



Fakulteten för teknik- och naturvetenskap

Framtagning av reglerparametrar i badvattenreningsanläggningar

*Generation of Control Parameters in Pool
Water Cleaning Systems*

**Henrik Bladh
Sven Magnusson**

Examensarbete vid Elektroingenjörsprogrammet

vt 2012

Framtagning av reglerparametrar i badvattenreningsanläggningar

Generation of Control Parameters in Pool Water Cleaning Systems

**Henrik Bladh
Sven Magnusson**

Examensarbete

Degree Project

Elektroingenjörprogrammet

vt 2012

**Handledare: Anders Axelsson, Semcon
Tryggve Grahn, Karlstads universitet**

Detta examensarbete omfattar 22,5 hp och ingår i Elektroingenjörprogrammet, 180 hp, vid Karlstads universitet.

This 22,5 hp Degree Project is part of the 3 year, 180 hp, Electrical Engineering course at Karlstad University, Sweden

Denna rapport är skriven som en del av det arbete som krävs för att erhålla Elektroingenjörsexamen. Allt material i denna rapport som inte är mitt eget, har blivit tydligt identifierat och inget material är inkluderat som tidigare använts för erhållande av annan examen.

Henrik Bladh

Sven Magnusson

Rapporten godkänd,

datum Handledare: Tryggve Grahn

Examinator: Arild Moldsvor

Sammanfattning

Detta examensarbete inriktar sig mot framtagning av reglerparametrar i badvattenreningsanläggningar. Arbetet utfördes genom Semcon, som är ett konsultföretag åt Poolwater. Poolwater är ett företag som bygger och underhåller badvattenanläggningar. De har haft problem med klorregleringen och önskar få en enklare metod för att ta fram reglerparametrar till anläggningarna.

Idén var att med hjälp av loggade värden från badhuset i Skara ta fram en modell i MATLAB och sedan ta fram värden till PID-regulatorerna genom att simulera modellen. Målsättningen var sedan att provköra programmet med de nya parametrarna i en badanläggning.

Vi lyckades inte ta fram någon tillräckligt bra modell av poolerna i MATLAB, vilket ledde till att vi inte kunde ta fram några värden till PID-regulatorerna. Detta var på grund av att modellerna inte stämde tillräckligt bra överrens med den data vi validerade mot. Trots detta har vi förslag på hur regleringen kan förbättras.

Abstract

This thesis focuses on the generation of control parameters in pool water cleaning systems. The work was done through Semcon, which is a consulting company to Poolwater. Poolwater is a company that builds and maintains bathing facilities. They have had problems with the chlorine regulation and wish to have an easy method to generate control parameters for their facilities.

The idea was to use logged values from the bathhouse in Skara and create a model in MATLAB and then simulate it to get the PID regulator values. The aim is to test the program with the new parameters in a swimming facility.

We could not produce a sufficiently good model of the swimming pools in MATLAB, which led to that we were unable to produce any values for the PID controllers. This was because the models did not match well enough with the data we validated against. Despite this we have suggestions on how the regulation can be improved.

Innehåll

1. Introduktion	1
1.1. Bakgrund	1
1.2. Problemställning.....	1
1.3. Mål	1
2. Teori	2
2.1. Poolsystemets uppbyggnad	2
2.2. Klorpåverkan	2
2.3. pH- påverkan	2
3. Utförande.....	3
3.1. Komplettering av LabVIEW-program och loggning av värden.....	3
3.2. Modell i MATLAB	3
3.3. Simulering i Simulink	3
4. Resultat.....	4
5. Analys.....	5
6. Slutsats	6
Referenser.....	6
Bilaga 1. Pooluppbyggnad	
Bilaga 2. Modell i MATLAB	
Bilaga 3. Simulering i Simulink	
Bilaga 4. Klorhalter och utsignaler	

1. Introduktion

1.1. Bakgrund

Semcon har tagit fram ett PC-program utvecklat i LabVIEW för att styra och reglera vattenrening i simbassänger, på uppdrag av Poolwater i Arvika. Programmet innehåller PID-regulatorer som främst reglerar pH-värde och klorhalt. Programmet har använts i 9 år vid olika badanläggningar som Poolwater har ansvar för. Under alla år har man använt samma reglerparametrar för regulatorerna. Man har inte trimmat in regleringen så noggrant och därför finns ett behov av att hitta en enkel metod för att ställa in parametrarna.

1.2. Problemställning

Man reglerar både pH-värde och klorhalten i pooler. Klorhalten är den som är svårast att reglera och därför har vi inriktat oss på den. Problemet uppstår när ett stort antal personer badar i poolen då klorhalten sjunker. Det beror på att man är smutsig och smutsen börjar binda upp det fria klor. Regulatorn börjar då reglera genom att tillföra klor, men om de badande går ur poolen stiger klorhalten över önskat värde. Detta problem beror främst på att det är fördröjning i systemet, eftersom givaren för klor sitter efter utjämningsstank, pump och sandfilter. Anledningen till att de har den monterad där och inte direkt i utloppet för poolen är att den då snabbt blir igenlagd av skräp från poolen. Problemet att reglera klorhalten är störst i små pooler. Eftersom man har så lite vatten i dem, blir antalet badande en viktig faktor. Antalet badande är en svår parameter att mäta på grund av att man då skulle behöva ha någon som räknar alla i poolen hela tiden och för in det i en dator. Det är inte praktiskt genomförbart. I bubbelpooler är detta ett stort problem på grund av liten vattenmängd, men där tillkommer även ett annat problem. Om det kliver i 8 personer i en bubbelpool gjord för max 8 så försvinner det vatten ur poolen på grund av de badandes massa. Det vattnet rinner ner i utjämningsstanken. Vattnet som då tillförs kan ha fel klorhalt på grund av att givaren inte får någon information om klorhalten. I de stora poolerna blir påverkan av antalet badande inte lika stor eftersom vattenmängden i dem är så stor. Allt detta ovanstående påverkar självklart även pH-värdet men det är som förut nämnt mycket lättare att reglera.

1.3. Mål

Målet är att med hjälp av loggade värden från poolerna ta fram en modell i MATLAB med hjälp av verktyget System Identification Tool. När modellen är framtagen ska systemet simuleras i Simulink för att få fram värden på PID-regulatorn.

