)
DO 300 J=4,K
300 Q(J)=Q(3)
S(1,3)=(Q(2)+S(1,2)+Q(17)+S(1,17))/Q(3)
S(2,3)=(Q(2)+S(2,2)+Q(17)+S(2,17))/Q(3)
S(3,3)=Q(17)+S(3,17)/Q(3)
X(1,3)=Q(17)*X(1,17)/Q(3)
X(2,3)=Q(17)*X(2,17)/Q(3)
X(3,3)=Q(17)*X(3,17)/Q(3)
IF(M) 500,400,500
400 IF(T-10) 480,420,420
420 WRITE(10,110) T
WRITE(10,109)
DO 440 L=1,K
440 WRITE(10,106) L,Q(L),(X(M,L),M=1,3),(S(M,L),M=1,3),V(L)
DO 460 L=14,17
460 WRITE(10,108) L,Q(L),(X(M,L),M=1,3),(S(M,L),M=1,3),V(L)
WRITE(10,105) XXX(III)
WRITE(10,107) ZZZ(III),YYY(III),C1(1),XXL
480 M=NCALC

```

Lista 4:1 (forts.)

```

510  CONTINUE
      IF((LL-1)/NSAMP*NSAMP.EQ.(LL-1)) CALL SELECT(Q,X,S,V,XXX,YYY,ZZZ,I
      *IT,C1,XXL,IR,JP,NMAX)
      Q3=Q(3)
      Q16=Q(16)
      Q17=Q(17)
      V17=V(17)
      XXX(III)=Y
      YYY(III)=XREM
      ZZZ(III)=XLOAD
      III=III+1
      DO 520 J=4,K
      DO 520 I=1,5
520  DELX(I,J)=DXDTF(X(I,J-1),X(I,J),V(J),C1(I),S(1,J),C2(I),C3(I))
      DO 540 J=4,K
      DO 540 I=1,2
540  DELS(I,J)=DSDTF(S(I,J-1),S(I,J),V(J),C1(I),X(I,J),C2(I),C4(I))
      DO 550 J=4,K
550  DELS(3,J)=Q(3)*(S(3,J-1)-S(3,J))/V(J)-C1(3)*S(3,J)*X(3,J)/(C2(3)+
      * S(3,J))/C4(3)+C1(2)*S(2,J)*X(2,J)/(C2(2)+S(2,J))/C4(2)
      DELY=Q(14)*S(1,14)*8.35
      BUGS=V(17)*X(1,17)
      DO 560 J=4,K
560  BUGS=BUGS+V(I)*X(1,I)
      DELR=(Q(2)*S(1,2)-Q(14)*S(1,14))/BUGS
      DELL=Q(2)*S(1,2)/BUGS
      IF(V(17)) 570,610,570
570  DO 590 I=1,5
590  DLX17(I)=DX17F(X(I,16),X(I,17),C1(I),S(1,17),C2(I))
      DO 600 I=1,2
600  DLS17(I)=DS17F(S(I,16),S(I,17),C1(I),X(I,17),C2(I),C4(I))
      DLS17(3)=(Q(16)*S(3,16)-Q(17)*S(3,17))/V(17)-C1(3)*S(3,17)*
      * X(3,17)/(C2(3)+S(3,17))/C4(3)+C1(2)*S(2,17)*X(2,17)/(C2(2)+
      * S(2,17))/C4(2)
      DLV17=Q(16)-Q(17)
610  IF(V(2)) 650,650,630
630  DELS2=(Q(1)*S(1,1)-Q(2)*S(1,2))/V(2)
      DELA2=(Q(1)*S(2,1)-Q(2)*S(2,2))/V(2)
      DLV2=Q(1)-Q(2)
650  IF(III-101) 690,670,670
670  III=1
690  Y=Y+DELY*H
      XXX(III)=Y-XXX(III)
      XREM=XREM+DELR*H
      YYY(III)=XREM-YYY(III)
      XLOAD=XLOAD+DELL*H
      ZZZ(III)=XLOAD-ZZZ(III)
      DO 700 J=4,K
      DO 700 I=1,5
      X(I,J)=Y(I,J)+DELX(I,J)*H
700  S(I,J)=S(I,J)+DELS(I,J)*H
      IF(V(17)) 720,780,720
720  V(17)=V(17)+DLV17*H
      DO 760 I=1,5
      S(I,17)=S(I,17)+DLS17(I)*H
760  X(I,17)=X(I,17)+DLX17(I)*H
780  IF(V(2)) 800,810,800
800  S(1,2)=S(1,2)+DELS2*H
      S(2,2)=S(2,2)+DELA2*H
      V(2)=V(2)+DLV2*H
810  DO 850 J=4,K
      DO 850 I=1,5
      IF(S(I,J)-.001) 830,830,850
830  S(I,J)=0.0

```

Lista 4:1 (forts.)

```
850 CONTINUE
      DO 890 I=1,5
      IF(S(I,17)-.001) 870,870,890
870 S(I,17)=0.0
890 CONTINUE
      T=T+H
      M=M-1
      IF(ICNT=100) 900,895,900
895 ICNT=0
900 CONTINUE
      REWIND 40
      CALL ASMPLT
      STOP
```

Lista 4:2 Subrutinen DATOSE.

```

SUBROUTINE DATOSE(NMAX,NSAMP,I,J)
C THIS SUBROUTINE READS THE DATA TO THE SUBROUTINE SELECT.
C
C
C DATACARDS          NMAX,NSAMP/
C                   I(1),J(1)/
C                   :
C                   I(NMAX),J(NMAX)
C
C FORMAT            2I5/
C                   2I5/
C                   :
C                   2I5/
C
C NMAX              DESIRED NUMBER OF DIAGRAMS
C
C NSAMP             SAMPLINGPERIOD, EVERY NSAMP*TH POINT WILL BE PLOTTED.
C
C I(K)              TYPE OF VARIABLE, I(K)=COLUMNNUMBER OF THE PRINTOUT-MATRIX
C                   OF MAIN-PROGRAM. I(K)=9 IS USED FOR THE REMAINING VARIABLES.
C
C J(K)              I(K)<9, THEN J(K)=STATIONNUMBER IN MAIN-PROGRAM.
C                   I(K)=9, THEN J(K)=1 GIVES : ACC. BOO AT ST. 14 ( XXX(III) )
C                   J(K)=2 GIVES : XLOAD ( ZZZ(III) )
C                   J(K)=3 GIVES : XREM ( YYY(III) )
C                   J(K)=4 GIVES : C1(1)
C                   J(K)=5 GIVES : 1/L ( XXL )
C                   J(K)>5 WITHOUT MEANING.
C
C
C
C
C
C
C DIMENSION I(1),J(1)
C READ(5,101) NMAX,NSAMP
C DO 10 N=1,NMAX
10 READ(5,101) I(N),J(N)
101 FORMAT(2I5)
RETURN

```

Lista 4:3 Subrutinen SELECT

SUBROUTINE SELECT(Q,X,S,V,XXX,YYY,ZZZ,III,C1,XXL,I,J,NMAX)
C THIS SUBROUTINE SELECTS THE DESIRED VARIABLES AND STORE THEM ON DRUMFILE
C LOGIC UNIT-NUMBER 40.
C
C
C

DIMENSION Q(1),X(5,1),S(5,1),V(1),I(1),J(1)
DIMENSION XXX(1),YYY(1),ZZZ(1),C1(1)
LU=40
DO 10 N=1,NMAX
IN=I(N)
JN=J(N)
GOTO(1,2,2,2,3,3,5,4,5),IN
1 WRITE(LU) Q(JN)
GOTO 10
2 WRITE(LU) X(IN-1,JN)
GOTO 10
3 WRITE(LU) S(IN-4,JN)
GOTO 10
4 WRITE(LU) V(JN)
GOTO 10
5 GOTO(11,12,13,14,15,16),JN
11 WRITE(LU) XXX(III)
GOTO 10
12 WRITE(LU) ZZZ(III)
GOTO 10
13 WRITE(LU) YYY(III)
GOTO 10
14 WRITE(LU) C1(1)
GOTO 10
15 WRITE(LU) XXL
GOTO 10
16 CONTINUE
10 CONTINUE
RETURN

Lista 4:4 SUBROUTINE ASHPLT

C THIS PROGRAM PLOTS THE DESIRED VARIABLES SELECTED WITH THE SUBROUTINE
 C SELECT IN THE PROGRAM FOR THE TIMEDEPENDENT ACTIVATED SLUDGE MODEL.

C
 C MAXIMUM NUMBER OF PLOTTED POINTS IN ONE DIAGRAM IS 4000.
 C THE LENGTH OF THE Y-AXIS IS 10 CM.

C
 C DATACARDS LU,NMAX,NP,NX/
 C TSAMP/
 C XTEXT,YTEXT/
 C : > NMAX DIFFERENT TEXTS
 C XTEXT,YTEXT/)

C
 C FORMAT 4I10/
 C E20.10/
 C 4A6,5A6/
 C : > NMAX DIFFERENT TEXTS
 C 4A6,5A6/)

C
 C LU LOGICAL-UNIT OF THE DRUM-FILE,WHERE THE POINTS ARE STORED.
 C
 C NMAX NUMBER OF DIAGRAMS(VARIABLES) DESIRED.
 C
 C NP NUMBER OF SAMPLING-POINTS ON EACH VARIABLE.
 C
 C NX NUMBER OF SAMPLING-POINTS PER CM. OUGHT TO BE A DIVIDER TO S
 C
 C TSAMP SAMPLING-PERIOD,USED FOR SCALING.
 C
 C XTEXT TEXT FOR X-AXIS.
 C
 C YTEXT TEXT FOR Y-AXIS.

```

  DIMENSION Y(4000),XTEXT(4),YTEXT(3),DUMMY(155)
  DATA PL/0./,Y0/-1./
  CALL PLOTS(DUMMY,DUMMY,DUMMY)
  READ(5,100) LU,NMAX,NP,NX
100  FORMAT(4I10)
  READ(5,101) TSAMP
101  FORMAT(E20.10)
  DX=FLOAT(NX)*TSAMP
  SX=FLOAT(NP)/FLOAT(NX)+2.
  JMAX=NP-1
  DO 11 I=1,NMAX
  IF(I.EQ.1) GOTO 12
  KKMAX=I-1
  DO 13 KK=1,KKMAX
13  READ(LU) DUMMY(KK)
12  KKMAX=NMAX-1
  DO 10 J=1,JMAX
  READ(LU) Y(J)
  DO 10 KK=1,KKMAX
10  READ(LU) DUMMY(KK)
  READ(LU) Y(NP)
  REWIND LU
  Y0=-Y0
  IF(I/2*2.EQ.1) Y0=12.
  X0=0.
  IF((I-1)/2*2.EQ.(I-1)) X0=PL+5.
  PL=FLOAT(NP)/FLOAT(NX)
  READ(5,102) XTEXT,YTEXT
102  FORMAT(4A6,5A6)
  WRITE(6,103) YTEXT,(Y(J),J=1,NP)
103  FORMAT(1H1,1X,3A6//,(1X,10E10.4))
11  CALL KIYA(Y,NP,X0,Y0,0.,DX,0.,0.,-1.,SX,10.,-1,1,NX,1,1,0,0,1,XTEX
  *T,YTEXT)
  CALL PLOT(4.,0.,-5)
  CALL PLOT(0,0,999)
  RETURN
  
```

PROGRAMMERINGS- OCH DATABLANKETT

Programmerare		Kundnummer			Telefon nr			Datum		Operand		Kommentar		Identifikation/ Sekvensnr	
Assembler Language		10 Operation		14		16									
FORTRAN		Fml nr				FORTRANformel									
ALGOL		P/I				Sats									
P/I		Sats													
DATAKORT TILL HUVUDPROGRAMMET.															
130.00	129.50	129.00	128.50	128.50	128.50	128.50	128.00	127.50	127.50	127.50	127.50	127.00	127.00	127.00	
:															
117.00	118.00	119.50	121.00	122.00	123.00	124.00	125.00	126.00	127.00	127.00	127.00	127.00	127.00	127.00	
62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	
:															
75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	
:															
:															
:															
600															
6.40															
.68															
1.															
112.															
742.															
747.															
20.3															
3.6															
2380.															
3.6															

PROGRAMMERINGS- OCH DATABLANKETT

Programmerare		Kundnummer		Telefon nr		Datum		Tecken- standard		EBCDIC		Speciell stans- instruktion		Tecken Stämning		Sida Program		av					
Assembler Language	8	10 Operation	14	16	Operand															Kommentar		Identifikation/ Sekvensnr	
1 Fortran	5	6	7	FORTRANformel																			
DATA	1																						
ALGOL	1																						
P/J	1																						
Sais	5																						

Kolumnrang	Innehåll	Kolumnrang	Kolumnrang
1-10	DATAKORT TILL DATASE.	11-15	16
11-15	4 1	16	17
16-20	5 14	21	22
21-25	1 1	26	27
26-30	9 1	31	32
31-35	DATAKORT TILL ASMPLE.	36-40	41
41-45	40	46-50	51
46-50	1.0	56-60	61
51-55	TIME (DAYS)	66-70	71
56-60	TIME (DAYS)	76-80	77
61-65	TIME (DAYS)		
66-70	TIME (DAYS)		
71-75	600	76-80	77
76-80	25		
	BOD ST. 1 (MG/L)		
	BOD ST. 14 (MG/L)		
	FLOW ST. 1 (MG/D)		
	ACC. BOD. ST 14 (LB)		

V. MODELLIDENTIFIERING AV AKTIVT-SLAM PROCESSEN.

5.1 Inledning

Genom vänligt tillmötesgående från Systems Control Inc., Palo Alto, California, USA, har dataserier från två experiment på aktivt-slam anläggningen vid reningsverket i Palo Alto ställts till vårt förfogande.

Dataserierna från experiment 1 anger inkommande flöde (Q), luftflöde (AIR), överskottsslamflöde (WAS), aktivt returslamflöde (RAS) och löst överskottssyrehalt i luftningsbassängen (DO) medan experiment 2 ger värden på AIR och DO. I experiment 2 ändras AIR stegvis 2 gånger.

Syftet med undersökningen var att finna en linjär dynamisk modell, som beskriver DO som funktion av Q, AIR, WAS och RAS.

Identifieringen på experiment 1 gav som resultat:

- o systemet beskrives väl av en 2. ordningens modell.
- o den klart dominerande insignalen är AIR. Q och i mindre grad RAS påverkar DO signifikant. Inverkan av WAS är insignifikant.
- o en lämplig modell är således en 2. ordningens modell med Q och AIR eller Q, AIR och RAS som insignaler.

Experiment 2 analyserades som ett stegsvarexperiment och gav som resultat:

- o systemet kan beskrivas av en 1. ordningens modell, som dock har en längre tidskonstant än den längsta tidskonstanten i experiment 1.
- o den statistiska förstärkningen är ungefärligen densamma som AIR:s statistiska förstärkning i experiment 1.

5.2 Reningsverket i Palo Alto

En kort beskrivning av reningsverket i Palo Alto ges i Olsson-Ulmgren (1973), varifrån detta avsnitt (med hithörande tabell 5.1 och figurerna 5.1 och 5.2) är hämtat:

Reningsverket kan beskrivas med sex olika delar:

- o förbehandling
- o försedimentering
- o luftningsbassänger
- o eftersedimentering
- o klorering
- o slamförbränning

Ett schematiskt flödesschema för verket visas i figur 5.1. Huvudsakliga data kring verket är sammanställda i tabell 5.1. Verket var färdigbyggt i april 1972 och ett datorsystem installerades i juni 1972.

Inkommande vatten pumpas in av fyra parallella pumpar med variabel hastighet, vardera på 200 hk. Normalflödet till verket är 27 megagallons/day (= 1.2 m³/s). Mer än 90 % av inflödet består av hushållsvatten. Nivån på pH ligger tämligen konstant omkring 7.

Man behandlar industriellt avloppsvatten i separata reaktorer. Volymen av industriellt avlopp är ganska begränsad och det mesta kommer från de många elektronikindustrier som finns i närheten. Vattnet fraktas i tankbilar till verket. Efter förbehandlingen dumpas sedan industrivattnet till primärsedimenteringen.

Primärslammet från sedimenteringen håller 6 - 8 % fastsubstans. Detta primärslam blandas med sekundärslam som håller ca 3 % innan slammet går till förtjockare.

Det biologiska steget är helt konventionellt. Sålunda kan aktivt slam recirkuleras till de tyra luftningsbassängerna, som är kvadratiska till formen.

Förtjockat slam pumpas till centrifugerna medan centratet återföres till primärbehandlingen och slamkakorna skruvas till ugnarna.

I Palo Alto kan anläggningen köras på två sätt när det gäller tillförseln av slam till förtjockarna. Aktivslam från returflödet kan pumpas till förtjockarna (streckade linjen i figur 5.2). Alternativt kan blandningsvätskan tagas direkt från luftningsbassängerna. Detta har ofta en fördel eftersom blandningsvätskan har en bättre likformig koncentration än aktivt slammet. Den senare operationen används därför mest i Palo Alto.

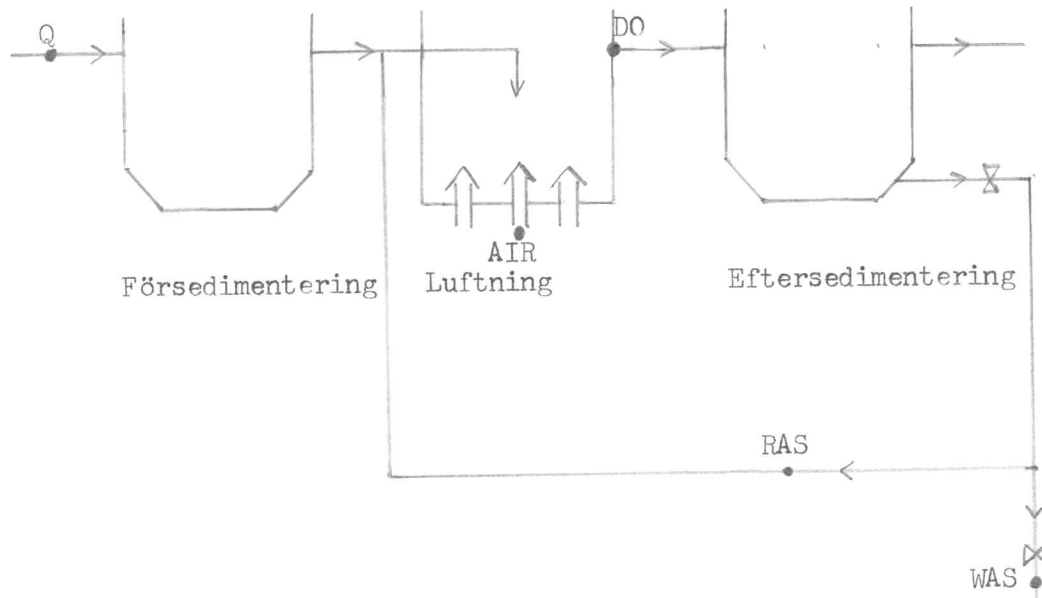
I reningsverket opererar man med en av luftningsbassängerna (totalt 4 st) som lagring för aktivt slam som därvid kan förluftas. Därvid får man en god buffert för aktivt slam, som kan användas vid varierande belastningssituationer.

Det sekundära slammet innehåller en torrhalt på ca 3 % och blandas med primärslammet innan det går till centrifugering och förtjockare. Tätheten på slammet mätes med en gammamätare, som emellertid fungerar ganska dåligt. Dessutom mätes flödet med magnetisk flödesmätare.

Efter centrifugering (4 st centrifuger) föres slamkakorna till ugnar där de förbrännes. Rökgaserna renas i enskrubberanläggning och gaserna kan sedan föras direkt ut i atmosfären.

5.3 ExperimentenKonfiguration

Experimentkonfigurationen kan schematiskt tecknas så här:

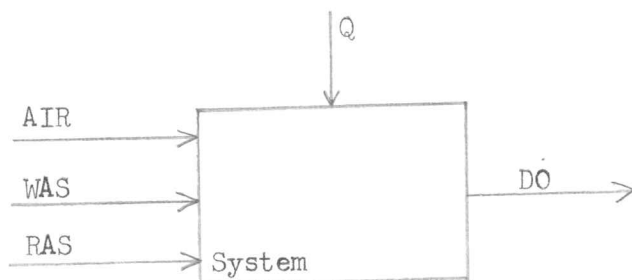


Insigalner: Q (inflöde, m^3/s)
 AIR (luftflöde, m^3/s)
 WAS (waste activated sludge = överskottsslamflöde, m^3/s)
 RAS (return activated sludge = aktivt returslamflöde, m^3/s)
 Utsignal : DO (dissolved oxygen = överskottssyrehalt i luftningsbassängerna, kg/m^3)

Jfr med figur 5.2.

Luftningsbassängerna är homogent blandade.

Systemet kan reglertekniskt betraktas på detta sätt:



Av insignalerna är AIR, WAS och RAS styrsignaler medan Q är en mätbar störning.

Experiment_1

Utfört: 25.2.1973 kl 13.22 - 21.56.

Samplingsintervall: 2 minuter.

Uppmätta insignaler: Q, AIR, WAS, RAS.

Uppmätt utsignal: DO.

Kommentar: 7 mätvärden mellan kl 18.00 och 18.12 saknas. Störningarna i insignalerna är naturliga, dvs de är ej styringrepp. En lista över de uppmätta värdena finns på Institutionen för Reglerteknik.

Figur: 5.3 och 5.4.

Experiment_2

Utfört: 18.3.1973 kl 08.33 - 12.50.

Samplingsintervall: 1 minut.

Uppmätt insignal: AIR.

Uppmätt utsignal: DO.

Kommentar: AIR ändras stegvis två gånger, se figur 5.5. Övriga störningar är naturliga. En lista över de uppmätta värdena finns på Institutionen för Reglerteknik.

Figur: 5.5.

5.4

Förberedande databehandlingsåtgärder

Följande åtgärder vidtogs med anledning av den kommande identifieringen:

- o mätvärdena, givna på hålkort, lästes in på trumminnet, hörande till Lunds Datacentrals dator Univac 1108.
- o mätvärdena, givna i amerikanska enheter, konverterades till SI-enheter.
- o mätvärdena listades. Listorna finns på Institutionen för Reglerteknik.
- o mätvärdena plottades m h a programmet MLPLOT ur Institutionens för Reglerteknik programbibliotek. Se figurerna 5.3 och 5.5.
- o i experiment 1 eliminerades out-liers. Out-liers är mätvärden, som radikalt avviker från omgivande mätvärden. De förorsakas troligen av fel i mät- eller registreringsdonen. Out-liers är markerade i figur 5.3.
- o i experiment 1 saknades, som ovan nämnts, 7 mätpunkter. De skattades genom linjär interpolation mellan mätvärdena kl 17.58 och 18.14. Se figurerna 5.3 och 5.4.
- o den sålunda redigerade mätserien till experiment 1 lästes in på trumminnet.
- o skalfaktorer valdes, en för varje variabel. Skalfaktorn är en konstant,

med vilken mätvärdena för variabeln multipliceras, så att mätvärdesvariationerna blir ungefär 1 enhet. Deras funktion är att underlätta plottning och identifiering. Se vidare Åström-Bohlin (1965) och Gustavsson (1969).

Följande skalfaktorer valdes:

Experiment 1: Q 5
 AIR 4
 WAS 6
 RAS 500
 DO 2500

Experiment 2: AIR 5 (1 i figur 5.5)
 DO 100

Vid plottningarna av experiment 1 i figur 5.4 och experiment 2 i figur 5.5 har skalade signaler används.

- o i experiment 1 beskriver de första mätpunkterna ett våldsamt oscillerande förlopp, och verkar ej representera verkliga mätvärden (se figur 5.3). Därför beslöt vi att ej använda de första 10 punkterna vid identifieringen (se figur 5.4).
- o signalernas mätvärden beräknades:

Experiment 1: $\bar{Q} = 1.2757 \text{ m}^3/\text{s}$
 $\bar{AIR} = 0.83594 \text{ m}^3/\text{s}$
 $\bar{WAS} = 0.084150 \text{ m}^3/\text{s}$
 $\bar{RAS} = 0.76329 \text{ m}^3/\text{s}$
 $\bar{DO} = 0.0015074 \text{ kg}/\text{m}^3$

Experiment 2: $\bar{AIR} = 0.63278 \text{ m}^3/\text{s}$
 $\bar{DO} = 0.0031083 \text{ kg}/\text{m}^3$

5.5

Programmet MLIDEN

Modell

MLIDEN ingår i Institutionens för Reglerteknik programbibliotek. Programmet identifierar processer med upp till 5 insignaler och en utsignal med följande linjära modell:

$$A^+y(t) = \sum_1^m q^{-k_i} B_i^+ u_i(t) + \lambda C^+ e(t), \quad (5.1)$$

$y(t)$ = utsignalen

$u_i(t)$ = insignal nr i

$e(t)$ = slumpstörningar i form av en sekvens normalfördelade ($N(0,1)$) stokastiska variabler.

$$A^+ = 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} + \dots + a_n q^{-n}$$

$$B_i^+ = b_{i0} + b_{i1} q^{-1} + b_{i2} q^{-2} + \dots + b_{in} q^{-n}$$

$$C^+ = 1 + c_1 q^{-1} + c_2 q^{-2} + \dots + c_n q^{-n}$$

q = skiftoperatorm: $q^{-k} f(t) = f(t - k)$

n = polynomordning.

m = antalet insignaler. Det gäller att $1 \leq m \leq 5$.

k_i = mått på transportfördröjning. q^{-k_i} anger hur lång tid det förflyter innan en förändring på insignal i börjar påverka utsignalen. Det gäller att $k_i \geq 0$.

λ = konstant.

N = antalet mätpunkter.

Identifieringsmetoden bygger på antagandet att $e(t)$ är normalfördelade.

Förlustfunktionen kan visas vara

$$V = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^N \varepsilon^2(t),$$

där residualerna $\varepsilon(t)$ rekursivt kan definieras ur

$$C^+ \varepsilon(t) = A^+ y(t) - \sum_{i=1}^m q^{-k_i} B_i^+ u_i(t) \quad (5.2)$$

MLIDEN finner de koefficienter i A^+ , B^+ , C^+ , dvs den parametervektor

$(a_1, a_2, \dots, a_n, b_{10}, b_{12}, \dots, b_{1n}, b_{20}, b_{21}, \dots, b_{2n}, \dots,$

$b_{m0}, b_{m1}, \dots, b_{mn}, c_1, c_2, \dots, c_n)$, som minimerar V . ML-skattningen

av $\lambda, \hat{\lambda}$, kan visas vara:

$$\hat{\lambda}^2 = \frac{2V}{N}. \quad (5.3)$$

λ kan således betraktas som en m a p antalet samplingspunkter normaliserad förlustfunktion.

Det bör vidare påpekas, att identifieringen görs på modifierade mätvärden. Mätvärdena är skalade (se sidan V:5) och medelvärdena är frändragna. MLIDEN fungerar nämligen bäst, när mätvärdena varierar runt noll och när mätsignalernas variationer är av samma storleksordning.

Val av k_i

I våra identifieringskörningar valde vi av fysikaliska skäl alla $k_i \geq 1$. Det är nämligen rimligt att anta, att minst ett samplingsintervall förflyter innan en förändring i en insignal ger sig tillkänna i utsignalen.

Jämförelse mellan två modeller

Det finns en möjlighet att jämföra två modeller av samma process genom att

$$F(1, 2) = \frac{V_1 - V_2}{V_2} \cdot \frac{N}{n_2 - n_1} \quad (5.4)$$

är ungefärligen F-fördelad med frihetsgraderna $n_2 - n_1$, N .

V_i = förlustfunktionen för modell i .

N = antalet mätpunkter.

n_i = antalet parametrar i parametervektorn för modell i .

Om $F(1,2) > F_{0.05}(n_2 - n_1, N)$ förkastas på nivån 5 % hypotesen, att modell 1 är bättre än modell 2. I våra fall är $F_{0.05}(n_2 - n_1, N) \leq 3$.

Krav på en acceptabel modell

Villkoren att MLIDEN hittat en bra modell är följande:

- o V har antagit lokalt minimum, vilket medför att grad V måste vara lika med (eller nästan lika med) 0. I våra fall anser vi grad V som tillräckligt liten, om $\max/\text{grad } V / \sim 0.01$.
- o parametrarna i parametervektorn är bestämda med liten standardavvikelse. I våra fall anses en komponent i parametervektorn godtagbar om dess standardavvikelse är mindre än absolutvärdet av komponenten.
- o ingen annan modell med samma insignaler är signifikant bättre enligt ovanstående F-testmetod.
- o modellens stabilitetsegenskaper måste motsvara det verkliga systemets och modellen måste ha en kontinuerlig motsvarighet.
- o A^+ , B^+ , C^+ får ej ha gemensamma nollställen.

Statisk förstärkning

MLIDEN beräknar den statistiska förstärkningen

$$G_i = \frac{b_{i0} + b_{i1} + \dots + b_{in}}{1 + a_1 + \dots + a_n} \quad (5.5)$$

G_i kan uppfattas som $\Delta y / \Delta u_i$. Denna storhet är emellertid beroende på

ex vilket enhetssystem som används. För våra reglertekniska ändamål är vi mera intresserade av en normaliserad statistisk förstärkning, \bar{G}_i , dvs hur en relativ förändring på insignalen relativt påverkar utsignalen. Med \bar{G}_i kan vi jämföra hur olika styringrepp påverkar utsignalen. Därför definierar vi:

$$\bar{G}_i = \frac{\Delta y / \bar{y}}{\Delta u_i / \bar{u}_i} = G_i \frac{\bar{u}_i}{\bar{y}} \quad (5.6)$$

där

\bar{u}_i = medelvärdet av u_i

\bar{y} = medelvärdet av y .

Terminologi

Som index i används q, a, w, r som betyder

$q = Q$

$a = \text{AIR}$

$w = \text{WAS}$

$r = \text{RAS}$.

Med modellens ordning menas den största av A^+ -, B_i^+ - och C^+ -polynomens ordningar.

En modell betecknas på följande sätt:

$f(n_{A^+}, \text{INSIGNAL } 1(n_1, k_1), \text{INSIGNAL } 2(n_2, k_2), \dots, \text{INSIGNAL } p(n_p, k_p))$

där

n_{A^+} = A^+ -polynomets ordning

n_i = B_i^+ -polynomets ordning

k_i = transportfördröjningen för insignal i .

Ex: $f(2, Q(2, 6), \text{AIR}(1, 1))$ betyder att DO är en funktion av Q och AIR , där A^+ -polynomets ordning är av 2. ordningen, B_q^+ -polynomets ordning är av 2. ordningen, B_a^+ -polynomets ordning är av 1. ordningen, $k_q = 6$ och $k_a = 1$.

De modeller som redovisas i tabellerna 5.2 - 5.12 har kortare beteckningar, som fr a används vid F-testjämförelser.

Ex: $F(A, AR) \equiv F(f(2, \text{AIR}(1, 1)), f(2, \text{AIR}(1, 1), \text{RAS}(1, 9))) = F$ -testkvantiteten vid övergång från modellen $f(2, \text{AIR}(1, 1))$ till modellen $f(2, \text{AIR}(1, 1), \text{RAS}(1, 9))$.

Litteratur om MLIDEN

Mer om MLIDEN kan inhämtas i Åström-Bohlin (1965), där teorin är utvecklad, och i Gustavsson (1969), där datorprogrammet presenteras. En sammanfattning av metoden ges i Åström-Eykhoff (1971).

5.6 Identifiering av experiment 1

Korskovarians

För att fastställa insignalernas inbördes oberoende bestämdes korskovarian-

sen dem emellan. Beräkningen visade att ingen insignal är signifikant korrelerad med någon annan.

För att underlätta identifieringen, bestämdes även insignalernas korskovarians med utsignalen. Resultatet skulle nämligen användas för att få en uppfattning om värdet på transportfördröjningarna k_i (se ekvation (5.1)). Endast insignalen AIR hade en signifikant korrelation med utsignalen DO. En stark positiv korskovarians råder för $\tau = 1$, se figur 5.6.

Detta tyder på att

- o AIR har starkare direkt inverkan på DO än övriga insignaler
- o k_a antar ett lågt värde.

Datalistorna från korskovariansbestämningarna finns på Institutionen för Reglerteknik.

Förberedande identifieringar

De första identifieringarna gjordes enligt nedanstående schema, med de väsentligaste resultaten inskrivna:

Alla $k_i = 1$

Insignal	Modellordning		
	1	2	3
Q	s	s $F(1,2) = 0.4$	C^+ instabil
AIR		Bra $F(1,2) = 12.1$	$F(2,3) = 2.1$
WAS	s	s $F(1,2) = 1.1$	s $F(2,3) = 0.9$
RAS	s	s $F(1,2) = 1.2$	s $F(2,3) = 2.2$

s = någon eller några komponenter i parametervektorn har för stor standardavvikelse.

$F(i,j)$ = F-testkvantiteten vid övergång från modell av ordning i till modell av ordning j. Se ekvation (5.4).

Alla modeller med Q, WAS eller RAS som insignal var dåliga, vilket framgår av ovanstående tabell. Ingen modell med ordningen 2 eller högre blev signifikant.

Däremot blev modellen $f(2, \text{AIR}(1,1))$ bra. Därför beslöt vi oss för att un-

dersöka om modellen $f(2, \text{AIR}(1, k_a))$ kunde förbättras genom att sätta $k_a > 1$, innan vi sökte efter godtagbara modeller med Q, WAS, eller RAS bland insignalerna.

Resultatet att AIR har störst direkt inflytande på DO, något som f ö överensstämmer med korskovariansundersökningen, är inte förvånande med tanke på att AIR står för inblåst luft och DO för löst syre i luftningsbassängerna.

Identifiering med AIR som insignal

Följande schema följdes:

$$f(n_{A^+}, \text{AIR}(n_{A^+}-1, k_a))$$

k_a	A^+ -polynomets ordning		
	1	2	3
1	$\lambda = 0.132$	$\lambda = 0.120$ $F(1,2) = 12.1$	$\lambda = 0.118$ $F(2,3) = 2.1$
2	$\lambda = 0.142$	$\lambda = 0.141$ $F(1,2) = 1.1$	$\lambda = 0.132$ $F(2,3) = 8.2$
3	$\lambda = 0.143$	$\lambda = 0.138$ $F(1,2) = 4.6$	$\lambda = 0.134$ $F(2,3) = 3.7$
4	$\lambda = 0.145$	$\lambda = 0.142$ $F(1,2) = 2.8$	$\lambda = 0.138$ $F(2,3) = 3.1$

$F(i, j)$ = F-testkvantiteten vid övergång från modell av ordning i till modell av ordning j. Se ekvation (5.4).

= den normaliserade förlustfunktionen. Se ekvation (5.3).

Resultatet visar att den signifikanta modellen med lägst förlustfunktion är $f(2, \text{AIR}(1, 1))$. Denna modell är även i övrigt bra. Modellens parametrar och övriga data framgår av tabell 5.2, och den är plottad i figur 5.7. Modellens förkortade beteckningssätt är A.

P g a det goda resultatet av denna körning och resultatet från korskovariansundersökningen drog vi slutsatsen att AIR(1,1) måste ingå som en av insignalerna i varje godtagbar modell.

Bestämning av k_r och DO som funktion av AIR och RAS

Enligt uppgift från handledaren är det oväsentligt vilken ordning modellen har på jakten efter bästa k . λ som funktion av k kommer ändå att antaga sitt minimum för ungefärligen rätt k .

Därför gjordes de första identifieringarna m h a modellen $f(1, \text{RAS}(0, k_r))$ med några olika värden värden på k_r upp till $k_r = 61$. Värden däröver ansågs helt orealistiska. Resultatet finns redovisat i figur 5.8, varav framgår att $5 \leq k_r \leq 30$.

Nu införde vi AIR av 1. ordningen med $k_a = 1$ som den ena insignalen medan RAS av 1. ordningen blev den andra. Resultatet framgår av figur 5.8, där den bästa modellen markeras med en pil. Punkter inom parantes markerar modeller, som av någon anledning inte är godtagbara, t ex är standardavvikelsen i någon eller några parameterkomponenter för stor, eller så är max/grad $V/$ för stor.

Den bästa modellen, den med $k_r = 9$, är redovisad i tabell 5.3 och figur 5.9. Lägg märke till att $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{RAS}(1,9))$ är signifikant bättre än den förut valda modellen $f(2, \text{AIR}(1,1))$. Ur tabell 5.3 framgår även, att $f(3, \text{AIR}(1,1), \text{RAS}(2,9))$ ej är signifikant bättre än $\text{AR} = f(2, \text{AIR}(1,1), \text{RAS}(1,9))$.

Vi gjorde även ett förberedande försök att bestämma en modell av formen $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{RAS}(0, k_r))$. Som synes av resultatet i figur 5.8 är $\lambda = \lambda(k_r)$ inom det ur diagrammet ovanför som intressant bedömda området $5 < k_r < 20$. Det är troligt att det går att finna en godtagbar modell, men den blir förmodligen ej bättre än $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{RAS}(1,9))$. Denna undersökning har vi ej gjort.

Bestämning av k_w och DO som funktion av AIR och WAS

På samma sätt, som k_r bestämdes i ovanstående avsnitt, bestämdes k_w .

De första körningarna med $f(1, \text{WAS}(0, k_w))$ finns redovisade i figur 5.10. Med hänsyn till resultatet härifrån utvaldes intervallet $1 \leq k_w \leq 16$ för körningarna av modellen $f(2, \text{AIR}(2,1), \text{WAS}(1, k_w))$. Se figur 5.10.

Den bästa modellen är $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(1,6))$. Den är emellertid inte bra, då osäkerheten i b_w -koefficienterna är för stor, vilket framgår av tabell 5.4. Modellen är signifikant bättre än $f(2, \text{AIR}(1,1))$. Modellen är plottad i figur 5.11.

Observera emellertid, att $f(3, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(2,6))$ är signifikant bättre än $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(1,6))$. Men vi är inte intresserade av modeller av högre ordning än 2, därför att den mest dominerande insignalens inverkan, nämligen AIR:s, inte beskrivs med en modell av högre ordning än så. Därför

stannade vi för modellen $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(1,6))$.

För WAS gjorde vi undersökningen om det fanns en acceptabel modell av typ $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(0, k_w))$. Körningarna finns redovisade i figur 5.10. Det framgår klart, att λ inte har något utpräglat minimum. Den bästa av modellerna är $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(0, 19))$, men ej heller denna modell är riktigt bra. Ur tabell 5.5, där modellen är redovisad, framgår det att b_w -koefficienternas standardavvikelse inte är tillräckligt små för att modellen skall kunna betraktas som riktigt bra. Modellen är plottad i figur 5.12.

Det inträffade kan ge en antydning om att WAS över huvud taget är en dålig insignal. Det bör vidare framhållas, att variationerna i WAS är förhållandevis små (se t ex figur 5.3), och att det antagligen är svårt att ur experiment 1 få grepp om WAS' dynamiska inverkan.

En jämförelse mellan AW6 och AW19 (se tabellerna 5.4 och 5.5), visar att AW6 inte är signifikant bättre enligt F-testmetoden. För reglertekniska ändamål är man dock betjänt av en modell med liten dötid, och därför beslöt vi oss att använda WAS(1,6) som insignal i de kommande modellbyggarförsöken med tre och fyra insignaler.

Bestämning av k_q och DO som funktion av Q och AIR

Vid bestämningen av k_q gick vi, kloka av erfarenheterna från bestämningarna av k_r och k_w , direkt på modellerna $f(2, Q(1, k_q), \text{AIR}(1,1))$. $\lambda = \lambda(k_q)$ finns redovisat i figur 5.13.

Den bästa modellen, $f(2, Q(1,7), \text{AIR}(1,1)) = \text{QA}$ är bra. Den är plottad i figur 5.14 och redovisad i tabell 5.6. Denna modell är signifikant bättre än $f(2, \text{AIR}(1,1))$. Vidare är $f(3, Q(2,7), \text{AIR}(1,1))$ ej signifikant bättre än QA.

Några körningar med $f(2, Q(0, k_q), \text{AIR}(1,1))$, se figur 5.13. Det är möjligt, att det går att finna en godtagbar modell av denna typ, men detta har ej gjorts.

Sammanfattning av modeller med 2 insignaler

Följande värden på transportfördröjningarna k_i fann vi acceptabla:

$$k_q = 7$$

$$k_a = 1$$

$$k_w = 6$$

$$k_r = 9$$

Vi valde följande modeller av 2. ordningen:

Modell	Förkortad modellbeteckning	Tabell	Figur	Omdöme
$f(2, \text{AIR}(1,1), \text{RAS}(1,9))$	AR	5.3	5.9	Bra
$f(2, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(1,6))$	AW6	5.4	5.11	Tvivelaktig
$f(2, \text{Q}(1,7), \text{AIR}(1,1))$	QA	5.6	5.14	Bra

Bestämning av modeller med 3 och 4 insignaler

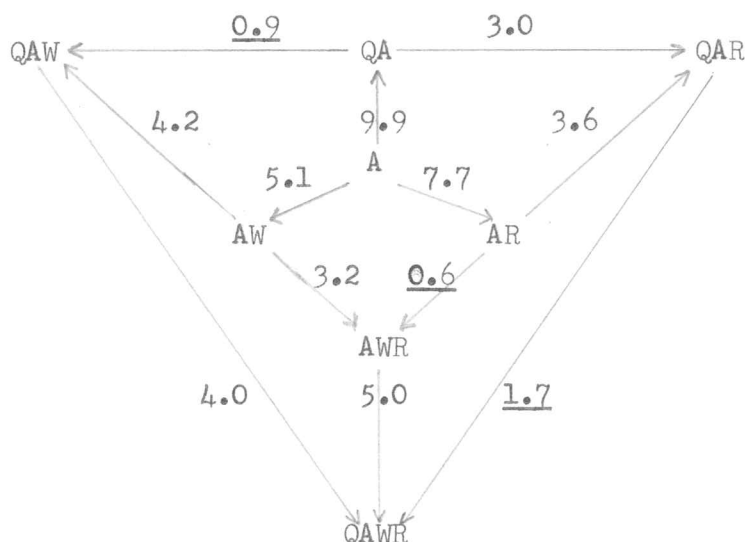
Med de ovan funna k-värdena konstruerade vi följande modeller av 2. ordningen, dvs A^+ är av ordning 2:

Insignaler	Ordning på B_i^+	k_i	Förkortad modellbeteckning	Tabell	Figur
AIR WAS RAS	1 1 1	1 6 9	AWR	5.7	5.15
Q AIR WAS	1 1 1	7 1 1	QAW	5.8	5.16
Q AIR RAS	1 1 1	7 1 9	QAR	5.9	5.17
Q AIR WAS RAS	1 1 1 1	7 1 6 9	QAWR	5.10	5.18

Ur tabellerna framgår att b_w -parametrarna har oroväckande stor standardavvikelse. Vidare är max/grad $V/$ för QAWR alltför stor. I övrigt är modellerna bra.

Den bästa modellen är QAR

F-testerna mellan modellerna med 1, 2, 3 och 4 insignaler (se tabellerna 5.2 - 5.10) kan schematiskt åskådliggöras så här, med F-testkvantiteten angiven vid pilarna:



Icke signifikanta F-testkvantiteter är understrukna.

Man lägger märke till följande i figuren:

- o om 1-insignalmodellen A skall utvidgas till en 2-insignalmodell, bör denna bli QA, ty $F(A, QA) > \max(F(A, AW), F(A, AR))$.
- o vid utvidgningen av 2-insignalmodellerna till 3-insignalmodeller, och 3-insignalmodellerna till 4-insignalmodellen, är varje förändring, som medför att WAS blir en av insignalerna klart insignifikant.

Vi har tidigare noterat, att ingen modell, där WAS förekommer som insignal, är bra, beroende på att b_w -parametrarna har för stor standardavvikelse.

Härav drar vi följande slutsatser:

- o WAS är insignifikant som insignal.
- o de bästa modellerna för experiment 1 är:

Önskat antal insignaler	Modell	Tabell	Figur
1	A	5.2	5.7
2	QA	5.6	5.14
3	QAR	5.9	5.17

Den ur reglerteknisk synpunkt lämpligaste modellen är QAR. Q är ju en störning, och modellen QAR ger reglerteknikern två insignaler, AIR och RAS, att styra DO med.

Vi önskar reservera oss för ovanstående slutsatser såtillvida, att de är giltiga endast om vi hittat den bästa ordningen och transportfördröjningen för varje insignal.

De bästa modellernas dynamiska egenskaper

Vi betraktar de bästa 1-, 2- och 3-insignalmodellerna, dvs A, QA och QAR.

Ur tabellerna 5.2, 5.6 och 5.9 kan vi göra följande sammanställning:

	A	QA	QAR
λ	0.1200	0.1161	0.1147
A^+ -polynomets rötter	0.944 0.458	0.968 0.392	0.966 0.396
Motsvarande kontinuerliga systems poler	-0.0289 -0.391	-0.0164 -0.468	-0.0173 -0.463
Motsvarande kontinuerliga systems tidskonstanter	34.6 min 2.56 min	60.9 min 2.14 min	57.7 min 2.16 min
B_q^+ -polynomets rot	1.00	1.00	1.01
B_a^+ -polynomets rot	0.959	0.954	0.949
B_r^+ -polynomets rot			0.971
C^+ -polynomets rötter	0.868 0.310	0.948 0.204	0.942 0.230

Vi ser, att speciellt modellerna QA och QAR överensstämmer väl. Vi ser också, att A^+ - och C^+ -polynomen är stabila och att tidskonstanterna är 2 och 60 minuter.

Dessa tidskonstanter kan jämföras med uppehållstiden i luftningsbassängerna. Ur tabell 5.1 framgår, att uppehållstiden är 5.2 timmar vid ett medelflöde av $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$. I vårt fall är medelflödet $\bar{Q} = 1.28 \text{ m}^3/\text{s}$, (se sidan V:5). Vår uppehållstid blir 5.55 timmar. Troligen finns det långsamma tidskonstanter, som är svåra att bestämma med ett 8-timmars experiment.

