

ISSN 0280-5316
ISRN LUTFD2/TFRT--5540--SE

Fuzzy adaptiv pH-reglering av vattenreningsverk

Per Wigren

Department of Automatic Control
Lund Institute of Technology
October 1995

Department of Automatic Control Lund Institute of Technology P.O. Box 118 S-221 00 Lund Sweden		<i>Document name</i> MASTER THESIS	
		<i>Date of issue</i> October 1995	
		<i>Document Number</i> ISRN LUTFD2/TFRT--5540--SE	
<i>Author(s)</i> Per Wigren		<i>Supervisor</i> Christian Fricke, Siemens AG, Karl-Erik Årzén	
		<i>Sponsoring organisation</i>	
<i>Title and subtitle</i> Fuzzy adaptiv pH-reglering av vattenreningsverk (Fuzzy adaptive pH control of a water purification process)			
<i>Abstract</i> <p>This thesis describes an adaptive control system for a water purification process. The system combines feedback and feedforward for pH control. The feedforward part is adaptive and based on fuzzy logic.</p> <p>The system has been implemented in Siemens Teleperm and tested on a simulation model.</p>			
<i>Key words</i>			
<i>Classification system and/or index terms (if any)</i>			
<i>Supplementary bibliographical information</i>			
<i>ISSN and key title</i> 0280-5316			<i>ISBN</i>
<i>Language</i> Swedish	<i>Number of pages</i> 52	<i>Recipient's notes</i>	
<i>Security classification</i>			

Förord

Examensarbetet har utförts dels vid Siemens AB, Upplands Väsby och dels vid institutionen för reglerteknik, Lunds tekniska högskola.

Jag vill passa på att tacka mina handledare Dr. Christian Fricke, Siemens AB och Dr. Karl Erik Årzén, Lunds tekniska högskola, vilka har varit ett värdefullt stöd i skrivandet av denna uppsats.

Ett speciellt tack även till prof. Lennart Graham, Lunds tekniska högskola, doc. Bengt Hultman, Tekniska högskolan i Stockholm, Lena Svensson, Nordkalk, Köping och mina vänner doktoranden Magnus Brisander, som har hjälpt mig med förklaringar av kemin i uppsatsen och Anders Svennefalk, Claes Lernestedt och Henrik Sandell, vilka hjälpt mig med mitt svenska skrivspråk.

Tack alla ni.

Stockholm, oktober 1994

Per Wigren

Innehåll

Förord.....	0
Innehåll.....	1
1. Inledning.....	3
2. Processbeskrivning.....	4
2.1 Titrerkurvan.....	5
2.2 Lovö vattenverk: förutsättningar och krav.....	6
3. Reglerstrategi.....	9
3.1 Återkoppling med en standardregulator.....	9
3.2 Framkoppling från vattenflöde.....	10
3.3 Framkoppling från koncentration och pH.....	11
3.4 Återkoppling från pH.....	12
3.5 Adaptionblock.....	13
3.6 Fuzzyblock.....	14
4. Matematisk blockbeskrivning.....	16
4.1 Framkoppling.....	18
4.2 Återkoppling från pH.....	20
4.2.1 Inställning av en regulator.....	20
4.3 Adaptionblock.....	21
5. Fuzzy control.....	22
5.1 När kan fuzzy reglering användas?.....	23
5.3 Allmän uppbyggnad.....	24
5.3.1 Fuzzifiering.....	25
5.3.2 Fuzzyregler.....	26
5.3.3 Defuzzifiering.....	26
6. Fuzzy alkalitetsadaption.....	27
6.1 Allmänt.....	27
6.2 Uppbyggnaden av fuzzyblock 1.....	28
6.2.1 Allmänt.....	28
6.2.2 Fuzzifiering.....	28
6.2.3 Fuzzyregler.....	29
6.2.4 Defuzzifieringsdelen.....	32
6.3 Uppbyggnaden av fuzzyblock 2.....	32
6.3.1 Allmänt.....	32
6.3.2 Fuzzifieringsdelen.....	32
6.4 Uppbyggnaden av fuzzyblock 3.....	33
6.4.1 Allmänt.....	33
6.4.2 Fuzzifieringsdelen.....	33
6.4.3 Fuzzyregler.....	34

6.4.4 Defuzzifieringsdelen	35
7. Simuleringsmodell	37
7.1 Antaganden	37
7.2 Massaflöden	38
7.2.1 Massaflöden till tank	38
7.2.2 Massaflöden från tanken	39
7.3 Absoluta massor	39
7.4 Simulering av massaflödet från tank	39
7.5 Blockstruktur	40
7.6 Slutsats	41
8. Systembeskrivning i blockformat	42
9. Implementation	43
10. Testning	44
10.1 Omformulering av fuzzyregler	48
11. Sammanfattning	50
11.1 Sammanfattning av examensarbetet	50
11.2 Vidareutveckling	50
12. Referenser	51

1. Inledning

"Fuzzy logic är en mjukvarustruktur, genom vilken man verbalt kan lägga in regler hämtade från en fabriksanläggnings erfarenhetsbank och använda dem i den automatiska processtyrningen. Med sådana verbala regler uppstår genom fuzzy logic en slags artificiell intelligens som kan jämföras med expertsystem där mänskliga beslutmönster används", så skriver Walter Börnke, Dr Christian Fricke och Dr Herbert Furumoto, Siemens AG i Svensk papperstidning [1].

Målet för detta examensarbete är att bygga upp ett system för att reglera en dricksvattenanläggning genom att använda fuzzy logic. Ibland vill man ändra på vattnets sammansättning för att skydda personers hälsa, miljön, minimera korrosionen eller optimera vattnet för någon annan kemisk process. Detta examensarbete beskriver hur korrosionen i ledningsnätet för dricksvatten minimeras, vilket åstadkommes genom att öka det naturliga pH-värdet på dricksvattnet med hjälp av tillsättning av kalkvatten. Reglersystemet är uppbyggt kring en fuzzyregulator, som har till uppgift att hålla konstant pH-värde trots förändrade kemiska förhållanden i dricksvattnet, olika årstider, varierande temperaturer etc.

I början var det tänkt att detta reglersystem skulle implementeras vid Lovö vattenverk utanför Stockholm, men omständigheterna kring detta projekt blev sådana att arbetet endast genomfördes som en simulering. I rapporten beskrivs hur denna simulering byggts upp med början med förklaringar av kemin i processen, tillvägagångssättet vid regleringen av pH-värdet, samt hur detta simulerats och testats.

Förhoppningen är att examensarbetet ska vara en allmänt beskriven metod för att lösa problemet med tillsättning av kalkvatten, som med mindre anpassningar även kan användas som en metod för att lösa regleringen av pH-värdet i ett avloppsreningsverk.

2. Processbeskrivning

Det finns många anledningar till att ändra på sammansättningen av joner i vatten. Ett exempel är vattenverk där man vill utjämna pH-variationer i vattentäkten och höja upp den naturliga pH-halten för att undvika korrosion i distributionsledningarna. Ett annat exempel är avloppsreningsverk där man önskar neutralisera det inkommande renade avloppsvattnet innan det återförs till naturen. I båda dessa fall är halten av vätekarbonatjoner en viktig faktor.[2]

Sammanfattningsvis [3] bildar väte-, hydroxid och vätekarbonatjoner ett jämviktssystem. En ändring av en jonkoncentration påverkar koncentrationerna av de andra jonerna. Det finns även ett samband, vattnets jonprodukt, mellan vätejoner och hydroxidjoner enligt:

Definition 2.1: Samband väte- och hydroxidjoner:

$$[H^+] \cdot [OH^-] = \text{konstant}$$

Koncentrationen av vätejoner definierar pH-värdet och är ett exempel på en storhet som påverkas av vattnets sammansättning.

Definition 2.2: pH-värdet

$$\text{pH} = -\log\{H^+\}$$

Normalt dricksvatten består inte enbart av H_2O -molekyler. Det innehåller även koldioxid och joner i form av kalcium, magnesium etc. Borttagning av kalcium och magnesium innebär att vattnet blir "mjukare", vilket ökar effektiviteten av t.ex. tvättmedel.

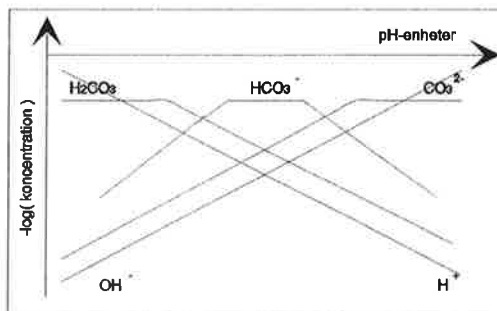
En ökning respektive minskning av pH-värdet leder till en ändring av vätekarbonatjonkoncentrationen. Denna bör hållas så hög som möjligt för att undvika punktfrätningar på rör och ledningar.

Förändring av pH-värdet åstadkommes på olika sätt, till exempel genom att:

1. Tillsätta en stark syra (t.ex. svavelsyra) eller en stark bas (t.ex. natriumhydroxid).
2. Tillsätta kalkvattenlösning för att öka pH-värdet. Lösningen fungerar som en stark bas, men med den skillnaden att en annan jonförening jämfört med punkt 1 används som en bas för att variera vätekarbonatjonkoncentrationen.

Vattenverk använder sig av den senare metoden för att öka det naturliga pH-värdet på dricksvattnet.

Det är svårt att visa alla jonkoncentrationer i en vattenlösning och hur dessa varierar vid olika pH-värden. De viktigaste jonkoncentrationer för vår uppgift är förbundna i ett gemensamt jämviktsystem. De varierar inbördes gentemot varandra och visas i ett logaritmiskt-pH-pC-diagram enligt figur:



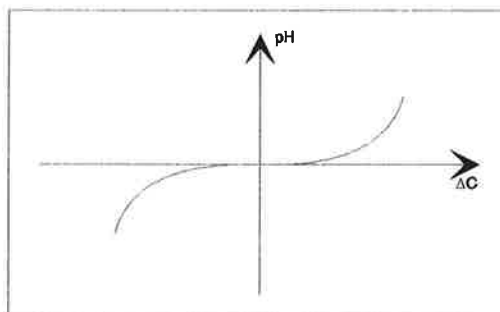
Figur 2.1: Logaritmiskt-pH-pC-diagram

En tumregel säger att eftersom y-axeln har en logaritmisk skala inses att vid olika pH-värden har vissa joner en försumbar koncentration jämfört med andra joner.

Slutsatsen av denna tumregel är att vid vissa pH-värden dominerar vissa joner. Koncentrationsmätgivarna, vilka vanligtvis bygger på mätning av ledningsförmågan mäter vid bestämda pH-värden respektive dominerande jonkoncentration.

2.1 Titrerkurvan

Det logaritmiska pH-pC-diagrammet omvandlas till en titrerkurva, vilken visar pH-värdet som en funktion av ökningen respektive minskningen av kalkvattenkoncentrationen:



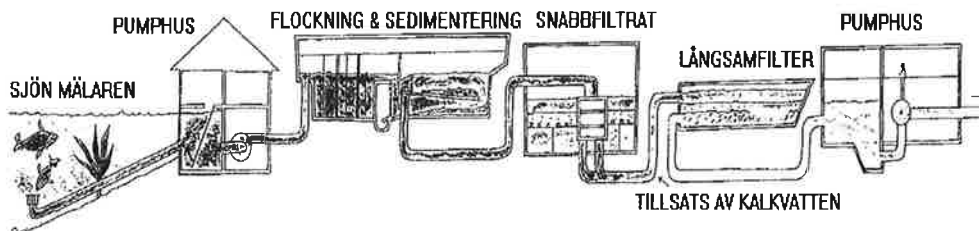
Figur 2.2: Titrerkurvan

Det flacka horisontella partiet i titrerkurvan kallas buffertområdet, där vätekarbonatjoner dominerar. Dessa joner måste omvandlas till andra jonkoncentrationer innan pH-värdet ändras. Alkaliteten är ett fysikaliskt namn på förmågan att ta upp en syra eller bas och indirekt ett mått på vätekarbonatjonkoncentrationen i buffertområdet.

Det matematiska sambandet som beskrivs av utseendet på titrerkurvan används för att bestämma hur höjningen av den naturliga pH-halten i en vattenlösning ska ske.

2.2 Lovö vattenverk: förutsättningar och krav

Lovö vattenverk, beläget utanför Stockholm, är ett av två vattenverk som förser Stockholms befolkning med dricksvatten. Råvaran, dvs vatten, tas från sjön Mälaren och via ett antal steg behandlas vattnet i olika fysikaliska och kemiska processer.



Figur 2.3: Lovö vattenverk

Ett steg i denna processkedja består i att öka pH-värdet från pH=6.9 till pH=7.9. Stegets funktionsprincip är att inkommande vatten från föregående processteg (snabbfiltrat) pumpas in samtidigt med en tillsättning av kalkvatten till en tank (långsam filter), där lösningen blandas och får ett nytt högre pH-värde. Uppgiften som jag ställdes inför var att, trots att vattnets parametrar varierar fick inte pH-värdet i tanken variera mer än 7.9 +/- 0.2 pH-enheter.

Anledningar till att pH-värdet i tankens lösning varierar kan vara:

1. En otillräcklig justering av kalkflödesmängden i relation till olika inkommande vattenflöden för att motverka pH-variationer.
2. En renspolning av snabbfiltratfiltret i föregående steg innebär en störning som åstadkommer en ökning av inkommande vattens pH-värde med 0.1 pH-enheter.
3. Svårigheter att bestämma hur väl inkommande vatten och kalkvatten blandas i tanken, vilket bl.a. beror på tankens utformning och storlek. Med hjälp av volymen och flödet genom tanken bestäms tidskonstanten, vilket ger ett grovt mått på hur lösningarna förväntas blandas med varandra. Tidskonstanten beräknas enligt:

$$\frac{\text{volym}}{\text{flöde}} = \frac{6000 \text{ m}^3}{6000 \text{ m}^3 / \text{h}} = 1 \text{ tim}$$

Detta är att betrakta som en stor tidskonstant och Lovö vattenverk förutsätter därför att lösningen blandas väl.

4. Vilken sorts av kalk vattenverket använder sig av. Vattenverk i Sverige använder sig generellt av kalciumhydroxid (släckt kalk) vid ökning av pH-värdet. De "stora" vattenverken (t.ex. Lovö vattenverk) använder sig dock av kalciumoxid (bränd kalk), vilket är billigare men svårare att hantera, eftersom man är tvungen att, på kemispråk, "släcka kalken" först, för att få kalciumhydroxid.