2. Teori

2.1. Poolsystemets uppbyggnad

Poolsystemet finns beskrivet i bilaga 1, bild 1.1.

Från simbassängen rinner vattnet genom skvalprännorna ner i utjämningsstanken längst ner till höger på bilden. Den har 3-4 nivåvipor som reglerar påfyllnaden av spädvatten. Från utjämningsstanken rinner vattnet vidare till ett grovfilter, som filtrerar bort hår och andra stora partiklar. Därifrån går vattnet vidare genom en cirkulationspump. Denna trycker vattnet genom trycksandfiltren, som varierar i antal beroende på hur stor bassängen är. Från filtren går vattnet vidare genom UV-belysning och man tar ut en liten del av vattnet, för att mäta pH-värde och klorhalt. Man tar även in en liten del vatten till kemikalierummet, där klor och saltsyra doseras i skilda utrymmen. Detta görs på grund av att det bildas klorgas om de blandas med varandra utan att de först har blivit utspädda med vattnet. En del av vattnet går även genom en värmeväxlare som värmer upp vattnet innan det går ut i simbassängen igen.

2.2. Klorpåverkan

Klorhalten i de bassänger vi har tagit mätvärden i har börvärden för fritt klor mellan 0,7 och 1,0 ppm. Man vill ha högre klorhalt vid högre temperaturer på grund av att bakterier frodas bättre i varmare vatten. Kloret tillsätts i vattnet med en doserpump i formen fritt klor. När det reagerar med organiskt material och föroreningar, bildas det istället bundet klor. Även det bundna klor har en desinficerande effekt, dock inte lika hög som det fria klor. Några olika faktorer som påverkar klorhalten är temperatur på vattnet och antal badande. De badande påverkar olika mycket beroende på hur noga man duschar innan.

Det finns olika metoder för att reducera det bundna klor, bland annat att belysa vattnet med UV-ljus, använda sig av kolfilter eller ozon. Det som används i Skara badhus, där mätningarna gjordes, är UV-ljus.

2.3. pH- påverkan

I Skaras badhus används saltsyra för att balansera pH-värdet. pH-värdet regleras med en PID-regulator som tillsätter saltsyra i vattnet med en doserpump. Det finns riktvärden från socialstyrelsen för vad pH-värdet ska ligga på. Vid klorerat vatten ska pH-värdet vara mellan 7,2 och 7,6. Börvärdet i Skaras badhus är satt till 7,4 för alla poolerna.

3. Utförande

3.1. Komplettering av LabVIEW-program och loggning av värden

För att få fram fler parametrar som underlag för vårt arbete fick vi komplettera det befintliga LabVIEW-programmet. Vi lade till fler loggningsfunktioner och de loggade oftare än förut. Vi valde att utföra mätningarna i Skara badhus eftersom bubbelpoolen där har ett eget system, det är alltså inte en bubbelpoolsadapter inkopplad på stora poolen. Vi kompletterade programmet med loggningsfunktioner för tre olika pooler. De tidigare loggades var 15:e minut på samtliga pooler. För den stora poolen ändrade vi loggtiden till var 60:e sekund. Mellanstora poolen ändrade vi till var 30:e sekund och bubbelpoolen loggade vi istället var 10:e sekund. Anledningen till att vi ville ta mätvärden så ofta var att vi inte visste hur snabbt värdena ändrades. Vi ville ta mätvärden oftare för de mindre poolerna med högre temperatur, för att klore påverkas snabbare i de poolerna.

Tidigare loggades pH, klorhalt och temperatur på vattnet. Vi lade till börvärde för fri klor, utsignal från PID-regulatorerna för klore och pH-regleringen, pH börvärde, kloråtgång och flöde genom sandfiltren.

Alla loggade värden skrevs sedan till en textfil med mätvärden i kolumner som sedan kunde hämtas till MATLAB och användas som vektorer. De värden vi använt oss av kommer från Skara badhus, som loggades i två veckor.

3.2. Modell i MATLAB

Vi använde oss av System Identification Tool, som är ett tillägsprogram i MATLAB. Detta program kan man använda till att ta fram en modell av ett system. Man kan infoga de loggade filerna från badhuset och göra vektorer av de mätvärden man ska använda sig av och på så vis ta fram en modell av badbassängerna. Man använder sig sedan av denna modell för att simulera i Simulink, som även det är ett tillägsprogram i MATLAB. För noggrannare beskrivning se bilaga 2.

3.3. Simulering i Simulink

Med hjälp av Simulink kan man bygga upp modeller av olika system, vilket i vårt fall blir ett reglersystem för den pool vi använt värden från. Man bygger upp modellerna med hjälp av olika block, t.ex. ett diskret filter som motsvarar vår pool, PID-regulator och en stegfunktion som insignal. Med hjälp av simuleringen kan man kontrollera hur stabil modellen är och hur insvängningstiderna vid olika förändringar ser ut. För noggrannare beskrivning se bilaga 3.

4. Resultat

Vi fick inte fram några bra modeller av poolerna med hjälp av System Identification Tool och de loggade värdena. Modellerna överensstämmer dåligt med referensen. Modellen för den stora poolen hade en överensstämmelse på -38,75 % som bäst. För bubbelpoolen hade modellen som bäst en överensstämmelse på -5,9 %. Den som överensstämde bäst var modellen för den mellanstora poolen som hade 32 %, se bilaga 2, bild 2.4. Detta är för lågt då man strävar efter minst 70 % för att det ska vara en tillräckligt bra modell, enligt Christer Jansson, Fortum.

Trots detta testade vi ändå att simulera med denna modell i Simulink för att testa dess robusthet, vilket man kan undersöka genom att höja ordningen på filtret. Modellen visade sig ha dålig robusthet. Då ordningen på filtret höjdes började systemet att oscillera, vilket visas i bilaga 3, bild 3.3.

5. Analys

Att modellerna överstämde så dåligt med referensen kan bero på flera saker. En kan vara mätvärden med för stora avvikelser, vilket vi kunde se att vi hade i våra loggfiler. Dessa kanske kan påverka trots att vi tagit bort de största avvikelserna, se bilaga 2, bild 2.1. I bilaga 4 visas grafer över klorhalt och utsignaler för respektive pool. Där ser vi att klorhalten varierar mycket och utsignalen är inte stabil. Vi har även många avvikande värden på klorhalten i loggfilerna där det troligen har blivit någon typ av mätfel, vilket gör att värdena rusar. Detta stämmer inte med verkligheten och datorn får fel information, vilket medför att regleringen inte blir rätt. Vid några tillfällen kan vi även se att även om klorhalten är på väg ner mot 0 så regleras det inte. Vad detta beror på vet vi inte, men det påverkar modellen i MATLAB negativt.