Sammanfattningsvis: Experiment 1 beskrivs av en stabil, 2. ordningens modell som har en kontinuerlig motsvarighet med tidskonstanterna 2 och 60 minuter. Uppehållstiden i luftningsbassängerna är 5.6 timmar.

Modellernas statistiska egenskaper

Bestämning av de statistiska förstärkningarna är osäker på grund av följande orsaker:

- o i experiment 1 varierar insignalerna runt ungefärligen konstanta värden. Några större statistiska förändringar inträder ej. Därför är detta experiment ej lämpat för bestämning av de statistiska förstärkningarna.
- o den statistiska förstärkningen G beräknas som bekant så här:

$$G_i = \frac{b_{i0} + b_{i1} + \dots + b_{in}}{1 + a_{i1} + a_{i2} + \dots + a_{in}} \quad (5.5)$$

Detta medför, att noggrannheten i G_i är extremt beroende på den noggrannhet A^+ - och B^+ -polynomen är bestämda med.

- o i våra modeller ligger poler och nollställen nära 1, vilket sannolikt beror på långsamma tidskonstanter, som är svåra att bestämma. Detta medför, att även små fel i A^+ - och B^+ -polynomen kan ge stora fel i G_i .

Exempel: I modellen A (se tabell 5.2) beräknas $G_a = (0.356 - 0.341)/(1 - 1.401 + 0.432) = 0.481$. Om vi antar, att koefficienternas maximala fel är 1 standardavvikelse erhålls:

$$\begin{aligned} \max(b_{a0} + b_{a1}) &= (0.356 + 0.031) + (-0.341 + 0.031) = 0.077 \\ \min(b_{a0} + b_{a1}) &= (0.356 - 0.031) + (-0.341 - 0.031) = -0.047 \\ \max(1 + a_{a1} + a_{a2}) &= 1 + (-1.401 + 0.039) + (0.432 + 0.039) = 0.109 \\ \min(1 + a_{a1} + a_{a2}) &= 1 + (-1.401 - 0.039) + (0.432 - 0.039) = -0.047 \end{aligned}$$

Härav följer att $-\infty < G_a < \infty$.

Vi upprättar således följande sammanställning av normaliserade statistiska förstärkningar ur tabellerna 5.2 - 5.10 med yttersta skepsis:

Från modell	\bar{G}_q	\bar{G}_a	\bar{G}_w	\bar{G}_r
<u>A</u>		0.427		
QA	-0.008	0.689		
AW		0.417	-0.461	
AR		0.439		-0.002
QAW	-0.084	0.591	1.53	
<u>QAR</u>	-0.056	0.797		-0.084
AWR		0.502	-0.984	-0.019
QAWR	-0.448	0.744	5.47	-0.22

Här bekräftas sannerligen osäkerheten i bestämningen av de statistiska förstärkningarna.

Följande må anmärkas:

- o vi konstaterar, att $\bar{G}_q < 0$, $\bar{G}_a > 0$, \bar{G}_w obestämd till tecknet och $\bar{G}_r < 0$. Enligt forskare på Institutionen för Vattenbyggnad, LTH, är endast \bar{G}_a :s tecken självklart, nämligen positivt, ty en ökning av luftflödet medför en höjning av löst syrehalt. Inverkan från Q, WAS och RAS varierar från reningsverk till reningsverk och från dag till dag, bl a beroende på substratmängd och substrattyp, typ av bakteriekultur osv.
- o bestämningarna av \bar{G}_q , \bar{G}_w och \bar{G}_r är värdelösa.
- o med tvekan vågar vi påstå, att $\bar{G}_a \approx 0.6$.

Sammanfattning av identifieringen av experiment 1

Enligt experiment 1 kan aktivt-slam processen vid reningsverket i Palo Alto bäst beskrivas av följande modell, när Q, AIR, WAS och RAS är uppmätta insignaler och DO uppmätt insignal:

$$\begin{aligned}
 &(1 - 1.362 q^{-1} + 0.383 q^{-2})(DO(t) - \bar{DO}) = \\
 &= q^{-7}(0.082 - 0.083 q^{-1})(5/2500)(Q(t) - \bar{Q}) + \\
 &+ q^{-1}(0.359 - 0.341 q^{-1})(4/2500)(AIR(t) - \bar{AIR}) + \\
 &+ q^{-9}(-0.049 + 0.048 q^{-1})(6/2500)(RAS(t) - \bar{RAS}) + \\
 &+ 0.1147(1 - 1.172 q^{-1} + 0.217 q^{-2})(1/2500)e(t) .
 \end{aligned}$$

Modellen utnyttjar Q, AIR och RAS som insignaler.

En godtagbar modell, med Q och AIR som insignaler, är:

$$(1 - 1.360 q^{-1} + 0.379 q^{-2})(DO(t) - \bar{DO}) =$$

$$\begin{aligned}
&= q^{-7}(0.102 - 0.102 q^{-1})(5/2500)(Q(t) - \bar{Q}) + \\
&+ q^{-1}(0.332 - 0.317 q^{-1})(4/2500)(AIR(t) - \bar{AIR}) + \\
&+ 0.1161(1 - 1.152 q^{-1} + 0.193 q^{-2})(1/2500)e(t) \quad .
\end{aligned}$$

Modellernas egenskaper är:

- o de är av 2. ordningen.
- o de är stabila.
- o de har kontinuerliga motsvarigheter, vars tidskonstanter är 2 och 60 minuter.
- o AIR:s normaliserade statiska förstärkning kan uppskattas till 0.6 .

5.7 Identifiering av experiment 2

Stegsvar

Experiment 2 uppfattades som ett stegsvarexperiment, och därför medtogs endast de första 250 minuterna (se figur 5.5) för identifieringen. På grund härav lade vi upp nya filer på trumminnet med signalerna minskade med medelvärdet under de första 29 minuterna (se figurerna 5.5 samt 5.19, 5.20 och 5.21).

Detta medförde, att både insignal och utsignal under dessa 29 minuter hade ungefär värdet 0, något som är nödvändigt för identifieringen.

Modellantaganden

Vi antog, på grundval av resultaten från experiment 1, att en modell för experiment 2 skulle vara av högst ordning 2 med transportfördröjningen $k_a = 1$.

MK- och ML-identifiering

Vi antog först, att slumpfelet är oberoende, dvs att C^+ -koefficienterna i parametervektorn är lika med 0. Identifieringen blev därför en identifiering enligt minsta kvadrat-metoden (se Åström-Eykhoff (1971)).

Vi försökte med modeller av 1. och 2. ordningen. Modellen av 1. ordningen, här kallad MK1, finns redovisad i tabell 5.11 och figur 5.20. Modellen av 2. ordningen, här kallad MK2, har tyvärr ingen kontinuerlig motsvarighet och förkastas därför. Identifieringsutskriften finns på Institutionen för Reglerteknik.

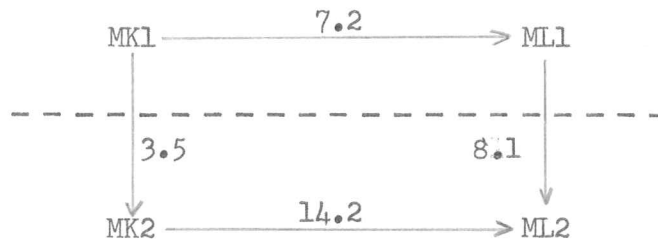
Även den vanliga maximum likelihood-identifieringen kördes med modeller

av 1. och 2. ordningen. Modellen av 1. ordningen, här kallad ML1, finns redovisad i tabell 5.12 och figur 5.21. Modellen av 2. ordningen, här kallad MK2, är tyvärr instabil och förkastas därför. Identifieringsutskriften finns på Institutionen för Reglerteknik.

Orsaken till att modellerna av 2. ordningen ej blir godtagbara är troligen att signalnivån är för låg i förhållande till brusnivån, och därför kan den snabba tidskonstanten inte detekteras med en stegsignal.

Dynamiska egenskaper

En F-testjämförelse mellan modellerna gjordes:



Talen vid pilarna anger F-testkvantiteten vid övergång från den ena modellen till den andra i pilarnas riktning.

Det framgår, att den bästa modellen vore ML2, om inte dess instabilitet lade hinder i vägen. Den modell vi får nöja oss med är ML1.

En jämförelse mellan MK1 och ML1, grundad på tabellerna 5.11 och 5.12 ger vid handen:

	MK1	ML1
λ	0.007037	0.006932
A^+ -polynomets rot	0.976	0.988
Motsvarande kontinuerliga systems poler	-0.237	-0.0117
Motsvarande kontinuerliga systems tidskonstant	42.1 min	85.5 min

Sammanfattningsvis: Experiment 2 beskrivs av en stabil, 1. ordningens modell vars kontinuerliga motsvarighet har tidskonstanten 90 minuter.

Modellens statistiska egenskaper

Den normaliserade statistiska förstärkningen beräknades manuellt på följande sätt:

Definiera:

- $\bar{A}IR$ = medelvärdet av AIR under tiden 0 - 258 minuter.
 $\bar{D}O$ = medelvärdet av DO under tiden 0 - 258 minuter.
 ΔAIR = (medelvärdet av AIR under tiden 160 - 250 minuter) -
 - (medelvärdet av AIR under tiden 0 - 29 minuter).
 ΔDO = (medelvärdet av DO under tiden 150 - 250 minuter) -
 - (medelvärdet av DO under tiden 0 - 29 minuter).

Jämför figur 5.5:

ΔAIR kan ses som ett närmevärde på steget i insignalen, och ΔDO som ett närmevärde på skillnaden i stationärt värde efter och före steget.

Vi beräknade:

$$\bar{A}IR = 0.63278 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{se sidan V:5})$$

$$\bar{D}O = 0.003108 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{se sidan V:5})$$

$$\Delta AIR = 0.17830 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta DO = 0.000667 \text{ m}^3/\text{s}$$

Den normaliserade statistiska förstärkningen blir enligt definitionen (ekvation (5.6)):

$$\bar{G}_a = (\Delta DO / \bar{D}O) / (\Delta AIR / \bar{A}IR) = 0.760$$

För MK1 gäller att MLIDEN ger (se tabell 5.11): $\bar{G}_a = 0.76$

För ML1 gäller att MLIDEN ger (se tabell 5.12): $\bar{G}_a = 1.01$

För uträkningen av de bägge senare \bar{G}_a -värdena gäller samma reservationer som på sidan V:15.

Sammanfattningsvis bedömde vi AIR:s normaliserade statistiska förstärkning till cirka 0.8 .

Sammanfattning av identifieringen av experiment 2

Aktivt-slam processen vid reningsverket i Palo Alto kan beskrivas av följande modell, när DO är uppmätt utsignal och AIR är den uppmätta insignalen, på vilken ett steg lagts:

$$\begin{aligned}
 (1 - 0.988 q^{-1})(DO(t) - \bar{D}O) = \\
 = q^{-1} \cdot 0.00115 \cdot (5/100)(AIR(t) - \bar{A}IR) + \\
 + 0.00693(1 - 0.211 q^{-1})(1/100)e(t)
 \end{aligned}$$

Modellens egenskaper är:

- o den är av 1. ordningen.

- o den är stabil
- o den har en kontinuerlig motsvarighet, vars tidskonstant är 90 minuter
- o AIR:s statistiska förstärkning kan uppskattas till 0.8

5.8 Jämförelse mellan identifieringarna av experiment 1 och experiment 2

Experiment 2 var tyvärr ej lämpat för att bestämma en modell av 2. ordningen. Emellertid kan två egenskaper för modellerna i experiment 1 och 2 jämföras, nämligen tidskonstanterna och AIR:s normaliserade statistiska förstärkning.

Tidskonstanten

Experiment	Modell	Tidskonstanter		Sidhänvisning
1	A	35 min	3 min	V:14
1	QA	61 min	2 min	V:14
1	QAR	58 min	2 min	V:14
2	ML1	86 min		V:18

Tydligt kan man ur experiment 2 enbart bestämma den långsamma tidskonstanten. Men denna är betydligt längre enligt MLL-modellen. Varför?

Möjligen är avloppsflödet Q mindre i experiment 2 och följaktligen uppehållstiden i luftningsbassängerna längre. Vi har emellertid ingen uppgift på Q i experiment 2. En antydning om att vår förmodan kan vara riktig ges av (se sidan V:5):

$$\text{Experiment 1: } \bar{A}\bar{I}\bar{R} = 0.836 \text{ m}^3/\text{s}; \quad \bar{D}\bar{O} = 0.00151 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Experiment 2: } \bar{A}\bar{I}\bar{R} = 0.633 \text{ m}^3/\text{s}; \quad \bar{D}\bar{O} = 0.00311 \text{ kg/m}^3$$

Man kan tänka sig att $\bar{A}\bar{I}\bar{R}$ ställs in på ett mindre värde vid ett mindre medelflöde, \bar{Q} . Det högre $\bar{D}\bar{O}$ -värdet i experiment 2 tyder kanske på att $\bar{A}\bar{I}\bar{R}$ inte sänkts i proportion med \bar{Q} .

Men OM lufttillförseln är proportionell mot avloppsflödet och OM tidskonstanterna är proportionella mot uppehållstiden skulle $T = 86$ minuter i experiment 2 motsvara $T' = 86 \cdot 0.633 / 0.836 = 65$ minuter för samma flöde som i experiment 1.

Hur det än vara månde med detta, kan man konstatera, att systemet är tidsvariabelt.

Statisk förstärkning

$$\text{Experiment 1: } \bar{G}_a = 0.6 \quad (\text{se sidan V:16})$$

$$\text{Experiment 2: } \bar{G}_a = 0.8 \quad (\text{se sidan V:19})$$

Överensstämmelsen mellan AIR:s normaliserade statistiska förstärkningar är inte helt dålig med tanke på den osäkerhet som vidhåfter bestämningen, speciellt i experiment 1.

Även här kan man kanske förklara skillnaden i \bar{G}_a med en eventuell skillnad i flöde. Den längre uppehållstiden i experiment 2 medför kanske att över-skottssyrehalten blir känsligare för förändringar i lufttillförseln, eftersom mindre löst syre bortförs med flödet.

OM det vore så, att \bar{G}_a är proportionell mot uppehållstiden (och OM denna, som ovan antagits, är omvänt proportionell mot luftflödet), skulle $\bar{G}_a = 0.8$ i experiment 2 motsvara $\bar{G}_a' = 0.8 \cdot 0.633 / 0.836 = 0.6$ för samma flöde som i experiment 1.

5.9

Slutsatser

Följande slutsatser kan dras ur analyserna:

- o systemet är tidsvariabelt
- o systemet beskrivs av en 2. ordningens modell
- o AIR är den dominerande insignalen
- o Q och RAS är signifikanta insignaler, som påverkar DO med en dödtid på cirka 10 minuter
- o två tidskonstanter finns; en snabb på några minuter och en långsam på någon timme
- o AIR:s normaliserade statistiska förstärkning är positiv och har ett värde mellan 0.5 och 1.0 .

5.10

Referenser

I. Gustavsson: Parametric identification on multiple input, single output linear dynamic systems. Report 6907. July 1969. LTH, Division of Automatic Control.

G. Olsson et al: Control problems in wastewater treatment plants. 1973. LTH, Division of Automatic Control.

G. Olsson, L. Ulmgren: Reglering av avloppsreningsverk, studieresa till USA och Kanada 24.4 - 16.5 1973. Solna 1973. Statens Naturvårdsverk.

K. J. Åström, T. Bohlin: Numerical identification of linear dynamic systems from normal operating records. Proceedings of the IFAC conference on Self Adaptive Control Systems. Teddington 1965.

K. J. Åström, P. Eykhoff: System Identification, Automatica 7, 123 - 162 (1971).

Dessutom hänvisar vi till programmen

MLIDEN

MLPLOT

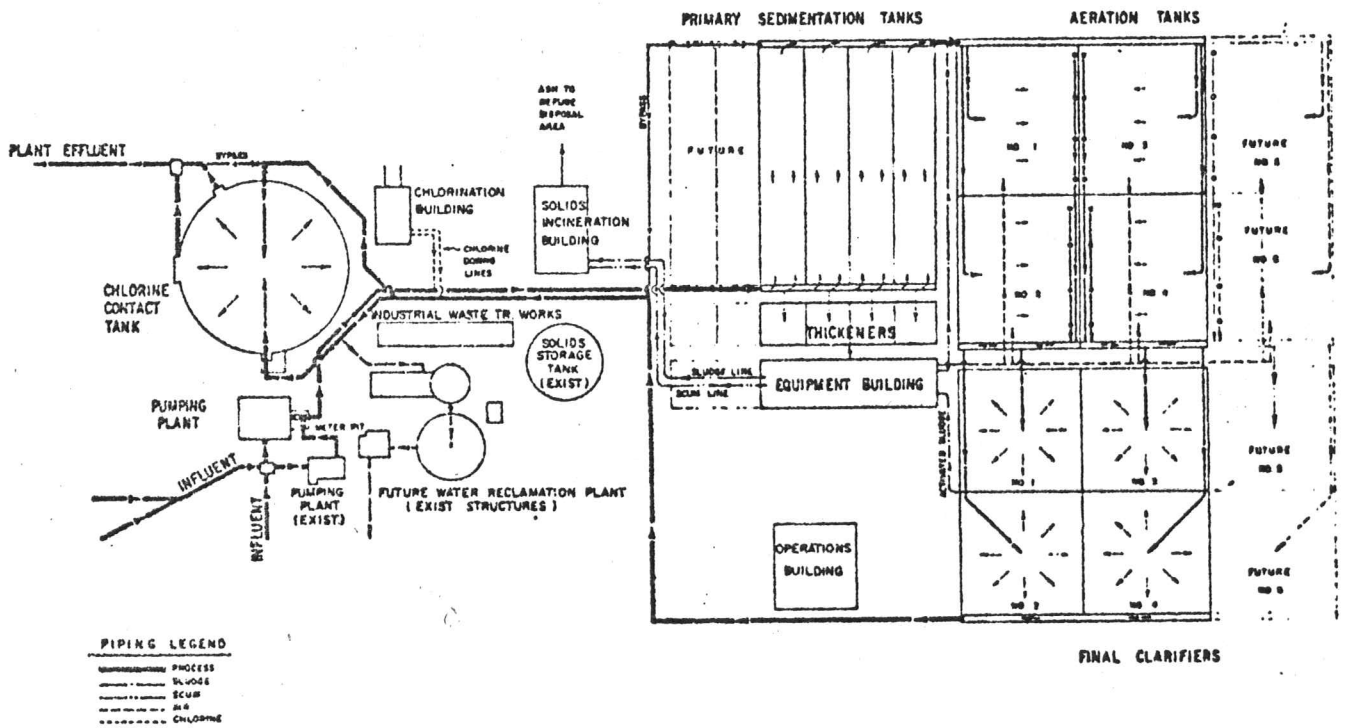
ur Institutionens för Reglerteknik programbibliotek, Lunds Datacentral, Lund.

Förutom de datautskrifter, som nämns i den föregående texten, finns alla relevanta körningar redovisade i originalutskrift på Institutionen för Reglerteknik, LTH, Lund.

Figur 5.1

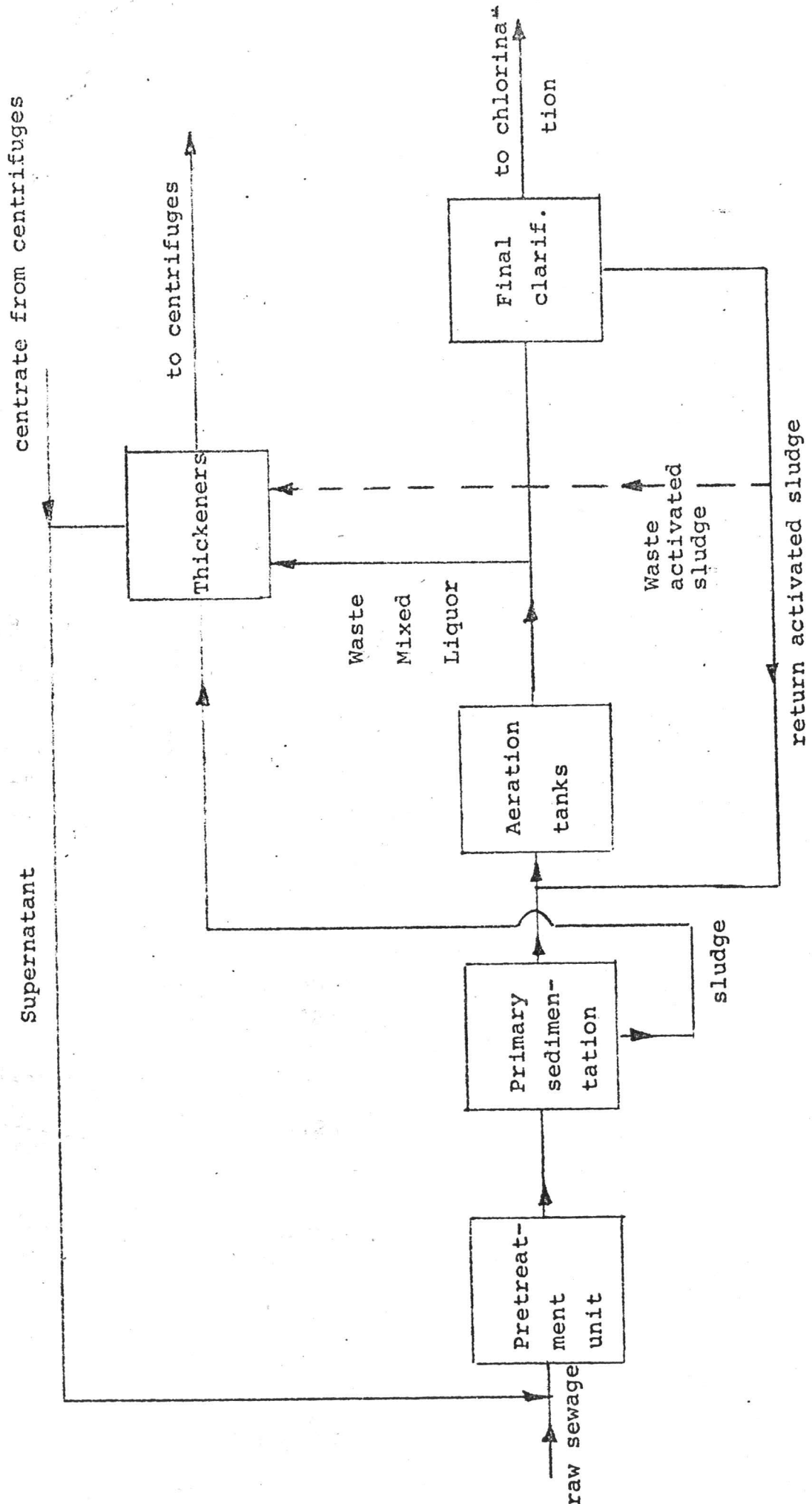
Reningsverket i Palo Alto

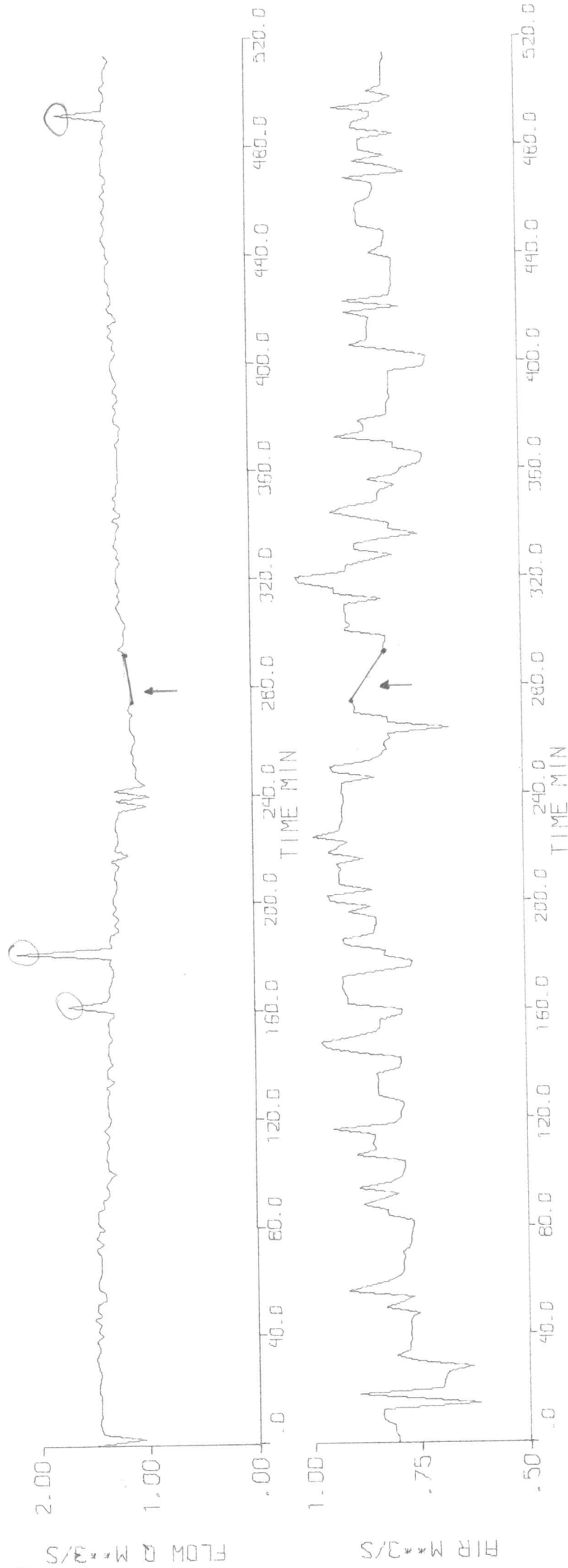
flow diagram



Figur 5.2

Flödesschema för reningsverket i Palo Alto

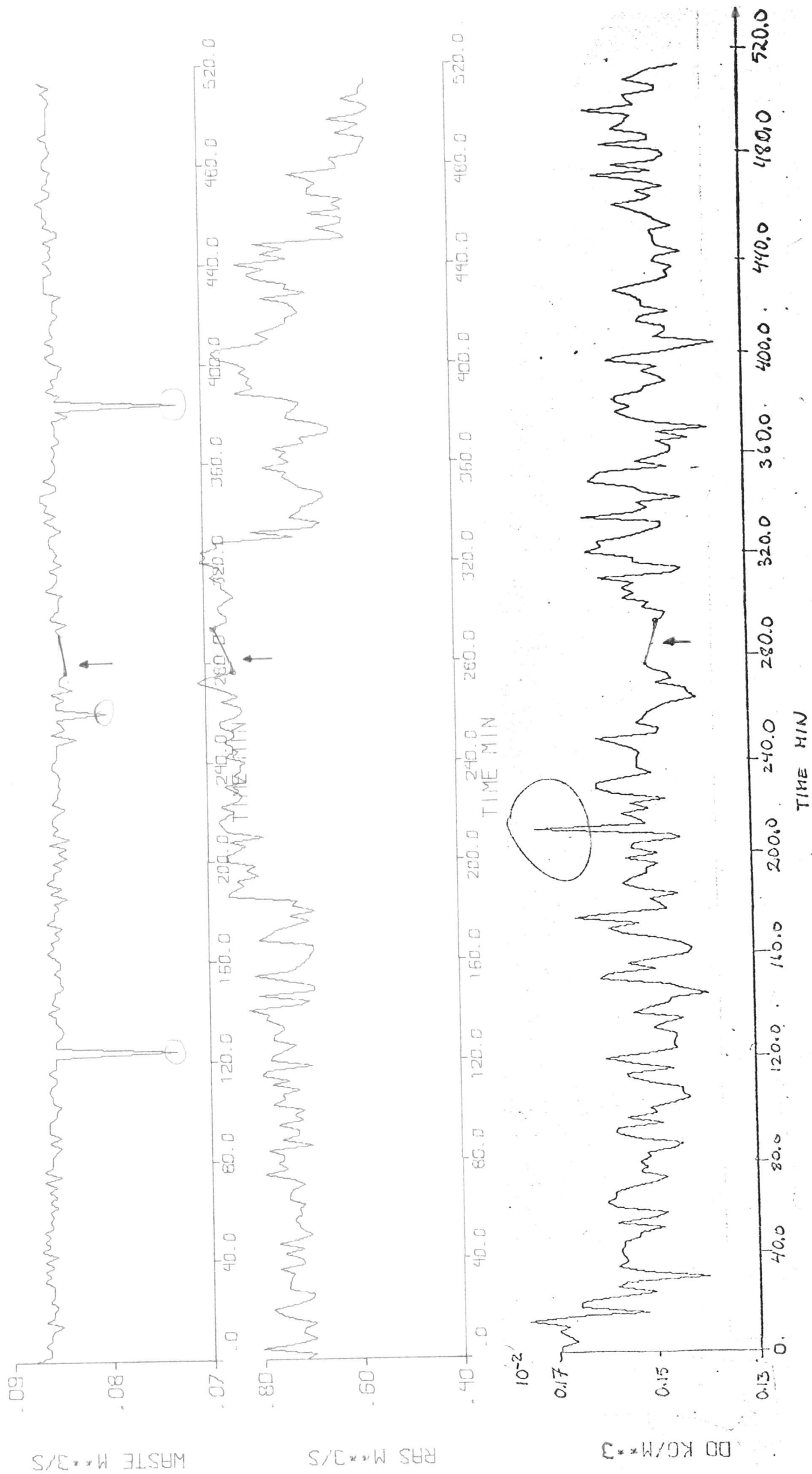




Figur 5.3

Palo Alto experiment 1.
 Oredigerad plottning av insignalerna Q och AIR.
 Inringade mätvärden är out-liers.
 De saknade mätvärdena är utmärkta med pil.

Var god vänd:



Figur 5.3 forts. Palo Alto experiment 1. Oredigerad plottning av insignalerna WAS och RAS samt utsignalen DO. Inringade mätvärden är out-liers. De saknade mätvärdena är utmärkta med pil.

Figur 5.4

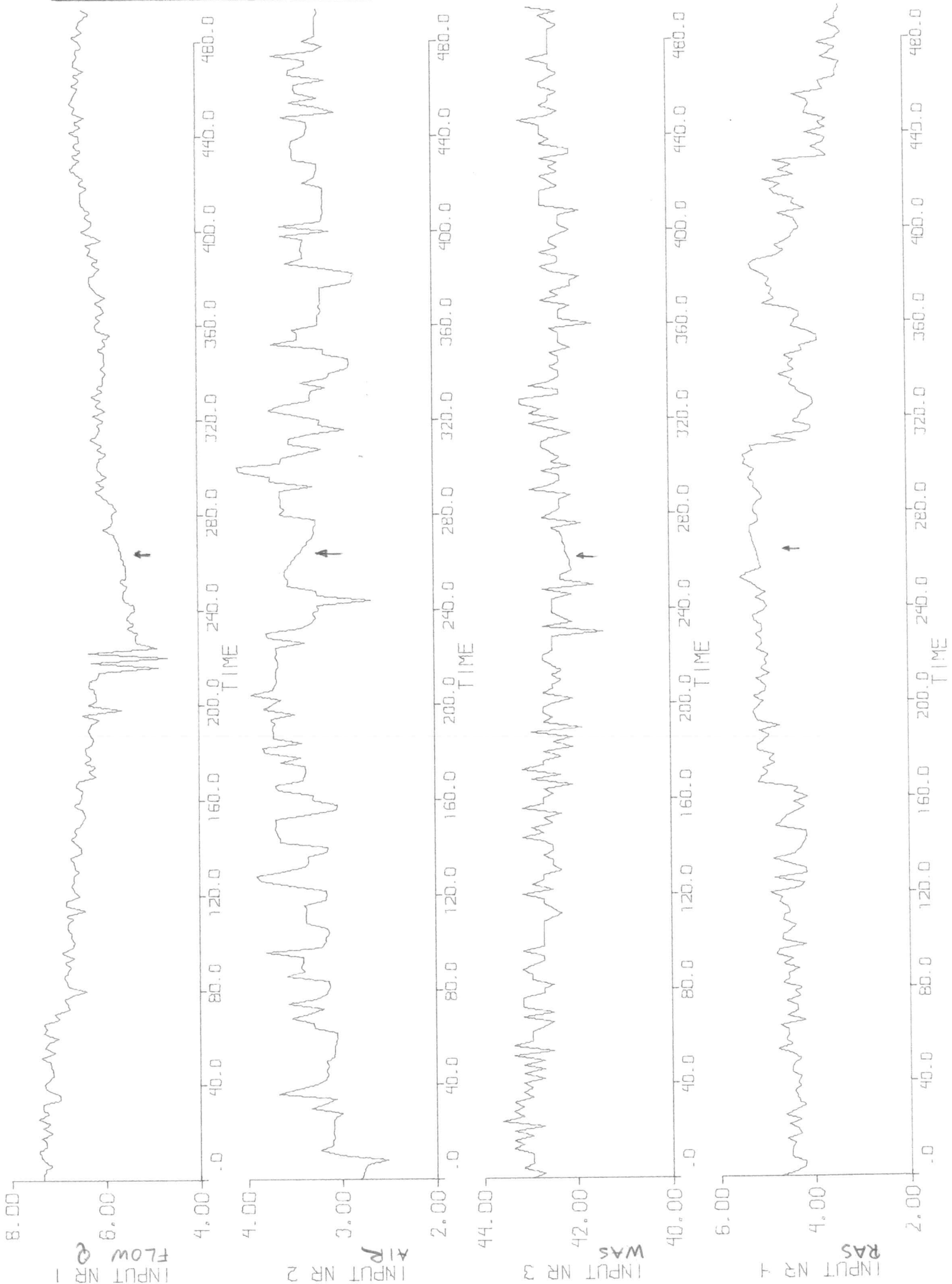
Palo Alto experiment 1.

Redigerad plottning av insignalerna Q, AIR, WAS, RAS.

Var god vänd!

Plottningen är skalad, och saknar out-liers.

De saknade mätvärdena är utmärkta med pil.

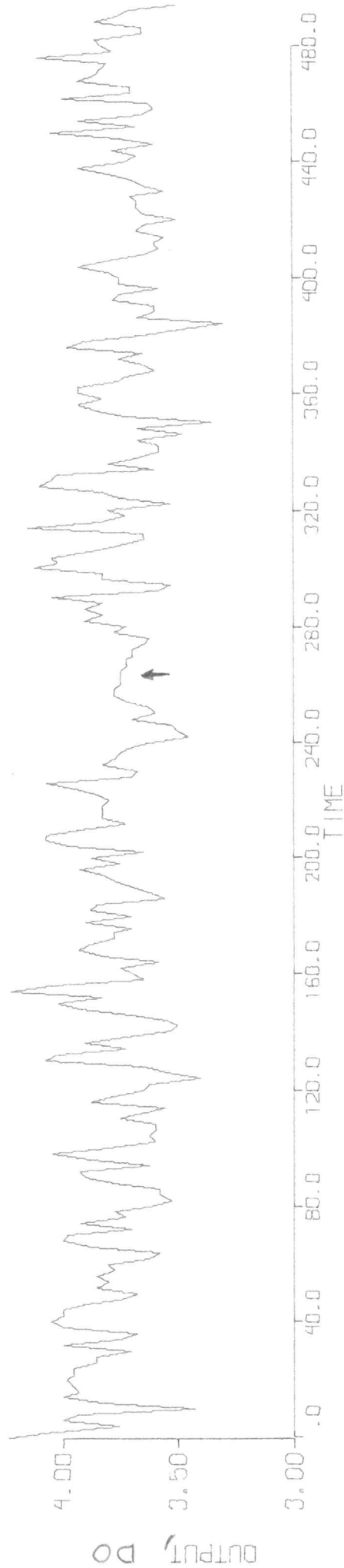


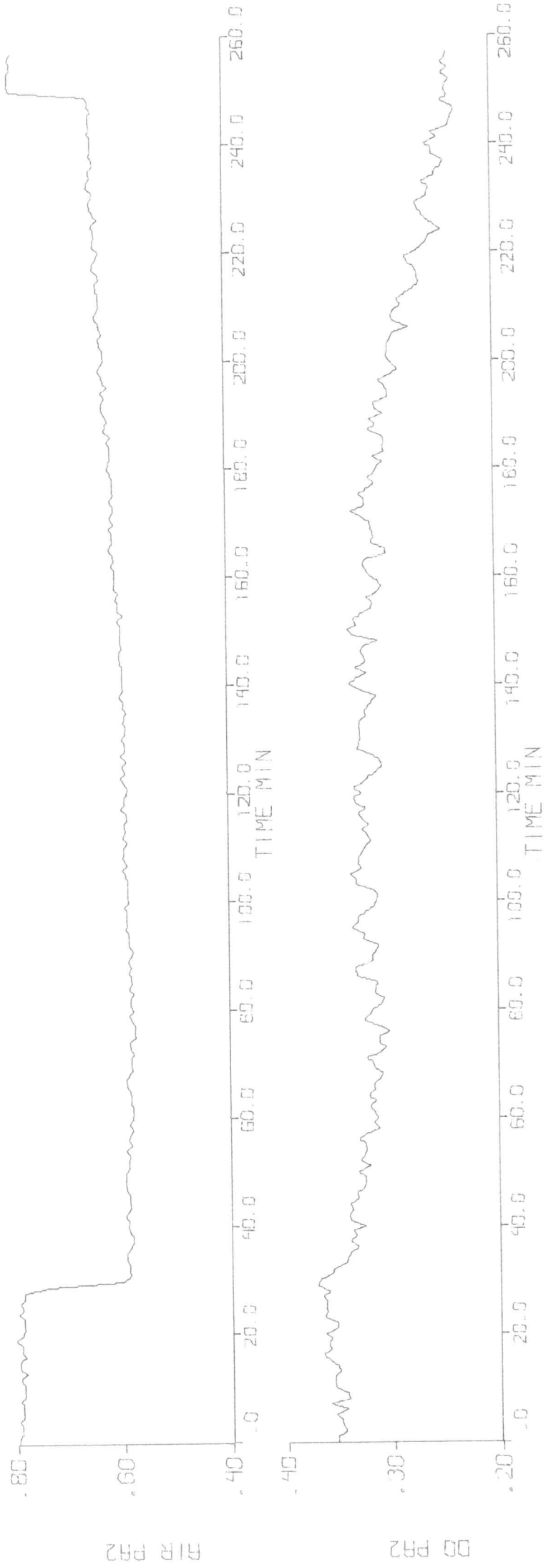
Figur 5.4 forts.

Palo Alto experiment 1.

Redigerat plottning av utsignalen DO.

Plottningen är skalad, och saknar out-liers.
De saknade mätvärdena är utmärkta med pil.





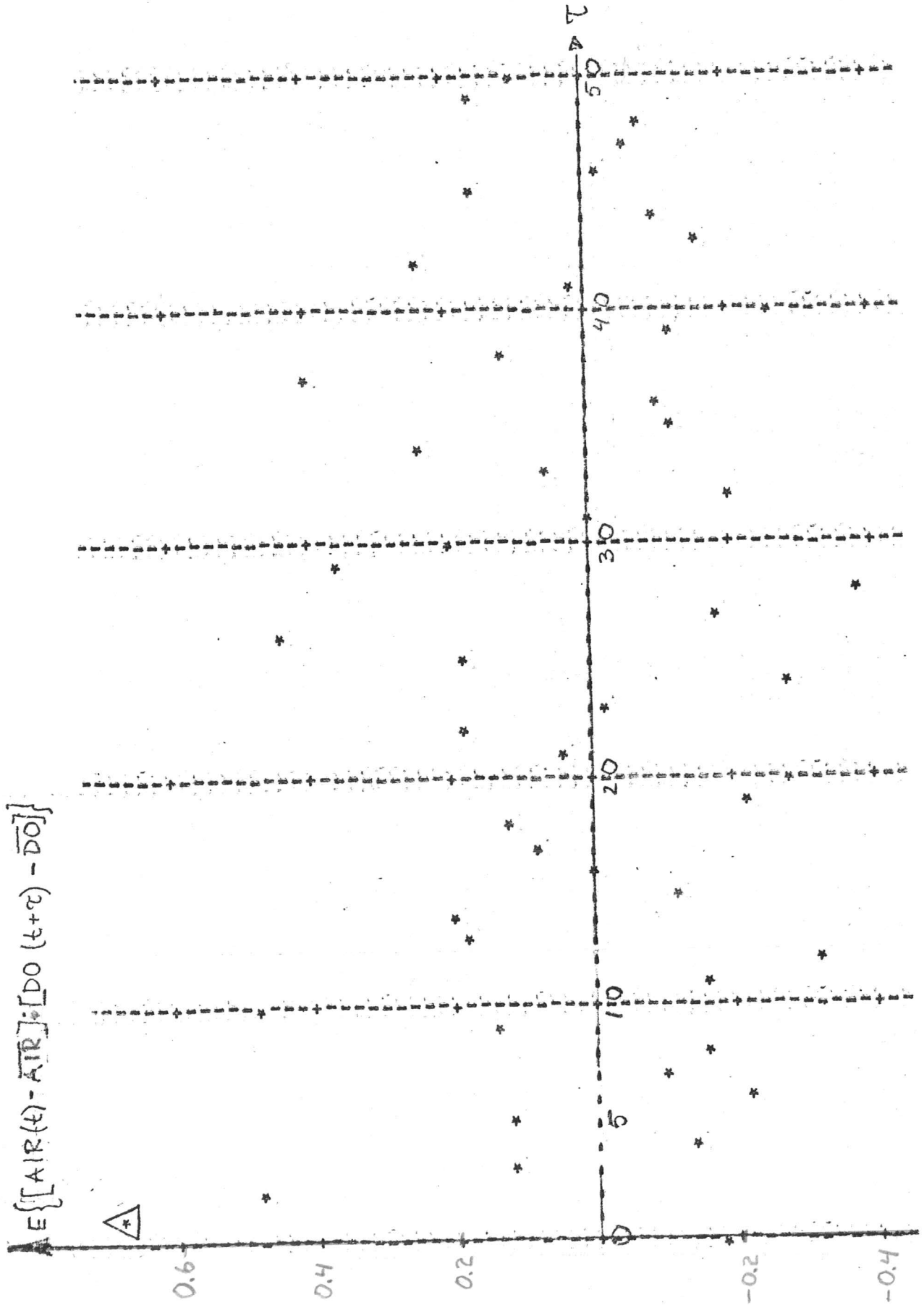
Figur 5.5 Palo Alto experiment 2.
Skalad plottning av insignalen AIR och utsignalen DO.

Figur 5.6

Palo Alto experiment 1.

Korskovariansfunktion mellan
insignalen AIR och utsignalen DO.

Korskovariansen för $\tau = 1$ är markerad.

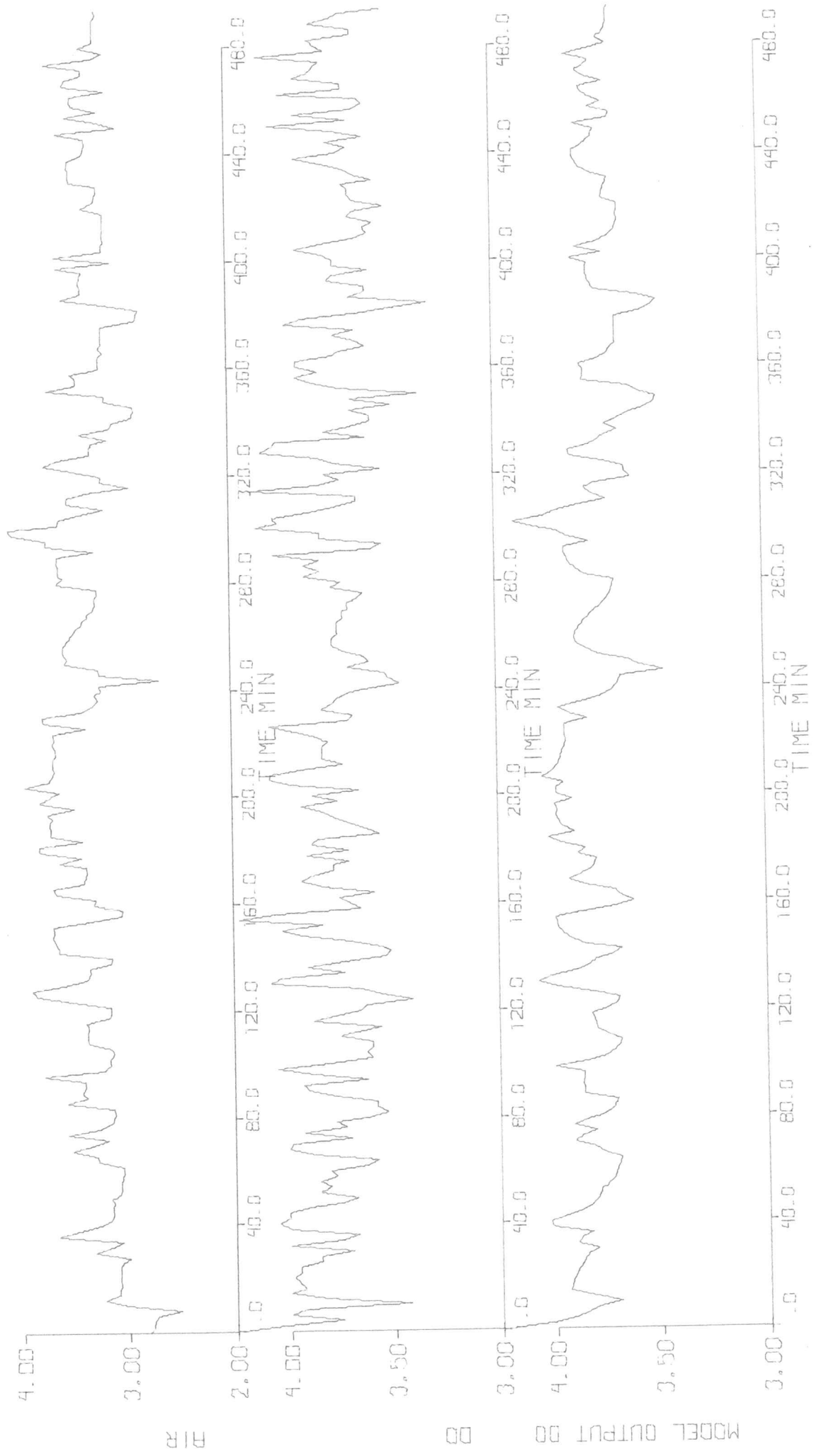


Figur 5.7

Palo Alto experiment 1.

