

Reglering av en biologisk reningsanläggning

Anders Bergvall

Luleå tekniska universitet
Civilingenjörsprogrammet
Elektroteknik
Institutionen för Systemteknik
Avdelningen för Reglerteknik

Abstract

This report describes the work with a controller for the dosing of nourishment in a biological wastewater plant. The plant treats the water with microorganism which needs extra dosage of nitrogen and phosphor to keep a high efficiency. It's been shown that variations of the dirt in the wastewater make the microorganism use different amount of nourishment.

A simulations model over the plant was created to compare different controllers. Simulation shows that the control becomes better with a feedforward of the dirt in the influent.

Sammanfattning

Rapporten beskriver arbetet med att ta fram en regulator för dosering av närsalter i en biologisk reningsanläggning. Anläggningen som renar vatten med mikroorganismer behöver extra tillsatser av kväve och fosfor för att effektiviteten ska vara så hög som möjligt. Det har visats att variationer av föroreningar i avloppsvattnet kräver olika mängder tillsatser av kväve och fosfor.

En simuleringsmodell för anläggningen tas fram för att användas till en jämförelse mellan olika regulatorer. Simuleringar visar att man kan förbättra regleringen genom att använda sig av framkoppling av mängden föroreningar i inloppsvattnet.

Innehåll

FÖRORD	5
1. INLEDNING	6
1.1 INTRODUKTION.....	6
1.2 BAKGRUND	6
1.3 SYFTE	6
1.4 RAPPORTENS UPPLÄGG	6
2. LITTERATURSTUDIE	7
2.1 ALLMÄNN AVLOPPSRENING.....	7
2.2 BIOLOGISK AVLOPPSRENING	7
3. GRUNDLÄGGANDE REGLERTEORI	8
3.1 GRUNDLÄGGANDE REGLERPRINCIPER.....	8
3.2 INSTÄLLNING AV PARAMETRARNA I REGULATORERNA	10
4. PROCESSEN	11
4.1 BESKRIVNING AV ANLÄGGNINGEN.....	11
4.2 NUVARANDE STYRSÄTT.....	15
4.2.1 Närsaltdoseringen.....	15
4.2.2 Syredoseringen.....	18
4.3 STYRSYSTEM.....	18
4.4 SENSORER	18
4.5 PROBLEM VID FELAKTIG DOSERING	19
5. MODELLERING OCH SIMULERING	20
5.1 OM ARBETET	20
5.2 MATEMATISK HÄRLEDNING AV SYSTEMET	20
5.3 SIMULERING OCH VALIDERING	23
5.4 SIMULERING AV OLIKA REGULATORER	26
6. RESULTAT OCH DISKUSSION	31
6.1 RESULTAT FRÅN SIMULERINGAR	31
6.2 FRAMKOPPLINGSREGULATORN I VERKLIGHETEN.....	31
6.3 FORTSATT ARBETE, UTVECKLING AV REGULATOR	32
A. SIMULINKMODELLER	33
B. RESULTAT	35
LITTERATURFÖRTECKNING	38

Förord

Arbetet har utförts under perioden april – oktober 2006, till största delen på Smurfitkappa Kraftliner i Piteå. Uppgiften formulerades på initiativ av Smurfitkappa eftersom de haft problem med svängningar i överskottet av närsalter.

Jag vill tacka alla på avdelningen som på olika sätt hjälpt mig i arbetet och varit trevliga i största allmänhet. Framförallt Björn Pudas som också var min handledare. Dessutom tack till Ingemar Lundström och Mikael Johansson som ansvarar för anläggningen.

Kapitel 1

Inledning

1.1 Introduktion

En bioreningsanläggnings uppgift är att rena vatten från organiska ämnen. Hur denna anläggning fungerar och hur regleringen av den kan förbättras behandlas i detta examensarbete.

1.2 Bakgrund

För att en fabrik ska få tillverka papper så måste man ta hand om avfallet. När man tillverkar papper blir det mycket avfall i form av organiska ämnen i vattnet. Stora organiska partiklar kan separeras med sedimentering eller flotation. De mindre partiklarna tar för lång tid att rena på detta sätt och därför använder man en bioreningsanläggning. Organismer äter upp de organiska ämnena så att de snabbare kan sedimenteras. Det sedimenterade slammet kan man bränna i en ugn, eller gör om till jord. Vatten som är kvar släpper man ut i vattendragen. Klarar inte fabriken att följa miljökraven så blir det svårt att få godkänt för att öka produktionen, eller i värsta fall måste fabriken läggas ner.

1.3 Syfte

Syftet med examensarbetet är att utvärdera och jämföra olika reglermetoder, för styrning av närsaltöverskottet, för att komma till rätta med de problem som finns. För att skapa sig en ökad förståelse så var omfattande litteraturstudier nödvändiga. Ett delmål för att uppnå en förbättrad reglering var att ta fram en modell för reningsanläggningen för att kunna simulera olika typer av reglermetoder och störningar.

1.4 Rapportens upplägg

I det andra kapitlet kommer det att ges en kort presentation av Smurfitkappas reningsanläggning och dess process. Andra kapitlet innehåller mestadels fakta om olika vattenrensningssätt så att läsaren får en övergripande förståelse av anläggningen. Det tredje kapitlet ger en övergripande förklaring av olika reglermetoder. I fjärde kapitlet förklaras processen, hur nuvarande regleringen går till samt exempel på problem som finns. Vidare i femte kapitlet tas en modell över anläggningen fram samt simuleras och jämförs olika regulatorer. Rapporten avslutas med en resultatdel och diskussion av resultaten.

Kapitel 2

Litteraturstudie

2.1 Allmän avloppsrening

Vatten kan renas på många olika sätt, mekaniskt, kemiskt eller biologiskt. Den vanligaste reningsmetoden är sedimentering. Partiklar avskiljs med gravitationen genom att de partiklar som är tyngre än vatten sjunker till botten. Det är dock endast möjligt att rena vattnet på detta sätt om partiklarna har en viss storlek. Är partiklarna för små så går sedimenteringen för långsamt.[1]

En annan mycket vanlig reningsprocess är flotation där man renar vatten genom att blåsa in luft i en bassäng. Hydrofoba partiklar häftar vid luftbubblorna och tillsammans blir deras densitet lägre än vatten. Dessa partiklar kan sedan avlägsnas med en skrapa.[1]

Man kan även rena vattnet med kemisk rening. Genom att tillsätta olika typer av kemikalier så kommer föroreningarna att bilda flockar som sedan kan filtreras bort genom t.ex. sedimentering eller flotation.

2.2 Biologisk avloppsrening

En biologisk reningsanläggning är speciellt effektiv för att få bort små organiska partiklar. Man använder sig av bakterier som äter upp de små föroreningarna. Bakterierna i sin tur äts upp av större organismer som sedan kan sedimenteras. Ju mindre kolföreningarna är desto snabbare bryts de ner av organismerna. De minsta molekylerna så som metanol kan transporteras genom cellmembranet hos bakterierna och brytas ner direkt medan de större först måste spjälkas med enzymer innan de kan bli tillgängliga för bakterierna. De riktigt stora molekylerna, långa trädfibrer, tar väldigt lång tid att bryta ner för en bakterie, så pass lång tid att det oftast inte bryts ner i en bioreningsanläggning. Av dessa anledningar använder man sig ofta av en sedimenteringsbassäng innan bioreningssteget för att avskilja de största partiklarna som bakterien ändå inte skulle kunna bryta ner.

Det finns två typer av bioreningsanläggningar, aerob eller anaerob. Den första tillför man syre i och den andra gör man det inte. Den biologiska reningsanläggningen i Piteå är av typen aerob.

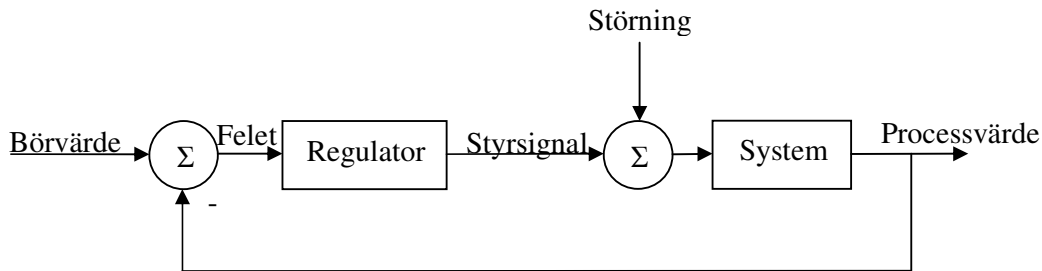
För att organismen ska kunna överleva och reproduceras så behövs energi, kol till nytt cellmaterial, oorganiska ämnen så som kväve, fosfor, svavel, magnesium, kalcium mm. och rätt miljöfaktorer. Energin kommer oftast från nedbrytningen av kol. Industrivatten innehåller ofta för lite oorganiska material för att bakterien ska kunna reproduceras. En tillsats av kväve och fosfor är därför nödvändigt. Mängden tillgängliga kolföreningar styr behovet av oorganiska ämnen som bakterien behöver. Det finns en tumregel som säger att om det finns 100 delar tillgängligt kol så behöver bakterien 5 delar kväve och 1 del fosfor [2]. De främsta miljöfaktorerna är pH och temperatur. Man har observerat att en ökning med 10°C fördubblar tillväxthastigheten av bakterierna upp till den optimala temperaturen som är beroende på vilken typ av bakterie man har. Man har också kunna observera att rätt pH-värde är viktigt för bakteriens tillväxthastighet. De flesta bakterierna kan inte tolerera ett pH högre än 9,5 eller lägre än 4,0. Generellt så ligger det optimala pH-värdesintervallet mellan 6,5 och 7,5. [1]

Kapitel 3

Grundläggande reglerteori

3.1 Grundläggande reglerprinciper

Reglerteknik är läran om automatiska system. Ta t ex en vattentank, med ett utflöde, som ska hålla jämn nivå. En person vrider på en kran och fyller på tanken om nivån går neråt eller öppnar kranen om nivån stiger. Detta är en manuell styrning. Kopplar man en nivåmätare direkt till en kontrollerbar ventil så blir det ett automatiskt system. Det de flesta reglertekniska system har gemensamt är att en eller flera saker ska kontrolleras till ett önskat sätt. I ett hus önskar man hålla temperaturen så jämn som möjligt för att skapa en trivsam miljö. Det är alltså temperaturen som ska kontrolleras. I bioreningsbassängen är det temperaturen, pH-värdet, fosforöverskott, kväveöverskott mm, som ska kontrolleras. Regulatorns uppgift i ett system är att med hjälp av information om felets storlek bilda styrsignalen. En vanlig regulatorstruktur med återkoppling kan ses i figur 3.1.



Figur 3.1 – Principskiss av en återkoppling

En regulatoralgoritm är oftast byggd av en till tre delar. De tre delarna som används är P, I och D. Dessa kan sammansättas till olika regulatorer t ex P, PI, PD och PID. Det är själva processen som ska styras som avgör vilken regulatorstruktur som passar bäst. Den i praktiken vanligaste regulatorn är PI-regulatorn [4]. Figuren 3.1 kan vara en av de nämnda regulatorerna.

Den P-delens uppgift är förändra styrsignalen proportionerligt mot felet. Fel värde på P-delen medför instabilitet och självsvängningar.