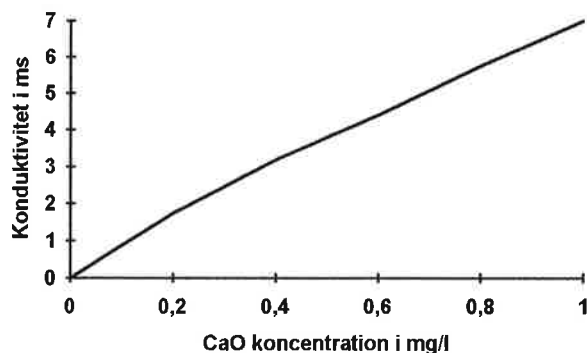
Hanteringen går till så att vattenverket själv släcker sin brända kalk genom att låta blanda den med vatten. Man får dock problemet att koncentrationen varierar starkt i form av lokala koncentrationsmoln i lösningen. Det uppkommer s.k. kalkslurr. En liknelse är när man försöker blanda potatismjöl i vanligt vatten, vilket inte löser sig något vidare.

Problemet med koncentrationsvariationer var inte löst till fullo. Ibland var det frågan om praktiskt enkla lösningar. Till exempel hade Ringsjöverken, ett annat dricksvattenverk utanför Lund löst problemet genom att låta kalkvattenflödet slå i en helt vanlig träanordning som ändrade flödesriktningen på kalkvattnet för att bättre lösa kalket i vattnet.

Ett mått på kalkvattenkoncentrationen är ledningsförmågan i lösningen, vilket är direkt proportionellt mot konduktiviteten hos de joner som finns i vattnet. Ett försök på Lovö vattenverk, där mängden CaO jämfördes med konduktiviteten, gav en idé om att använda konduktiviteten, som ett mått på koncentrationen av kalklösningen. Se figur nedan.

5. Olika matarvattendjupintag i anläggningen innebär att man måste ta hänsyn till temperaturen, vilken förändrar hur kalk löser sig i vatten (förändrad titrerkaraktistik).

6. Alkaliteten, vilket är ett indirekt mått på halten av vätekarbonatjoner bestämmer buffertområdets storlek. Denna varierar med årstiderna, regnvattenmängd och påverkar i sin tur hur mycket kalkvatten som skall tillsättas.



Figur 2.4: Förhållandet mellan CaO och konduktiviteten

Problemet att hålla konstant pH-värde i tanken kan struktureras i följande grupper:

1. Flödesändringar:

- kalkvattenflödet
- inkommande vattenflöde

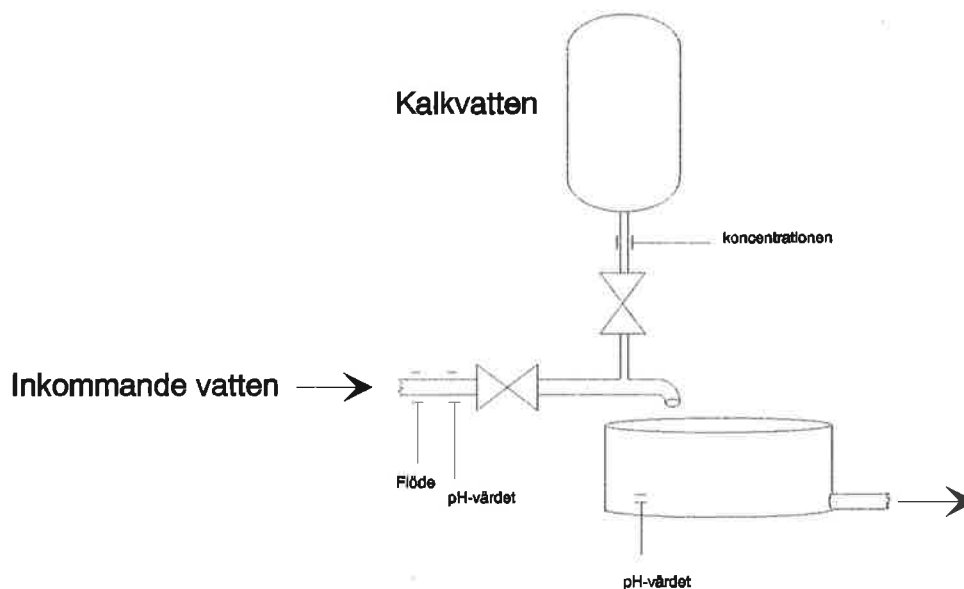
2. Koncentrationsändringar:

- kalkvatten
- indirekt via en ändring av pH-värdet på inkommande vatten

3. Titreringskaraktäristik:

- temperaturen
- alkalitet

Genom att dels veta hur en kalkvattenlösning blandar sig med inkommande vatten dvs kännedom om titrerkurvan, dels med hjälp av mätgivare som mäter pH-värde, flöde på inkommande vatten och kalkvattenkoncentrationen kan man ställa upp ett teoretiskt samband som beskriver hur tillsättningen av kalkvatten skall ske för att hålla ett konstant pH-värde i tanken.



Figur 2.5: Flödesdiagram av ett steg i processen vid Lovö vattenverk

Sammanfattningsvis indelas parametrarna som påverkar själva pH-ökningens processen upp i två olika delar, snabba och långsamma. Till de snabba hör koncentrations- och flödesändringar, medan alkalitets- och temperaturändringar tillhör de långsamma parametrarna.

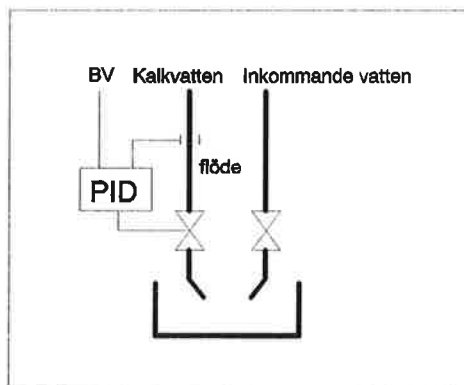
3. Reglerstrategi

I detta kapitel beskrivs steg för steg hur den valda regleringsstrukturen byggts upp med material hämtat från [4][5] och [6]. Målet är att försöka åskådliggöra ett allmänt sätt att tänka vid uppbyggandet av en reglering som styrs av ett varierande olinjärt samband.

3.1 Återkoppling med en standardregulator

Uppgift: Anpassa för snabba flödesändringar av kalkvatten.

En PID-regulator reglerar kalkvattenflödet genom att mäta det aktuella flödet, ärvärdet och jämföra det med det önskade flödet, dvs börvärdet=BV. Utsignalen från regulatorm styr en flödesventil eller pump.



Figur 3.1: Återkoppling med en PID-regulator

Sammanfattning: Det finns flera nackdelar med detta system. Det går bland annat inte att bestämma hur mycket kalkvatten som skall tillsättas om inkommande vattenflöde varierar. Ändras inkommande vattenflöde krävs en manuell ändring av börvärdet. Detta behövs för att bibehålla ett konstant pH-värde på lösningen i tanken, eftersom proportionerna kalkvatten och inkommande vatten ej är desamma.

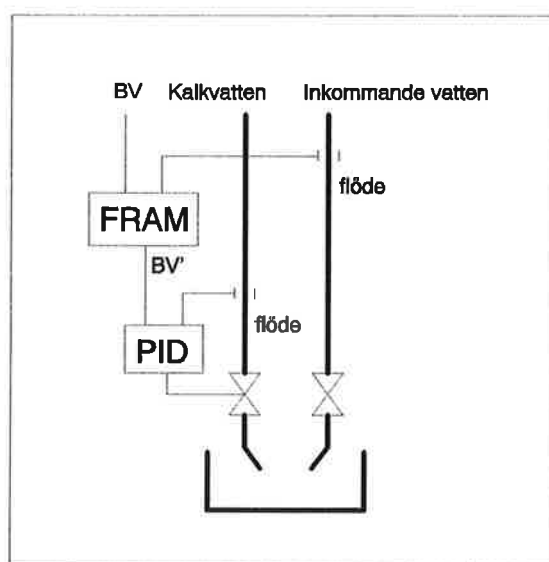
3.2 Framkoppling från vattenflöde

Uppgift: Anpassa för snabba förändringar av inkommande vattenflöde.

Ett konventionellt framkopplingsblock skapar ett nytt börvärde (=BV'), som ansluts till PID-regulatorns börvärdesingång. I framkopplingsblocket (FRAM) kompenserar man för förändringar av inkommande vattens flöde. Sambandet mellan inkommande vatten och kalkvattenflödet är linjärt och ges av:

$$BV' = BV \cdot M_{\text{inkommande vattens flöde}}$$

Det som krävs är en flödesmätning av det inkommande vattnet och tillsammans med formeln ovan bidrar det till att kalkvattenflödet ändras beroende på det inkommande vattenflödet.



Figur 3.2: Framkopplingsblock

Sammanfattning: Systemet är anpassat för flödesändringar men det tar inte hänsyn till om vattnets parametrar t.ex. pH-värde ändras. Det innebär att ett fel i tankens pH-värde uppstår, trots flödesanpassning.

För enkelhetens skull bortser vi i fortsättningen från den lokala flödesregleringen av kalkvattnet. Vi antar att vi direkt kan åstadkomma det flöde, BV', som vi vill ha. I det verkliga reglersystemet är emellertid denna återkoppling kvar. Vi byter också notation och låter F beteckna flöden.

3.3 Framkoppling från koncentration och pH

Uppgift: Anpassa för koncentrationsändringar

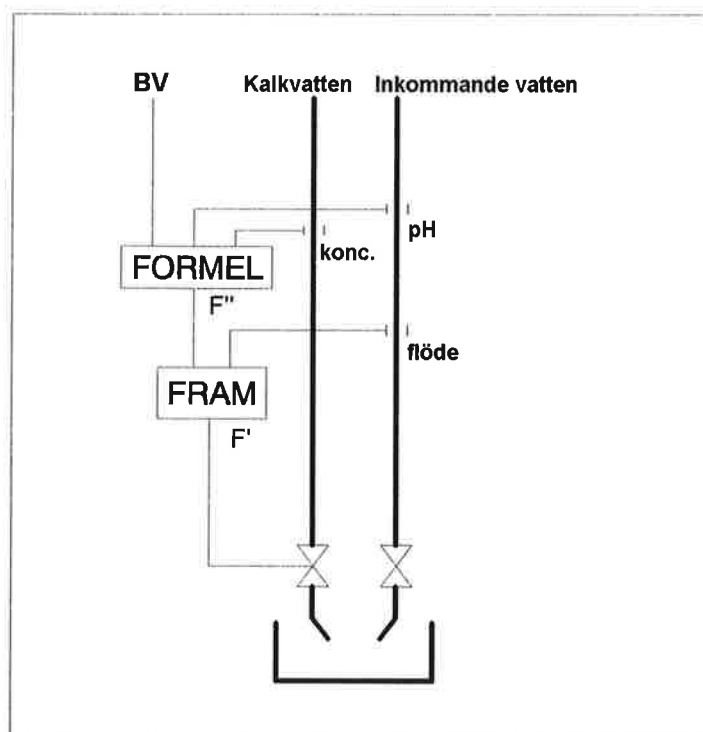
På motsvarande sätt som man framkopplar från vattenflödet kan man framkoppla från kalkvattenkoncentration och inkommande vattens pH-värde. Framkopplingsfunktionen, i figur nedan benämnd formelblocket, är en olinjär funktion som beskriver titrerkurvan, det vill säga hänsyn tas till hur kalkvatten med ett visst pH-värde påverkar det inkommande vattnets pH-värde. Insignalen BV till formelblocket är börvärdet för pH-halten i tanken. Uttrycket för det totala framkopplingsblocket blir nu:

$$F' = M_{\text{Inkommande vattens flöde}} \cdot F''$$

där

$$F'' = f(\text{BV, pH, koncentration})$$

Det matematiska uttrycket för $f(\)$, ges i kapitel 4.

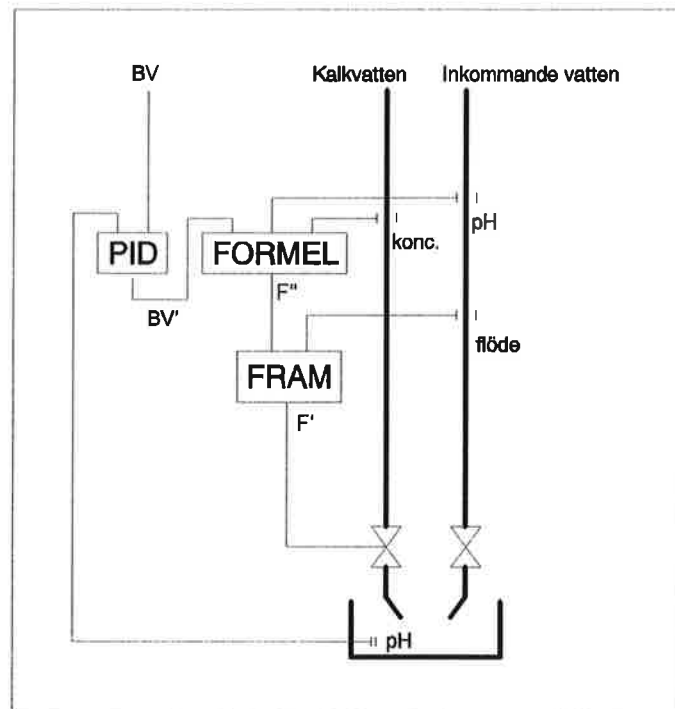


Figur 3.3: Formelblock

En reglerstrategi enbart baserad på framkoppling bygger på att alla samband är exakt kända, att alla storheter kan mätas utan fel och att inga störningar som inte kan kompenseras i framkopplingen inträffar. Så är sällan fallet. I vårt fall är t.ex. titrerkurvan mycket svårbestämd på grund av att övriga parametrar i vattnet aldrig är konstanta, utan varierar hela tiden. Speciellt alkaliteten och temperaturen varierar och ger den påföljden att titrerkurvas utseende förändras. Systemet kompletteras därför med en regulator som återkopplar pH-mätvärdet i tanken till formelblocket. Utsignalen från regulatorn kan tolkas som ett mått på hur titrerkurvan skall ändras för att rätt pH-värde (=börvärde) i tanken ska fås.

3.4 Återkoppling från pH

En PID-regulator används för att återkoppla från pH-halten i vattnet. Börvärdet BV till PID-regulatorn är lika med det önskade pH-värdet som vi försöker uppnå, dvs 7.9. Utsignalen från regulatorn kopplas till formelblocket enligt fig. 3.4, dvs utsignalen från regulatorn är börvärdet för formelblocket. Integraldelen i regulatorn kommer se till att $BV' = BV$ när felet är 0.



Figur 3.4: Regulatorblock

Utsignalen från regulatorn ger nu också ett sätt att avgöra om rätt titrerkurva följs eller ej. Om tankens pH-värde är fel beroende på förändrad titrerkaraktäristik innebär detta att regulatorns utsignal kommer att kompensera för detta, dvs ger inte längre samma konstanta utsignal som då felet i pH var = 0.

