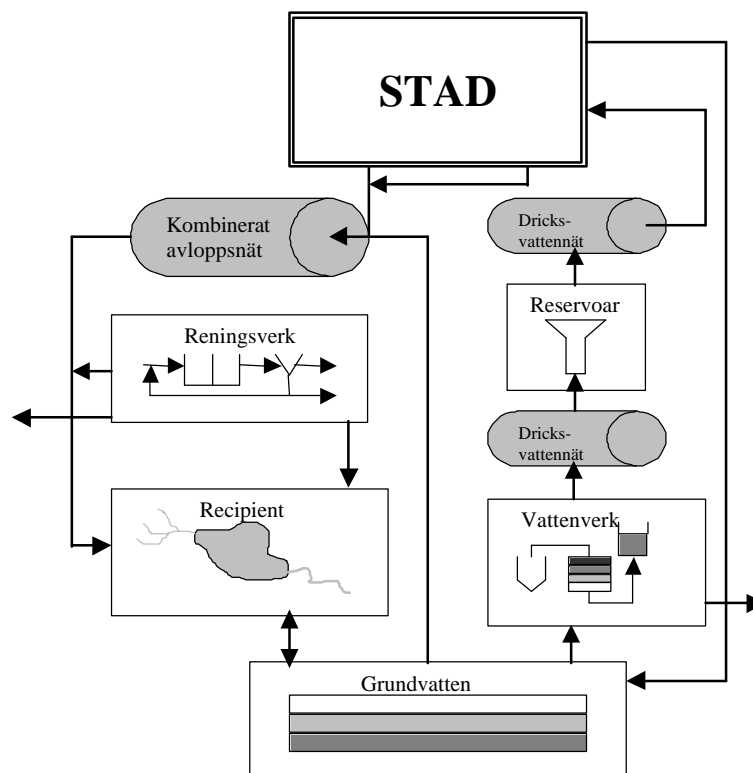


# Informationssystem inom VA-sektorn

En förstudie för projekt Lokalt reningsverk för  
Hammarby Sjöstad, etapp 1



# Lokalt reningsverk för Hammarby Sjöstad – Informationssystem inom VA-sektorn

## Litteraturinventering och förstudie



Uppsala Universitet

Mats Ekman  
Bengt Carlsson



VAI VA-Projekt AB

Mikael Rångeby  
Anders Malm



Stockholm Vatten AB

Berndt Björlenius

# Informationssystem inom VA-sektorn- En litteraturstudie för Hammarby Sjöstad projektet

**Mats Ekman och Bengt Carlsson**

*Avd för Systemteknik, IT institutionen, Uppsala universitet, Box 27, 751 03, Uppsala.*

*e-mail: [me@syscon.uu.se](mailto:me@syscon.uu.se), [bc@syscon.uu.se](mailto:bc@syscon.uu.se)*

## **Sammanfattning**

Föreliggande rapport avser att kartlägga nuvarande kunskapsläge ("state-of-the-art") avseende informationssystem för avloppsreningsverk samt att belysa några viktiga forskningsområden inom informationssystem för urbana vattensystem. Den redovisade studien är baserad på litteraturstudier och intervjumaterial och ingår som en del av utvecklingsarbetet i delprojektet "Informationsteknologi" inom Hammarby Sjöstad-projektet. Viktiga frågeställningar som studien fokuserat på är hur information från processen på ett optimalt sätt kan utnyttjas av styr- och reglersystem, varningssystem och operatörer. Det är även av centralt hur information ska presenteras för boende och övriga intressenter. Delområden som studerats och som ingår i ett informationssystem inkluderar styrsystem, nätverk, kommunikation, regulatorer, reglerstrategier, modellering, instrumentering, övervakning, varningssystem, "software sensors", givare och information till boende.

Sammanfattning.....	1
1 Bakgrund och syfte .....	4
2 Problemställning .....	4
3 Översikt av styrsystem.....	5
3.1 PLC-system .....	5
3.2 Styrning med dator (PC).....	7
3.3 Processautomatiseringssystem.....	8
3.4 Nätverk .....	11
3.4.1 Nätverkss kommunikation.....	11
3.5 Utvecklingstendenser mot integrerade informationssystem .....	13
3.6 Nuvarande utnyttjande av informationssystem inom VA-system .....	14
3.7 Framtida integrerade informationssystem för urbana vattensystem.....	15
3.8 Informationssystem för Hammarby Sjöstad-projektet .....	18
4 Reglerteknik .....	19
4.1 Inledning.....	19
4.2 Reglerdesign och reglerstrategier .....	21
4.2.1 Relästyrning och styrteknik .....	21
4.2.2 PID-regulatorn .....	22
4.2.3 Modellbaserade regulatorer .....	23
4.2.4 Parameterstyrning.....	26
4.2.6 Kaskadreglering.....	27
4.2.7 Framkoppling.....	28
4.2.8 Decentraliserad reglering och frikopplande element för flervariabla system.....	29
4.3 Plant wide control .....	29
4.4 Reglerstrategier i VA-system.....	32
4.5 En översikt av några existerande och föreslagna reglerstrategier vid avloppsrening.....	33
4.5.1 Styrning av syrekoncentrationen .....	34
4.5.2 Reglering av extern kolkälla i (ASP) .....	38
4.5.3 Reglering av fällningskemikalier.....	39
4.5.4 Reglering av flöden och hydraulik .....	39
4.5.5 Integrerad styrning.....	40
5 Modellbygge och simulering.....	40
5.1 Modellbygge .....	41
5.2 Modellvalidering.....	42
5.3 Simulatorer i reningsverk .....	42
5.3.1 Kommersiella simulatorer för VA-system.....	43
6 Övervakning av VA-system .....	43
6.1 Validering av mätdata.....	44
6.2 Detektering och tidiga varningssystem .....	44
6.3 Diagnostik .....	45
7 Givare.....	46
7.2 Mjukvarusensorer ("software sensors") .....	47
8 Information till hushåll och koppling teknik-miljö-människa. ....	51
8.1 Inledning.....	51
8.2 Om informationspresentation.....	51
8.2.1 Faktorer att ta hänsyn till .....	51
8.3 Nivåer av informationspresentation.....	52
8.3.1 Rådata.....	52
8.3.2 Periodisk information.....	52

8.3.3 Relevant information.....	52
8.3.4 Kombinationer som medger ett helhetsperspektiv .....	52
9 Slutsatser.....	53
Tack.....	54
Referenser .....	55

## 1 Bakgrund och syfte

Ett informationssystem för t ex ett VA-system kan definieras som det integrerade förfarande som tillämpas för insamling, lagring, analys och behandling av mätbara processparametrar. Målsättningen är att med hjälp av ett beräkningssystem utnyttja dessa parametrar för informationsåterföring till den aktuella processen så att denna kan styras mot optimala produktionsresultat. För ett avloppsreningsverk innebär detta typiskt att hålla låga utsläppsnivåer med minimal resursförbrukning samt att minimera inverkan av störningar.

Ett informationssystem innehåller en mängd komponenter inklusive nätverk, kommunikation, regulatorer, reglerstrategier, modeller, instrumentering, datainsamling, datalagring, presentation, gränssnitt, övervakning, varningssystem, detektering, diagnostik, ”software sensors” och givare.

Den studie som redovisas i föreliggande rapport ingår som en del av utvecklingsarbetet i delprojektet ”Informationsteknologi” inom Hammarby Sjöstad-projektet. Målet med projektet är att utvärdera teknologi inom avloppsvattenbehandling och slambehandling hos ett lokalt avloppsreningsverk i Hammarby Sjöstad, försett med ett avancerat informations- och styrsystem. Delprojektet ”Informationsteknologi” skall föreslå och utprova system för behandling och användning av mätdata för olika styrstrategier, användare och boende.

Rapporten, som baseras på litteraturstudier och intervjumaterial, syftar till en kartläggning av nuvarande kunskapsläge (”state-of-the-art”) avseende befintliga informationssystem för avloppsreningsystem samt att definiera viktiga forskningsfält inom området urbana vattensystem baserade på informationssystem. Ett ökat kunskapsläge kan ligga till grund för fortsatt utvärdering av informationssystem för behandling och återföring av information för olika användare och användningsområden. Viktiga frågeställningar som studien fokuserat på är hur information från processen på ett optimalt sätt kan utnyttjas av styrsystem, varningssystem och driftoperatörer. En viktig frågeställning är även hur information kan presenteras för de boende i Hammarby Sjöstad.

Rapporten kommer även att till viss del ligga till grund för den kravspecifikation som går ut till potentiella leverantörer av det styrsystem som skall implementeras i det lokala reningsverk som upprättas för Hammarby Sjöstad.

## 2 Problemställning

Den massiva utveckling som fortgår inom informations- och sensortekniken medför att nya informationssystem har ett stort potentiellt användningsområde inom tekniken för avloppsvattensystem. Nuvarande begränsade utveckling av informationssystem inom urbana vattensystem kan visa sig bli en avgörande flaskhals som hämmar den framtida utvecklingen. Hushåll och industrier kan i framtiden få en mer aktiv roll i att finna nya lösningar för vattendistribution och rening. Här kommer troligtvis IT-baserad information till hushåll och industrier att ha en avgörande betydelse för att motivera dessa aktörer.

Några av de motiv till den utveckling och forskning av informationssystem som bedrivs inom VA-system kan sammanfattas i följande viktiga utmaningar:

- ? Hur mycket resurser i form av energi, kemikalier och övriga driftskostnader kan sparas genom en mera effektiv användning av information?
- ? Kan man genom koordineringar mellan olika delsystem göra driften mer resurseffektiv och robust (okänslig) med avseende på störningar?
- ? Hur kan nya instrumenteringar och informationssystem göra driften av VA-systemet lättare och effektivare?
- ? Kan man genom effektivare informationssystem göra VA-systemet mer anpassat för framtida förändringar?
- ? Hur kan information till hushållen påverka folks beteenden genom indirekt styrning och därmed minska mängden skadliga föroreningar i avloppsvattnet?

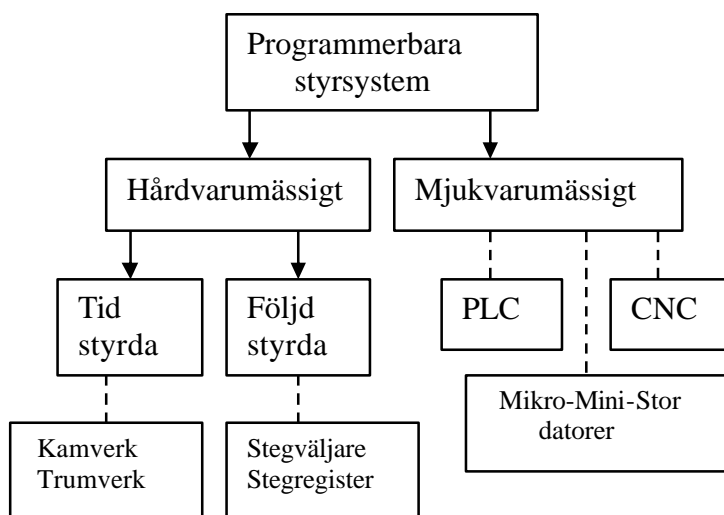
### 3 Översikt av styrsystem

För behandling och förmedling av information mellan operatörer och den process som skall styras krävs någon form av styrsystem. Beroende på hur styrkretsen byggs upp kan styrsystem indelas i åtminstone två grupper: ledningsbundna styrsystem och programmerbara styrsystem. I denna studie ligger fokuseringen på programmerbara styrsystem då ett sådant kommer att implementeras i det lokala reningsverk som upprättas för Hammarby Sjöstad.

Betraktar man sättet att programmera ett styrsystem kan man dra en skiljelinje mellan:

- ? hårdvarumässigt programmerbara styrsystem
- ? mjukvarumässigt programmerbara styrsystem

vilket illustreras i figur 1, se även Alm (1983) för en översikt av olika styrsystem.



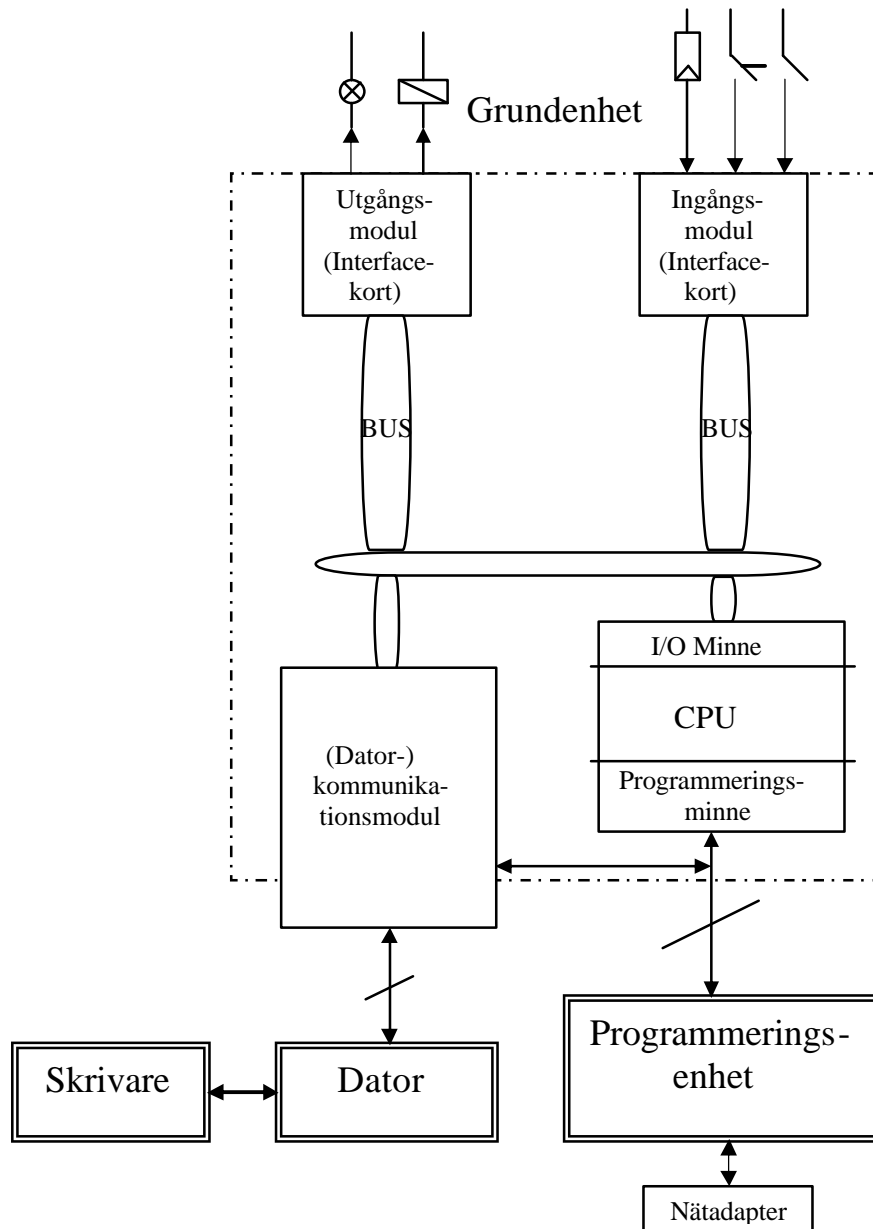
Figur 1. Indelning av programmerbara styrsystem.

Nedan beskrivs ett antal mjukvarumässigt programmerbara styrsystem.

#### 3.1 PLC-system

De flesta programmerbara mindre styrsystem som implementerats i svenska VA-system är av PLC-typ (Programmable Logic Controllers). Under början av 80-talet utvecklades prisbilliga

och kraftfulla PLC-system som kunde konkurrera med reläsystem. I grundutförande innehåller alla PLC en centralenhet (CPU), programminne, in- och utgångs-moduler, I/O minne, nätaggregat samt en programmeringsenhet. Ofta tillkommer en kommunikationsmodul för anslutning av t ex printar, bildskärm eller dator. Större PLC-system är ofta uppbyggda i modulform för att lätt kunna anpassas till en viss process och vid behov kunna byggas ut eller ändras. Figur 2 visar den principiella uppbyggnaden av ett PLC-system.



Figur 2. Programmerbart styrsystem (PLC).

Programmeringsenheten är till för programmering, ändring samt felsökning. Den kan antingen vara direkt monterad på grundenheten eller ansluten via en förlängningskabel. Programmeringsenheten kan även utnyttjas separat och anslutas via en nätadapter. Alternativt kan kompletta datorer användas som programmeringsenhet

Datorkommunikationsmodulen handhar kommunikationen mellan dator och PLC. Denna möjliggör att program kan överföras mellan dator och PLC samt att program kan utvecklas



och redigeras direkt på dataskärmen. PLC-systemet kan alltså programmeras direkt från en dator utan en separat programmeringsenhet.

Interfacekortet är anpassningsenheter för att omvandla IN-signaler till datorn och även att omvandla datorns UT-signaler till UT-signaler från PLC-systemet. I/O-minnet utgör mellanlagringsminne från och till interfacekortet. I/O-minnet och programmeringsminnet kallas ofta för databas. Nuvarande distribuerade I/O-kort (remote I/O) kan placeras nära processen och långt ifrån själva PLC:n. Detta ger fördelen att endast billiga kommunikationskablar behöver dras mellan dessa två enheter.

Nuvarande PLC-system har ofta försetts med kommunikationsmöjligheter och kan därmed kommunicera med såväl över- som underordnade system. Detta har inneburit en utveckling mot hierarkier där kommunikationsnätverken delats upp i olika nivåer. Den lägsta nivån kan till exempel bestå av processutrustning (givare etc.), på nästa nivå ligger PLC:na eller andra lokala styrenheter och ovan denna nivå ligger till exempel överordnande minidatorer. En fördel med denna uppdelning är att individuella delar kan designas oberoende av andra delar, se även avsnitt 3.4.1.

De egenskaper som gör PLC-system fördelaktiga är Haag (1994):

- de är små och kraftfulla samt kompletta med in/utgångar mot processen
- de kan programmeras från en persondator eller med en liten programmeringsenhet
- de har program för datorkommunikation
- de har automatisk utskrift av dokumentation
- de kan även användas som larmsystem

Arbetsgången från start till ett fungerande styrsystem kan delas upp i 4 steg, se även Parr (1993):

1. Design; här bestäms bl a styrstrategier. Man behöver ha en grov uppskattning om minnesstorlek och antalet in- och utgångar.
2. Uppförande; PLC-system byggs upp av standarddelar. Programmering påbörjas.
3. Installation; det mest tidskrävande steget. Ett distribuerat PLC-system kan dock underlätta arbetet. Den mesta programmeringen sker här.
4. Testning; om extra minne och I/O finns tillgängligt går det enklare att modifiera systemet och nya test kan snabbt utföras.

### **3.2 Styrning med dator (PC)**

Dagens kraftfulla datorer med lämplig kringutrustning kan också byggas ut till programmerbara styrsystem med möjligheter till matematiska beräkningar, presentation på bildskärm och dokumentation på skrivare och plotter Alm (1983). Även om datorn inte har den anpassning för styrning av industriella processer som ett PLC-system har, kan den emellertid i motsats till mindre PLC:n utföra matematiska operationer bearbeta mätdata och visa förlopp på bildskärm samt skriva ut på en printer. En annan fördel är att en dator ger en hög beräkningskapacitet för en låg kostnad.

Programmering sker ofta i något högnivåspråk. Ett expansionskort används ofta som gränssnitt för att behandla analoga och digitala signaler. Expansionskortet ansluts antingen till datorns egna buss eller till en extern buss. Själva bussförbindelsen kan finnas inuti datorn eller

i en separat expansionslåda. Vill man utnyttja olika typer av in/utsignaler i en process kan ett sk allkort, med flera in- och utgångar, ge en flexibel lösning. Ett ofta använt system för att koppla ihop olika instrument är den standardiserade busstrukturen GPIB, där enheterna ansluts parallellt med speciella kablar. En nackdel med detta system är att ett begränsat antal enheter kan anslutas till systemet, se Alm (1983). Anslutningen av I/O ske idag ofta med någon form av bussystem, t ex profibus eller Ethernet. Många tillverkare har även instickskort som gör det möjligt att ansluta traditionella I/O rackar.

De flesta fristående PC-baserade operatörssystem har idag drivrutiner för kommunikation mot både hård- och mjukvarubaserade styrsystem vilket innebär att man i en anläggning kan blanda olika typer av styrsystem.

Nuvarande PC-baserade system kan vara mycket snabba. Man brukar dela upp de PC-baserade systemen i 3 typer:

- ? **Soft PLC**; vilken är den långsammaste typen. Styrningen exekveras mot standard Windows program.
- ? **Modifierad NT/Win2000**; tillägg och ändringar av NT har gjort att styrningen ges prioritet i PC:n, vilket gör systemet snabbare.
- ? **NT/Win2000 + RTOS (RealTidsOperativSystem)**; vilket är det snabbaste systemet. Styrningen exekveras av RTOS medan programmering sker i NT/Win2000.

Fördelarna med datorn har gjort att PC-baserade system på vissa ställen ersatt PLC-system.

### 3.3 Processautomatiseringssystem

Den omfattande datoriseringen och utvecklingen av hårddiskar under slutet av 70-talet och början av 80-talet innebar att möjligheten att lagra data och utföra aritmetiska beräkningar ökade dramatiskt. Samtidigt ökade kraven från processindustrin att hitta fungerande helhetslösningar, där styrsystemen i princip skall klara av all reglering, styrning och övervakning av en större process. Tidigt på 80-talet började de första integrerade och distribuerade nätverksbaserade styr- och övervakningssystem för industriell automation på alla nivåer att uppträda på marknaden. Dessa större automatiseringssystem är oftast skräddarsydda för att klara samtliga uppgifter som styrningen kräver.