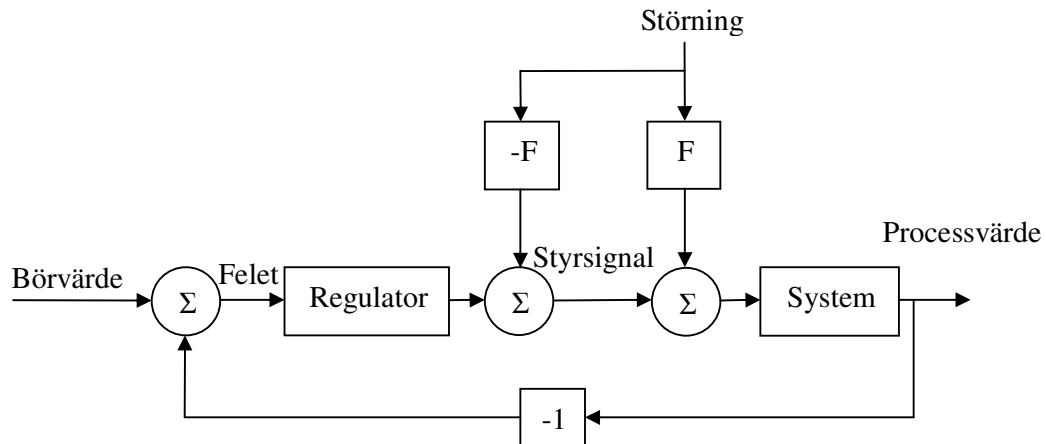
I-delen skapar en integral av felet. Värdet man anger för I-delen är i tidsenheter och det bestämmer hastigheten på integreringen. Storleken på signalen från I-delen är beroende på storleken på felet, är felet större än noll så blir utsignalen från I-delen strikt negativ, är felet mindre än noll så blir utsignalen strikt positivt. På så sätt kommer konstanta fel att regleras bort med tiden.

D-delen fungerar så att utsignalen är skilt från noll enbart då signalen ändras. Denna del hos en PID-regulator har främst två fördelar, öka snabbheten och förbättra stabiliteten. D-delen används sällan ensam.

För att regulatorn ska fungera tillfredställande krävs det att man ställer in parametrarna för varje del i regulatorn.

Dessa regulatorer har dock en begränsning. Reglering sker först när förändringen syns i utsignalen så, är systemet långsamt blir också regleringen långsam. Störningar som sker i början av systemet kommer då att få stora konsekvenser innan regulatorn kan börja kompensera. Det man då kan göra är att kompensera för störningen direkt den börjar påverka

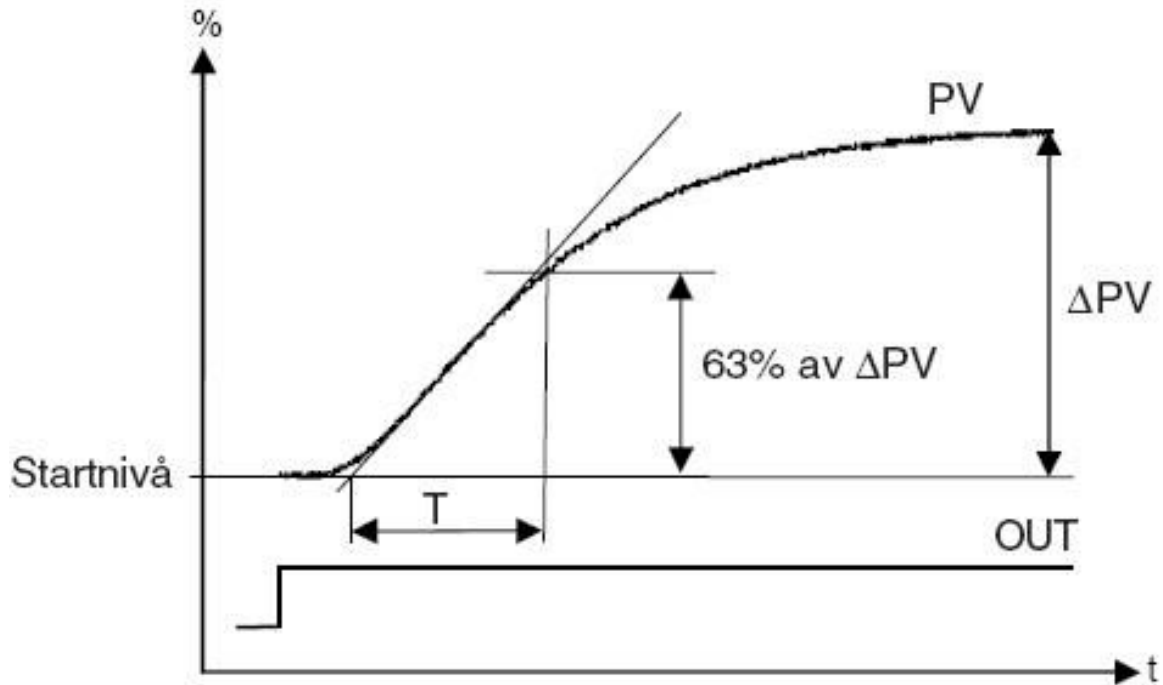
systemet, men detta förutsätter att man kan mäta störningen på nåt sätt. I figur 3.2 visas en typisk framkopplingskompensering av en mätbar störning. I det ideala fallet är mätningen av störningen perfekt och framkopplingskompenseringen eliminerar hela störningen, detta är dock aldrig fallet i praktiken eftersom varken mätgivare eller störningar är ideala. Därför brukar man oftast kombinera framkopplingen med en återkoppling (se figur 3.2).



Figur 3.2 – Principskiss av en framkoppling

3.2 Inställning av parametrarna i regulatorerna

P, I och D delens parametrar är K_c , T_I och T_d respektive. Enheterna för T_I och T_d är i tid medan K_c är enhetslös. Har man en PI-regulator kan man använda sig av Lambda-metoden för att få bra värden på T_I och K_c . Det är en mycket vanlig metod inom pappersindustrin. Metodnamnet kommer från att man använder en variabel lambda som beskriver det slutna systemets egenskaper i form av snabbhet och förmåga att dämpa störningar [4]. För att kunna använda metoden krävs det att man känner till processens dynamik och då främst dödtid, tidsfördröjning och statiska förstärkningen, se figur 3.3.



Figur 3.3 – Processens dynamik

Dötidens betecknas oftast med L och är den tid från att styrsignalen ändrades tills att en ändring på utsignalen syns. Den statiska förstärkningen, är skillnaden mellan insignalen och slutvärdet hos systemet båda angivna i procent och har beteckningen K_p . Tidsfördröjningen betecknas med T och är i princip den tid det tar för systemet att komma upp till 63% av den statiska förstärkningen. Ekvationerna (3.1) och (3.2) visar hur man beräknar parametrarna.

$$T_I = T \quad (3.1)$$

$$K_c = \frac{T_I}{K_p(\lambda + L)} \quad (3.2)$$

Där λ kan väljas mellan 1 och 3 beroende på vilka egenskaper man vill ha på regleringen. Ett mindre val på λ medför snabbare reglering men risken för instabilitet ökar.

Har man en annan form av regulator t ex PID då finns det ingen säker metod att använda utan bara tumregler, som t ex Ziegler-Nichols metod, som ger ett ungefärligt första val på parametrarna.

Kapitel 4

Processen

4.1 Beskrivning av anläggningen

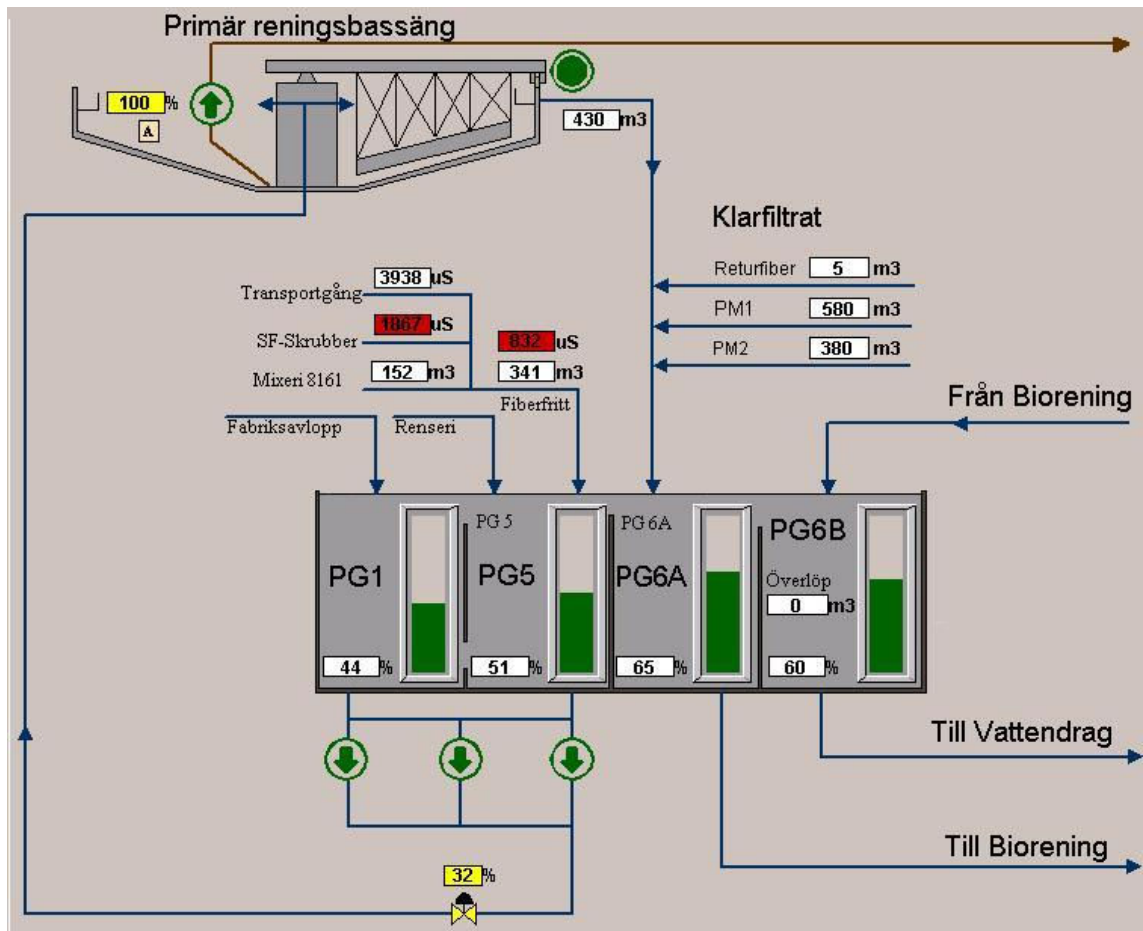
Fabrikens olika avloppsflöden kommer till ett uppsamlingskar, se figur 4.1. Vatten från renseriet, golvbrunnar och mixeriet går till uppsamlingskaren PG1 och PG5. Därifrån pumpas vattnet vidare till den primära sedimenteringsbassängen. Här avskiljer man de större partiklarna från vattnet. Vidare transporteras detta vatten till uppsamlingskaret PG6A. Hit kommer även klarfiltrat från pappersmaskinerna och returfiberanläggningen. Klarfiltrat är vatten där de största partiklarna har tagits bort med olika filtreringsmetoder.