3.5 Adaptionsblock

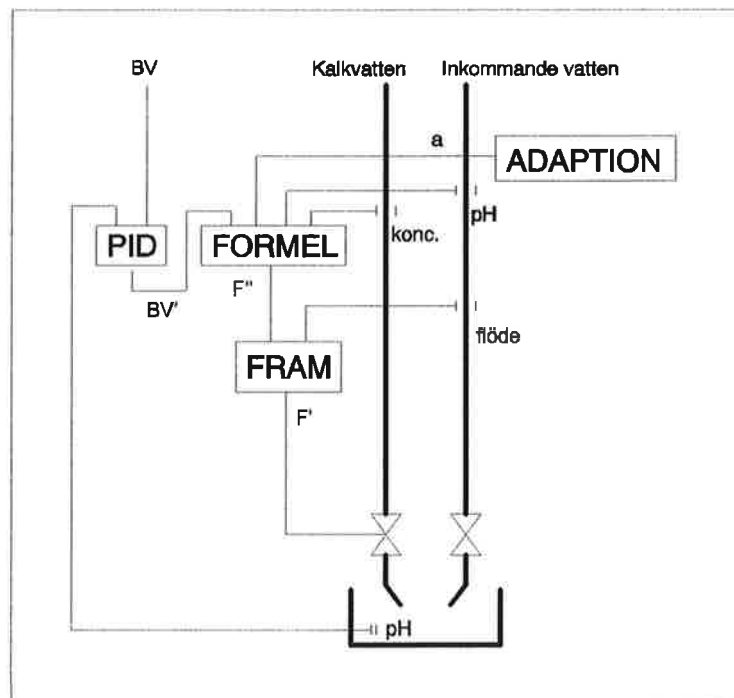
Önskan är att regulatorm inte alls skall arbeta, utan att formelblocket tillsammans med framkopplingsblocket själva skall anpassa sig för eventuella förändringar. Detta skulle vara ett mått på att rätt formel som beskriver titrerkurvan följs. Denna konstruktion skulle snabba upp systemet avsevärt. Reglertekniskt beskrivs detta som att regulatorutsignalen ($=BV'$) är konstant enligt:

$$BV' = K \cdot BV.$$

Man talar om att varje block har olika lokala förstärkningsparametrar som tillsammans bestämmer systemets totala förstärkningsparameter. Den totala förstärkningsparameter skall vara konstant även om till exempel processituationen förändras, dvs om processblockets lokala förstärkningsparameter ändras. För att hålla en konstant total förstärkningsparameter i systemet krävs att en motverkande ändring av förstärkningsparametrar sker i andra block.

Detta är adaptionsblockets uppgift, där en adaptionsparameter a förs in i formelblocket, för att ändra på dess lokala förstärkningsparameter. Adaptionparameter a sägs vara ett mått på hur vattnets parametrar, till exempel hur alkaliteten ändrar sig. Det vill säga ett mått på hur den olinjära formeln i formelblocket skall ändras för att representera den riktiga och verkliga titrerkurvan. Idén är att justera den nya adaptionsparameter a' beroende på BV och BV' , vilket kommer att ändra lutningen på titrerkurvan. Om BV är skilt från BV' skall adaptionen ändra på reglersystemet så att $BV=BV'$. Detta kan göras på olika sätt t.ex. genom att ändra på adaptionsparameter enligt:

$$a' = K \cdot a \quad \text{eller} \quad a' = a + (BV' - BV)$$



Figur 3.5: Adaptionsblock

Konstruktionsmässigt bestäms adaptionsparameter via en integrator. Finessen med att använda en integrator är att den integrerar, så länge det finns något att integrera med på

dess ingång. Finns det ett värde, ett fel, innan integratorn betyder det att integratorn indirekt via den skapade adaptionsparametern a ändrar på systemet så att $BV - BV' = 0$ eller minimeras så maximalt som möjligt.

En ändring av BV' kompenseras med hjälp av en adaptionsparameter a , vilket i sin tur innebär att regulatorn inte behöver arbeta, utan hela jobbet görs av formelblocket och framkopplingsblocket. Adaptionen kan ses som en överordnad reglering för att regulatorn inte ska arbeta och för att kunna anpassa systemet till att följa rätt titrerkurva.

3.6 Fuzzyblock

Strävan är att adaptionsparametern skall variera olinjärt, vilket medför att adaptionsparametern ökar respektive minskar mer om till exempel skillnaden mellan BV och BV' är större. Detta ökar snabbheten att anpassa sig inför en ny titrerkurva och systemet blir snabbare. Fuzzyblocket används för att implementera denna olinjäritet.

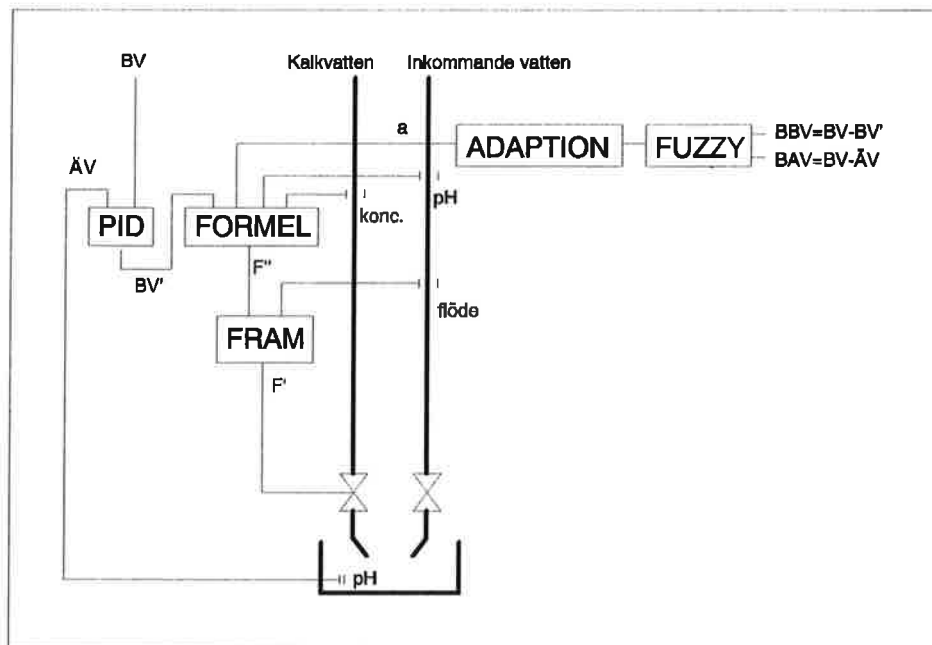
Med hjälp av fuzzyregler och utgående från hur systemet arbetar för tillfället kan man variera förstärkningen i adaptionsblocket, för att snabbast anpassa sig till de nya förhållandena i systemet.

Andra orsaker till att adaptionsblocket kompletteras med fuzzyblock är att:

1. Om regulatorutsignalen befinner sig i sin övre eller undre gräns skall adaptionen ändras, så att framkopplingsblocket gör att regulatorns arbetspunkt ändras.

2. Adaptionen kan i sig vara tillräckligt bra, dvs $BV = BV'$, trots att $BV \neq \dot{A}V$. Detta får inte inträffa.

3. Tidsmässigt förlorar man på att enbart använda en adaptionsparameter. Tidigare nämnde vi att adaptionsparametern är ett mått på alkaliteten och om denna ändras kraftigt t.ex. i avloppsvatten är vi beroende av att kunna ändra adaptionsparametern i samma takt som alkaliteten ändras. Tanken är att lösa detta problem genom att systemet kan välja mellan olika adaptionsparametrar för att använda den parameter som närmast representerar verkligheten. Detta är ett steg på vägen till ett ännu snabbare system. Vi väljer att ungefärligt lagra de fyra mest frekvent använda adaptionsparametrarna, vilka ger fyra adaptionsdelar eller adaptionområden. Vilken adaptionsparameter som skall användas bestäms av ett fuzzyblock genom att bilda parametrarna g_1 - g_4 vilka kommer från fuzzifieringsdelen i fuzzyblocket. Beroende på vilket g som har störst vikt bestäms vilken av adaptionsparametrarna som skall gälla. Mer om fuzzyblockets uppbyggnad senare i kap. 6.



Figur 3.6: Fuzzyblock

Sammanfattning: Fuzzyblocket bestämmer *när* och *hur* en ändring av adaptionsparametrarna skall ske. Språkligt sagt översätter man detta med att göra en kompromiss av mätvärdesingångarna. Beroende på kompromissen och fuzzyblockets regler bestäms *hur* adaptationen skall ändras, för att slutligen tvinga formel- och framkopplingsblocket att arbeta ensamma, utan hjälp av PID-regulatorn.

Jag har valt att bygga fuzzyblockets information på att inte direkt se på vardera mätagivare, utan istället skapa skillnader mellan mätvärden: $BBV=BV-BV'$ =börvärde-regulatorutsignal och $BAV=BV-ÄV$ =börvärde-ärvärde. Anledningen till att titta på skillnader är att oavsett en ändring av börvärdet är det optimala tillståndet när skillnaderna är noll. Det optimala tillståndet innebär att fuzzyblockets utsignal är noll. Kalktillsättningen är sålunda optimal och adaptionsparametrarna som ändrar indirekt kalkvattentillsättningen behöver inte ändras.

Målet med reglersystemet är att framkopplingsdelen skall göra det största arbetet. Därför kan samplingsintervallet för PID-regulatorn vara stort, 1-2 min. Ett lågpasfilter med tidskonstant anpassat för detta samplingsintervall används på pH-mätaren i tanken. Ett filter med samma tidskonstant används också på inkommande vattens pH-värde. Signalerna BBV och BAV är också lågpasfilterade med tidskonstant som är 10 ggr större än föregående.

4. Matematisk blockbeskrivning

I detta kapitel beskrivs matematiskt hur respektive block ser ut. Text och formler är baserade på [3].

För att bestämma kalkvattentillsättningen i systemet behöver vi känna till en del matematiska samband. En matematisk modell av blandningen mellan kalkvatten och inkommande vatten ges av följande samband:

$$\Delta c = \frac{\Delta c_{\text{ink vattenflöde}} \cdot M_{\text{ink vattenflöde}} + \Delta c_{\text{kalkvattenflöde}} \cdot M_{\text{kalkvattenflöde}}}{M_{\text{inkommande vattenflöde}} + M_{\text{kalkvattenflöde}}}$$

där Δc =koncentrationsdifferenserna, vilket är skillnader i koncentration av H⁺-joner jämfört med koncentrationen vid pH=7 och M=massaflöden av respektive lösning. Observera att i formeln ovan används differenskoncentrationer, men i processen anges pH-värden som mått på koncentrationer.

Det finns ingen analytisk beskrivning som beskriver hur man bestämmer koncentrationsdifferenser i allmänhet, vilket bidrar till att använda en tangensfunktion som en modell för koncentrationsdifferenser. Denna beskrivning kallas för en titrerkurva och beskrivs enligt:

$$\Delta c = \frac{\tan\left(\frac{\pi}{10} \times (\text{pH} - 7)\right)}{a}$$

eller

$$\text{pH} = 7 + \frac{10}{\pi} \arctan(a \times \Delta c)$$

där a =adaptionparameter som tidigare nämnts är ett mått på alkaliteten. Förändrad adaptionparameter ändrar på lutningen hos titrerkurvan. Arctanfunktionen används för att via blandningens totala differenskoncentration bestämma pH-värdet i tanken efter blandningen. Se figur nedan:

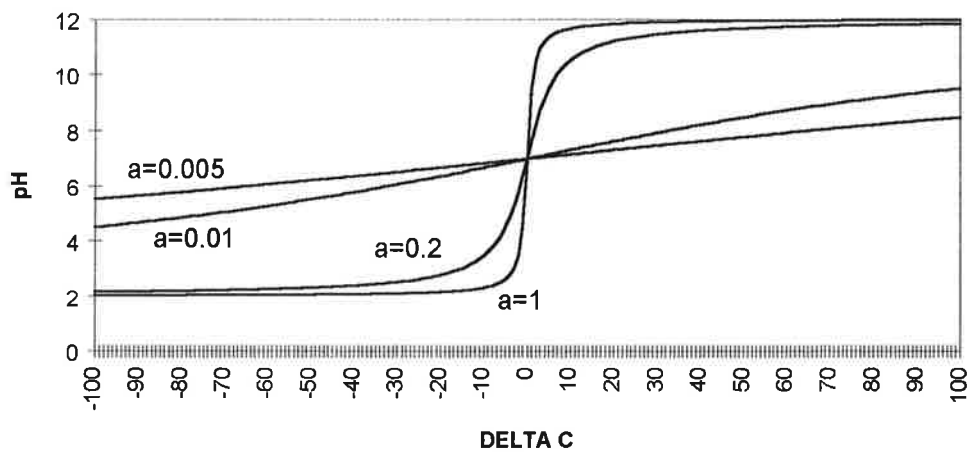


Diagram 1: Titrerkurva

4.1 Framkoppling

Framkopplingen tar hand om största delen av arbetet som görs i det totala reglersystemet, då en tillfredsställande reglering inte annars kan fås på grund av för långa dödtider. All onoggrannhet i framkopplingsblocket måste balanseras ut av en PID-regulator. Det antas även att en approximation av titrerkurvan är tillräckligt att känna till. En funktion som kvalitativt liknar titrerkurvan ges av följande exponentialuttryck:

$$\text{pH}(\Delta c) = 7 + 5 \cdot (1 - e^{-a|\Delta c|}) \cdot \text{sign}(\Delta c)$$

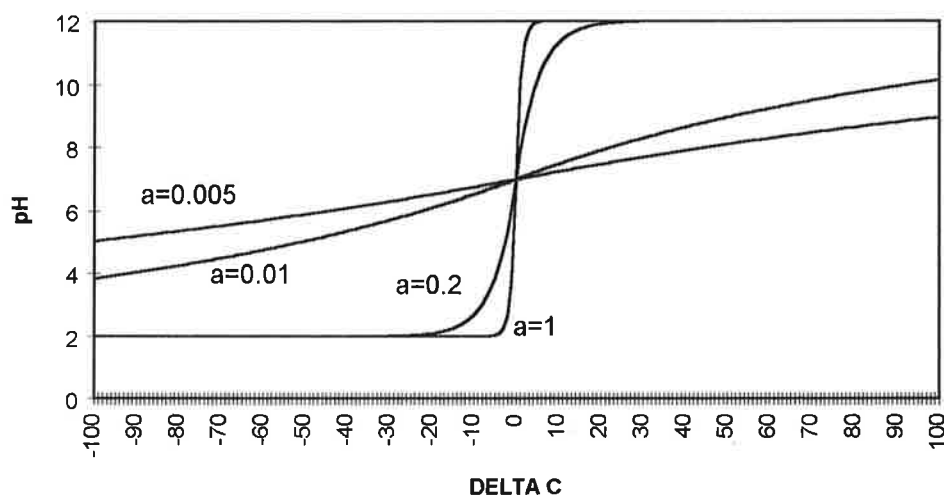


Diagram 2: Approximativ titrerkurva

Denna funktion används främst i vår reglering för att det är svårt att realisera en tan- eller arctanfunktion i vårt programmerbara reglersystem. Funktionen kan även användas för att definiera ett approximativt värde på koncentrationsdifferensen som ges av följande uttryck $\Delta c_s(\text{pH}, a)$ enligt:

$$\Delta c_s(\text{pH}, a) = -\frac{\ln\left(1 - \left|\frac{\text{pH} - 7}{5}\right|\right)}{a} \cdot \text{sign}(\text{pH} - 7)$$

Adaptionsparametern a påverkar den modell som beskriver titrerkurvan, så den överensstämmer med den verkliga titrerkurvan.