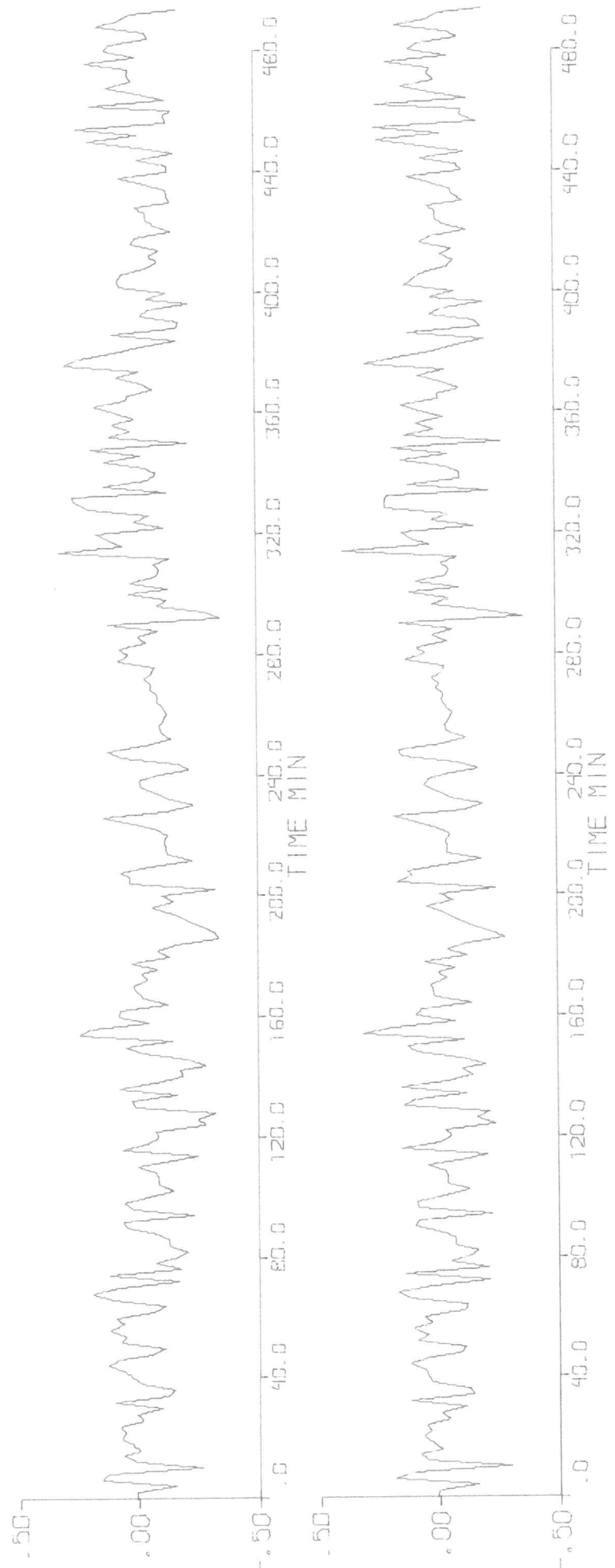
Var god vänd!

Plottning av modellen: $f(2, \text{AIR}(1,1))$.



Figur 5.7 forts. Palo Alto experiment 1.

Plottning av modellen: $f(2, \text{AIR}(1,1))$.



Figur 5.8

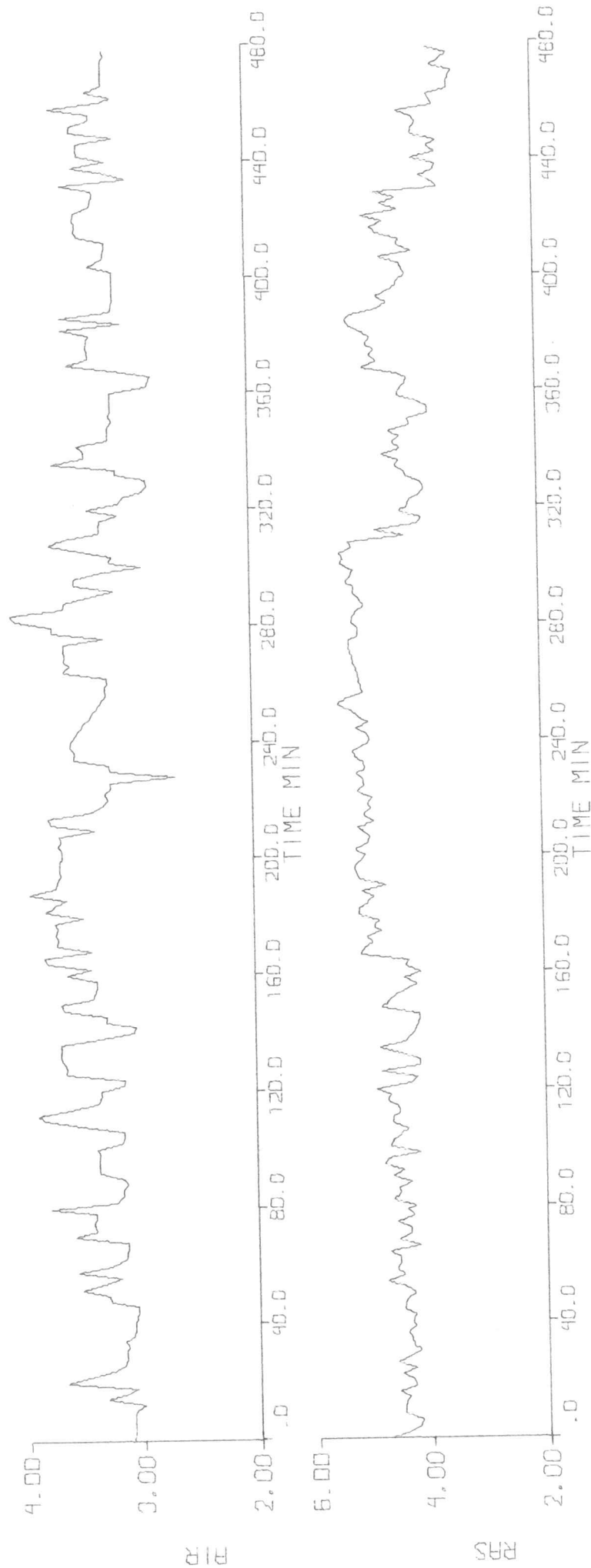
Palo Alto experiment 1.

λ som funktion av k_r för modellerna:
 $f(1, \text{RAS}(0, k_r))$
 $f(2, \text{AIR}(1, 1), \text{RAS}(1, k_r))$
 $f(2, \text{AIR}(1, 1), \text{RAS}(0, k_r))$



Pil markerar bästa modell
 Punkter inom parentes betecknar modell, som av någon anledning ej är godtagbar

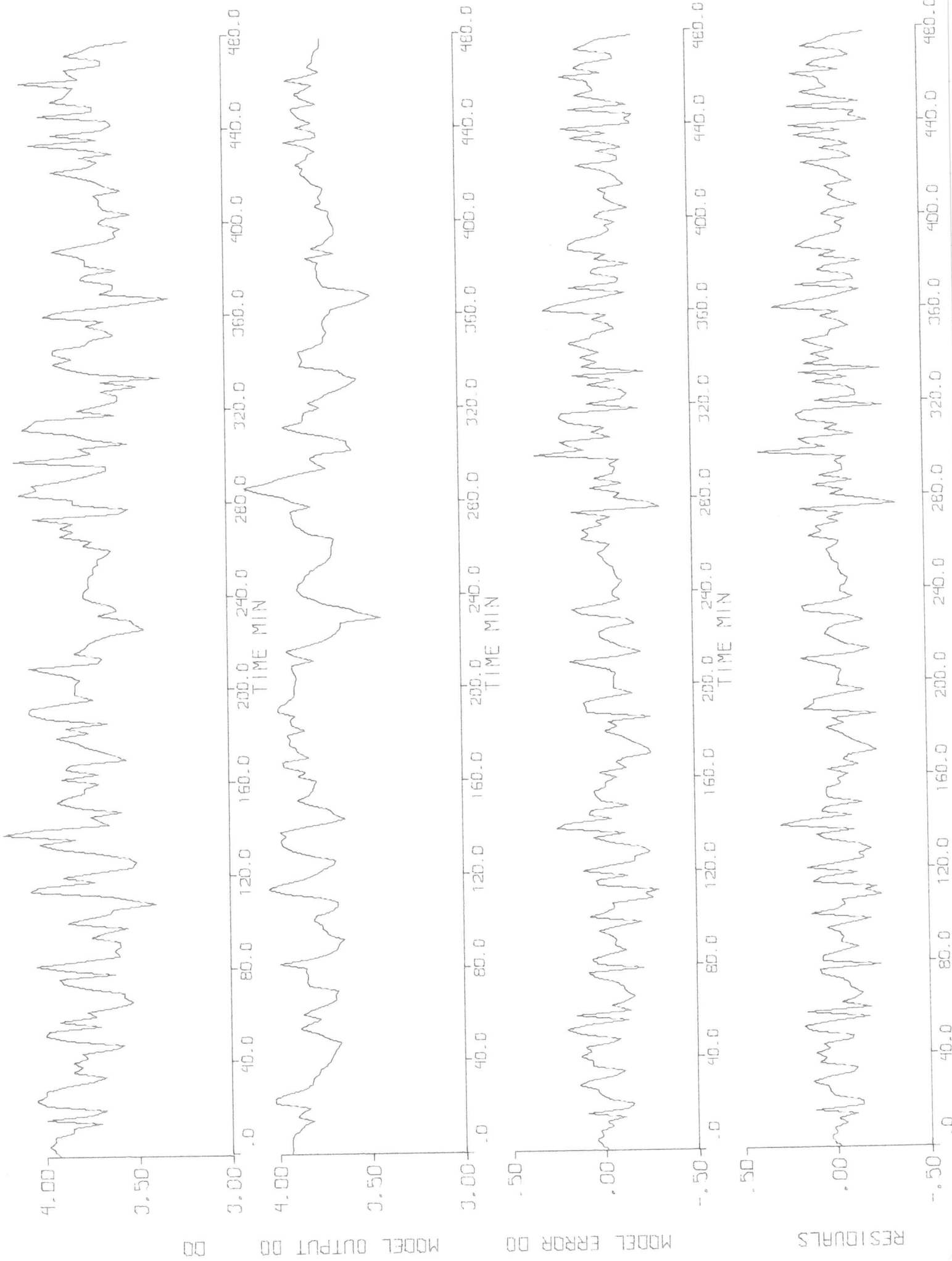
Plottning av modellen: $f(2, AIR(1,1), RAS(1,9))$.



Figur 5.9 forts.

Palo Alto experiment 1.

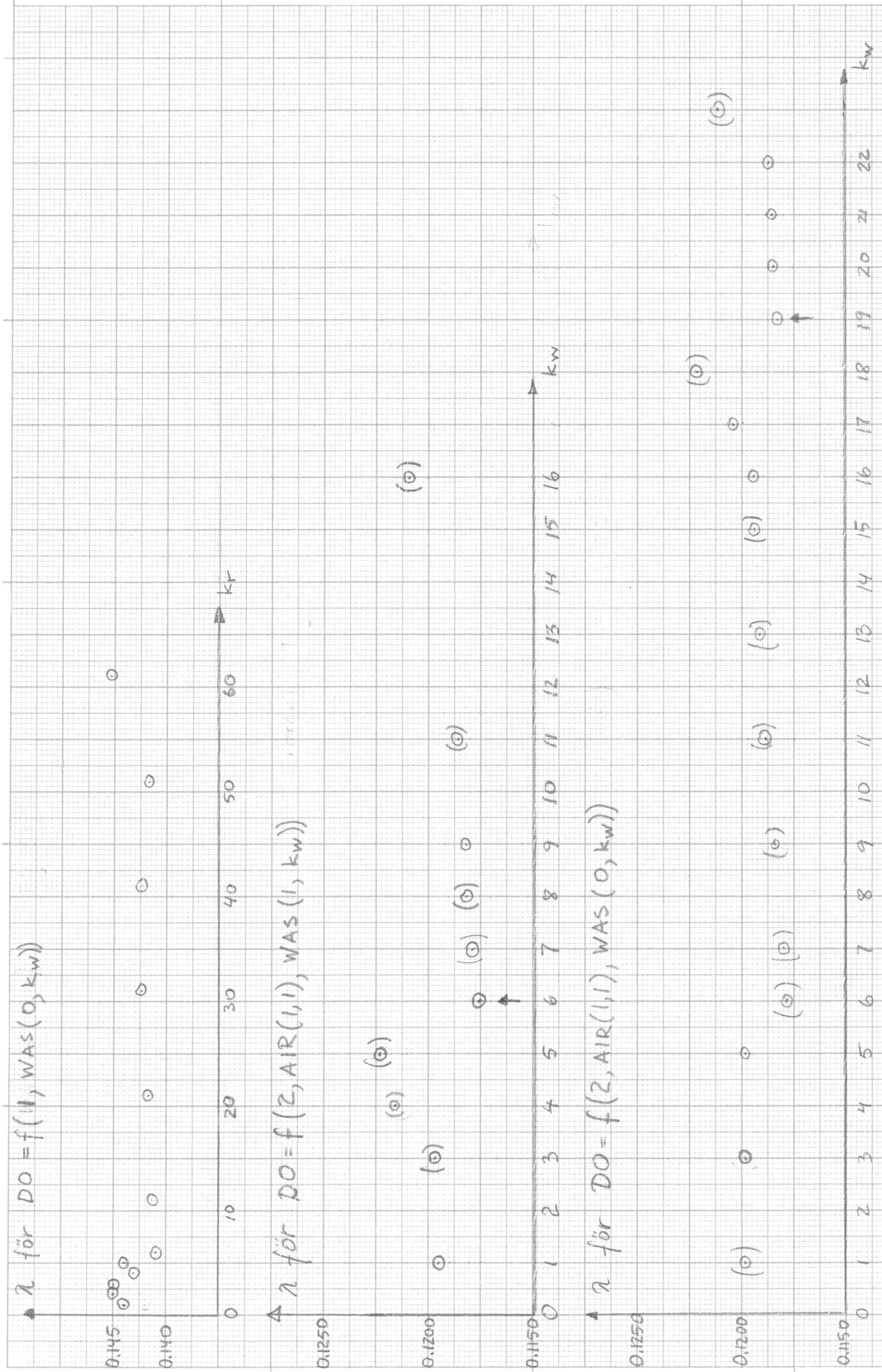
Plottning av modellen: $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{RAS}(1,9))$.



Figur 5.10

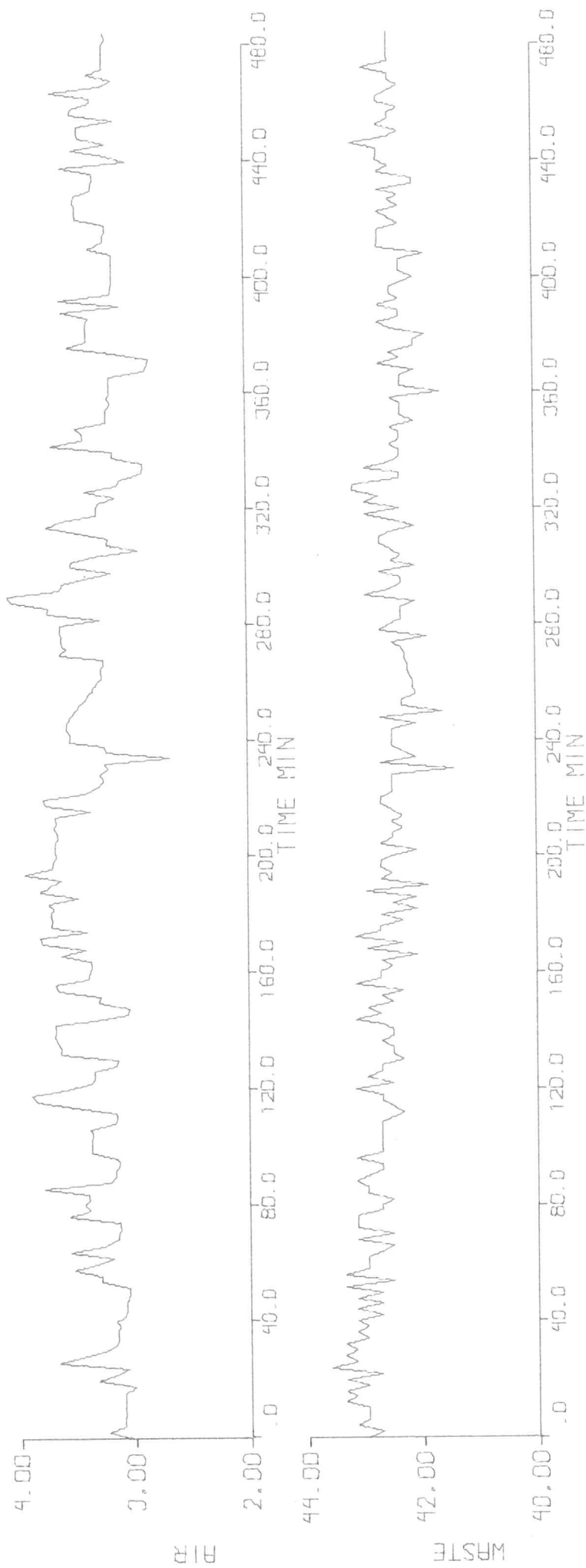
Palo Alto experiment 1.

λ som funktion av k_w för modellerna:
 $f(1, WAS(0, k_w))$
 $f(2, AIR(1, 1), WAS(1, k_w))$
 $f(2, AIR(1, 1), WAS(0, k_w))$



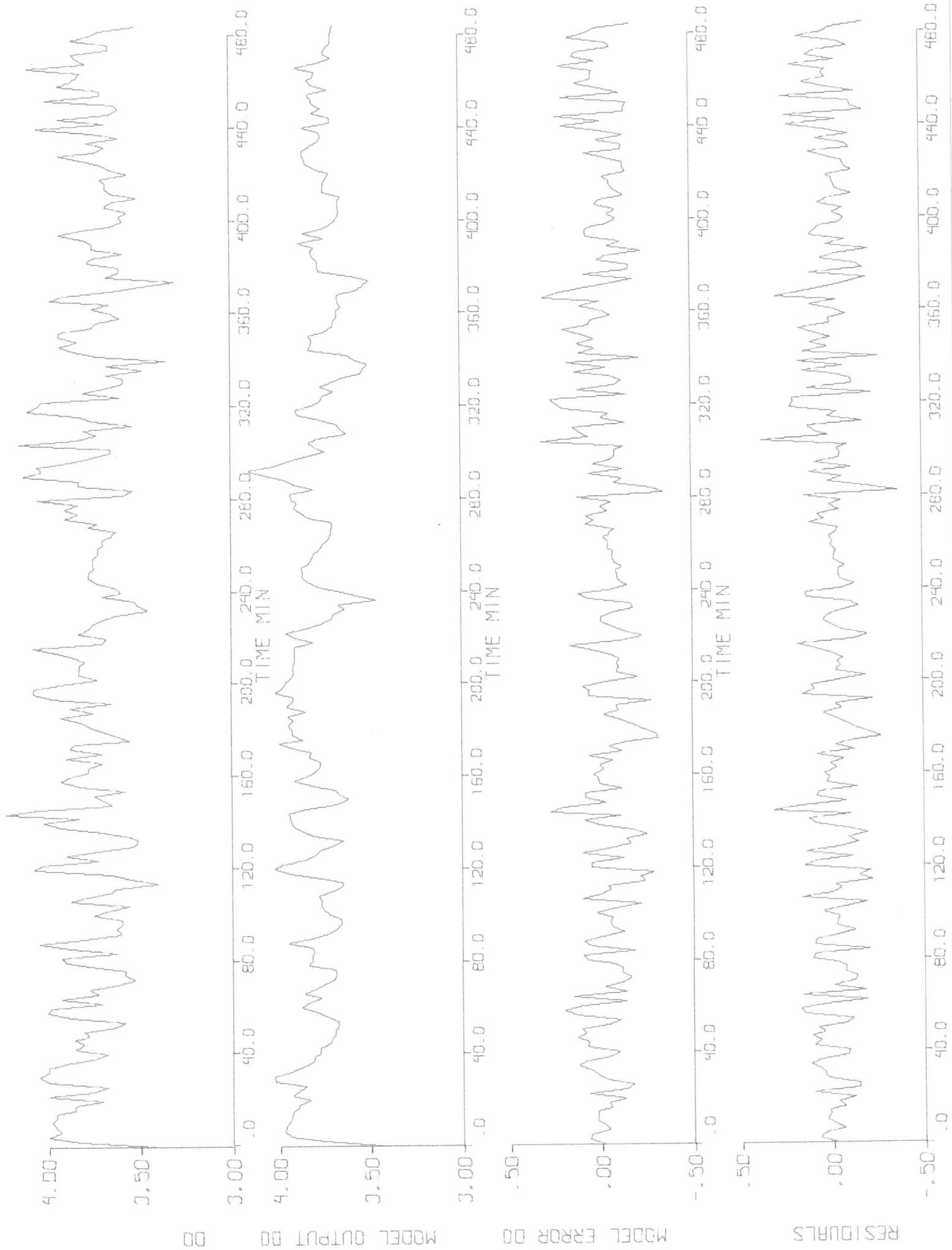
Pil markerat bästa modell
 Punkter inom parentes betecknar modell, som av någon anledning ej är godtagbar

Plottning av modellen: $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(1,6))$.

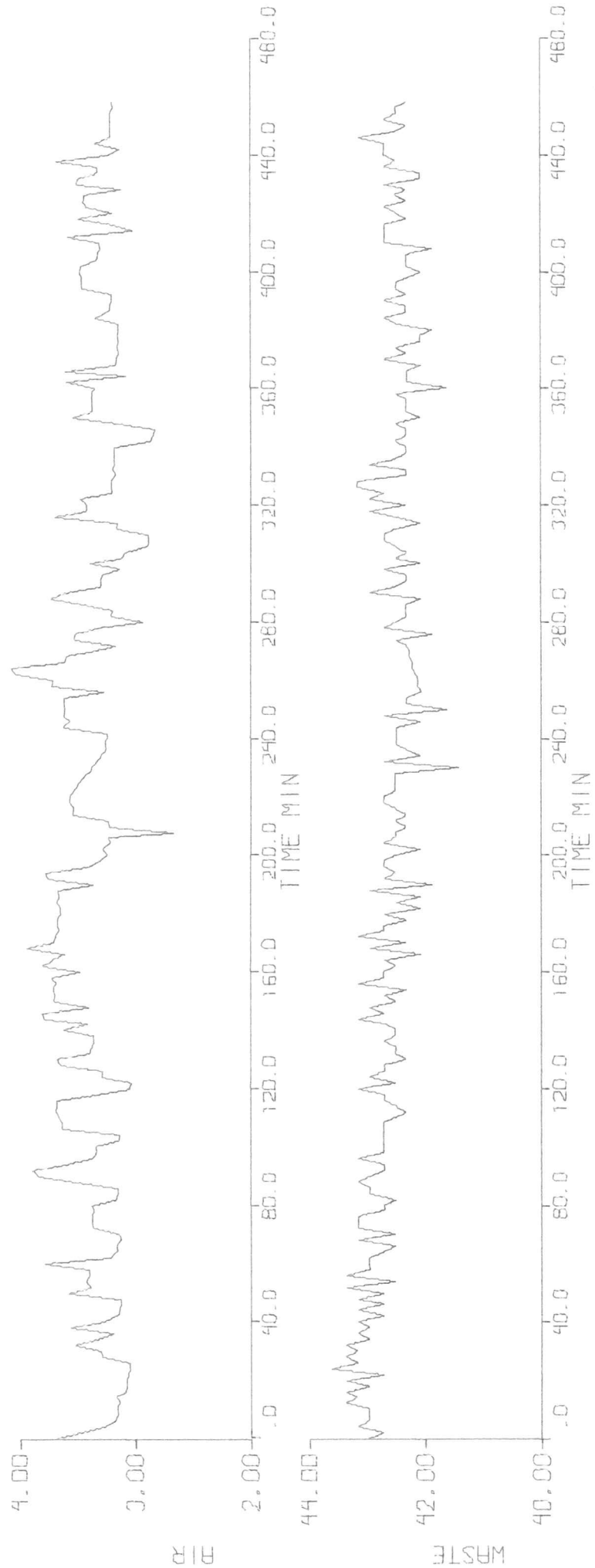


Figur 5.11 forts. Palo Alto experiment 1.

Plottning av modellen: $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(1,6))$.

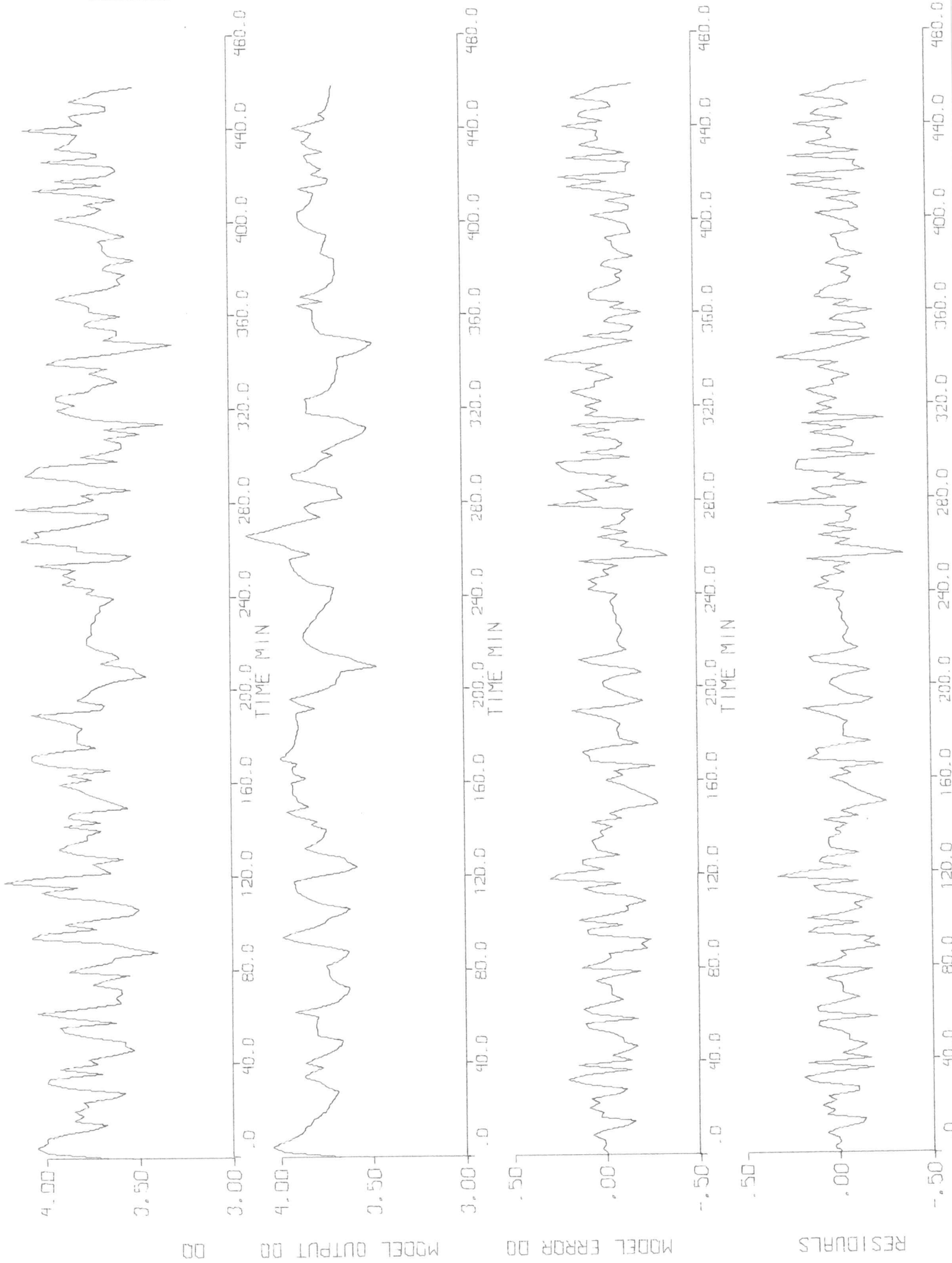


Plottning av modellen: $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(0,19))$.



Figur 5.12 forts. Palo Alto experiment 1.

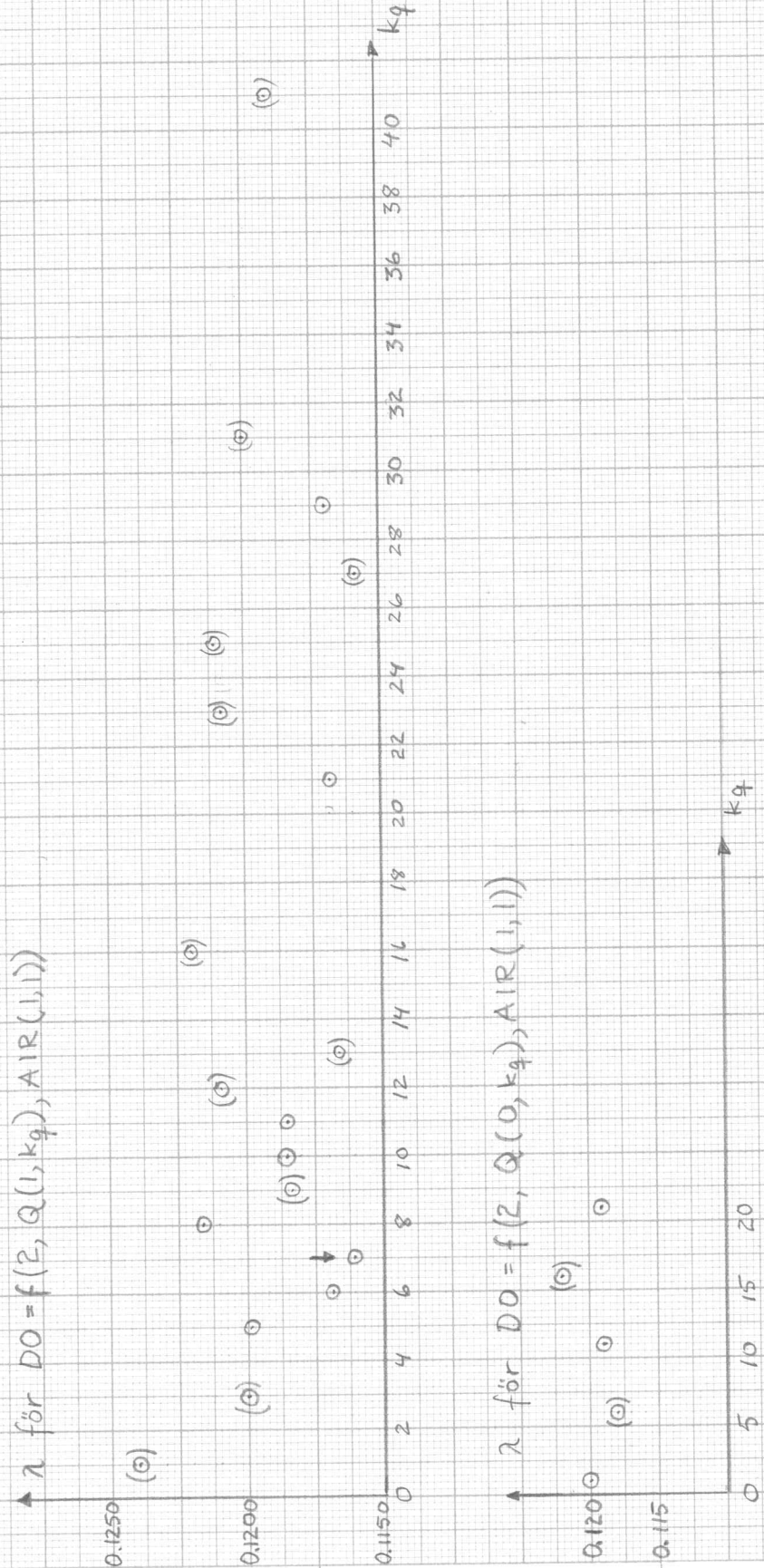
Plottning av modellen: $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(0,19))$.



Figur 5.13

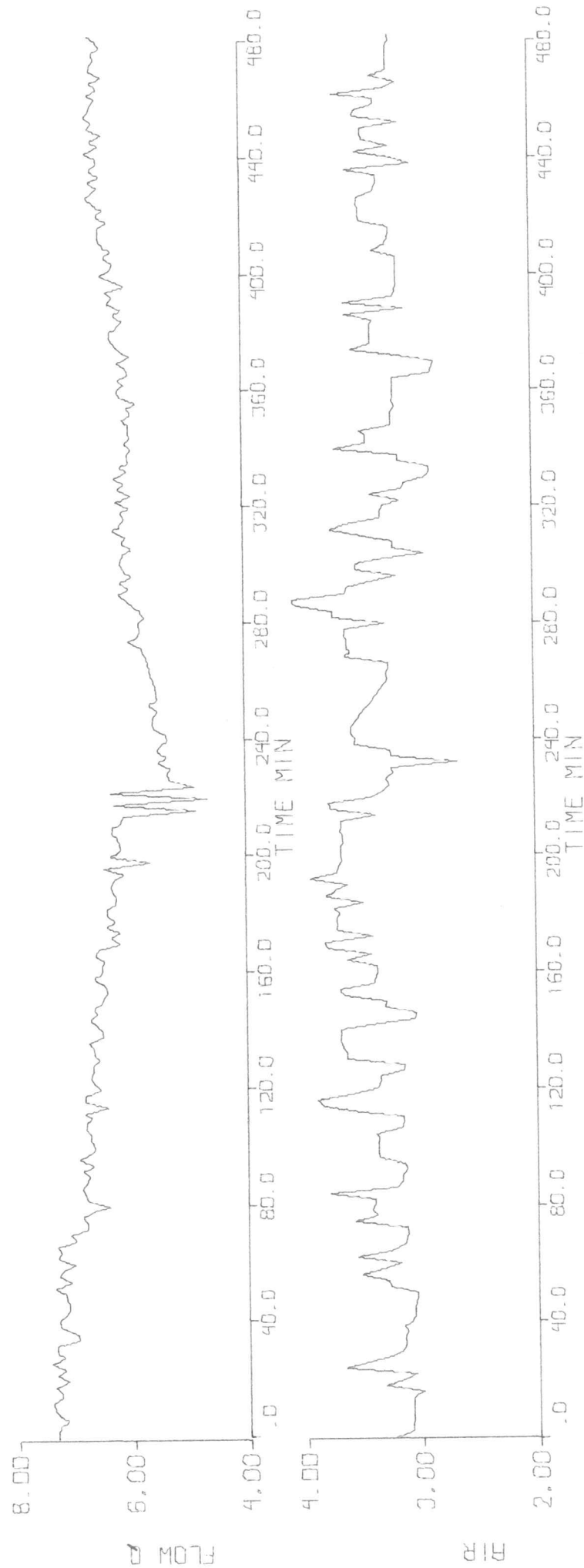
Palo Alto experiment 1.

λ som funktion av k_q för modellerna:
 $f(2, Q(1, k_q), AIR(1, 1))$
 $f(2, Q(0, k_q), AIR(1, 1))$



Pil markerar bästa modell
 Punkter inom parantes betecknar modell, som av någon anledning ej är godtagbar.

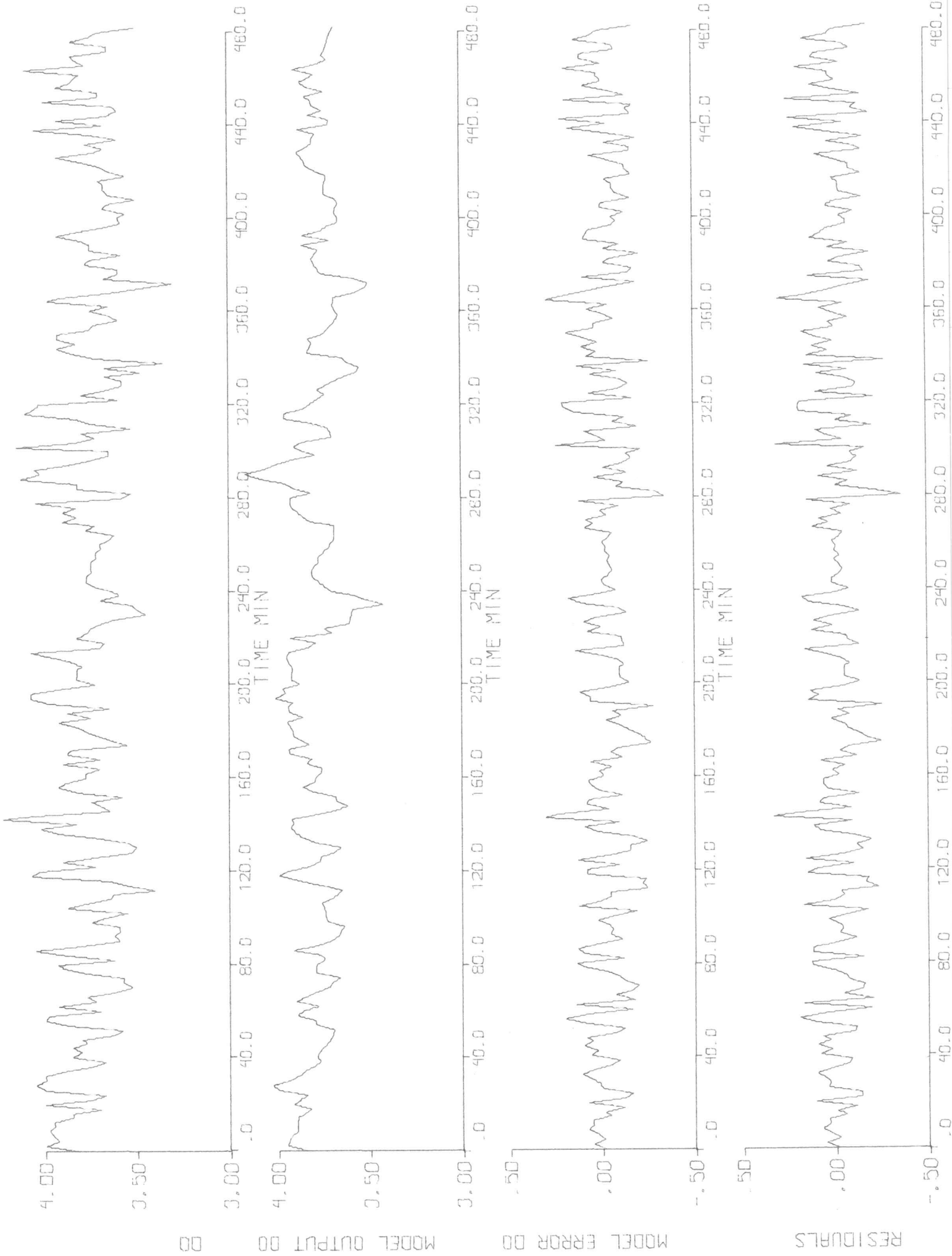
Plotting av modellen: $f(2, Q(1,7), AIR(1,1))$.



Figur 5.14 forts.

Palo Alto experiment 1.

Plotning av modellen: $f(2, Q(1,7), AIR(1,1))$.

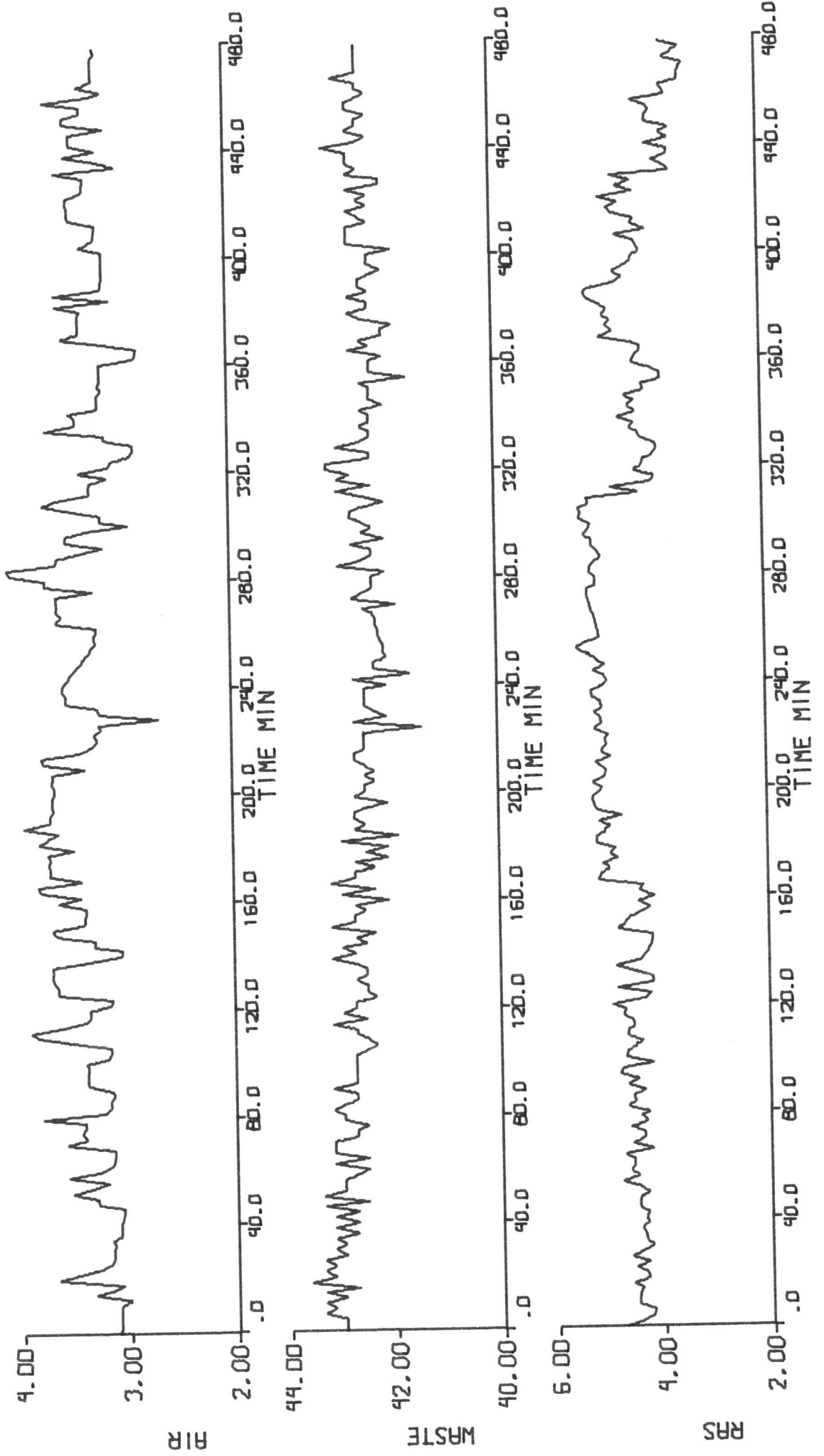


Figur 5.15

Palo Alto experiment 1.

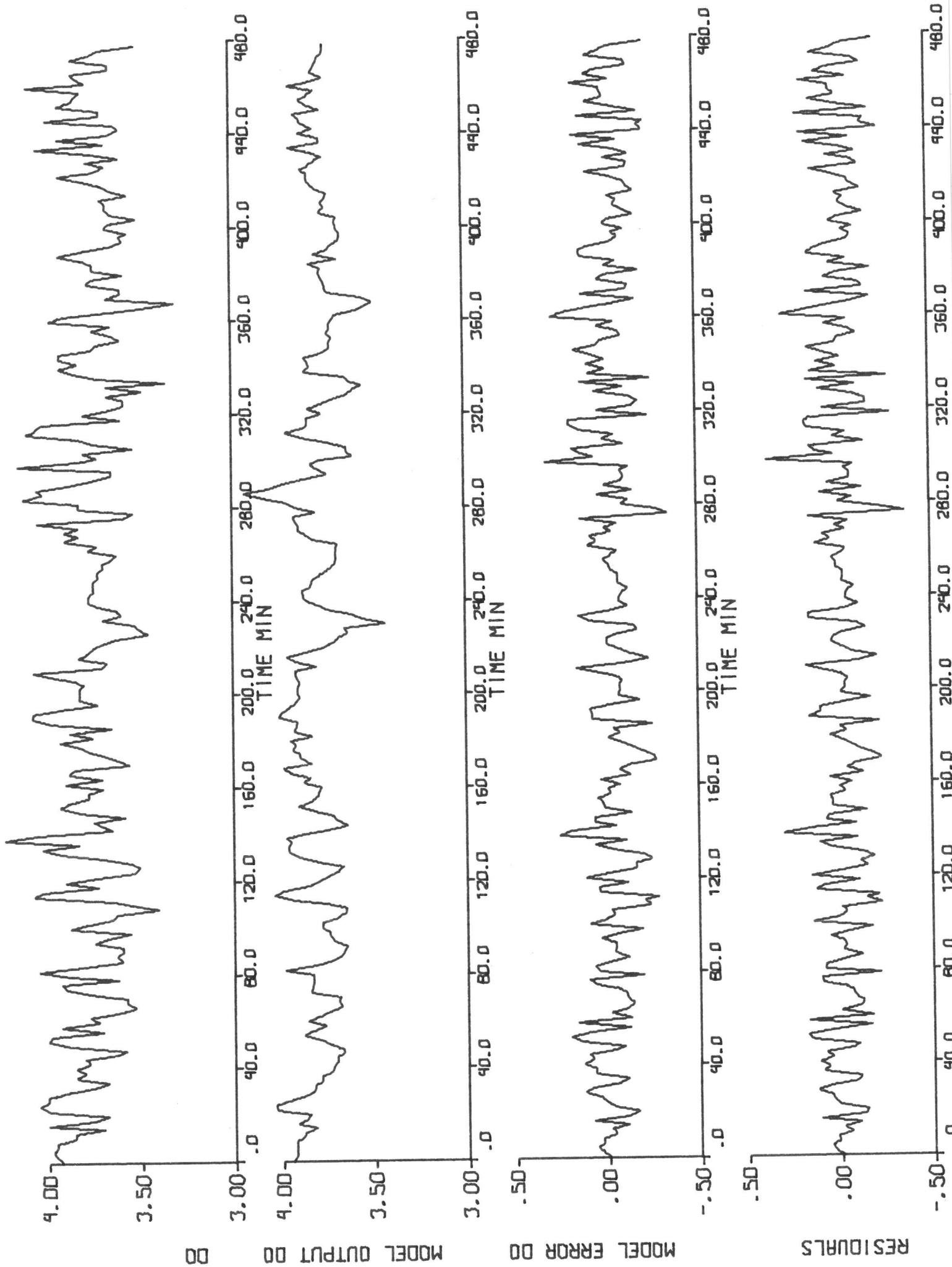
Var god vänd:

Plottning av modellen: $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(1,6), \text{RAS}(1,9))$.