Samtidigt har mer lättförståeliga och kraftfulla programmeringsspråk utvecklats som bygger på IEC-baserade funktionselement eller funktionsblock för logik, beräkningar och reglerfunktioner. Programmen byggs upp av färdiga element eller moduler som finns tillgängliga i ett elementbibliotek. Biblioteket kan ofta uppdateras när behov uppstår för nya element. Elementen kan lätt knytas samman på en bildskärm till ett färdigt styrsystem med hjälp av ett funktionsschema Alm (1983). Numera sker också alltmer en övergång till grafiska programmeringsverktyg som ofta körs i Windowsmiljö, många av dessa stödjer helt eller delvis en standard från IEC som heter 1131.3. Denna standard tillåter ett antal olika programmeringsspråk där funktionsblock är ett. Förutom detta kan bland annat instruktionslista, reläschemata, Grafset och strukturerad text användas. I framtiden kommer vi kanske få se programvaror som med en enkel omställning kan leverera kod till olika fabriks styrsystem. Idag är dock utbudet av IEC instruktioner så klen så att de flesta lägger till fabriksberoende funktioner vilket försvårar flyttning av program.

Ett processautomatiseringssystem är oftast mikrodatorbaserat och generellt uppbyggt av olika enheter. De olika enheterna kan vara Haag (1994):

- ? processtationer
- ? processinterface
- ? operatörsstationer
- ? systembuss
- ? färgmonitorer
- ? operatörstangentbord
- ? lokal operatörspanel
- ? printer och linjeskrivare.

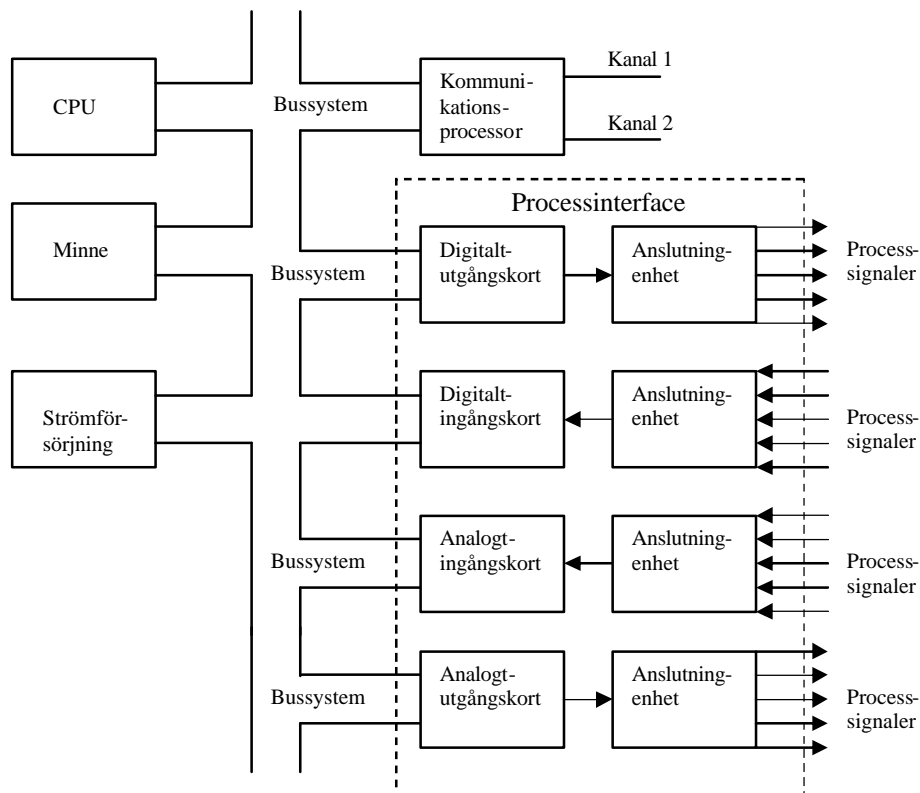
Den enhet som ligger närmast processen är processtationen. Via korskopplingsskåp ansluts signaler från de olika mätgivarna i processen. I processtationen bearbetas signalerna i ett funktionsprogram, och därefter skickas de styrsignaler som behövs tillbaka ut i processen Haag (1994). Funktioner som finns lagrade i minnet kan vara t ex :

- ? regleralgoritmer
- ? datahantering
- ? filtrering
- ? aritmetiska operationer
- ? logiska operationer.

Processinterfacen eller signalanpassningskortet anpassar de analoga och digitala signalerna som kommer in och går ut från processtationen till en form som passar mikrodatorn. Sammankopplingen med processtationen sker via ett bussystem.

Processtationerna kan antingen vara självständiga enheter eller, om man sammankopplar flera processtationer, en central operatörsstation. En sammankoppling av processtationer sker via bussystemet och möjliggör en överordnad styrning och betjäning av processen. I de centrala operatörsstationerna kan kommunikation mellan processtationer konfigureras, d v s värden från en funktion i en processtation läses av den centrala operatörsstationen och skrivs sedan in i en annan processtation Haag (1994).

Ett principiellt blockschema över en processtation inklusive processinterface i modulform illustreras i figur 3. Kommunikationen mellan CPU, minnet i processinterfacet och en kommunikationsprocessor sker via ett bussystem.



Figur 3. Blockschema för en processtation med interface.

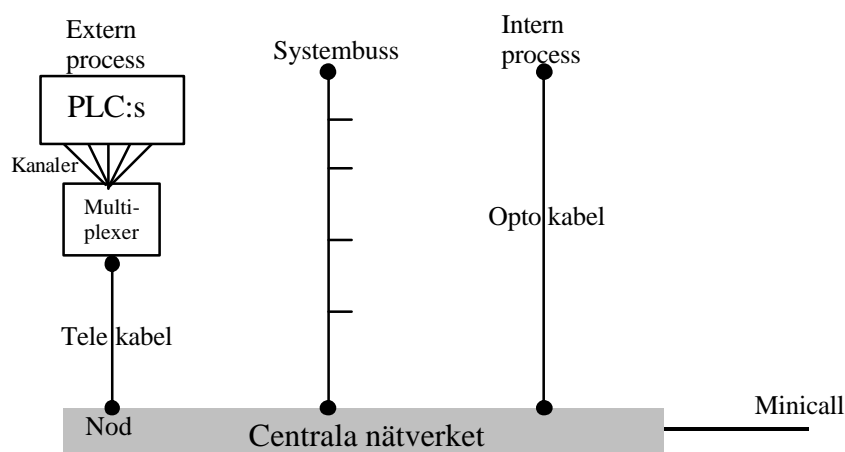
I och med den snabba utvecklingen inom persondatorområdet finns nu även möjligheter att billigt via PC grafiskt presentera processen på en bildskärm. Ett exempel på ett sådant maskingränssnitt är InTouch under operativsystemet Microsoft Windows. Dessa typer av program är anpassade till modern bildbyggnadsteknik via objektorientering och multimedia. Man kan t ex använda bilder och online-video direkt i sitt tillämpningsprogram Haag (1994).

Ett automatiseringssystem eller driftövervakningssystem har traditionellt varit uppbyggt med en centraldator och undercentraler (PLC), där undercentralerna sköter den lokala styrningen medan den centrala datorn samlar in information från undercentralerna och ställer ut börvärden till den lokala regleringen. Dessa datorsystem finns vid ett flertal delar av reningsverket

De flesta avloppsreningsverk har möjlighet att samla, lagra och behandla data i större databehandlingsprogram strax efter det att händelser i processen inträffat. Detta är viktigt för bl a styrning, analys och kvalitetskontroll. Lagrade processdata är också underlag för rapporteringen av processen. I exempelvis Henriksdals reningsverk lagras och behandlas data i programmet Waste. För att öka säkerheten och minska nättrafiken sker ofta loggning av historiska data och tidsstämpling av händelser i processtationerna.

### 3.4 Nätverk

Nuvarande nätverkssystem inom de VA-tekniska anläggningarna är oftast uppbyggda som lokala nätverk, även kallad LANs (Local Area Networks). Kommunikationen mellan olika datorer, arbetsstationer, processtationer etc, kan ske på en rad olika sätt. De fysiska media som möjliggör kommunikation mellan olika system kan också variera. Ett nätverk kan således anta ett flertal olika strukturer. Figur 4 illustrerar principen för ett LAN-system där kommunikationen från externa och interna stationer till centralsystemet sker via fyra typiska anslutningar: telekabel, optokabel, systembuss och minicall. Ofta används olika operativsystem till olika arbetsuppgifter, t ex Windows NT som användargränssnitt och UNIX som operativsystem för centralsystemet. En optisk kabel ger en snabb och effektiv direkt kommunikation mellan en arbetsstation och det centrala nätverket. Systembussen utgör den praktiska förbindelsen i det interna kommunikationssystemet. Vill man öka säkerheten i systemet kan man ansluta en buss parallellt med den första och uppnå så känd redundans. Via minicall kan operatörerna få direkt kontakt med centralsystemet och erhålla viktig information från systemet. Om optisk kabel utnyttjas finns det ofta en möjlighet för operatörerna att få en snabb tillgång till systemet via de interna arbetsstationerna. Telekablarna utgör en ytterligare kommunikationsväg mellan framförallt externa system och operatörerna, t ex via modem och en laptop.



Figur 4. Exempel på nätverksstruktur.

#### 3.4.1 Nätverkskommunikation

Nuvarande trender inom nätverksteknologin för process- och tillverkningsindustrier är mot öppna, transparenta och kommersiella installationer, baserade på intranät/Internet och/eller fältbussystem. Öppna system innebär att systemen kan kommunicera med varandra genom att följa gemensamma standarder. Ethernet är en vanlig standard för dataöverföring i nätverk. Denna har blivit den alltmer dominerande nätverksteknologin ovanför styrsystemen, se även Toijer (2001a). Karakteristiskt för Ethernet är en hög överföringshastighet/bandbredd. Anslutningskablarna är koaxialkabel och/eller optokabel. Det Intranät som kan byggas upp med Ethernet gör att användaren har full tillgång till och kontroll av det egna nätet oberoende av andra användare. Ethernet och standardiserade bussar/fältbussar har också fått en allt viktigare roll vid kommunikationen mellan olika system på olika nivåer i nätverket. Idag har fältbussystem alltmer ersatt de mängder av kablar, förbindelseboxar och individuella processinterface som tidigare behövdes för att bygga upp ett styrsystem. Framtida

fältbussystem kommer kanske att kräva helt nya fältinstrument där varje individuellt instrument utför den nödvändiga A/D-omvandlingen enligt någon kommunikationsstandard för fältbussar. Dessa fältbussar kommer inte enbart att bära information utan också förse fältinstrumenten med elektrisk energi Mannsperger (2000). Det finns dock en del som tyder på att Ethernet mer och mer kommer att ersätta även fältbussystemen, se Toijer (2001a) och Toijer (2001b).

Följande verktyg och trender inom processindustrin kan skönjas vad gäller kommunikation på olika nivåer i nätverket:

- ? *Kommunikation mellan överordnade system, t ex mellan operatörsstationer, databehandlingsprogram (Waste) och servrar, mm.* Här har man tidigare ofta använt fabrikspecifika bussar, men idag används Ethernet allt mer.
- ? *Kommunikation mellan överordnade system och styrsystem/processtationer samt mellan olika styrsystem.* Tidigare användes ofta seriella punkt till punkt förbindelse, multidropförbindelser eller fabrikspecifika bussar. Idag sker en övergång mot kommunikation med standardiserade bussystem, t ex Profibus FMS/DP eller nätverkskommunikation via Ethernet. Digitala protokoll, t ex Hart- och Fältbussar, har medfört att processdata blivit lättare åtkomliga. Hartprotokoll kan utföra multiparameterkommunikation från enskilda fältinstrument medan fältbussar har möjligheten att kommunicera via multiparameter eller multidrop Boland (1995).
- ? *Kommunikation mellan styrsystem/processtation och distribuerade I/O eller givare.* Tidigare har i regel fabrikatberoende kommunikation, punkt till punkt- eller bussystem använts. Nuvarande trend är mot användande av standardiserade bussystem. För kommunikation mot distribuerade I/O och avancerad processutrustning, t ex ventiler och frekvensomriktare, används ofta Profibus DP. Ethernet har även börjat göra intrång ner mot I/O-nivå och kommer troligtvis att få en framträdande roll i framtiden CONVIDENT AUTOMATION (Date: 01-04-18). Vid kommunikationen mot magnetventiler och digitala givare utnyttjas ofta ASI-buss. För kommunikation mot analoga givare är även Profibus PA ett ofta använt alternativ.
- ? *Kommunikation mot externa enheter.* Här används fasta eller uppringda telelinjer, GSM eller radiosystem. Om endast digitala signaler skall tas in, kan minicall vara ett bra alternativ.
- ? *Kommunikation för larm och fjärrövervakning.* Här används ofta uppringda förbindelser eller GSM. För larmutsändning används ofta minicall, minicallText eller SMS. Vissa leverantörer har lösningar som baserar sig på WAP-förbindelser (Wireless Application Protocol) där operatören bland annat kan bläddra i larmlistor samt kvittera larm.

Internet har länge funnits som kommunikationsmedel vid framförallt administrativ nivå både för internt och externt bruk, men har nu fått en allt större betydelse, inom t ex tillverkningsindustrin, som kommunikationsmedel mellan kunder och produktionsledet, se även avsnitt 3.5. Fördelen med Internet är att den erbjuder ett billigt alternativ i de fall då inte realtidsdata behövs i kommunikationen. Utbyggnaden av de existerande allmänna nätverken, t ex Internet, kan innebära att en integrering mellan dessa nätverk och lokala styrsystem, där s k WAN-system (Wide Area Network) byggs upp, blir ett billigt alternativ för kommunikation.

Trådlös (wireless) kommunikation förutsägs få en ökad tillämpning i framtida nätverk. Redan idag används trådlös kommunikation flitigt för kommunikation mot externa enheter och till fjärrövervakning, t ex det heldigitala mobiltelefonsystemet GSM. Framtida trådlösa kommunikationsmedium som kan komma att få ökad betydelse inkluderar mikrovågor-/radiovågor, laserkommunikation och satellit teknik. Fördelar med mikro- och radiovågskommunikation, förutom frånvaron av kablar, är bl.a. dess relativt långa räckvidd och höga bandbredd Andersson et al (1993). Nackdelar är att den i viss mån är känslig för rådande väderlek (dämpning vid dimma och regn) samt att en stor del av informationen går åt till att styra kommunikationen. Utnyttjar man laserkommunikation behöver man ej använda de elektromagnetiska frekvenserna. Nackdelar med laserkommunikation är dess känslighet för nederbörd och dimma. Det finns en mängd litteratur som ger en bild av nuvarande användningsområde och forskningsfält inom trådlös kommunikation, satellitkommunikation och trådlösa bredband. Ett axplock av tidskrifter som bl.a. behandlar detta är; *IEEE Communication MAGAZINE*, *IEEE Signal Processing* magazine, *Proceedings* of the IEEE. I denna studie ligger inte fokuseringen på detta intressanta ämnesområde, utan den intresserade hänvisas till tidskrifterna ovan.

Vilket fysiskt medium som används för kommunikation vid olika nivåer styrs till en viss del av de protokoll som specificeras för olika kommunikationsfunktioner i systemet. Dessa funktioner indelas hierarkiskt i s k skikt, och här utgör protokollen regler för kommunikation mellan skikt på samma nivå i olika kommunikationssystem Andersson et al (1993). Andra faktorer som är viktiga att ta hänsyn till vid val av kommunikationsmedia är störningskällor och fysiska avstånd mellan olika system samt kostnad. Dagens elmiljö innehåller många störningskällor, och kommunikationerna sker med allt högre hastighet och över allt större sträckor. Om ekonomiska medel finns är det därför ofta fördelaktigast att använda optofiber. Många protokoll har även som standard möjlighet att kommunicera via optofiber. Det finns också tredjepartsprodukter som gör det möjligt att koppla ihop olika LAN-tekniker, t. ex fiber- och radiomodem till mobilanslutningar, profibus eller ”seriellt-Internet”.

### **3.5 Utvecklingstendenser mot integrerade informationssystem**

En tydlig tendens inom processindustri och avloppsreningsverk är att styrsystemen blir mer beroende av kommunikation mellan olika datorsystem. För processindustrin har området produktions- och processtyrning integrerats och blivit mer aktuellt. Behovet av data från olika instrument ute i processen som skall användas i andra syften än direkt styrning av processen (t ex instrumentdiagnostik och miljöuppföljning) beräknas öka med 40% från nuvarande ca 15% Fatta et al (2000). Utvecklingen av informationssystem innebär att integrationen mellan olika funktioner i ett företag underlättas. Den ökande automatiseringen leder också till att olika produktionsenheter kan fungera mer självständigt Haag (1994).

Idag sker integration via distribuerade styrsystem, utökning av minnen och snabbare överföringshastigheter, parallellt med en arkitektur som inneburit att funktionerna fysiskt har flyttats närmare processen, se även Boland (1995). Utvecklingen mot ökad dator- och kommunikationskapacitet hos systemenheterna och ökad digitalisering hos processinstrumenten har medfört att integreringen underlättats. En framtidsvision är att fältinstrumenten än mera integreras direkt med processens styrsystemet och ev. CAD-system. Då blir också en komplett dokumentation av styrsystem och fältinstrument enkelt tillgängligt on-line Mannsperger (2000). Här har den digitala kommunikationen med utvecklingen av nya fältbussar en stor betydelse, se avsnitt 3.4.1.

Integrerade informationssystem baseras i allt högre grad på Intranät/Internet. En intressant utveckling, speciellt inom tillverkningsindustrin, är att Internet alltmer börjar att användas som ett direkt integrerat verktyg till produktionsledet. Ett exempel på en lyckad sådan integrering är e-handeln hos Sandvik Coromant i Gimo, där kunden kan specificera de verktyg de vill köpa på Internet och där beställningen via ett expertsystem integrerats med processens CADsystem, se vidare Anderstam (2001). I VA-branschen har Internet alltmer börjat användas för databehandling. Många användargränssnitt för styr- och rapporteringssystem, t ex WASTE, kan nås via Internet Olsson et al (1998).

Den nya generationen integrerade, distribuerade och nätverksbaserade informationssystem har dels att uppfylla användarens krav på att systemet skall vara användarvänligt, driftsäkert, flexibelt uppbyggt och lätt expanderbart, dels erbjuda en smärtfri integration mellan olika mjukvarusystem samt innehålla en tydlig integration mellan styrsystem och den verkliga processen. En annan viktig uppgift för informationssystemet är att hålla ihop och integrera olika processenheter och processfunktioner samt att presentera dessa på ett effektivt och lätthanterligt sätt. Dessa funktioner och enheter kan t ex vara:

- ? reglering, styrning, övervakning
- ? dynamisk simulering
- ? trendkurvor för bl a alarm, diagnostik och statistisk behandling
- ? aktiva gränssnitt
- ? samverkan mellan operatörer
- ? ritprogram
- ? kvalitets-, produktions- och lagerrapporter
- ? produktspecifikationer
- ? produktionsbeställningar
- ? produktionsscheman, produktionsplanering.

### **3.6 Nuvarande utnyttjande av informationssystem inom VA-system**

För att kunna dra nytta av det ökade informationsflödet i framtida informationssystem krävs att data behandlas på ett intelligent sätt för att kunna användas i styrningssyfte och att olika hjälpmedel utnyttjas maximalt. Detta kan tyckas stå i viss kontrast till nuvarande utnyttjande av implementerade IT-verktyg vid många VA-tekniska anläggningar. VA är i många avseenden en mycket konservativ bransch vad gäller användandet av ny industriell informationsteknik och att effektivt utnyttja styrsystem. Säkerhet söks hellre i form av att använda gamla lösningar, se Lundkvist (1999). En intressant och i vissa avseenden starkt kritisk beskrivning av hur IT-verktyg hitintills används som hjälpmedel vid VA-tekniska anläggningar står att finna i Alm (2000).

Intresset både bland praktiker och akademiker är dock stort att finna IT-baserade lösningar. Det finns också exempel i VA-branschen där integrering och utnyttjande av informationssystem gått längre än på många andra ställen. I Pleu et al (2000) ges ett exempel på där man lyckats reducera bräddningsvolymen genom att använda en styrstrategi där mätdata och meteorologiska prediktioner uppdateras varje reglerperiod. I Rya-verket i Göteborg har realtidsreglering, för att undvika bräddning och hydraulisk överbelastning, implementerats. Regleringen baseras på hydrologiska och hydrodynamiska modeller, se Lumley (1996). Avsnitt 7.2 behandlar bl a IT-baserade lösningar där olika typer av s k ”software sensors” och kapitel 5 tar upp exempel där Internet används som plattform för



simuleringsstudier av reningsverk. Intressanta framsteg har också gjorts i urbana dagvattensystem där systemtänkande utnyttjas, se Loke et al (1997) och Arnbjerg-Nielsen et al (1998).