Vattnet från PG6A pumpas in i bioreningsbassängens MBP-steg, se figur 4.2. Den optimala temperaturen för bakterierna i bassängen är mellan 36-37°C och därför måste vattnet kylas, eller värmas, med värmeväxlare. I MBP-steget tillsätter man också närsalterna, fosfor och kväve, i form av fosforsyra och en urea-lösning. Man tillsätter även antingen lut eller svavelsyra för att pH-neutralisera vattnet. I bassängen transporteras vattnet från MBP-steget vidare till S1¹, se figur 4.2, där man också tillsätter bioslam i samma mängd som inloppsvattnet. Detta bioslam innehåller organismer som har till uppgift att bryta ner föroeningarna till koldioxid. Från S1 transporteras vattnet vidare till S2, S3, L1² och sist till L2, se figur 4.3. Från L2 strömmar vattnet genom självfall till den sekundära reningsbassängen, se figur 4.2. Här avskiljer man bioslammet från vattnet genom sedimentering. Bioslammet sjunker till botten och pumpas till en avvattningsstation där man pressar ut det sista vattnet.

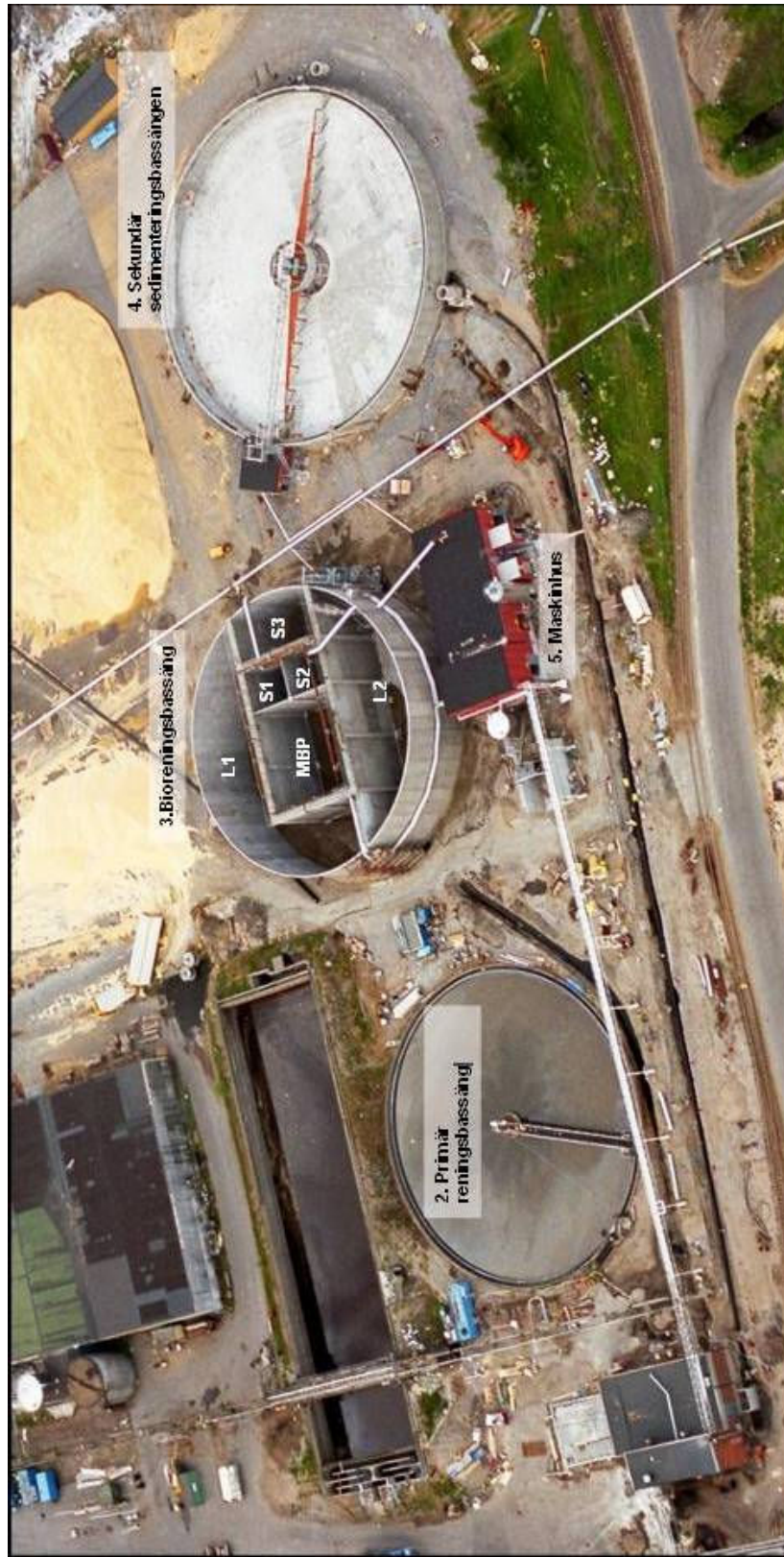
I botten på hela bioreningsbassängen pumpas det in syre. Syret skapar ett aerobt förhållande för bakterierna, samtidigt som det blandar om alla kemikalier med avloppsvattnet. I sista bassängen, L2, så mäter man överskottet av fosfor och kväve.

¹ S1 står för selektor 1.

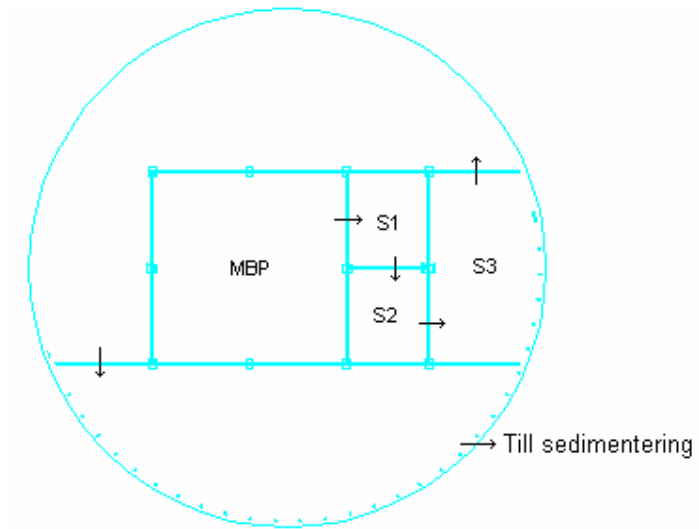
² L1 står för luftning 1



Figur 4.1 – Fabriken avloppflöden in till avloppsstation



Figur 4.2 - Översiktsbild



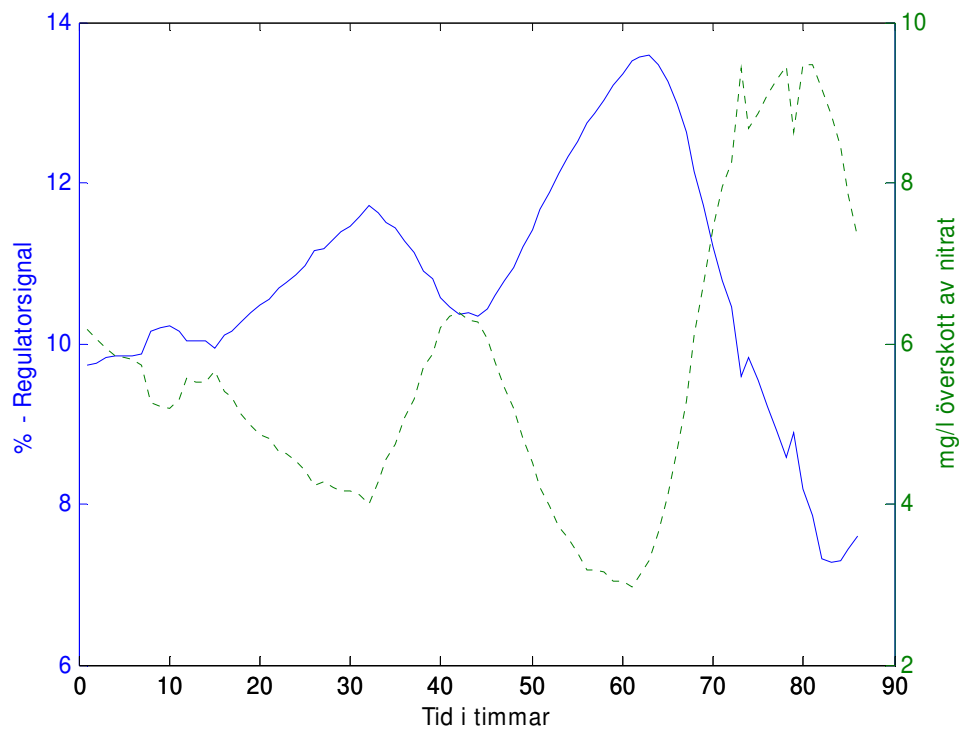
Figur 4.3 – Vattnets flöde genom bassängen

4.2 Nuvarande Styrsätt

4.2.1 Närsaltdoseringen

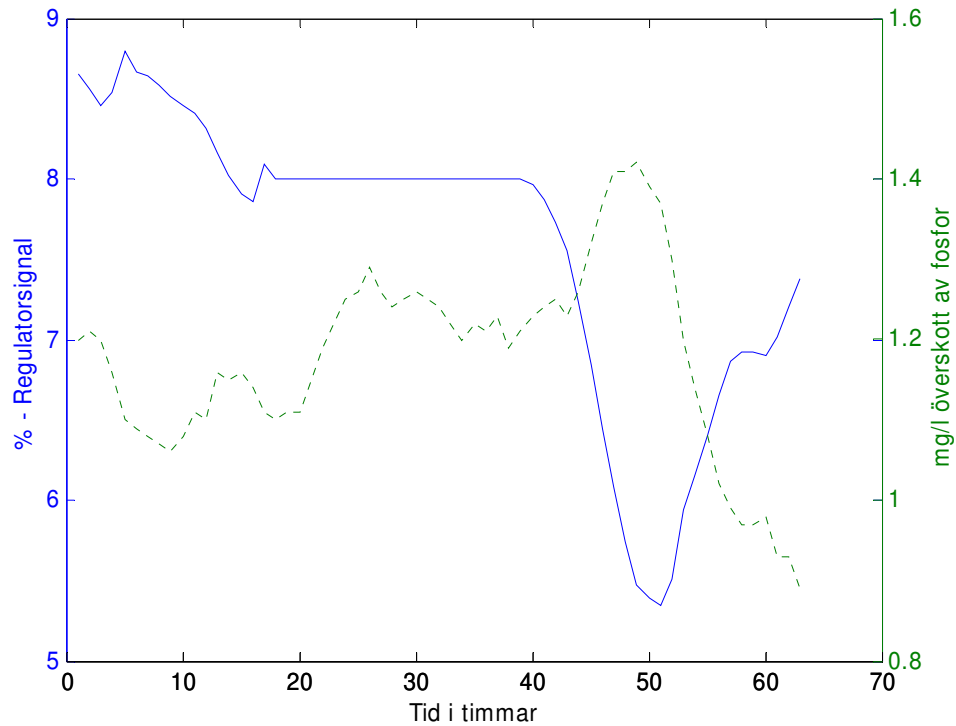
För att uppnå optimalt närsaltförhållande för bakterierna så vill man ha ett visst överskott i slutet av bassängen. Detta för att bakterierna växer i flockar och finns det under en viss koncentration så kan inte ämnena ta sig in till mitten av flocken. Det finns därför två mätgivare i sista steget i bassängen. Ena mätgivaren mäter överskottet av fosfor och den andra mäter överskottet av nitrat. Man har även gjort så att den mängd av närsalter som pumpas in är i förhållande till mängden avloppsvatten. Man har valt att göra på detta sätt för att man vill att insignalen ska vara en koncentration av ämnet. Mängden närsalter som ska doseras bestäms av en PI-regulator och utifrån felet mellan börvärdet och det uppmätta värdet i slutet av bassängen. Det är operatören tillsammans med miljötekniker som bestämmer hur mycket överskottet ska vara genom att analysera vattnet i bassängen under mikroskop. Det är ytters ovanligt att man ändrar börvärde.