Det kan även vara så att det helt enkelt är ett för komplicerat system att göra en bra modell av. En pool påverkas av så många faktorer som är svåra att mäta exempelvis antal badande. En annan viktig faktor är den stora dödtiden som systemet har både på grund av stora vattenvolymer och att givaren sitter på inloppet till poolen istället för utloppet.

Att mäta antalet badande är inte genomförbart. Vad man istället kan göra är föra statistik över hur många som badar vid olika tider på dygnet. Då kan man kanske ha den informationen som grov hjälp för klorregleringen. Detta kan dock bli svårt beroende på om de har jämn belastning av badande eller väldigt olika belastning, exempelvis många badande under sportlov och dylikt.

Att det är stor vattenvolym är något man inte kan ändra på, däremot kan man ändra givarens placering. Man skulle få en kortare dödtid om den flyttades till utloppet från poolen. Varför den inte sitter där nu är för att där blir den lätt igenlagd av skräp från poolen. Men detta borde gå att lösa med att placera någon typ av filter före givaren. Filtret bör vara konstruerat så det är lätt att rengöra eftersom man kommer behöva rengöra det ofta. Man kan även tänka sig att använda sig av två givare, en i utloppet för grovmätning och en på inloppet för finare mätning.

Beträffande bubbelpoolen bör givaren placeras i själva poolen eftersom vattennivån kan vara låg om flera badande precis klivit ur poolen. Då visar givaren klorhalten direkt istället för att behöva vänta på att poolen fyllts upp och vatten börjar rinna ner i skvalprännorna. Detta borde göra att vattnet som fylls på redan har rätt klorhalt. Dock kan kanske en sådan placering vara svår att genomföra i praktiken. Den bör sitta skyddat exempelvis bakom en plåt eller någon typ av galler och vara lätt att rengöra.

6. Slutsats

En bra modell av systemet gick inte att göra på grund av allt för avvikande värden och lång dödtid. Vi tror att man som första steg ska flytta givarna för mätning av klorhalten i en av badanläggningarna för att få ner dödtiden och sedan utvärdera. Lämpligtvis kan detta göras i Skara badhus eftersom det redan finns loggade värden som man kan jämföra med. Var givarna bör placeras beskrivs under analysen på föregående sida.

Det skulle även vara bra om systemet kontrollerades, så man kan ta reda på varför det ibland slutar att reglera, trots att det skulle behövas för att klorhalten är för låg.

Referenser

1. Grundkurs Badvattenrening [2012-02-14] Poolwater.
2. MATLAB´s hjälpverktyg.
3. BridgeVIEWTM and LabVIEWTM – PID Control Toolkit for G Reference Manual, National Instruments, January 1998 edition.
4. Introduction to System Identification.
<http://www.youtube.com/watch?v=pS1KyGQnpy8>
[tillgänglig 2012-04-11]

Bilaga 1. Pooluppbyggnad

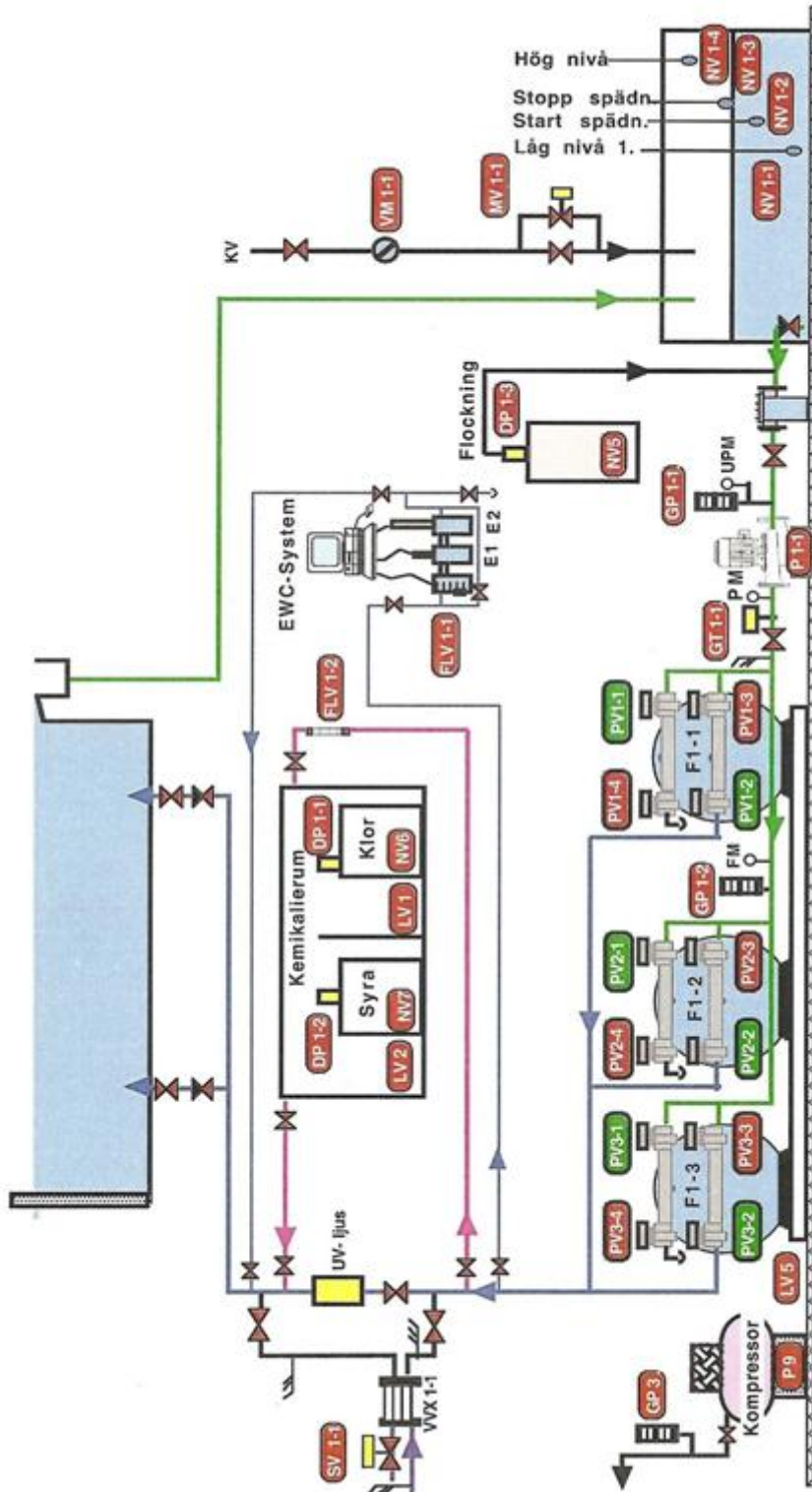


Bild 1.1 Principen för poolsystemets uppbyggnad.