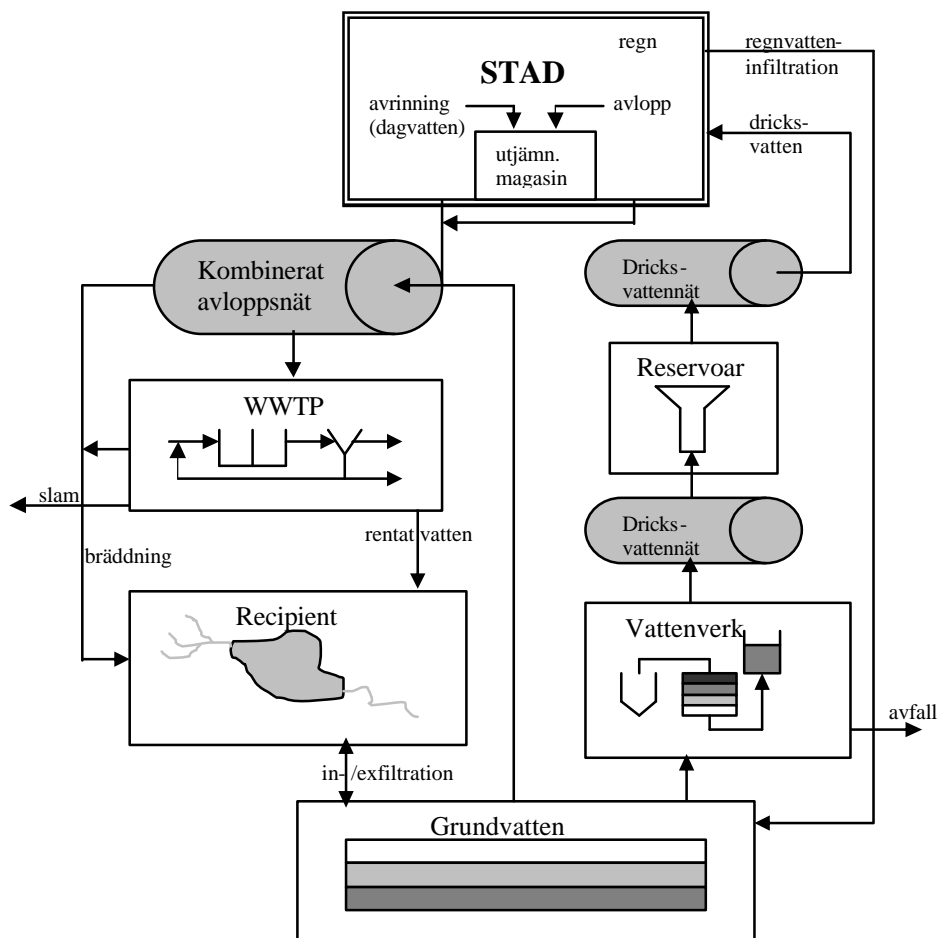
En bra sammanställning över utvecklingen av driften och styrningen av avloppsreningsverk i Skandinavien under de senaste 20 åren ges i Olsson et al (1998). En översikt över nuvarande utnyttjande av instrumentering, reglering och automation (ICA) i avloppsreningsverk inom Europa ges i Jeppsson (2001). En slutsats är att nivån av ICA skiljer sig signifikant åt mellan olika länder men att de flesta större avloppsreningsverk inom EU är utrustade med överordnade styrsystem och databehandlingssystem, även kallat SCADA-system (Supervisory Control And Data Acquisition). Dessa system utnyttjas dock oftare för datalagring och databehandling än för reglering. Utnyttjandet av informationssystem med fokusering på reglering, övervakning och kommunikation i Japan, står att finna i Ohto (1998). Truett (1998) ger en översikt över utvecklingen av ICA i USA de senaste 24 åren fram till 1998.

### **3.7 Framtida integrerade informationssystem för urbana vattensystem**

Ett informationssystem har traditionellt varit den struktur som förmedlar information mellan operatörer och processen som skall styras. För urbana vattensystem kommer information från även andra aktörer, t ex hushållen och industrier, troligtvis att i framtiden att få en allt större betydelse för driften och optimeringen av reningsprocessen. Framtidens informationssystem kommer att kräva att mer information samlas från bl a sensorer för att en bättre kunskap om processdynamiken ska erhållas och därigenom bättre styrning uppnås.

De egenskaper som är mer eller mindre specifika för VA-anläggningar ställer speciella krav på de informationssystem och systembyggnadssätt som installeras. Eftersom driftspersonal inte kan hållas tillgänglig hela dygnet är distribuerade system med redundans ofta ett krav vid uppbyggnaden av ett styrsystem. Det kan även vara nödvändigt att fördela styruppgifterna på flera mindre enheter, så att endast delar av anläggningen drabbas vid någon form av haveri. Eftersom VA-anläggningar ofta är spridda över ett större geografiskt område ställs speciella krav på distribuerade undercentraler i fråga om kommunikationsförmåga. En undercentral måste kunna arbeta vidare, även om kommunikation med överordnat styrsystem saknas. Det ställs också speciella krav på driftuppföljningssystem och databehandlingsprogram. Möjligheten att on- och off-line kunna samla in och lagra data är viktigt bl a vid analys, diagnostik och larmhantering, se avsnitt 6.2 och 6.3. Det är därför nödvändigt att upphandla de olika styrsystem som finns på marknaden med eftertanke och omsorg Fahlén (1998).

Dagens urbana vattensystem är ofta stora, geografiskt distribuerade system. Dessa består av flera delsystem och delprocesser med mer eller mindre starka kopplingar, se figur 5. En teknisk utmaning är att samordna och integrera många delprocesser för att få en effektivare och mera samordnad drift. För att kunna genomföra detta krävs en utveckling av både informationssystem, reglering och mätteknik Olsson och Newell (1999). Ett bättre informationssystem kan även underlätta vattensystemens anpassning till framtida förändringar (t ex mindre vattenförbrukning). Genom en mer koordinerad styrning mellan olika delsystem ökar möjligheten att kunna spara resurser i form av energi, kemikalier och övriga driftskostnader samt att göra driften mer robust med avseende på störningar Olsson et al (1999).



Figur 5. Delsystem i ett urbant vattensystem med kopplingar som bildar det integrerade urbana vattensystemet.

Ett framtida scenario innebär troligtvis att viktig information från de olika delsystemen som bygger upp det urbana VA-systemet integreras än mer i informationssystemet, se Ekman (2000). Ett framtidsscenario är också att mera decentraliserade VA-system utvecklas där separering av olika källor sker i ett tidigt stadium och där själva reningen utförs i småskaliga reningsverk närmare hushållen. Denna utveckling kommer antagligen att först ske i mindre samhällen och i småstäder. Kravet på ett väl fungerande och integrerat informationssystem kommer dock troligtvis att kvarstå.

Exempel på tillämpningar och användningsområden där integrerade informationssystem kan göra nytta är bl a:

- ? integrerad styrning där man t ex utnyttjar information från avloppsnetet för varningssystem och framkoppling, se bl a Lumley (2001).
- ? Information från väderleksstationer för prediktion av vattenflöde i avloppsnet. Syftet kan t ex vara att styra ledningsnät vid regn, se vidare Pleu et al (2000) och Lumley (1996).
- ? Information on-line från olika datormodeller (hydrauliska, för ledningsnät, för avloppsreningsverk m.m.) och simuleringar off-line där man utnyttjar historiska data, se bl a Lumley (1996).

- ? Tryckmätning on-line i dricksvattennätet. Här kan man dra nytta av dynamiska tryckvariationer, vilket ger information som kan ligga till grund för läckagelokaliserings Olsson et al (1999).
- ? Användning av databaser, digitala kartor, ritverktyg och GIS-verktyg för analyser och planering.
- ? Utnyttjande av nya mätningar on- och off-line, vilket kommer att ge ett ökat informationsflöde.
- ? Detektering av störningar i utrustning. Analys av enstaka signaler tillsammans med a priori modeller för ställdon och sensorer kan användas för att avgöra konditionen på utrustningen Olsson et al (1999). Detta är en förutsättning för mer omfattande användning tidiga varningssystem och beredskapssystem för obemannade VA-system.
- ? Indirekt styrning av hushållen. Genom information om kvaliteten på vatten direkt från hushållen, skulle man kunna påverka folks beteende. En separat avläsning av både varm- och kallvatten är speciellt intressant ifall man vill återvinna varmvatten Olsson et al (1999). Detta skulle kunna ingå som en integrerad del i IT-system för smarta hus.

Det finns dock även kopplingar till andra infrastrukturer, t ex kraftdistribution, fjärrvärme och transportsystem, som kan komma att spela en större roll i ett framtida integrerat informationssystemet. Dessutom finns data från andra databaser och system som kan ge viktig information till VA-systemet, t ex från miljödatabaser, fastighetsbaser, debiteringssystem och redovisningssystem.

Hur de framtida informationssystemen kommer att se ut och vilka systembyggnadssätt som kommer att användas styrs i stor grad av den tekniska utvecklingen inom data- och nätverkskommunikation, både på hård- och mjukvarufronten (se avsnitt 3.4). Av avgörande betydelse är också hur man i VA-branschen tar till sig den nya tekniken. De egenskaper hos ett VA-system som ställer speciella krav på ett informationssystem, ger en viss fingervisning om hur systemen kan komma att utvecklas i framtiden. Intranät/Internet kommer troligtvis bli en alltmer dominerande plattform på vilken nätverken kommer att byggas.

Ett exempel på hur nuvarande Internetteknologi kan användas för övervakning och styrning av ett större distribuerat VA-system står att finna i Cianchi et al (2000). I den föreslagna strukturen för informationssystemet ingår databaser för data från sensorer vid recipienten (en flod), data från vattenreningsverk samt ett flertal operatörsstationer och servrar. Dessa komponenter kan kommunicera via Internetlänkar med en huvudenhet där den överordnade styrningen genomförs. Huvudenheten innehåller även en kunskapsbas, vattenkvalitetsmodeller och styrregler. Varje komponent kan placeras var som helst i nätverket. Systemmodulerna, som bl a innehåller processmodeller, kommunicerar genom det normala Internetprotokollet TCP/IP. Systemet kan även integrera data från t ex väderobservationer på ett enkelt sätt.

I Fatta et al (2000) ges en beskrivning av ett EU finansierade projekt där ett simuleringsverktyg, Ecosim, som länkar ihop olika domäner såsom grundvatten, kustvatten och luft, utvecklats för analys och prognostisering av föroreningsnivåer i urbana områden. Kommunikationen hos Ecosimsystemet baserar sig på Ethernet och Internet, via http protocol. I systemet har simuleringsmodeller integrerats och dessa kan användas antingen lokalt eller via Internet. Detta kan tjäna som exempel på möjliga framtida informationssystem för VA-system baserade på Internet. Intressanta funderingar över framtida urbana VA-system kan man också läsa i Olsson och Newell (1999).

### 3.8 Informationssystem för Hammarby Sjöstad-projektet

Under den första 5 års perioden i Hammarby Sjöstad-projektet kommer forskning och utveckling att bedrivas där olika tekniker för avloppsvatten och slambehandling testas och utvärderas i olika pilotanläggningar. Detta innebär speciella krav på öppenhet och flexibilitet hos det informationssystem som skall installeras.

En utvärdering och analysering av olika processlösningar (inklusive modellering och statistisk databehandling) kräver att data åtminstone finns tillgängligt off-line i en databas, t ex i databasen Waste. Analysarbetet underlättas om det finns möjlighet att installera programvara för databasen lokalt hos de olika projektdeltagarna och att kan koppla upp sig direkt till anläggningens databas.

För att kunna utvärdera olika on-line tillämpningar ( t ex reglerstrategier och mjukvarusensorer) är det önskvärt att styrsystemet är öppet mot realtidsprogrammering i något högnivåspråk, t ex C eller C++. Detta underlättar implementeringen av mer avancerade reglerdesigner. Ett annat programmeringsspråk som är nära släkt med C-kod är FORMULA. Detta språk används bl a i Cactus styrsystem X-CSX. FORMULA erbjuder C-språkets beräkningsmässiga fördelar utan att man behöva behärska dess syntax annat än ytligt. Eftersom tillgång ges till C-språkets kompletta matematikfunktioner kan verktyget användas för mycket avancerade beräkningar och det kan även kompletteras med stöd för beräkningar i en SQL-databas (ORACLE), se vidare CACTUS (Date: 01-05-30).

Kommunikation mellan styrsystem och programpaketet Matlab innebär en intressant möjlighet att underlätta tester, utvärdering och design av framförallt olika reglerstrategier och regulatorer. Denna kommunikation skall helst kunna ske i realtid men behöver inte nödvändigtvis köras under hela projektet utan bara under vissa försöksperioder. Fördelen med Matlab, som är utvecklat av MathWorks Inc, jämfört med andra ”vanliga” program språk, t ex C++, är att Matlab innehåller en stor uppsättning kommandon och funktioner, vilket underlättar programmeringen. Det finns även en mängd tilläggsprogram, s k toolboxar, för olika tillämpningsområden. Exempel på toolboxar för reglering är: Control- MPC- och ?-toolbox. Det finns även toolboxar för andra tillämpningsområden t ex: signalbehandling, statistik, optimering, symbolisk matematik, bildbehandling, modellering. Ett annat ofta använt simuleringsverktyg för bl a reglerdesign är Simulink, vilket är helt integrerat med Matlab.

En nackdel med Matlab är den höga licenskostnaden för själva grundprogrampaketet och för många av toolboxarna. Eventuellt kan det gå att förhandla fram en rabatterad licensavgift med tanke på projektets inriktning. En annan nackdel är att Matlab inte direkt går att köras i realtid. Traditionellt har därför Matlab främst använts i förarbeten vilket inkluderar konstruktion, dimensionering, modellering och dynamisk simulering av olika processer. Matlab har också oftast används för enbart utveckling och simulering av olika styralgoritmer medan själva applikationen programmerats i något annat språk, t ex C++. Det finns dock tilläggsprogram som gör det möjligt att köra Matlab i realtid, t ex Extended Real Time Toolbox 3.1, där Matlab och simuleringsprogrammet Simulink kan köras i realtid, se Homepage for Real-Time Windows Target 2 (Date: 01-05-30). Realtidsverktygen i Matlab gör det också möjligt att köra Simulink- och Stateflowmodeller i realtid på en PC eller laptop och där programmeringskoden automatiskt genereras till C-kod. Det finns även flera exempel inom universiteten där Matlab körs i realtid i PC-baserade mindre styrsystem på processer i laborationskala, se t ex Homepage for Advanced Computer Control (Date: 01-05-30). Det finns även exempel på industriella produkter som utvecklas baserade på

programmeringsspråket Matlab, t ex utvecklar ABB Industrial Products en datorbaserad verktygslåda för design av flervariabla regulatorer baserat på Matlab och som är anpassad för användning både i ABB's marknadsledande integrerade styrsystem och i framtida öppna system.

Under Hammarby Sjöstad-projektet skall information från de olika reningsprocesserna presenteras för boende. Detta innebär ytterligare krav på bl a webbläsarbaserade funktioner hos det övervakningssystem som skall installeras. Dessa funktioner kan vara allt från enkel mätvärdesöverföring, till integrerade övervakningskameror eller överföring av operatörsgränssnitt.

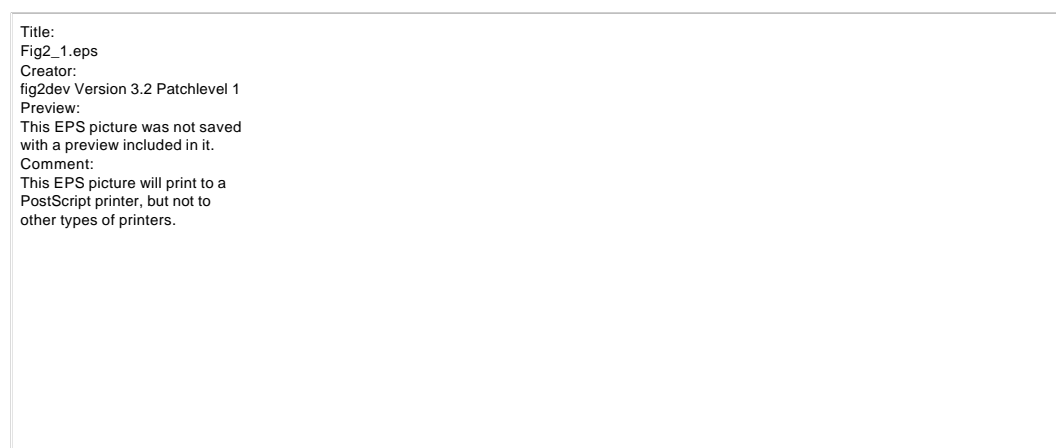
## 4 Reglerteknik

En viktig målsättning i Hammarby Sjöstadsprojektet är att utnyttja spetsteknologi för att ta fram en effektiv avloppsvattenrening. Här ingår reglerteknik som en viktig pusselbit. När denna rapport skrivs är dock inte processlösningarna fastställda för projektet det är därför inte möjligt att ge en detaljerad beskrivning av möjliga styrstrategier. Vi ger därför här en allmän beskrivning av reglerteknik och hur tekniken används och kan användas i avloppsreningsverk.

### 4.1 Inledning

Reglerteknik handlar om att automatiskt styra processer. Ett väsentligt drag är att metodiken kan användas inom många olika tillämpningsområden varav avloppsvattenrening är ett. För att kunna reglera en process måste man kunna påverka processen med någon *styrsignal*. Ett annat vanligt namn för styrsignal är *insignal*. I de allra flesta fallen måste man även kunna mäta svaret (responsen) från den process som skall regleras. Detta kallas för processens *utsignal*, *mätsignal*, *processvärde* eller *ärvärde*. Ett huvudproblem med att reglera en process är att alla processer är *dynamiska*. Detta betyder det tar en viss tid innan en förändring av styrsignalen syns fullt ut i utsignalen Glad och Ljung (1989).

För att klargöra regulatorns roll i ett reglerystem betraktar vi nedan ett exempel på ett reglerproblem – reglering av vätskenivån i en tank, se figur 6. Denna typ av reglerproblem finns i t ex i vattentorn och i buffertankar.

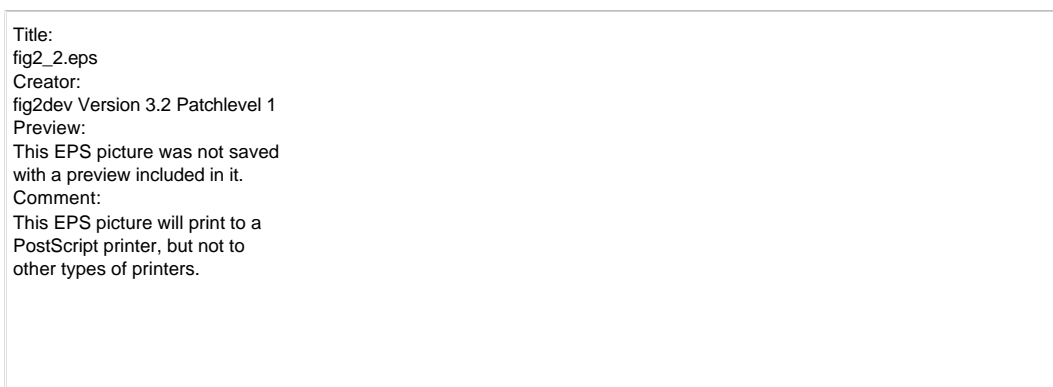


Figur 6. Exempel på ett reglerproblem. Vätskenivån i en tank som påverkas av ett varierande utgående flöde, skall regleras med en reglerventil som styr inkommande flöde.

Processens utsignal är vätskenivån. Till vår hjälp finns en givare för att mäta nivån. Nivån påverkas även av ett varierande utflöde som vi antar att vi inte kan påverka. Variationerna i utflödet är processens *störning*.

Vi vill nu hålla nivån i tanken nära en önskad nivå, det s k *börvärdet*, trots variationer i utflödet. Börvärdet är det önskade värdet på utsignalen. Regulatorns uppgift är att styra processen så att utsignalen hålls nära börvärdet. För att automatiskt reglera nivån används en regulator som får information om den aktuella vätskenivån och jämför den med den önskade nivån, börvärdet. Baserad på denna information skall regulatorn bestämma styrsignalen till ställdonet, i det här fallet ventilläget. Idén illustreras i figur 7 i blockschemaform.

Regulatorn skall givetvis öka ventilläget om nivån är för låg (lägre än börvärdet) och minska ventilläget om nivån är för hög (högre än börvärdet). Uppgiften för regulatorn är att bestämma hur mycket ventilen skall ändras! I regulatorn beräknas *reglerfelet* som är *skillnaden mellan börvärde och utsignal*. Reglerfelet används sedan för att beräkna en lämplig styrsignal.



Figur 7. Nivåreglering i tank. Regulatorns uppgift är att påverka ventilläget via en styrsignal så att nivån i tanken (utsignalen, ärvärdet) hålls nära ett önskat värde, det så kallade börvärdet.

Vi kan nu formulera reglerproblemet för nivåregleringen som:

**Konstruera en regulator som via mätningar av nivån (utsignalen) beräknar ett ventilläge (styrsignalen) så att nivån hålls nära ett givet värde (börvärde) trots variationer i utflödet (störningen).**

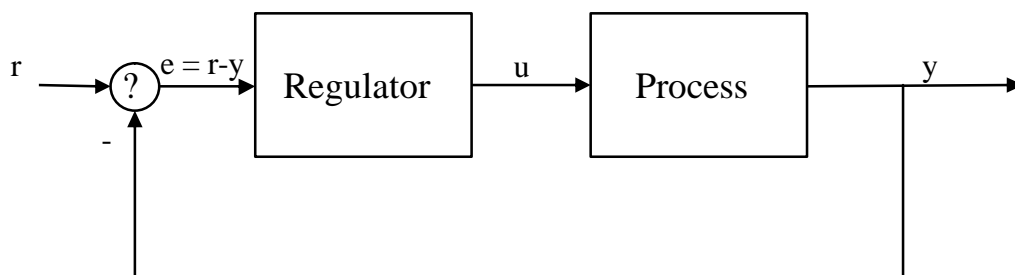
De flesta reglerproblem kan formuleras som varianter på ovanstående tema. Notera att regulatorn använder en *återkoppling* d v s värdet på utsignalen används för att bestämma styrsignalen. Detta är en sund princip, eftersom den ger regulatorn information om det man vill reglera. Utnyttjande av återkoppling är grundläggande inom regler tekniken Glad och Ljung (1989).