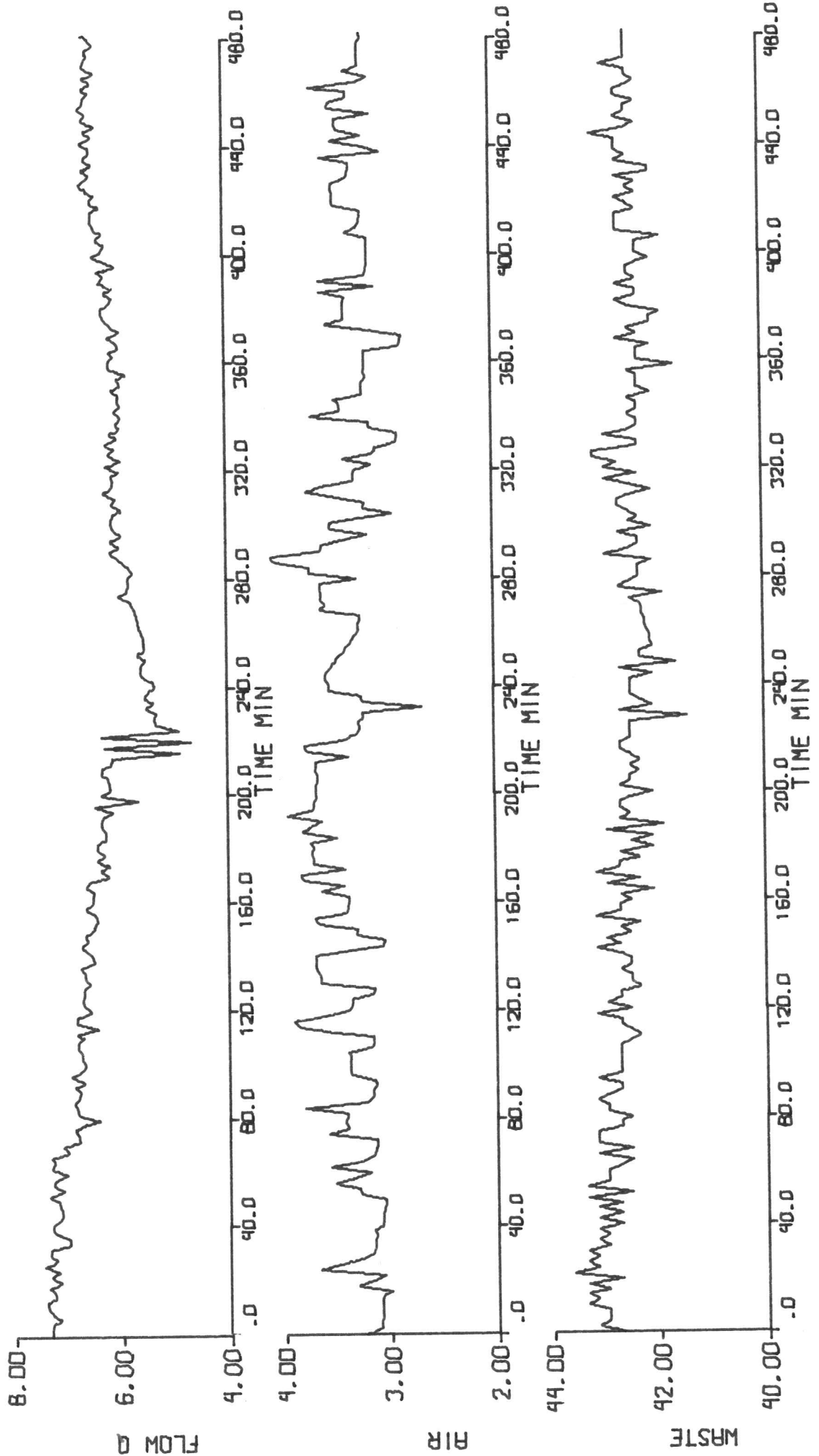


Figur 5.15 forts. Palo Alto experiment 1.

Plottning av modellen: $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(1,6), \text{RAS}(1,9))$.

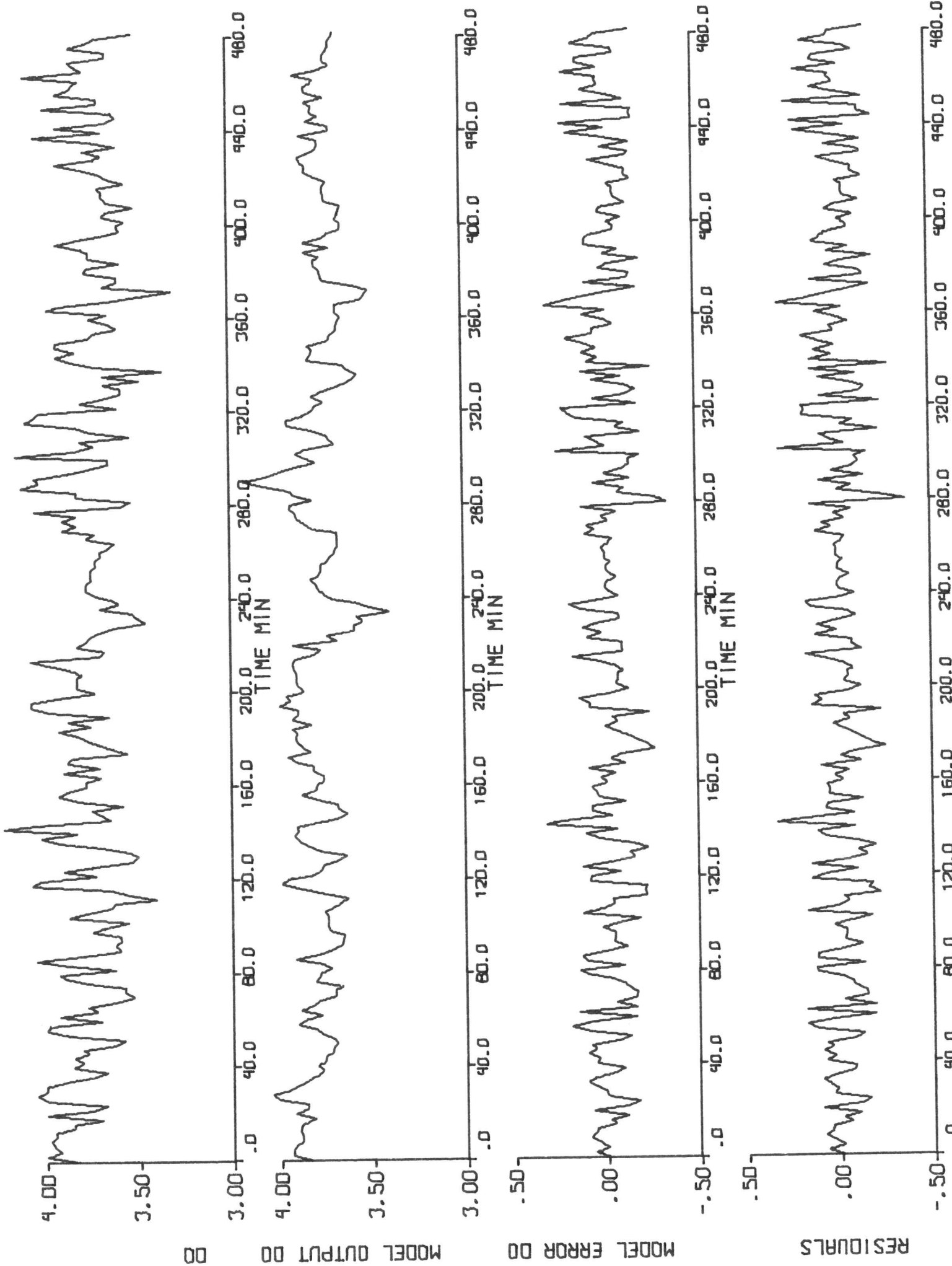


Plottning av modellen: $f(2, Q(1,7), AIR(1,1), WAS(1,6))$.

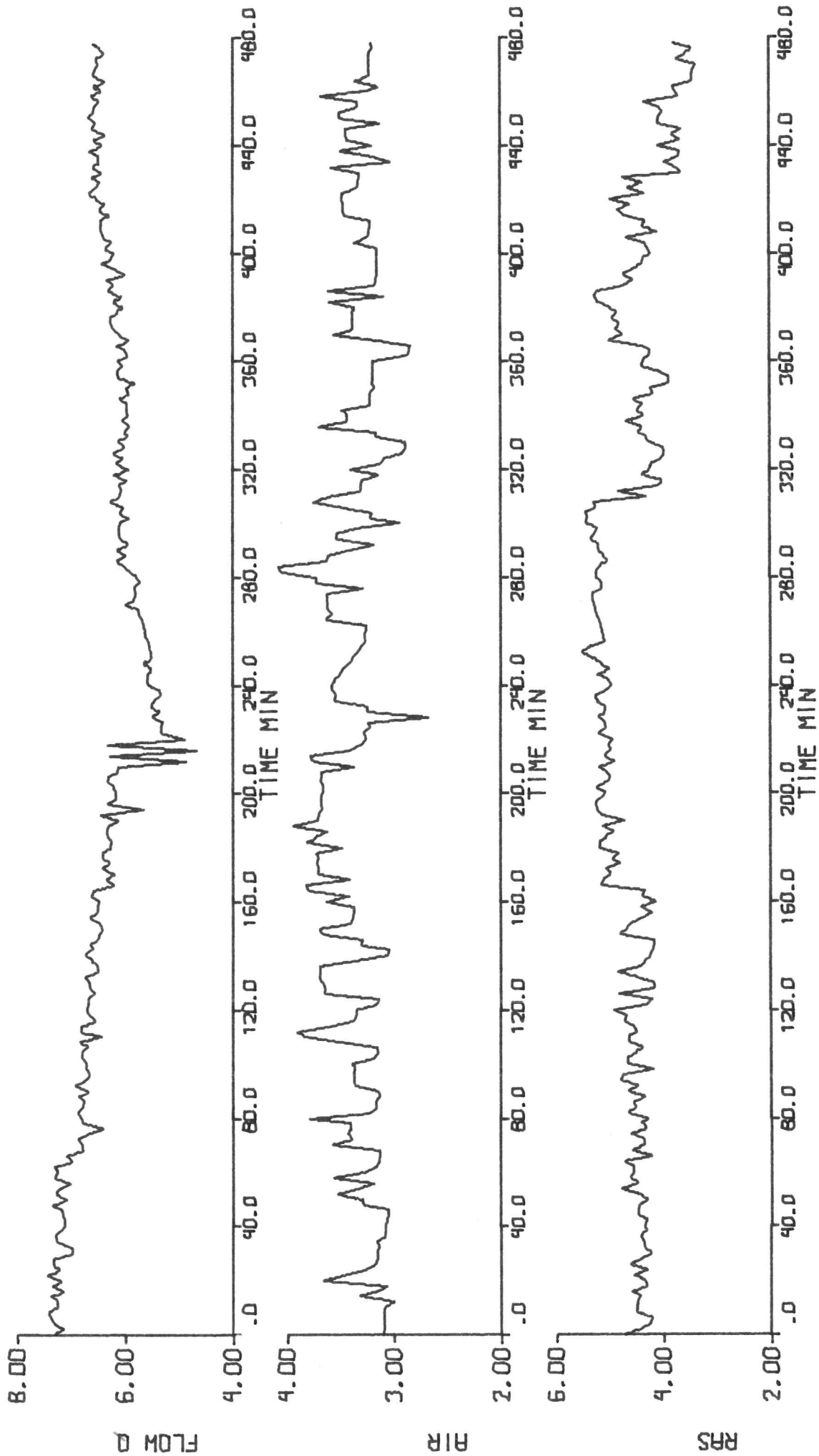


Figur 5.16 forts. Palo Alto experiment 1.

Plottning av modellen: $f(2, Q(1,7), AIR(1,1), WAS(1,6))$.

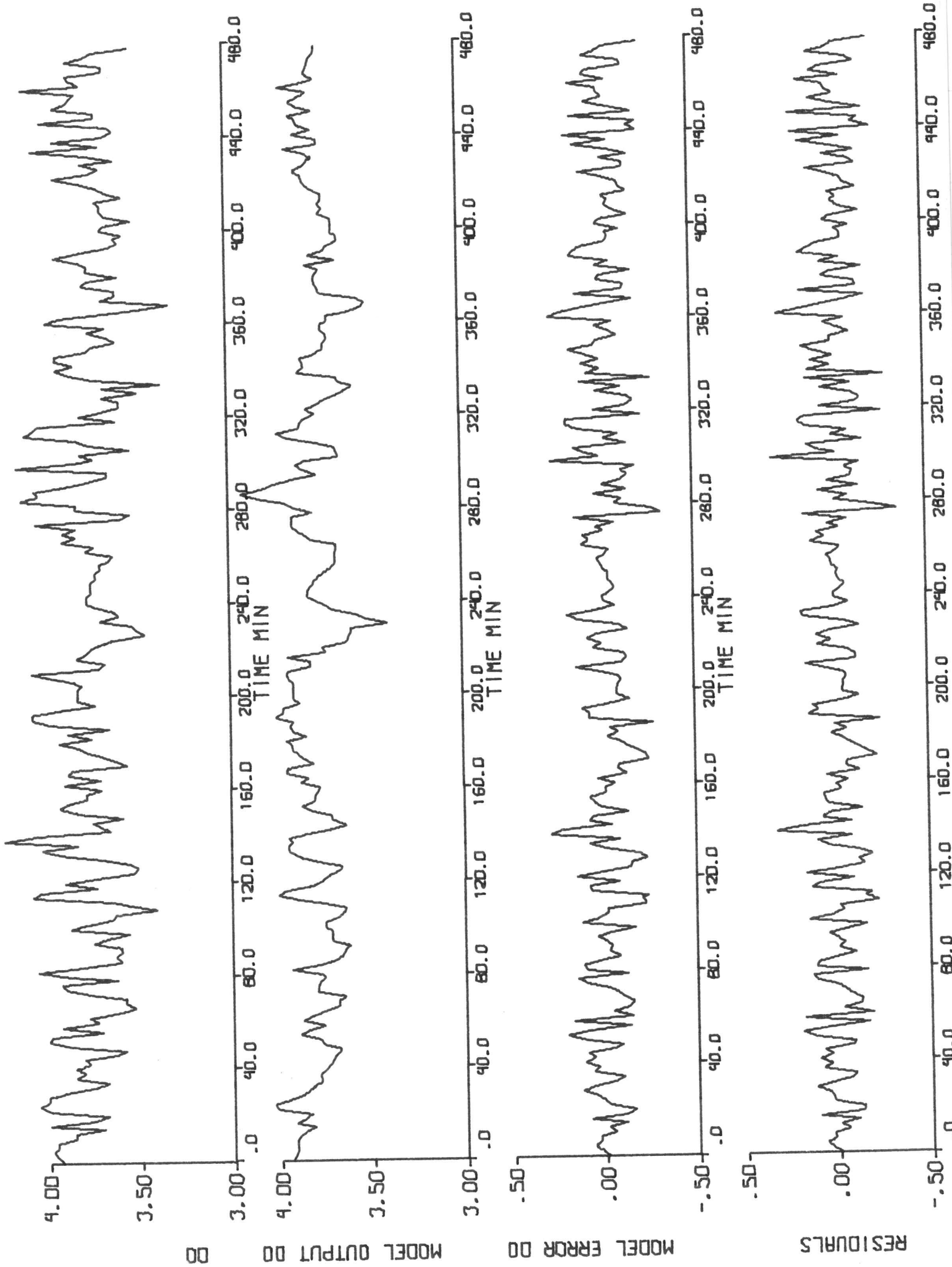


Plotting av modellen: $f(2, Q(1,7), AIR(1,1), RAS(1,9))$.

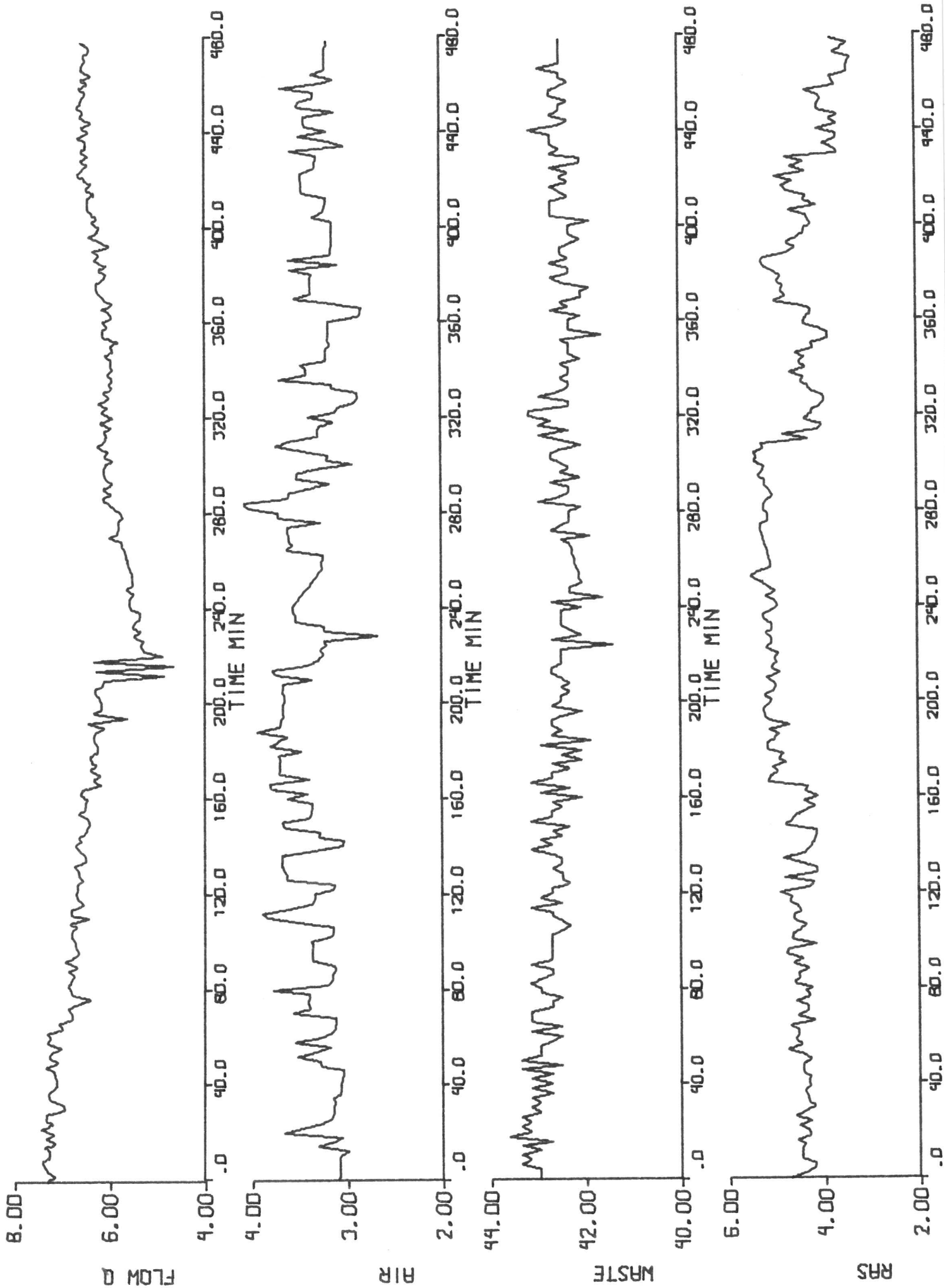


Figur 5.17 forts. Palo Alto experiment 1.

Plotning av modellen: $f(2, Q(1,7), AIR(1,1), RAS(1,9))$.

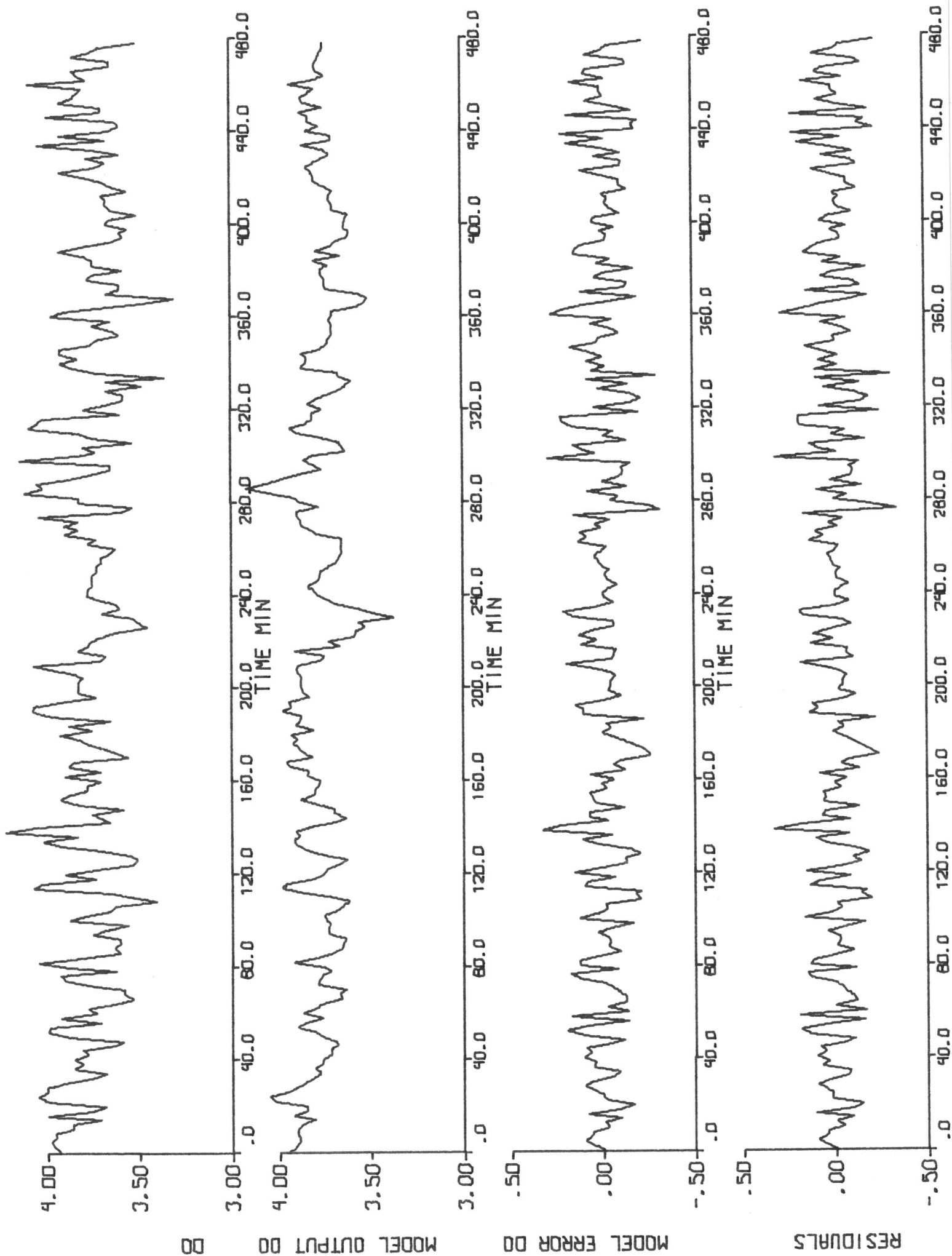


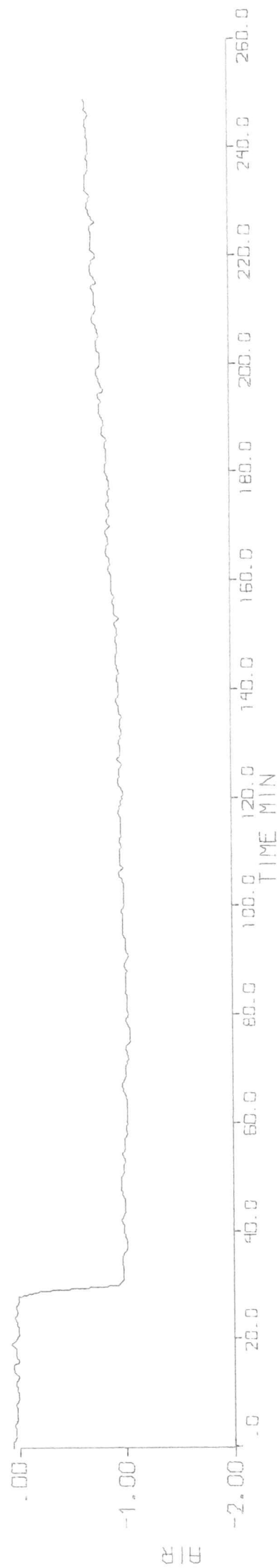
Plottning av modellen: $f(2, Q(1,7), AIR(1,1), WAS(1,6), RAS(1,9))$.



Figur 5.18 forts. Palo Alto experiment 1.

Plottning av modellen: $f(2, Q(1,7), AIR(1,1), WAS(1,6), RAS(1,9))$.





Figur 5.19

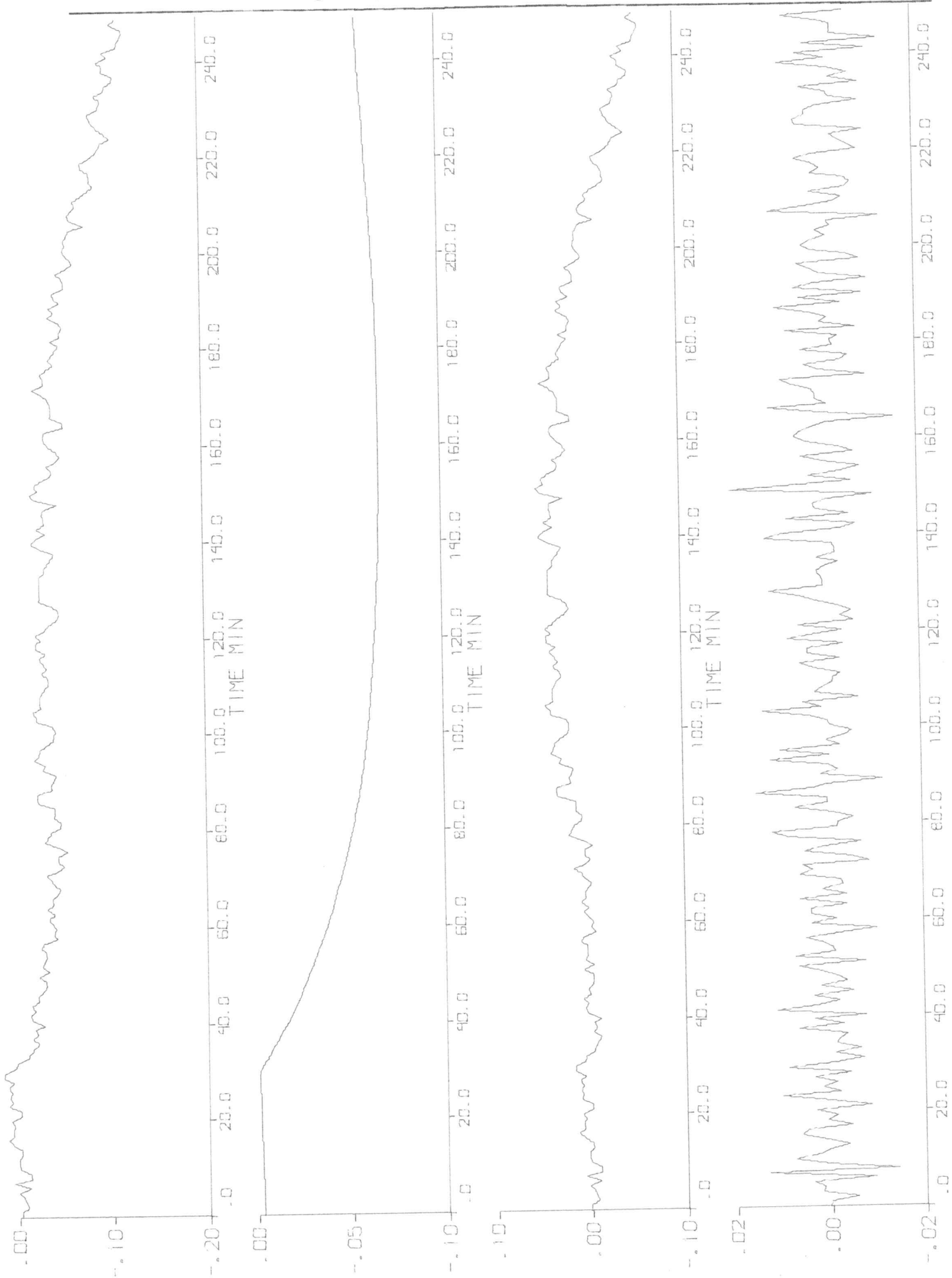
Palo Alto experiment 2.

Plotning av insignalen, AIR, till modellerma
MK-identifieringen f(1,AIR(0,1)), figur 5.20, och
ML-identifieringen f(1,AIR(0,1)), figur 5.21.

Figur 5.20

Palo Alto experiment 2.

Plottning av MK-identifieringen $f(1, \text{AIR}(0,1))$.
Insignalen, AIR, är plottad i figur 5.19.



MODEL OUTPUT DD

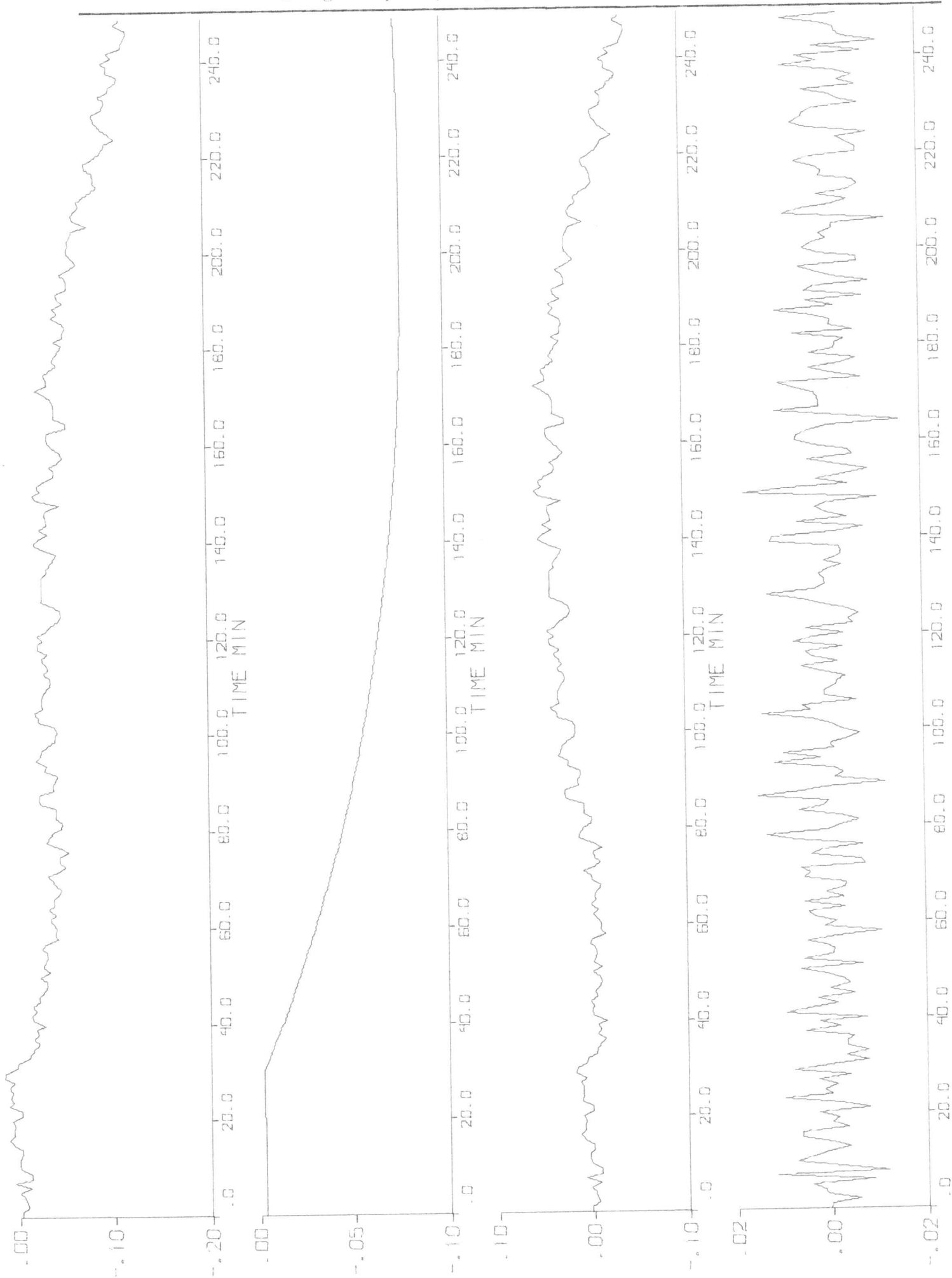
MODEL ERROR DD

RESIDUALS

Figur 5.21

Palo Alto experiment 2.

Plotning av ML-identifieringen $f(1, \text{AIR}(0,1))$.
Insignalen, AIR, är plottad i figur 5.19.



Tabell 5.1

Några data kring reningsverket i Palo Alto

<u>Premisser</u>	
Medelflöde	1,2 m ³ /s
Inkommande susphalt	210 mg/l; totalt 27 ton/dag
"- BS ₅	228 mg/l; "- 30 ton/dag
Utgående Susphalt	20 mg/l
"- BS ₅	20 mg/l
<u>Primärsedimentering</u>	
Antal bassänger	4
Längd x Bredd x Djup	66x12x3,3 m
SS-reduktion	ca 60 %
BS- "-	ca 30 %
Uppehållstid	2 h
Ytbelastning	1,7 m/h
<u>Luftningsbassänger</u>	
Antal	4
Längd x Bredd x Djup	43x35x4,5 m
Belastning	2,2 kgBS ₅ /1000 m ³
"-	0,3 kgBS ₅ /kgSS
Temperatur	25°C
Slamhalt	2400 mg/l
Antagen syrehalt	1,5 mg/l
Kg syre/kg BS ₅	0,9
Blåsmaskinernas effekt	1200 hk
Antal luftare	12
Antal blåsmaskiner	6
Uppehållstid	5,2 h
<u>Eftersedimentering</u>	
Antal bassänger	4
Längd x Bredd x Djup	35x35x3,3
Uppehållstid	3h
Ytbelastning	1,1 m/h
<u>Klorering</u>	
Kapacitet klor/dag	5,4 ton
Uppehållstid	1,1 h

Tabell 5:2

Palo Alto experiment 1.

Modell: $f(2, \text{AIR}(1,1))$

Förkortad beteckning på modellen: A

Insignaler

Transportfördröjning, k_i

Utsignal: DO

AIR

1

$\lambda = 0.1200$

max/grad V/ = $0.19 \cdot 10^{-3}$

Parametervektor:

$a_1 = -1.401 (\pm 0.039)$

$a_2 = 0.432 (\pm 0.039)$

skalfaktor

2500.0

$b_{a0} = 0.356 (\pm 0.031)$

$b_{a1} = -0.341 (\pm 0.031)$

4.0

$c_1 = -1.178 (\pm 0.035)$

$c_2 = 0.269 (\pm 0.034)$

$F(f(1, \text{AIR}(0,1)), f(2, \text{AIR}(1,1))) = 12.1$

$F(f(2, \text{AIR}(1,1)), f(3, \text{AIR}(2,1))) = 2.2$

Rötterna till parameterpolynomen:

$A^+ : 0.944 \quad 0.458$

$B_a^+ : 0.959$

$C^+ : 0.868 \quad 0.310$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: $-0.391 \quad -0.0289$

Normaliserad statisk förstärkning:

$\bar{G}_a = 0.427$

Se även figur 5.7

I parametervektorn: tal inom parentes = standardavvikelse.

Tabell 5:3

Palo Alto experiment 1.

Modell: $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{RAS}(1,9))$.

Förkortad beteckning på modellen: AR

Insignaler Transportfördröjning, k_i Utsignal: DO

AIR 1

~~AIR~~ ~~1~~

RAS 9

$\lambda = 0.1164$

max/grad V/ = $0.38 \cdot 10^{-2}$

Parametervektor:

		skalfaktor
$a_1 = -1.409 (\pm 0.042)$	$a_2 = 0.444 (\pm 0.042)$	2500
$b_{a0} = 0.360 (\pm 0.033)$	$b_{a1} = -0.343 (\pm 0.034)$	4
$b_{r0} = -0.062 (\pm 0.021)$	$b_{r1} = 0.062 (\pm 0.021)$	6
$c_1 = -1.195 (\pm 0.023)$	$c_2 = 0.267 (\pm 0.022)$	

$F(f(1, \text{AIR}(0,1), \text{RAS}(0,9)), f(2, \text{AIR}(1,1), \text{RAS}(1,9))) \approx 8$

$F(f(2, \text{AIR}(1,1), \text{RAS}(1,9)), f(3, \text{AIR}(1,1), \text{RAS}(2,9))) = 0.7$

$F(f(2, \text{AIR}(1,1), \text{RAS}(0,9)), f(2, \text{AIR}(1,1), \text{RAS}(1,9))) \approx 8$ (skattat ur figur 5.8)

$F(A, \text{AR}) = 7.7$

Rötterna till parameterpolynomen:

A^+ : 0.934 0.475

B_a^+ : 0.952

B_r^+ : 1.001

C^+ : 0.898 0.297

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: -0.372 -0.0341

Normaliserad statisk förstärkning:

$\bar{G}_a = 0.439$

$\bar{G}_r = -0.00169$

Se även figur 5.9

I parametervektorn: tal inom parantes = standardavvikelse.

Tabell 5: 4

Palo Alto experiment 1.

Modell: $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(1,6))$.

Förkortad beteckning på modellen: AW6

Insignaler

Transportfördröjning, k_i

Utsignal: DO

AIR 1

WAS 6

$\lambda = 0.1176$

max/grad V/ = $0.48 \cdot 10^{-3}$

Parametervektor:

		skalnfaktor
$a_1 = -1.364 (\pm 0.039)$	$a_2 = 0.398 (\pm 0.038)$	2500
$b_{a0} = 0.347 (\pm 0.035)$	$b_{a1} = -0.331 (\pm 0.036)$	4
$b_{w0} = 0.033 (\pm 0.027)$	$b_{w1} = -0.035 (\pm 0.026)$	500
$c_1 = -1.129 (\pm 0.044)$	$c_2 = 0.209 (\pm 0.044)$	

$F(f(1, \text{AIR}(0,1), \text{WAS}(0,6)), f(2, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(1,6))) = 6.1$

$F(f(2, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(1,6)), f(3, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(2,6))) = 5.9$

$F(\text{AW19}, \text{AW6}) = 2.8$

$F(\mathbf{A}, \text{AW6}) = 5.1$

Rötterna till parameterpolynomen:

$\mathbf{A}^+ : 0.941 \quad 0.423$

$\mathbf{B}_a^+ : 0.954$

$\mathbf{B}_w^+ : 1.042$

$\mathbf{C}^+ : 0.895 \quad 0.234$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: $-0.431 \quad -0.0304$

Normaliserad statisk förstärkning:

$\bar{G}_a = 0.417$

$\bar{G}_a = -0.461$

Se även figur 5.11

I parametervektorn: tal inom parantes = standardavvikelse.

Tabell 5:5

Palo Alto experiment 1.

Modell: $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(0,19))$.

Förkortad beteckning på modellen: AW19

Insignaler Transportfördröjning, k_i Utsignal: DO

AIR 11

WAS 19

$\lambda = 0.1183$

max/grad V/ = $0.35 \cdot 10^{-3}$

Parametervektor:

		skal faktor
$a_1 = -1.4151 (\pm 0.024)$	$a_2 = 0.440 (\pm 0.024)$	2500
$b_{a0} = 0.337 (\pm 0.034)$	$b_{a1} = -0.325 (\pm 0.036)$	4
$b_{w0} = -0.0050 (\pm 0.0023)$	$b_{w1} = 0 (\pm 0.118)$	500
$c_1 = -1.196 (\pm 0.078)$	$c_2 = 0.251 (\pm 0.077)$	

$F(A, \text{AW19}) = 4.0$

Rötterna till parameterpolynomen:

A^+ : 0.953 0.462

B_a^+ : 0.965

B_w^+ : 0

C^+ : 0.925 0.271

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: -0.387 -0.0239

Normaliserad statisk förstärkning:

$\bar{G}_a = 0.421$

$\bar{G}_w = -2.239$

Se även figur 5.12

I parametervektorn: tal inom parentes = standardavvikelse.

Tabell 5:6

Palo Alto experiment 1.

Modell: $f(2, Q(1,7), AIR(1,1))$.

Förkortad beteckning på modellen: QA

Insignaler	Transportfördröjning, k_i	Utsignal: DO
Q	7	
AIR	1	

$\lambda = 0.1161$

max/grad V/ = $0.26 \cdot 10^{-2}$

Parametervektor:

		skalfaktor
$a_1 = -1.360 (\pm 0.047)$	$a_2 = 0.379 (\pm 0.045)$	2500
$b_{q0} = 0.102 (\pm 0.026)$	$b_{q1} = -0.102 (\pm 0.025)$	5
$b_{a0} = 0.332 (\pm 0.034)$	$b_{a1} = -0.317 (\pm 0.035)$	4

$$c_1 = -1.152 (\pm 0.025) \quad c_2 = 0.193 (\pm 0.024)$$

$$F(f(1, Q(0,7), AIR(0,1)), f(2, Q(1,7), AIR(1,1))) \approx 7$$

$$F(f(2, Q(1,7), AIR(1,1)), f(3, Q(2,7), AIR(1,1))) = 0.8$$

$$F(f(2, Q(0,7), AIR(1,1)), f(2, Q(1,7), AIR(1,1))) \approx 8 \quad (\text{skattat ur figur 5.13})$$

$$F(A, QA) = 8.4$$

Rötterna till parameterpolynomen:

$$A^+ : 0.968 \quad 0.392$$

$$B_q^+ : 1.001$$

$$B_a^+ : 0.954$$

$$C^+ : 0.948 \quad 0.204$$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: $-0.468 \quad -0.0164$

Normaliserad statisk förstärkning:

$$\bar{G}_q = -0.0085$$

$$\bar{G}_a = 0.689$$

Se även figur 5.14

I parametervektorn: tal inom parantes = standardavvikelse.

Tabell 5:7

Palo Alto experiment 1.

Modell: $f(2, \text{AIR}(1,1), \text{WAS}(1,6), \text{RAS}(1,9))$.

Förkortad beteckning på modellen: AWR

Insignaler	Transportfördröjning, k_i	Utsignal: DO
AIR	1	
WAS	6	
RAS	9	

$$\lambda = 0.1161$$

$$\text{max/grad } V/ = 0.46 \cdot 10^{-3}$$

Parametervektor:

		skalnfaktor
$a_1 = -1.396 (\pm 0.045)$	$a_2 = 0.422 (\pm 0.045)$	2500
$b_{a0} = 0.365 (\pm 0.035)$	$b_{a1} = -0.350 (\pm 0.036)$	4
$b_{w0} = 0.0242 (\pm 0.0262)$	$b_{w1} = -0.0264 (\pm 0.0259)$	500
$b_{r0} = -0.0580 (\pm 0.0207)$	$b_{r1} = 0.0576 (\pm 0.0211)$	6
$c_1 = -1.184 (\pm 0.017)$	$c_2 = 0.244 (\pm 0.044)$	

$$F(\text{AW}, \text{AWR}) = 3.2$$

$$F(\text{AR}, \text{AWR}) = 0.6$$

Rötterna till parameterpolynomen:

$$A^+ : 0.954 \quad 0.443$$

$$B_a^+ : 0.960$$

$$B_w^+ : 1.092$$

$$B_r^+ : 0.993$$

$$C^+ : 0.919 \quad 0.265$$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: -0.408 -0.0235

Normaliserad statisk förstärkning:

$$\bar{G}_a = 0.502$$

$$\bar{G}_w = -0.984$$

$$\bar{G}_r = 0.0185$$

Se även figur 5.15

I parametervektorn: tal inom parantes = standardavvikelse.

Tabell 5:8

Palo Alto experiment 1.

Modell: $f(2, Q(1,7), AIR(1,1), WAS(1,6))$.

Förkortad beteckning på modellen: QAW

Insignaler	Transportfördröjning, k_i	Utsignal: DO
Q	7	
AIR	1	
WAS	6	

$\lambda = 0.1156$

max/grad V/ = $0.23 \cdot 10^{-2}$

Parametervektor:

		skalfaktor
$a_1 = -1.340 (\pm 0.049)$	$a_2 = 0.363 (\pm 0.047)$	2500
$b_{q0} = 0.105 (\pm 0.072)$	$b_{q1} = -0.106 (\pm 0.010)$	5
$b_{a0} = 0.332 (\pm 0.035)$	$b_{a1} = -0.316 (\pm 0.036)$	4
$b_{w0} = 0.039 (\pm 0.027)$	$b_{w1} = -0.036 (\pm 0.026)$	500
$c_1 = -1.138 (\pm 0.019)$	$c_2 = 0.174 (\pm 0.019)$	

$F(QA, QAW) = 0.9$

$F(AW, QAW) = 4.2$

Rötterna till parameterpolynomen:

$A^+ : 0.962 \quad 0.378$

$B_q^+ : 1.011$

$B_a^+ : 0.952$

$B_w^+ : 0.918$

$C^+ : 0.956 \quad 0.182$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: $-0.487 \quad -0.0195$

Normaliserad statisk förstärkning:

$\bar{G}_q = -0.0835$

$\bar{G}_a = 0.591$

$\bar{G}_w = 1.53$

Se även figur 5.16

I parametervektorn: tal inom parantes = standardavvikelse.