Bilaga 2. Modell i MATLAB

Vi hämtade loggfilerna med mätvärdena för mellanstora poolen från LabVIEW och fick först göra vektorer av de värden vi behövde använda. Till att börja med använde vi oss bara av en insignal och en utsignal, för att göra en enkel modell och se om det fungerade. Om detta fungerat bra så var tanken att vi skulle använda fler insignaler som påverkar klorhalten. Följande bilder är tagna från arbetet med mellanstora poolen.

I System Identification Tool importerar man de vektorer man har skapat av loggfilerna. Man väljer då en insignal och en utsignal. Man kan sedan kontrollera hur modellen ser ut och ta bort kraftiga toppar och dalar i input/output-signalen genom att använda select range, där man väljer vilket intervall man vill använda sig av, se bild 2.1 nedan.

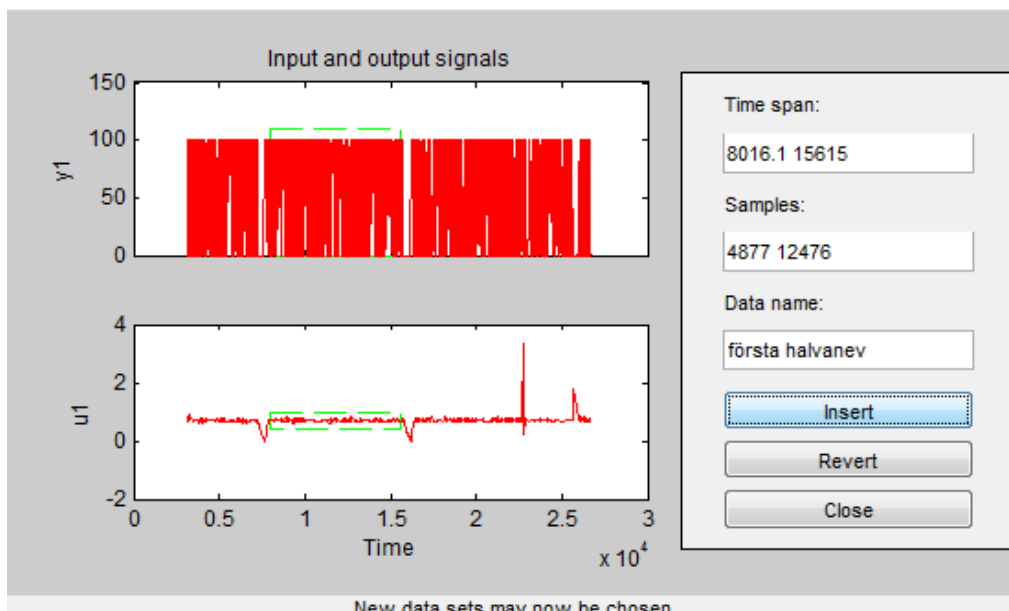


Bild 2.1. Select range för att ta bort kraftigt avvikande tal.

Man kan också kontrollera input/output-signalen i MATLABs kommandofönster genom att skriva `advice(signalnamn)`. Man får då lite tips av MATLAB hur man kan filtrera bort data och skapa en modell. Efter en kontroll av signalen tog vi även bort medelvärdet, genom att använda `remove means` i preprocessfönstret, se bild 2.2 på nästa sida.

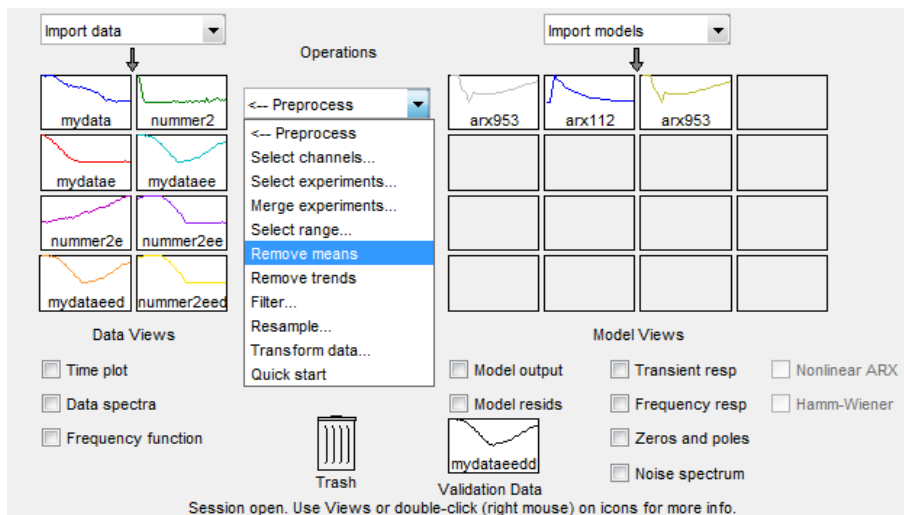


Bild 2.2. *Remove means.*

Man väljer sedan den input/output-signal man har filtrerat fram för att göra en linjär modell av systemet, vilket också rekommenderades i advice-delen. För att validera modellen, alltså kontrollera hur bra den stämmer överrens med de värden man använder sig av, kan man dela upp de mätvärden man har i två delar. Sedan använder man sig av första delen för att göra en modell och använder andra halvan som valideringsdata. Efter detta använder man sig av estimate linear parametric model. Där kan man välja att antingen skriva in vilken ordning man vill ha på modellen, eller så kan man använda sig av order selection och få fram ett diagram där man får se flera olika ordningar. Sedan väljer man det som verkar lämpligast utefter ordning och överrensstämmelse, unexplained output variance, se bild 2.3 nedan.