I dagsläget är i princip alla regulatorer implementerade i en dator, se kapitel 3. Detta gör det möjligt att lätt bygga in avancerade matematiska funktioner och att man slipper problem med komponentdrift. En nackdel är att datorn jobbar tidsdiskret, d v s en ny styrsignal beräknas inte kontinuerligt utan detta görs med bestämda tidsintervall. På samma sätt läses utsignalen av bara vid bestämda tidpunkter. Tiden mellan två avläsningar av utsignalen kallas

*samplingstid*. För att få en bra reglering är det viktigt att samplingstiden är kort jämfört med processens svarstid (tidskonstant). I ett avloppsreningsverk finns de flesta regulatorerna i undercentralerna. Det är viktigt att påpeka att datorerna vid avloppsreningsverk vanligtvis används till mycket annat än reglering. Andra viktiga funktioner är driftövervakning, larmhantering, datalagring och presentation av driftdata Carlsson och Hallin (2000).

## 4.2 Reglerdesign och reglerstrategier

Många reglerproblem kan beskrivas utifrån det förenklade blockschemat i figur 8, där ställdon, process och mätgivare bakats ihop till ett enda block kallat process. I figuren har styrsignalen betecknats med  $u$ , utsignalen  $y$ , reglerfelet  $e$  och börvärdet  $r$ . Från den mätbara utsignalen sker en återkoppling som används för att bestämma styrsignalen.



Figur 8. Förenklat blockschema där ställdon och givare ingår i processblocket.

Eftersom det inte finns en regulator eller regulatorinställning som passar alla processer måste regulatorn väljas och trimmas i samklang med den process som skall regleras. Nedan beskrivs kortfattat regulatorer och reglerstrategier som är mer eller mindre vanliga i industrin.

### 4.2.1 Relästyrning och styrteknik

Den enklast tänkbara styrstrategin är relästyrning. Styrsignalen  $u$  kan vid relästyrning bara anta två värden. Vi kallar dessa  $u_{max}$  och  $u_{min}$ . Då reglerfelet blir positivt antar utsignalen värdet  $u_{max}$  och då reglerfelet blir negativt är  $u = u_{min}$ . Ofta är  $u_{min} = 0$ . I praktiken används normalt ett relä med *hysteres*, vilket innebär att reläet inte slås på så fort reglerfelet blir positivt utan det krävs ett visst positivt värde på reglerfelet för att reläet skall slås på. Ett stort problem med att använda relästyrning är att reläet åstadkommer svängningar i reglerkretsen. Detta kan leda till att t ex reglerventiler och blåsmaskiner förslits onödigt fort. Dessutom hålls inte utsignalen exakt på börvärdet vilket kan vara en nackdel i många tillämpningar Carlsson och Hallin (1995).

Med styrteknik avses normalt binär styrning d v s när styrsignalen och givarsignalen bara kan anta två värden, t ex till/från eller öppen/stängd. Ett typiskt styrproblem uppkommer om man vill förhindra nivån i en tank att vara för låg eller för hög. Man installerar då två binära givare, en som ger "larm" om nivån sjunker under den låga nivån och en som ger "larm" om nivån stiger över den höga nivån. Om inflödet styrs via en pump kan följande styrprincip användas:

- ? Om den undre givaren ger larm slå på pumpen.
- ? Om den övre givaren ger larm slå av pumpen.

Användning av styrteknik är mycket vanligt i VA-system. Många pumpar och ventiler kan bara slås på eller av. Ofta beskrivs styrproblem med hjälp av reläscheman där man grafiskt åskådliggör de villkor som måste vara uppfyllda för att styrobjektet skall slås av eller på, se vidare Alm (1983).

#### 4.2.2 PID-regulatorn

Den absolut vanligaste regulatorn i industrin är PID-regulatorn. PID-regulatorn består av tre delar, en Proportionell del, en Integrerande del och en Deriverande del. Alla tre delarna kan användas separat eller tillsammans i olika kombinationer. Styrsignalen i PID-regulatorn beräknas enligt:

$$u = K \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1)$$

Vi ser att det finns tre parametrar för användaren att ställa in. Parametern K är regulatorns förstärkning,  $T_i$  kallas integraltiden och  $T_d$  deriveringstid.

Den enklaste varianten är P-regulatorn där styrsignalen blir proportionell mot reglerfelet,  $u = Ke$ . Den största nackdelen med P-regulatorn är att den inte kan garantera att reglerfelet blir noll. Skulle reglerfelet bli noll blir även styrsignalen noll! Problemet är således att P-regulatorn måste ha ett reglerfel för att inte styrsignalen skall bli noll.

Innehåller regulatorn även en integrerande del (PI-regulator) kan en styrsignal genereras även om reglerfelet är noll. Integratorn summerar reglerfelet vilket medför att det kvarstående reglerfelet blir noll. En integrator ger alltså en signal som beror på hur stora reglerfelen varit och slutar att påverka styrsignalen först då reglerfelet blir noll.

Den deriverande termen i en PID-regulator ökar styrsignalen i proportion till hur snabbt reglerfelet förändras. D-delen kan ibland få regleringen att bli snabbare. En nackdel med en deriverande term i regulatorn är dock att regulatorn blir känslig för mätbrus. Detta innebär att man ofta är tvungen att filtrera mätsignalen innan den deriveras.

Det finns en uppsjö av olika varianter av PID-regulatorn. Speciellt när det gäller intrimning och felsökning kan det därför vara viktigt att känna till exakt vilken variant som används i det aktuella styrsystemet. Ofta implementeras kommersiella PID-regulatorer som s k lead-lag-filter och uppfyller då bara approximativt PID-formeln i ekv. (1). En bra genomgång av hur man kan ställa in parametrar hos PID-regulatorer står att finna i Åström och Hägglund (1995).

Under de senaste 15-20 åren har metoder utvecklats för att automatiskt ställa in PID-regulatorer. Metodiken med automatiska trimningsförfaranden kallas ofta för *autotuning*. En populär metod är den så kallade *relämetoden* som utvecklades i början av 80-talet av Åström och Hägglund, se Åström och Wittenmark (1989). Då en trimning beordras kopplas automatiskt ett relä in istället för regulatorn. Detta ger upphov till en självsvängning. Systemet mäter periodtiden och amplituden hos svängningen. Med denna information beräknas PID-parametrarna automatiskt med hjälp av inbyggda tumregler. Normalt kan användaren genom förval påverka om regleringen skall bli snabb (med risk för slängighet) eller långsam. Metodiken finns bl.a. i SattCon-systemet av Alfa Laval och används även i den nya Advant Controller som är efterföljaren till ABB Master Carlsson och Hallin (1995).



I praktiken finns det alltid en begränsning av hur stor eller liten styrsignal som kan realiseras av ställdonet. Regleringen kan försämrats drastiskt om inte regulatorn får reda på vilka begränsningar ställdonet har. Problemet är att då styrsignalen mättar kan integraldelen i regulatorn fortsätta att växa. Detta kallas *integratoruppvridning*. För att undvika problemet kan man i de flesta regulatorer ange vilka begränsningar som finns för styrsignalen. Detta bör *alltid* utnyttjas annars kan regulatorn internt generera en för stor signal med en försämrad reglering som följd, se Åström och Wittenmark (1990).

#### 4.2.3 Modellbaserade regulatorer

En stor fördel med PID-regulatorer är att det ofta går att trimma regulatorn med enkla tumregler och att man således inte nödvändigtvis behöver ha en matematisk modell av processen för att kunna trimma regulatorn. Vill man däremot göra en analys av reglerproblemet är det dock ofta nödvändigt att ha en modell över processen, detta gäller även om man endast använder PID-regulatorer.

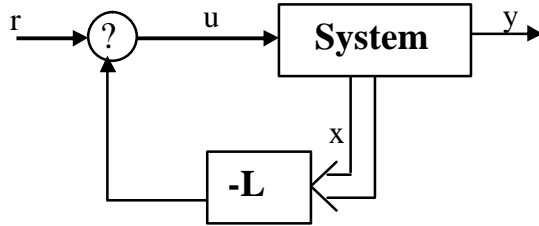
Det finns en mängd regulator typer där själva reglerdesignen baseras på en matematisk modell av processen. Kännetecknande för alla dessa regulator typer är att ju bättre modell man har över processen desto bättre reglering kan åstadkommas. Modellbygget och kalibrering av modellen är alltså ett viktigt steg när man designar en modellbaserad regulator, se kapitel 5. En bra modell gör chanserna större att få en bra reglering, ofta blir regleringen bättre än den man skulle uppnått med en PID-regulator. Om processen är multivariabel (flervariabel) och det dessutom finns starka kopplingar mellan processvariabler, är en modellbaserad regulator ofta överlägsen en PID-regulator. Det kan t o m vara omöjligt att styra en process med PID-regulatorer om processvariablerna har starka korskopplingar, se även avsnitt 4.4.

Nedan följer några regulator typer och reglerdesigner som alla använder en matematisk modell av den process som ska regleras. Vissa reglerdesigner används ganska ofta i industrin medan andra är mindre vanliga och har ännu inte lämnat de akademiska väggarna i nämnvärd grad. I denna studie behandlas inte matematiken bakom de olika reglerdesignerna utan de intresserade hänvisas till de referenser som ges i avsnittet:

- ? *Otto Smith regulatorn*: Otto- Smith-regulatorn är en regulator specialgjord för system med tidsfördröjningar. Idén är att först konstruera en regulator (t ex en PID) som skulle ha fungerat bra om man reglerat ett system utan tidsfördröjning. Sedan läggs en kompensering in för tidsfördröjningen. Denna kompensering består av en modell av systemet, se vidare Glad och Ljung (1989).
- ? *Tillståndsåterkoppling*: Idén med denna regulator design är att låta styrsignalen bestämmas av ett systems tillstånd. Tillstånden beskriver på ett matematiskt koncist sätt hur utsignalen nu beror på insignalens värde nu, gamla värden på insignalen och utsignalen. I tillståndet finns alltså all information om systemets tidigare historia som behövs för att kunna uttala sig om systemets framtida uppträdande. För linjära system är det relativt enkelt att beskriva systemet på tillståndsform. Figur 9 visar principen för linjär tillståndsåterkoppling. Styrsignalen beräknas enligt

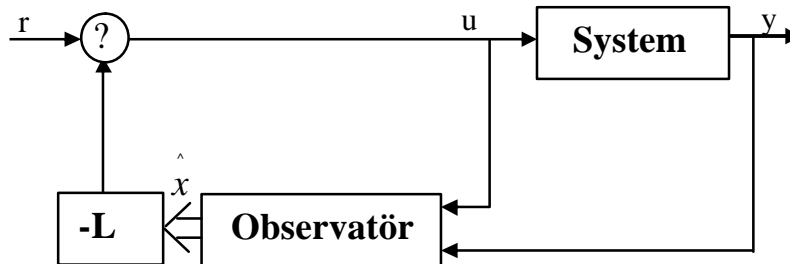
$$u(t) = -Lx(t) + r(t) \quad (2)$$

där  $x(t)$  är tillstånden och  $L = (l_1 \dots l_n)$  är en  $n$ -dimensionell radvektor, om systemet är envariabelt. Börvärdet betecknas som tidigare  $r(t)$ .



Figur 9. Linjär tillståndsåterkoppling.

För många system är inte alla tillstånd tillgängliga (mätbara) utan endast insignal och utsignal kan mätas. Det finns dock möjlighet att skatta tillstånden med hjälp av uppmätta in- och utsignaler. Skattningen av tillstånden sker med en observatör som bygger på idén att återkoppla skattningen av tillståndet med den mätbara utsignalen för att få ett mått på hur stort skattningsfelet är. Skattningen av tillståndet kan därefter korrigeras med hjälp av måttet på skattningsfelet. Figur 10 illustrerar en återkoppling från rekonstruerade tillstånd. En bra genomgång av grunderna för tillståndsåterkoppling står att finna i Glad och Ljung (1989).



Figur 10. Återkoppling från rekonstruerade tillstånd.

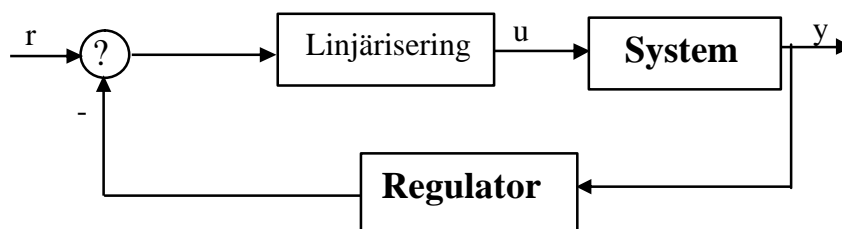
? *LQ-regulator*: En fördel med tillståndsåterkoppling är att man godtyckligt kan placera det slutna systemets poler (polernas placering bestämmer systemets egenskaper t ex i termer av stegsvar). Det kan dock vara svårt och tidskrävande att hitta en polplacering som gör att systemet uppfyller ställda specifikationer. Linjär-kvadratisk optimering (Linear Quadratic) är en designmetod som ger den optimala polplaceringen för ett givet designkriterium vid en tillståndsåterkoppling. Genom att minimera ett 2-norms designkriterium

$$V = \|y\|_{Q_1}^2 + \|u\|_{Q_2}^2 \quad (3)$$

där  $Q_1$  och  $Q_2$  är viktmatriser som kan uppfattas som designvariabler, fås den optimala linjära regulatorn. Lösningen till minimeringen av ekv. (3) kommer att ge en radvektor  $L$ , om systemet är envariabelt, och styrsignalen kommer alltså att ha samma form som ekv. (2). Metoden kan även enkelt användas för multivariabla system. Kan inte alla tillstånd mätas skattar man dessa tillstånd med en observatör. En ofta använd observatör är Kalmanfiltret som minimerar skattningsfelets kovariansmatris då mätbrus och störningar

antas vara oberoende vita brus. I det fallet då observatör används och man i modellen tillåter Gaussiskt stokastiskt brus, brukar man kalla regulatorn för LQG (Linear Quadratic Gaussian). LQG-regulatorer är ganska ovanliga i processindustrin men tillämpas oftare på system där en bra fysikalisk modell kan erhållas. De teoretiska grunderna för LQ- och LQG-reglering behandlas bl a i Glad och Ljung (1997) och Åström och Wittenmark (1990).

- ? *Prediktionsreglering (MPC):* MPC (Model Predictive Control) utnyttjar modellens prediktionskraft till att beräkna framtida värden på reglerstorheterna som funktion av de möjliga styringrepp som står till förfogande Glad och Ljung (1997). Styrsignalen fås sedan genom att minimera något kriterium, liknande den i ekv. (3). Ansatsen i MPC designen tillåter dock att man lätt kan hantera bivillkor (man använder bl a en annan tidshorisont i designkriteriet jämfört med i LQ-designen). Bivillkoren kan t ex vara in- och utsignalsbegränsningar vilket ofta uppträder i praktiken. Detta har gjort att MPC har fått en framträdande roll i bl a kemisk processindustri. MPC beskriv bl a i Glad och Ljung (1997).
- ? *H<sub>8</sub>-regulator:* Denna metod bygger på att forma det slutna systemet efter vissa specifikationer. Istället för att minimera 2-normen som gjordes i ekv. (3) ställer man istället upp ett kriterium där oändlighetsnormen minimeras (8-normen). Specifikationerna utgörs av viktmatriser eller viktfunktioner ställda på de överföringsfunktionerna som beskriver robusthet (tolerans mot osäkerheter) och känslighet för systemet. Man söker sedan en regulator som uppfyller vissa krav för 8-normen. En fördel med H<sub>8</sub>-design är att det går att få ett robusthetsmått på regulatorn och för vissa metoder går det att åstadkomma mycket goda robusthetsegenskaper jämfört med andra designmetoder, speciellt för multivariabla system. H<sub>8</sub>-design är än så länge ovanlig i processindustrin. En bra behandling av H<sub>8</sub>-metoder finns i Skogestad och Postlethwaite (1996) .
- ? *Exakt linjärisering:* Detta är i många tillämpningar en framgångsrik metod att hantera olinjäriteter i systemet. I vissa fall kan olinjäriteterna bli fullständigt bortkomparerade. Principen illustreras i figur 11 där olinjäriteten kompenseras bort av en linjäriserande länk. Med en sådan länk kan hela eller delar av olinjäriteterna kompenseras bort. Det finns systematiska matematiska metoder att ta fram dessa linjäriserande länkar. Metoden är särskilt effektiv om man har en bra modell över processen, t ex en fysikaliskt framtagen modell, se kapitel 5.



Figur 11. Exakt linjärisering med linjäriserande länk.

Exempel på linjärisering tillämpat på en aktivslamprocess finns i Lindberg (1997) och Carlsson och Milocco (2001). Exakt linjärisering beskriv bl a i Glad och Ljung (1997).

Det kan vara värt att nämna att det även existerar andra metoder för regulatordesign och varianter av designerna nämnda ovan existerar. Fuzzy-reglering är en regulatordesign som fått ett ökat intresse vid forskning inom VA-system, se bl a Rosén och Yuan (2000). Denna regulator använder sig av modeller baserade på regler (fuzzy logik) och behöver sålunda inte en analytisk modell över systemet. En bra genomgång av fuzzy reglering med en del exempel står att finna i Olsson och Newell (1999).

#### 4.2.4 Parameterstyrning

En olinjär process kan göra att en vanlig regulator inte fungerar vid vissa arbetsnivåer. Regleringen vid vissa belastningar kan vara väldigt slängig medan den vid andra belastningar är långsam. För reglering av processer som är olinjära kan det löna sig att använda olika regulatorparametrar (t ex PID-parametrar) för olika arbetsnivåer. Tekniken kallas parameterstyrning ("gain scheduling" på engelska). Genom att dela in arbetsområdet och använda olika regulatorparametrar i olika arbetsområden kan man erhålla en bättre reglering än om bara en uppsättning av regulatorparametrar används för hela arbetsområdet. Fördelen med parameterstyrning jämfört med exakt linjärisering är att en modell över processen inte är nödvändig. I många tillämpningar utnyttjas dock en modell vid parameterstyrning och reglerstrategin kan då tolkas som en approximativ exakt linjärisering.

Ofta räcker det att dela in arbetsområdet i några få intervall. Genom att dela in arbetsområdet och använda olika regulatorparametrar i olika arbetsområden kan man erhålla en bättre reglering än om bara en uppsättning av regulatorparametrar används för hela arbetsområdet. Tekniken med parameterstyrning kan användas på många olika sätt, man kan t ex låta börvärdet, utsignalen eller någon extern signal vara den variabel som används för att byta regulatorparametrar.

I många kommersiella regulatorer finns möjlighet till parameterstyrning. Ett problem med parameterstyrning är att regulatorn måste trimmas för varje delintervall. Användning av autotuning kan då vara mycket lämplig. Man gör då en autotuning för varje delintervall Åström och Hägglund (1995).

En nära relaterad reglerstrategi är *adaptiv reglering* där regulatorn själv känner av förändringar i processen. Denna strategi beskrivs nedan.

#### 4.2.5 Adaptiv reglering

En adaptiv regulator har möjlighet att ändra reglerparametrar då processens dynamik förändras. Regulatorn känner således själv av förändringar i processen (t ex byte av arbetsområde) och anpassar regulatorn efter dessa förändringar. Adaptiv reglering är i själva verket sägas vara en form av olinjär reglering. Följande steg genomförs då man bygger en adaptiv regulator, se även Åström och Wittenmark (1989):

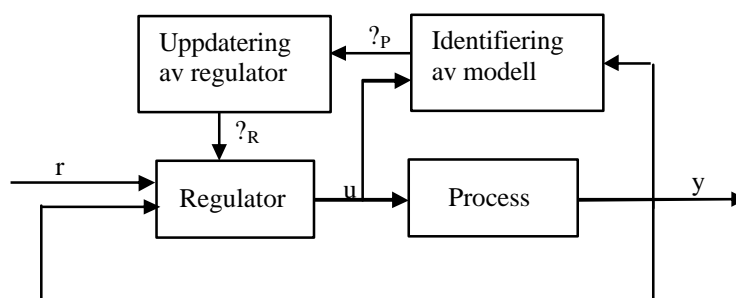
- ? Bestäm ett önskat uppträdande hos det slutna systemet.
- ? Bestäm en lämplig styrlag där parametrarna kan ändras.
- ? Hitta en mekanism som ändrar/anpassar parametrarna.
- ? Implementera styrlagen.

En vanlig typ av adaptiv reglering är de s k självinställande regulatorerna som utnyttjar rekursiv identifiering av processmodellen för att bestämma regulatorparametrar. Den mekanism som ändrar parametrarna är den rekursiva algoritmen som successivt förbättrar sin skattning genom att ta hänsyn till nya mätdata. Algoritmen kan kortfattat beskrivas som, se Åström och Wittenmark (1989):

1. Beräkna det aktuella modellfelet (prediktionsfelet).
2. Uppdatera en förstärkningsfaktor som bestämmer hur mycket prediktionsfelet skall påverka den nya parameterskattningen och hur mycket gammal information, d.v.s. gamla prediktionsfel, skall påverka den nya parameterskattningen.

Man kan urskilja två typer av självinställande regulatorer;

Indirekta: Parametrarna i processmodellen uppdateras rekursivt vid varje samplingsintervall. Utifrån denna modell uppdateras sedan regulatorn (t ex LQ, MPC etc.) och styrsignalen beräknas med de nya reglerparametrarna. Principen illustreras i figur 12 där  $\hat{p}$  är processparametrar och  $\hat{r}$  är regulatorparametrar.



Figur 12. Beskrivning av en indirekt adaptiv reglerstrategi.

Direkta: Ofta är det möjligt att direkt estimeras reglerparametrarna från data. Man slipper då den tidsödande beräkningen av en regulator vid varje samplingsögonblick. Regulatorn blir även relativt enkel att implementera. De direkt adaptiva regulatorerna har också ofta visat sig vara robusta.