Tabell 5:9

Palo Alto experiment 1.

Modell: $f(2, Q(1,7), AIR(1,1), RAS(1,9))$.

Förkortad beteckning på modellen: QAR

Insignaler	Transportfördröjning, k_i	Utsignal: DO
Q	7	
AIR	1	
RAS	9	

$\lambda = 0.1147$

max/grad V/ = $0.10 \cdot 10^{-2}$

Parametervektor:

		skalfaktor
$a_1 = -1.362 (\pm 0.047)$	$a_2 = 0.383 (\pm 0.047)$	2500
$b_{q0} = 0.082 (\pm 0.026)$	$b_{q1} = -0.083 (\pm 0.026)$	5
$b_{a0} = 0.359 (\pm 0.035)$	$b_{a1} = -0.341 (\pm 0.036)$	4
$b_{r0} = -0.049 (\pm 0.020)$	$b_{r1} = 0.048 (\pm 0.021)$	6
$c_1 = -1.172 (\pm 0.014)$	$c_2 = 0.217 (\pm 0.014)$	

$F(QA, QAR) = 3.0$

$F(AR, QAR) = 3.6$

Rötterna till parameterpolynomen:

$A^+ : 0.966 \quad 0.396$

$B_q^+ : 1.008$

$B_a^+ : 0.949$

$B_r^+ : 0.971$

$C^+ : 0.942 \quad 0.230$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: $-0.463 \quad -0.0173$

Normaliserad statistisk förstärkning:

$\bar{G}_q = -0.0555$

$\bar{G}_a = 0.797$

$\bar{G}_r = -0.0836$

Se även figur 5.17

I parametervektorn: tal inom parantes = standardavvikelse.

Tabell 5:10

Palo Alto experiment 1.

Modell: $f(2, Q(1,7), AIR(1,1), WAS(1,6), RAS(1,9))$.

Förkortad beteckning på modellen: QAWR

Insignaler	Transportfördröjning, k_i	Utsignal: DO
Q	7	
AIR	1	
WAS	6	
RAS	9	

$$\lambda = 0.1140$$

$$\text{max/grad } V/ = 0.27 \cdot 10^{-1}$$

Parametervektor:

		skalnfaktor
$a_1 = -1.342 (\pm 0.049)$	$a_2 = 0.368 (\pm 0.049)$	2500
$b_{q0} = 0.107 (\pm 0.027)$	$b_{q1} = -0.114 (\pm 0.028)$	5
$b_{a0} = 0.353 (\pm 0.035)$	$b_{a1} = -0.332 (\pm 0.036)$	4
$b_{w0} = 0.046 (\pm 0.028)$	$b_{w1} = -0.034 (\pm 0.027)$	500
$b_{r0} = -0.035 (\pm 0.021)$	$b_{r1} = 0.030 (\pm 0.021)$	6
$c_1 = -1.171 (\pm 0.008)$	$c_2 = 0.195 (\pm 0.008)$	

$$F(AWR, QAWR) = 5.0$$

$$F(QAW, QAWR) = 4.0$$

$$F(QAR, QAWR) = 1.7$$

Rötterna till parameterpolynomen:

$$A^+: 0.959 \quad 0.383$$

$$B_q^+: 1.062$$

$$B_a^+: 0.940$$

$$B_w^+: 0.735$$

$$B_r^+: 0.868$$

$$C^+: 0.970 \quad 0.201$$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: -0.479 -0.0209

Normaliserad statisk förstärkning:

$$\bar{G}_q = -0.448$$

$$\bar{G}_a = 0.744$$

$$\bar{G}_w = 5.47$$

$$\bar{G}_r = -0.220$$

Se även figur 5.18

I parametervektorn: tal inom parentes = standardavvikelse.

Tabell 5:11

Palo Alto experiment 2.

Modell: $f(1, \text{AIR}(0,1))$, MK-identifiering.

Förkortad beteckning på modellen: MK1

Insignaler Transportfördröjning, k_i Utsignal: DO

AIR 1

$$\lambda = 0.007037$$

$$\text{max/grad V/} = 0.24 \cdot 10^{-7}$$

Parametervektor:

$$a_1 = -0.977 (\pm 0.015)$$

$$b_{a0} = 0.00175 (\pm 0.00090)$$

skalfaktor

100

5

$$c_1 = 0. (\pm 0.0070)$$

$$F(\text{MK1}, \text{MK-identifieringen } f(2, \text{AIR}(1,1))) = 3.5$$

Rötterna till parameterpolynomen:

$$A^+ : 0.977$$

$$B_a^+ : 0$$

$$C^+ : 0$$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: $-0.2372 \approx T = 42.1 \text{ min}$

Normaliserad statisk förstärkning:

$$\bar{G}_a = 0.758$$

Se även figur 5. 20

I parametervektorn: tal inom parentes = standardavvikelse.

Tabell 5:12

Palo Alto experiment 2.

Modell: $f(1, \text{AIR}(0,1))$ ML-identifiering.

Förkortad beteckning på modellen: ML1

Insignaler

Transportfördröjning, k_i

Utsignal: DO

AIR

1

$\lambda = 0.006932$

max/grad V/ = $0.26 \cdot 10^{-5}$

Parametervektor:

$a_1 = -0.988$ (± 0.012)

skalfaktor

100

$b_{a0} = 0.00115$ (± 0.00072)

5

$c_1 = -0.211$ (± 0.078)

$F(\text{MK1}, \text{ML1}) = 7.2$

$F(\text{ML1}, \text{ML-identifieringen } f(2, \text{AIR}(1,1))) = 8.1$

Rötterna till parameterpolynomen:

$A^+ : 0.988$

$B_a^+ : 0$

$C^+ : -0.211$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: $-0.0117 \approx T = 85.5 \text{ min}$

Normaliserad statisk förstärkning:

$\bar{G}_a = 1.01$

Se även figur 5. 21

I parametervektorn: tal inom parentes = standardavvikelse.

VI. EXPERIMENT PÅ OCH IDENTIFIERING AV DEN KEMISKA FÄLLNINGSPROCESSEN.

6.1 Inledning

Genom vänligt tillmötesgående från Institutionen för Vattenbyggnad, LTH, fick vi tillfälle att utföra 10 experiment på den kemiska fällningsprocessen vid försöksstationen i Sjölunda utanför Malmö.

I experimenten uppmätta insignaler var slamhalt i ingående avloppsflöde (SSIN), avloppsflöde (SQ) och kemikaliedosering (SAVR), medan uppmätt utsignal var slamhalt i utgående flöde (SSUT).

Syfte

Syftena var

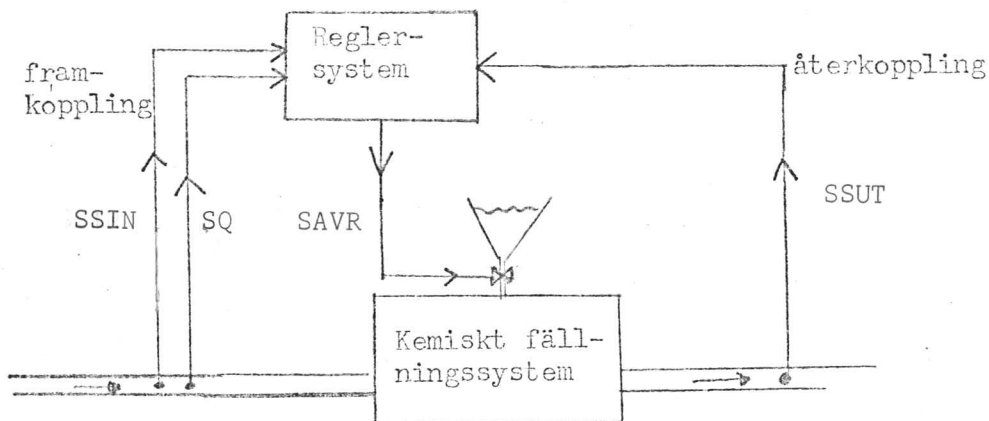
- o att uppmontera och utprova de av oss speciellt använda delarna av försökuppställningen;
- o att utföra stegsvarsexperiment för att få en uppfattning av transportfördröjningar och tidskonstanter för att välja ett lämpligt samplingsintervall;
- o att utföra PRBS-experiment för modellidentifiering;
- o att finna linjära dynamiska modeller för systemet m h a programmet MLIDEN.

Resultat

- o systemet är tidsvariabelt
- o systemet beskrivs av 1. ordningens modeller
- o SSIN och SAVR är de dominerande insignalerna.

Vision

Det är vår dröm, att den kemiska fällningsprocessen en dag skall kunna regleras på följande sätt:



6.2 Försöksstationen

Sedan maj 1972 finns en försöksstation vid avloppsreningsverket i Sjö-lunda, Malmö. Denna försöksstation drivs av Institutionen för Vattenbyggnad, LTH och finansieras av STU, Naturvårdsverket och privata gåvor. Den har i första hand tillkommit för optimeringsstudier på kombinationer av reningsprocesser.

Byggnaden, som är 20x13 meter, innehåller möjligheter att bygga upp de flesta idag förekommande processerna för avloppsvattenrening. Bland utrustningen kan nämnas: en apparat för mikrosilning, fyra konventionella sedimenteringsbassänger, två lamellsedimenteringsbassänger, två flotationsbassänger, flotationsfilter, två luftningsbassänger för aktivt slam, två plastbiobäddar, fem flockningsbassänger för bl a kemisk fällning. För planen över apparathallen och för processuppbyggnaden, se figur 6:1.

För mätning och analys finns bl a följande utrustning: fyra elektromagnetiska flödesmätare, automatisk provtagningsutrustning för manuell analys, automatisk COD-mätare, pH-mätare, två optiska slamhaltsmätare samt två skrivare.

Genom tillmötesgående från Institutionen för Vattenbyggnad erbjöds vi tillfälle att studera den kemiska fällningsprocessens dynamik m h a de nyanskaffade slamhaltsmätarna.

För mera utförlig redovisning om försöksstationen hänvisas till B. Andersson et al (1972).

6.3 Den kemiska fällningsprocessen

Allmänt

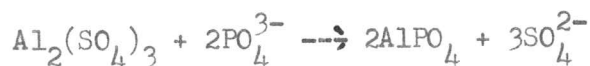
Den kemiska fällningsprocessen, som i första hand är till för utfällning av fosfat, används både som förbehandling före biologisk rening och kanske ännu oftare som efterbehandlingsmetod. Vid utfällningen använder man oftast kalk (CaO), aluminiumsulfat ($Al_2(SO_4)_3$) eller järnklorid ($FeCl_3$). På rekommendation av forskarna på Institututionen för Vattenbyggnad, använde vi aluminiumsulfat.

Om man till alkaliskt avloppsvatten tillsätter aluminiumsulfat, inträffar följande reaktion:



Den fällning av aluminiumhydroxid som uppstår är gelatinös, och adsorberar kolloida partiklar. Om fosfat är närvarande, sker ytterligare en re-

aktion:



Vid pH över 6.3 adsorberas dels det bildade aluminiumfosfatet på aluminiumhydroxiden, dels bildas det komplex mellan aluminiumhydroxiden och aluminiumfosfatet. Dessa processer samverkar att bygga upp fosfatrika flockar, som kan frångiljas.

Då de angivna reaktionerna konkurrerar om aluminiumjonerna, blir, vid verkliga driftsbetingelser, viktsförhållandet mellan tillsatt Al och utfälld P av storleksordningen 2 - 3, bl a beroende på önskad slutlig fosfatkoncentration.

För fler detaljer rekommenderas Culp-Culp (1972).

Inkommande avloppsvatten

I vårt fall matades processen med det till stationen inkommande avloppsvattnet, som endast genomgått gallerrensning och sandfång, dvs vi använder oss här av förfällning. Försöksuppställningen och processens uppbyggnad kan studeras i figur 6:2.

Allt inkommande avloppsvatten till försöksstationen uppsamlas i fördelningslådan, varifrån det tas till de olika processerna på stationen. Till fällningsprocessen finns en steglöst variabel pump för inställning av flödet; detta kan sedan mätas med flödesmätaren för inställning av önskat värde.

Dosering

Kemikaliedoseringen regleras m h a en motor, som vrider en skruv som för fram kemikalien, i vårt fall AVR (Boliden AB:s tekniska aluminiumsulfat för avloppsrening). Denna faller ned i den trattformade behållaren, i vars botten rent vatten tillföres, varefter den lösta kemikalien bräddar från tratten till blandningsbassängen. Kalibreringskurva mellan spänningen över motorn och kemikaliedoseringen finns i figur 6.3.

I blandningsbassängen blandas avloppsvattnet och kemikalielösningen under kraftig omröring, varefter det rinner till flockningsbassängen.

Flockning

I flockningsbassängen, som har en volym på 2.3 m³ och en area på 1 m², bildas flockarna som sedan skall sedimenteras. En viktig variabel i

flockningsprocessen är omrörarhastigheten, som kan varieras med en steglös variator. Om hastigheten är för låg, uppstår risk för s k kortslutningsströmning och dålig blandning. Kortslutningsströmning innebär att stora delar av flödet går rakt igenom bassängen utan att nämnvärt blandas med det vatten som finns i bassängen. Vid för hög omrörarhastighet slås de bildade flockarna sönder, med sämre sedimentering som följd.

Helt klart är, att det finns en optimal omrörarhastighet, men något studium av detta optimum har ej gjorts. Det vore värt att undersöka om detta optimum är tidsvariabelt, så att omrörarhastigheten kunde bli en viktig styrvariabel även i dynamiska sammanhang.

Vi har i stället, på inrådan från på processen kunniga personer, i samtliga försök använt oss av ett hyfsat statistiskt värde: $\omega = 1.08$ rad/s.

Sedimentering

Efter flockningsbassängen rinner vattnet till sedimenteringsbassängen, som har en volym på 12.4 m^3 och en area på 6.25 m^2 . Vattnet förs in till mitten, där röret mynnar i den inre "behållaren", varifrån det pressas nedåt och sedan uppåt.

I bassängen uppbygges ett sk slamfilter av partiklar som faller med samma hastighet som vätskefronten rör sig uppåt, dvs de står stilla i förhållande till bassängen. Detta slamfilter är av stor betydelse för uppbyggnaden av större partiklar av de mindre som rör sig uppåt. Slamfiltrets effektivitet är dels beroende av strömningsförhållandena i bassängen och dels av slamavtömning i bottnen.

Någon undersökning av tömningsfrekvensen inverkan har inte utförts, utan slammet har tömts enligt anvisningar, en gång per dygn. Vattnet i bassängen bräddar av och återförs via en golvbrunn till det stora verket.

Kommentar

Processens effektivitet påverkas av bl a pH och temperatur, men någon undersökning av dessa variabler har ej gjorts. Deras inverkan har inkluderats bland övriga störningars.

Styrning

Man kan tycka, att ju mer kemikalie man tillsätter, desto mer fosfor bör fällas ut. Detta är till viss del sant, men då fosfatreduktionen följer en mättnadskurva, är det inte ekonomiskt försvarbart att använda för

mycket kemikalier. Även i vattnet lösta kemikalier är ju att betrakta som föroreningar och av det skälet ej önskvärda.

Om processen används som förfällning, innan det biologiska steget, kan en alltför stor fosfatreduktion verka försämrande totalt sett. Vissa mikroorganismer i det biologiska steget är nämligen beroende av fosfat för sin metabolism.

Det finns alltså ett behov av att kunna styra utgående fosfathalt till ett önskat värde, och för att kunna styra processen behövs en dynamisk modell av den.

6.4 Experimentuppställning

Det vore önskvärt att kunna mäta fosfatkoncentrationen på vattnet direkt, men då ingen on-line fosfatmätare fanns tillgänglig, valde vi att mäta slamhalt. På utgående vatten föreligger, enligt forskare på Institutionen för Vattenbyggnad, god korrelation mellan fosfor och slamhalt, medan sambandet på ingången är osäkert. Se figur 6:4.

Mätvattenuttag

Då mätarna är uppbyggda så, att de mäter på ett biflöde, var vi tvungna att avleda mätvatten med lösa slangar. För inkommande vatten saknades möjligheter att ta vattnet från någon rörförgrening, och därför stack vi ned slangen i samma fack i fördelningslådan, som vattnet till processen togs ur. På utgående vatten tog vi provet genom att sticka ned en slang ca 10 cm under ytan på sedimenteringsbassängen.

Till slangarna kopplades två steglöst variabla pumpar, som inställdes på den rekommenderade strömningshastigheten $10 \text{ dm}^3/\text{min}$. Denna injustering gjordes med hjälp av ett mätglas på 1 dm^3 och ett stoppur. Innan mätarna inkopplades arrangerades slangarna så, att en fallhöjd på minst en halv meter, vilket krävdes, eftersom mätarna arbetar på en fritt fallande stråle.

Slamhaltsmätarna

De slamhaltsmätare som vi använde var av fabrikat Tellusond, typ TD 102. Se figur 6:5. Denna mätare arbetar som sagt med en fritt fallande vattenstråle, som belyses med pulserat vitt ljus. Ljusspridningen vinkelrätt mot den infallande ljusstrålen fångas upp av en fototransistor, och den spridda strålningens intensitet antages proportionell mot slamhalten. Se även figur 6:6.

Enligt B Ericson et al (1968) beror intensiteten och vinkelfördelningen av det spridda ljuset bl a på antalet partiklar, partiklarnas storlek, form och brytningsindex, och sambandet är mycket komplext. Som exempel nämnes bl a att små partiklar sprider ca 6 ggr mer ljus vid en vinkel av 15° än vid 90° , medan förhållandet för mycket stora partiklar är 100 ggr eller större. Principen för slamhaltsbestämningen är alltså i sig själv behäftad med fel. Endast om partiklarnas storlek, form, brytningsindex etc är konstanta, skulle ett sant värde på slamhalten fås.

Att dessa antaganden skulle vara uppfyllda i avloppsvatten, ställer vi oss synnerligen tveksamma mot, speciellt som vi själva gjorde observationer som tyder på motsatsen. Vi kunde tydligt se en förmörkning och ökad grumlighet hos inflödet under vissa experiment, men mätaren reagerade med en markant nedgång i slamhalt, beroende på ökad absorption hos partiklarna. Det vatten, som kom in vid dessa tillfällen, påstods härröra från det stora verkets slamförtjockare, som tömdes på vatten med jämna mellanrum.

Således är det mycket tveksamt, om slamhalten överensstämmer med mätarutslaget, men vi kommer i den följande texten att använda de båda begreppen liktydigt.

Mer utförliga uppgifter om slamhaltsmätarna kan erhållas i instruktionen till dem.

Skrivare

Till slamhaltsmätarna anslöts via skärmad kabel en tvåkanalsskrivare av fabrikat Siemens för kontinuerlig registrering av mätarutslagen. Vi valde en skrivarhastighet på 1 cm/min, vilket möjliggör samplingstider på ned till 15 sekunder om så önskas. Känslighetsområdet valdes så, att skrivarpennan vid normala mätarutslag låg mitt på eller strax under mitten på papperet.

Kalibrering

Kalibrering och nollställning av mätarna gjordes enligt tillverkarens rekommendationer och utfördes före varje experiment, med undantag av förexperimenten där bara en inställning gjordes.

För kalibrering av skalan uttogs prover ur mätvattenflödet, ur vilka sedan slamhalten bestämdes manuellt. Vid förexperimenten lämnades provet

till Institutionens för Vattenbyggnad laboratorium. Vid de senare experimenten var laboratoriet stängt, varför vi själva bestämde slamhalten efter bästa förmåga.

Enligt tillverkaren skulle kalibrering inte behöva göras mer än en gång i veckan, men vi fann det dock mest förnuftigt att göra det vid varje försökstillfälle, då det visade sig att kalibreringen inte höll sig från dag till dag. Om detta berodde på drift hos mätarna, variationer i vattenflödet, förändringar i avloppsvattnets sammansättning eller osäkerhet i våra manuella slamhaltsbestämningar har ej utrönts.

Men, på grundval av osäkerheten i kalibrering, reserverar vi oss för den vid analysen av försöken uträknade statistiska förstärkningen. Denna spelar dock ingen roll vid fastläggandet av systemets dynamiska egenskaper.

Störningar

Bland de faktorer som observerades störa mätningarna bör nämnas: trasor och andra större föremål, luftbubblor i vattenstrålen samt beläggning av skyddsglasen i mätarna.

På inrådan av driftsingenjör Winge avstod vi från att sätta nät på insugen på bassängerna, då igensättning enligt honom skulle leda till svårigheter. Störningar från luftbubblor uppstod som regel bara när mätvattenpumparna igångsattes, och sedan väl slangarna var fyllda, uppstod sällan problem med bubblor. För att undvika eventuell nedsmutsning av skyddsglasen, avtorkades dessa före varje försök, och då skyddsglasets diameter var betydligt större än vattenstrålens, fick denna störning anses försumbar.

Bland de störningar hos processen som observerades bör nämnas: variationer i inställt flöde och variationer i inställd spänning över doseringsmotorn. Ett icke-konstant utslag på flödesmätaren kunde konstateras, men om detta berodde på verkliga flödesförändringar eller på störningar i själva mätningen utreddes aldrig, då störningarna ansågs helt försumbara. Vad beträffar störningar på doseringsmotorn, konstaterades ibland en drift i inställt värde, men det rörde sig dock aldrig om stora förändringar.

Betydligt allvarligare var den igensättning av slangen från tratten till blandningsbassängen, som konstaterades vid ett tillfälle. Det pekar på de driftsproblem man har att brottas med vid vattenreningsprocesser. Vidare bör påpekas, att den dynamik som ligger i doseringsmekanismen, kommer att

inkluderas i det totala systemets.

Det kan sammanfattningsvis sägas, att många invändningar kan resas mot de resultat som kommer att presenteras, eftersom de grundar sig på till viss del osäkra mätningar. Det kan bara konstateras, att de mättekniska problemen inom avloppsreningssektorn till stor del är olösta, och man måste reglera på de parametrar som idag går att mäta on-line. Att dessa kanske ej är de viktigaste är vi medvetna om, men om man lyckas reglera dessa, kan man förmoda, att även de andra parametrarna följer med direkt eller indirekt via lämpligare driftsbetingelser för t ex efterföljande processer.

6.5 Förexperimenten

Syften

Vi ville för utformningen av PRBS-experimenten (se avsnitt 6.6) ha en uppfattning om de dominerande tidskonstanternas storlek. För att bestämma dessa, bestämde vi oss för att utföra ett enkelt stegsvarsexperiment, dels med en stegförändring i flödet och dels med en stegförändring i kemikaliedoseringen.

Planering

Vi diskuterade med forskarna på Institutionen för Vattenbyggnad, vilka parameterintervall som kunde ge rimliga resultat. Därvid bestämdes det, att experimenten borde förläggas på eftermiddagen, för att få med dygnsvariationens maximum och minimum (ca kl 20.00 respektive kl 13.00), och att en experimenttid på 8 timmar kunde anses tillfyllest. Vid fastställandet av amplituderna på stegförändringarna fick önskan om mätbara förändringar ställas mot en önskan om normala driftsbetingelser.

Utförande

Som tidigare framgått gäller:

Variabler som kan mätas:

- o slamhalt i inflödet, SSIN (mg/l)
- o slamhalt i utflödet, SSUT (mg/l)

Variabler som kan ställas in på önskat värde:

- o inflöde, SQ (m^3/h)
- o kemikaliedosering, SAVR (g/h)
- o omrörarhastighet, ω (rad/s), genomgående 1.08 rad/s

Följande experiment utfördes:

Beteckning (datum)	Start (kl)	Slut (kl)	SQ (m ³ /h)	SAVR (g/h)	Figur	Kommentar
730626	15.00	22.10	6 → 9	750	6:7	Steg i SQ kl 15.46
730627	13.00	21.00	6 → 9	750	6:8	Steg i SQ kl 15.46
730705	15.30	22.30	6	900 → 750	6:9	Steg i SAVR kl 18.00
730710	16.20	00.20	6	725 → 575	6:10	Steg i SAVR kl 18.00

Kommentarer

Ur skrivardiagrammen uppskattades tidskonstanterna till mellan en halv och en timme. För plottning av experimenten ansågs då en samplingstid på 10 minuter tillräcklig. De momentana slamhaltsvärdena var 10:e minut valdes som mätvärden.

Stigtiden på SQ-steget i experimenten 730626 och 730627 var en halv minut och på SAVR-steget en minut. Dessa tider är försumbara, och stegen kan betraktas som ideala.

Vid experimenten uppstod naturligtvis vissa malörer. I experiment 730626 inkom luftbubblor i inflödet till slamhaltsmätaren omkring kl 18.00, varför en mätpunkt saknas, och kl 22.20 upphörde skrivaren att fungera. I experiment 730627 blev doseringsmekanismen igenslammad vid 18-tiden och vid 19.30 tiden gick skrivaren ånyo sönder. Skrivaren upphörde att registrera endast utgående slamhalt.

Slutsatser

Experiment 730626 och 730627:

Slamhalten i inkommande vatten var ca 440 mg/l i genomsnitt. Slamhalten i utgående vatten var ca 30 mg/l före flödessteget och ca 60 mg/l vid stationärt tillstånd efter steget. Tidskonstanten uppskattas till ca 1 timme, under förutsättning att systemet är av första ordningen.

Experiment 730705 och 730710:

Det första av dessa experiment drabbades av missödet att slamhaltstoppen i inflödet kl 15.25 slog igenom i utflödet kl 18.00, just som steget i SAVR applicerades. Emellertid kan man ur figurerna 6:9 och 6:10 uppskatta tidskonstanten till ca 0.5 timme genom att, på samma sätt som ovan, studera de genomsnittliga slamhalterna före och efter steget.

Alla experiment tycks visa, att (större) slamhaltsvariationer i inflödet ger liknande variationer i utflödet 1 - 1.5 timmar senare. Säkrare slutsatser får anstå, till korskovariansundersökning utförts.

6.6 PRBS-experimentenSyfte

Syftet med PRBS-experimenten var att få fram lämpliga dataserier för identifiering av en linjär modell enligt ekvation 6:1 med maximum-likelihood-metoden. Jfr fö med avsnitt 5.5.

$$A^+ y(t) = \sum_{i=1}^3 q^{-k_i} B_i^+ u_i(t) + \lambda C^+ e(t) \quad (6:1)$$

där

$$y_1 = \text{SSUT}$$

$$u_1 = \text{SSIN}$$

$$u_2 = \text{SQ}$$

$$u_3 = \text{SAVR}$$

A^+ , B_i^+ , C^+ är polynom i skiftoperatorm q^{-1}
 $e(t)$ är vitt brus.

PRBS-signalen

En PRBS (Pseudo Random Binary Sequence)-signal har enligt Eklund (1971) bl a följande egenskaper:

- o amplituden är +A eller -A
- o teckenskiftet sker vid tidpunkter, som är multiplar av ett basintervall T_p
- o den är periodisk med periodtiden $N \cdot T_p$, där N är max-längd
- o dess normaliserade kovariansfunktion är

$$r(\tau) = \begin{cases} 1 & \text{om } \tau = k \cdot N, k = 0, 1, -1, \dots \\ -1/N & \text{annars} \end{cases}$$

Som exempel ges en PRBS med $N = 7$ i figur 6:11.

Vid val av PRBS-signaler för identifiering används ofta följande tumregler:

- o välj $N \cdot T_p = T_{\max} \cdot 5$
- o välj $r \cdot T_p = T_{\max} \cdot 3$

där r är den längsta tiden med konstant amplitud, och T_{\max} är den största tidskonstanten förknippad med systemets dynamik.

Vi bestämde oss för att välja $T_p = 10$ minuter, = samplingsintervallet, och i så fall gav tumreglerna: $r = 18$, $N = 30$. Då vi av andra anledningar tidigare fastlagt en experimenttid på 8 timmar och då experimenttiden bör vara en jämn multipel av $N \cdot T_p$ valde vi $N = 48$. Vidare ansågs att $r = 15$

borde vara tillfyllest.

Utgående från detta modifierade vi i samråd med handledaren den i Eklund (1972) givna PRBS-signalen, så att våra krav uppfylldes. Vår PRBS-signal är uppritad i figur 6:12, där också dess beräknade kovariansfunktion är plottad. Dataskriften till denna beräkning finns på Institutionen för Reglerteknik.

Planering

Då det, som tidigare påpekats, ej går att styra inkommande slamhalt, kunde PRBS-experimentet utföras bara på flöde och kemikaliedosering. Vi bestämde oss för att göra två experiment:

	SQ (m ³ /h)	SAVR (g/h)
konstant flöde, varierad dosering	6	625 900
varierat flöde, konstant dosering	6 9	725

Dynamiken mellan dosering och utgående slamhalt samt dynamiken mellan flöde och utgående slamhalt skulle bestämmas med dessa experiment.

För bestämning av dynamiken mellan ingående slamhalt och utgående slamhalt utfördes experiment, där ingen av styrsignalerna ändrades. Sammanlagt utfördes 4 sådana experiment, dels för att ha en större datamängd för identifieringen, dels för att undersöka om parametrarna är signifikant tidsvariabla.

Eftersom vi identifierar m h a en linjär modell, fås den totala modellen enligt ekvation 6:1 genom addition enligt superpositionsprincipen.

Utförande

Följande experiment utfördes:

Beteckning (datum)	Start (kl)	Slut (kl)	SQ (m ³ /h)	SAVR (g/h)	Figur	Kommentar
730706	22.20	06.30	6	750	6:13	Ostörd forts. av 730705
730711	00.00	08.20	6	575	6:14	Ostörd forts. av 730710
730712	15.00	23.00	6	625, 900	6:15	PRBS i dosering
730713	23.14	06.44	6	750	6:16	Ostörd forts. av 730712
730716	13.45	22.05	6, 9	725	6:17	PRBS i flöde
730717	22.23	06.33	6	750	6:18	Ostörd forts. av 730716

Kommentar

Några märkbara haverier inträffade ej, då en bättre skrivare erhöles.

De utförda experimenten finns plottade i figurerna 6:13 - 6:18 på samma sätt som förexperimenten. 14 filer finns upplagda på trumminnet för identifiering m h a programmet MLIDEN.

6.7 Allmänt om identifieringen

Identifieringen skedde i stort sett efter samma riktlinjer som aktivt-slam identifieringen i kapitel 5. De i avsnitt 5.5 definierade begreppen och beteckningssätten är giltiga även här.

Terminologi

Den på sidan VI:8 introducerade terminologin på signalerna används. Genom ett beklagligt förbiseende används delvis andra beteckningar i figurerna 6:20 - 6:26. Dessa anges inom parentes:

SSIN = slamhalt i inflödet, mg/l (SLIN)

SSUT = slamhalt i utflödet, mg/l (SLUT)

SQ = inflöde, m³/h

SAVR = AVR-dosering, g/h

Som index i används s, q och a med betydelsen:

s = SSIN

q = SQ

a = SAVR

Den på sidan V:8 definierade modellbeteckningen används, t ex f(1,SSIN(0,2),SQ(0,1)). Då tvekan råder, anges också till vilket experiment modellen hör.

De tabellerade modellerna har även fått kortare beteckningar som antyder vilka insignalerna är och från vilket experiment modellen erhöles.

Ex: SL06 = f(1,SSIN(0,2)) från experiment 730706,

SLQ16 = f(1,SSIN(0,2),SQ(0,1)) från experiment 730716.

Experimentens karaktär

Som framgått ovan (sidan VI:11) hade experimenten 730706, 730711, 730713 och 730717 SSIN som enda insignal. 730706 och 730711 kan betraktas som o-störda, medan systemet vid 730713 och 730717 var stört av de just tilländalupna PRBS-signalerna i SAVR respektive SQ.

730706 och 730711 fördes således till den kategori experiment som avgör

SSIN:s inverkan på dynamiken. 730713 och 730717 används för att undersöka om denna dynamik påverkas av att systemet varit stört.

730712 hade SSIN och PRBS-signal i SAVR som insignaler. 730716 hade SSIN och PRBS-signal i SQ som insignaler.

Identifieringsgång

Efter en förberedande databehandling redovisas ett slamimpulssvarsexperiment utfört vid Institutionen för Vattenbyggnad samt korskovariansundersökningar mellan insignalerna och utsignalen för att få en uppfattning om k_s , k_q och k_a . Därefter identifieras 730706, 730711, 730713 och 730717 för att bestämma SSUT som funktion av SSIN samt för att finna ett lämpligt k_s och B_s^+ -ordning att använda vid identifieringen av 730712 och 730716.

Slutligen sökes lämpliga 2-insignalmodeller med SSIN och SAVR respektive SSIN och SQ som insignaler.

6.8 Förberedande databehandlingsåtgärder

- o skalfaktorer valdes enligt följande:
 - SSIN: 0.01
 - SSUT: 0.1
 - SAVR: 0.01
 - SQ : 1
- o i experiment 730713 och 730717 beslöt vi att ej använda de 6 första mätpunkterna (= 1 timme), för att de snabba tidskonstanterna från PRBS-experimenten skulle ha hunnit klinga ut.
- o MLIDEN gjorde som vanligt identifieringarna på signaler med medelvärdena frändragna.

6.9 Slamimpulssvar

Erik Särner vid Institutionen för Vattenbyggnad hade tidigare utfört några slamimpulssvarsexperiment på vår experimentuppställning. En puls av enkelt mätbart slam (exempelvis en radioaktiv isotop) infördes vid tiden 0 i inloppet till sedimenteringsbassängen. Slamkoncentrationen i utloppet mättes som funktion av tiden. Se figur 6:19. Tre försök med olika flöden delgavs oss:

Flöde (m ³ /h)	Teoretisk uppehållstid (min)	Medelvärde på verklig uppehållstid (min)
10	74.3	12.6
6.8	109	15.8
3.4	219	26.4

Sedimenteringsbassängens volym = 12.4 m^3 .

Teoretisk uppehållstid = Sedimenteringsbassängens volym/Flöde

I våra experiment var flödet = $6 \text{ m}^3/\text{h}$, utom i experiment 730716 då det varierade mellan 6 och $9 \text{ m}^3/\text{h}$ med ett medelflöde = $7.81 \text{ m}^3/\text{h}$. Vi måste också räkna med uppehållstiderna i tillledningarna och i flockningsbassängen, vars volym är 2.3 m^3 .

Härav bestämde vi, att ett rimligt värde på k_s , dvs den tid det tar för en ändring i SSIN att börja påverka SSUT borde vara 1 - 3 samplingsintervall, dvs 10 - 30 minuter.

6.10 Korskovariansundersökningar

Korskovariansen mellan insignal(erna) och utsignal beräknades för varje experiment. Det visade sig, att ingen insignal var signifikant korrelerad till utsignalen.

6.11 Bestämning av k_s

Identifieringar med 1. - 3. ordningens modeller med $1 \leq k_s \leq 10$ gjordes på 1-insignalexperimenten enligt följande:

Experiment	Tabell
730706	6.1
730711	6.2
730713	6.3
730717	6.4

Det framgår ur tabellerna, att mycket få modeller av ordning högre än 1 var signifikanta. Ett studium av 1. ordningens modeller visade, att λ som funktion av k_s ej antar minimum för samma k_s för de olika experimenten. Detta indikerar att systemet är tidsvariabelt. Det är således svårt att bedöma vilket k_s som är rimligast. Vi lade emellertid mindre vikt vid de störda experimenten 730713 och 730717, och kom fram till, med hänsyn tagen till övriga modellegenskaper, att $k_s = 2$ bör vara ett rimligt värde ($k_s = 3$ för experiment 730713).

De låga λ -värdena för $k_s = 9$ i experimenten 730713 och 730717 torde bero på att antalet mätpunkter blivit så litet, att förlustfunktionsberäkningen blir tvivelaktig och ibland för låg.

Vi vill emellertid reservera oss för det funna k_s -värdet. Problemet bör undersökas ytterligare, varvid man bör ta hänsyn till att k_s är flödesberoende och möjligen tidsvariabelt.

6.12

Analys av experimenten 730706, 730711, 730713 och 730717

På grundval av det valda k_s -värdet, $k_s = 2$ ($k_s = 3$ för experiment 730713), undersöktes den signifikanta modellen $f(1,SSIN(0,2))$ ($f(1,SSIN(0,3))$ för experiment 730713) närmare:

Experiment	Modell	Förkortad modellbeteckning	Tabell	Figur
730706	$f(1,SSIN(0,2))$	SLO6	6.5	6:20
730711	$f(1,SSIN(0,2))$	SL11	6.6	6:21
730713	$f(1,SSIN(0,3))$	SL13	6.7	6:22
730717	$f(1,SSIN(0,2))$	SL17	6.8	6:23

Ingen av modellerna är bra. Tabellerna visar, att i varje modell är antingen c_1 -termens eller b_{s0} -termens standardavvikelse för stor. Man kan säga, att MLIDEN antingen placerar den tillgängliga informationen i den deterministiska B^+ - eller i den stokastiska C^+ -delen.

SLO6 och SL11 överensstämmer ganska väl, endast c_1 -termerna skiljer sig mycket åt. Vi drog slutsatsen, att bruset är tidsvariabelt, medan dynamiken verkar vara relativt pålitlig.

För att illustrera skillnaden mellan modellerna SLO6 och SL11 plottades experiment 730711 med modell SLO6 i figur 6:24. Jämför med figur 6:21. Resultatet blev, som synes, inte speciellt bra.

SL13 och SL17 skiljer sig klart från SLO6/SL11. Detta förklarade vi med att systemet var stört vid experimenten (se ovan sidan VI:12). Men, för att vara säkra på att MLIDEN inte hittat "fel" modeller (dvs fel (lokala) minima i förlustfunktionerna), identifierade vi 730713 och 730717 med SLO6 som startmodell. MLIDEN itererade sig emellertid fram till de först funna SL13 respektive SL17.

Dessa resultat visar, att SLIN:s dynamiska inverkan är tidsvariabel och beroende på hur stört systemet är av andra insignaler. Troligen försvåras analysen av att de störande PRBS-signalernas inverkan finns kvar i form av långsamma tidskonstanter.

Även figurerna 6:20 - 6:23 antyder, att modellerna är dåliga. Rent generellt drog vi slutsatsen, att naturliga störningar ej exciterar systemet tillräckligt för att möjliggöra en god modellbestämning.

6.13

Identifiering av experiment 730712

På grundval av det ovan valda $k_s = 2$ kördes modellerna $f(1,SSIN(0,2),SAVR(0,k_a))$, $f(2,SSIN(1,2),SAVR(1,k_a))$ och $f(2,SSIN(0,2),SAVR(1,k_a))$

för $1 \leq k_a \leq 7$. Resultatet blev att endast 1. ordningens modeller var signifikanta för alla k_a utom för $k_a = 3$.

2. ordningens modeller med $k_a = 3$

$f(2, \text{SSIN}(1,2), \text{SAVR}(1,3))$ var emellertid instabil. Däremot var $f(2, \text{SSIN}(0,2), \text{SAVR}(1,3))$ en någorlunda bra modell, som (visserligen med liten marginal) uppfyllde våra modellkrav. Men denna modell ($\lambda = 0.383$) var inte signifikant bättre än den bästa 1. ordningens modell.

För senare bruk noterade vi, att den kontinuerliga motsvarigheten till $f(2, \text{SSIN}(0,2), \text{SAVR}(1,3))$ hade polerna -0.197 och -0.00747 , vilket motsvarar tidskonstanterna 5.1 respektive 134 minuter.

Den bästa modellen har $k_a = 5$

λ som funktion av k_a för modellerna $f(1, \text{SSIN}(0,2), \text{SAVR}(0, k_a))$ ser ut så här:

k_a	1	2	3	4	5	6	7
λ	0.484	(0.427)	0.411	(0.396)	0.419	0.448	0.472

λ -värden inom parantes anger att modellen är instabil.

Det framgår, att $f(1, \text{SSIN}(0,2), \text{SAVR}(0,5))$ är bäst. Modellen finns redovisad i tabell 6.9 och figur 6:25.

Den långa döttiden, 50 minuter, kan förklaras med den tid det tar för en spänningsförändring i den elektriska mataranordningen för kemikaliedoseringen att ge sig tillkänna i form av en ändrad dos i flockningsbassängen. Framför allt är transporten av kemikalien med renvatten (se figur 6:2) av betydelse.

Den bästa modellen

Den bästa modellen, $f(1, \text{SSIN}(0,2), \text{SAVR}(0,5)) = \text{SLAVR12}$ är verkligen bra. Detta framgår av tabell 6.9 och antyds av figur 6:25. Residualernas kovariansfunktion (figur 6:27) är bra. Man kan nästan på nivån 5 % förkasta hypotesen att residualerna inte utgör vitt brus.

1-insignalmodeller

För jämförelsens skull identifierades experiment 730712 även med modellerna $f(1, \text{SSIN}(0,2)) = \text{SL12}$ (tabell 6.10) och $f(1, \text{SAVR}(0,5)) = \text{AVR12}$ (tabell 6.11).

F-testjämförelser mellan dessa modeller och SLAVR12 (se tabell 6.9) visade, att både SAVR och SSIN är signifikanta insignaler.

Man skulle kunna försöka med modellerna $f(1,SSIN(0,k_s))$ och $f(1,SAVR(0,k_a))$ för att kanske finna bättre 1-insignalmodeller för experiment 730712 och därmed möjligen en bättre 2-insignalmodell. Detta har vi ej gjort.

6.14 Identifiering av experiment 730716

På grundval av det ovan nådda resultatet sattes $k_s = 2$. Modellerna $f(1,SSIN(0,2),SQ(0,k_q))$, $f(2,SSIN(1,2),SQ(1,k_q))$ och $f(2,SSIN(0,2),SQ(1,k_q))$ kördes för $1 \leq k_q \leq 5$. Resultatet blev, att endast 1. ordningens modeller var signifikanta.

Den bästa modellen har $k_q = 1$

λ som funktion av k_q för modellerna $f(1,SSIN(0,2),SQ(0,k_q))$ ser ut så här:

k_q	1	2	3	4	5
λ	0.347	0.349	0.352	0.348	0.351

Det framgår att $f(1,SSIN(0,2),SQ(0,1))$ är bäst. Modellen finns redovisad i tabell 6.12 och i figur 6:26.

Den obefintliga dödtiden, $k_q = 1$, (det gäller ju att $\min(k_i) = 1$ för alla i , se sidan V:6), beror på att flödesändringar slår igenom systemet nästan omedelbart.

Den bästa modellen

Den bästa modellen $f(1,SSIN(0,2),SQ(0,1)) = SLQ16$ är mycket bra. Det framgår av tabell 6.12 och antyds av figur 6:26.

Residualernas kovariansfunktion (figur 6:27) är mycket bra. Man kan på nivån 5 % förkasta hypotesen, att residualerna inte är vitt brus.

1-insignalmodeller

För jämförelsens skull identifierades experiment 730716 även med modellerna $f(1,SSIN(0,2)) = SL16$ (tabell 6.13) och $f(1,SQ(0,1)) = Q16$ (tabell 6.14).

F-testjämförelser mellan dessa modeller och SLQ16 (tabell 6.12) visade, att endast SSIN är en signifikant insignal.

Man skulle kunna försöka med modellerna $f(1,SSIN(0,k_s))$ och $f(1,SQ(0,k_q))$ för att kanske finna bättre 1-insignalmodeller och därmed möjligen en

bättre 2-insignalmodell. Detta har vi ej gjort.

6.15 Tidskonstanter

M h a tabellerna 6.5 - 6.14 sätts följande tabell över de undersökta modellernas tidskonstanter upp:

Modell	Tidskonstanter (min)
SL06	20.8
SL11	22.5
SLAVR12	120
AVR12	90.1
SL12	143
f(2,SSIN(0,2),SAVR(1,3)) från experiment 730712	5.1 och 134
SL13	6.5
SLQ16	14.8
Q16	39.6
SL16	14.0
SL17	85.5

Av denna tabell kan vi dra följande slutsatser:

- o systemet är tidsvariabelt
- o samplingsintervallet bör minskas från 10 minuter till 5 minuter eller mindre
- o experiment 730712 och 730713 bör analyseras som ett experiment. Detsamma gäller experiment 730716 och 730717. Därvid bör man speciellt söka undersöka varför tidskonstanterna i SL12 och SL13 respektive SL16 och SL17 så markant skiljer sig åt.

Med starka reservationer kan följande slutsatser dras:

- o om systemet är ostört tycks SSIN ha en tidskonstant på cirka 20 minuter (SL06, SL11). Detta styrks även av att i modellerna SLQ16 och SL16, där signalen jämsides med SSIN var den insignifikanta SQ, tidskonstanterna är av samma storleksordning som i SL06 och SL11.
- o signalen SAVR tycks ha en tidskonstant på cirka 1.5 timmar
- o den insignifikanta signalen SQ verkar ha en tidskonstant på cirka 0.5 timme.

6.16 Statisk förstärkning

På grund av de omständigheter som påvisas i avsnittet "Kalibrering" på sidan VI:6, ansåg vi en beräkning av de normerade statistiska förstärkning-

arnas numeriska värden värdelös. Däremot önskade vi studera deras tecken. Ur tabellerna 6.5 - 6.14 hämtar vi:

Modell	G_s	G_a	G_q
SI06	-		
SL11	-		
SLAVR12	+	+	
AVR12		+	
SL12	+		
SL13	(+)		
SIQ16	+		+
Q16			(+)
SL16	+		
SL17	(+)		

Vi lägger märke till i tabellerna, att endast de ovan inom parantes givna tecknen på G_s -värdena i SL13 och SL17 samt tecknet på G_q i Q16 är osäkra på grund av den bristfälliga parameternoggrannheten (jfr exemplet på sidan V:15). Därför är det anmärkningsvärt att G_s antar både positiva och negativa värden i de övriga fallen.