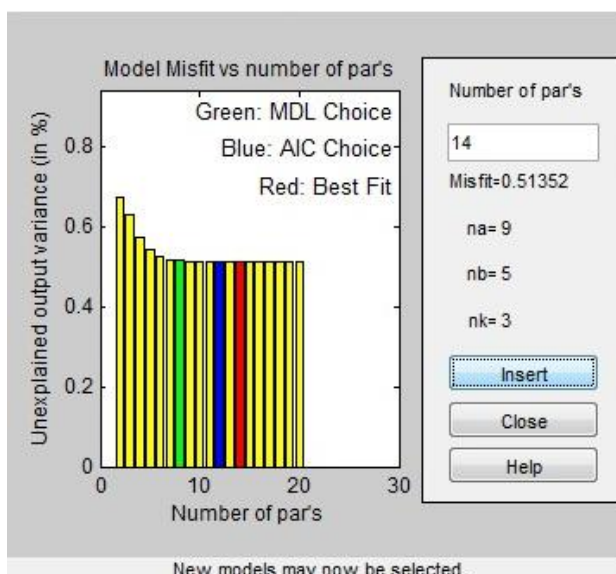


Bild 2.3. *Order selection och unexplained output variance.*

Vi gjorde även modeller av bubbelpoolen och den stora simbassängen med samma tillvägagångssätt. Det visade sig vara svårare att få fram bra modeller på de poolerna än på den mellanstora poolen. I den stora bassängen tar det sådan tid för vattnet att ta sig runt, att det blir mycket dödtid och stora tidskonstanter. I bubbelpoolen är det så lite vatten och högre temperatur så kloret påverkas mycket snabbare i den. Ett annat problem med bubbelpoolen är att den regleras lite annorlunda. Man reglerar i en minut och tar sedan paus och mäter kloret under två minuter, sedan reglerar man igen. Som bäst har vi fått fram en modell som stämmer till 32 % med en insignal och en utsignal, se bild 2.4 nedan. Detta var för den mellanstora poolen. För den stora poolen var överensstämmelsen -38,75 %, vilket innebär att modellen inte kommer att kunna användas. Bubbelpoolen stämde som bäst till -5,9 % som inte heller duger till att använda. Vi provade även att använda fler insignaler på mellanstora poolen, men överensstämmelsen blev lägre än tidigare.

Eftersom vi inte fick fram några modeller som stämde tillräckligt bra för att använda oss av provade vi att skriva in egna värden, som vi sedan gjorde modeller av. Detta gjorde vi för att kontrollera så att vi inte gjorde fel när vi skulle göra modellerna. Beroende på hur snälla värden vi skrev in fick vi fram modeller som överensstämde mellan 65 och 95 %.

Vi kom då fram till att vi inte skulle kunna få fram en modell med de uppmätta värdena som stämde tillräckligt bra för att användas. Vi fortsatte ändå med modellen som stämde till 32 % för att ta fram värden och testa att simulera i Simulink.

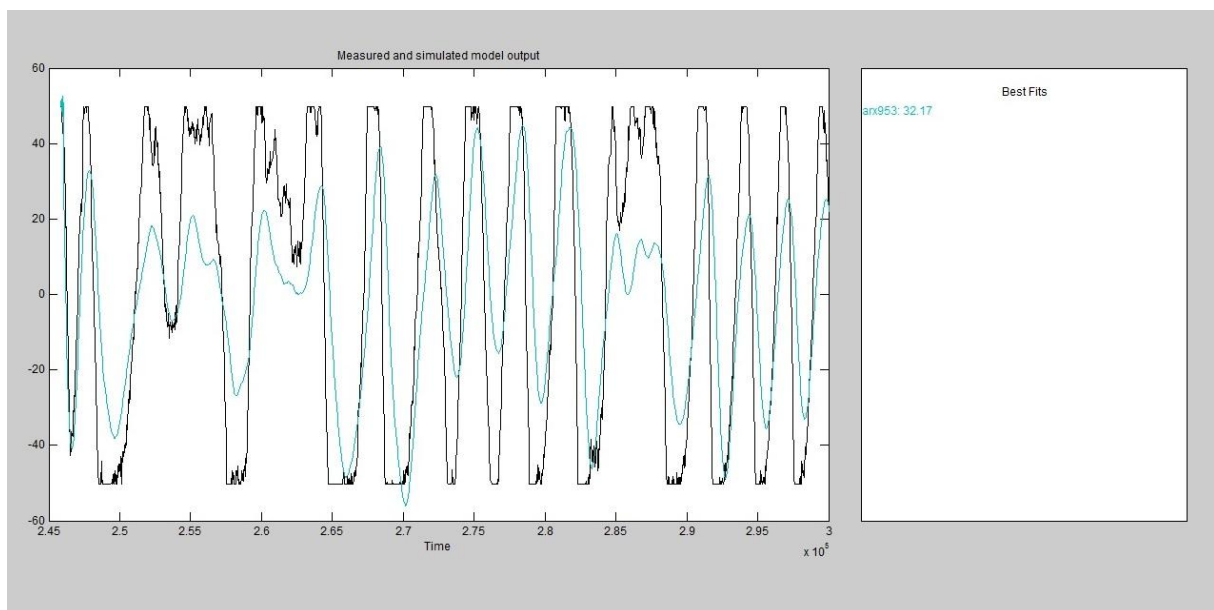


Bild 2.4. Högst överensstämmelse för mellanstora poolen. Tiden längs x-axeln är i sekunder.