För att den rekursiva uppdateringen skall vara robust måste vissa skyddsåtgärder vidtagas. En åtgärd kan t ex vara att ”stänga av” adaptionen då prediktionsfelen är mycket små. Utan dessa skyddsåtgärder finns det risk att reglerparametrarna ändras med väldiga hopp då det sker en plötslig processförändring.

Adaptiv reglering har använts med framgång för att lösa svåra reglerproblem där processens egenskaper förändras med tiden. En bra genomgång av adaptiv reglering finns i Åström och Wittenmark (1989).

#### 4.2.6 Kaskadreglering

Kaskadreglering är en vanlig strategi då den process som skall regleras kan delas upp i två seriekopplade delprocesser och där man även kan mäta en mellanliggande signal. Vid kaskadreglering används två regulatorer (oftast av PID-typ) där utsignalen från den ena

regulatorn (master-regulator, överordnade regulatorn) används som börvärde för den andra regulatorn (slav-regulatorn, underordnande regulatorn) Glad och Ljung (1989). Strategin med kaskadreglering illustreras i figur 15 där överordnad reglering av syrehalten används.

Det finns två fördelar med kaskadreglering jämfört med att bara använda en regulator:

- 1) En störning i inflödet (beroende på att tex trycket över reglerventilen förändras) kan regleras ut mycket snabbare. Med kaskadreglering återkopplas störningen direkt till slavregulatorn som snabbt kan reagera. Detta gör att störningens inverkan på huvudutsignalen minskar väsentligt.
- 2) Det är enklare att ställa in de två regulatorerna i kaskadregleringen än om bara en regulator används. Masterregulatorn behöver ju bara ge det önskade flödet som sedan slavregulatorn använder som börvärde för att ställa in ventilen. Inverkan av olinjäriteter i t ex en reglerventil minskar också med kaskadreglering.

Den främsta nackdelen med kaskadreglering är att det behövs två givare, en för utsignalen och en för den mellanliggande signalen. Kaskadreglering används ofta för syreregleringen i aktivslamprocessen. Vi kommer att beskriva detta närmare i avsnitt 4.5.

#### **4.2.7 Framkoppling**

Ett vanligt sätt att angripa ett reglerproblem är med återkoppling, d v s utsignalen återkopplas till regulatorn. Det är en mycket sund princip men det finns en nackdel. Nämligen då det kommer en störning. Regulatorn har ingen chans att reagera förrän störningen syns i utsignalen.

I vissa fall kan dock störningen mätas. Idén med framkoppling är att utnyttja mätningar av störningen för att direkt kompensera för denna. Med hjälp av framkoppling kan inverkan av störningar minskas väsentligt. I vissa fall kan störningens inverkan på utsignalen helt elimineras, vilket är omöjligt med bara återkoppling Glad och Ljung (1989).

Ofta används en enkel förstärkare som framkopplingsregulator. I de allra flesta fall bör man komplettera framkopplingen med en återkoppling. Dels finns ingen garanti för att utsignalen hamnar nära börvärdet om man inte återkopplar och dels har de flesta processer ett flertal störningar av vilka inte alla är mätbara. Dessa kan då bara regleras bort med en återkopplingsregulator. Det allmänna blockschemat för en kombinerad återkoppling–framkopplingsstrategi visas i figur 13.

Title:  
Fig5\_5.eps  
Creator:  
fig2dev Version 3.2 Patchlevel 1  
Preview:  
This EPS picture was not saved  
with a preview included in it.  
Comment:  
This EPS picture will print to a  
PostScript printer, but not to  
other types of printers.

Figur 13. Illustration av kombinerad framkoppling och återkoppling.

#### 4.2.8 Decentraliserad reglering och frikopplande element för flervariabla system

Vid design av flervariabla system ligger en svårighet i korskopplingarna mellan in- och utsignaler. Ju större korskopplingarna är desto svårare är reglerproblemet. Det finns två sätt att angripa reglerproblemet för flervariabla system. Det ena är att designa en centraliserad regulator där hänsyn tas till korskopplingarna genom att använda en modellbaserad regulator, t ex LQG eller MPC. Den andra och enklaste regleransatsen är att använda en decentraliserad regulator där man bortser från korskopplingarna och behandlar en krets i taget. Reglersystemet består således av oberoende återkopplingsregulatorer, vilka ofta är PID-regulatorer. En decentraliserad regulator fungerar bättre ju mindre korskopplingar det finns mellan de olika in- och utsignalerna. Det är därför viktigt att para ihop de starkast kopplade in- och utsignalerna. Det finns matematiska metoder som mäter interaktionen i ett system och som fungerar som ett hjälpverktyg då man vill hitta rätt ihopparning. Detta kräver dock att en modell över processen finns tillgänglig. Om decentraliserad reglering kan man bl a läsa i Glad och Ljung (1997) och Åström och Wittenmark (1990).

Frikopplande element används för att förbättra regleringen hos decentraliserade reglersystem. Dessa element betraktas ofta som framkopplingselement där styrsignaler från en decentraliserad regulator länkas ihop med styrsignaler från en annan decentraliserad regulator.

#### 4.3 Plant wide control

Med termen plant wide control menas den reglerfilosofi eller reglerstrategi som används för hela processen med tonvikt på den valda strukturella uppbyggnaden. Val av strukturell uppbyggnad inkluderar val och placering av ställdon och mätinstrument liksom uppdelning av det övergripande styrproblemet till mindre delproblem (reglerkonfiguration). Reglerstrukturdesignen innefattar Larson och Skogestad (2000):

1. Val av utsignaler.
2. Val av styrvariabler (insignaler).
3. Val av mätbara signaler (för styrningssyfte inklusive stabilisering).
4. Val av reglerkonfiguration (strukturen som kopplar mätningar, referensvärden och styrsignaler).
5. Val av regulator (t ex PID, MPC, LQG, etc.).

Ett VA-system kan ha flera tusen mätningar och reglerloopar. När komplexiteten hos en process är stor brukar dess styrsystem anta en hierarkisk struktur som ofta är indelad i två lager Skogestad och Postlethwaite (1996) :

- ? optimeringslager - beräknar önskade referensvärden
- ? styrningslager - implementerar reglering så att de önskade kraven som givits av optimeringslagret kan uppnås.

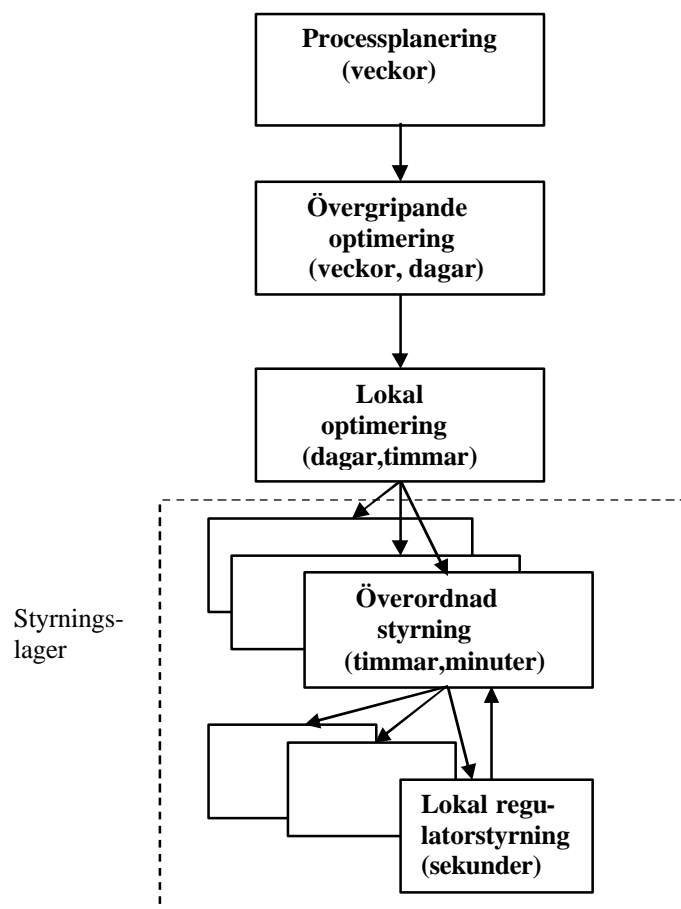
Ofta tillkommer flera lager vilket illustreras i figur 14. De olika lagren länkas ihop av de olika utsignalerna, där referensvärden beräknas av de övre lagren och implementeras av de nedre lagren. I teorin skulle de vara möjligt att uppnå en robust optimal styrning av processen genom att implementera en integrerad optimering och styrning där processen stabiliseras och där alla styrsignaler perfekt koordineras vid on-line optimering. I praktiken används dock ofta den hierarkiska uppdelning som beskrivs i figur 14, där optimering och reglering sker i olika lager. Det finns flera orsaker till varför en sådan lösning ofta är den bästa. En viktig orsak är kostnaden att ta fram en modell över hela processen. En annan viktig orsak är det faktum att lokal reglering med återkoppling ofta är mycket effektivt och med kaskadkopplingar är det möjligt att styra processer med flera tusen variabler utan att behöva utveckla någon modell. Fördelarna med decentraliserad reglering och kaskadkopplingar (oftast PID-regulatorer), som även har gjort att denna reglerkonfiguration oftast använd i praktiken, kan sammanfattas som att:

- ? de är lätta att implementera och förstå,
- ? det är lätt att ställa in och ändra regulatorparametrar (om processen är linjär)
- ? de har goda robusthetsegenskaper med avseende på modellfel (man sparar modelleringskostnader)
- ? de är mindre känsliga mot givarfel.

Det traditionella "single-loop" reglersystemen kan dock bli komplicerade, speciellt ifall kaskadkopplingarna är ihopkopplade till varandra på ett komplicerat sätt eller om processen innehåller styrbegränsningar och starka korskopplingar mellan in- och utsignaler. En annan nackdel är att det endast går att uppnå suboptimal reglering. Detta kan vara motiv till att använda någon centraliserad reglering, t ex LQG eller MPC. I Weijers (2000) diskuteras fördelar med att använda modellbaserade regulatorer för styrning av aktivslamprocesser. Modellbaserad styrning bör dock endast användas då detta underlättar driften eller förbättrar processen. Detta sker oftast högre upp i styrhierarkin.

Vid de översta processplaneringslagret översätts ofta processens huvudmål, vilket för ett reningsverk kan vara att optimera driften och hålla driftskostnader samt utgående koncentrationer låga enligt något förspecificerat krav, till att hålla utsignalerna nära dess referensvärden. Optimeringslagren skickar referensvärden för de valda utsignalerna till styrningslagret. Referensvärdena uppdateras bara periodiskt. Dessa uppgifter kan även utföras manuellt och optimeringen behöver inte implementeras automatiskt on-line. Styrningslagret kan vidare uppdelas i överordnad styrning och lokal regulatorstyrning, se vidare Larson och Skogestad (2000).





Figur 14. Typisk hierarkiskt styrsystem hos en komplex process.

Det finns två sätt att angripa valet av reglerstruktur. Det ena är där ett mer matematiskt tillvägagångssätt tillämpas baserat på bl a processens observerbarhet och styrbarhet. Det andra tillvägagångssättet är mer processororienterad och utnyttjar den kunskap man har om styrning av processen, se vidare Larson och Skogestad (2000).

Några element som används till att bygga upp en specifik reglerkonfiguration är Skogestad och Postlethwaite (1996) :

- ? Kaskadregulatorer
- ? Decentraliserade regulatorer
- ? Framkopplingselement
- ? Frikopplande element
- ? Selektorer

Selektorer används för att avgöra vilken reglering som skall tillämpas beroende på tillståndet hos systemet, styrsignalerna eller utsignalerna.

Vid uppdelningen av styrproblemet i mindre delproblem, efter t ex processenheter och tidsskalor, är det viktigt att ta hänsyn till kopplingar mellan dessa. Exempel på viktiga korskopplingar som måste beaktas hos ett VA-system är, se Olsson och Newell (1999):

- ? **Hydrauliska störningar:** t ex kopplingen mellan avloppsnät och reningsverket. Ett kombinerat ledningsnät gör dessutom att reningsprocessen påverkas av nederbördsmängder. Här kan det t ex vara önskvärt med integrerad styrning mellan ledningsnät och reningsverk.
- ? **Användning av resurser:** målsättning och drift av en reningsprocess är starkt kopplat till bl a investerat kapital, markanvändning, användning och återanvändning av organiskt material, kemikalier och näringsämnen, återanvändning av vatten och användning av energi.
- ? **Internrecirkulation av ämnen i reningsverk:** exempel på flöden av ämnen som gör processen mer komplex är flöde av syre till anoxiska och anaeroba zoner, flöden av fosfor via returslam. Andra viktiga korskopplingar är effekter på biomassans fördelning och flockningsegenskaper från uppehållstider och näringsämnen, m.m.
- ? **Operatörer:** operatörens skicklighet och kunskaper har en direkt påverkan på processen.
- ? **Feldetektering/varningssystem:** kan också ses som en faktor kopplad till reningsprocessen

Korskopplingarna ovan innebär att ett globalt synsätt måste tillämpas då effekter på hela processen och på delprocesserna analyseras, t ex då en övergripande regulator delas upp i flera lokala regulatorer. Det är viktigt att komma ihåg att optimum av delarna ej är det samma som optimum av det hela och att ett globalt (plant wide) perspektiv är nödvändigt för att optimera driften.

#### 4.4 Reglerstrategier i VA-system

Ett starkt motiv till att utnyttja en så effektiv styrning av avloppsreningsverk som möjligt är att kunna åstadkomma en mer uthållig och robust drift med avseende på kemikalieanvändning och energiförbrukning, vilket skulle kunna medföra avsevärda ekonomiska fördelar. De ökande kraven på reningsgrad och alltmer komplexa avloppsreningsverk fokuserar mot ökande automatisering av reningsprocessen i framtiden. En utmaning i sammanhanget är de speciella egenskaper och funktioner hos ett avloppsreningsverk, som gör regleringen av processen till ett icke trivialt problem, se Olsson och Newell (1999) för en översikt av olika egenskaper unika för avloppsreningsverk.

Nedan ges några kännetecknande egenskaper för biologiska avloppsreningsverk vilka försvårar utformningen och implementeringen av regulatorer, se även Lindberg (1997) och Olsson och Newell (1999):

- ? signifikanta olinjäriteter hos processen;
- ? starka interna kopplingar mellan olika processvariabler;
- ? starka externa kopplingar från ledningsnät till processen;
- ? mikroorganismer som ändrar beteende och ändra fördelning av olika bakteriepopulationer;
- ? sedimenteringen som är en känslig process.

Huvudmålet vid regleringen av reningsprocessen är att optimera driften för minimering av kostnaderna samt att hålla utgående koncentrationer låga, trots störningar som påverkar systemet. För att kunna uppfylla reningsprocessens huvudmål krävs ett antal driftsmål som styrningen skall uppfylla. Nedan ges några exempel på generella driftsmål för ett reningsverk Olsson och Newell (1999):

- ? tillfredställande tillväxt av den mikrobiologiska populationen.
- ? upprätthålla en bra omblandning där det behövs,
- ? tillfredställande belastning och syrekoncentration,
- ? tillräckligt luftflöde,
- ? bra sedimenteringsegenskaper,
- ? undvika överbelastning i sedimenteringen,
- ? undvika denitrifikation i sedimenteringen

Beträffande de olika reningsprocesserna i delprojekten inom projektet Hammarby Sjöstad ställs följande krav på utgående vatten:

- Utgående halter av fosfor skall understiga månadsmedelvärdet 0.15 mg Ptot/l.
- Utgående halter av kväve skall understiga årsmedelvärdet 6 mg Ntot/l.

Liknande krav, dock ej lika hårda som ovan, finns i de flesta EU-länder. Strängare krav på kvaliteten i utgående vatten har nyligen föreslagits som ny EU-standard, se Jeppsson (2001). Detta tros leda till en ökad komplexitet hos avloppsreningsverken för att dessa krav ska kunna mötas, vilket i sin tur medför att behovet av effektiva styrsystem inklusive intelligenta reglerstrategier ökar.

Några vanliga reglerstrategier i avloppsreningsverk är Carlsson och Hallin (1995):

- ? *Manuell reglering.* Styrsignalen ändras bara av operatören.
- ? *Framkoppling.* Det är vanligt att dosera t ex fällningskemikalier baserat på inkommande flöde. Detta ger en flödesproportionell reglering. Idén med framkoppling beskrivs närmare i avsnitt 4.3.4.
- ? *Tidsstyrning.* Styrsignalen baseras på vilken tid på dygnet det är. Typiskt är att man har ett värde för styrsignalen dagtid och ett annat värde nattetid. Man kan också låta styrsignalen bero på om det är vardag eller helg.

Man kan fråga sig varför ovanstående strategier inte alltid duger? Huvudproblemet är att metoderna ovan inte utnyttjar återkoppling från den utsignal som skall regleras. Det finns således ingen garanti att processens utsignal är nära ett önskat värde. Reglerprinciper som inte utnyttjar återkoppling kallas *öppen styrning*. Med öppen styrning, är det lätt att man överdoserar t ex fällningskemikalier för att vara säkra på att utsläppsnivåerna hålls låga. Detta leder dock till ökade driftskostnader och metallutsläpp som resultat. En fördel med ansatserna ovan är dock att det i princip inte behövs någon givare för den process som regleras Carlsson och Hallin (1995). En bra överblick över "state-of-the-art" inom modellering och reglering av reningsverk presenteras också i Weijers (2000).

#### **4.5 En översikt av några existerande och föreslagna reglerstrategier vid avloppsrening**

De reglerstrategier som presenteras här har en övervikt mot att styra aktivslamprocessen. Det är viktigt att poängtera att liknande exempel, idéer och forskningsområden finns för andra processlösningar t ex för anaeroba processer. Reglerproblemen för många processer inom VA-systemet kan ofta ställas upp enligt standardproblemet, jämför figur 8. En viktig förutsättning för att reglerstrategierna och regulator typerna, beskrivna i avsnitt 4.2 och 4.3, skall lyckas är att det finns god kunskap om processen, vettiga styr signaler kan hittas och utsignaler kan mätas.

Faktorer som påverkar drifts- och reglerstrategierna i nuvarande reningsverk är, förutom huvudmålen som nämnts ovan, de dynamiska egenskaperna hos en specifik reningsprocess samt strukturen hos det övervaknings- och styrsystem som används vid reningsverket. En viktig förutsättning för att kunna använda mer avancerade reglerstrategier och kontinuerliga kvalitetskontroller är möjligheten att utnyttja on-line mätningar, se vidare Lynggaard-Jensen et al (1996). Nya mer pålitliga on-line givare som utvecklats under de senaste årtiondena har varit ett viktigt instrument vid utvecklingen av nya reglerstrategier inom VA-branschen, liksom inom övrig processindustri. Se även kapitel 7 om utveckling av givare. Styrningen av reningsprocessen i nuvarande reningsverk kan delas in i 3 huvudområden eller övergripande mål:

- ? styrning av organisk avskiljning
- ? styrning av fosforavskiljning
- ? styrning av kväveavskiljning

I en biologisk reaktor med kväve- och fosforavskiljning kan det råda konkurrens mellan de tre målen ovan, t ex i en aerob reaktor, och konflikt kan uppstå då man försöker uppfylla flera simultana reaktioner.

Nedan följer några vanliga reglerstrategier och forskningsområden för i huvudsak aktivslamprocesser (ASP). Liknande och intressanta reglerproblem och reglerstrategier finns dock även för andra reningsprocesser, behandlingssystem och vattensystem. Det finns även olika utformningar och varianter av en ASP, t ex stegbeskickning vilket leder till andra reglerproblem. För vattenverk kan styrproblemen t ex vara att reglera kemikalier eller att reglera backspolning av filter via återkoppling. För dricksvattenreservoarer behövs tryckreglering och reglering av vattenhastigheten. I en röt-kammare vill man producera så mycket biogas som möjligt och samtidigt minimera kostnader.

#### **4.5.1 Styrning av syrekonzentrationen**

Organiskt material bryts ner med hjälp av mikroorganismer, i huvudsak heterotrofa bakterier, då syre tillsätts i bassängen. Om slamåldern är tillräckligt lång uppstår även nitrifikation som i huvudsak sker med hjälp av autotrofa bakterier. Syrebehovet beror både på den organiska avskiljningen och nitrifikationen, d v s mängden inkommande organiskt material och ammonium. Den organiska avskiljningen prioriteras dock framför nitrifikationen då tillväxthastigheten för heterotrofa bakterier är snabbare än den för autotrofa bakterier. Det är således viktigt att hålla en tillräckligt hög syrekonzentration, även kallad DO-konzentration (Dissolved Oxygen), så att tillväxten av mikroorganismer inte hämmas. DO-konzentrationen styrs via luftflödet och dynamiken däremellan är förhållandevis snabb och kan påverka respirationshastigheten i minutskala.

Det förbrukas mycket energi då luft blåses in i bassängerna vilket kan medföra höga driftkostnader. En hög DO halt i vattnet som internrecirkuleras kan också få till följd att denitrifikationen blir mindre effektiv, se Olsson och Jeppsson (1994). Att styra referensvärdet för DO-koncentrationen är därför viktigt för att optimera processen med avseende biologiska processer och kostnader.

### Strategier för att styra lufttillförseln

Det finns många olika metoder för att automatiskt styra lufttillförseln. En av de vanligaste metoderna är att regleringen av lufttillförseln till aktivslamprocessen delas in i två steg Carlsson och Hallin (1995):

- ? Reglering av lufttillförseln i varje zon som skall syresättas.
- ? Reglering av den totala lufttillförseln genom tryckreglering av blåsmaskinerna.