En bättre anpassning av titrerkurvan kan fås om man använder flera olika adaptionsparametrar som tidigare nämnts i kap. 3.6. Detta fås om pH-området delas upp i t.ex. 4 karakteristiker (operationspunkter pH: 6, 7, 8, 9; karakteristiskparametrar: a_1, a_2, a_3, a_4). En elegant (icke linjär) medelvärdesbildning av de fyra parametrarna kan fås med hjälp av fuzzy logic. Ingångsvariabeln inkommande vattens pH-värde bestämmer vilken karakteristik eller adaptionsparameter som skall användas vid beräkning av medelvärdesdifferenskoncentrationen nedan:

$$\Delta c_m(\text{pH}, g_i, a_i) = \frac{\sum_{i=1}^4 g_i \times \Delta c_s(\text{pH}, a_i)}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4}$$

där

pH = pH-mätvärden

a_i = adaptionsparametrar

g-parametrarna: g_1, g_2, g_3, g_4 är viktfactorer och kommer från ett fuzzyblock. Exakt hur detta går till beskrivs av tillhörighetsfunktionerna för ingångsvariabeln $\text{pH}_{\text{ink. vattenflöde}}$ vilka finns illustrerade i figur 6.4. Vi noterar att en ersättning görs av Δc_s med Δc_m . Värt att notera är att båda dessa funktioner beskriver formelblocket i kap. 3.

Dessa ovanstående uttryck används i en omskrivning av den matematiska modellen som beskriver blandningen och ger ett uttryck för hur $M_{\text{kalkvattenflöde}}$ = massakalkflödet kan beräknas:

$$M_{\text{kalkvattenflöde}} = F' = M_{\text{ink. vattenflöde}} \cdot F''$$

eller

$$M_{\text{kalkvattenflöde}} = M_{\text{ink. vattenflöde}} \cdot \frac{\Delta c_m(\text{pH}_{\text{BV}'}, g_i, a_i) - \Delta c_m(\text{pH}_{\text{ink. vattenflöde}}, g_i, a_i)}{\Delta c_{\text{kalkvatten}} - \Delta c_m(\text{pH}_{\text{BV}'}, g_i, a_i)}$$

där

$\text{pH}_{\text{BV}'}$ fås från PID-regulatorn

$M_{\text{ink. vattenflöde}}$ fås från en flödesgivare

Δc_m fås från formelblocket

$\Delta c_{\text{kalkvatten}}$ = fås indirekt från en konduktivitetmätgivare där

$$\Delta c_{\text{kalkvatten}} = (\text{konduktivitet} - c_0 \text{ konduktivitet vid pH=7})$$

4.2 Återkoppling från pH

En återkoppling från pH görs med en PID-regulator, där regleralgoritmen ges enligt Siemens av:

$$U_{\text{PID}}(s) = E(s) \cdot K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_I \cdot s} + T_D \cdot \frac{s}{1 + \frac{T_D \cdot s}{v}} \right)$$

där

K_p = förstärkningsfaktorn

s = laplace-operator

T_I = integrationstid

T_D = deriveringstid

T_D / v = tidsfördröjningskonstant

v = förstärkning av D-delen i regulatorm

$E(s)$ = reglerdifferens

$U_{\text{PID}}(s)$ = utsignal = pH_{BV}

4.2.1 Inställning av en regulator

Inställningen av en PID-regulator är gjord med Ziegler-Nichols inställningsregler. En regulator förbinds med processen. $T_I = \infty$ och $T_D = 0$, dvs I- och D-delarna kopplas bort. Därefter ökas K-värdet tills processen börjar att oscillera. Man noterar sedan K-värdet = K_0 och periodtiden hos självsvängningen = T_0 .

Inställningarna på K , T_I och T_D beräknas enligt nedanstående tabell.

REGULATOR	K	T_I	T_D
P	$0.5K_0$		
PI	$0.45K_0$	$T_0/1.2$	
PID	$0.6K_0$	$T_0/2$	$T_0/8$

Tabell 1: Ziegler-Nichols inställningsregler

Inställningen i Lovö vattenverk är: $K=1$, $T_I=7.5$, $T_D=2$ och $v=2$.

4.3 Adaptionblock

Enligt tidigare nämnts ändras adaptionparametrarna i takt med ändringarna hos vattenparametrarna t.ex alkaliteten i systemet. Därför vill man använda flera adaptionparametrar för snabbast anpassa reglersystemet till verkligheten. Fyra stycken adaptionparametrar ger en möjlighet att t.ex. vid olika pH-värdesområden skapa fyra delar på titrerkrivan som är rätt anpassade till verkligheten. Dessa adaptionparametrarna (a_1, a_2, a_3, a_4) modifieras via en integralkomponent enligt:

$$a_i(kT_0) = a_i(kT_0 - T_0) + \text{corr}_i$$

Det individuella korrektionsvärdet corr_i beräknas från en bestämd korrektionsfaktor CORS och delas sedan in i individuella korrektionsvärden beroende på vilken karakteristik som är vald enligt:

$$\text{corr}_i = \frac{\text{CORS} \times g_i \times a_i(kT_0 - T_0)}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4}$$

G-parametrarna och CORS bestäms av fuzzyblock och hur dessa bestäms hänvisas till kap. 6.

5. Fuzzy control

"Datorernas logik har vant oss vid att dela upp det mesta i ja och nej, sant och falskt. Men det finns alternativ logik, en ny matematik, som tar hänsyn till nyanserna i gråskalan mellan svart och vitt" så skriver Prof. Bengt-Arne Vedin, KTH om fuzzy logik [7], vilket översätts på svenska, som oskarp logik. Prof. Vedin försöker illustrera fuzzy logik med ett exempel. "Tänk dig en sandhög. Du tar några sandkorn i taget ifrån den och placerar dem på ett ställe, där det från början inte fanns någon sand. Till slut är den första sandhögen helt slut och all sand finns på den nya du påbörjade. När slutade den första sandhögen att vara en sandhög, när började den andra att vara det? Ditt tal skall vara ja och nej." Han skriver vidare att datorer och deras logik lär oss att dela upp det mesta i ja och nej, sant och falskt, nollor och ettor. Verkligheten är dock annorlunda. Vi vet mycket väl att mätvärden och digitalisering representeras av avrundningar och förenklingar. I vår språkliga värld har vi mjukare gränser, markerade av ord såsom "kanske", "lagom" och "sisådär". Strategin för att skapa ett fuzzyblock bygger på dessa mjukare gränser eller språkliga formuleringar.

Fuzzy logik har många industriella tillämpningar. Den tillämpning som har rönt mest intresse och resulterat i flest lyckade applikationer är fuzzy-reglering. I en fuzzyregulator används fuzzy logik för att uttrycka vilka styråtgärder som skall utföras i olika situationer eller under olika systemförhållanden. De mätta variablerna i processen talar om för fuzzy blocket vilket tillstånd processen befinner sig i. Detta uttrycks med hjälp av s.k. fuzzy sets (mängder) som beskriver variablerna i språkliga termer såsom t.ex.; normal, för hög, för låg, mycket för hög, etc. På samma sätt beskrivs de olika styråtgärder som kan utföras med hjälp av fuzzy mängder. En utsignal kan t.ex. vara noll, lite positiv, lite negativ, mycket positiv, etc. Fuzzy termerna beskriver systemet ungefärligt och tillåter viss onoggrannhet.

Vilka styråtgärder som skall utföras uttrycks med hjälp av fuzzy regler av typ: IF--THEN satser (OM--DÅ satser), t.ex. OM inkommande vatten har vissa egenskaper DÅ styr på ett visst sätt, alternativt, ändra systemet på ett visst sätt. Fuzzy reglerna kan antingen vara baserade på rent erfarenhetsmässig kunskap eller ha sitt ursprung i en matematisk modell.

5.1 När kan fuzzy reglering användas ?

Det finns inga entydiga kriterier för när fuzzy reglering är lämpligt eller ej. En fuzzy regulator kan vara motiverad när: [8]

1. När en matematisk processmodell inte är tillgänglig och det inte är ekonomiskt försvarbart att ta fram en sådan. Om det i sådana fall finns processkunskap tillgänglig kan det vara lämpligt att försöka uttrycka denna processkunskap i en fuzzyregulator.
2. När processen som skall regleras innehåller olinjäriteter eller de specifikationer som skall uppfyllas är olinjära. Med hjälp av fuzzyregler är det lätt att bygga upp regulatorer innehållande olinjära element.
3. När det är viktigt för utvecklare och användare av regulatorn att ha stor insyn i hur regulatorn är uppbyggd. Det regelbaserade sättet att beskriva regulatorn upplevs ofta som mer lättförståeligt än ett matematiskt uttryck.

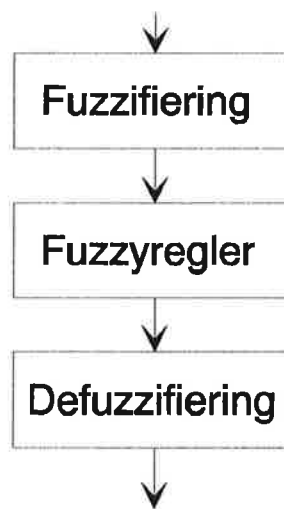
En fuzzy regulator är mindre lämplig när:

1. När uppgiften är lätt och kan lösas bra med enkla överkomliga modeller, t.ex. mha en tvåpunktsreglering eller en PID regulator.
2. I de fall då problemet är väldefinerat och en tillförlitlig matematisk modell är tillgänglig.
3. När processen är linjär.
4. När processens dynamik är av hög ordning.
5. När kraven på systemets prestanda är mycket exakta.

5.3 Allmän uppbyggnad

Grundstrukturen för en fuzzyregulator består av 3 st delar:

1. Fuzzifiering, vilket är en översättning av de tekniska mätvärdena till språkligt beskrivna mätvariabler graderade mellan 0 och 1 och benämns lingvistiska variabler.
2. Fuzzy-regler, där de språkligt beskrivna mätvariablerna från fuzzifieringen behandlas med sk "OM-DÅ"-regler. Beroende av reglerna bestämmer man att en bestämd språkligt beskriven utvariabel ska gälla.
3. Defuzzifiering, där språkligt beskrivna utvariabler översätts tillbaka till tekniska storheter.



Figur 5.1: Strukturen hos en fuzzyregulator

Fotnot: För att skapa en bild av hur dessa delar är uppbyggda motsvaras en fuzzifiering elektriskt av en A/D-omvandlare, fuzzyregler av en behandling av de digitala signalerna t.ex. ett kombinatoriskt nät och defuzzifiering av en D/A-omvandlare.

5.3.1 Fuzzifiering

I fuzzifieringsdelen översätter man de tekniska mätvärden till språkligt beskrivna mätvariabler (lingvistiska variabler). Denna översättning görs med en oskarp mängd som ger en beskrivning av begrepp som t.ex. "för basiskt", "normalt" eller "för surt". De möjliga värdena på de lingvistiska variablerna är inga tal, utan istället språkliga begrepp, "termer" med en bestämd grad mellan 0 och 1.

Ett exempel:

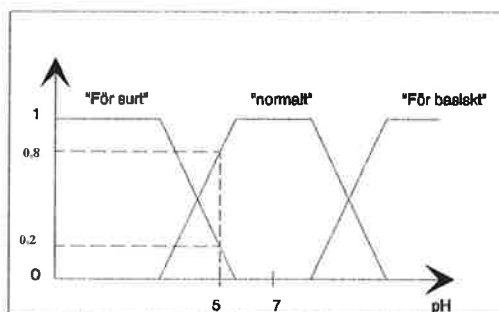
Lingvistisk variabel:

Värdesberäkning (termer):

Inkommande vattens pH-värde

"för basiskt", "normalt", "för surt"

Följande grafiska representation försöker ge en bild av hur den lingvistiska variabeln och dess termer skapas:



Figur 5.2: Fuzzifiering av inkommande vattens pH-värde

Det inkommande vattnets pH-värde= 5 tillhör den oskarpa mängden: "för surt" med graden=0,2, "normalt" med graden=0,8 och "för basiskt" med graden=0. Språkligt översatt innebär detta att pH=5 är något surt, ganska normalt och inte alls basiskt. Detta sätt att bestämma t.ex. när vattnet börjar att vara för basiskt dvs tilldela mängdfunktioner är en intuitiv process.

5.3.2 Fuzzyregler

Fuzzifieringen ger en språklig översättning av mätvärdena i systemet för att ge möjligheten att arbeta vidare med dessa med hjälp av fuzzyregler. Fuzzyreglerna är uppbyggda så att man måste beskriva processituationen, dvs vilken reaktion skall ske om processituationen är på ett visst sätt. Detta görs genom att formulera regler av typen "OM-DÅ", vilka beräknas med fuzzy-inferens. Fuzzy-inferensen består av två delar: "OM"-delen beskriver vilket eller vilka påstående i regeln, som skall gälla och "DÅ"-delen beskriver, vilken konsekvens som skall gälla.

Ett exempel visas nedan:

Regel 1: OM inkommande vattens pH = "för basiskt" DÅ ges utsignalen= "minska" vilket innebär att systemet minskar tillsättningen av kalkvatten.

Regel 2: OM inkommande vattens pH = "för surt", DÅ ges utsignalen= "öka" vilket innebär att systemet ökar tillsättningen av kalkvatten.

Regel 3: OM inkommande vattens pH = "normalt", DÅ ges utsignalen= "normalt" vilket innebär att tillsättningen av kalkvatten bibehålls på oförändrad nivå.

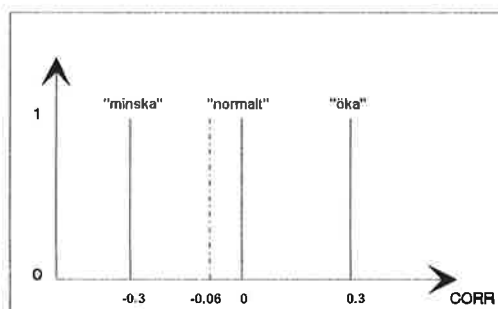
Notera att om det finns flera påstående med samma konsekvens separeras dessa med ELLER-villkor varvid minimifunktionen gäller mellan invärdena eller med OCH-villkor varvid maximifunktionen gäller mellan invärdena. Denna metod kallas MAX-MIN-metoden.