Av fysikaliska skäl skulle man kunna tycka att

- o $G_s > 0$, ty mer slam in bör ge mer slam ut
- o $G_q > 0$, ty större flöde medför mer slam som ej fälls ut
- o $G_a < 0$, ty ökad kemikaliedos (upp till mättning) bör ge bättre fällning.

Verkligheten verkar, bortsett från G_q , inte stämma med våra fysikaliska antaganden. Därför bör tecken och värde undersökas för samtliga statistiska förstärkningar. Speciellt bör G_s ' och G_a :s tecken undersökas. Man kan lägga märke till att experiment 730705 och 730710 (se figurerna 6:9 och 6:10) antyder att G_a är negativ.

Vid dessa undersökningar bör man inte utesluta möjligheten att ovanstående fysikaliska resonemang är felaktigt.

6.17 Sammanfattning och slutsatser

Den kemiska fällningsprocessen vid försöksstationen i Sjölundha har befunnits ha följande egenskaper, när SSIN, SQ och SAVR är uppmätta insignaler och SSUT är uppmätt utsignal:

- o systemet är tidsvariabelt
- o samplingsintervallet bör vara 5 minuter eller mindre. Rådata bör ana-

lyseras ånyo med detta korta samplingsintervall

- o systemet beskrivs av stabila, 1. ordningens modeller med kontinuerliga motsvarigheter
- o transportfördröjningarna är flödesberoende. De funna transportfördröjningarna är, för SSIN = 20 - 30 minuter, för SQ = 10 minuter, för SAVR = 50 minuter
- o de funna tidskonstanterna är; för SSIN = 5 - 150 minuter (med 20 minuter som det mest sannolika värdet), för SQ = 0.5 timme, för SAVR = 1.5 timmar. Värdena på tidskonstanterna måste undersökas ytterligare
- o inga säkra slutsatser kan dras om de statistiska förstärkningarnas be-
lopp eller tecken. Vi har funnit att $G_s > 0$ eller < 0 , $G_q > 0$ och $G_a > 0$. Speciellt bör G_a :s (i vår mening orimliga) tecken undersökas
- o enbart de naturliga SSIN-störningarna förmår ej att excitera systemet för god modellbestämning. Därför är modellerna baserade på 1-insignalexperimenten dåliga
- o i 2-insignalmodellerna är SSIN och SAVR men däremot ej SQ signifikanta insignaler
- o två godtagbara modeller har hittats, en med SSIN och SAVR och en med SSIN och SQ som insignaler. Dessa modellens residualer är nästan vitt brus.

Modellerna är:

$$(1 - 0.920q^{-1})(SSUT(t) - \overline{SSUT}) = q^{-2} \cdot 0.160 \cdot (0.01/0.1)(SSIN(t) - \overline{SSIN}) + \\ + q^{-5} \cdot 0.125 \cdot (0.01/0.1)(SAVR(t) - \overline{SAVR}) + \\ + 0.149 \cdot (1 - 0.682q^{-1})(1/0.1) \cdot e(t)$$

och

$$(1 - 0.510q^{-1})(SSUT(t) - \overline{SSUT}) = q^{-2} \cdot 0.285 \cdot (0.01/0.1)(SSIN(t) - \overline{SSIN}) + \\ + q^{-1} \cdot 0.0318 \cdot (1/0.1)(SQ(t) - \overline{SQ}) + \\ + 0.347 \cdot (1 - 0.629q^{-1})(1/0.1) \cdot e(t)$$

- o det faktum att vi hittat modeller av ovanstående typ med hyggliga egenskaper ger ett visst hopp om att processen så småningom skall kunna regleras.

6.18 Referenser

B. Andersson, A. Hilmer, L. Ulmgren: Reningsteknisk försöksstation i Sjölanda. Särtryck ur Vatten 2/72.

R. L. Culp, G. L. Culp: Advanced Wastewater Treatment, p 26 - 29. Van Nostrand Environmental Engineering Series 1972.

K. Eklund: Linear Drum Boiler Turbine Models, p 43 - 49. Institutionen för Reglerteknik, LTH, 1971.

B. Ericsson, B. Gustavsson, B. Hultman, N. Westberg: Närsaltreduktion vid avloppsverk; Fosforreduktion vid kemisk fällning, del III. Publikation 67:1 KTH, Institutionen för Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik och Institutionen för Vattenkemi, Stockholm 1968.

Tellusond: Slamhaltsmätare TD 102, Instruktion. Göteborg 1972.

Rådata och relevanta datautskrifter i originalform finns på Institutionen för Reglerteknik, LTH, Lund.

Övriga referenser: se kapitel V, sidan V:21.

Figur 6:1 Försöksstationen i Sjölund.

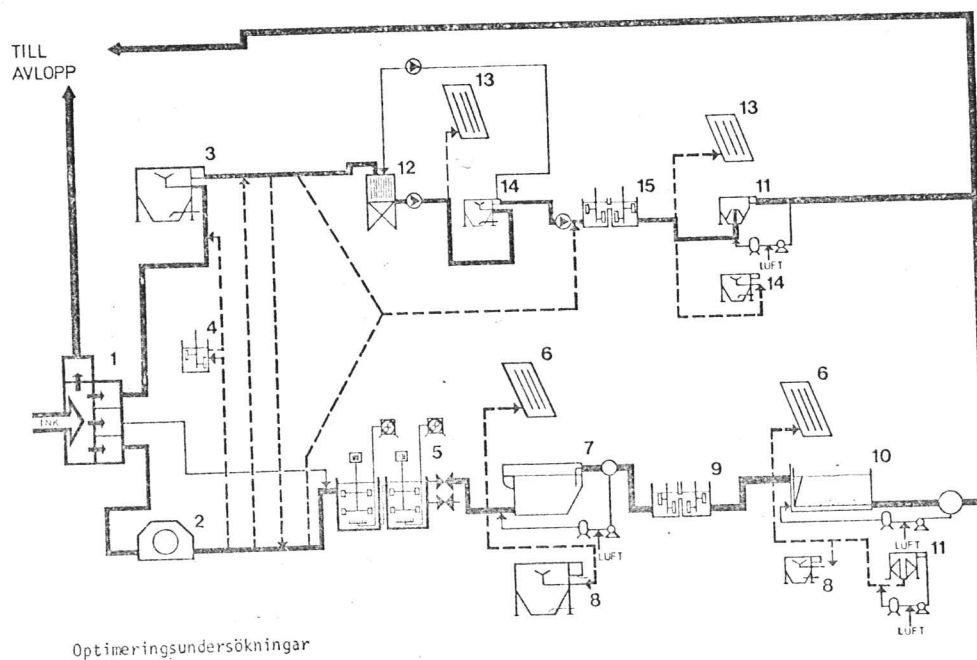
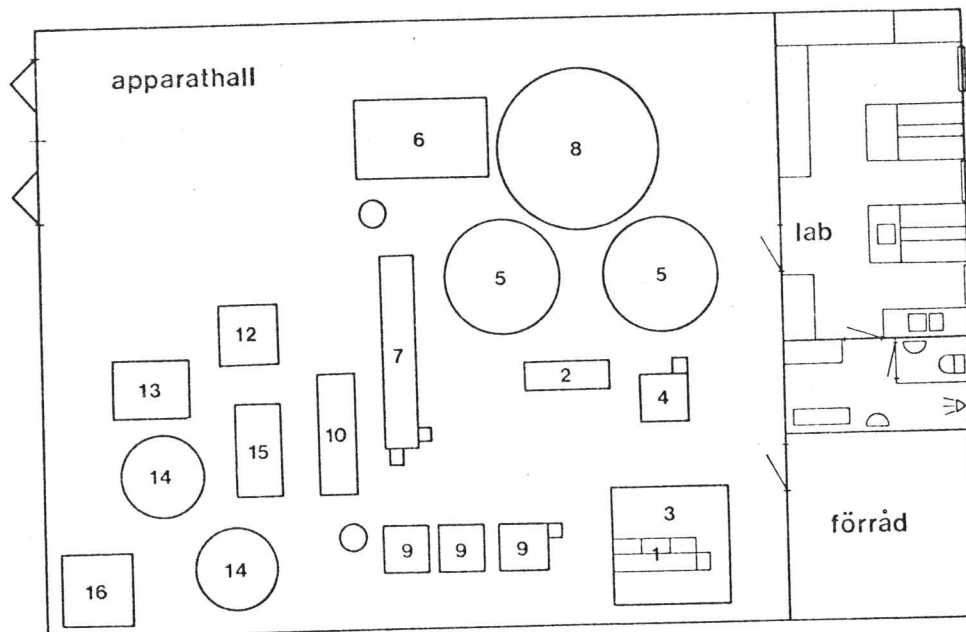
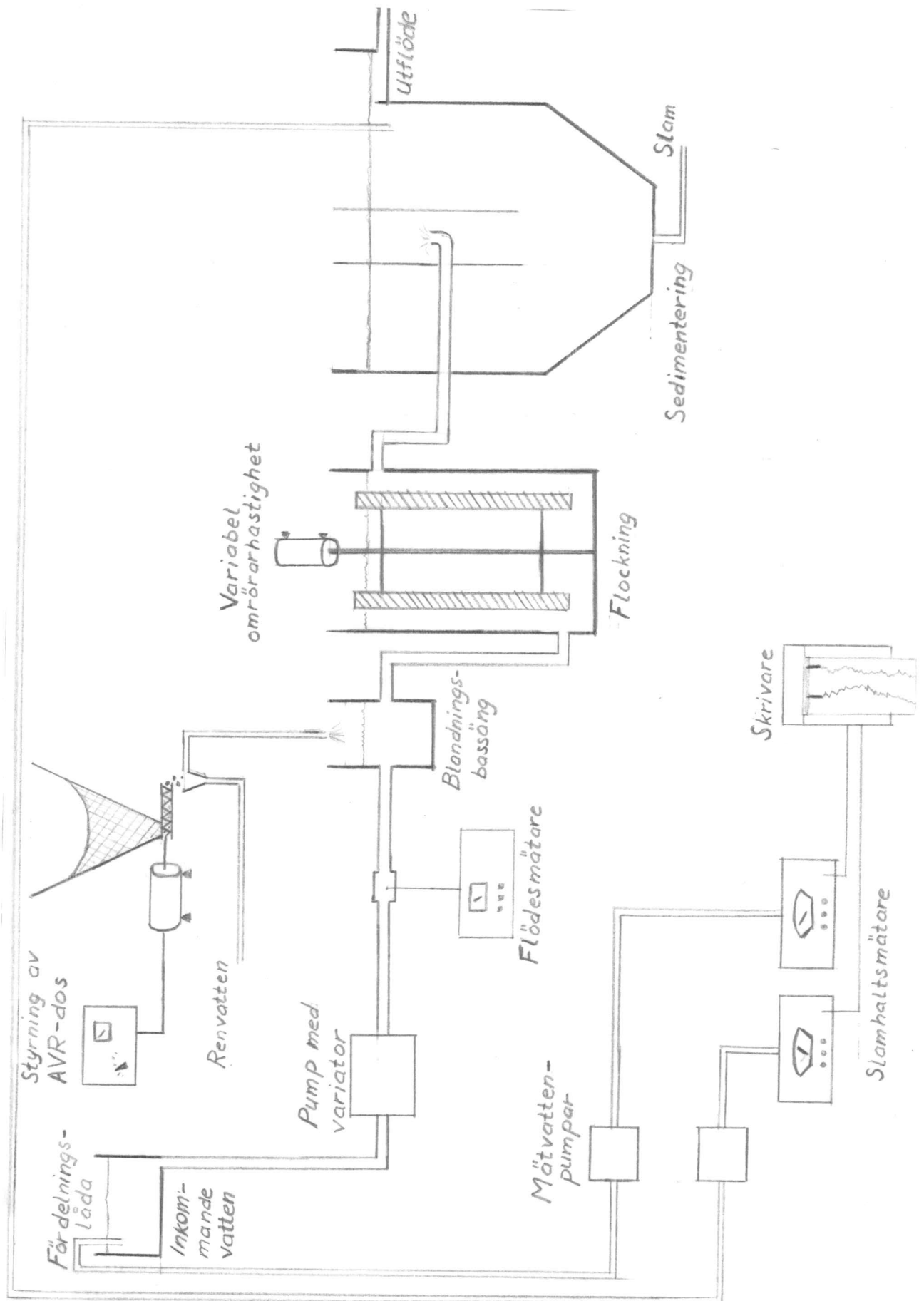


Fig. 3. Processchema och plan över försöksbyggnad och försöksapparat. 1. Fördelningslåda, 2. Mikrosil, 3. Sedimentering, 4. Flockning, 5. Luftning, 6. Lamellsedimentering, 7. Flotation, 8. Sedimentering, 9. Flockning, 10. Flotationsfilter, 11. Flotation, 12. Biobädd, 13. Lamellsedimentering, 14. Sedimentering, 15. Flockning, 16. Slamtank.

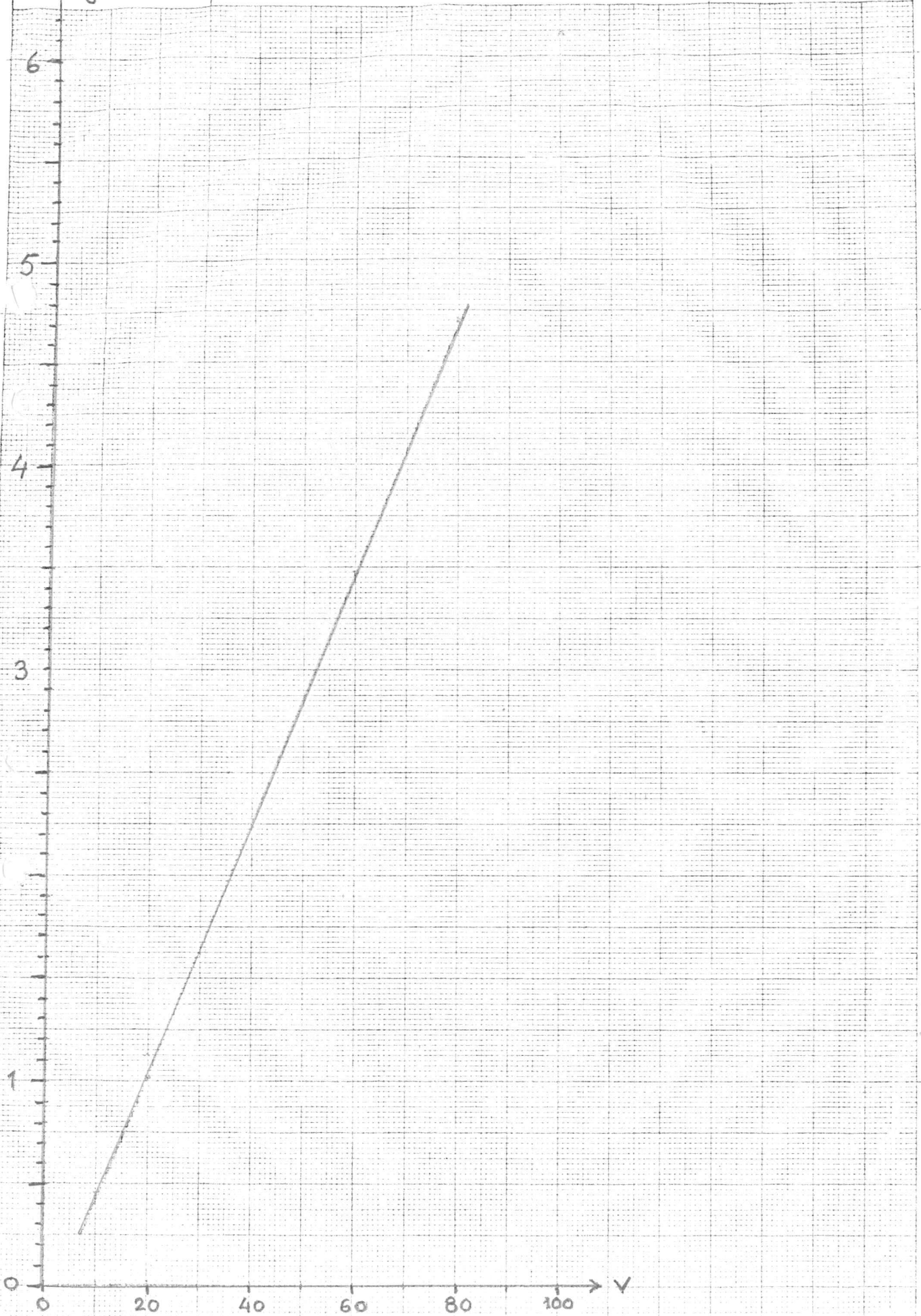
Figur 6:2 Kemiska fällningsprocessens uppbyggnad.



Figur 6:3

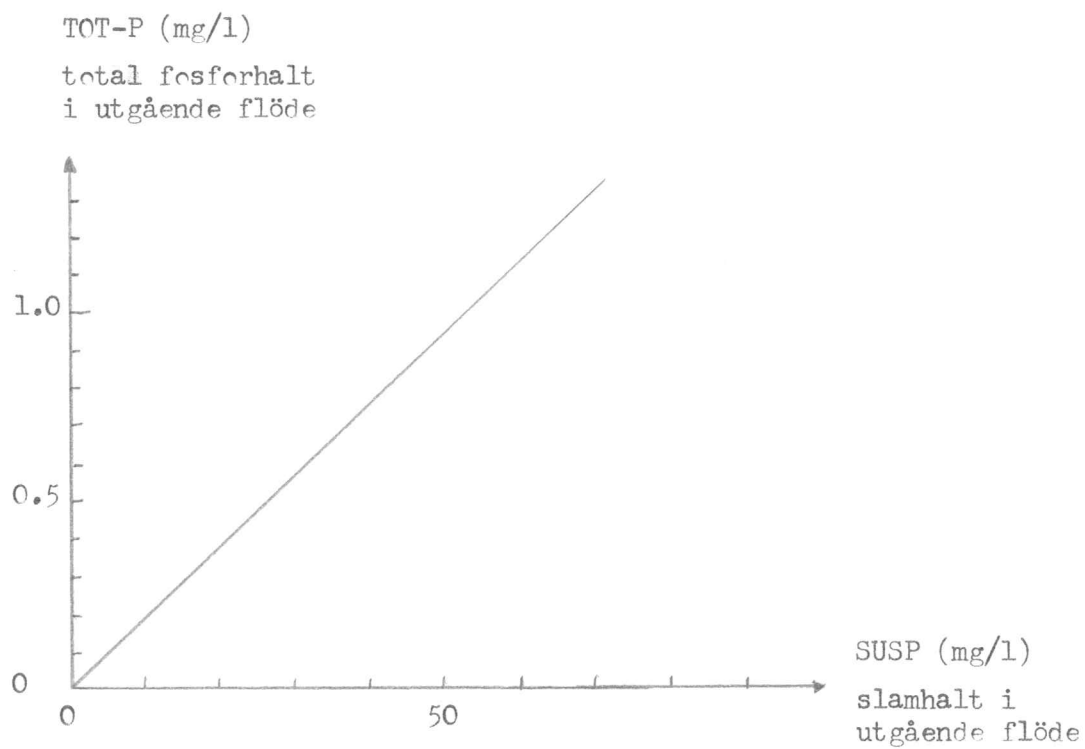
KALIBRERINGSKURVA
FÖR DOSEERINGSAPPARAT

kg/h.



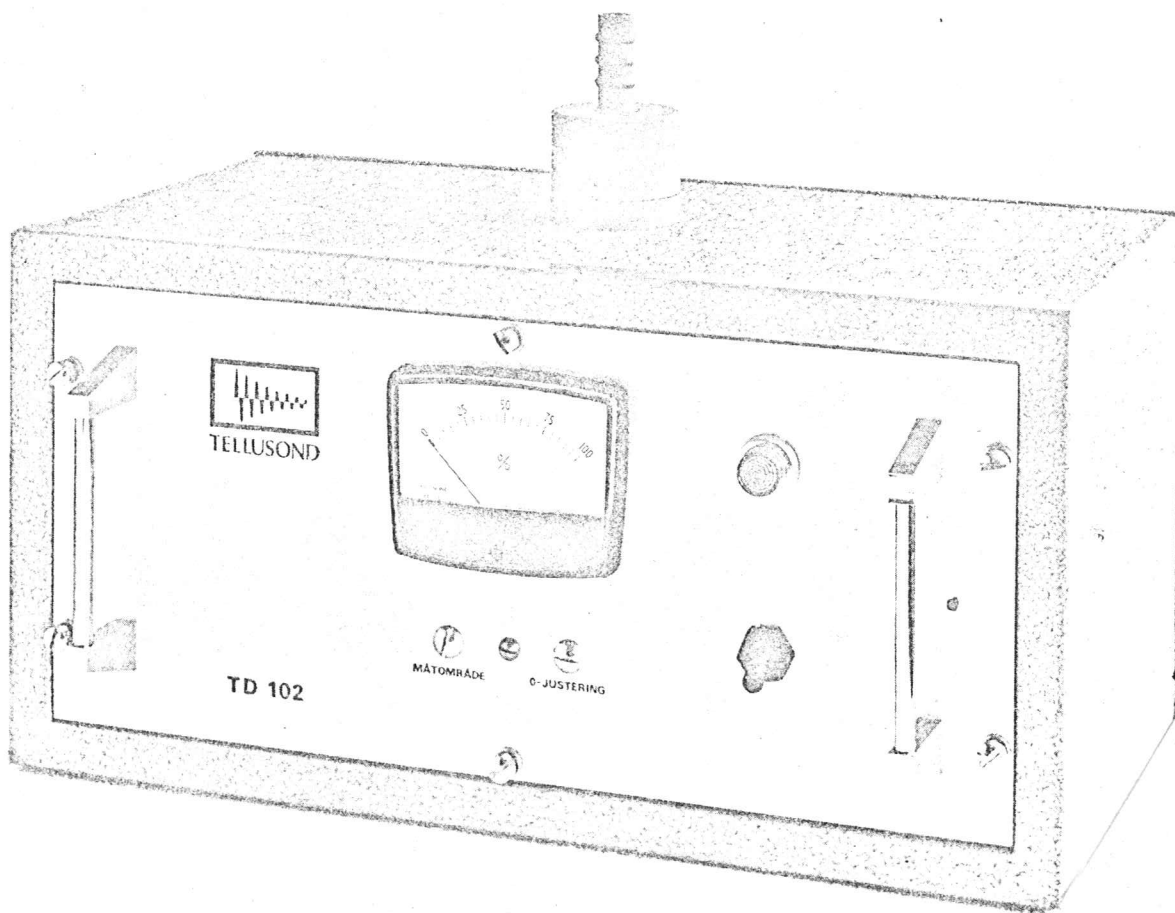
Figur 6:4

Samband mellan slamhalt och fosforhalt i utgående flöde.



Enligt B. Andersson-- A. Hilmer, Institutionen för Vattenbyggnad, LTH.

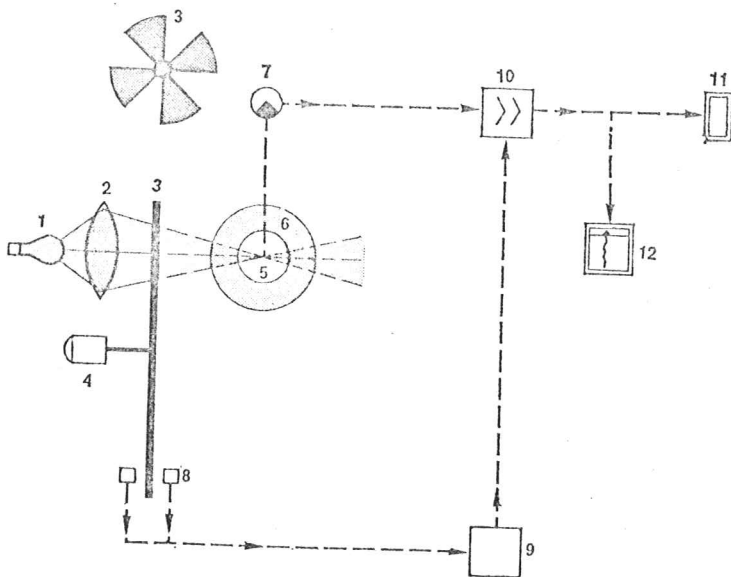
Figur 6:5.



TD 102
Slamhaltsmätare

Figur 6:6

Principskiss över slamhaltsmätarnas arbetssätt.



1. Spänningsstabiliserad lamp
2. Kondensor
3. Roterande 4-bladig sektorskiva
4. Motor till dito
5. Fritt fallande vattenstråle
6. Skyddsror
7. Fototransistor
8. Avkänningsdon för synkronisering
9. Synkroniseringselektronik för differentialbrygga
10. Differentialbrygga med mätförstärkare
11. Indikerande mätinstrument
12. Skrivare

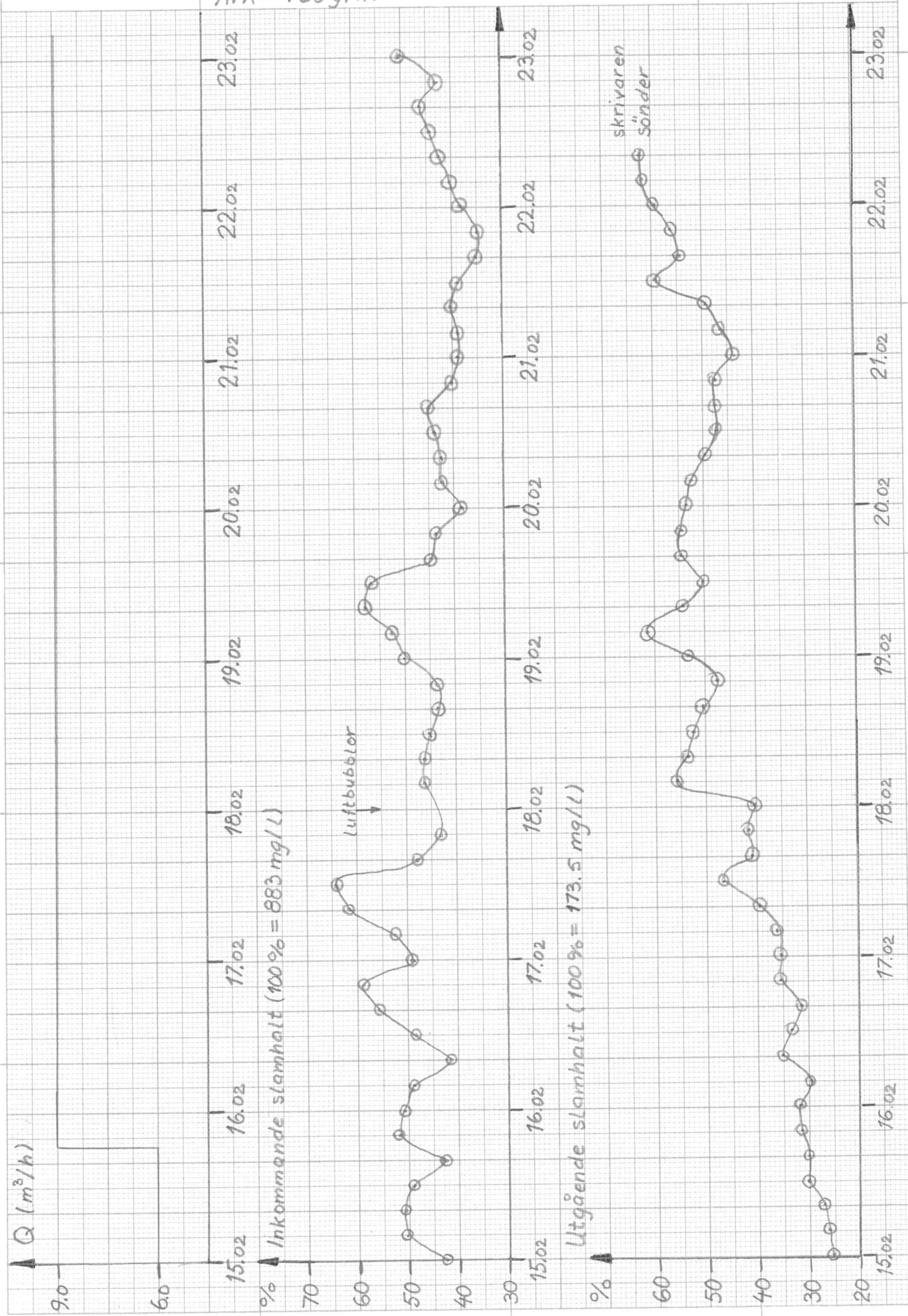
Figur 6:7

Experiment 730626.

Sjölunda 26/6 1973 kl. 15.00-23.00.

SUT = f(SIN, Q), steg i Q kl. 15.46.

AVR = 750 g/h.



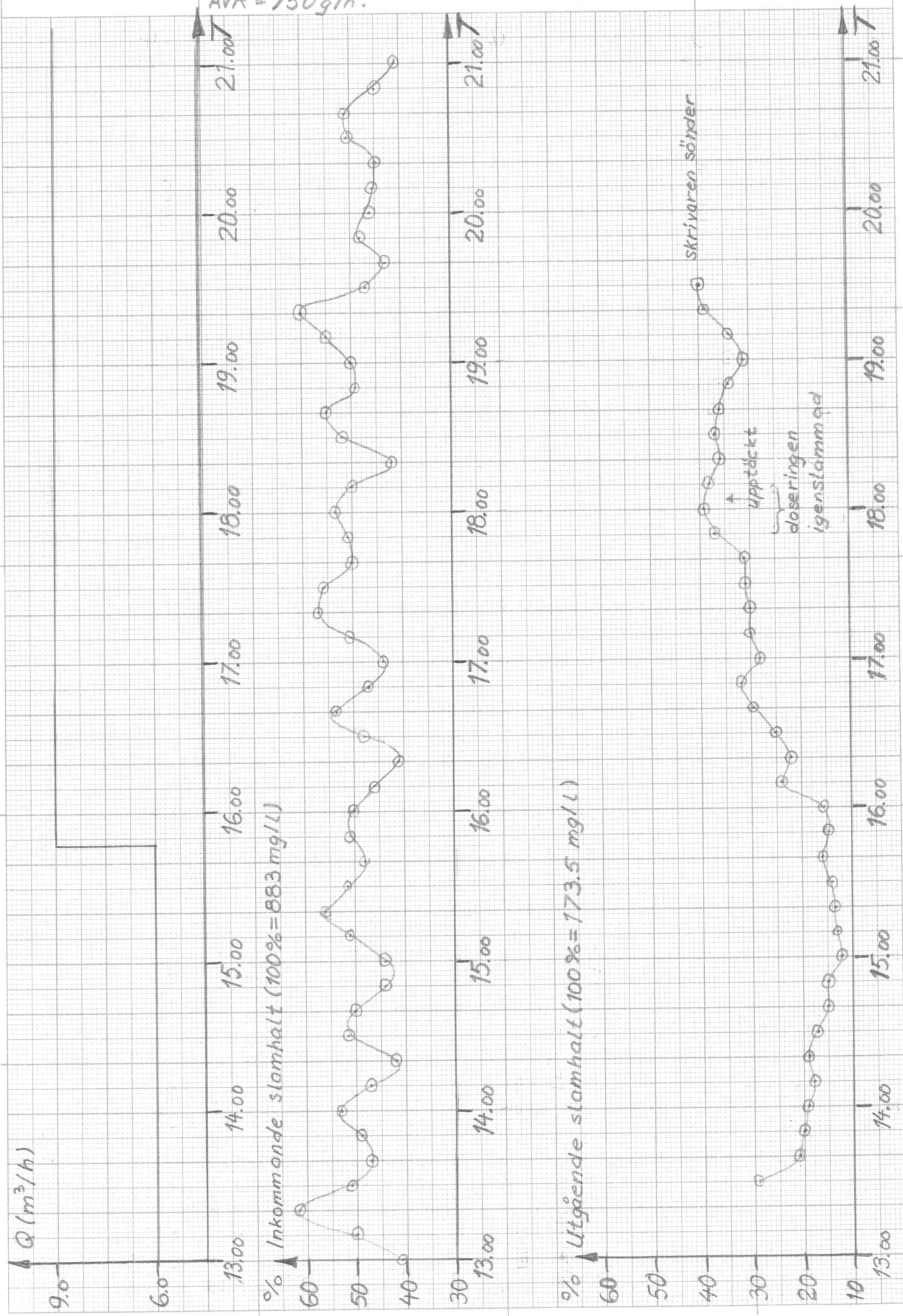
Figur 6:8

Experiment 730627.

Sjölunda 27/6 1973 kl. 13.00 - 21.00.

SUT = f(SIN, Q) , steg i Q kl. 15.46.

AVR = 750 g/h.



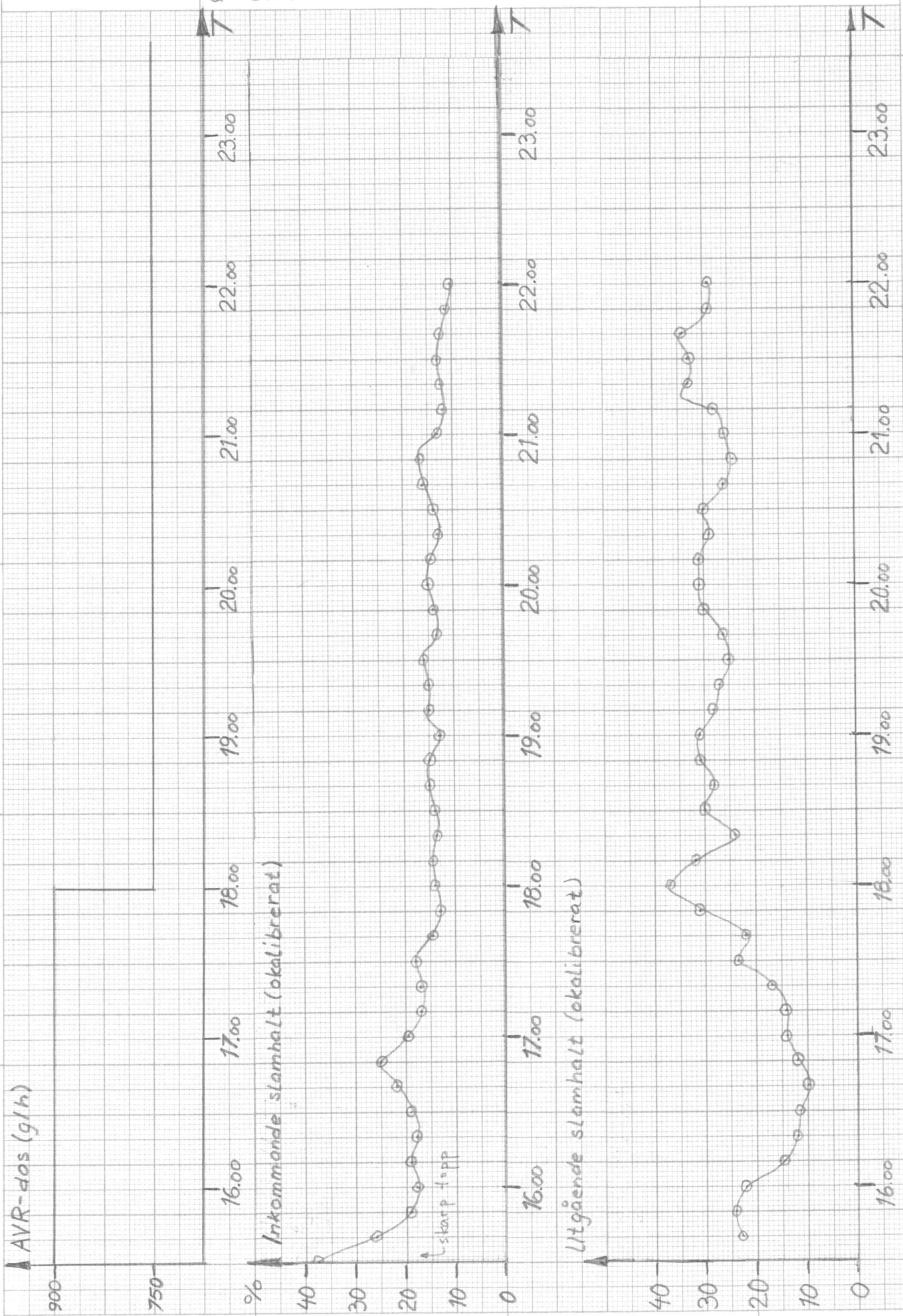
Figur 6:9

Experiment 730705.

Sjölunda 5/7 1973 kl. 15.30 - 22.00

SUT = f(SIN, AVR) , steg i AVR kl. 18.00.

Q = 6 m³/h.



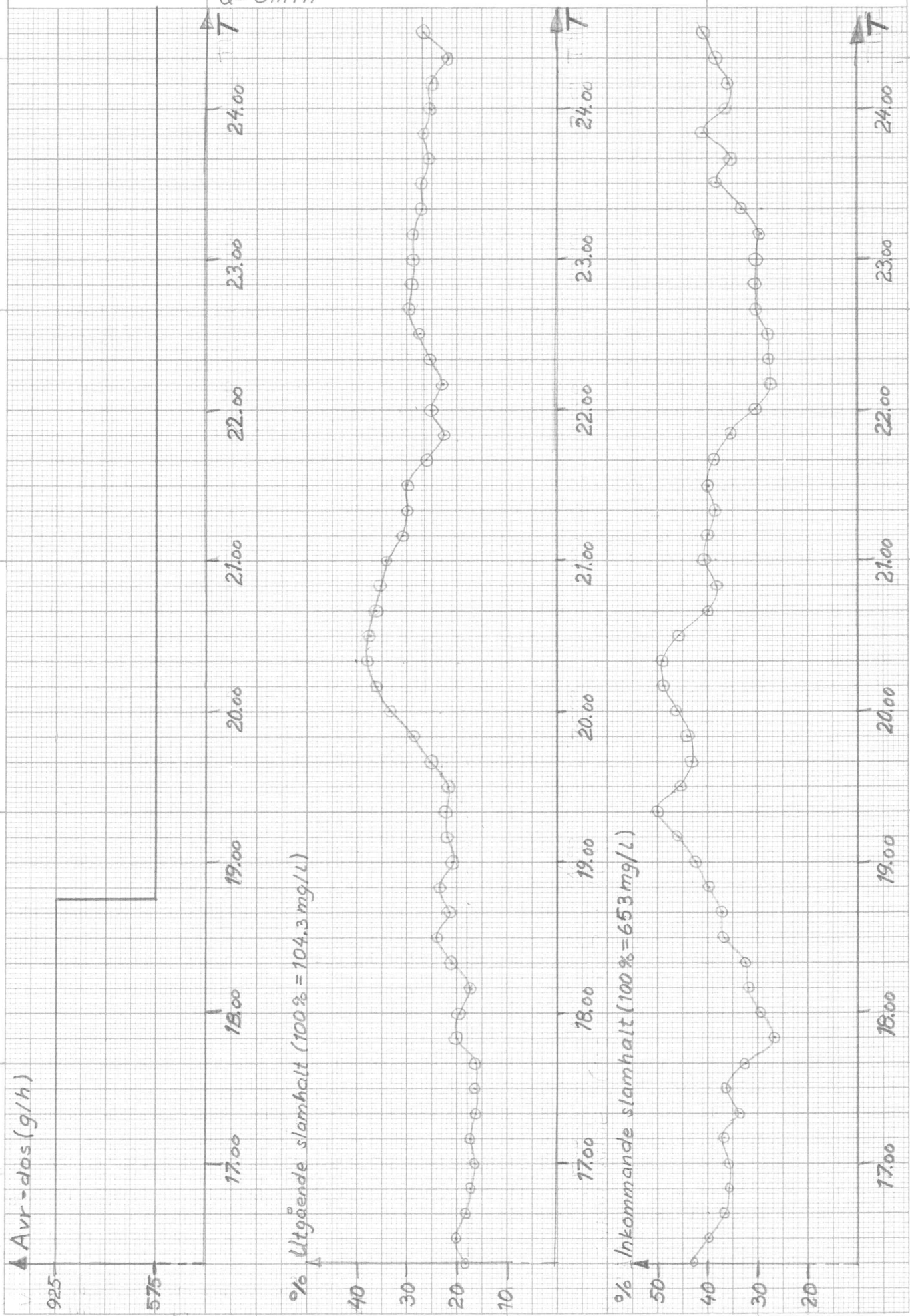
Figur 6:10

Experiment 730710.

Sjölunda 10/7 1973 kl. 16.20 - 24.20

SUT = f(SIN, AVR), steg i AVR kl. 18.45

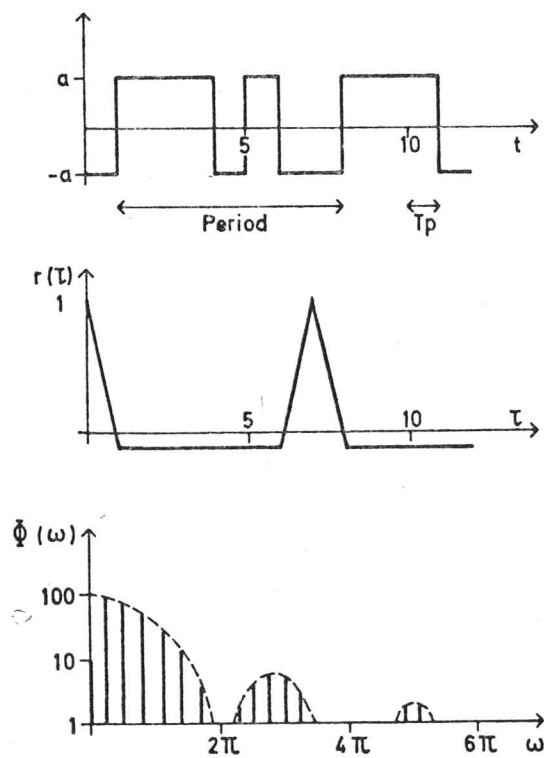
Q = 6 m³/h



732501 · 514 A4 · 1 x 1 mm

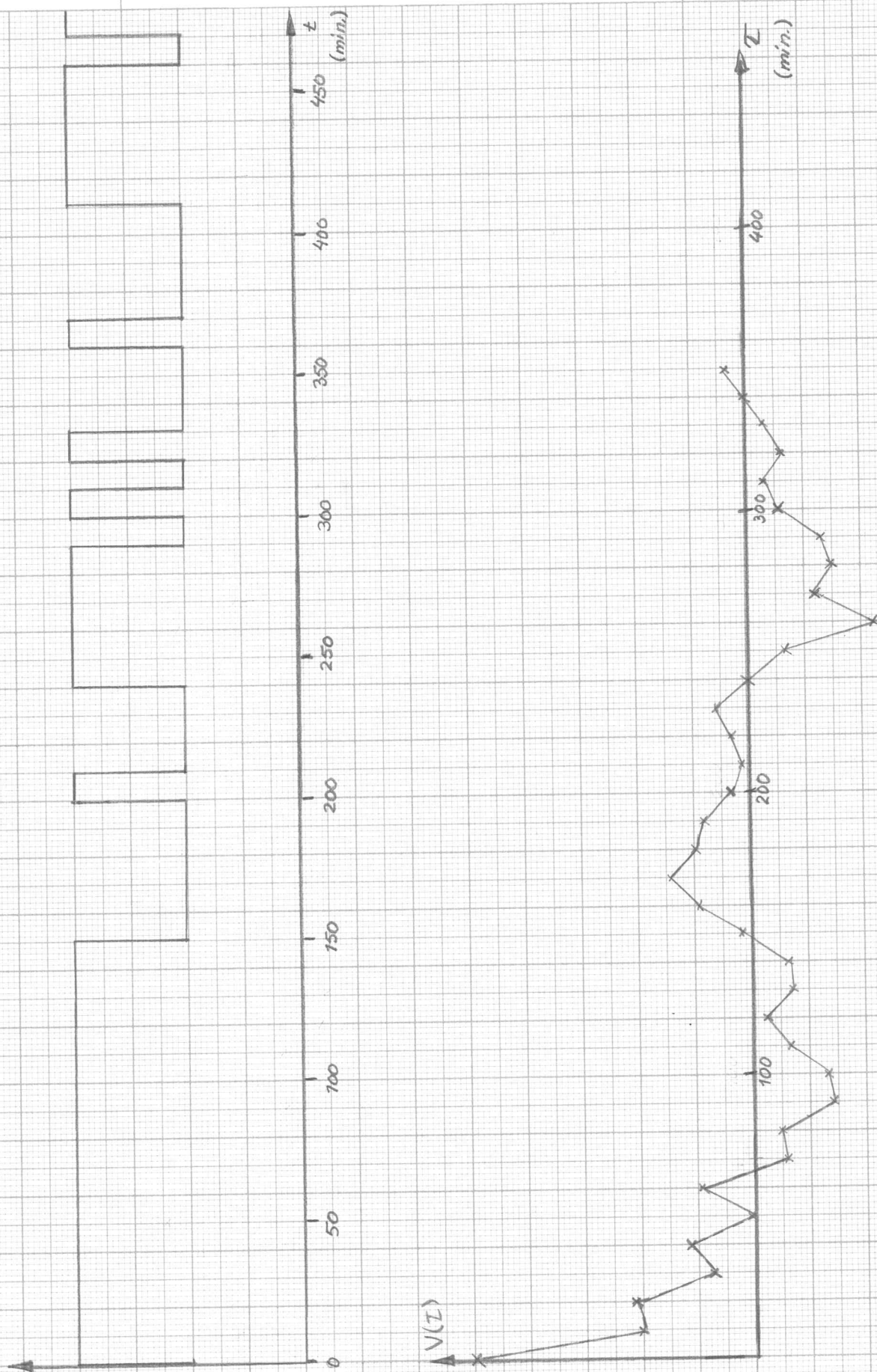
Figur 6:11

Tidsserie, kovariansfunktion, och spektraltäthet för en PRBS-signal av längden $N = 7$. Samplingsintervallet är normaliserat till 1.



Figur 6:12

Den använda PRBS-signalen
och dess kovarianzfunktion.