När det gäller regleringen av lufttillförseln i en zon är det lämpligt att basera den på den aktuella syrehalten i zonen. Om luftflödet går att mäta kan kaskadreglering användas.

Reglering av den totala lufttillförseln sker genom tryckreglering av blåsmaskinerna. Beroende på typen av blåsmaskin finns olika reglerstrategier. Ofta kan dock trycket i luftningssystemet styras via tex varvtalsreglering av en kompressor. Ett sätt att minska energiförbrukningen p g a tryckförluster över reglerventilerna är att låta trycket i luftledningen styras så att den mest öppna ventilen hålls på ett givet värde. Denna strategi garanterar att trycket är tillräckligt för att ge erforderlig luftmängd dock utan att trycket är onödigt högt, se vidare Carlsson och Hallin (1995).

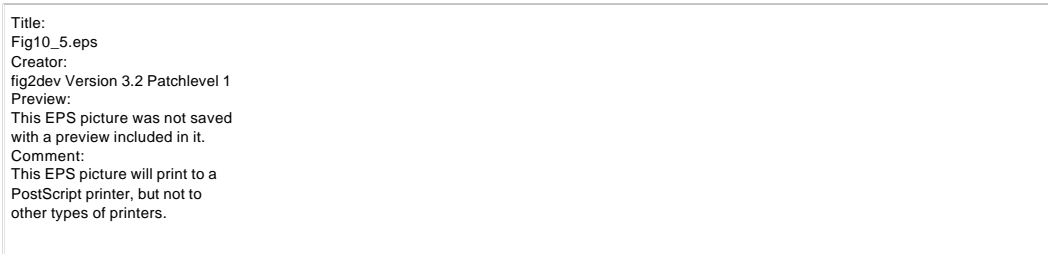
Idag existerar styrning av DO i de flesta avloppsreningsverk där ASP används i Sverige. Detta har påskyndats av att DO-givare anses som de mest pålitliga on-line instrumenten vid en ASP-anläggning, se Jeppsson (1996). En av de första datorstyrda DO-regleringen implementerades redan 1976 i Käppala reningsverk Olsson och Hansson (1976). DO-regleringen förbättrades i samma reningsverk genom implementeringen av en självinställande DO-regulator Olsson et al (1985).

Respirationshastigheten liksom syreöverföringsfunktionen ( $K_{La}$ ) är två viktiga variabler som karaktäriserar DO processen. Kunskap om dessa två variabler är av stort intresse både för processdiagnostik, se Olsson och Newell (1999) och avsnitt 6.3, och för styrning av processer inklusive DO reglering, se Spanjers et al (1996) och Lindberg och Carlsson (1996b). En regulator baserad på en rekursivt estimerad modell med linjär  $K_{La}$  har testats i Sjölunda reningsverk i Malmö, se Olsson et al (1998). Senare har DO-regulatorer som tillåter olinjära  $K_{La}$  härletts och implementerats, se Lindberg och Carlsson (1996b) och Lindberg (1997).

### Överordnad syrerreglering

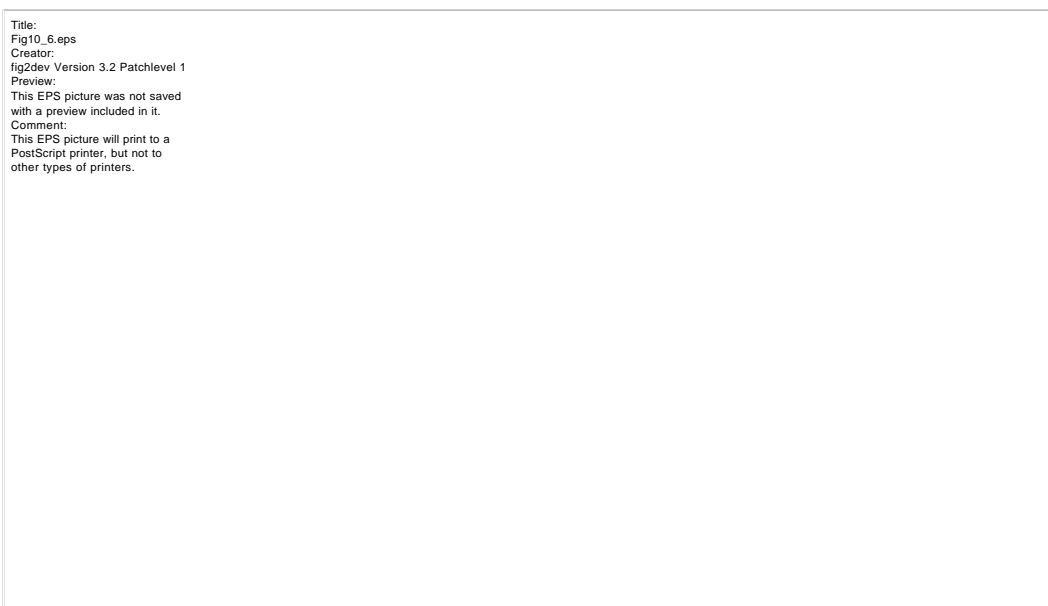
Överordnad syrerreglering är en strategi som kan vara intressant för aktivslamprocesser som körs med kväverening. I den luftade delen av aktivslamprocessen, omvandlas ammonium till nitrat. Ofta används en konstant syreprofil i bassängen. Den varierar inte med belastningen och temperaturen, d v s börvärdena till syrehaltsregulatorerna hålls konstanta. En intressant komplettering är att använda ett varierande börvärde på syrehalten Carlsson och Hallin (1995).

Om man har tillgång till en ammoniumhaltsmätare finns potential att optimera luftförbrukningen och därmed energikostnaden. Ett sätt är att reglera syrehalten så att ammoniumhalten i den sista luftade bassängen hålls låg och konstant. Strategin illustreras i figur 15.



Figur 15. Överordnad reglering av syrehalten (principskiss). Börvärdet till syrehaltsregulatorerna bestäms så att ammoniumhalten i sista luftade zonen hålls på ett konstant börvärde Carlsson och Hallin (1995).

Under lågbelastning kan syrehalten, och därmed luftflödet, hållas lågt. Detta minskar energiförbrukningen. I vissa fall kan man även få lägre nitratutsläpp p g a att en viss denitrifikation även kan förekomma i de luftade zonerna. Det finns risker med den föreslagna strategin. Vid låga syrehalter kan lustgas bildas och slamegenskaperna (flockningsegenskaper) försämrats. Ett sätt att minska dessa risker är att börja med att sänka syrehalten i en zon och inte i alla zoner samtidigt. Strategin i figur 16 har testats vid en pilotanläggning vid Kungsängsverket i Uppsala, se Lindberg (1997). Med den föreslagna strategin kunde luftförbrukningen minskas rejält samtidigt som halten av totalkväve minskade, förmodligen på grund av att det även förekom en viss denitrifikation i de luftade zonerna, se även Carlsson och Hallin (1995). Experimentet illustreras i figur 17. Den överordnade DO-regulatorn startade efter 1,5 dagar med ett referensvärdet, 1mg/l, på ammoniumkoncentrationen.



**Figur 16** Exempel på överordnad reglering av syrehalten.

Title:  
ammoniumC.eps  
Creator:  
MATLAB, The Mathworks, Inc.  
Preview:  
This EPS picture was not saved  
with a preview included in it.  
Comment:  
This EPS picture will print to a  
PostScript printer, but not to  
other types of printers.

Figur 17. Överordnad reglering av syrehalten. Regleringen startar efter 1,5 dagar och med ett referensvärdet, 1mg/l, på ammoniumkoncentrationen. Experimentet utfördes på linje 1 (P1) och linje 2 (P2) användes som referens.

I nuläget pågår flera fullskaleförsök vid olika reningsverk i Sverige där olika typer av överordnade styrstrategier testas. Strategin med överordnad syrerreglering har t ex testats under en period 1999 på Henrikdals reningsverk i Stockholm, se Waltin (2000). Under samma period testades även sk fingerklippning (delsystem av luftarsystemet som endast täcker en del av bottenytan och som styrs av on/off-ventiler) där fingrarna stängs av vid låg belastning, se Waltin (2000).

En strategi för att reglera den luftade volymen (t ex genom fingerklippning). har nyligen utvecklats och presenteras i Samuelsson och Carlsson (2001). Den föreslagna metoden använder exakt linjärisering tillsammans med estimering av reaktionshastigheter.

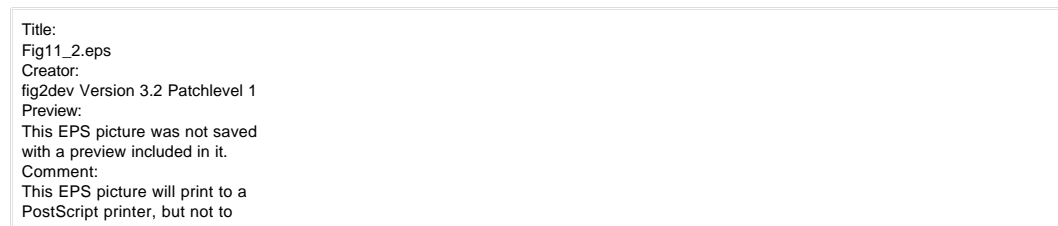
Sammanfattningsvis kan det konstateras att en överordnad reglering av syrehalten är ett intressant steg mot en mera resurseffektiv rening. I framtiden kommer det antagligen bli allt vanligare att svenska reningsverk har olika typer av överordnade styrstrategier för att minska t ex luftförbrukning.

#### 4.5.2 Reglering av extern kolkälla i (ASP)

Ofta behöver man tillsätta en extern kolkälla (t ex etanol, metanol eller ättiksyra) i en aktivslamprocess. Denitrifikationen i en efterdenitrifikationsprocess är helt beroende på en extern kolkälla. Reglerproblemet vid reglering av extern kolkälla är hur mycket kol som skall doseras. En för låg dosering leder till att denitrifikationsprocessen hämmas. En för hög dosering leder å andra sidan till att driftskostnader ökar, slamproduktionen ökar och kan ge förhöjd BOD-halt i utgående vatten, se Lindberg (1997).

Denitrifikationshastigheten går ej att förutspå säkert utifrån kol/kväve-kvoten i inkommandes vatten eftersom den inte ger information om mängden lättnedbrytbart kol. Kol/kväve-kvoten behöver därför inte vara en bra styrparameter. En strategi är att låta doseringen av extern kolkälla styras av inkommande flöde d v s flödesproportionell reglering. Som för alla framkopplingsstrategier *kan* detta ge en acceptabel reglering men det finns ingen garanti mot över- eller underdosering.

En naturlig strategi är att styra doseringen av det externa kolet så att nitrathalten i slutet på det oluftade (anoxiska) steget hålls på en konstant låg nivå (börvärde). Valet av börvärde är en kompromiss; ett lågt börvärde leder till låga utgående nitrathalter men med en hög förbrukning av extern kolkälla, medan ett högt börvärde leder till det motsatta. Det är viktigt att slammet har adapterats till den externa kolkällan. Annars kommer inte en ökning av doseringen av den externa kolkällan att leda till att nitrathalten minskar, vilket leder till att regleringen inte fungerar. Figur 18 visar den allmänna principen Carlsson och Hallin (1995).



Figur 18. Allmänt blockschema för hur den externa kolkällan kan regleras. Regulatorn styr doseringen av kolkälla så att nitrathalten i den sista anoxiska zonen hålls låg Carlsson och Hallin (1995).

Figur 19 visar ett exempel på hur denna reglerstrategi kan tillämpas på ett efterdenitrifikationssystem. Regulatorn i figuren kan enkelt kompletteras med framkoppling från t ex inkommande flöde.



Title:  
Fig11\_3.eps  
Creator:  
fig2dev Version 3.2 Patchlevel 1  
Preview:  
This EPS picture was not saved  
with a preview included in it.  
Comment:  
This EPS picture will print to a  
PostScript printer, but not to  
other types of printers.

Figur 19. Strategi för optimal dosering av extern kolkälla i ett efterdenitrifierande system. Regulatorn styr doseringen av kolkälla i den första anoxiska zonen så att nitrathalten i den sista anoxiska zonen hålls på ett fixt börvärde.

Samuelsson och Carlsson (2001) beskriver en modellbaserad framkopplingsstrategi med en enkel PI som återkopplingsregulator, för reglering av extern kolkälla. Framkopplingsdelen är baserad på en förenklad ASM1-modell, se avsnitt 5.3. Se också Lindberg (1997) för andra ansatser och ytterligare referenser.

#### 4.5.3 Reglering av fällningskemikalier

I det kemiska reningssteget tillsätts fällningskemikalier framförallt för att avlägsna fosfor. Reglering av hur mycket fällningskemikalier som doseras är viktig, inte minst därför att kostnaden för kemikalier ofta utgör en stor andel av den totala driftskostnaden vid ett reningsverk. I dagsläget styrs ofta doseringen av fällningskemikalier med en flödesproportionell reglering vilket innebär att doseringen är proportionell mot inkommande flöde. Även tidsstyrning av doseringen förekommer. I Hellström et al (1984) beskrivs en lyckad styrstrategi, baserad på en kombination av flödesmätningar och historiska data av fosforkoncentrationer, som implementerats i SYVAB Himmersfjärden.

I takt med att tillförlitliga fosforgivare utvecklas kan man förvänta sig att styrningen även kommer att baseras på utgående fosforhalt. Huvudprincipen är då att inte dosera mer fällningskemikalier än att utgående fosforhalt ligger under utsläppsgränsen. Detta ger ett reglerproblem enligt standardmetoden, jämför figur 8. Styrsignalen är flödet av fällningskemikalier och utsignalen är utgående fosforhalt. Börvärdet väljs som den nivå på utgående fosforhalt som kan accepteras utifrån ställda miljökrav och kostnaden för fällningskemikalierna Carlsson och Hallin (1995).

#### 4.5.4 Reglering av flöden och hydraulik

I ett avloppsreningsverk finns en stor mängd flöden som i vissa fall kan styras via pumpar. Styrning av flöden är bl a viktigt för att förhindra hydrauliska belastningar och stora ändringar i uppehållstider. För att erhålla en hög och jämn rening av avloppsvattnet måste alla flöden regleras på ett förnuftigt sätt. Till exempel kan de biologiska reningsprocesserna och flockningsegenskaper påverkas negativt av allt för stora ändringar i uppehållstider och sedimenteringen försämras av stora hydrauliska belastningar.

Exempel på flöden som kan regleras i aktivslamprocessen är internrecirkulation, överskottsslamflöde och returslamflödet. Med t ex överskottsslamflödet kan mängden slam i systemet regleras. I Lumley et al (1994) beskrivs en reglerstrategi där överskottsslamflödet används för att styra slamnivån i sedimentaren. De många korskopplingar som finns mellan olika processvariabler, slammängden och flöden gör dock att en tillfredställande reglering är svår att uppnå.

Recirkulationsflödet av nitrat i en predenitrifieringssystem är en snabb process eftersom flödet är högt. Detta gör att nitratkoncentrationen i inkommande vatten till de anoxiska zonerna kan ändras snabbt genom att manipulera det interna recirkulationsflödet. En reglerstrategi där internrecirkulationsflöde används som styrsignal presenteras i Ekman et al (2001) och Rehnström (2000). Reglerstrategin bygger på en framkopplingsdel, baserad på en förenklad modell av ASM1 (se avsnitt 5.3), och en återkopplingsdel baserad på en vanlig PI-regulator.

#### **4.5.5 Integrerad styrning**

VA-system är utsatta för mycket varierande störningar som beror på väderlek och på avsiktliga och oavsiktliga utsläpp från hushåll och industrier. Karaktäristiskt för VA-system är också att det råder starka kopplingar mellan olika delar i det urbana vattenflödet. Det är därför önskvärt att ha någon form av integrerad styrning där information från olika VA-system utnyttjas till att optimera driften.

Exempel på integrerad styrning är att utjämna flödet till reningsverket genom att utnyttja avloppsledningsnät som en buffertvolym. Erfarenheter finns i Sverige från bl.a. Malmö Aspegren et al (1996) , Göteborg Lumley (1996) och Stockholm (Ormenprojektet). För prediktion av flöden av inkommande vatten till reningsverken kan information från vattenkonsumtion, hydrologiska modeller (avrinningsmodeller), väderobservationer och meteorologiska modeller, utnyttjas.

Information från mätgivare placerade nära utsläppskällor, t ex industrier och hushåll, kan också användas för integrerad styrning. Mätningar av näringsämnen och tungmetaller i ett tidigt skede i ledningsnäten kan utnyttjas, dels till avancerade tidiga varningssystem, dels till framkopplingsstrategier för reningsverk. Skadliga belastningar i ledningsnätet måste kanske behandlas nära utsläppskällan eller kanske kräver en speciell behandling vid reningsverket. Om belastningen innehåller stora koncentrationer av organiskt material kan sådana tillskott användas för att bättre styra andra samtidigt reaktioner, främst för biologisk kväve- och fosforborttagning, se vidare Olsson et al (1999).

Det kan konstateras att den föreslagna mätstationen i Hammarby Sjöstad ger en god potential för att användas för olika framkopplingsstrategier och varningssystem förutom att ge viktig information till olika intressenter inklusive de boende.

## **5 Modellbygge och simulering**

Användning av modeller och simulering är fundamentalt inom t ex vattenreningsteknik. Att ge en någorlunda rättvis översikt av detta område är inte möjligt. För den som behöver orientera sig hänvisas till de många publikationer i form av böcker och tidskrifter

konferensserier som finns i ämnet. I detta avsnitt ges en kort allmän översikt av modeller och simulering.

En modell är någon form av beskrivning av en process. Ofta används en matematisk modell men det finns andra modelltyper såsom verbala, grafiska och fysiska. Vad är då nyttan med att använda modeller istället för att göra ett praktiskt experiment? Att göra praktiska försök är en sund metodik som dock har begränsningar:

- ? det kan bli för dyrt.
- ? det kan ta för lång tid.
- ? det kan vara för farligt och/eller för miljöförstörande
- ? Processen (reningsverket) finns inte ännu.

En modell kan sägas vara ett verktyg för att besvara frågor om processen utan att göra experiment. För enkla modeller kan man analytiskt ta reda på hur modellen beter sig. Detta kan ge god insikt men fungerar bara för enkla modellen. Ofta får man istället använda en dator för att göra "numeriska experiment" på modellen. Detta kallas för simulering.

En modell kan användas på många sätt, några typiska användningsområden är:

- ? Göra prognoser. Detta kan röra sig alltifrån hur reningsverket kan tänkas klara ett kommande regnväder till mjukvarusensorer (se avsnitt 6) för att prediktera en parameter.
- ? Design av en process. Här kan man använda alltifrån enkla tumregelmetoder till sofistikerade simulatorer.
- ? Feldiagnos och processövervakning. En modell kan användas för att tidigt detektera en störning eller fel. Tekniken kallas ibland "tidiga varningssystem". En utmärkt översikt med tillämpningar inom reningsverk ges i Rosén (1998).
- ? Design och analys av reglersystem. För att designa och analysera ett reglersystem krävs ofta någon form av modell av den process som ska styras.
- ? Utbildning. Det är ofta vettigt att använda simulatorer för träning och utbildning. Utbildningssimulatorer finns t ex för kärnkraftverk, flygplan och reningsverk.
- ? Forskning. Mycket av naturvetenskaplig och teknisk forskning går ut på att utveckla och testa modeller (hypoteser).

Gemensamt punkterna ovan är att dessa syftar i någon mening till att med hjälp av en modell optimera processen (direkt eller indirekt). Detta kan t ex vara att med en modellbaserad regulator uppnå en optimal reglering efter vissa kriterier eller genom utbildning av operatörer uppnå en förbättrad drift. Med optimering av processen menas i regel en förbättring av processen jämfört med tidigare förhållanden, t ex att minska kemikalie- och energianvändningen, eftersom optimering i strikt matematisk mening sällan kan uppnås i praktiken.

## 5.1 Modellbygge

Det finns två grundprinciper för modellbygge

- ? Fysikaliskt modellbygge. Denna princip bygger på att använda kända samband, "naturlagar" ( t ex massbalanser och energibalanser) för att modellera systemet. Ofta måste hypoteser och vedertagna samband också användas.

- ? Empirisk modellering (systemidentifiering). Ofta kan det vara svårt att använda fysikaliskt modellbygge för mera komplexa processer. En fruktbar väg kan då vara att använda observationer från processen för att anpassa en modell. En modell som anpassats till mätdata utan att använda fysikaliska kunskaper kallas ofta black-boxmodell. Tekniken att ta fram modeller från empiriska data kallas inom reglerteknikvärlden för systemidentifiering, se vidare Ljung och Glad (1991) och Södersröm och Stoica (1989), för en noggrann genomgång av systemidentifieringens möjligheter och begränsningar. Det är också värt att notera att det finns bra programvara för systemidentifiering. Ett av de bättre programpaketerna är System Identification Toolbox, som är ett tilläggs paket för Matlab.

Det är ofta vettigt att använda en kombination av fysikaliskt modellbygge och systemidentifiering. Man bygger då in kända fysikaliska samband i sin modell och skattar bara det som är okänt. Tekniken kallas grey-box modellering och ger ofta en noggrannare modell än om bara black-box modellering används. Den främsta nackdelen med greybox-modellering är att den kan vara tidsödande och själva kalibreringen av modellen är ofta beräkningskrävande.