5.3.3 Defuzzifiering

Efter att de lingvistiska variabelna har blivit behandlade av fuzzyregler omvandlas dessa variabler tillbaka till tekniska storheter i defuzzifieringsdelen. Detta kan göras på olika sätt, men jag har valt den kanske enklaste defuzzifieringsmetoden, "The singleton method", där enstaka tal sänds ut. Detta tal eller produkt räknas ut genom att ta graden av ett påstående multiplicerat med konsekvensen. Finns det flera konsekvenser som är möjliga adderas de beräknade produkterna. Förutsättningarna från kap. 5.3.1 och 5.3.2 ger ett exempel på när två olika konsekvenser är möjliga:

$$\Rightarrow 0.2 \cdot (-0.3) + 0.8 \cdot 0 = -0.06$$

Påståendet att pH="för surt"=0.2 multipliceras med konsekvensen "minska"=-0.3. Denna produkt adderas med påståendet att pH="normalt"=0.8 multiplicerat med dess konsekvens "normalt" =0.



Figur 5.3: Defuzzifiering

6. Fuzzy alkalitetsadaption

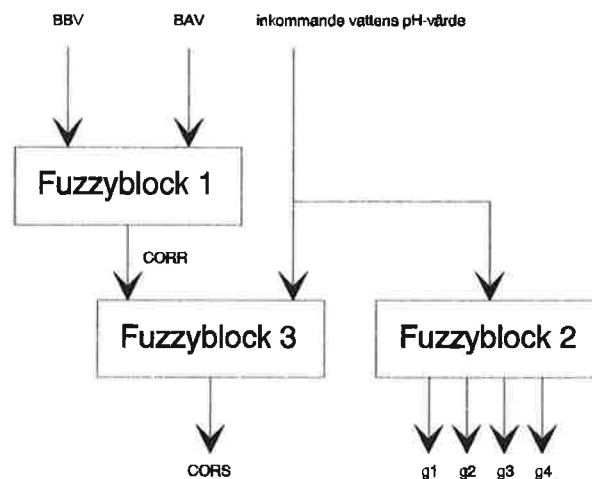
6.1 Allmänt

Uppgiften som fuzzyblocket har är att styra *när* och *hur* efterföljande adaptionsblock och dess adaptionsparametrar skall ändras. Beroende av *vilken* adaptionsparameter som valts påverkas direkt tillsättningen av kalkvatten.

Fuzzyblockets utsignal ändrar storleken på adaptionsblockets adaptionsparametrar. Information om hur storleken på fuzzyblockets utsignal skall vara bestäms med hjälp av nödvändiga mätvärden och bestämda regler.

Ovanstående text beskriver fuzzyblocket som en enhet som styr alkalitetsadaptionen och bidrar till att anpassa reglersystemet till verkligheten. Det är huvudsakligen tre frågor enligt ovan som bestäms i fuzzyblocket och därför faller det sig naturligt, att för enkelhetens skull indela fuzzyblocket internt i tre delblock: fuzzyblock 1, fuzzyblock 2 och fuzzyblock 3, där varje delblock besvarar vardera fråga.

Fuzzyblock 1 besvarar *hur* adaptionen ska förändras genom att bestämma storleken på adaptionsförstärkningen CORR. Insignalerna till detta block är BBV och BAV. Fuzzyblock 2 besvarar frågan *vilken* huvudsakliga adaptionsparameter som ska gälla med hjälp av att bestämma värdet på viktfunktionerna g_1, g_2, g_3, g_4 och insignalen inkommande vattens pH-värde. Slutligen besvarar fuzzyblock 3 frågan *när* när adaptionen skall startas eller stoppas. Insignalerna till detta block är CORR och inkommande vattens pH-värde. Utsignalen benämns CORS och är exakt detsamma som CORR, men med det tillägget att en styrning av när utsignalen skall ges ut eller inte är möjlig. Se det som en strömbrytare.



Figur 6.1: Kedjestruktur

Notera att korrosionsfaktorn CORR inte samma variabel som är beskrivet i kap.4.3.

6.2 Uppbyggnaden av fuzzyblock 1

6.2.1 Allmänt

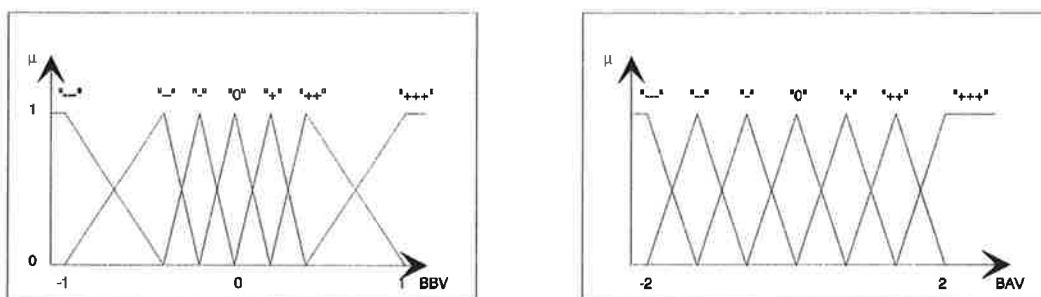
Uppgift: Fuzzyblock 1 bestämmer *hur* adaptationsblocket adaptationsparameter skall ändras. Detta görs indirekt med fuzzyblockets utsignal=CORR, vilket har exakt samma funktion som konstanten K i kap. 3.5. Skillnaden mot konstanten K i kap. 3.5 är att CORR är en varierbar konstant och kan varieras med fuzzy logik. Insignalerna till fuzzyblocket och dess fuzzyregler bestämmer utsignalen=CORR.

6.2.2 Fuzzifiering

En fuzzifiering eller en översättning av de tekniska mätvärdena till lingvistiska variabler görs innan fuzzyblocket kan förstå innebörden av ett tekniskt mätvärde.

I figur 6.2 nedan beskrivs fuzzifiering av de tekniska mätstorheterna BBV och BAV till de lingvistiska variablerna BBV och BAV, vilka av praktiska skäl benämns med samma namn trots en översättning. Vardera lingvistisk variabel beskrivs med hjälp av sju stycken termer. Valet av sju stycken motiverades av att i fallet med ett eventuellt olinjärt samband krävs det flera termer för att få bättre upplösning. Termerna var programmässigt maximerade till sju stycken. Dessa termer benämns med "+++", "++" etc.

Konstruktionsmässigt har jag satt en gräns för inom vilket område det är någon idé att adaptationsparametern finjusteras. Ovanför och nedanför detta område dvs för BBV:s del $BBV > 1$ och $BBV < -1$ signalerar fuzzifieringen om ett stort utslag, vilket motsvaras av "+++" respektive "---".



Figur 6.2: Fuzzifiering av BBV och BAV

6.2.3 Fuzzyregler

När fuzzifieringen är genomförd kan fuzzyblocket behandla de lingvistiska variablerna vidare med hjälp av fuzzyregler.

Ett visst matematiskt eller praktiskt synsätt bör man ha klart för sig från början beträffande *hur* utsignalen=CORR från fuzzyblocket påverkar adaptionsparametern och i sin tur själva tillsättningen av kalkvatten. Detta synsätt åskadligörs av:

$$M_{\text{Kalkvattenflöde}} \Leftrightarrow \frac{1}{a} \Leftrightarrow \frac{1}{\text{sign}(\text{CORR})}$$

Det matematiska uttrycket ovan tillsammans med kombinationer av olika insignalsvärden mynnar ut i följande villkor:

1. Ingen korrektion behövs om insignalerna $\text{BBV}=\text{Börvärde}-\text{Börvärde}'$ och $\text{BAV}=\text{Börvärde}-\text{Ärvärde}$ är ≈ 0 .
2. Parameter CORR skall ökas om $\text{BBV}=\text{positiv}$ och $\text{BAV}\approx 0$, vilket innebär att PID-regulatorn arbetar med att kompensera för att en för liten adaptionsparameter används i framkopplingen (beräknad alkalitet är för låg).
3. Parameter CORR skall minskas om $\text{BBV}=\text{negativ}$ och $\text{BAV}\approx 0$, vilket innebär att PID-regulatorn arbetar med att kompensera för att en för stor adaptionsparameter används i framkopplingen (beräknad alkalitet är för hög).
4. Parameter CORR skall minskas om $\text{BBV}=0$ och $\text{BAV}=\text{positiv}$. Detta kan innebära att t.ex. PID-regulatorn har gått sönder av någon orsak.
5. Parameter CORR skall ökas om $\text{BBV}=0$ och $\text{BAV}=\text{negativ}$. Detta kan innebära att t.ex. PID-regulatorn har även i denna punkt gått sönder.

Dessa villkor använder jag senare som kontrollpunkter för att verifiera mina skapade fuzzyregler.

Ibland kan det vara svårt att få begrepp om hur man skall skapa dessa fuzzyregler, speciellt om det är relativt många regler.

Ett sätt att förenkla arbetet med att skapa fuzzyreglerna är att använda vad jag kallar en utsignals-matris. De båda lingvistiska variablernas termer bestämmer rader respektive kolumner. Varje ruta representeras av en fuzzyregel och har en specifik kombination av insignaler, där värdet i rutan representeras av fuzzyblockets utsignal dvs i detta fall av CORR.

Varje värde i respektive ruta i matrisen besvaras återigen av frågan: Hur utsignalen= CORR från fuzzyblocket indirekt påverkar det totala systemet ? Tillsammans med följdfrågan: Vilka insignalskombinationer ger denna utsignal ? Detta CORR-värde förs in i på respektive plats i utsignalsmatrisen.

		BAV						
		+++	++	+	0	-	--	---
BBV	+++	0	+	+	++	++	+++	+++
	++	0	0	+	+	++	++	++
	+	-	0	0	+	+	+	++
	0	-	-	0	0	0	+	+
	-	--	-	-	-	0	0	+
	--	--	--	--	-	-	0	0
	---	---	---	--	--	-	-	0

Tabell 6.1: Utsignalsmatris

Värt att notera är att det alltid är fyra stycken olika fuzzyregler eller rutor som är uppfyllda för att senare bidra till defuzzifieringsdelens utsignal.

Problemet som jag ställdes inför var att överhuvudtaget komma igång att fylla i utsignalsmatrisen. För att komma fram till denna matris har jag försökt ställa upp en antal "grovt" bestämmande punkter som kan följas vid bildandet av en utsignalsmatris. Dessa ges av:

1. Om $BAV =$ ett värde. Vad ska då $CORR_{BAV}$ vara för att kompensera felet BAV ? Gör en markering av detta värde på respektive plats i matrisen.
2. Om $BBV =$ ett värde. Vad ska då $CORR_{BBV}$ vara för att kompensera felet BBV ? Gör en markering av detta värde på respektive plats i matrisen.
3. Tag summan av BAV 's och BBV 's $CORR$'s-markeringsvärden dvs $CORR_{BAV} + CORR_{BBV}$ och dividera med 2.
4. Om inte helt tal eller ett helt tecken fås i steg 3. Förskjut totala värdet mot $CORR_{BBV}$, eftersom BBV antas dominera över BAV . Det går lika bra att anta att BAV dominerar över BBV , eftersom det är bara ett "grovt" bestämmande sätt att generera fuzzyreglerna.
- 5 För in kvoten av det slutgiltiga $CORR$ -värdet i matrisen.
6. Överföring av $CORR$ -matrisen till fuzzyregler.

Resultatet av utsignalsmatrisen ger 49 stycken regler. Eftersom flertalet regler har samma konsekvens, separeras dessa med ELLER-villkor till 7 stycken regler, enligt nedan:

Regel 1:

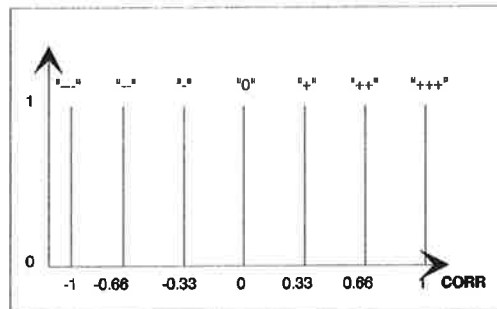
OM ($BBV = "+++"$) OCH ($BAV = "+++"$)
ELLER ($BBV = "++"$) OCH ($BAV = "+++"$)
ELLER ($BBV = "++"$) OCH ($BAV = "++"$)
ELLER ($BBV = "+"$) OCH ($BAV = "++"$)
ELLER ($BBV = "+"$) OCH ($BAV = "+"$)
ELLER ($BBV = 0$) OCH ($BAV = +$)
ELLER ($BBV = "0"$) OCH ($BAV = "0"$)
ELLER ($BBV = "0"$) OCH ($BAV = "-"$)
ELLER ($BBV = "-"$) OCH ($BAV = "--"$)
ELLER ($BBV = "-"$) OCH ($BAV = "-"$)
ELLER ($BBV = "--"$) OCH ($BAV = "--"$)
ELLER ($BBV = "--"$) OCH ($BAV = "---"$)
ELLER ($BBV = "---"$) OCH ($BAV = "---"$)
DÅ $CORR = "0"$

På motsvarande sätt för övriga sex stycken utsignals termer:

$CORR = "+++", "++", "+", "-", "--", "---"$

6.2.4 Defuzzifieringsdelen

För att resterande block i systemet skall förstå innebörden av den lingvistiska utsignalen CORR omvandlas denna till ett teknisk mätvärde benämmt av praktiska skäl även denna till CORR.



Figur 6.3: Defuzzifiering

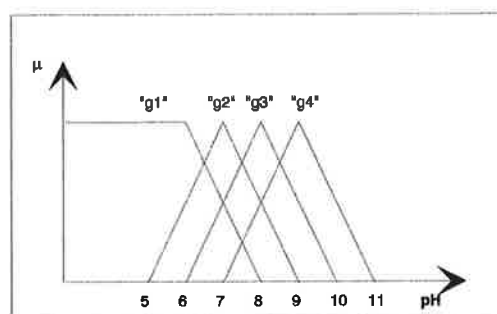
6.3 Uppbyggnaden av fuzzyblock 2

6.3.1 Allmänt

I kap. 3.6 nämndes det att adaptionsblocket består av fyra stycken adaptionsdelar, vilka åstadkommer fyra adaptionsparametrar. Vidare nämndes att det totala systemet använder sig av huvudsakligen en adaptionsparameter. **Vilken** adaptionsparameter som skall väljas av dessa fyra stycken parametrar bestäms av ett fuzzyblock eller specifikt genom att fuzzifiera det inkommande vattnets pH-värde se figur 6.4.