När man valt vilken ordning man vill ha får man fram en modell som man kan kontrollera stegsvar, poler och nollställena med. Man får även fram en överföringsfunktion som ges på formen:

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t)$$

Fördröjningsoperatoren q^{-1} motsvarar z^{-1} , vilket innebär att vi får en funktion på diskret form. Dessa värden på A och B används sedan i Simulink, där man skriver in dem i ett diskret filter-block, på formen:

$$y(t) = \frac{B(q)}{A(q)}u(t) + e(t)$$

I överföringsfunktionen motsvarar $y(t)$ utsignalen och $u(t)$ motsvarar insignalen. Vi valde att ta värden från modellen för mellanstora poolen som överrensstämmer till 32 % för att göra en modell i Simulink. Modellens ordning är [9 5 3]. Vi har alltså 9:e ordningens funktion för A(q) och 5:e ordningens funktion för B(q), som har en tidsfördröjning som gör att den börjar på q^{-3} :

$$A(q) = 1 + p_1q^{-1} + p_2q^{-2} + \dots + p_9q^{-9}$$

$$B(q) = n_1q^{-3} + n_2q^{-4} + \dots + n_5q^{-7}$$

Värden på p_n och n_n för den mest stabila modellen på 32 % visas i bild 2.5 nedan.

```

Discrete-time IDPOLY model: A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t)
A(q) = 1 - 1.088 q^-1 - 0.1419 q^-2 + 0.05225 q^-3 + 0.1081 q^-4
      + 0.06891 q^-5 - 0.01791 q^-6 - 0.004756 q^-7 + 0.02666 q^-8
      + 0.02543 q^-9
B(q) = -23.24 q^-3 - 2.656 q^-4 - 10.12 q^-5 + 20.76 q^-6 + 3.126 q^-7
Estimated using ARX on data set nummer2eed
Loss function 7.21458 and FPE 7.28085
Sampling interval: 30

```

Bild 2.5. Värden på p och n .

Dessa värden kan skrivas in som överföringsfunktion i ett diskret filter i Simulink, där man kan simulera modellen.

Bilaga 3. Simulering i Simulink

Överföringsfunktionen $A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t)$ används till att skriva in en funktion i ett diskret filter. Vi använder oss då av värden för $A(q)$ och $B(q)$, som vi fick fram i System Identification Tool. Se bild 2.5 på sida 5, bilaga 2.

Därefter byggde vi upp en modell med PID-regulator, som bara använder sig av PI-delarna, ett steg som insignal och ett oscilloskop för att se insvängningstid och variationer i signalen. Bild 3.1 nedan visar den första enkla modellen.

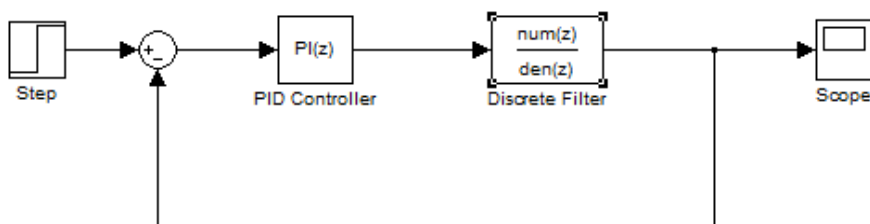


Bild 3.1. Enkel modell av mellanstora poolen i Simulink.

Efter att man byggt upp modellen kan man använda auto-tuning så att PID-regulatorn då ställer in sig själv med lämpliga värden på P-, och I-delarna. Ska man sedan titta på modellens robusthet kan man ändra filtret så att det blir en högre ordning på det än regulatorn är inställd för. Om regulatorn fortfarande klarar av att hålla systemet stabilt har modellen en bra robusthet. Bild 3.2 nedan visar insvängningstiden efter auto-tuning av regulatorn, med ett enhetssteg som insignal. Bild 3.3 på nästa sida visar modellens utsignal vid kontroll av robusthet.