Den mest signifikanta störsignalen är mängden kolföreningar i vattnet. Man vet att om vattnet innehåller mycket kolföreningar så behöver bakterierna mera närsalter. För att försöka ta hänsyn till detta ändrar operatören doseringskoncentrationen utifrån olika körsätt i fabriken som kan generera mera föreningar i vattnet. Det finns dock stora problem med detta och det är om det sker oförutbestämda händelser. Inställningsparametrarna i regulatorerna är plockade efter uppskattningar i olika grafer. I figur 4.4 kan man se ett exempel på problem som kan uppstå.



Figur 4.4 – Den blåa, heldragna, grafen är signalen ut från regulatören och den gröna streckade är mätgivarens signal. Vid cirka $t=20$ börjar nitratöverskottet att sjunka och regulatören ökar på för att kompensera. Vid $t=30$ så vänder överskottet eftersom regulatören har ökat för mycket för snabbt. Regulatören försöker hela tiden motverka avvikelsen, men av okända anledningar misslyckas den.

Andra problem som kan uppstå kan ses i figur 4.5.



Figur 4.5 – Styrsignalen till doseringspumpen är den blåa med enheten procent och utsignalen från mätgivaren den gröna med enheten mg/l. Utsignalen i det här fallet är mängden överskott av fosfor som finns kvar i slutet av bassängen. Här kopplades regulatorn bort och insignalen lades konstant. Skulle man inte ha några störningar så skulle den gröna streckade utsignalen följa den blåa. När sen regulatorn kopplades in vid $t=40$ så börjar insignalen sjunka, eftersom koncentrationen är något högre än börvärdet, och då stiger det uppmätta överskottet. Denna toppen är orsakad av störningar och det är främst dessa toppar man vill reglera bort.

4.2.2 Syredoseringen

För närvarande finns det ingen styrning av syret till de olika facken i bassängen, utan man tillsätter rikliga mängder för att bassängen ska bli ordentligt omblandad. Det finns mätgivare i två delar av bassängen, en i början och en i slutet. Skulle mängden syre inte räcka till för att syresätta vattnet så drar man ner på mängden avloppsvatten till anläggningen eller ökar på kompressoreffekten så att man får in mera syre. Styrningen av kompressorn sker helt manuellt genom att en operatör trycker på en knapp. Man vet ännu inte exakt vilken syrenivå de olika mätarna ska visa för att man ska få bästa effektiviteten.

4.3 Styrsystem

Det mesta i anläggningen styrs med ett system från ABB som heter AC800. Endast kompressorerna, som ansvarar för syretillförseln, ligger i ett annat system från Siemens, men även detta är kopplat mot AC800 så att operatörerna bara behöver koncentrera sig på ett operatörssystem. För att bygga olika kretsar till AC800 använder man sig av ett program som heter Control Builder. Färdiga regulator- och filterblock finns tillgängliga i systemet. Regulatorblocken är av formen PID med möjlighet att koppla in en framkoppling av stör signaler. I PID-regulatorblocken kan man välja integrations-, deriveringstid, samt den proportionerliga konstanten. Mera avancerade regulatorer finns inte färdiga direkt i systemet.

4.4 Sensorer

I anläggningen finns ett flertal sensorer som kontinuerligt eller med jämna intervaller utför mätningar. I inloppsvattnet finns en TOC-mätgivare. TOC står för Total Organic Carbon och är den totala mängden organiskt kol. I bassängens MBP-steg finns mätgivare för temperatur, pH och syre. I den sista delen finns mätgivare för nitrat, fosfor och syre. Samtliga mätare ger kontinuerliga mätvärden med en kort fördröjning.

4.5 Problem vid felaktig dosering

Anläggningen har stora problem med driftstörningar. Vid underdosering av närsalter så trycks den önskade organismen tillbaka av andra organismer som är mera anpassade för det strama förhållandet. Dessa bakterier kallas för filament och är långa trådformade. De tenderar till att sedimentera långsammare. Dessa bakterier är också mycket sämre på att bryta ner föreningar.

Bakterierna kan ackumulera fosfor inne i cellen så en kortare underdosering påverkar inte bakteriefloran [2]. En underdosering av kväve skulle dock genast trycka tillbaka den önskade bakterien. Vid en överdosering av fosfor så får man inga direkta problem med anläggningen, men det kostar pengar och man påverkar miljön mycket negativt i form av övergödning av vattendraget.

En överdosering av kväve kan däremot medföra problem i anläggningen. Efter bioreningsanläggningen sedimenteras slam och med mycket kväve i vattnet kan sedimenteringskakan lyftas till ytan eftersom organismerna i ett anaerobt förhållande använder nitrat som substitut för syre och biprodukten är kvävgas. Det är kvävgasen som förstör sedimenteringen. När detta problem uppstår så kommer större mängder föroreningar att följa med ut till vattendragen.

Tanken med bassängen är att man i början ska ha mycket små bakterier som äter upp de små föroreningsmolekylerna för att senare i bassängen ha större organismer som äter bakterier. De större organismerna sedimenterar fortare, problemet är dock att om man har ett underskott i närsalter så får man filamentbakterier och de kan inte organismerna äta upp lika lätt.

Kapitel 5

Modellering och Simulering

5.1 Om arbetet

För att skapa sig en övergripande förståelse hur koncentrationsvariationer av närsalterna uppträder i bassängen så blev det nödvändigt att göra en förenklad modell av anläggningen. Modellen användes för att simulera olika regulatorer och parametrar i dessa. Även en analys hur störningar påverkar anläggningen testas i modellen.

5.2 Matematisk härledning av systemet

Utifrån mätdata i ritningar över bioreningsbassängen ställdes en matematisk modell upp. Tabell 5.1 visar vad variablerna betyder och dess enheter.

Tabell 5.1 - Variabelbeskrivningar

Variabel	Beskrivning	Enhet
V	Konstant volym av bassängdelen.	l
$q(t)$	Inflöde.	l/min
C	Koncentration i bassängdelen av specifikt närsalt.	mg/l
$\frac{dC}{dt}$	Förändring av koncentrationen i bassängdelen.	mg/l * min ⁻¹
u(t)	Koncentrationen i inflödet av specifikt närsalt.	mg/l
X	Koncentrationen av mikroorganismer.	mg/l
k	Konstant, förhållande mellan tillväxtbegränsande ämne och specifikt närsalt.	
S	Koncentrationen tillväxtbegränsande ämnen.	mg/l
$\hat{\mu}$	Konstant, maximala tillväxthastigheten hos bakterierna.	min ⁻¹
$\mu(S)$	Monod-ekvation, beskriven i ekvation (5.5).	
b	Konstant, dödlighetshastigheten hos organismerna.	min ⁻¹
K_s	Konstant, nedbrytningshastigheten hos det tillväxtbegränsande ämnet.	min ⁻¹
Y	Konstant, förhållande mellan skapade celler och förbrukning av tillväxtbegränsande ämnet.	

Efter studier av anläggningen så antogs det att de olika facken i bassängen kan antas som optimalt omrörda. Om man antar att det inte finns några organismer eller annat som förbrukar ämnet, eller att det finns så mycket överskott att anläggningen befinner sig i ett stabilt läge, så kan man ställa upp följande massekvation.

$$V \frac{dC}{dt} = q_{in} u(t) - q_{ut} C \quad (5.1)$$

Formel (5.1) beskriver en koncentrationsförändring genom att ta skillnaden mellan den mängd som kommer in och den som går ut. Flödet som kommer in är lika stor som mängden som går ut. Med andra ord är nivån i bassängen oförändrad och följande likhet gäller.

$$q_{in} = q_{ut} \quad (5.2)$$

Med (5.2) blir (5.1) efter omskrivningar.

$$\frac{dC}{dt} = \frac{q_{in}}{V}(u(t) - C) \quad (5.3)$$

För att utveckla modellen ännu mera kan man även inkludera biologiska faktorer som förbrukningen av ämnen när celler produceras och dör. En tillväxtbeskrivning för en typ av organism med ett ämne som begränsar tillväxten kan beskrivas enligt ekvation (5.4) nedan.

$$\frac{dX}{dt} = \mu(S)X - bX \quad (5.4.1)$$

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{1}{Y}\mu(S)X \quad (5.4.2)$$

$\mu(S)$ är Monod-ekvationen, nedan.

$$\mu(S) = \frac{\hat{\mu}S}{K_s + S} \quad (5.5)$$

Om man antar att kolet är det enda tillväxtbegränsande ämnet, dvs. S är koncentrationen kolföreningar i vattnet, och att bakterierna förbrukar en konstant mängd närsalt i förhållande till förbrukat kol så kan man kombinera (5.4.2), (5.5) och (5.3) med varandra så att man får ekvationen (5.6).

$$\frac{dC}{dt} = \frac{q_{in}}{V}(u(t) - C) - k\frac{1}{Y}\mu(S)X \quad (5.6)$$

Man skulle kunna ta hänsyn till att fler ämnen var tillväxtbegränsande, men detta skulle göra modellen komplexare. Ekvationen (5.6) förutsätter med andra ord att anläggningen har ett tillräckligt överskott av närsalter så att dessa inte blir tillväxtbegränsande. Genom att kombinera olika värden på k så kan man få förbrukningen av de olika närsalterna som organismerna använder sig av. Ekvation (5.6) implementerades i simulink, se figur (A.1).

Själva bioreningsbassängen består av sex olika delar där alla delarna är kopplade till varandra. Alltså flöde från del ett blir flöde till del två osv. Det som skiljer mellan bassängdelarna är själva volymen och till viss del inflödet eftersom det kommer in bioslam i delen S1, se figur 4.3.

Eftersom alla bassängdelar är kopplade till varandra kan man sammanlänka ekvationerna med varandra. Ut från ekvationen för bassängdel ett blir in till ekvationen för bassängdel två osv. Volymerna som ingår i ekvationerna kan plockas direkt från ritningar, se tabell 5.2.