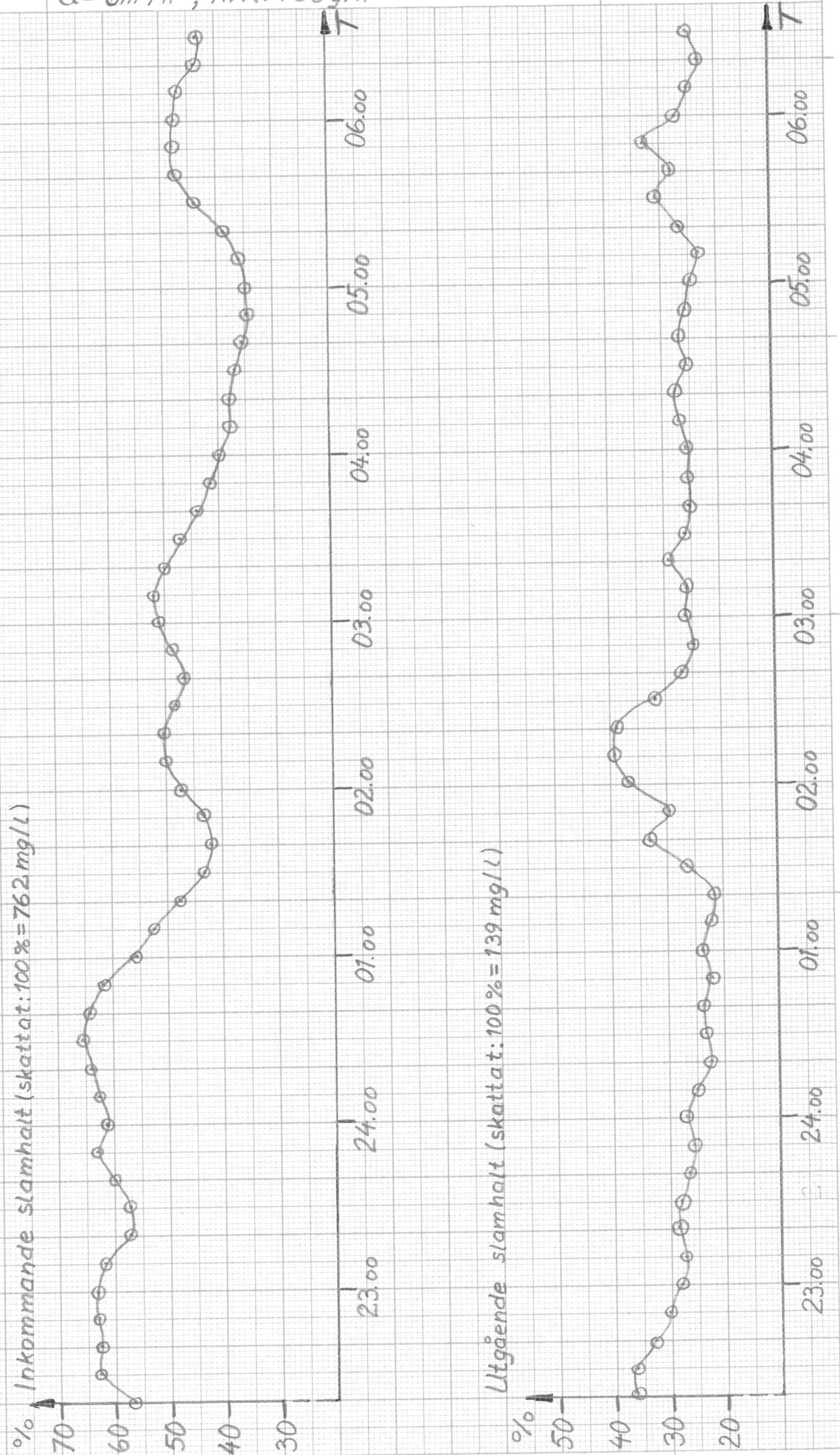
Figur 6:13

Experiment 730706.

Sjölunda 6/7 1973 kl. 22.20 - 06.30

SUT = f(SIN)

Q = 6 m³/h ; AVR = 750 g/h



Figur 6:14

Experiment 730711.

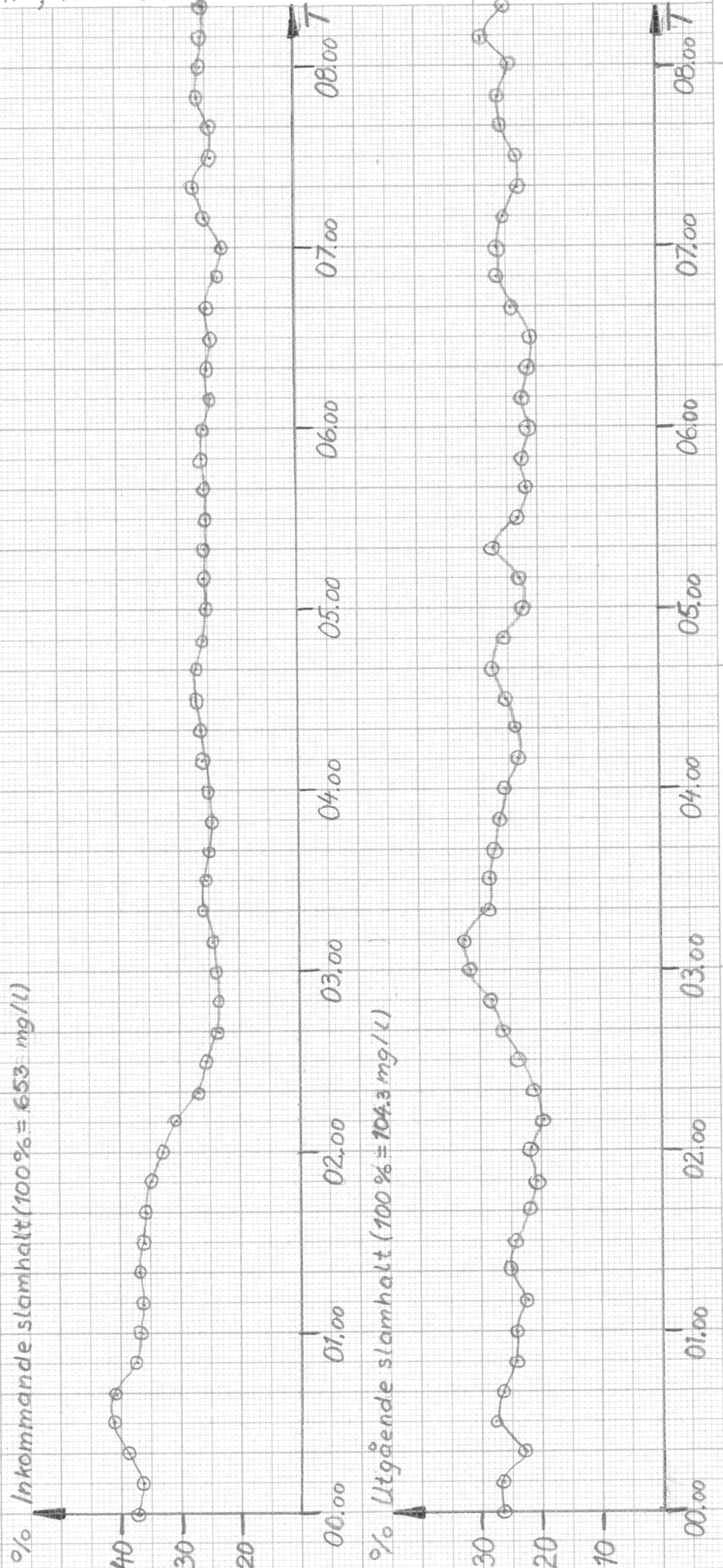
Sjölunda 11/7 1973 kl. 00.00 - 8.20

SLIT = f(SIN)

Q = 6 m³/h ; AVR = 575 g/h

% Inkommande slamhalt (100% = 653 mg/l)

% Utgående slamhalt (100% = 104.3 mg/l)



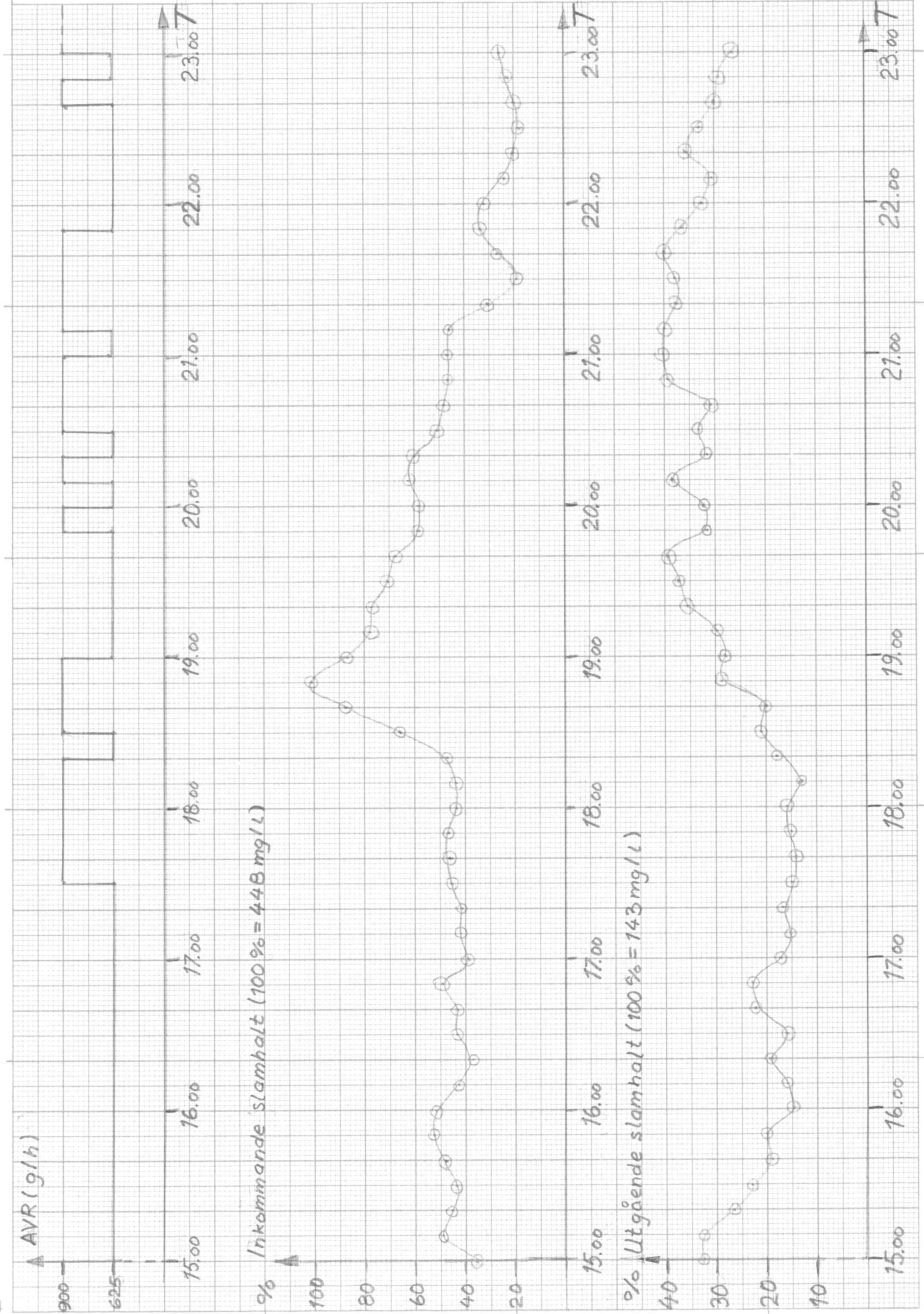
Figur 6:15

Experiment 730712.

Sjölunda 12/7 1973 kl. 15.00-23.00

SUT=f(SIN,AVR) PRBS i AVR.

Q = 6 m³/h



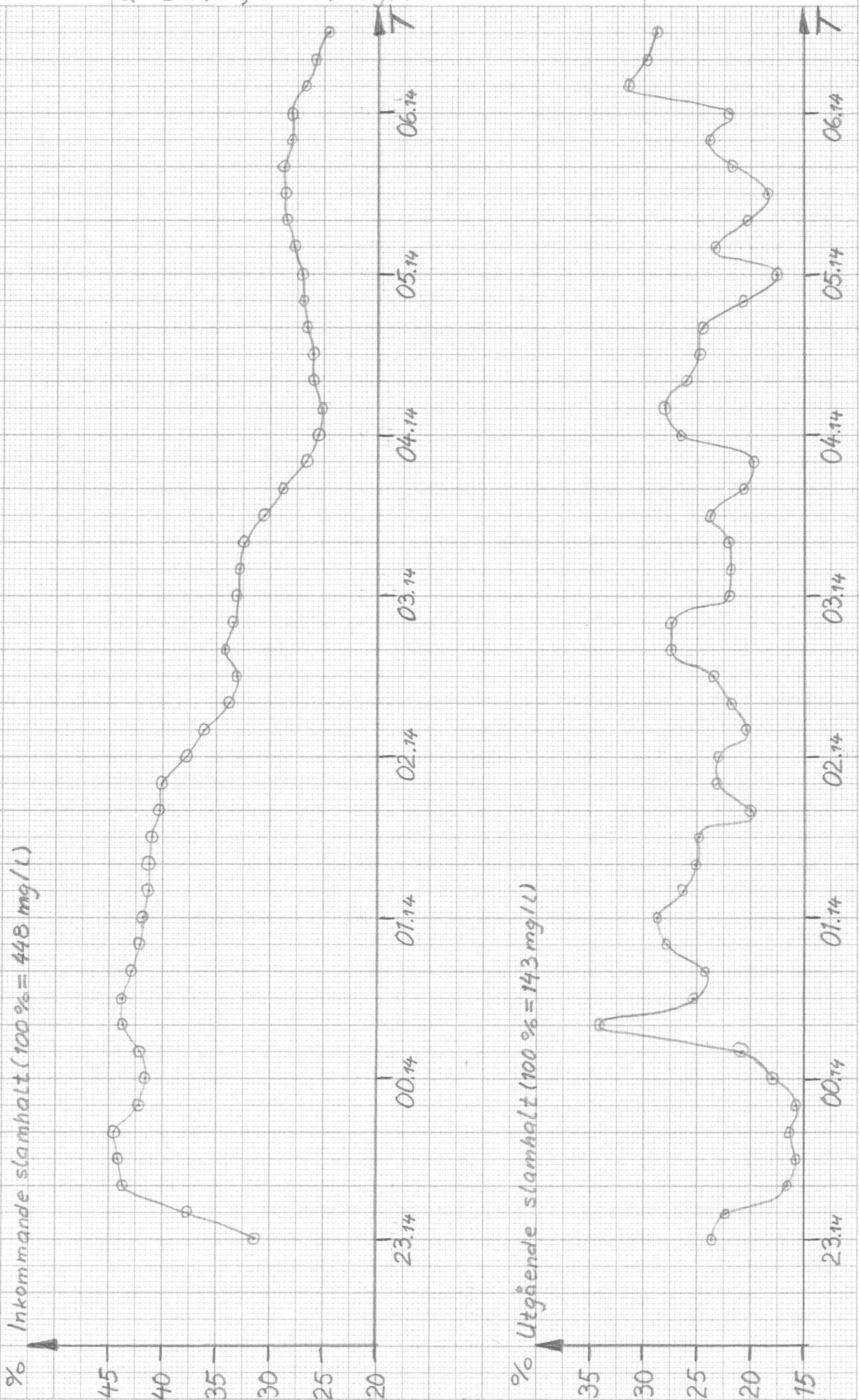
Figur 6:16

Experiment 730713.

Sjölunda 13/7 1973 kl. 23.14 - 06.44.

SUT = f(SIN)

Q = 6 m³/h, AVR = 750 g/h



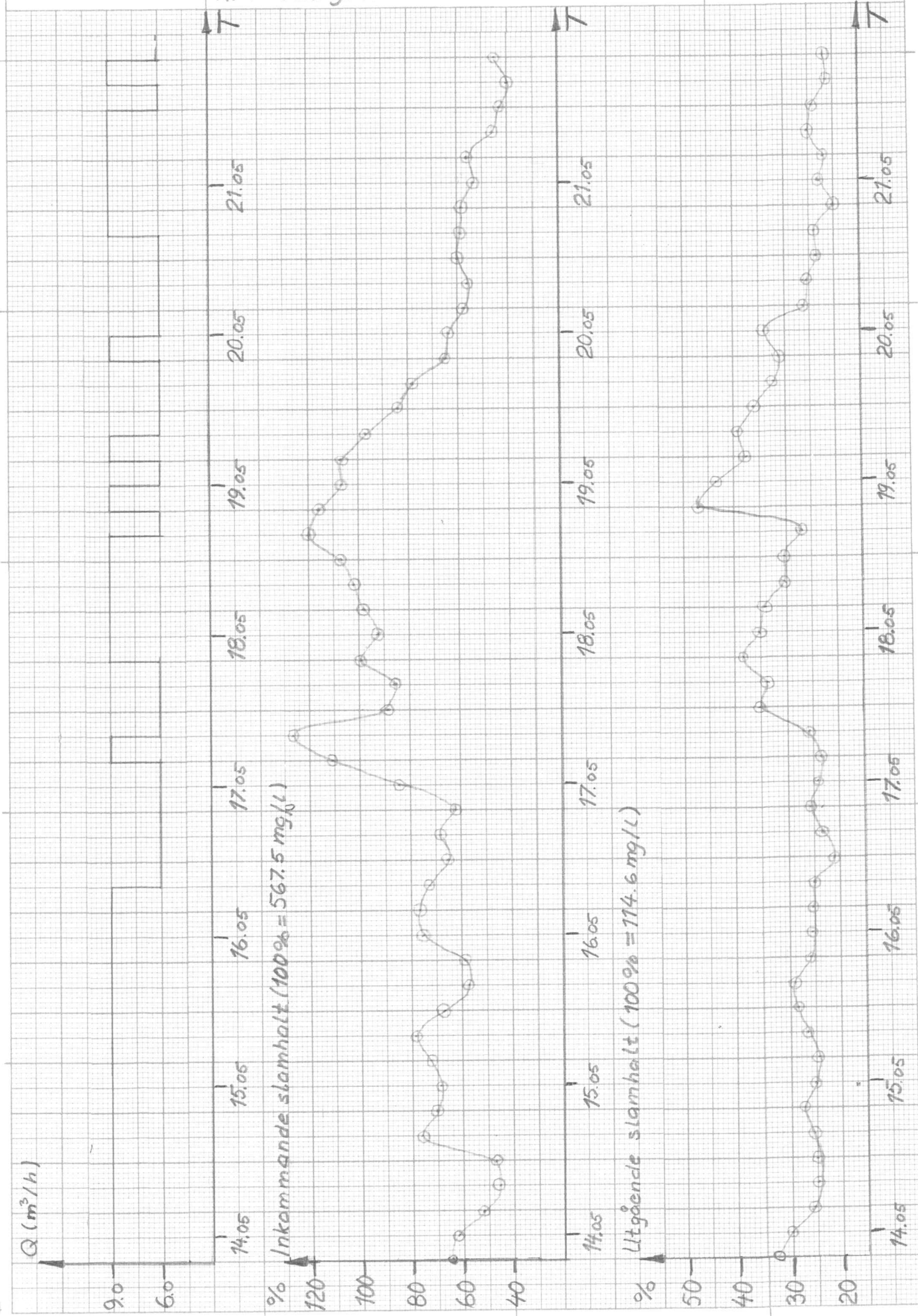
Figur 6:17

Experiment 730716.

Sjölunda 16/7 1973. kl. 13.55 - 21.55

SUT = f(SIN, Q), PRBS i Q.

AVR = 725 g/h.



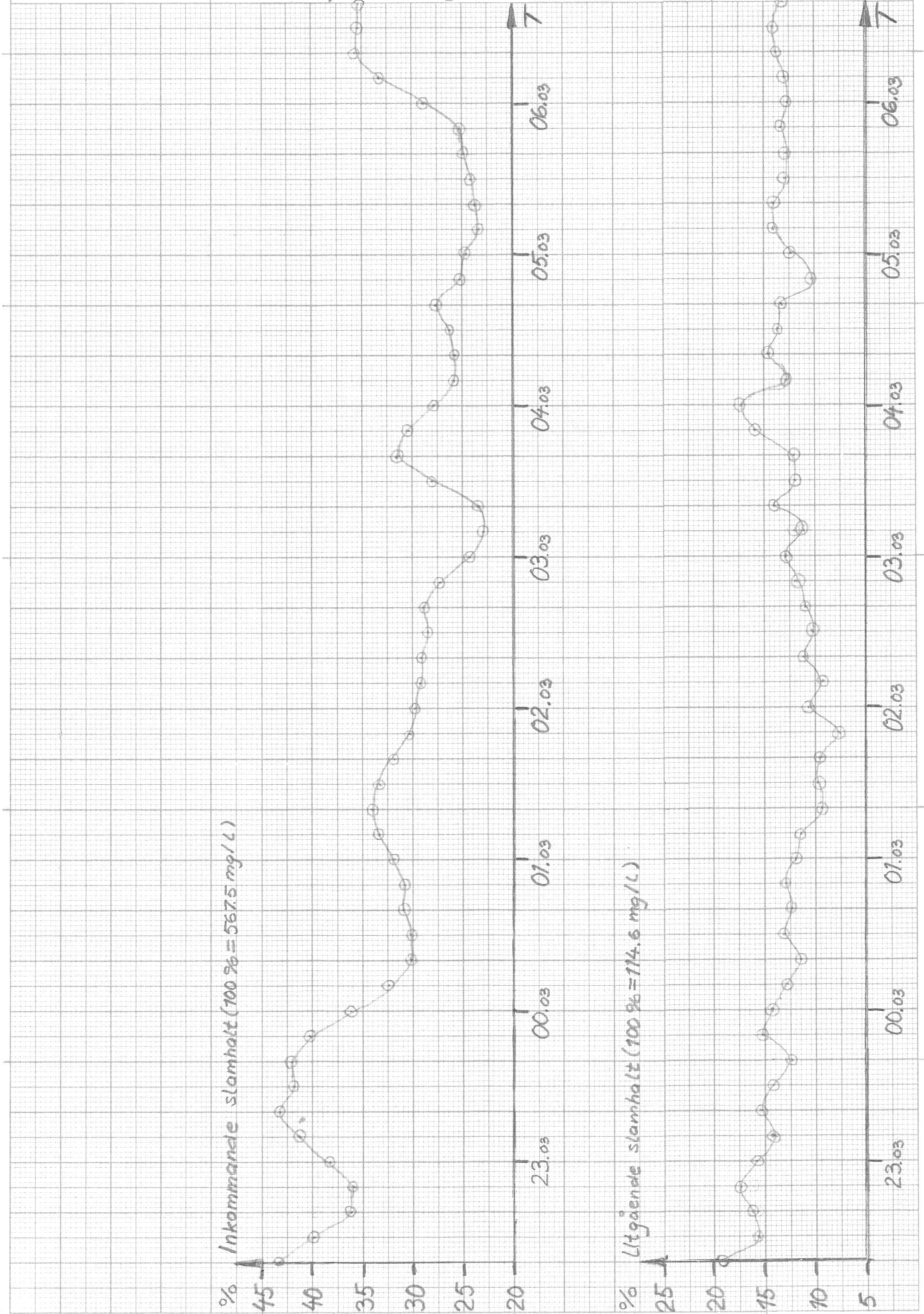
Figur 6:18

Experiment 730717.

Sjölunda 17/7 1973 kl. 22.23 - 06.43

SUT = f(SIN).

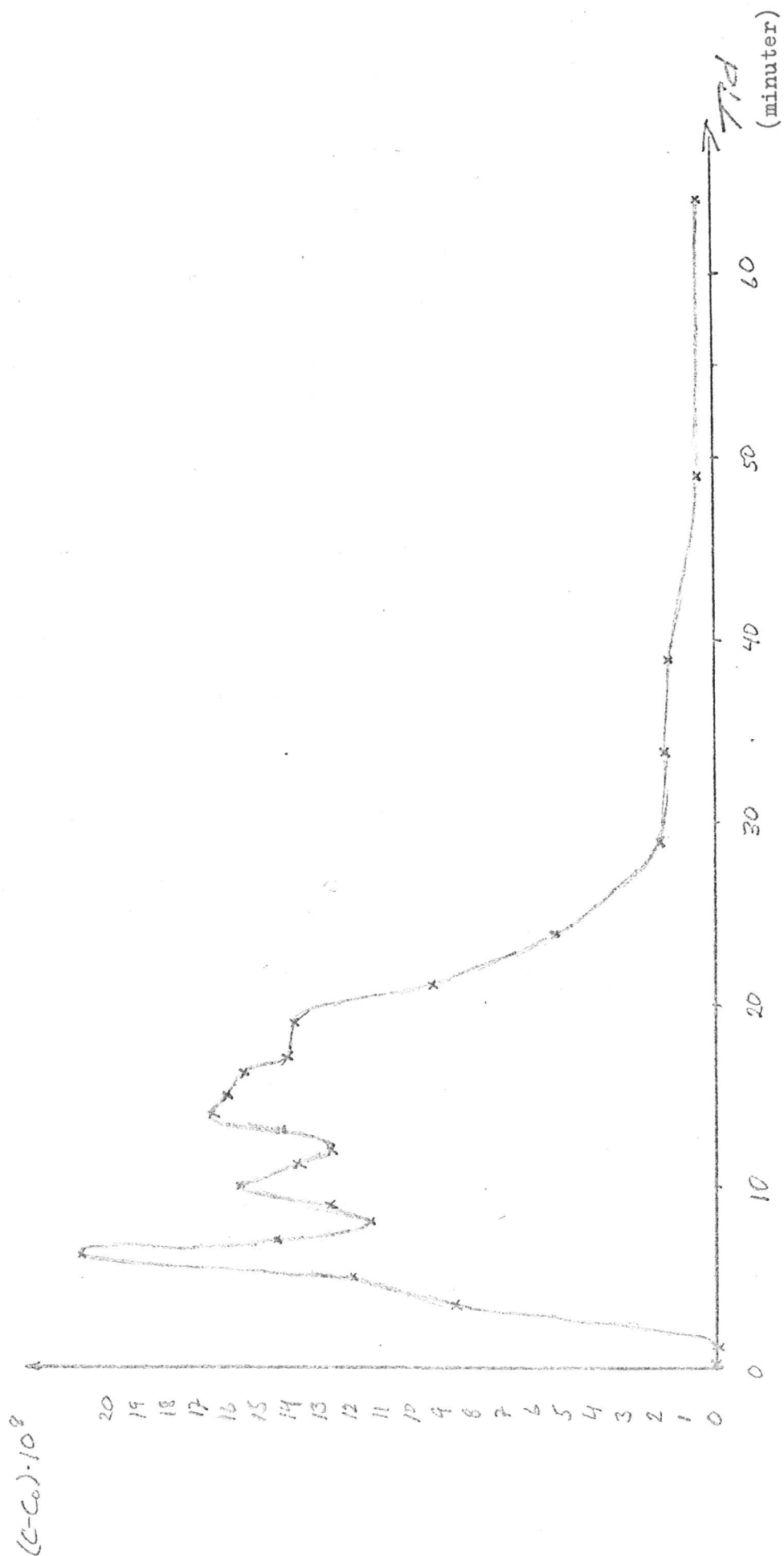
Q = 6 m³/h, AVR = 750 g/h.



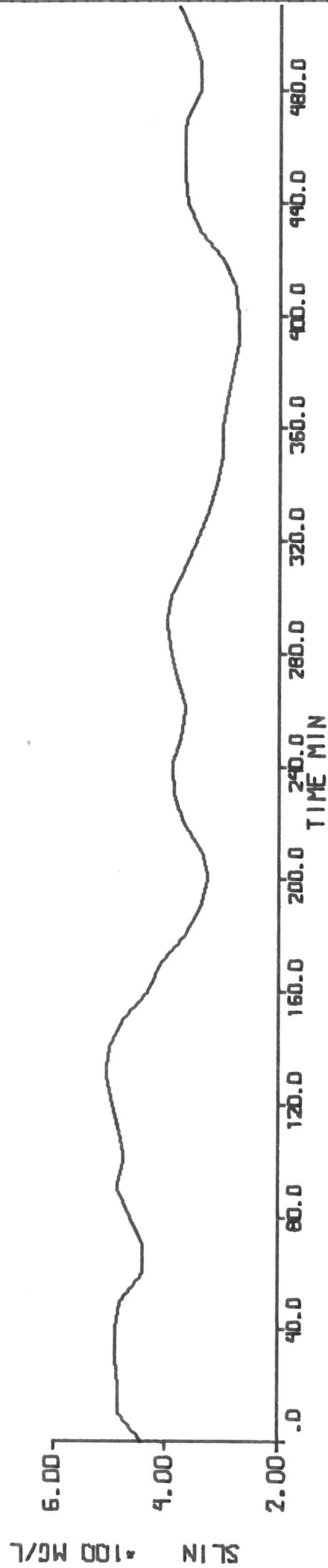
Figur 6:19

Slamimpulssvar.

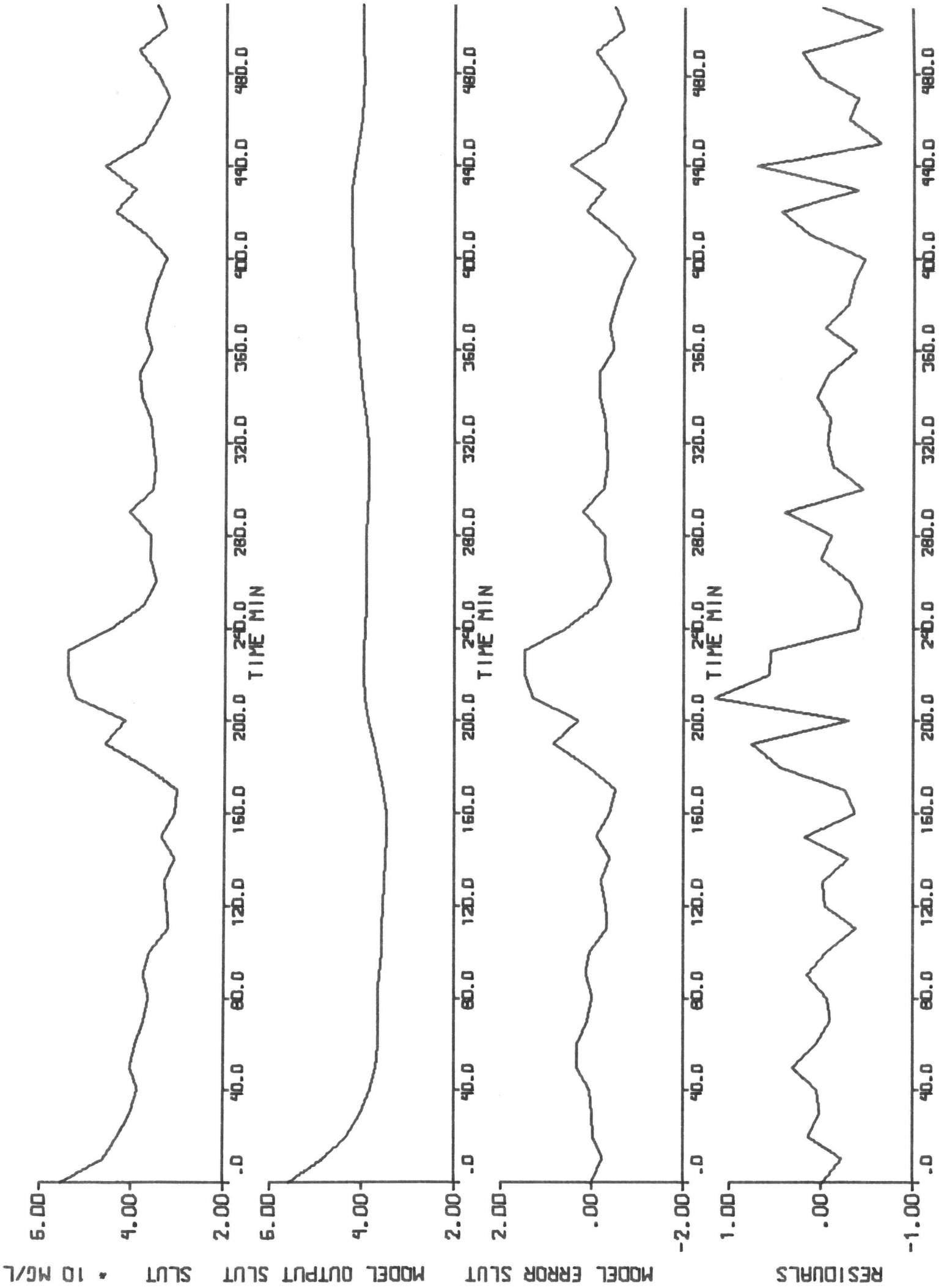
Enligt Erik Särner, Institutionen för Vattenbyggnad, LTH

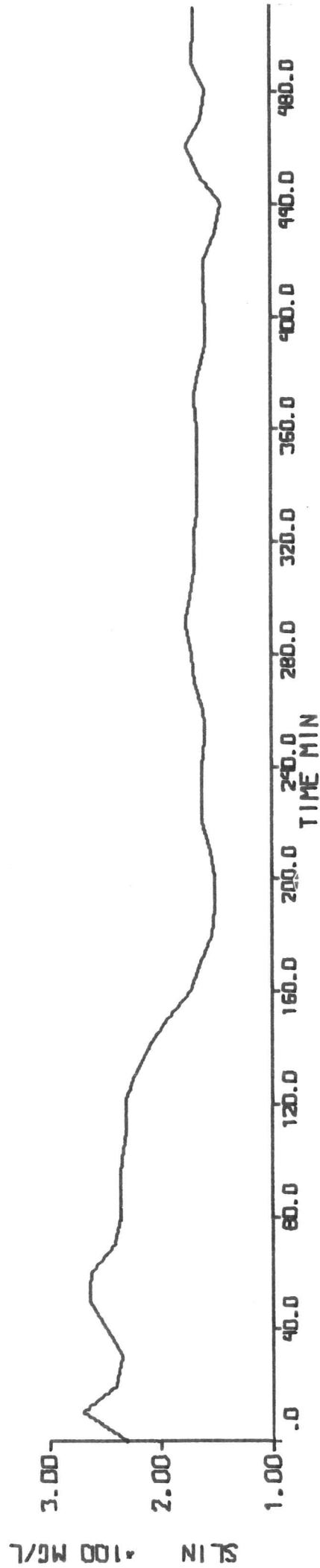


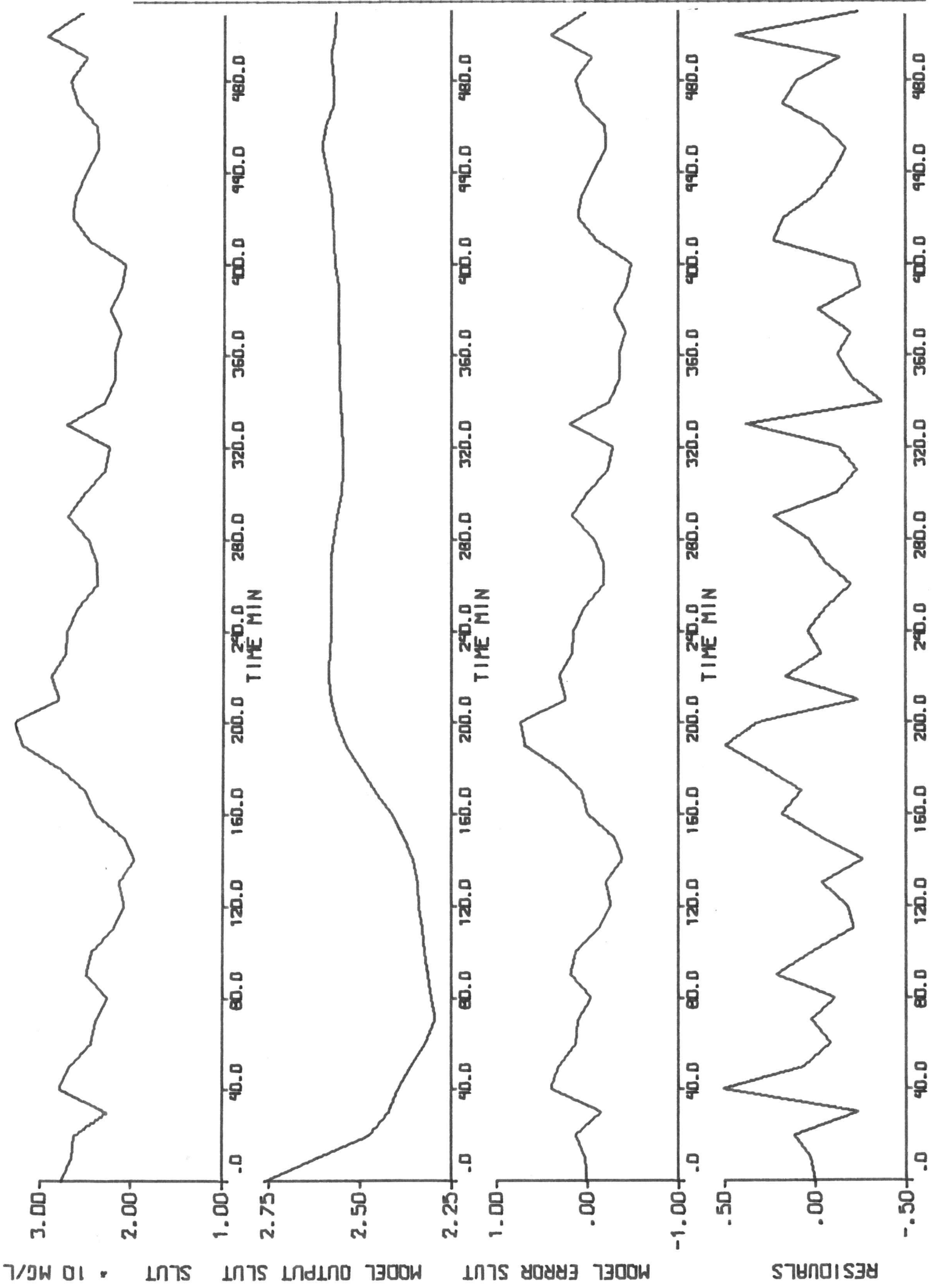
Plotting av modellen: $f(1,SSIN(0,2)) = SL06$



SLIN *100 MG/L



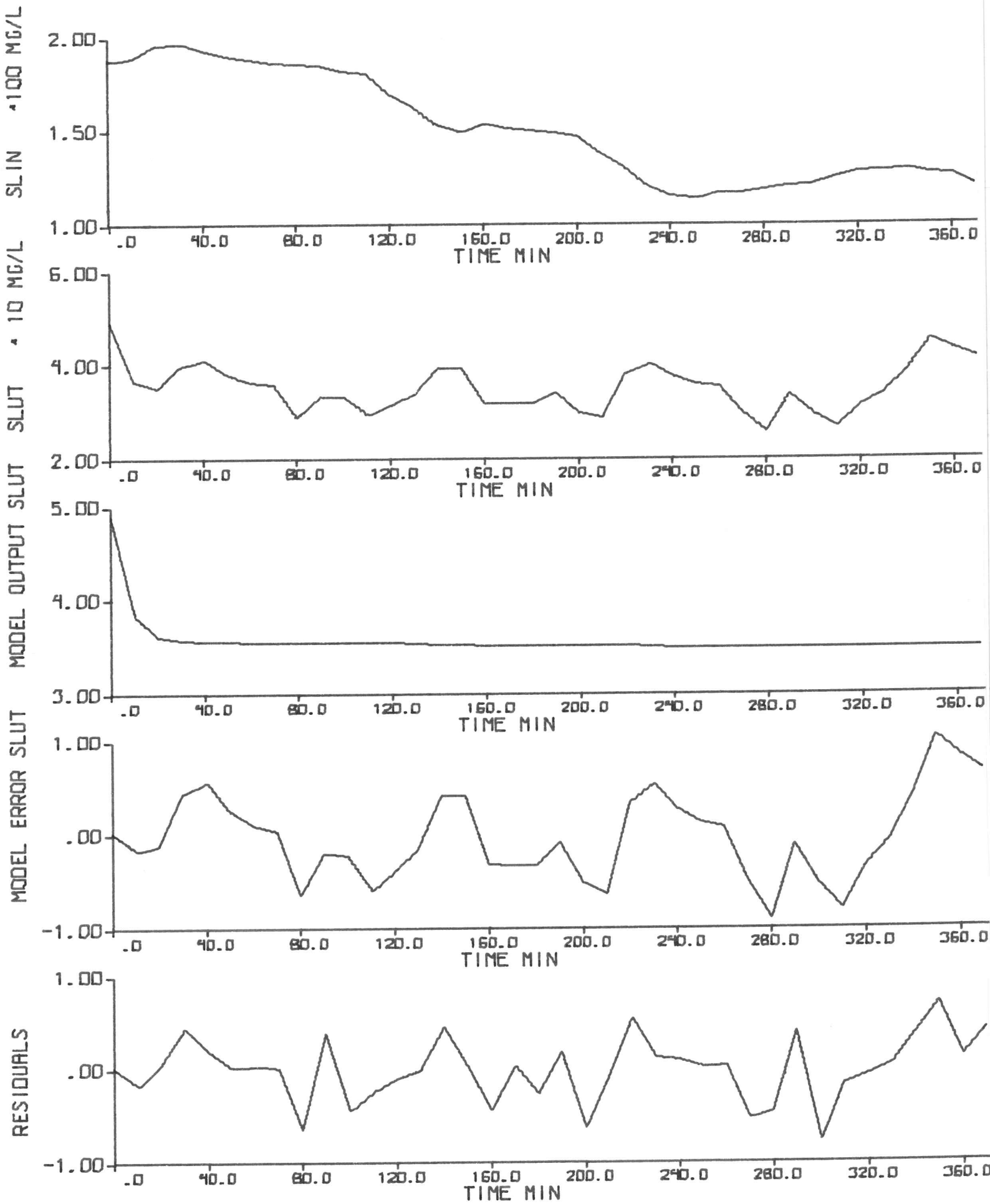


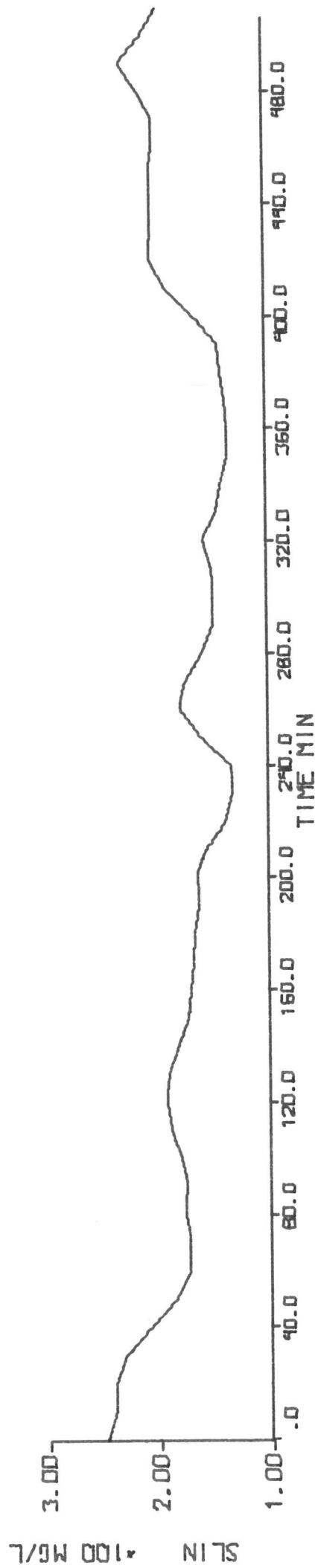


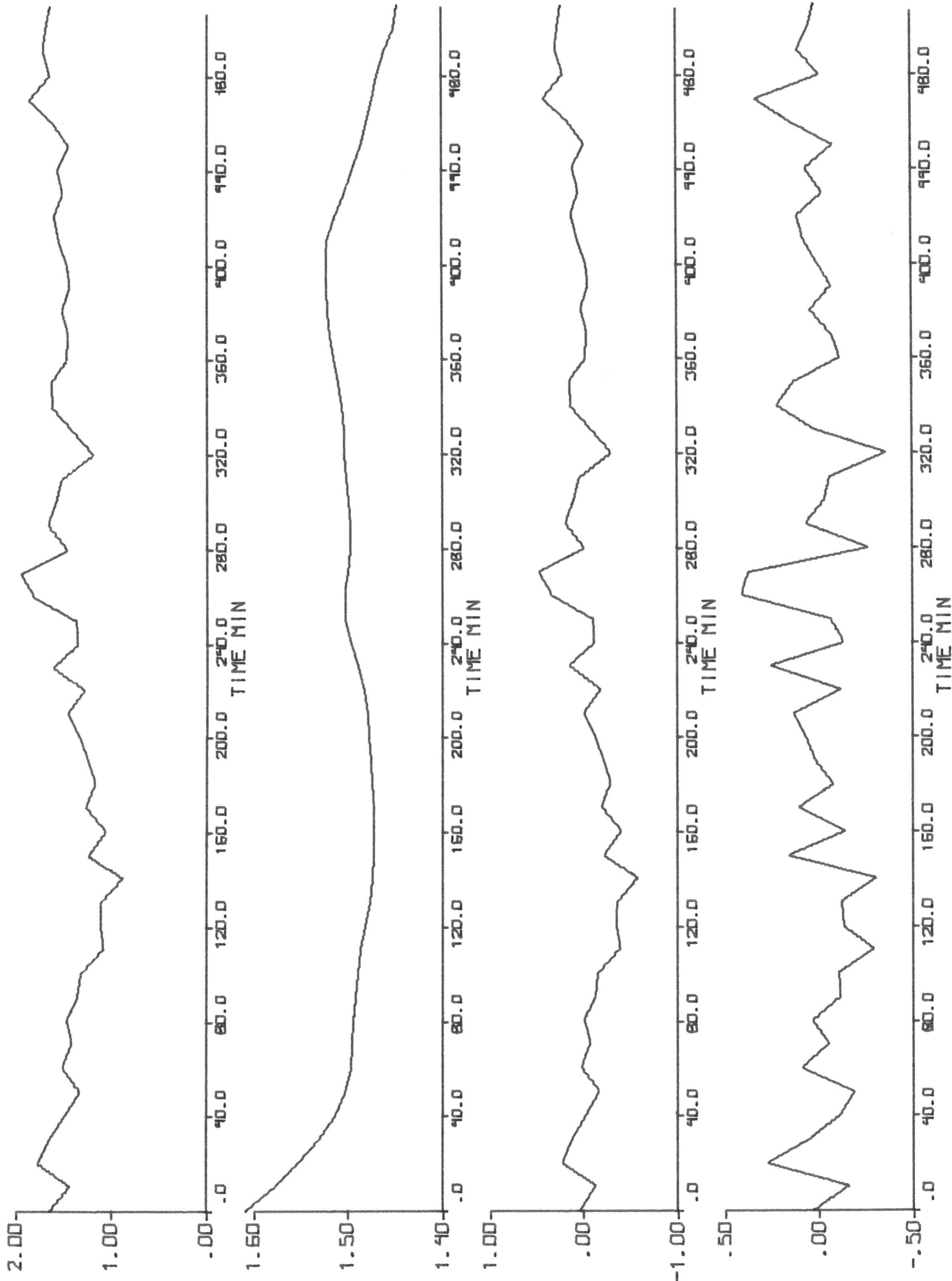
Figur 6:22

Sjölunda experiment 730713

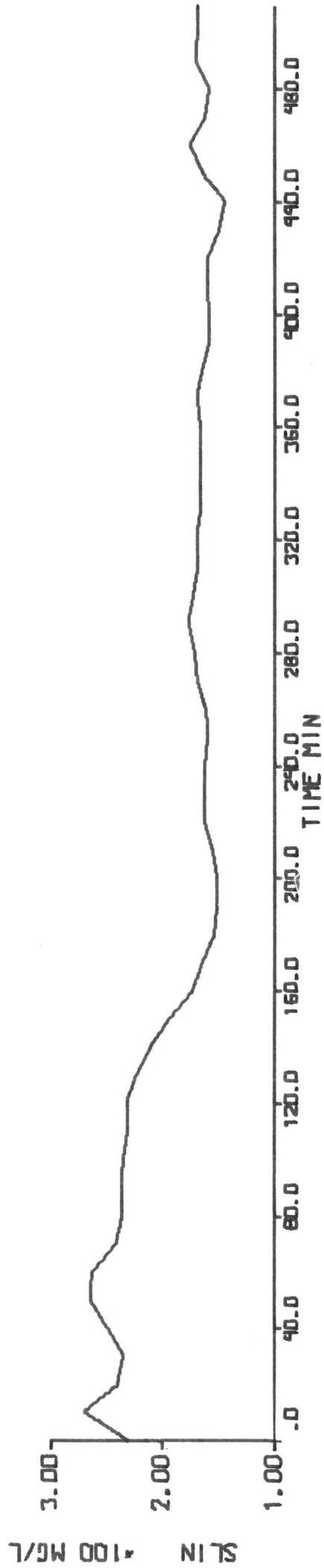
Plottning av modellen: $f(1,SSIN(0,3)) = SL13$





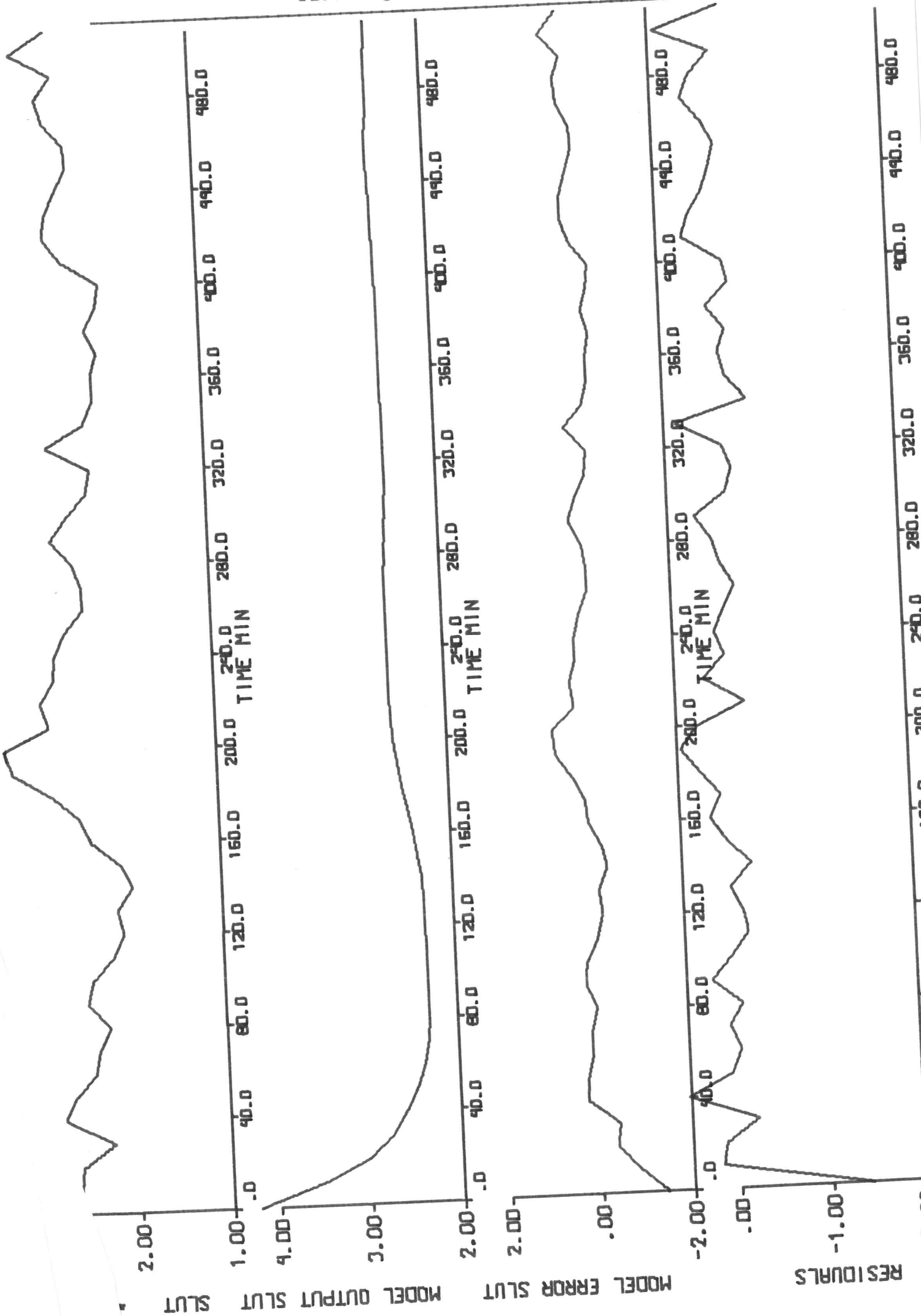


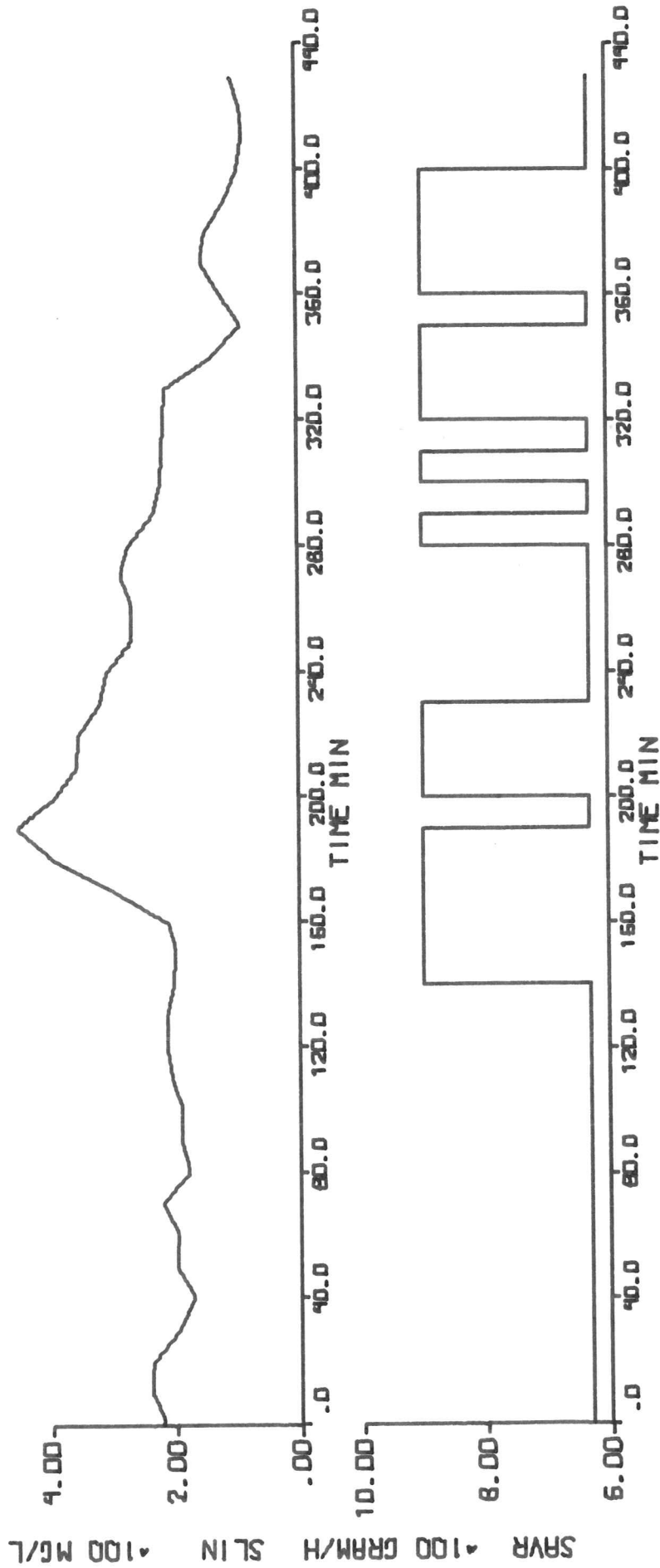
RESIDUALS
MODEL ERROR SLUT
MODEL OUTPUT SLUT * 10 MG/L



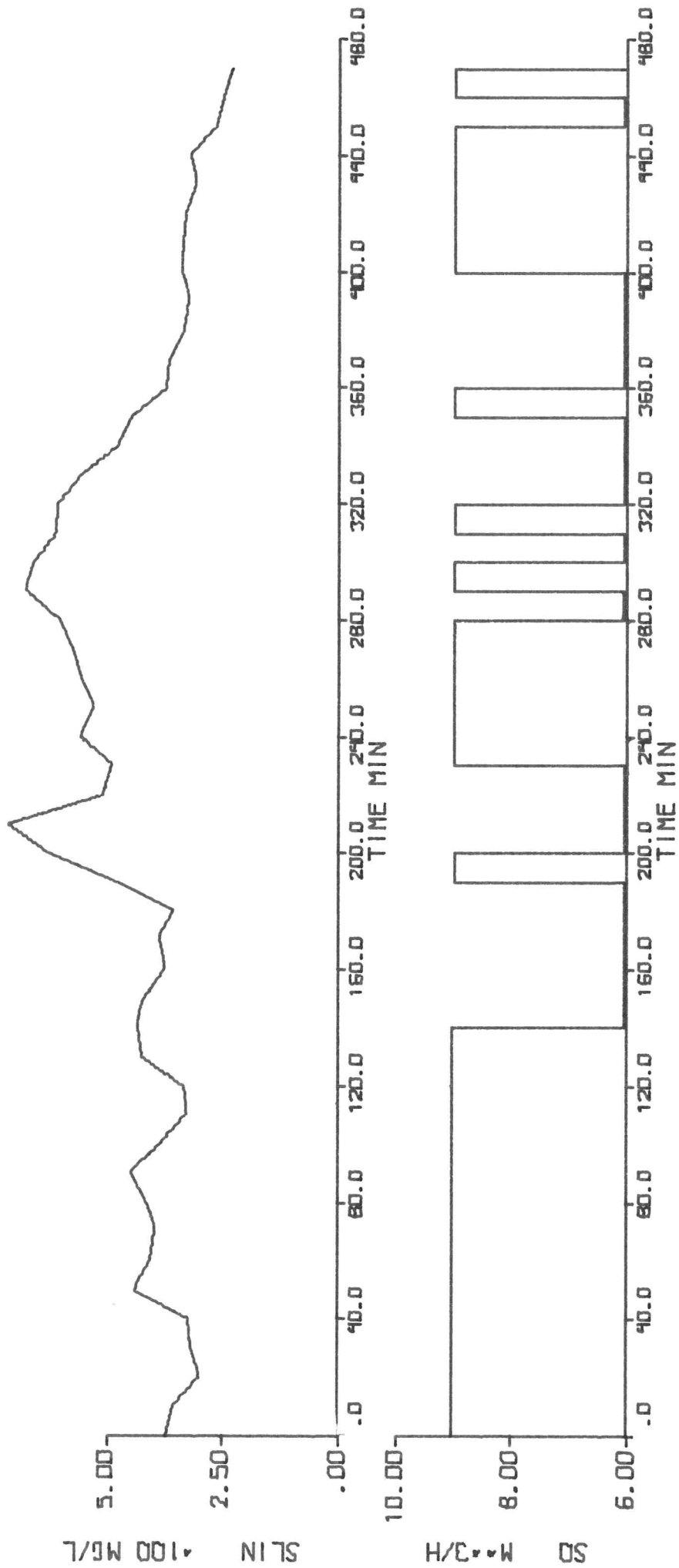
Figur 6:24 forts.