6.3.2 Fuzzifieringsdelen

Fuzzifieringen resulterar i g-parametrar, vilka är vikter eller sannolikheter av den adaptionsparameter, som skall användas. Varje adaptionsparameter är sammanbunden med dess vikt. Detta kommer att medföra om t.ex. $g_1=0$ att adaptionsparameter a_1 inte ändras. Systemet säges kunna minnas olika adaptionsparametrar och skall vara ett sätt att snabba upp systemet inför förändrade buffertkapaciteter (alkalitet) i vatten. Se även kap. 4.1 & 4.3.



Figur 6.4: Fuzzifiering av inkommande vattens pH-värde

6.4 Uppbyggnaden av fuzzyblock 3

6.4.1 Allmänt

Uppgift: Funktionen för detta fuzzyblock är att bestämma *när* det går att ändra en adaptionsparameter, som påverkar ovanstående beskriven process.

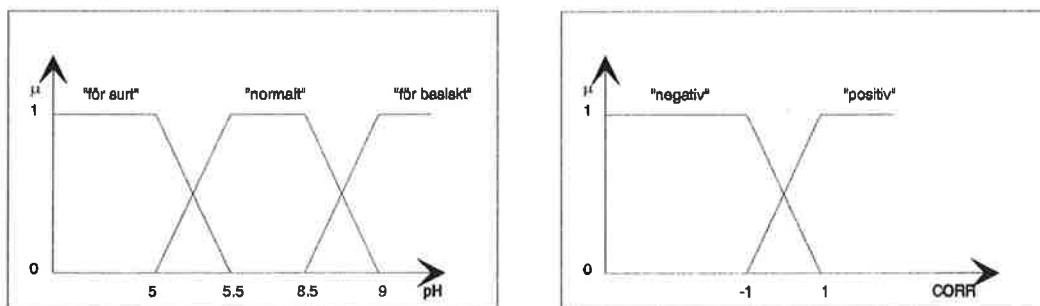
Detta problem löses genom att veta, när inkommande vatten är för basiskt, normalt eller för surt. Om vattnet t.ex. är för basiskt eller för surt skall ingen adaptation ske.

Strukturen är följande: Hur adaptionsblocket skall styras har lösts i fuzzyblock 1. *När* systemet skall adaptera besvaras omedelbart om det inkommande vattnet har ett normalt pH-värde. Vad som är normalt pH-värde beskrivs grafiskt och intuitivt i fig. 6.5.

Har det inkommande vatten ett normalt pH-värde skall utsignalen=CORR från fuzzyblock 1 kopplas vidare genom fuzzyblock 3 till adaptionsdelen utan att förändras. Dock med undantaget av namnbytet från CORR till CORS. Däremot om pH-värdet inte är normalt skall CORR:s värde inte föras vidare till adaptionsdelen. Detta löses med hjälp av insignalerna CORR och inkommande vattens pH-värde grafiskt beskrivet i fig. 6.5 tillsammans med blockets fuzzyregler.

6.4.2 Fuzzifieringsdelen

De tekniska insignalerna CORR från defuzzifieringsdelen i fuzzyblock 1 och inkommande vattens pH-värde omvandlas till lingvistiska variabler benämnda med samma namn enligt:



Figur 6.5: Fuzzifiering av inkommande vattens pH-värde och CORR

6.4.3 Fuzzyregler

Informationsvariablerna översätts i fuzzifieringsdelen till lingvistiska variabler och kan därefter behandlas vidare med fuzzyregler. Hur denna behandling går till visas i utsignalsmatrisen nedan.

		CORR	
		p	n
inkommande vattens pH-värde	+	0	0
	0	p	n
	-	0	0

Tabell 6.2: Utsignalsmatris

Representationsöversättningen ges av: "för basiskt"= "+", "normalt"= "0", "för surt"= "-", "positivt"= "p", "noll"= "0", "negativt"= "n"

Regel 1:

OM (Inkommande vattens pH-värde="för surt") ELLER (inkommande vattens pH-värde="för basiskt") DÅ är CORS = "noll", vilket medför att adaptionen stoppas.

Regel 2:

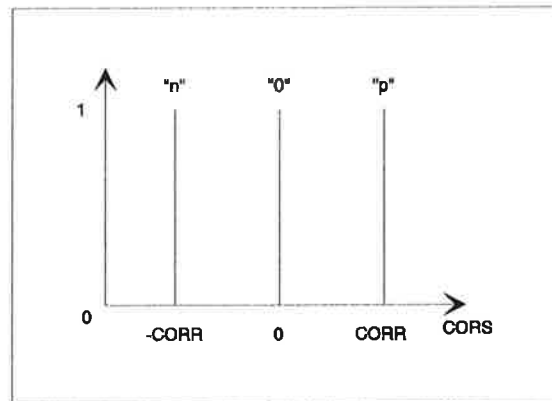
OM (Inkommande vattens pH-värde="normalt") OCH (CORR="negativt") DÅ är CORS="negativt", vilket medför att CORR:s värde förs vidare i kedjan och adaptionen startas.

Regel 3:

OM (Inkommande vattens pH-värde="normalt") OCH (CORR="positivt") DÅ är CORS="positivt", vilket medför att CORR:s värde förs vidare i kedjan och adaptionen startas.

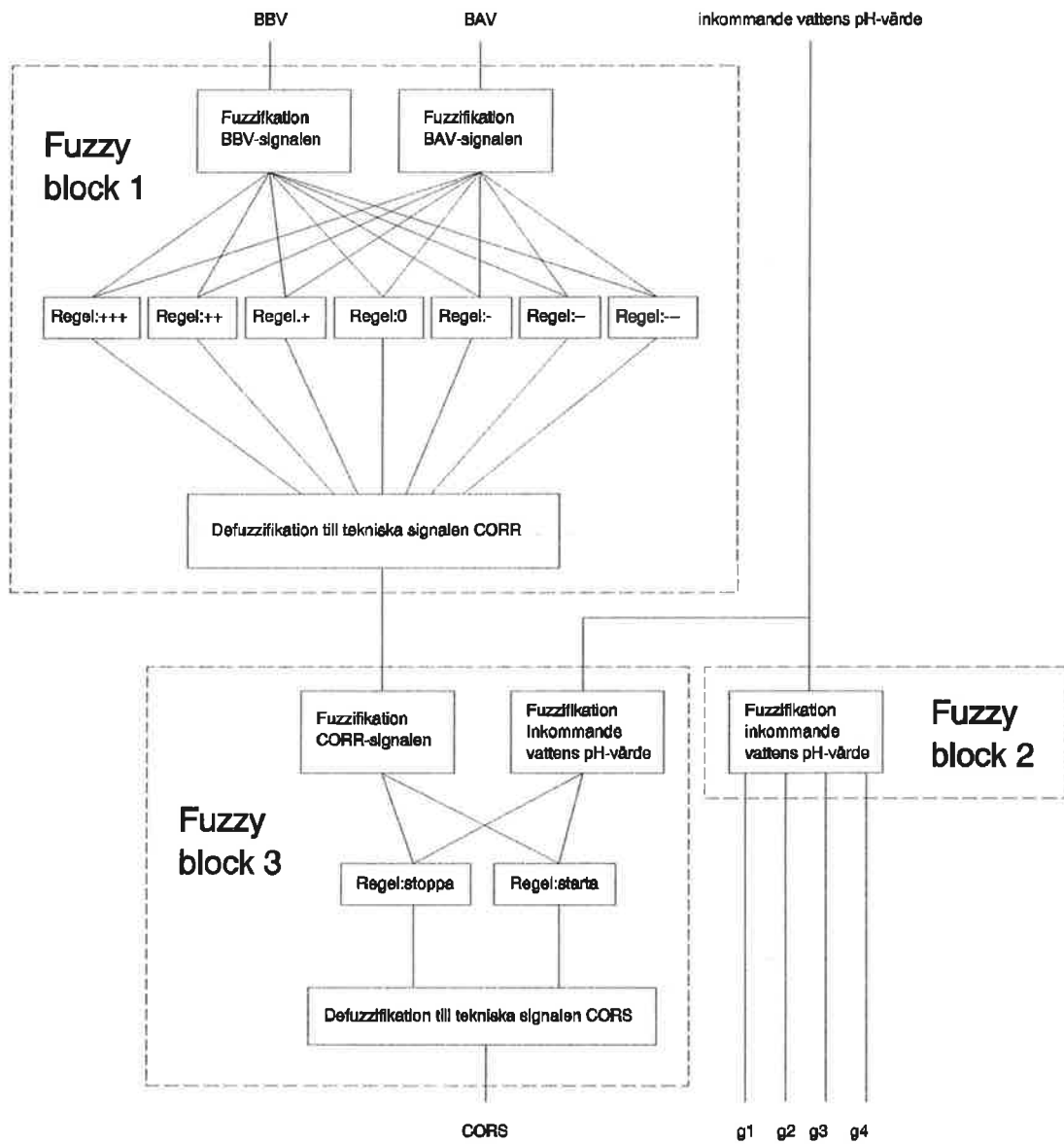
6.4.4 Defuzzifieringsdelen

Defuzzifieringsblocket översätter de lingvistiska utsignalerna "p" och "n" från fuzzyregelblocket till en teknisk storhet CORS med hjälp av bl.a. den grafiska bilden nedan. Bilden nedan visar "p" som motsvaras av $CORS = CORR$ och "n" som motsvaras av $CORS = -CORR$. Staplarna nedan motsvaras inte av konstanta värden som tidigare nämnts, utan av en variabel dvs CORR, som antingen är positiv, negativ eller 0. Undantaget är "0"-stapeln vilket motsvaras av $CORS = 0$ och är konstant.



Figur 6.6: Defuzzifiering

Sammanfattning: Tre stycken olika fuzzyblock beskriver *när* och *hur* systemet skall få adaptionsdelen att ändras.



Figur 6.7: Blockschema Lovö vattenverk

7. Simuleringsmodell

I inledningen nämndes det att det inte finns en verklig anläggning att testa regleringssystemet på, vilket tvingar fram skapandet av en simulationsmodell för hur själva blandningen i tanken vid Lovö vattenverk går till. Detta har jag försökt att visa nedan:

7.1 Antaganden

En matematisk simulationsmodell av tankproblemet skapas genom två antaganden:

1. Antag att totala massan består av vattnets massa och kalkvattnets massa enligt:

$$m_{\text{total}} = m_{\text{vatten}} + m_{\text{kalkvatten}}$$

2. Antag att tankens totala pH-värde motsvaras av H^+ -jonkoncentrationsbidraget från enbart inkommande vatten och kalkvatten (i verkligheten av flera ämnen, men dessa försummas). Vi vet sedan tidigare att pH-värden kan omvandlas till koncentrationer, vilket ger den totala koncentrationen av vätejoner i tanken enligt:

$$c_{\text{H}^+ \text{-joner totalt i tank}} = c_{\text{H}^+ \text{-joner i vatten}} + c_{\text{H}^+ \text{-joner i kalkvatten}}$$

där

$$c_{\text{H}^+ \text{-joner i vatten}} = \frac{m_{\text{H}^+ \text{-joner i vatten}}}{m_{\text{total}}}$$

och

$$c_{\text{H}^+ \text{-joner i kalkvatten}} = \frac{m_{\text{H}^+ \text{-joner i kalkvatten}}}{m_{\text{total}}}$$

Dessa antaganden bidrar till att skapa ett mått på koncentrationen med hjälp av delmassor, vilket kan skrivas som:

$$c_{\text{total}} = \frac{m_{\text{H}^+ \text{- joner i H}_2\text{O}} + m_{\text{H}^+ \text{- joner i kalkvatten}}}{m_{\text{total}}}$$

Slutsatsen är att om de olika delmassorna och den totala massan kan bestämmas, kan den totala koncentrationen av vätejoner i tanken beräknas, som i sin tur kan omvandlas till ett pH-värde, dvs pH-värdet i tanken.

7.2 Massaflöden

De olika delmassorna och den totala massan ges inte direkt i systemet, utan måste beräknas fram. Detta är huvudanledningen till användandet av massaflöde, vilket är ett indirekt mått på massan. Massaflöden mäts direkt i systemet med flödesgivare. Jag skiljer på massaflöden till och från tanken.

7.2.1 Massaflöden till tank

Omvandling av mätgivares värden till differenskoncentrationer bestäms med formler från kap.4. Dessa formler omvandlas därefter till absoluta mått enligt nedan:

1. PH-värdet i inkommande vatten omvandlas till en absolut koncentration enligt:

$$\Delta c_{\text{vatten}} = \frac{\tan\left(\frac{\pi}{10} \times (\text{pH}_{\text{vatten}} - 7)\right)}{a} \rightarrow c_{\text{vatten}} = \frac{\tan\left(\frac{\pi}{10} \times (\text{pH}_{\text{vatten}})\right)}{a}$$

2. Konduktivetsmätvärdet i kalkvattnet omvandlas till en absolut koncentration enligt:

$$\Delta c_{\text{kalkvatten}} = (\text{konduktivitet} - c_{\text{konduktivitet vid pH=7}}) \rightarrow c_{\text{kalkvatten}} = \text{konduktivitet}$$

Formler ovan används för att ge ett mått på H^+ - jonmassaflöden enligt:

$$M_{\text{till tank bestående av H}^+ \text{- joner i vatten}} = c_{\text{vatten}} \times M_{\text{till tank bestående av vatten}}$$

$$M_{\text{till tank bestående av H}^+ \text{- joner i kalkvatten}} = c_{\text{kalkvatten}} \times M_{\text{till tank bestående av kalkvatten}}$$

7.2.2 Massflöden från tanken

Massflödet från tanken av respektive ämne bestäms av totalflödet från tanken multiplicerat med andelen massa av respektive ämne i behållaren enligt:

$$M_{\text{från tank bestående av vatten}} = M_{\text{totalt från tank}} \times \frac{m_{\text{vatten}}}{m_{\text{total}}}$$

$$M_{\text{från tank bestående av kalkvatten}} = M_{\text{totalt från tank}} \times \frac{m_{\text{kalkvatten}}}{m_{\text{total}}}$$

$$M_{\text{från tank bestående av H}^+ \text{-joner i vatten}} = M_{\text{totalt från tank}} \times \frac{m_{\text{H}^+ \text{-joner i vatten}}}{m_{\text{total}}}$$

$$M_{\text{från tank bestående av H}^+ \text{-joner i kalkvatten}} = M_{\text{totalt från tank}} \times \frac{m_{\text{H}^+ \text{-joner i kalkvatten}}}{m_{\text{total}}}$$