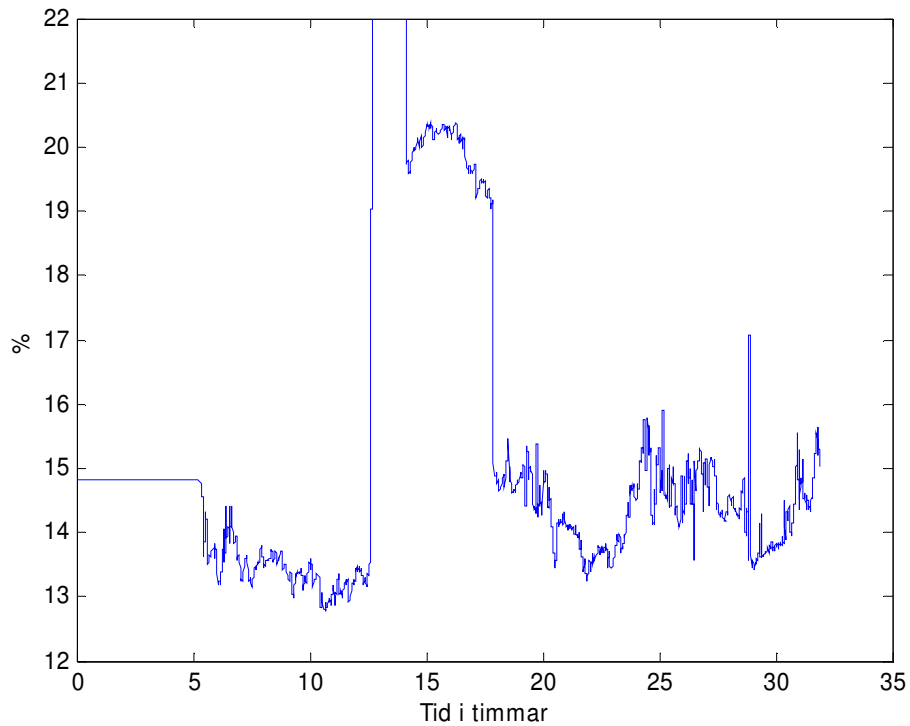
Tabell 5.2 – Volymen av bioreningsbassängen

Sektor	Volym	Enhet
MBP	3 600	m^3
S1	740	m^3
S2	740	m^3
S3	2 040	m^3
L1	7 840	m^3
L2	6 520	m^3
Total Volym	21 480	m^3

För att få rätta värdena på k , Y , K_s , $\hat{\mu}$ och b i Monod-ekvationen så kan man använda systematiska metoder, eller testa sig fram, eftersom värdena skiljer sig mellan olika anläggningar. I figur (A.2) är hela systemet gjort i simulink.

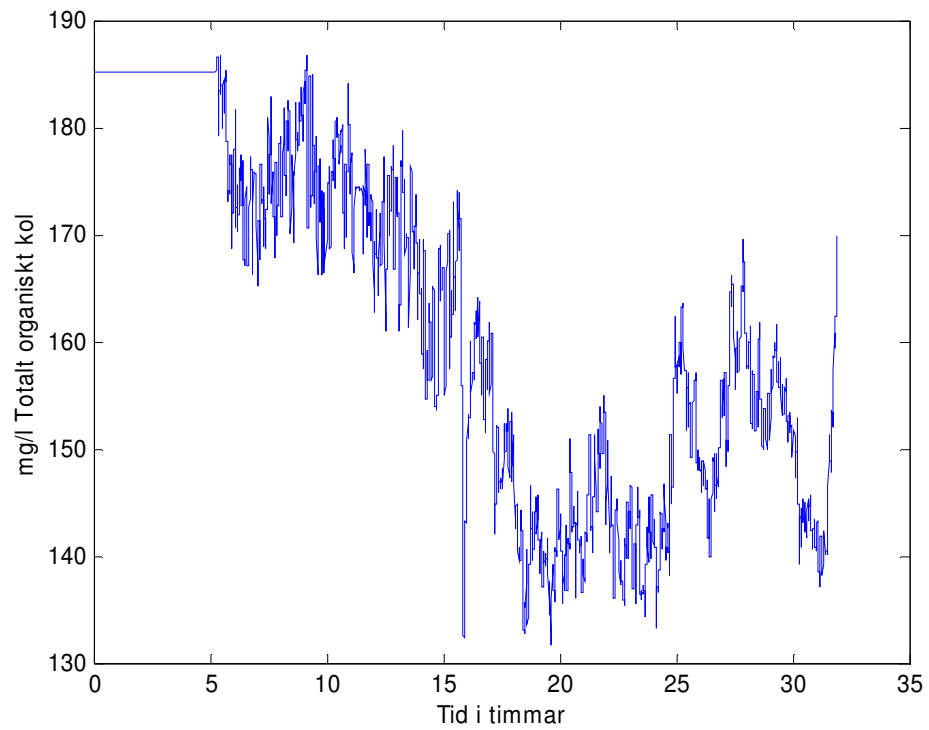
5.3 Simulering och validering

Då ett systemet är långsamt så det blev svårt att få fram tillfredställande data, eftersom olika okända störningar påverkade systemet. Loggad data från processen sparades med medelvärden varje minut. De signaler som loggades var regulatorns- och nitratsensorns utsignal samt mängden totalt organiska kolet i inloppsvattnet, från TOC-mätaren. I figur 5.1 och 5.2 kan man se de signaler som skapade ett någorlunda lämpligt stegsvar som kan ses i figur 5.3.



Figur 5.1 – Insignalen till den matematiska modellen

Figuren 5.2 visar det totala organiska kolet i inloppsvattnet under samma tid som i bilden 5.1.

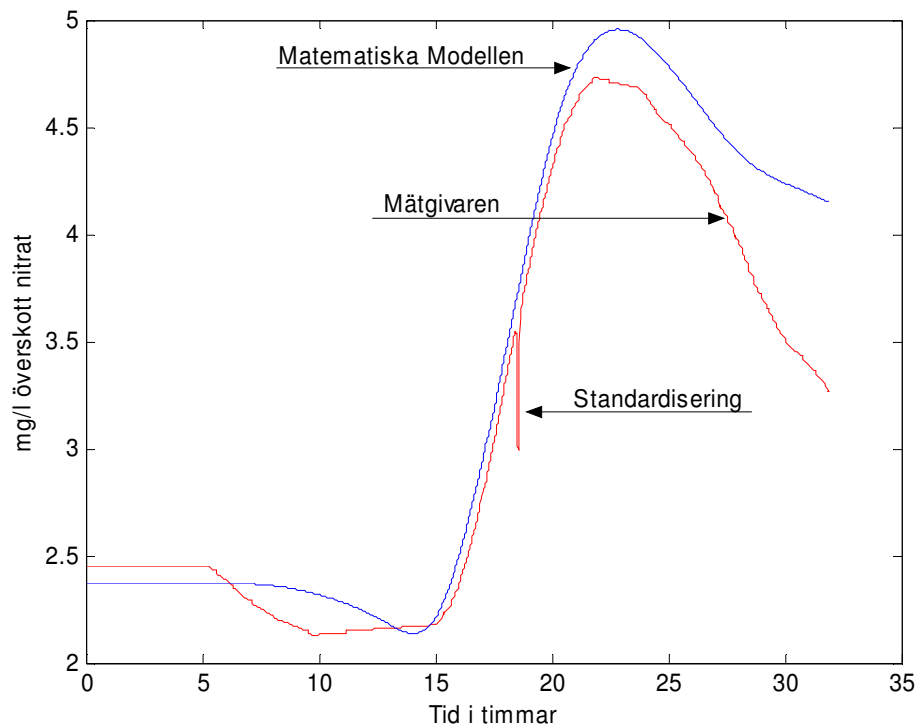


Figur 5.2 – Totalt organiskt kol i inloppsvattnet

I figur 5.3 ser man en jämförelse mellan den matematiska modellen och det verkliga systemet, för kväve. För att få bästa passningen optimerades parametrarna i Monod-ekvationen genom att test sig fram, värdena på konstanterna kan ses i tabell 5.3.

Tabell 5.3 – Värdena på konstanter i ekvationerna

Variabel	Värde
Y	0,55
k	0,082
K_s	10 min ⁻¹
$\hat{\mu}$	0,0019 min ⁻¹
b	0,000451 min ⁻¹



Figur 5.3 – Jämförelse mellan den matematiska modellen och det verkliga systemet

Modellen har även jämförts mellan större datamängder, men där gick det inte att se samma starka koppling eftersom det mest troligt är ett flertal störssignaler, som inte är mätbara, inblandade. Samtidigt som Monod-ekvationens parametrar ändras med olika faktorer. TOC-mätaren är dessutom nyligen installerad och den har inte fungerat helt tillfredställande. Under vissa perioder har data för någon dag saknas och då blir modellen fel. De gånger mätaren har fungerat och gett bra data har modellen fungerat hyfsat.

Man kan däremot se tendenser att modellen följer verkligheten i vissa fall. Alla modeller är fel men några är användbara och användbarheten i den här modellen är för optimering och testing av regulatorer.

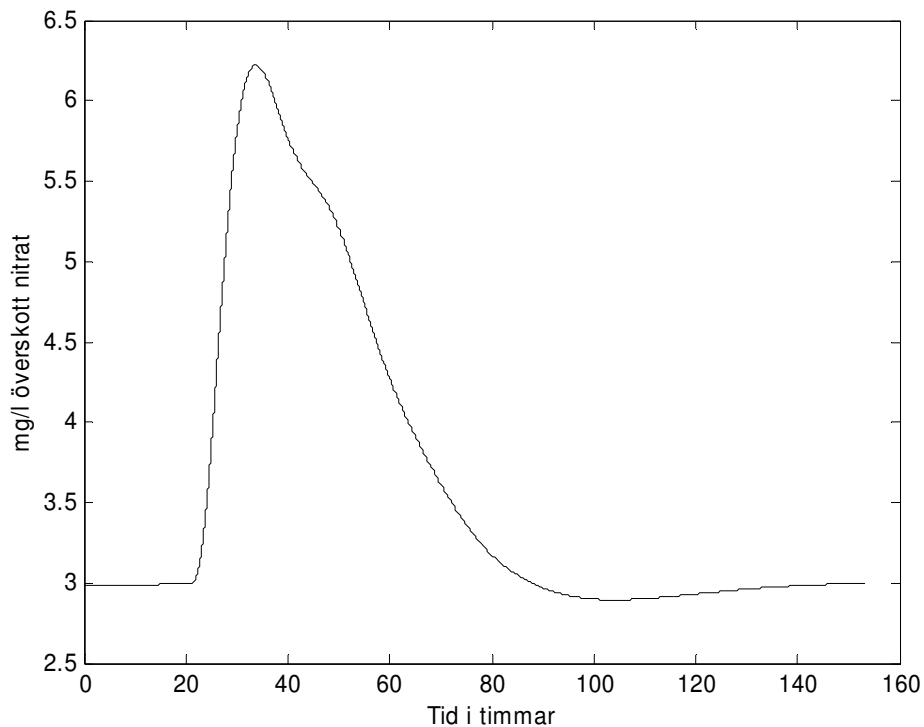
5.4 Simulering av olika regulatorer

En stegstörning gjordes på mängden totalt organiskt kol i avloppsvattnet in till bioreningsbassängen medan börvärdet hölls konstant. Olika former av regulatorer jämfördes.

Den nuvarande PI-regulatorn simulerades med konstant inflöde på $1500\text{m}^3/h$ och en stegstörning i det totala organiska kolet vid tiden 10h, se figur 5.4. Parametrarna i regulatorn kan beskådas i tabell 5.4.