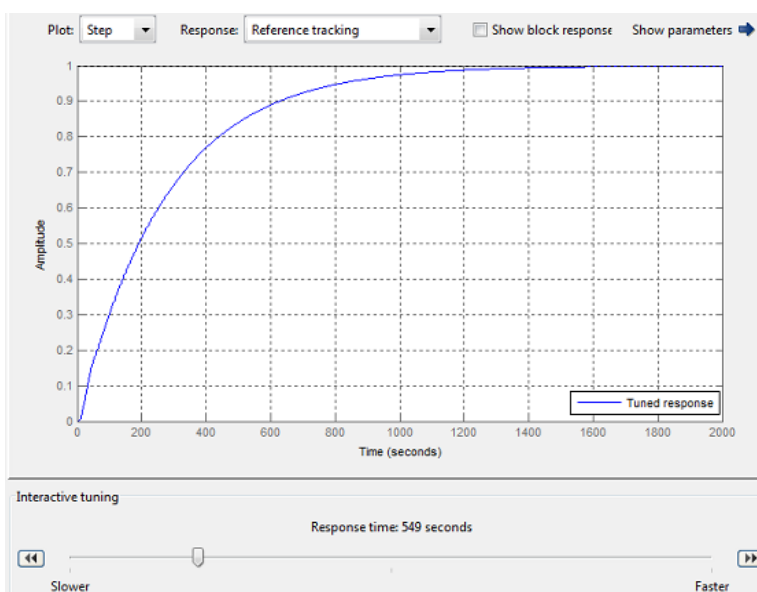


Bild 3.2. Insvängning

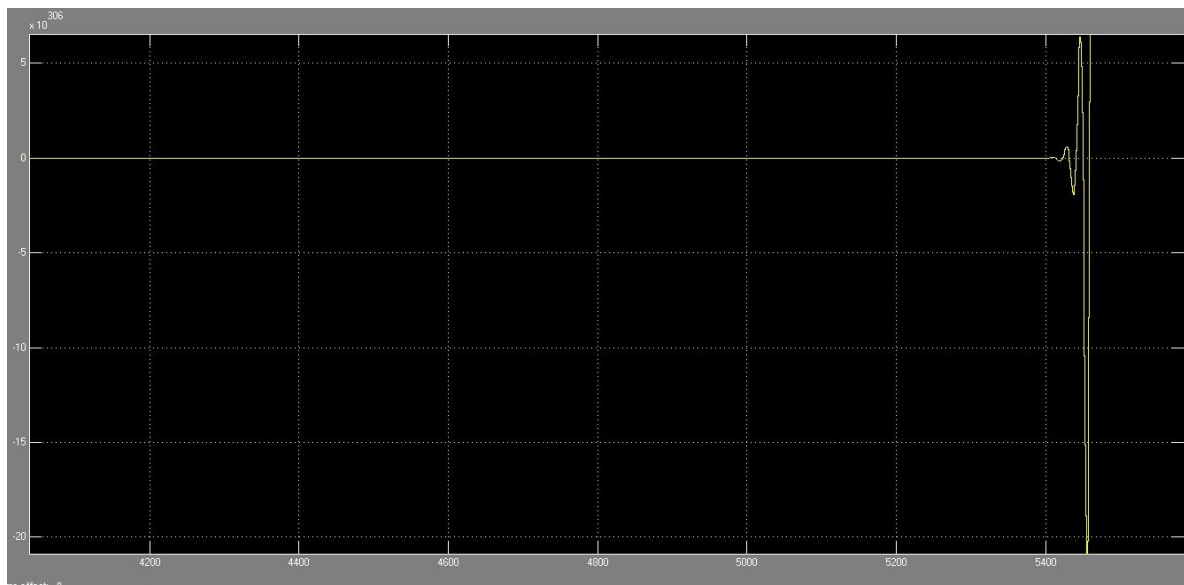


Bild 3.3. Test av robusthet med $[9 \ 5 \ 3]$ -regulator och $[10 \ 5 \ 3]$ -filter

Som vi kan se på bild 3.3 ovan börjar systemet självsvänga efter 5400 sekunder, eller $1\frac{1}{2}$ timme. Detta var för en modell med ett filter med 10:e ordningens funktion för $A(q)$. Regulatorn var inställd med värden anpassade efter 9:e ordningens funktion för $A(q)$. Detta visar att modellen är för instabil för att använda, vilket man kunde förvänta sig på grund av att det har relativt hög ordning och stämmer dåligt överens med de riktiga mätvärdena.

Alltså kunde vi inte få fram några värden till PID-regulatorerna som var tillräckligt bra att använda i labVIEW-programmet.

Bilaga 4. Klorhalter och utsignaler

Klorhalt i ppm

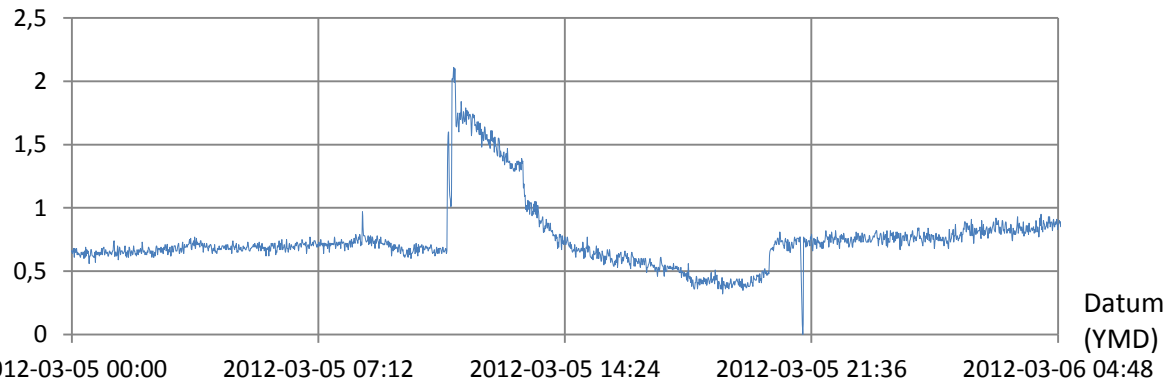


Bild 4.1. Värden från stora poolen.

I bild 4.1 ovan kan vi se variationerna i klorhalten från stora poolen. Detta är endast några dagars loggande för att man ska se variationerna bättre. Börvärdet för klor i stora poolen är 0,75 ppm. Bild 4.2 nedanför visar utsignalen för klorregleringen under samma period.

Utsignal i %

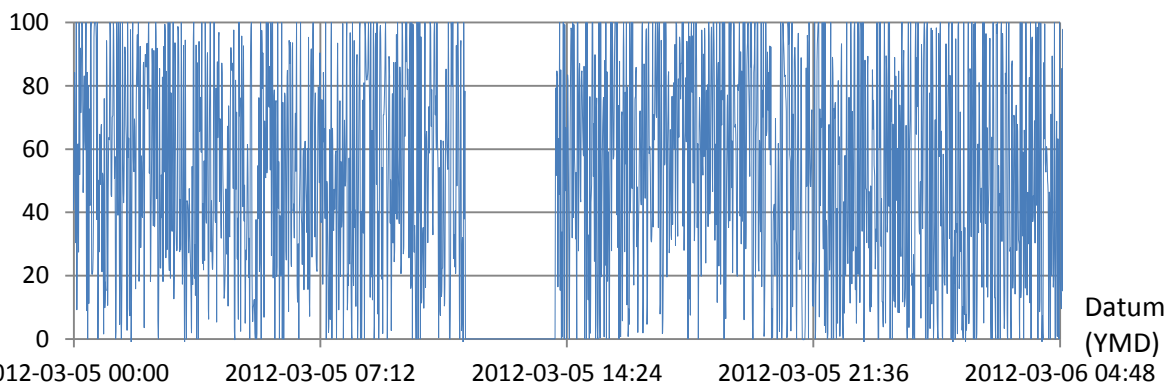


Bild 4.2. Utsignal för klorregleringen i stora poolen.

Klorhalt i ppm

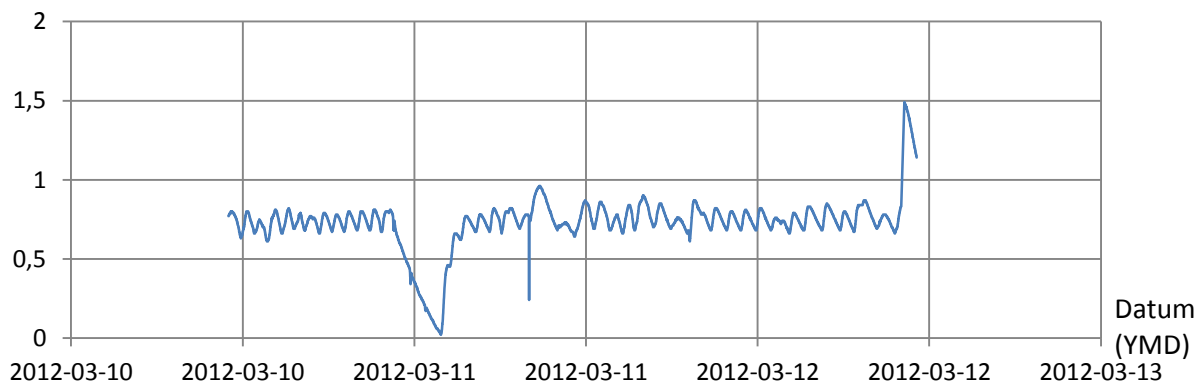


Bild 4.3. Klorhalt från mellanstora poolen.