Sjölunda experiment 730711
Plottning m h a modellen SL06

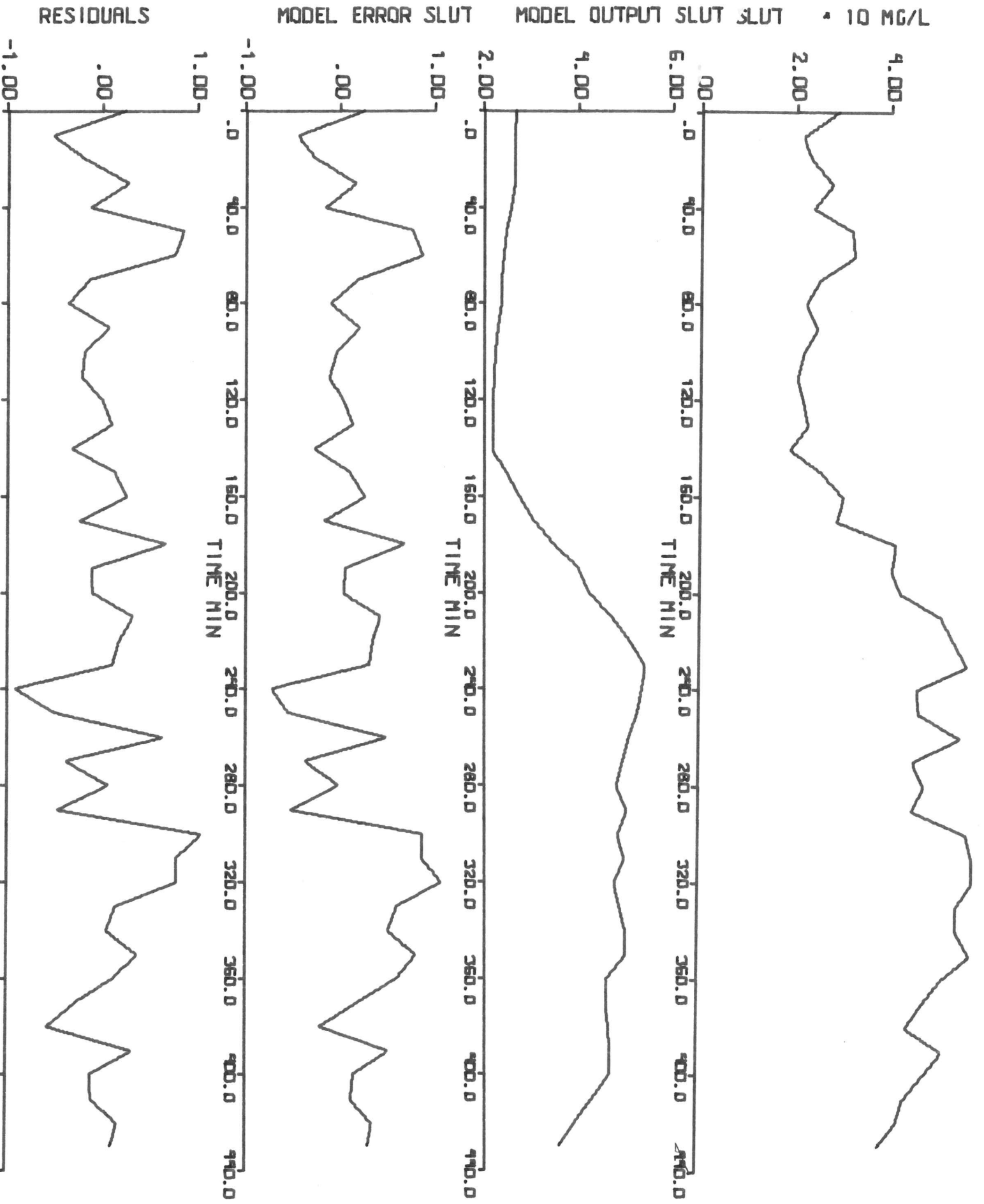




Plottning av modellen: $f(1, SSIN(0,2), SQ(0,1)) = SLQ16$

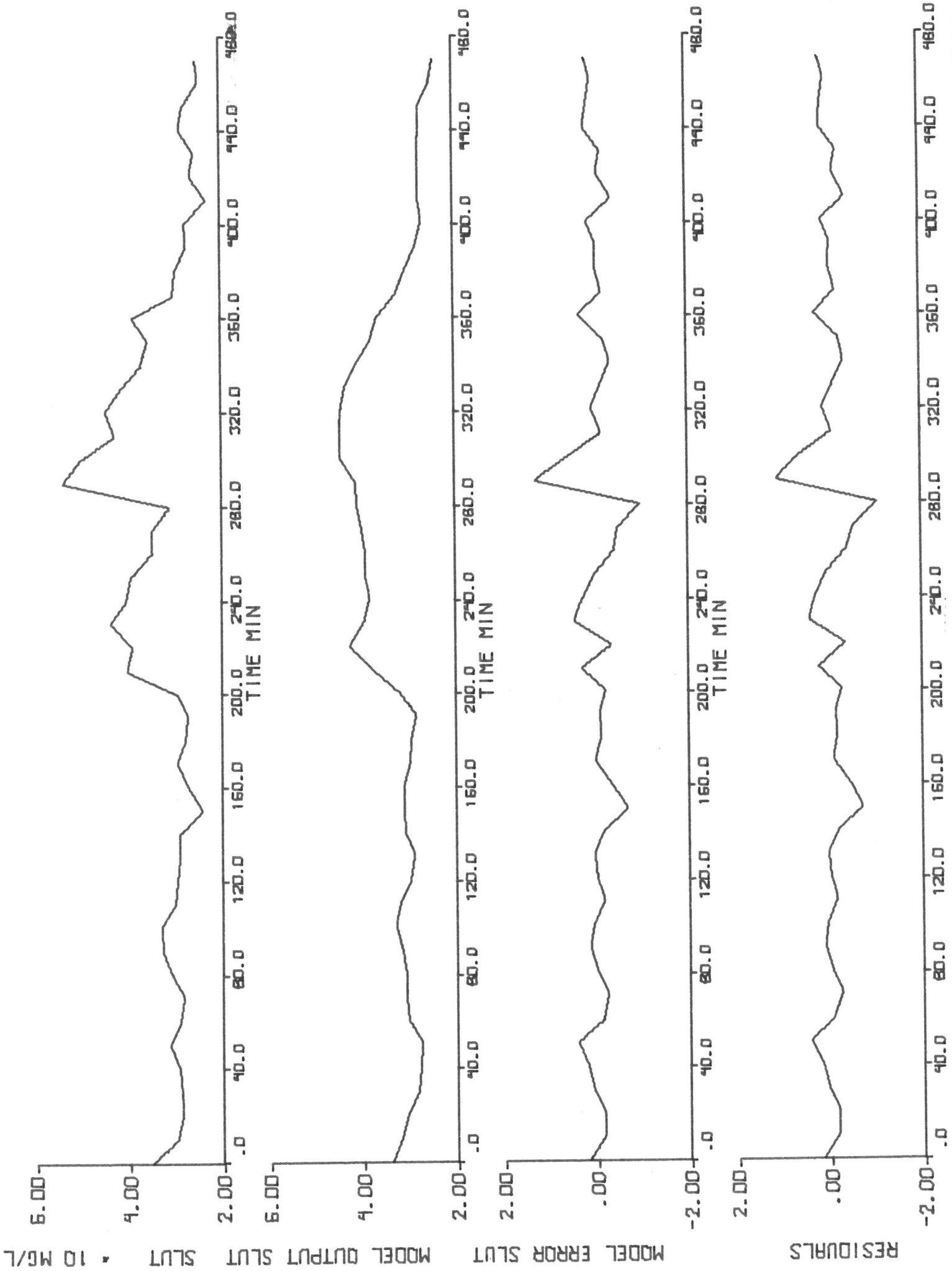


Figur 6:25 forts. Sjölanda experiment 730712
 Plotning av modellen: $f(1, \text{SSIN}(0,2), \text{SAVR}(0,5)) = \text{SLAVR12}$



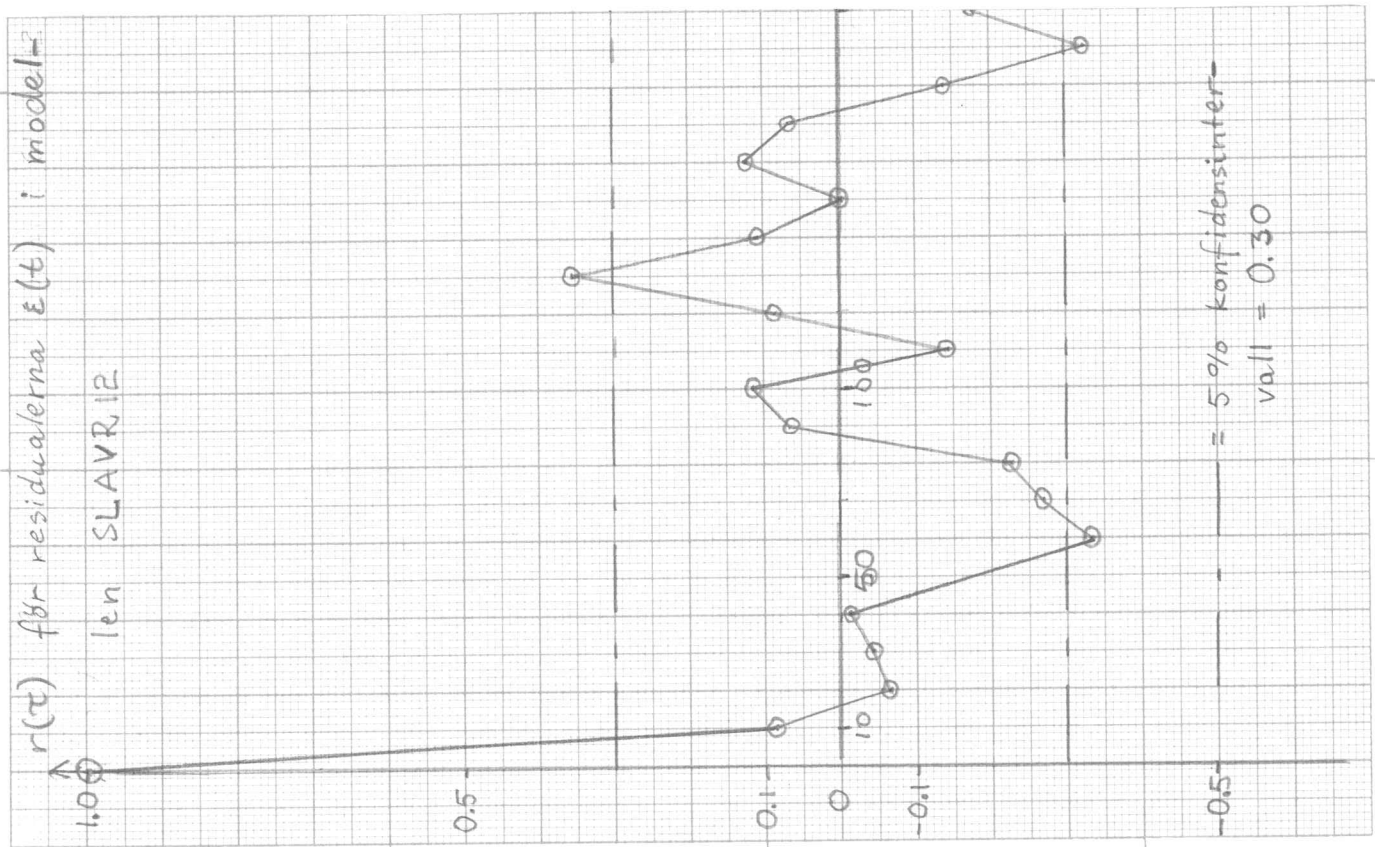
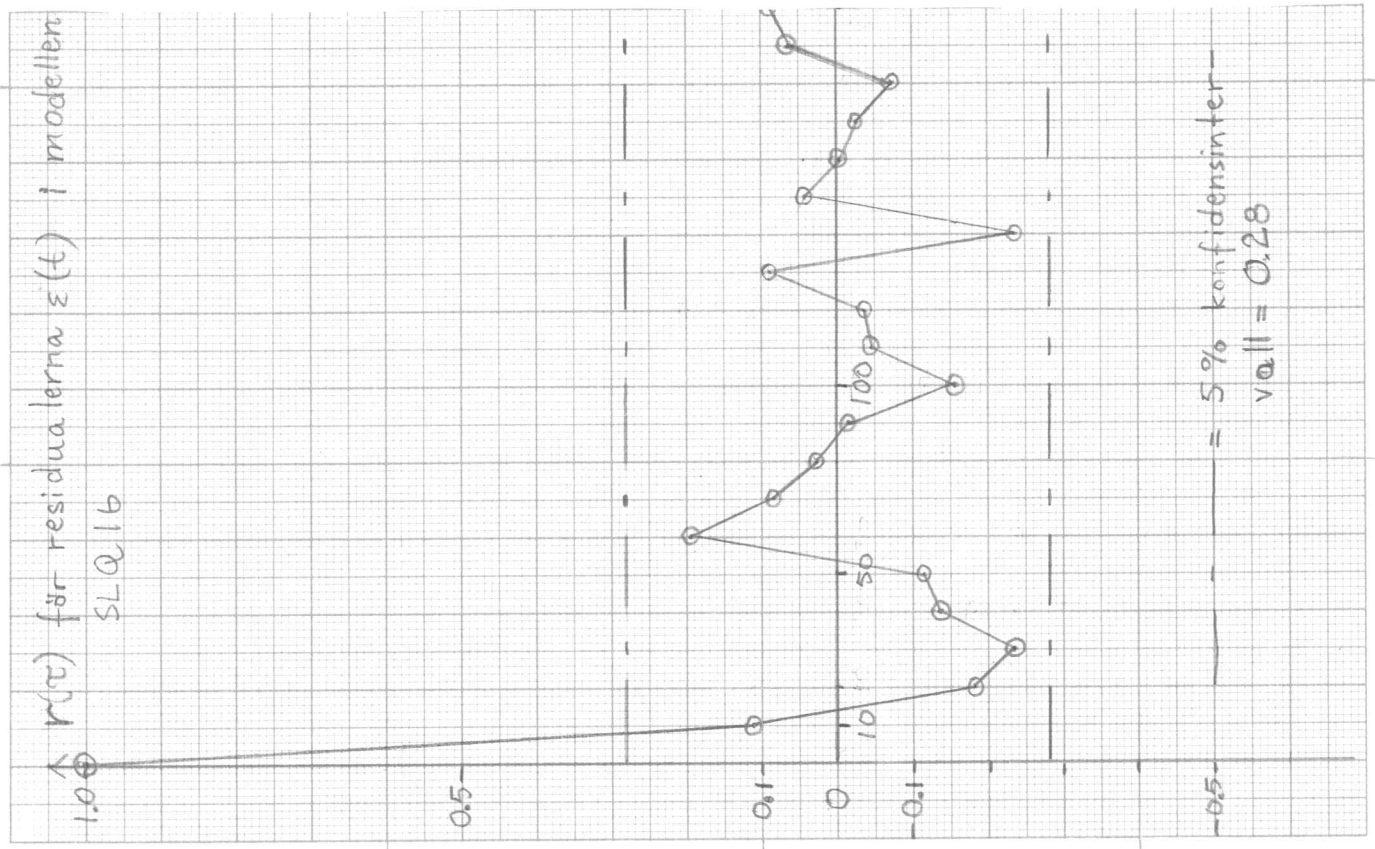
Figur 6:26 forts. Sjölund experiment 730716

Plottning av modellen: $f(1,SSIN(0,2),SQ(0,1)) = SLQ16$



Figur 6:27

Kovariansfunktionerna $r(\tau)$ för residualerna $\varepsilon(t)$ i modellerna SLAVR12 och SL16.



k_s	Modellordning, n							
	1			2		3		
	λ	Egenskaper	Motsv. kont. systems pol	F(1,2)	λ	Egenskaper	Motsv. kont. systems pol	F(2,3)
1	0.384	s	-0.0303	2.1				
2	<u>0.363</u>	s	-0,480	1.05				
3	<u>0.363</u>	s	-0.470	3.08	0.320		-0.0292+ i·0.0309	1.66
4	0.371	s	-0.0521	5.61	0.300	s, k		2.7
5	0.381	s	-0.0391	1.38				
6	0.383	s	-0.0344	0.64				
7	0.385	s	-0.0358	2.27				
8	0.389	s	-0.0378	2.59				
9	0.392	s	-0.0397	1.16				
10	0.397	s	-0.0410	0.86				

Minsta λ är understruket

s = någon eller några komponenter i parametervektorn har för stor standardavvikelse

v = $\max/\text{grad}(V)/$ är för stor

i = C^+ -polynomet är instabilt

k = modellen saknar kontinuerlig motsvarighet

$F(m, n)$ = F-testkvantiteten vid övergång från modell av ordning m till modell av ordning n för givet k_s

k_s	Modellordning, n							
	1	Egenskaper	Motsv. kont. systems pol	2	3			
	λ			F(1,2)	λ	Egenskaper	Motsv. kont. systems pol	F(2,3)
1	0.205	s	-0.0406	1.47				
2	0.204	s	-0.0445	1.73				
3	0.204	s	-0.0603	2.39				
4	0.211	s	-0.0563	2.62				
5	0.208	s	-0.0731	1.06				
6	<u>0.200</u>	s	-0.0485	2.18				
7	0.202	s	-0.0496	2.66				
8	0.204	s	-0.0430	2.42				
9	0.206	s	-0.0402	0.29				
10	0.206	s	-0.0450	2.54				

Minsta λ är understruket

s = någon eller några komponenter i parametervektorn har för stor standardavvikelse

v = max/grad(V)/ är för stor

i = C^+ -polynomet är instabilt

k = modellen saknar kontinuerlig motsvarighet

$F(n, n)$ = F-testkvantiteten vid övergång från modell av ordning n till modell av ordning n för givet k_s

k_s	Modellordning, n							
	1			2			3	
	λ	Egenskaper	Motsv. kont. systems pol	$F(1,2)$	λ	Egenskaper	Motsv. kont. systems pol	$F(2,3)$
1	0.446	s	-0.123	4.91	0.351	s, v	$-0.113 \pm i \cdot 0.237$	2.12
2	0.385	s, k		3.54	0.319	s, k		0.89
3	0.343	s	-0.155	0.04				
4	0.347	s	-0.155	0.99				
5	0.348	s	-0.160	2.35				
6	0.350	s	-0.154	2.24				
7	0.351	s	-0.133	2.31				
8	0.349	s	-0.211	2.20				
9	0.352	s	-0.195	2.06				
10	<u>0.337</u>	s	-0.220	0.3				

Minsta λ är understruket

s = någon eller några komponenter i parametervektorn har för stor standardavvikelse

v = $\max/\text{grad}(V)/$ är för stor

i = C^+ -polynomet är instabilt

k = modellen saknar kontinuerlig mötsvarighet

$F(m,n)$ = F-testkvantiteten vi övergår från modell av ordning m till modell av ordning n för givet k

k_s	Modellordning, n						3	
	1	Egenskaper	Motsv. kont. systems pol	2	Egenskaper	Motsv. kont. systems pol		
	λ			$F(1,2)$	λ		$F(2,3)$	
1	0.163	s	-0.0140	0.55				
2	0.163	s	-0.0117	1.02				
3	0.164	s	-0.0111	1.00				
4	0.159		-0.0149	2.47				
5	0.160	s	-0.0133	0.16				
6	0.160	s	-0.0122	0.25				
7	0.162	s	-0.0125	1.9				
8	0.160		-0.0140	4.96	0.130	v	$-0.0128 + i \cdot 0.0306$	1.30
9	0.160		-0.0146	9.56	<u>0.112</u>	v	$-0.00765 + i \cdot 0.0300$	1.88
10	<u>0.156</u>		-0.0195	2.22				

Minsta λ är understruket

s = någon eller några komponenter i parametervektorn har för stor standardavvikelse

v = $\max/\text{grad}(V)/$ är för stor

i = C^+ -polynomet är instabilt

k = modellen saknar kontinuerlig motsvarighet

$F(m,n)$ = F-testkvantiteten vid övergång från modell av ordning m till modell av ordning n för givet k_s

Tabell 6: 5

Sjölunda experiment 730706

Modell: $f(1, \text{SSIN}(0, 2))$

Förkortad beteckning på modellen: SL06

Insignaler Transportfördröjning, k_i

Utsignal: SLUT

SSIN 2

$\lambda = 0.363$

max/grad V/ = $0.66 \cdot 10^{-4}$

Parametervektor:

$a_1 = -0.619(\pm 0.112)$

skalfaktor

0.1

$b_{s0} = -0.144(\pm 0.079)$

0.01

$c_1 = 0.091(\pm 0.151)$

Rötterna till parameterpolynomen:

$A^+ : 0.619$

$C^+ : -0.0911$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: -0.0480

Statisk förstärkning: $G_s = -0.378$

Se även figur 6:20

I parametervektorn: tal inom parentes = standardavvikelse.

Tabell 6: 6

Sjölunda experiment 730711

Modell: $f(1, SSIN(0, 2))$

Förkortad beteckning på modellen: SL11

Insigalener Transportfördröjning, k_1

Utsignal: SLUT

SSIN 2

$\lambda = 0.204$

max/grad V/ = $0.37 \cdot 10^{-8}$

Parametervektor:

$a_1 = -0.641 (\pm 0.151)$

skalfaktor

0.1

$b_{s0} = -0.116 (\pm 0.081)$

0.01

$c_1 = -0.0078 (\pm 0.213)$

Rötterna till parameterpolynomen:

$A^+ : 0.641$

$G^+ : 0.00775$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: -0.0445

Statisk förstärkning: $G_s = -0.323$

Se även figur 6:21

I parametervektorn: tal inom parantes = standardavvikelse.

Tabell 6: 7

Sjölunda experiment 730713

Modell: $f(1, \text{SSIN}(0,3))$

Förkortad beteckning på modellen: SL13

Insignaler	Transportfördröjning, k_1	Utsignal: SLUT
SSIN	3	

$\lambda = 0.343$

max/grad V/ = $0.64 \cdot 10^{-5}$

Parametervektor:

$a_1 = -0.211 (\pm 0.140)$

skalfaktor

0.1

$b_{s0} = 0.0779 (\pm 0.3316)$

0.01

$c_1 = 0.683 (\pm 0.132)$

Rötterna till parameterpolynomen:

$A^+ : 0.211$

$C^+ : -0.683$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: -0.155

Statisk förstärkning: $G_s = 0.099$

Se även figur 6: 22

I parametervektorn: tal inom parantes = standardavvikelse.

Tabell 6: 8

Sjölunda experiment 730717

Modell: $f(1, \text{SSIN}(0, 2))$

Förkortad beteckning på modellen: SL17

Insignaler Transportfördröjning, k_i

Utsignal: SLUT

SSIN 2

$\lambda = 0.163$

max/grad V/ = $0.72 \cdot 10^{-7}$

Parametervektor:

$a_1 = -0.889 (\pm 0.093)$

skalfaktor

0.1

$b_{s0} = -0.0213 (\pm 0.0478)$

0.01

$c_1 = -0.459 (\pm 0.158)$

Rötterna till parameterpolynomen:

$A^+ : 0.889$

$C^+ : 0.459$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: -0.0117

Statisk förstärkning: $G_s = 0.192$

Se även figur 6:23

I parametervektorn: tal inom parantes = standardavvikelse.

Tabell 6: 9

Sjölunda experiment 730712

Modell: $f(1, \text{SSIN}(0,2), \text{SAVR}(0,5))$

Förkortad beteckning på modellen: SLAVR12

Insignaler	Transportfördröjning, k_i	Utsignal: SLUT
SSIN	2	
SAVR	5	

$\lambda = 0.419$

$\max/\text{grad } V/ = 0.35 \cdot 10^{-3}$

Parametervektor:

$a_1 = -0.920 (\pm 0.024)$

skalnfaktor

0.1

$b_{s0} = 0.160 (\pm 0.031)$

0.01

$b_{a0} = 0.125 (\pm 0.030)$

0.01

$c_1 = -0.682 (\pm 0.197)$

$F(\text{SL12}, \text{SLAVR12}) \approx 44$

$F(\text{AVR12}, \text{SLAVR12}) = 9.9$

Rötterna till parameterpolynomen:

$A^+ : 0.920$

$C^+ : 0.682$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: -0.00834

Statisk förstärkning: $G_s = 2.01$

$G_a = 1.57$

Se även figur 6: 25

I parametervektorn: tal inom parantes = standardavvikelse.

Tabell 6:10

Sjölunda experiment 730712

Modell: $f(1, \text{SSIN}(0,2))$

Förkortad beteckning på modellen: SL12

Insignaler Transportfördröjning, k_i

Utsignal: SLUT

SSIN 2

$\lambda = 0.591$

max/grad V/ = $0.70 \cdot 10^{-6}$

Parametervektor:

$a_1 = -0.932 (\pm 0.050)$

skalfaktor

0.1

$b_{s0} = 0.176 (\pm 0.073)$

0.01

$c_1 = -0.209 (\pm 0.159)$

Rötterna till parameterpolynomen:

$A^+ : 0.932$

S

$C^+ : 0.209$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: -0.00700

Statisk förstärkning: $G_s = 2.61$

I parametervektorn: tal inom parantes = standardavvikelse.

Tabell 6:11

Sjölunda experiment 730712

Modell: $f(1, \text{SAVR}(0,5))$

Förkortad beteckning på modellen: AVR12

Insignaler

Transportfördröjning, k_i

Utsignal: SLUT

SAVR

5

$\lambda = 0.463$

max/grad V/ = $0.83 \cdot 10^{-6}$

Parametervektor:

$a_1 = -0.895 (\pm 0.043)$

skalfaktor

0.1

$b_{a0} = 0.148 (\pm 0.049)$

0.01

$c_1 = -0.309 (\pm 0.135)$

Rötterna till parameterpolynomen:

$A^+ : 0.895$

$C^+ : 0.309$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: -0.0111

Statisk förstärkning: $G_a = 1.41$

I parametervektorn: tal inom parantes = standardavvikelse.

Tabell 6:12

Sjölunda experiment 730716

Modell: $f(1, \text{SSIN}(0,2), \text{SQ}(0,1))$

Förkortad beteckning på modellen: SLQ16

Insigaler	Transportfördröjning, k_i	Utsignal: SLUT
SSIN	2	
SQ	1	

$\lambda = 0.347$

max/grad V/ = $0.10 \cdot 10^{-3}$

Parametervektor:

$a_1 = -0.510 (\pm 0.079)$

skalffaktor

0.1

$b_{s0} = 0.285 (\pm 0.042)$

0.01

$b_{q0} = 0.0318 (\pm 0.0223)$

1

$c_1 = -0.629 (\pm 0.154)$

$F(\text{SL16}, \text{SLQ16}) = 1.4$

$F(\text{Q16}, \text{SLQ16}) = 29$

Rötterna till parameterpolynomen:

$A^+ : 0.510$

$C^+ : 0.629$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: -0.0674

Statisk förstärkning: $G_s = 0.58$

$G_q = 0.06$

Se även figur 6:26

I parametervektorn: tal inom parantes = standardavvikelse.

Tabell 6: 13

Sjölunda experiment 730716

Modell: $f(1, \text{SSIN}(0, 2))$

Förkortad beteckning på modellen: SL16

Insignaler Transportfördröjning, k_1 Utsignal: SLUT

SSIN 2

$\lambda = 0.352$

max/grad V/ = $0.52 \cdot 10^{-4}$

Parametervektor:

$a_1 = -0.491 (\pm 0.093)$

skalfaktor

0.1

$b_{s0} = 0.284 (\pm 0.049)$

0.01

$c_1 = -0.494 (\pm 0.183)$

Rötterna till parameterpolynomen:

$A^+ : 0.491$

$C^+ : 0.494$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: -0.0712

Statisk förstärkning: $G_s = 0.56$

I parametervektorn: tal inom parantes = standardavvikelse.

Tabell 6: 14

Sjölunda experiment 730716

Modell: $f(1, SQ(0,1))$

Förkortad beteckning på modellen: Q16

Insignaler Transportfördröjning, k_i Utsignal: SLUT

SQ 1

$\lambda = 0.442$

max/grad V/ = $0.13 \cdot 10^{-6}$

Parametervektor:

$a_1 = -0.777 (\pm 0.121)$

skal faktor

0.1

$b_{q0} = 0.0345 (\pm 0.0435)$

1

$c_1 = -0.0595 (\pm 0.1887)$

Rötterna till parameterpolynomen:

$A^+ : 0.777$

$C^+ : 0.0595$

Polerna till motsvarande kontinuerliga system: -0.0253

Statisk förstärkning: $G_q = 0.16$

I parametervektorn: tal inom parentes = standardavvikelse.

VII. NÅGRA ALLMÄNNA SYNPUNKTER

Reglerteknik och avloppsteknik

Dessa två discipliner har hittills i stor utsträckning utvecklats oberoende av varandra. På senare tid har emellertid idén om en symbios framkastats för att om möjligt med reglertekniska metoder söka komma till rätta med de driftsproblem, som föreligger vid dagens reningsverk.

Argumenten för detta är, att man med en effektiv styrning av processerna skulle kunna hålla en bättre kvalitet på utgående vatten samt att minska riskerna för kollaps av processerna, eftersom man i tid hinner vidtaga nödiga åtgärder. Då man i framtiden kan vänta skärpta krav på instrumentering av reningsverk, är den första förutsättningen för reglering uppfylld, nämligen indikering. Man kan även i framtiden vänta, att man i större utsträckning än idag kommer att använda datorer för insamling av mätvärden och loggning och i så fall kommer även en god regulator att finnas. Det som återstår att installera är i så fall endast ställdon, som kan verkställa de av datorn kommenderade styråtgärderna. Den här skisserade utvecklingen kan främst förväntas på större verk, då man vid mindre verk förmodligen kan uppnå samma reningsförbättring med en utbyggnad. Dessutom är följderna av en kollaps på ett mindre verk ej lika ödesdiga som vid de större.

Det är inte bara de praktiska förutsättningarna för reglering, som idag saknas, utan minst i lika stor utsträckning de teoretiska. De dynamiska förhållandena i processerna är till stor del okända och en större förståelse av dessa är nödvändig för att möjliggöra styrning.

Avloppsneten

Huvudfunktionen hos ett avloppsnet är att transportera avlopp från vattenförbrukaren till en mottagande recipient.

Huvuddelen av dessa nät är anlagda under den tid, då man ej funderade på att rena vattnet. Detta har fått till följd att näten består av ett rör, där hushållsavlopp, industriutsläpp och regnvädersavrinning blandas. Häri ligger huvudorsaken till avloppsvattnets heterogena sammansättning.

En stor del av driftsproblemen vid reningsverken har sitt ursprung häri. De varierande flödena, den stora utspädningen och de utslagna bakteriekulturerna på grund av giftutsläpp, för att nämna några.

Ett alternativ eller ännu hellre komplement till reglering vore ett radikalt nytänkande på detta område.

En tänkbar utväg ur dilemmat vore att separera avloppsvattnet i olika typer, som sedan behandlades med den mest rationella metoden. Denna separation måste i så fall ske redan vid källan. För att klara transporten i de idag befintliga näten kan man tänka sig att pumpa de olika typerna vid olika tidpunkter så att blandning undviks. Alternativt kan vattnet borttransporteras i tankvagn, en metod som provats i Japan och i USA betr. visst industriutsläpp. Båda metoderna förutsätter dock, att lagringstankar finns i anslutning till förbrukaren. Vidare krävs lagringsmöjligheter i anslutning till reningsverken, då den kontinuerliga tillförseln upphör. Detta får som följd, att även problemen med flödesvariationerna upphör, då önskat flöde med lätthet kan tas ur tanken. Det bör påpekas, att med de flöden man har vid de större verken, kan det bli fråga om mycket stora tankar.

För att i framtiden komma till rätta med giftutsläppen finns bara en utväg. De beslutande måste på ett eller annat sätt tillse, att det blir billigare för industrin att rena sina avlopp i stället för att släppa ut dem i det kommunala avloppsnätet. Detta kan ske med lagstiftning eller avgifter, men förutsättningen är dock att efterlevnaden kan kontrolleras, vilket det idag i vissa fall inte finns teknik för. Detta skulle inte bara få goda följder för reningsverksdriften utan även vara resursbesparande. Mycket av det gift som idag spolas ut skulle med lite ansträngning kunna återvinnas för att användas i produktionen igen.

Då vi ej ansett oss kompetenta att analysera de ekonomiska konsekvenserna av de här givna förslagen har vi avstått från detta.