## 5.2 Modellvalidering

Svårigheten med allt modellbygge är att göra bra och tillförlitliga modeller. För att en modell ska vara användbar måste man ha tilltro till de resultat modellen ger. Detta kan fås genom att validera eller verifiera modellen. I princip görs detta genom att jämföra modellens uppförande med processens och utvärdera skillnaden. En annan viktig egenskap är modellens giltighetsområde. Det är värt att påpeka att alla modeller har ett begränsat giltighetsområde. Resultatet från en modell som används utanför sitt giltighetsområde bör man ta med en stor nypa salt. Sammanfattningsvis gäller:

- ? Systemidentifiering: Det kan vara svårt att hitta en vettig modellstruktur men själva modellkalibreringen är relativt lätt. Modellen har ofta ett mera begränsat giltighetsområde än för modeller framtagna med fysikaliskt modellbygge.
- ? Fysikaliskt modellbygge. Det är ofta svårt att härleda modellen men om man lyckas får man ofta en modell med ett stort giltighetsområde.

Är syftet med modellen att den skall användas i reglerdesign, t ex LQG eller MPC, får inte modellen ha en för hög ordning. Designmetoder för modellbaserade regulatorer genererar regulatorer som har minst lika hög ordning som modellen. Det är därför ofta nödvändigt att reducera modellordningen innan reglerdesignen, alternativt reducera den färdiga regulatorn. Det finns systematiska matematiska metoder för att reducera modellordningen för linjära system, se bl a Skogestad och Postlethwaite (1996) . Problemet blir dock betydligt mer komplext ifall modellen är olinjär. I Jeppsson (1996) har reducerade modeller för aktivslamprocessen utvecklats. Syftet är att få reducerade modeller för t ex reglering men ändå behålla så mycket som möjligt av de fysikaliska sambanden.

## 5.3 Simulatorer i reningsverk

Vi ger i detta avsnitt en kort genomgång av simulatorer för avloppsreningsverk. Den vanligaste modellen som används för att simulera aktivslamprocessen är "Activated Sludge

Model No 1", ASM1, se vidare Henze et al (1987). Det finns olika utvidgningar av denna modell, t ex för biologisk fosforering. För närvarande håller en liknande modell som ASM1 på att sammanställas för anaeroba processer (AD1).

Huvudproblemet med alla typer av simulering är dels att hitta en vetting modell samt att kalibrera modellen till den process man vill simulera. Detta gäller inte minst modeller för avloppsreningsverk. Typiskt måste användaren:

- ? Karakterisera inkommande vatten med avseende på ett tiotal parametrar. Det kan också vara viktigt att veta hur inkommande vatten förändras över tiden för att kunna simulera dynamiska förlopp.
- ? Kalibrera modellen av själva reningsverket (aktivslamprocessen). Detta är också ett tidsödande arbete där olika försök och labbexperiment måste kombineras med kalibreringar av modellens parametrar.

Det som bestämmer hur noggrann man behöver vara i ovanstående steg är syftet med modelleringen/simuleringen. Desto noggrannare resultat man behöver desto noggrannare måste modellen kalibreras.

### 5.3.1 Kommersiella simulatorer för VA-system

Ett flertal modeller och simulatorer för ASP har utvecklats de senaste årtiondet. En bra överblick av olika simulatorer står att finna i Olsson och Newell (1999), se även EFOR (Date: 00-10-20), GPS (Date: 00-10-20), SIMBA (Date: 00-10-20) och WEST (Date: 00-10-20) för hemsidor till några av dessa simulatorer. Ett exempel på där EFOR och GPS-X används som simuleringsverktyg står att finna i Lumley et al (1994). Dessa två modeller har använts vid Rya-verket i Göteborg och efter kalibrering visat gott resultat.

En inte allt för orimlig slutsats är att simulatorer hitintills använts sparsamt bland driftspersonal. Det finns flera orsaker till detta men en orsak är att många simulatorer än så länge inte varit särskilt användarvänliga. I Ekman et al (2001) och Samuelsson et al (2001) beskrivs en simulator där användarvänlighet fokuserats. Denna simulator är skriven i programspråket JAVA och kan således nås från en vanlig Internetbläddrare. I simulator har flera reglerstrategier implementerats, bl a överordnad syrerreglering (se avsnitt 4.6), vilket kan användas för att illustrera fördelar med att använda automatisk reglering i avloppsreningsverk.

## 6 Övervakning av VA-system

Många VA-system är idag utrustade med verktyg för on-line instrumentering av mätvärden, datainsamling och databehandling, se Jeppsson (2001). Mätdata används också för realtidsstyrning eller indirekt styrning via operatörer. I stora reningsverk kan antalet mätsignaler som loggas uppgå till hundratal eller tusentals. Detta kräver smarta tekniker för att behandla stora datamängder och ta tillvara på informationen på ett intelligent sätt.

Nedan beskrivs metoder för validering av mätdata samt några viktiga metoder och verktyg som underlättar övervakningen av ett VA-system, dessa är detektering, diagnostik och varningssystem. I den hierarkiska struktur som bygger upp drift av ett VA-system, jämför figur 14, hamnar alarmering, detektering och diagnostik i lagret för överordnad styrning.

## 6.1 Validering av mätdata

Nuvarande metoder för att presentera loggade mätdata i reningsverk baseras ofta på tidsseriegrafer där processvariabler uppträder som historiska trender. Ett problem med mätningar on-line är att data kan vara av varierande kvalitet. Det finns flera orsaker till att data kan vara missvisande, allt från felaktigt installerade givare till elektromagnetiskt brus. Det är därför viktigt att någon form av behandling och validering av data utförs för att undvika felaktiga slutsatser grundade på korrupta data.

Nedan följer några vanliga störningar som orsakar korrupta data och åtgärder som kan tillämpas för att motverka effekten av dessa:

- ? Brus; en vanlig åtgärd för att reducera effekterna av brus är att filtrera data. Ofta används analoga filter redan i mätgivarna. För att ta bort högfrekvent mätbrus används ofta digitala lågpassfilter.
- ? Outliers; ett problem med outliers är att bestämma om de representerar ett sant värde eller bör tas bort från mätserien innan analys. Det finns flera olika metoder och algoritmer för att detektera outliers. Allt från att ta bort misstänkta mätpunkter manuellt till att använda mera sofistikerade statistiska verktyg och multivariata metoder Rosén (1998).
- ? Data som fattas; data saknas då givaren inte lyckas leverera en eller flera mätningar. Problemet liknar fallet för outliers. Eftersom längre perioder av saknade data i mätserien allvarligt försvårar en analys är det viktigt att minimera antalet tidpunkter för vilka data saknas. Det finns dock några metoder att ersätta saknade data off-line. Ett av det vanligaste är interpolation.
- ? Trender; trender kan detekteras genom att t ex identifiera trendkurvan enligt minsta kvadratmetoden eller genom att plotta de kumulativa residualerna, se Rosén (1998).

## 6.2 Detektering och tidiga varningssystem

För att minimera störningars effekter på olika processer är det viktigt att kunna detektera dessa så tidigt som möjligt. Detektering kan sträcka sig från att se statusen hos en pump till detektering av vattenläckage i dricksvattenledningar eller att upptäcka processförändringar i ett reningsverk. Detektering utgör också ryggraden för tidiga varningssystem.

Analys av enstaka signaler är kanske det mest fundamentala sättet att få fram information från mätningar. Ofta används grundläggande statistiska metoder för att analysera signalernas tillstånd. Några karaktäristiska egenskaper hos signaler och som ofta analyseras är medelvärde, amplitud och spridning. Dessa egenskaper utgör också ofta grunden för händelsehantering och larmfunktioner. Händelser kan vara tillståndsändring av signaler och sekvenser, passerande av gränsvärde, börvärdesändring, etc. Larm är ofta ett specialfall av en händelse.

Detektering och analys av enstaka signaler kan antingen ske i tidsdomänen eller i frekvensdomänen. Metoder för analyser i frekvensdomänen brukar gå under benämningen spektralanalys och en bra genomgång av dessa metoder står att finna i Stoica och Moses (1997).

Analys av enstaka signaler kan tillsammans med á priori modeller för ställdonens och sensorernas beteende användas för att avgöra konditionen på utrustningen. När dessa analyser utförts kan en mer ingående analys av processtörningar göras. Det är då nödvändigt att använda all tillgänglig information på ett intelligent sätt. I Rosén (1998) undersöks olika möjligheter att extrahera information från många mätningar för tidiga varningssystem i aktivslamprocessen. Olika multivariata metoder används för att åstadkomma tidigare varningssystem för operatören. Principen är att projicera informationen från många olika mätare till betydligt färre dimensioner och därmed snabbare visa avvikelser från önskade drifttillstånd.

Varningssystem kan även utökas till mätningar i närheten av industrier och hushåll, för att snabbt kunna upptäcka t ex toxiska utsläpp. Detta innebär också att ett integrerat informationssystem är av stor vikt, se vidare Ekman (2000).

En bra genomgång av metoder för detektering finns beskrivna i Olsson och Newell (1999) och Rosén (1998).

### 6.3 Diagnostik

Diagnostik innebär att så snabbt som möjligt identifiera en störningskälla för att kunna åtgärda processtörningen som denna åsamkat. En viktig förutsättning för att kunna utföra en diagnostisk analys är detektering av störningar och förändringar i processen. Den information som utnyttjas vid diagnostik kommer dock inte enbart från mätningar on-line eller historiska mätdata. För att kunna beskriva tillståndet hos processen eller en händelse som inträffar är även observationer från operatörer och resultat från laborationstester viktig information. Händelser som är viktiga att detektera och diagnostisera inkluderar otillfredsställande funktion hos givare, ställdon eller någon process.

Ett exempel på diagnostik är att analysera ett onormalt lågt flöde genom att jämföra flödet med mätningar av elektrisk ström hos en relevant pump. Detta kan visa om motorn slutat fungera, se vidare Olsson och Newell (1999).

Det finns flera metoder att använda vid diagnostik. Dessa inkluderar:

- ? Kunskapsbaserade system (KBS); även kallade artificiell intelligens. Detta är en teknik som tolkar händelser även då analyser från on-line mätdata ger otillräcklig information. I sådana system kombineras mätdata med bl a operatörsobservationer.
- ? Sannolikhetsanalys och statistik; kallas för SPC (Statistical Process Control) och används ofta för att analysera processen. Analyserna ligger ofta till grund för en manuell åtgärd och SPC kan alltså betraktas som en överordnad styrning. För att illustrera processens tillstånd används olika former av grafer. Den statistiska analysen kan utföras på enstaka signaler eller på flera signaler samtidigt, här kan multivariata analyser vara en användbar metod, se Rosén (1998) och Olsson och Newell (1999).
- ? Grafiskt baserade metoder; där en funktion beskrivs av en nod och gemensamma relationer kopplas ihop till ett nätverk för att beskriva kausala samband.
- ? Modellbaserad diagnostik; här används olika slags modeller, bl a steady-state modeller, black-box modeller men även observatörer och software sensorer samt

adaptiv uppdatering av modellparametrar. I Lumley (2001) finns exempel på diagnostik on-line på instrument i Rya-verket, Göteborg, där indirekt estimerade parametrar jämförs med on-line sensorer. Estimaterna är baserade på massballansberäkningar on-line och information från soft sensorer.

En bra genomgång av metoder för diagnostik finns beskrivna i Olsson och Newell (1999).

## 7 Givare

I detta avsnitt ges en kort allmän beskrivning av givare. Vi hänvisar till Mätstationsprojektet för en mera detaljerad genomgång av givare som är aktuella för Hammarby Sjöstads projektet.

### 7.1 Mätgivare

En (mät)givare eller sensor har till uppgift att mäta värdet av en fysikalisk storhet (pH, temperatur, flöde etc). De flesta givare ger (ofta via en omvandlare) en elektrisk signal. Mätvärdet presenteras oftast på en display eller en datorskärm. Givare är mycket viktigt både för realtidsreglering av olika processer, se kapitel 4, och för processövervakning, se kapitel 6. Resultatet vid kalibrering av modeller (se kapitel 5) är helt beroende av kvaliteten på mätvärden från givare, antingen detta sker on-line eller off-line.

Några viktiga kännetecknande krav hos en on-line givare är Olsson och Newell (1999):

- ? givaren bör vara lokaliserad vid processen,
- ? givaren utsignal bör betraktas som kontinuerlig med avseende på processens tidsskala,
- ? givaren bör fungera utan kontinuerligt ingripande även om en viss periodisk tillsyn oftast är nödvändigt.

Idealt ska en givare kontinuerligt och utan tidsfördröjning ge ett exakt värde av den storhet den ska mäta. I praktiken kan detta inte uppnås. Det finns alltid osäkerheter. En givares *noggrannhet* brukar anges i procent av hela mätområdet och är ett mått på givarens statistiska fel. *Linjäriteten* anger givaren förmåga att linjärt reproducera den mätta storheten.

En givare har ett hysteresfel om givarens utsignal påverkas av om mätstorheten tidigare varit större eller lägre. En givares *repeaterbarhet* är också av stor betydelse. Många givare i t ex reningsverk har problem med drift, d v s att man får ett systematiskt fel som ökar med tiden. En hög drift medför att man måste kalibrera om givaren ofta.

Speciellt vid reglering är givarens dynamiska egenskaper viktiga. Givaren bör ha en dynamik, *respons hastighet*, som är liten i förhållande till processens dynamik. Ofta kan givarens dynamik approximeras med första ordningens system, och givarens tidskonstant talar då om hur lång tid det tar för givaren att nå 63% av slutvärdet då mätstorheten ändrats med ett steg. En mätgivare (speciellt om det rör sig om att ta fram ett mätvärde som kräver en analys) kan även ha en *dödtid*. Antag att mätstorheten ändas abrupt från ett värde till ett annat. Med dödtid menas den tid som förflyter innan givaren visar någon förändring.

Andra viktiga faktorer att ta hänsyn till vid val av givare är, se även Olsson och Newell (1999):



- ? **Mätprincip.** Det finns t ex flera typer av givare som bygger på olika principer vid mätningar av samma variabel.
- ? **Inköpskostnad.** Detta är en avvägning mellan kostnad för inköp av givaren och den nytta givaren ger för att förbättra driften.
- ? **Underhållskostnad.** Kostnaden för att underhålla (kalibrering, förbrukningskemikalier etc) måste även vägas mot nyttan.

Givarteknologin i VA-system har inte utvecklats lika snabbt som t ex de matematiska modellerna som framtagits av reningsprocesserna. Detta har inneburit att kalibrering och identifiering av olika modellparametrar krävt stora mätkampanjer, design av speciella identifieringsexperiment och omfattande laboratorieanalyser. Hur en sådan kalibrering och identifiering kan utföras beskrivs bl a i Petersen (1999).

Utvecklingen av nya givare och mer pålitliga givare har dock satt fart de senaste decennierna. En bidragande faktor har varit de ökande kraven på kväve- och fosforrening. Introduktion av nya pålitliga mätningar har också varit pådrivande för utvecklingen av nya reglerstrategier. T ex finns idag olika reglerstrategier för styrning av syrekoncentrationen implementerade runt om i Sverige, se avsnitt 4.6.1.

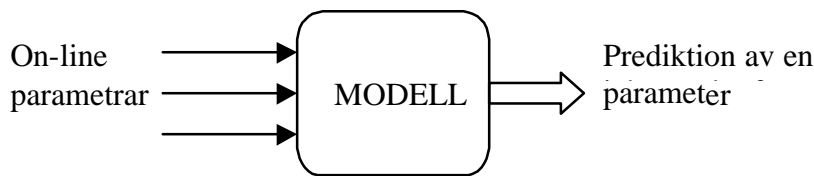
Nedan presenteras några av de vanligaste mätningarna on-line i avloppsreningsverk, se även Jeppsson (2001):

- ? **Fysikaliska mätningar:** *Vanligt;* temperatur, tryck, vätskenivåer, flödes hastigheter. *Mindre vanligt;* suspenderat material, slamnivåer, slamvolym, UV absorption.
- ? **Fysikaliska-kemiska mätningar:** *Vanligt;* pH, konduktivitet, syrekoncentration, koncentrationer av biogaser, redox. *Mindre vanligt;* flourence (NAD(P)H),  $\text{NH}_4$ (ISE<sup>3</sup>), UV absorbans.
- ? **(Bio)kemiska mätningar:** *Vanligt;* respirationshastigheter, st BOD<sup>4</sup>, Toxicitet, slamaktivitet. *Mindre vanligt;*  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$  (mätning av dessa ämnen har dock ökat de senaste åren).

## 7.2 Mjukvarusensorer ("software sensors")

I ett reningsverk registreras en stor mängd parametrar, i vissa fall i realtid (on-line) med en givare/sensor och i andra fall off-line t ex genom analys i labb. Problemet med off-line analyser är att det ofta är en lång fördröjning mellan det ett labbprov tas och tills resultaten av analysen är klar. Detta ger en tidsfördröjning som gör att det är svårt att använda resultaten för aktiv styrning och reglering. Ett annat problem är att labbanalyser ofta är kostsamma vilket medför att man vill begränsa hur ofta en parameter analyseras. Ett relaterat problem är att man ibland är intresserad av parametrar som inte kan mätas på något enkelt sätt.

I den med en mjukvarusensor är att använda någon form av matematisk modell för att bestämma en parameter utifrån on-line mätningar av andra parametrar. Modellen ska alltså ge en prediktion av den sökta parametern. Den grundläggande iden visas i Figur 20.



Figur 20. Principupbyggnad av en mjukvarusensor. Baserat på on-line mätningar och en kalibrerad modell, predikteras en omätbar processparameter.

En typisk arbetsgång för att designa en mjukvarusensor är:

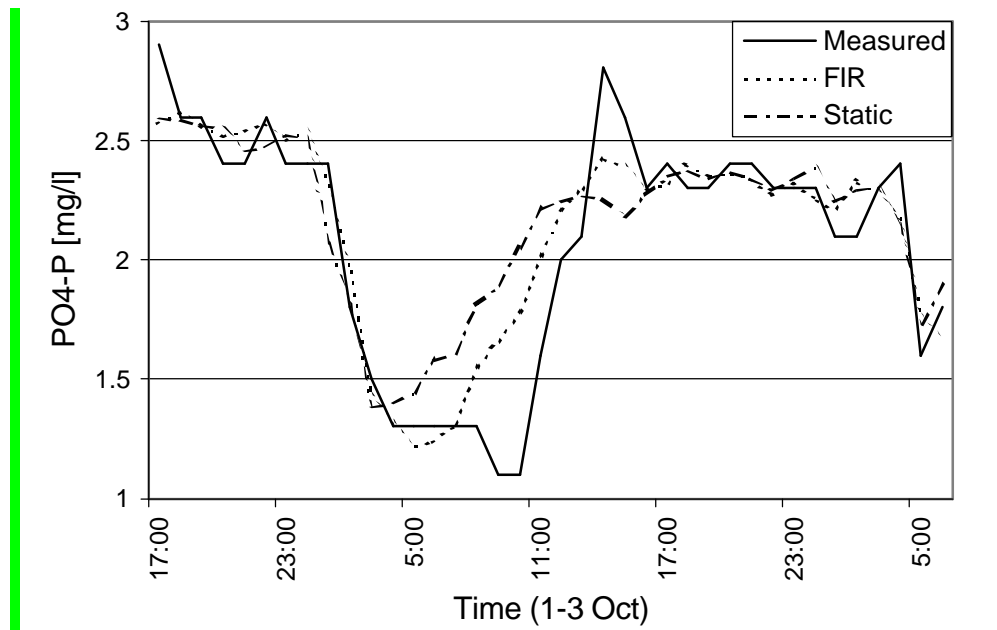
- 1) Utnyttja historiska data för att kalibrera en prediktiv modell.
- 2) Validera modellen på data som inte använts för kalibrering.
- 3) Implementera modellen. Notera att om det gäller prediktion av en parameter som analyseras på labb kan labbvärden användas både för att testa kvalitén på prediktionen och utnyttjas för fortgående kalibrering av modellen.

Ett problem med att kalibrera modellen i steg 1 är att ofta finns en stor mängd mätdata tillgängliga som dessutom ofta samvarierar. Detta gör att vanlig (flervariabel) linjär regression ger en modell med dålig noggrannhet. En vettig strategi är därför att använda metoder för datareduktion problemet med samvarierande parametrar åtgärdas. Två vanliga metoder är PLS (Partial Least Squares) och PCR (Principal Component Regression). Gemensamt för dessa metoder är att de försöker åtgärda problemet med samverkande/korrelerade parametrar. Se vidare t ex Mossberg (1995), Rosén (1998) och Eriksson et al (1999).

En mjukvarusensor har många användningsområden, ofta kan den ersätta en on-line givare och användas för reglering eller övervakning. Andra möjliga användningsområden är som komplement till en befintlig givare och därmed möjliggöra detektion av givarfel. Nedan ges två konkreta exempel

Exempel 1 – Modellering av inkommande fosforhalt vid ett kommunalt reningsverk.

I ett examensarbete har Åsa Jansson undersökt hur man med en mjukvarusensor kan prediktera inkommande fosforhalt vid det kommunala reningsverket i Borlänge, se Jansson (2000). Huvudmotivet till att använda en mjukvarusensor var att man ville undvika en dyrbar investering i en on-line fosformätare. Som indata till modellen användes inkommande flöde, pH, konduktivitet, COD och SS. Olika multivariata metoder såsom PCA, PLS och vanlig multipel linjär regression undersöktes. Ett typiskt exempel visas i Figur 21. Prediktion med två olika modeller (FIR och statisk) jämförs med uppmätta fosforvärden. Från figuren ser man att FIR modellen ger den bästa prediktionen. Det visade sig också att PLS modellering gav den bästa noggrannheten, se vidare Jansson (2000).