I bild 4.3 ovan har vi också några dagars mätvärden för den mellanstora poolen för att visa variationerna tydligare. Denna pool har ett börvärde för klor på 0,7 ppm. Bild 4.4 nedan visar utsignalen för klorregleringen i mellanstora poolen under samma period.

Utsignal i %

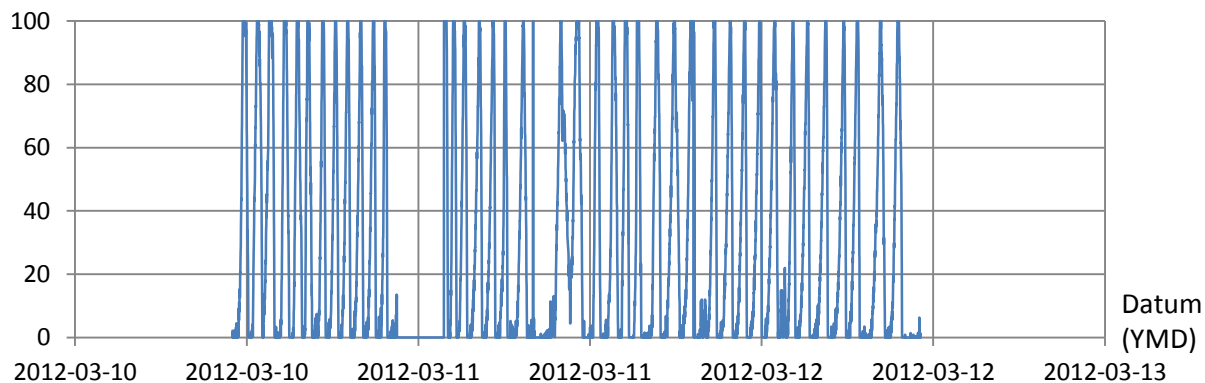


Bild 4.4. Utsignal för klorregleringen i mellanstora poolen.

Klorhalt i ppm

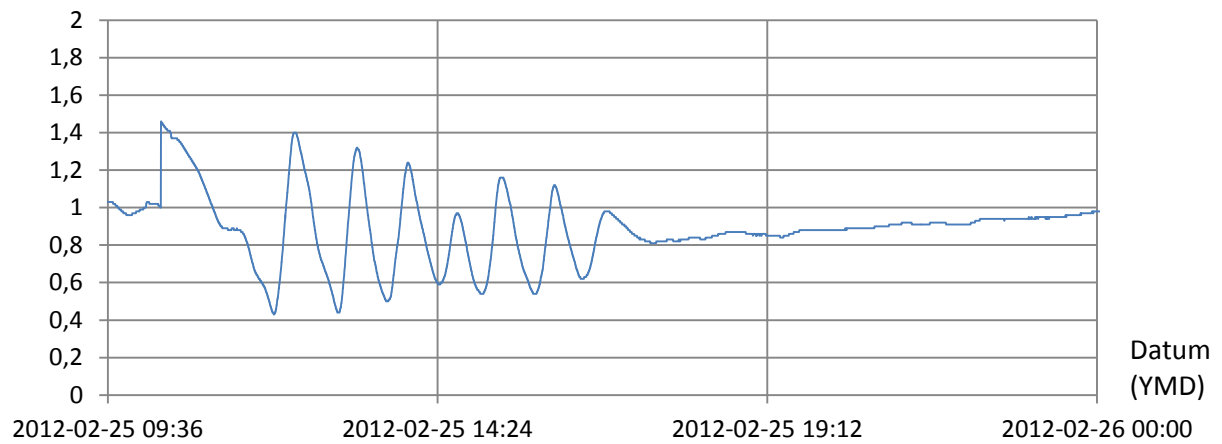


Bild 4.5. Klorhalt i bubbelpoolen.

I bild 4.5 ovan visas klorhalten för bubbelpoolen där vi har ett börvärde för klor på 1 ppm. Bild 4.6 nedan visar utsignalen till klorregleringen under samma period.

Utsignal i %

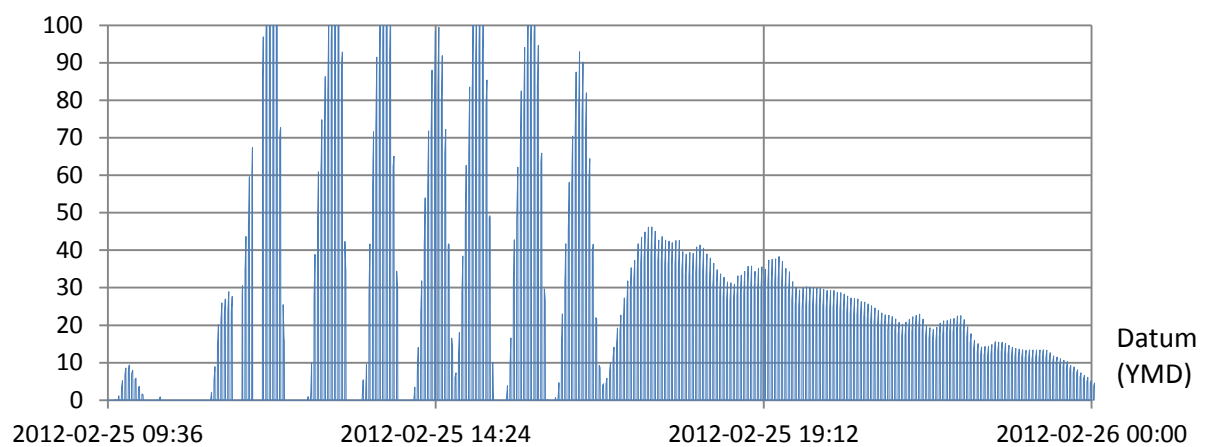


Bild 4.6. Utsignalen för klorreglering i bubbelpoolen.

Som vi kan se i bilderna ovan fungerar regleringen relativt bra, men det är ett väldigt svängigt system.