Tabell 5.4 – Parametervärden på den nuvarande regulatorn

Parameter	Värde
P	0,30
I	14h

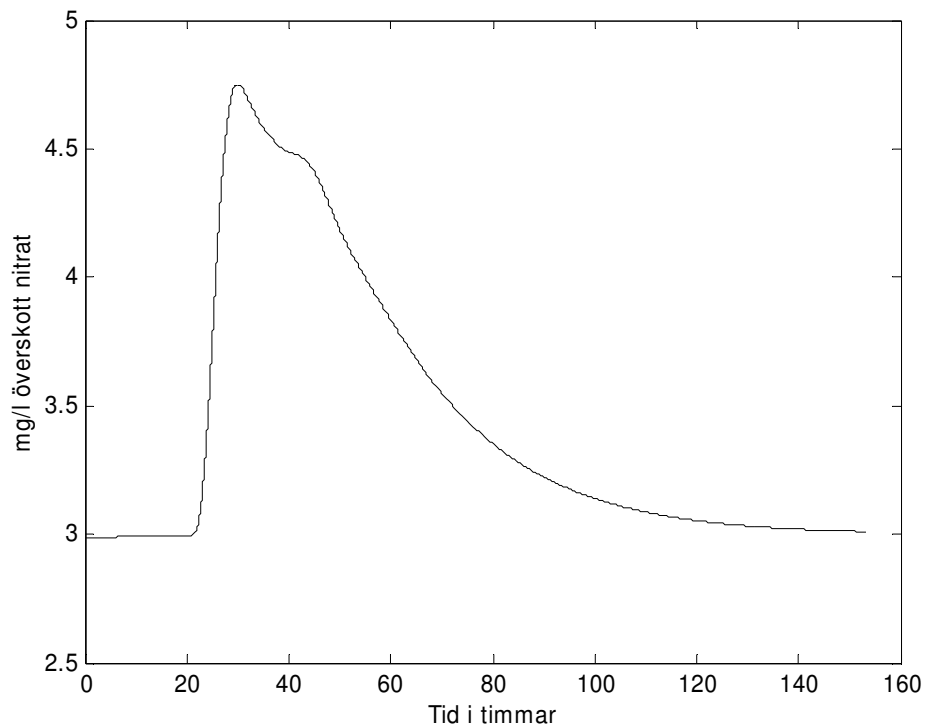


Figur 5.4 – Nuvarande regulatorn

I figuren kan man se att toppen för störningen blir relativt stor. Ett av målen är att minska höjden på toppen och därför testades till att börja med en PID-regulator vilket kan beskådas i figur 5.5.

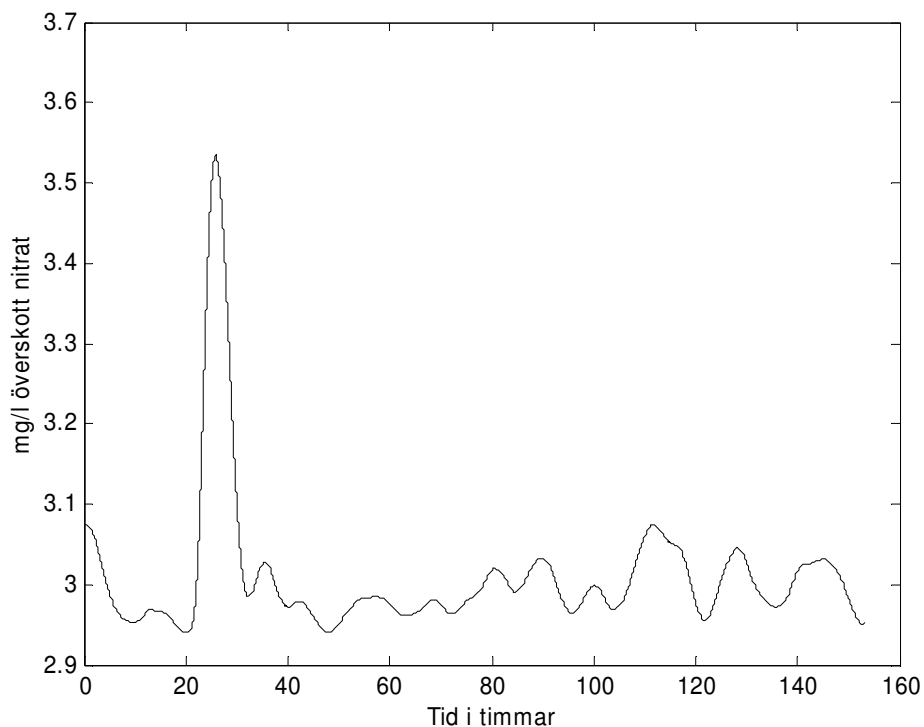
Tabell 5.5 – PID-regulatorns parametervärden

Parameter	Värde
P	2,5
I	7h
D	3h



Figur 5.5 – PID-reglering

Man kan tydligt se att höjden på toppen minskar, men här har man också nått begränsningen av en PID-regulator. För att ytterligare minska inverkan från störningen kan man välja att kombinera PID-regulatorn med en framkoppling av störsignalen, se figur 3.2. Eftersom TOC mängden inte kan mätas exakt har en störsignal adderats på sensorn som ska symbolisera felaktig mätvärden, dessutom har en viss dödtid adderats till mätaren eftersom det är en transportsträcka från bassängen in till mätaren. Simuleringen av regulatorn kan ses i figur 5.6.



Figur 5.6 – PID-regulator med framkoppling simulerad i simulink

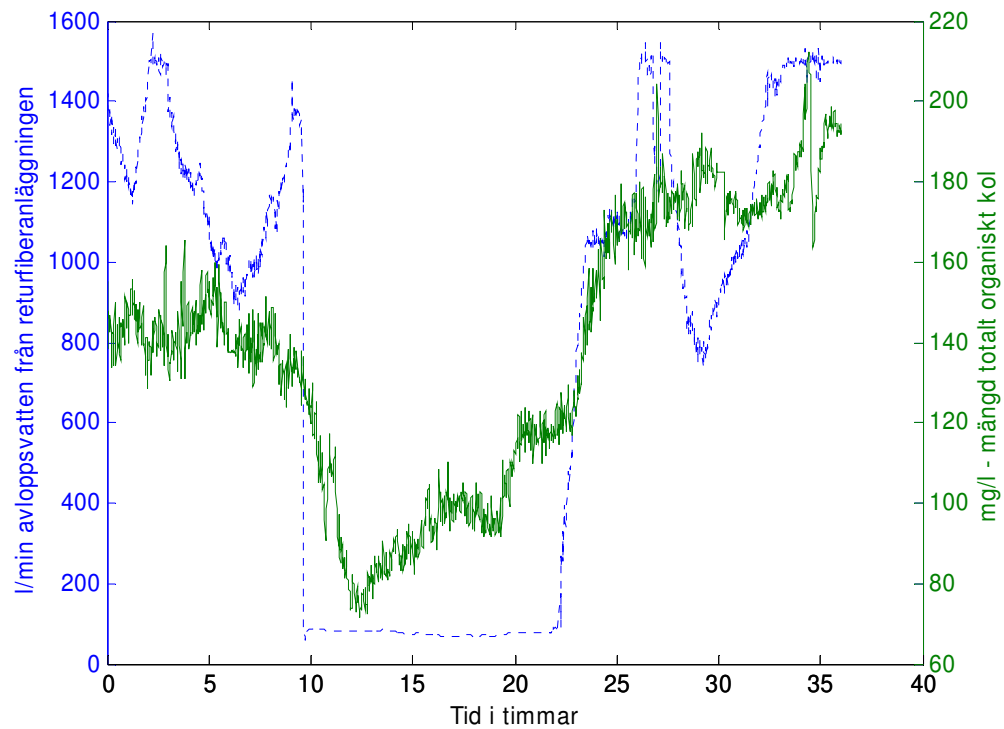
Som man kan se i figuren 5.6 så parerade regulatorn störningen väldigt bra, notera att det är olika skalor på y-axeln mellan bilderna. Det finns dock fler problem än vad simuleringen visar. Vattnet som går in till TOC-mätaren går först in i en filtreringsapparat och där har det varit olika problem med igensatta filter. Andra problem är att kalibreringsvätskor har tagit slut så att man fått felaktiga mätvärden. Mätaren är nyligen installerad så dessa problem kommer mest troligt att lösas inom en viss tid, men det försvårar att framkoppla signalen till en regulator. Framkopplar man felaktiga signaler så kan man få motsatt effekt, så att störningen förstärks istället för att den motverkas.

Eftersom det har varit problem med TOC-mätaren så gjordes det även försök till att beräkna mängden kolföreningar i avloppsflöden från olika delar av fabriken för att kunna användas som framkopplingssignal tills TOC-mätaren har tillräckligt hög tillgänglighet. I tabell 5.6 har en approximerade mängd TOC beräknats utifrån gammal labbdata.

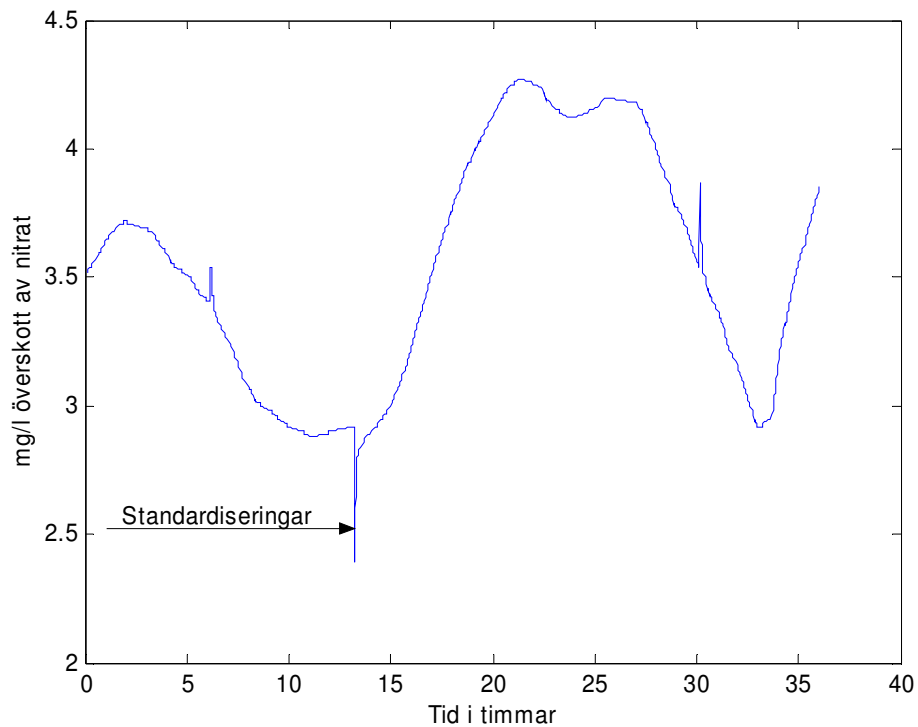
Tabell 5.6 – Innehåll av TOC från olika delar av fabriken

Avloppsvatten från	Ungefärligt innehåll av TOC
Pappersmaskin 1	150 mg/l
Pappersmaskin 2	100 mg/l
Returfiber	400 mg/l
Primär Sedimenteringsbassäng	40 mg/l

Genom att studera graferna kunde man främst se en stark koppling mellan överskott av närsalter och förändringen av avloppsvatten från returfiberanläggningen, se figur 5.7. I bilden efter, figur 5.8, kan man se överskotts-nitratens förändring under samma tidsperiod.