7.3 Absoluta massor

De absoluta massorna vilka används i kap. 7.2.2 beräknas enligt:

$$\frac{dm_{\text{vatten}}}{dt} = M_{\text{till tank bestående av vatten}} - M_{\text{från tank bestående av vatten}}$$

$$\frac{dm_{\text{kalkvatten}}}{dt} = M_{\text{till tank bestående av kalkvatten}} - M_{\text{från tank bestående av kalkvatten}}$$

$$\frac{dm_{\text{H}^+ \text{-joner i vatten}}}{dt} = M_{\text{till tank bestående av H}^+ \text{-joner i vatten}} - M_{\text{från tank bestående av H}^+ \text{-joner i vatten}}$$

$$\frac{dm_{\text{H}^+ \text{-joner i kalkvatten}}}{dt} = M_{\text{till tank bestående av H}^+ \text{-joner i kalkvatten}} - M_{\text{från tank bestående av H}^+ \text{-joner i kalkvatten}}$$

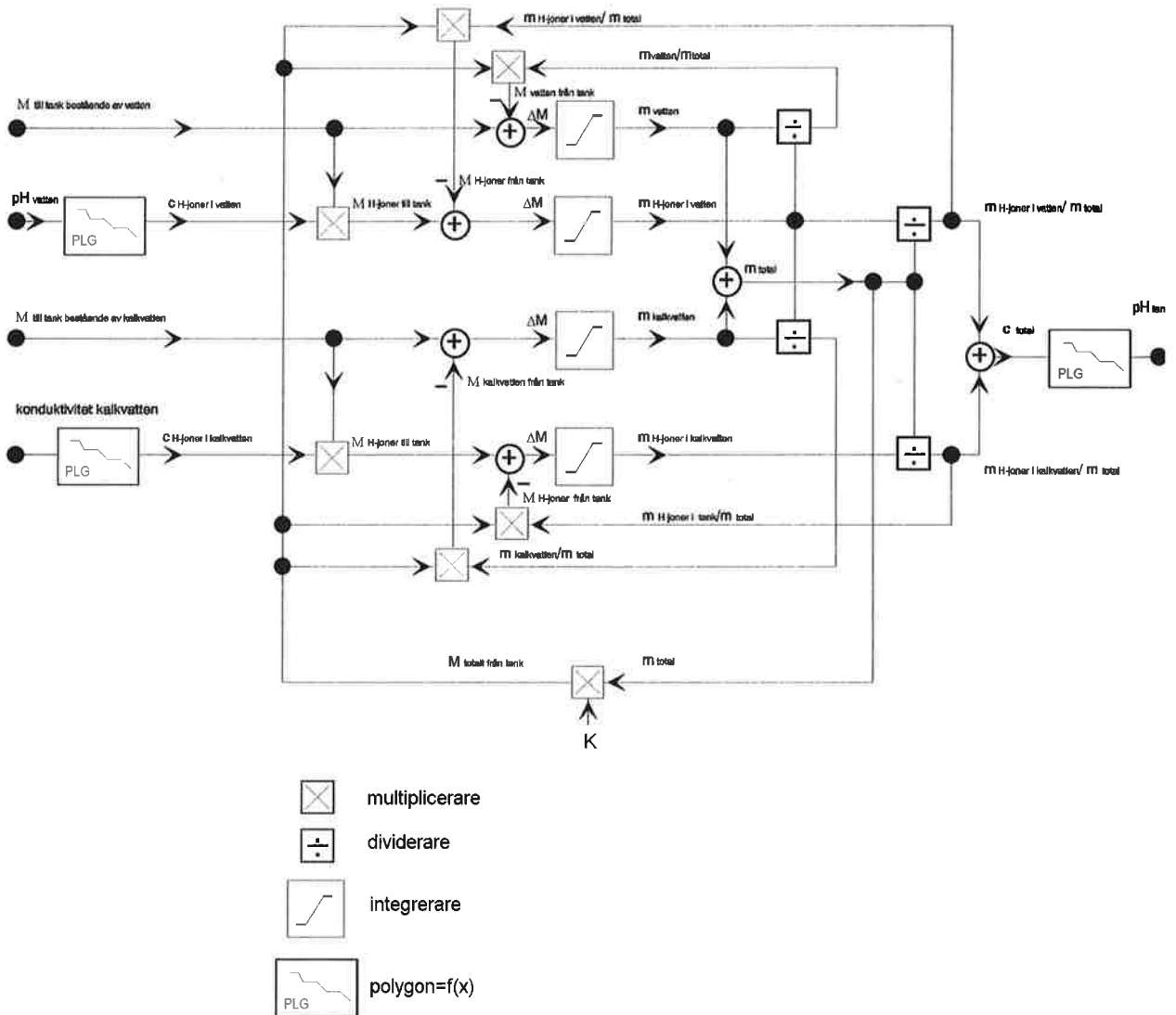
7.4 Simulering av massflödet från tank

En simulering av massflödet från tanken görs på grund av att detta mätvärde mäts inte i processen. Modellen bygger på att massflödet är proportionellt mot totala massan i tanken enligt:

$$M_{\text{totalt från tank}} = k \times m_{\text{total}}$$

7.5 Blockstruktur

Ovanstående formler kan åskadliggöras i följande blockstruktur som beskriver en simulering av processen i blockformat. Formlerna som representeras av PLG-block återfinns i kap. 7.2.1 och 7.6.



Figur 7.1: Blockstruktur över simuleringmodell

7.6 Slutsats

Den totala koncentrationen i tanken ges av:

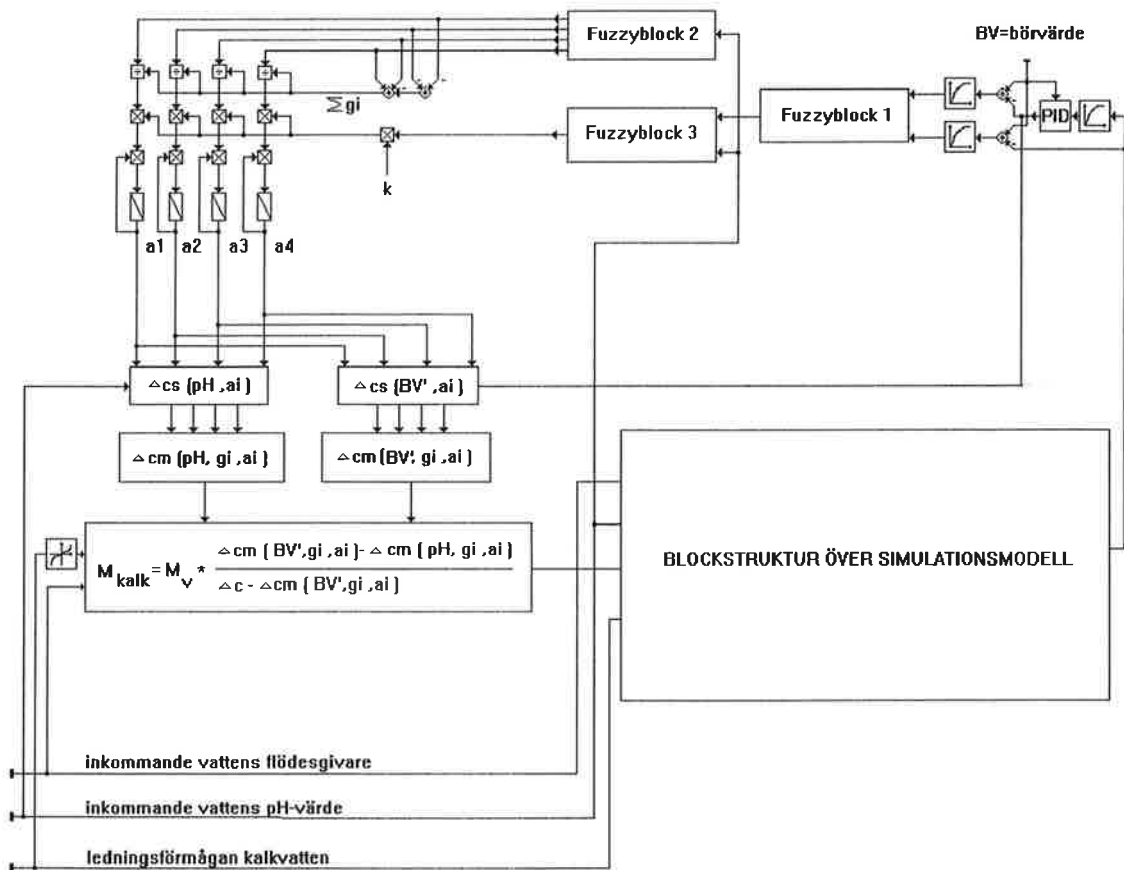
$$c_{\text{total}} = \frac{m_{\text{H}^+ \text{-joner i H}_2\text{O}} + m_{\text{H}^+ \text{-joner i kalkvatten}}}{m_{\text{total}}}$$




vilket enligt formel i kap.4 omvandlas till ett pH-värdet och omskrives därefter med absolut koncentration enligt:

$$\text{pH} = 7 + \frac{10}{\pi} \arctan(a \times \Delta c) \rightarrow \text{pH} = \frac{10}{\pi} \arctan(a \times c)$$

8. Systembeskrivning i blockformat

Blockstrukturen över en simuleringsmodell kombineras med en blockstruktur som beskriver reglersystemet i kap. 4. När blockstrukturerna kombineras fås en bild av hur Lovö vattenverk fungerar och ska styras. Anledningen till att beskriva reglersystemet på detta sätt är att den lämpar sig väl för att direkt programmeras in i ett automatiserings-system. Beskrivningen ges enligt följande figur:



-  Polygonfunktion
-  Filterfunktion
-  Integrerare

Figur 8.1: Systembeskrivning i blockformat

9. Implementation

Teleperm AS

Implementering av reglersystemet sker med hjälp av Teleperm AS. Teleperm AS är samlingsnamnet på Siemens mikroprocessor- och bildskärmsbaserade automatiserings-system. Programmering i Teleperm AS bygger på att det finns tillgång till en beskrivning av reglersystemet enligt kap. 8. Denna struktur programmeras därefter in i Teleperm AS.

Prograf AS

Prograf AS är det grafiska hjälpprogram som visualiserar grafiskt reglersystemet efter att programmeringen i Teleperm AS är slutförd. Detta används för att kontrollera visuellt att fig 8.1 återfinns som en liknade figur i Prograf AS. Omvänd programmering är även möjlig med utgående från grafiska bilder skapa programkod för Teleperm AS.

Sifloc

Detta program är det viktigaste. Programmet är ett "fuzzy"-program skrivet för Teleperm-systemet, vilket i praktiken innebär att en överföring av den teoretiska beskrivningen av fuzzifieringar, defuzzifieringar och i form av fuzzyregler till en lista på värden. Denna lista med värden implementeras i de från början "tomma" fuzzyblocken i Teleperm AS. Allt arbete sker med i Teleperm AS-systemet, men kan även göras i Prograf AS. Sifloc-programmet kan även simulera fuzzysystemet, vilket är till nytta om man vill se grafiskt hur fuzzyreglerna uppför sig.

Profuzzy och Persp

Profuzzy är ytterligare ett grafiskt program som visualiserar hur fuzzysystemet uppför sig. I dessa program visas insignalskombinationer och dess resultatet iform av grafiska tredimensionella bilder.

Win_TM, Win_Scan och Excel.

Win_TM används för att visualisera hur reglersystemet uppför sig på en bildskärm. Kurvdiagram visas online med Teleperm AS.

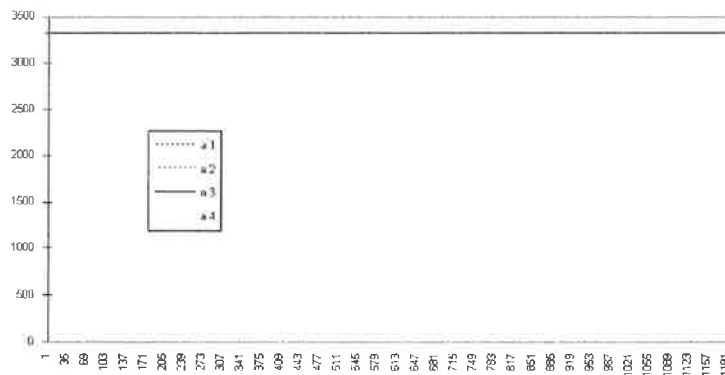
Win_Scan läser av bestämda noder i reglersystemet t.ex. en börvärdessignal och lagrar dess data i en fil. Denna fil kan sedan behandlas vidare med Excel och visualiseras i ett diagram för utprintning.

10. Testning

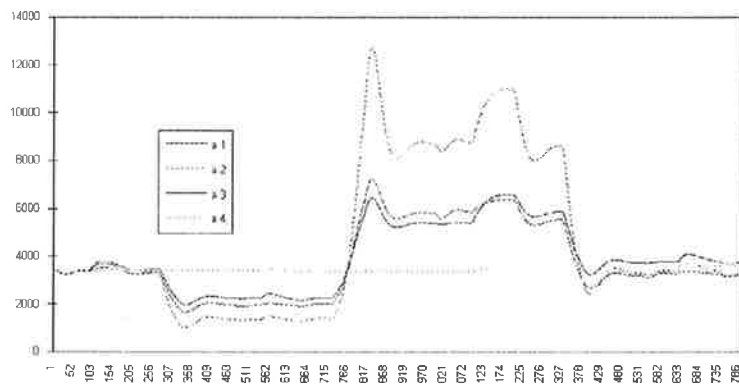
Testningen består av tre delar:

1. Uppgift: Testa systemet utan adaptions- och med adaptionsdelen inkopplad för att se om adaptionsdelen är nödvändig.

Testningen skedde genom att inkommande vattens pH-värde ändrades mellan 6.9 +/- 0.5-pH-enheter, samtidigt som en ändring av vattenparametern alkaliteten simulerades i simuleringsmodellen. I figurerna 10.1 och 10.2 nedan visas hur adaptionsparametrarna ändras:

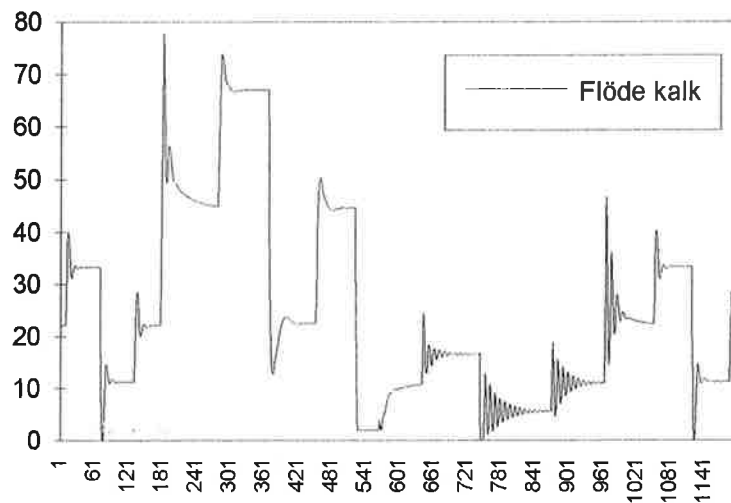


Figur 10.1: Utan adaptionsdelen inkopplad

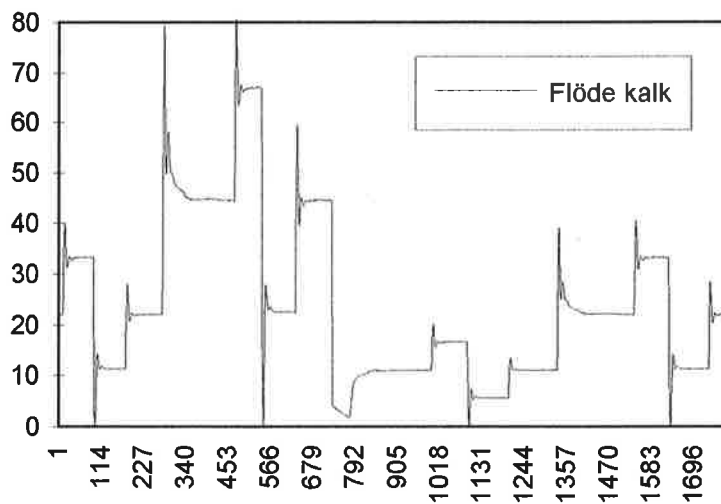


Figur 10.2: Med adaptionsdelen inkopplad

Utsignalen till kalkvattenpumpen eller kalvattenflödet kunde därefter studeras när adaptionen inte var inkopplad och när adaptionen var inkopplad enligt figur 10.3 och 10.4 nedan:



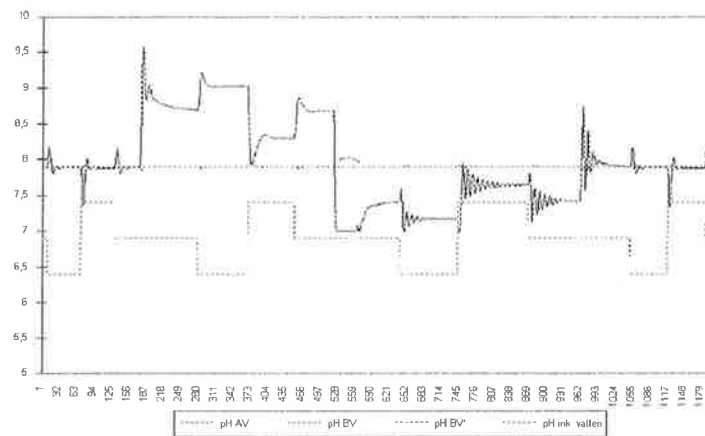
Figur 10.3: Utan adaptionensdelen inkopplad



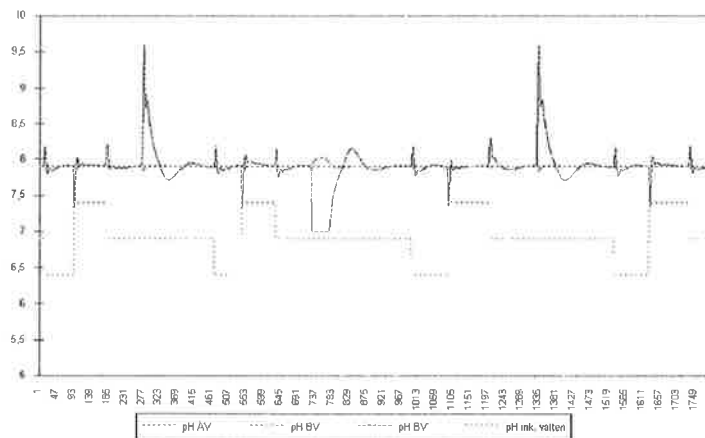
Figur 10.4: Med adaptionensdelen inkopplad

Slutsats: Figur 10.3 visar när adaptionensdelen inte är inkopplad oscillerande fenomen som tyder på självsvängningar. Dessa självsvängningar uppstår på grund av att den totala förstärkningsparametern i systemet inte är konstant. Däremot i figur 10.4 med adaptionensdelen inkopplad återfinns inte samma typ av självsvängningar, vilket tyder på att adaptionen hjälper systemet att bibehålla den totala förstärkningsparametern konstant.

En konstant total förstärkningsparameter i systemet är att föredra för att inte regulatorn som återkopplar pH-värdet i tanken inte skall arbeta. I figur 10.6 nedan visar hur adaptionen hjälper den återkopplade regulatorns utsignal (BV):



Figur 10.5: Utan adaptiondelen inkopplad



Figur 10.6: Med adaptiondelen inkopplad

2. Uppgift: Kalkvattnets variation i koncentration om $BV' = \text{konstant}$.

Detta är ett test för att se om en kraftig förändring av kalkvattenkoncentrationen bidrar till att förändra pH-värdet i tankens totala lösning. Det innebär även ett test, som visar att kalkvattens påverkan på inkommande vatten följer ett linjärt samband. Se kapitel 4.

Slutsats: Ett linjärt beroende som förväntat och ger den slutsatsen att PID-regulatorn kan ligga i sin vilopunkt, och resterande delen av systemet arbetar.

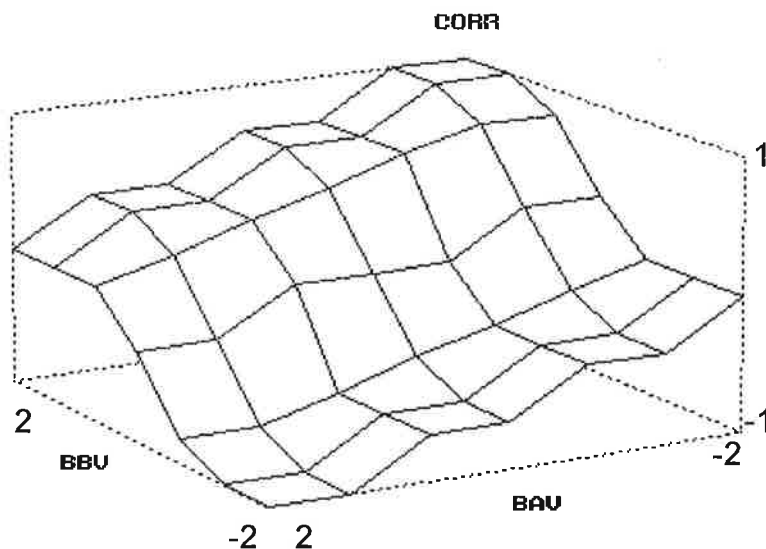
3. Uppgift: Statisk testning av fuzzyregler.

Det finns en skillnad mellan en statisk och en dynamisk testning av fuzzyreglerna. Den statiska testningen kan t.ex. representeras av en bortkoppling av PID-regulatorn, vilket även kan motsvaras av att regulatorn har gått sönder. Om regulatorn inte fungerar motsvaras det av att BV' dvs regulatorutsignalen är konstant, vilket i sin tur innebär att börvärde-regulatorutsignal=BBV=konstant.

Den dynamiska testningen däremot sker med PID-regulatorn inkopplad, vilket innebär i förlängningen att BBV-signalen varierar.

I den med den statiska testningen är att se vad som händer med systemet i händelse av ett bortfall av PID-regulatorn för att se om adaptationen tillsammans med framkopplingen kan arbeta ensamma. Bortfallet av en fungerande PID-regulator skulle kunna motsvaras av en skillnad mellan börvärde och regulatorutsignal som är "stor", t.ex. tekniskt representeras av $BBV \approx 2$. Om BAV varierar är alltid korrosionsfaktorn CORR positiv, vilket innebär att CORR påverkar adaptationsparametrarna så att de ökar i värde, vilket kommer att innebära mindre tillsättning av kalkvatten. Minskar kalkvattnet med övrigt oförändrade parametrar minskar pH-värdet i tanken dvs ärvärdet. Börvärde-ärvärde=BAV blir större, vilket ger större CORR, som i sin tur ökar adaptationsparametrarna och gör att systemet så småningom skenar iväg åt fel håll.

På motsvarande sätt kan man resonera om skillnaden mellan börvärde och regulatorutsignal är "liten". Olika kombinationer av BBV och BAV och dess resultat CORR visas i nedanstående figur:



Figur 10.5: Tredimensionell bild av fuzzyregler

Sammanfattningsvis så visar den statiska testningen av systemet att det finns insignalskombinationer mellan BBV och BAV, vilka påverkar adaptationsdelen på fel sätt. Detta innebär att systemet inte fungerar om t.ex. PID-regulatorn av någon anledning skulle gå sönder, eftersom adaptationsdelen då adapterar åt fel håll. Strävan är emellertid att inte få icke tillåtna fuzzyregelområden, som en säkerhet inför exempelvis en bortkoppling av PID-regulatorn. Skall denna inbyggda säkerhet finnas med innebär det att en omformulering av fuzzyreglerna måste ske.

Det är värt att notera att om PID-regulatorn fungerar som den ska, vilket den i normal fall ska göra, kommer den att hjälpa till att få adaptationsdelen att adaptera åt rätt håll.

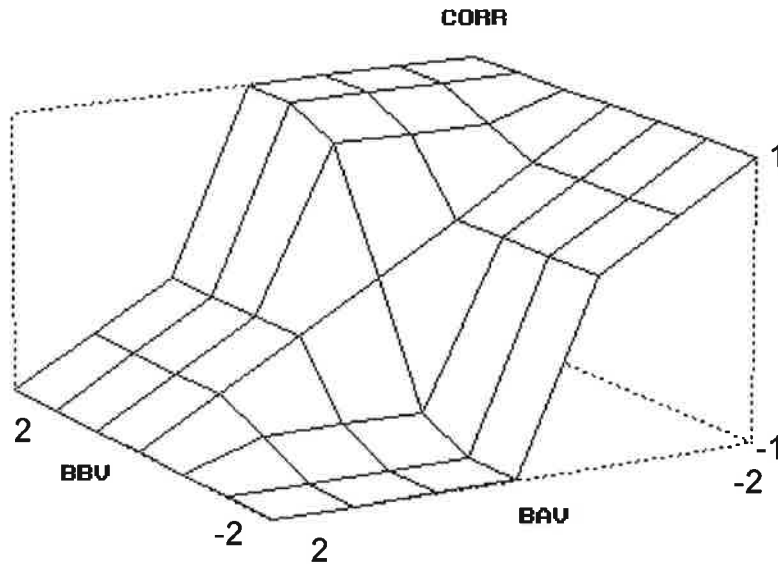
10.1 Omformulering av fuzzyregler

Vid omformuleringen av fuzzyreglerna tas hjälp av artikeln "Adaptive pH Value Control in a Neutralization Plant with Fuzzy Logic" [5], där fuzzyregelrepresentationen finns representerad som en utsignalsmatrix. Beskrivning av fuzzyreglerna används i ett avloppsreningsverk, men sättet att styra adaptionsdelen med fuzzy logik är på samma sätt som i en dricksvattenanläggning.

		BAV						
		+++	++	+	0	-	--	---
BBV	+++	---	--	-	+++	+++	+++	+++
	++	---	--	-	++	++	++	+++
	+	---	--	-	+	+	++	+++
	0	---	--	-	0	+	++	+++
	-	---	--	-	-	+	++	+++
	--	---	--	--	--	+	++	+++
	---	---	---	---	---	+	++	+++

Tabell 10.1: Utsignals-matris med de nya fuzzyreglerna

Fuzzyreglerna kan även åskådliggöras i en tredimensionell figur enligt nedan. Lägg märke till att det inte finns några förbjudna statistiska områden, där korrosionsfaktorn CORR påverkar adaptionsdelen att gå åt fel håll. En eventuell nödvändig kompensering av fuzzyreglernas påverkan på utsignalen CORR görs med multipliceraren, vilken är placerad mellan fuzzyblocket och adaptionsblocket och kan ses i figur kap. 8.1. Nedanstående fuzzyregelrepresentation används av det bildade reglersystemet:



Figur 10.6: Tredimensionell bild av de nya fuzzyreglerna

11. Sammanfattning

11.1 Sammanfattning av examensarbetet

Tillföra kalkvatten till ett vattenflöde för att öka pH-värdet ställer krav på att man har klart för sig kemiskt vad som händer med vattnet och praktiskt vilka krav som ställs på reglersystemet. I detta fall var det frågan om relativt stora flöden på ca 6000m³/h som innebar att systemet borde vara snabbast möjligt. Ett liknande problem som användes som en lösning, återfanns i en uppsats [5] som beskrev tillsättningen av kalkvatten i en avloppsanläggning, där lösningen byggde på ett framkopplat system med återkoppling gjord med bl.a. fuzzy logik.

Implementationen av fuzzy logik i återkopplingen var problematiskt. Det var speciellt svårt att hitta en metod som beskriver en fuzzyregulator. Lösningen på problemet var en utsignalsmatris, vilket bygger på hur man i digitaltekniktillämpningar löser problem i kombinatoriska nät med Karnaughdiagram.

Slutkonstruktionen bygger på framkoppling, där en formel används för att beräkna utsignalen som styr en kalkvattenpump och i sin tur håller pH-värdet i en tank konstant. På grund av olika förändrade parametrar i vattnet infogas en adaptionsdel, som skall kunna ändra formeln i önskad riktning. Beslutet att ändra i adaptionsdelen görs med fuzzy logik. Fuzzy logiken utvärderar mätresultat i form av pH-värdet i tanken och beslutar med hjälp av fuzzyregler när och hur adaptionsdelen ska förändras.

11.2 Vidareutveckling

I detta reglersystem återkopplas enbart ett mätvärde nämligen pH-värdet i tanken för att kunna bestämma hur reglersystemet skall hålla ett konstant pH-värde i tanken. I tänkbara andra system, där det krävs ytterligare återkopplingar av andra mätvärden för att bestämma en utsignal till t.ex. en pump kan dessa relativt lätt infogas till reglersystemet. Det innebär att reglersystemet ovan skulle kunna utgöra grunden till ett betydligt mera avancerat reglersystem, som kan vara svårt att realisera med konventionella standardlösningar.

12. Referenser

- [1] Dr. Furomoto, Dr. Fricke och Walter Bönke: Automatiseringsstruktur förbättrar ekonomin i en massafabrik, Siemens AB, Svensk papperstidning 17-92
- [2] Svenska vatten- och avloppsverksföreningen VAV: Rapport nr 1992-19
- [3] James N. Butler: Carbon Dioxide Equilibria and their applications
- [4] Tore K. Gustafsson: A study of modelling and control of pH in a fast acid-base reaction processes based on chemical reaction invariance, rapport 84-4, Inst. för reglerteknik, Åbo Akademi
- [5] Ch. Maron och K. Burgert: Adaptive pH-wert Regelung in einer Neutralizations anlage mit Hilfe von Fuzzy-Logik, atp 12-93
- [6] Karl Johan Åström, Tore Hägglund: PID-control, Inst. för reglerteknik, Lund
- [7] Vedin: Civilingenjören nr6 1994
- [8] C. von Altrock: Fuzzy Logic, band 1, Oldenbourg, 1993