Figur 5.7 – Avloppsvattenflöde från returfiberanläggningen och uppmätt TOC



Figur 5.8 – Överskottsnitrat under samma tid som i figur 5.7

Man kan se tydliga kopplingar mellan returfiberflöde, TOC samt nitratöverskott. Med kunskaper från den matematiska modellen vet man att det är en dödtid man ska ta hänsyn till när man studerar kopplingen mellan figuren 5.7 och 5.8. Liknade kopplingar kunde också härledas med de andra flödena, om än inte lika tydliga vilket är naturligt eftersom flödena inte heller innehåller lika starka koncentrationer som returfiberflödet.

Kapitel 6

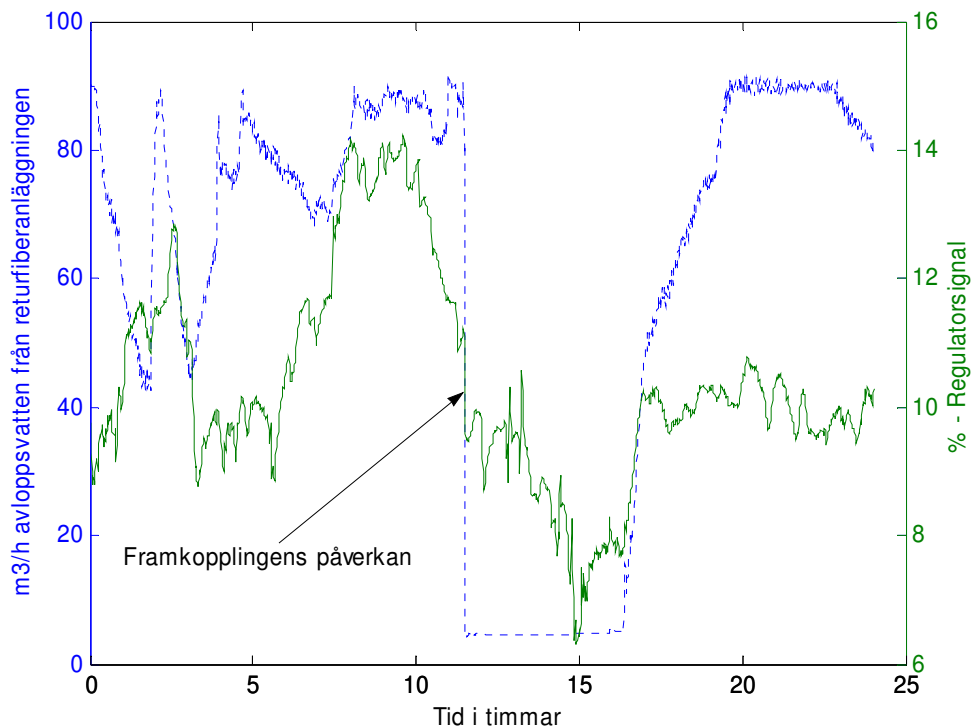
Resultat och diskussion

6.1 Resultat från simuleringar

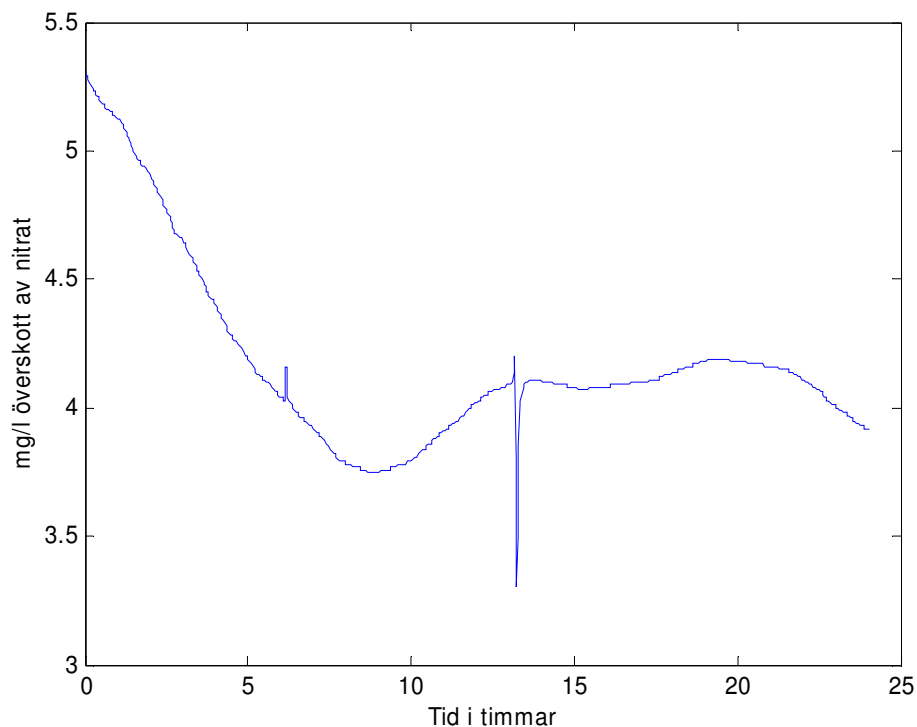
Simuleringarna visar att regulatorns parametrar kan optimeras. Största vinsten får man genom att kombinera en PID-regulator med en framkoppling av mängden kol i avloppsvattnet in till bassängen. Att framkoppla olika flöden från fabriken med dess innehåll kan vara ett substitut tills tillförlitligheten hos TOC-mätaren är tillräckligt bra.

6.2 Framkopplingsregulatorn i verkligheten

En framkoppling av de olika fabriksflödena, tillsammans med en PI-regulator, testades i verkligheten. I figur 6.1 kan man se hur styrsignalen, heldragna gröna, minskar redan innan störningen har påverkat systemet. Resultatet i överskottsnitratet kan ses i figur 6.2.



Figur 6.1 – Framkopplingsregulator i verkligheten



Figur 6.2 – Överskott av nitrat

Framkoppling av TOC-mätarens signal har ännu inte testas eftersom mätaren fortfarande är under test och utvärdering. Resultaten i figurerna 6.1 och 6.2 är före det att TOC-mätaren fanns. I bilaga B kan man se fler exempel där framkopplingen var lyckad.

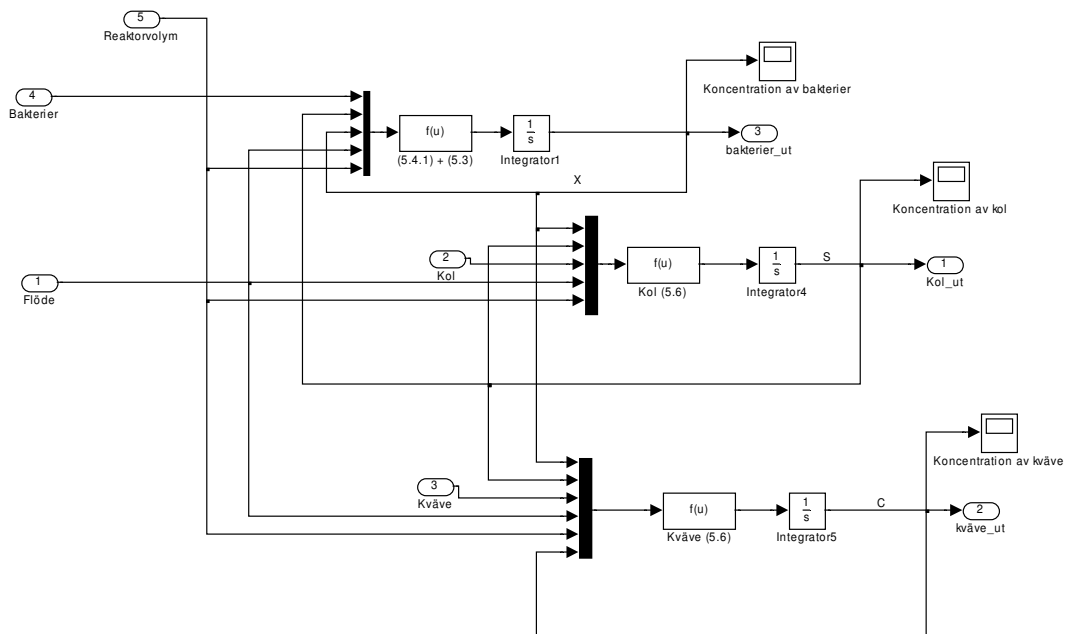
6.3 Fortsatt arbete, utveckling av regulator

Det fortsatta arbetet blir att testa en PID-regulator samt att framkoppla TOC-mängden. Anledningen till att man idag inte har implementerat en PID-regulator är främst att inställningen av parametrarna är svåra, speciellt med ett system i drift, här skulle man kunna använda den matematiska modellen för att komma fram ungefärliga värden på parametrarna.

Framkopplingen av TOC-mätaren är nog det som man bör lägga ner mest tid på för här bör man ha mest att vinna.

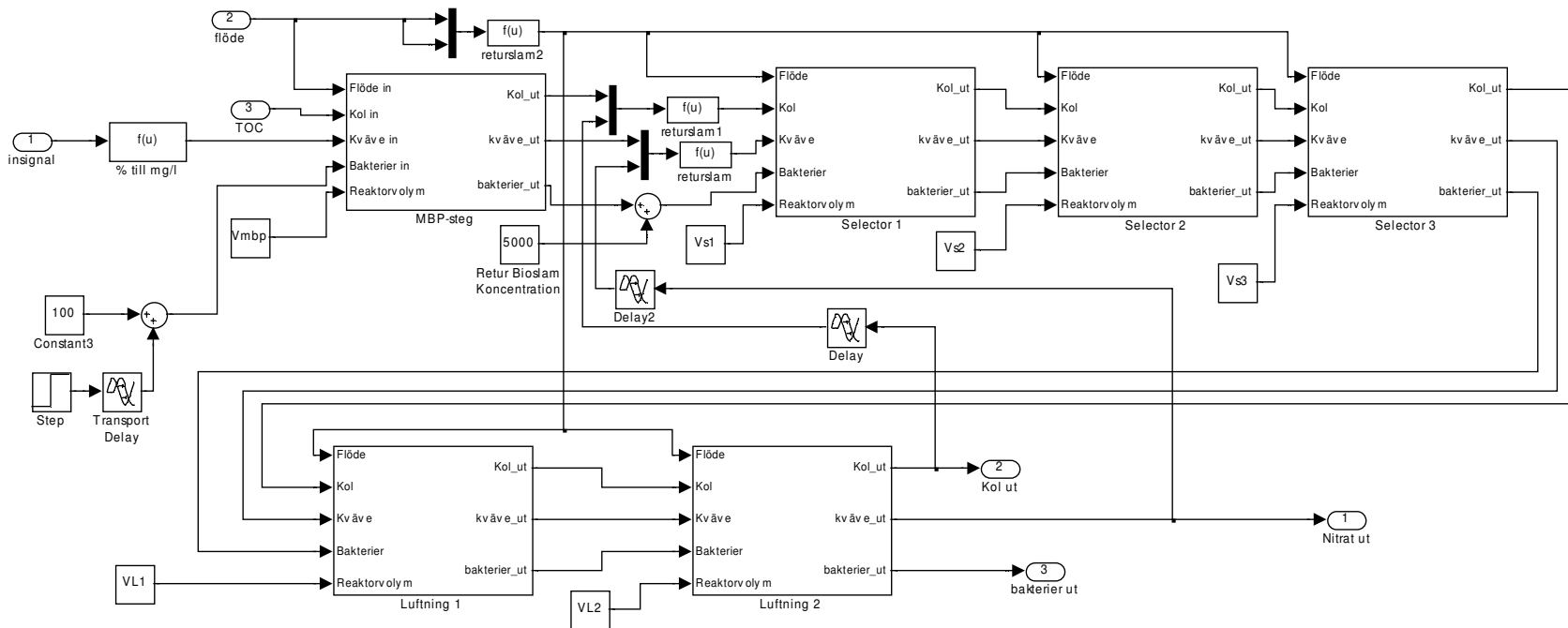
Bilaga A

Simulinkmodeller



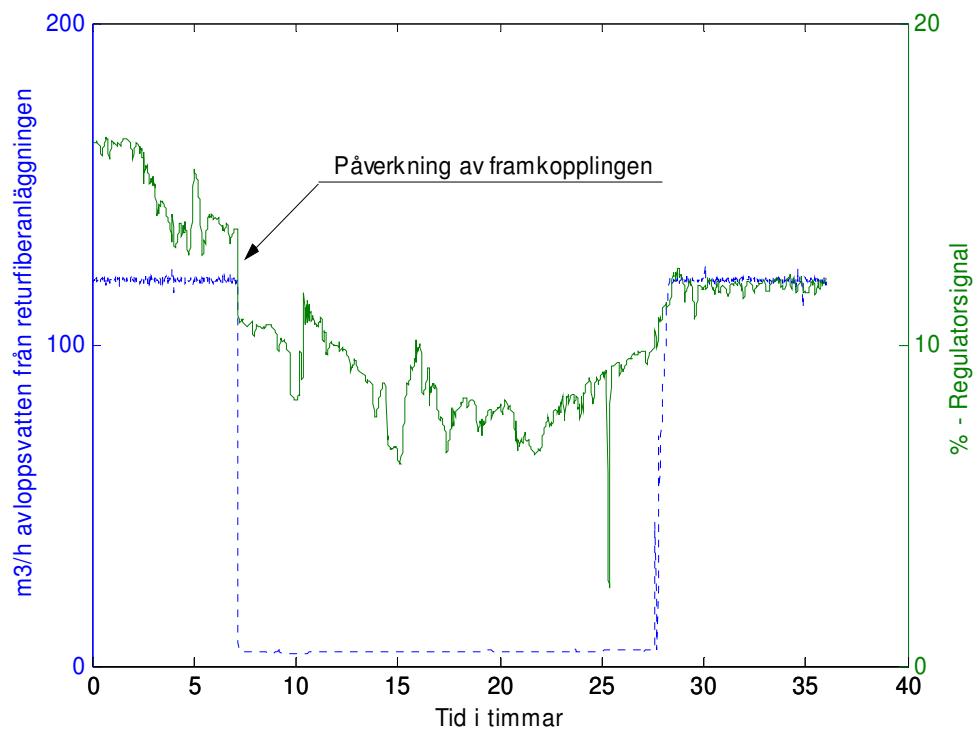
Figur A.1 – Modell av nitratöverskottet

Figur A.2 – Hela modellen gjord i simulink

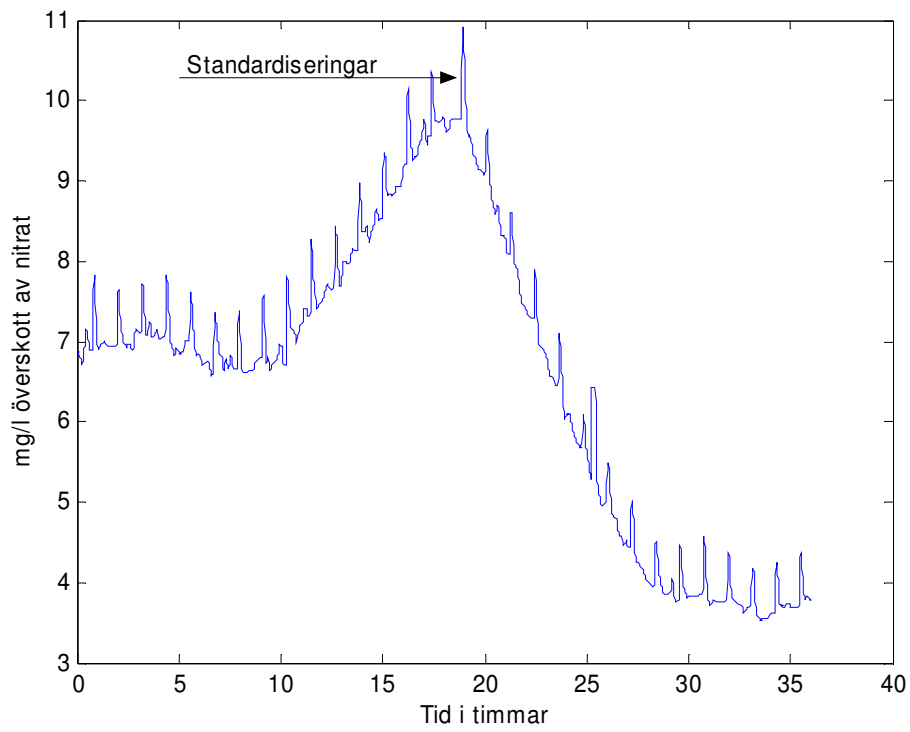


Bilaga B

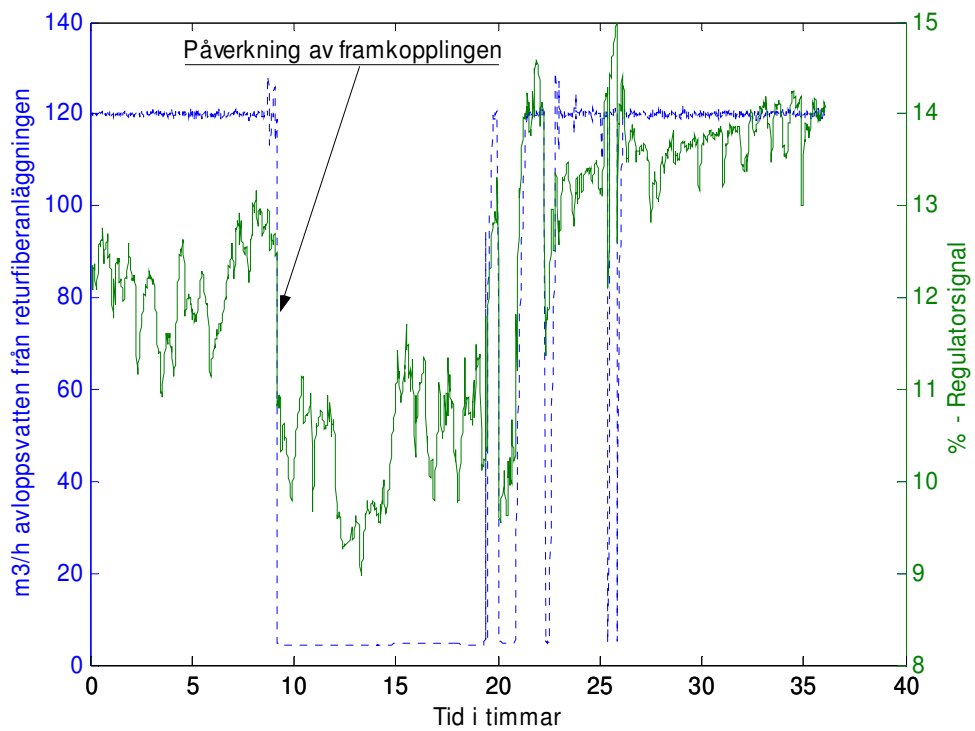
Resultat



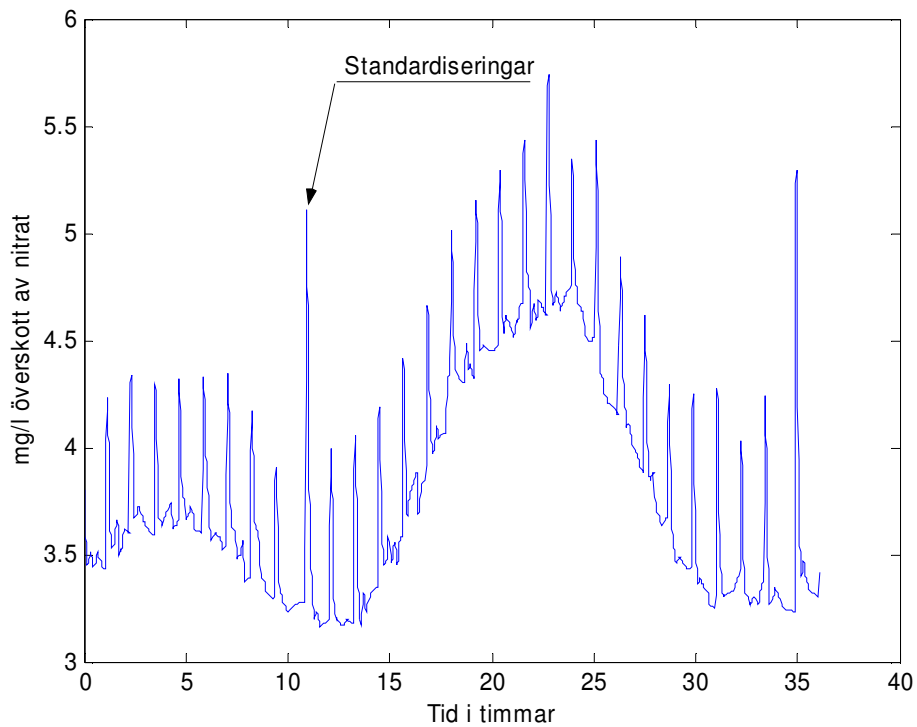
Figur C.1 – Framkopplingens påverkan



Figur C.2 – Störningens genomslagskraft



Figur C.3 – Framkopplingens påverkan av regulatorsignalen



Figur C.4 – Störningens genomslagskraft

Litteraturförteckning

[1] Metcalf & Eddy, (1991). Wastewater Engineering – Treatment, Disposal, and Reuse. McGraw-Hill Inc. ISBN: 0-07-100824-1

[2] Pertti Hynninen, (1998). Environmental Control. Fapet Oy. ISBN: 952-5216-19-5

[3] Henze J, Harremoës A, (1995). Wastewater Treatment – Biological and Chemical Processes. Springer-Verlag. ISBN: 3-540-58816-7

[4] Skogsindustriernas Teknik AB. (2004). Regleroptimering SSG5253.

[5] Ljung L, Glad T, (1991). Modellbygge och simulering. Lund: Studentlitteratur
ISBN: 9144318715

[6] Glad T, Ljung L (1989). Reglerteknik. Grundläggande teori. Lund: Studentlitteratur
ISBN: 91-44-17892-1