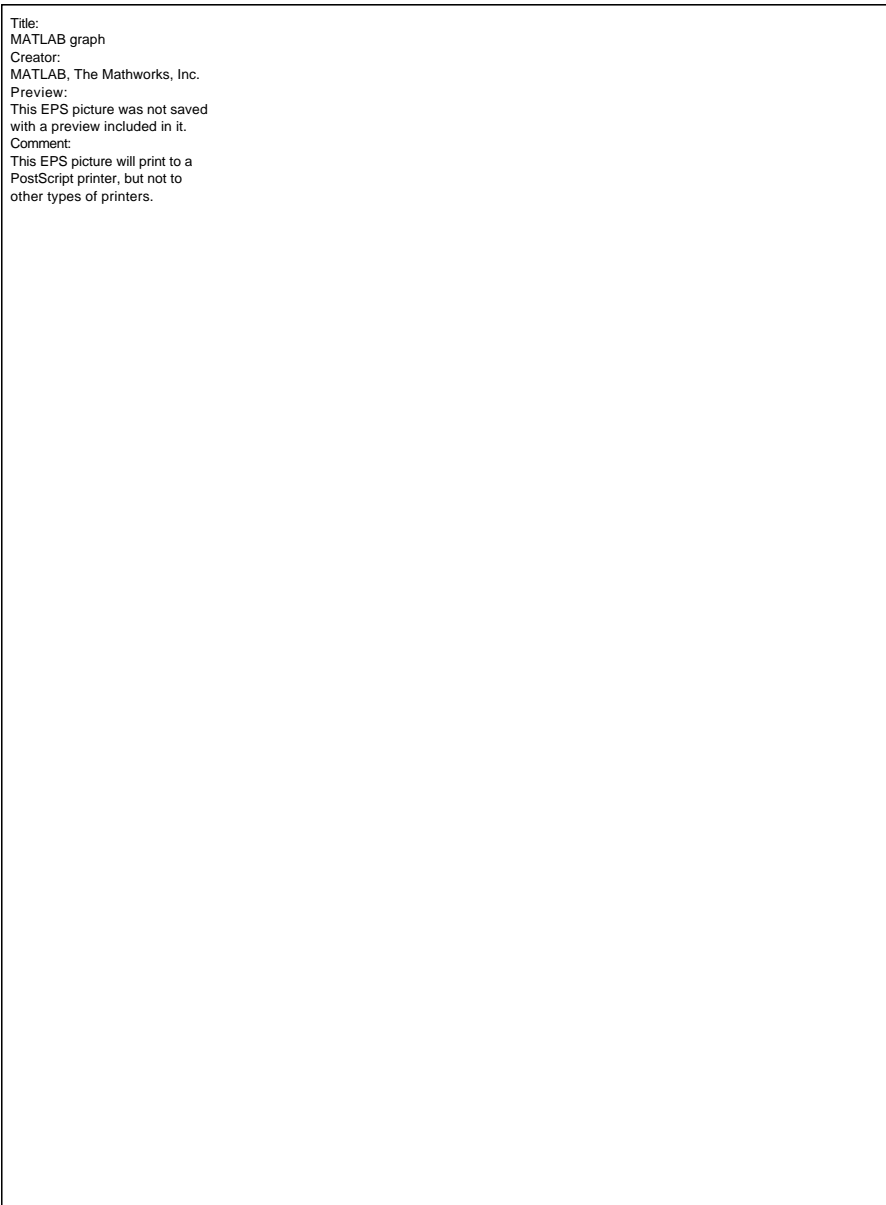


Figur 21. Uppmätt PO4-P och predikterade värden för en statisk modell respektive en FIR modell. Det använda datat är valideringsdata och har således inte använts för kalibrering

Exempel 2 – Estimering av syreöverföring och respirationshastighet i en aktivslamprocess.

I Lindberg och Carlsson (1996a) och Lindberg (1997) studerades problemet att bestämma syreöverföring och respirationshastighet från mätningar av luftflöde och syrehalt. Detta är ett ganska komplicerat problem eftersom respirationshastigheten varierar i tiden och syreöverföringen kan förväntas vara olinjär med avseende på luftflödet. Problemet löstes genom att först härleda en dynamisk modell av hur luftflödet påverkar syrehalten och sedan designa ett Kalmanfilter för att skatta parametrarna ( $K_{La}$  och respiration)

Figur 22 visar en typisk tillämpning av estimatorn. Översta figuren till vänster visar luftflödet (insignal) som användes vid identifieringen av modellen tillsammans med motsvarande DO koncentration (utsignal). Figuren överst till höger visar de skattade parametrarna hos  $K_{La}$ . Nederst till vänster syns den estimerade respirationen tillsammans med labbprover (\*) och dess skattade felgränser (+). Figuren nederst till höger illustrerar slutligen den estimerade  $K_{La}$ -funktionen.



Figur 22 . Exempel på en mjukvarusensor för att estimeras syreöverföring och respiration från mätningar syrehalt och luftflöde.

Fler exempel på mjukvarusensorer finns beskrivna i Bastin och Dochain (1996) och Hadj-Sadok och Gouze (2001).

### 7.3 Biosensorer

För att kunna utföra mer avancerade reglerstrategier, t ex modellbaserade regulatorer, är forskning inom bioteknik av yttersta vikt. Den nya biotekniken ger en möjlighet att bättre kunna mäta t ex miljögifter och bakterietillväxt. Detta innebär att noggrannare analyser och bättre strategier kan utvecklas inom t ex modellering, reglering och tidiga varningssystem. Speciellt anses mätning av bakterietillväxt on-line kunna förbättra modellering (se Kapitel 5 och Jeppsson (1996)) och styrning av reningsverk. Idag finns metoder att mäta bakterietillväxt off-line (i laboratorier) som bygger på att nya bakteriecellers DNA markeras med ett radioaktivt spårämne, se vidare Olsson och Newell (1999). Under de senaste åren har emellertid biosensortekniken utvecklats från laboratorieverksamhet till standardteknik, inom

framförallt biokemi. Numera finns kommersiella instrument där olika biokemiska signaler kan omvandlas till en mätbar signal i realtid.

Biosensortekniken bygger på att utnyttja selektiviteten hos biologiska element (t ex antikroppar, celler eller enzym) vid en biokemisk reaktion och omvandla den biokemiska signalen med hjälp av en signalöverförare (t ex en elektrod) till en mätbar signal. För att åstadkomma detta immobiliserar man en biologisk komponent på en signalöverförare. Den mätbara signalen kan t ex vara ljus, värme eller elektrisk ström. Biosensorer erbjuder en snabb metod att urskilja ett specifikt ämne av låg koncentration i t ex miljöprover, se vidare Larsson (Date: 01-05-25).

Andra typer av biosensorer är s k elektriska näsor. Dessa konstruktioner syftar till att analysera olika substanser genom att ge en bild över karaktäristiska komponenter med hjälp av mönsterigenkänning, där statistiska verktyg eller neurala nätverk används, se Homepage for course in BIOSENSORS at Uppsala University (Date: 01-05-25).

## **8 Information till hushåll och koppling teknik-miljö-människa.**

### **8.1 Inledning**

Detta avsnitt är författat av Anders Jansson och Erik Borälv från Uppsala Universitet, avd. för informationsteknik/Människa-datorinteraktion. Nedan presenteras deras inledande synpunkter på presentation av (vattenrenings-)information för boende i Hammarby sjöstad.

### **8.2 Om informationspresentation**

#### **8.2.1 Faktorer att ta hänsyn till**

Många faktorer styr hur väl kommunikation av information lyckas:

*Grafisk formgivning*; hur tilltalande och väl informationen är presenterad rent visuellt.

*Dynamik*; data som ”rör sig” och är levande är ofta mer intressant än periodiska sammanställningar. Presentationer där innehåll ofta uppdateras och det är meningsfulla vid varje läsning upplevs som attraktiva.

*Relevans*; ifall det finns ett grundläggande (personligt) motiv att se informationen. Data av ren informativ karaktär (som inte påverkar min ekonomi, mitt handlande och beteende) är mindre relevant än den som direkt har koppling till mitt liv.

*Jämförelser*; om informationen medger jämförelser mellan min egen och andra personers förbrukning så påverkar det beteendet i någon riktning.

*Effektivitet*; om informationen är ansträngande att ta fram (lång accesstid, svårtåtkomlig, svårtolkad, för fragmenterad) så påverkar det beteendet långsiktigt.

*Driftsäkerhet*, data måste vara tillgängliga med en viss nivå av driftsäkerhet, annars tappar man intresset. Det är speciellt viktigt i början när informationen har ett nyhetsvärde.

### **8.3 Nivåer av informationspresentation**

Här följer en sekventiell genomgång, med enklaste varianten först.

#### **8.3.1 Rådata**

Den enklaste formen av kommunikation är att enbart göra datat *tillgängligt*. Det behöver dock inte vara en dålig lösning. Man kan se webben som ett exempel på detta; varje person och företag gör sin information publik (på en ganska låg nivå av förädling), och den som är intresserad får själv skapa/hämta/hitta sin information.

Här kan man säga att lätthet att hitta och söka är avgörande för hur väl lösningen ska fungera. Det kan samtidigt vara på sin plats att göra informationen ”datorvänlig” så att den som vill kan hämta hem rådata och göra egna bearbetningar.

Rådata måste alltid finnas tillgänglig och också vara ständigt uppdaterad. Data kan vara något så enkelt som tabulerade mätvärden i textformat. Enkla bearbetningar av denna data (enkla grafer och liknande) hör också hemma här.

Data som är aktuella och speglar nuläget ( i realtid) är alltid bättre än insamlade data.

#### **8.3.2 Periodisk information**

Den som egentligen inte är speciellt intresserad av ett visst område har nytta av att någon annan anstränger sig för att sammanställa och förklara ämnet. Ett exempel på detta är information från kommunen, om t ex nya planerade byggen och vägar. Få är tillräckligt intresserade för att kontinuerligt följa debatten och planeringsarbetet, men de flesta uppskattar att periodvis få veta vad som planeras i sin stad och stadsdel. Men då kräver vi å andra sidan att informationen presenteras extremt väl, via bilder där man ser hur nya byggnader ligger eller vägar dras. Information som beskrivande text fungerar inte då.

Alltså krävs en bra presentation – både grafiskt och innehållsmässigt – för att det ska slå väl ut. Normalt kräver det avancerade grafiska presentationer, men även enkla webblösningar är möjliga.

#### **8.3.3 Relevant information**

Med detta menar vi information som på ett eller annat sätt påverkar mitt beteende, och som alltså är något mer än bara informativ. Ett exempel kan vara mobiltelefonräkningen: en hög räkning kan göra att jag ringer mindre från mobilen under dagtid då det oftast är dyrare minuttaxa.

Det kan vara värt att fundera över om det kan gå att hitta liknande faktorer när det gäller vattenrening. En koppling till sådana faktorer gör att informationen känns mer relevant och rör en personligen.

#### **8.3.4 Kombinationer som medger ett helhetsperspektiv**

Ett sätt att göra information mer relevant är att koppla ihop den med annan liknande information, t ex elförbrukning och avfallssortering. Då kan man uppnå en bättre helhetsbild

av hur hushållet fungerar, men möjligheten att man också genomför en förändring ifall något inte är som önskat.

Den allra starkaste relevansen får man naturligtvis när något kopplas till kostnader. Ifall det kostar att surfa på webben så går användningen med säkerhet ner. På motsvarande sätt går den upp ifall att det inte finns några gränser (t ex vid debitering enligt fast pris). Om det finns möjligheter att hitta lika starka kopplingar när det gäller reningsverket i Hammarby sjöstad är oklart. Det ser ut som om det skulle finnas likhet med hur sopsortering fungerar för bostadsrättsföreningar: totalkostnaden för föreningen påverkas stort av hur överens föreningens medlemmar är om att sortera. För varje enskild medlem är det (ekonomiskt) ointressant att sortera, men totalt sett är skillnaden i kostnad betydande.

## 9 Slutsatser

Intelligent utformade informationssystem utgör en viktig byggsten för att åstadkomma en hållbar drift av VA-system. För att spara resurser i form av energi, kemikalier och övriga driftskostnader måste ett effektivt informationssystem utnyttjas.

I denna rapport har en kartläggning av nuvarande kunskapsläge (state-of-the-art) avseende befintliga informationssystem i avloppsreningsystem utförts. Frågeställningar som studien fokuserat på är hur information från processen på ett optimalt sätt kan utnyttjas av såväl styr- och reglersystem som varningssystem och driftoperatörer. Även informationspresentation till boende och övriga intressenter har diskuterats. Viktiga delområden som studerats och som ingår i ett informationssystem inkluderar styrsystem, nätverk, kommunikation, regulatorer, reglerstrategier, modellering, instrumentering, övervakning, varningssystem, ”software sensors” och givare.

VA-branschen är i många avseenden konservativ vad gäller användandet av ny industriell informationsteknik, vilket står i kontrast till ett flertal övriga processindustrier. Denna brist på informationssystem kan bli en avgörande flaskhals vid utvecklingen av framtidens urbana VA-system. Intresset både bland praktiker och akademiker är dock stort att finna IT-baserade lösningar och det finns också exempel i VA-branschen där utnyttjandet av informationssystem gått längre än på många andra ställen. En tydlig och inte alltför överraskande bild är dock att utvecklingen inom forskning ligger många steg före den praktiska tillämpningen.

En viktig frågeställning i detta projekt är hur hushållen skulle kunna påverkas genom indirekt styrning. Genom presentation av (VA-)information för boende i Hammarby Sjöstad skulle folks beteende kunna påverkas mot ett mer miljötänkande. Det finns dock många faktorer som styr hur väl kommunikationen lyckas. En viktig faktor är hur väl informationen presenteras rent visuellt (gränssnitt). En annan viktig fråga är hur relevant informationen är för de boende, t ex uppnås en högre relevans om informationen kan kopplas till kostnader.

Det faktum att både informationstekniska strategier (t ex styrstrategier) och processlösningar kommer att behöva utvecklas och utvärderas i Hammarby Sjöstadsprojektet innebär att speciella krav på öppenhet och flexibilitet ställs på det informationssystem som skall installeras. För utvärdering och analys av olika processalternativ, inklusive modellering och statistisk databehandling, krävs att data finns lätt tillgängligt i en databas. Databasen bör enkelt kunna nås via nätet av projektmedlemmarna.

För att kunna utvärdera olika reglerstrategier och designa olika regulatorer, t ex modellbaserade regulatorer, är det önskvärt att styrsystemet är öppet mot realtidsprogrammering i något högnivåspråk. Detta underlättar implementeringen av mer avancerade on-line tillämpningar (reglerstrategier, varningssystem, mjukvarusensorer m m)styrstrategier och olika . Speciellt underlättas utvärdering och design av framförallt olika reglerstrategier om det finns möjlighet till kommunikation mellan styrsystemet och programpaketet Matlab i realtid.

## **Tack**

Arbetet med denna rapport har finansierats av MISTRA inom programmet Sustainable UrbanWater Management och Stockholm Vatten AB. Tack till övriga medlemmar i Informationsteknikgruppen; Berndt Björleinius från Stockholm Vatten AB, Anders Malm och Mikael Rångeby från VAI VA-Projekt AB, för värdefulla diskussioner och synpunkter på rapporten. Tack till Anders Jansson och Erik Borälv, avd för MDI, IT inst, Uppsala universitet för inledande diskussioner och bidraget till Kap. 9.



## Referenser

- Alm, K. (2000). Datorstöd inom VA-sektorn i Sverige –Historik med kritiska ögon. *Vatten*. Nr 3. Årgång 56. 195-199.
- Alm, L. (1983). Styrteknik. *Studentlitteratur*. Lund. Sweden.
- Andersson, C., L. Ewald och K. Holmgren. (1993). Handboken i tele- och datakommunikation. *Studentlitteratur*. Lund. Sweden.
- Anderstam, O. (2001). Kunden konstruerar själv över Internet. *Automation*. Vol.3. 20-23.
- Arnbjerg-Nielsen, K., T. Einfalt och R. Fankhauser Eds. (1998). Use of Historical Rainfall Series for Hydrological Modelling. *Water, Science and Technology*, 37.
- Aspegren, H., U. Nyberg och B. Andersson. (1996). Introduction of a RTC system for stormwater management in the practical operation of the Klagshamn wastewater system. *Vatten*. Nr. 4. 257-262.
- Bastin, G. och D. Dochain. (1990). *On-line Estimation and Adaptive Control of Bioreactors*, Elsevier, Amsterdam.
- Boland, M. (1995). Boost plant performance through upgraded instrumentation. *CHEMICAL ENGINEERING*. Vol. S. 80-87.
- Carlsson, B. och S. Hallin. (2000). Reglering av avloppsreningsverk. *VA-Forskrappport*, no. 6.
- Carlsson, B. och R.H. Milocco. (2001). A simple strategy for controlling the nitrate concentration in an activated sludge process using external carbon flow rate. *Latin American applied research*. Vol. 31. Nr. 2. 115-120.
- Cianchi, P., S. Marsili-Libelli, A. Buchi och S. Burchielli. (2000). Integrated river quality management using Internet technologies. *Proc. 5:th Inter Symp WATERMATEX 2000*. vol. 4. 55-62.
- Ekman, M. (2000). Innovative Information Systems and Early Warning Systems. Technical report: *Problem notation for the MISTRA program, Sustainable Urban Water Management*.
- Ekman, M., P. Samuelsson och B. Carlsson. (2001). Control strategies in a JAVA based activated sludge process simulator. *The 1<sup>st</sup> IWA Conference on ICA*, Malmö, vol. 2. 539-546.
- Eriksson, L., Johansson, E., Kettaneh-Wold, N., Wold, S., (1999). *Introduction to Multi- and Megavariate Data Analysis using Projection Methods (PCA & PLS)*, UMETRICS AB, Umeå, Sweden.
- Fahlén, B. (1998). Styr- och övervakningssystem i VA-branschen. *Cirkulation*. Nr 8. 10-12.

- Fatta, C., C. Naoum, E. Banos och M. Loizidou. (2000). Development of a management decision support tool for pollution monitoring. *Proc. 5:th Inter Symp WATERMATEX 2000*. vol. 4. 71-78.
- Glad, T. och L. Ljung. (1997). *Reglerteori – Flervariabla och olinjära metoder*. Studentlitteratur. Lund. Sweden.
- Glad, T. och L. Ljung. (1989). *Reglerteknik – Grundläggande teknik*. Studentlitteratur. Lund. Sweden.
- Haag, B. (1994). *Industriell systemteknik*. Studentlitteratur. Lund. Sweden.
- Hadj-Sadok, M. Z. och J. L. Gouze. (2001). Estimation of uncertain models of activate sludge processes with interval observers. *Journal of Process Control*, issue 3, 299-310,
- Hellström, B. G., P. Vopatek och A. Österman. (1984). Ferrous Sulphate-Dissolution Tanks and a Computer Application for Controlling the Dosage at the Himmersfjärden Sewage Treatment Plant. *Vatten*. no 4, 40-45.
- Henze, M., C.P.L. Grdy Jr., W. Gujer, G.v.R. Marais och T. Matsuo (1987). Activated sludge model no. 1. *Scientific and Technical Report. No. 1*. IAWQ, London, Great Britain.
- Jansson, Å., (2000) Multivariat modellering of phosphorus in Borlänge wastewater treatment plant. Master thesis. Department of Systems and Control, Uppsala University, Sweden.
- Jeppsson, U. (1996). Modelling Aspects of Wastewater Treatment Processes, *PhD Thesis, Report TEIE-1010*, Dept. of Industrial Electrical Engineering, Lund Inst. of Technology, Sweden.
- Jeppsson, U. (2001). Present status and future trends of ICA within wastewater treatment – a European perspective. *The 1<sup>st</sup> IWA Conference on ICA*, Malmö, vol. 2. 687-694.
- Larson, T. och S. Skogestad. (2000). Plant wide control – A review and a new design procedure. *Journal. MIC*. Vol. 21. Nr. 4. 209-240.
- Lindberg, C. F. och Carlsson B., (1996a). Estimation of the respiration rate and oxygen transfer function utilizing a slow DO sensor. *Water, Science and Technology* , **33**(1), 325-333.
- Lindberg, C. F. och Carlsson B., (1996b). Nonlinear and set-point control of the dissolved oxygen dynamic in an activated sludge process. *Water, Science and Technology* , **34**(3-4), 135-142.
- Lindberg, C. F. (1997). Control and Estimation Strategies Applied to the Activated Sludge Process. *PhD thesis*. Department of Systems and Control, Uppsala University, Sweden.
- Ljung, L. och T. Glad. (1991). *Modellbygge och simulering*. Studentlitteratur. Lund. Sweden.

- Loke, E., A. Warnars, P. Jacobsen, F. Nelen och M. Almedia. (1997). Artificial neural networks as a tool in urban storm management. *Water, Science and Technology* **36**(8-9), 101-110.
- Lumley, D. J., D. Welch, P. Balmér, J. Haraldsson och P. Robinson. (1994). Advanced Computer Based Systems Used at the Rya Wastewater Treatment Plant. Presented at: *International User Group Meeting*.
- Lumley, D. J. (1996). Modellernas utveckling i ett Europeiskt perspektiv, SPRINT-MOUSE ONLINE in Göteborg. Presented at: *Recipienten ur ett kommunalt VA-perspektiv*, Kristianstad.
- Lumley, D. (2001). On-line instrument confirmation. How can we check that our instruments are working? *The 1<sup>st</sup> IWA Conference on ICA*, Malmö, vol. 2. 665-672.
- Lundkvist, M. (1999). Datorer och styrsystem –en väg till säkrare VA. *Cirkulation*. Nr 4. 24-25.
- Lynggaard-Jensen, A., N. H. Eisum, I. Rasmussen, S. Svanjaer Jacobsen och T. Stenström (1996). Description and Test of New Generation of Nutrient sensors. *Water, Science and Technology* ., **33**(1), 25-35.
- Mannsperger, H. (2000). The Benefits of Remote I/O and Fieldbus. *CHEMICAL ENGINEERING*. Nr64-1.Vol.C. 1-4.
- Mossberg, M. (1995). An introduction to biased linear regression. *Master thesis*. Institute of technology, Uppsala University, Sweden.
- Ohto, T. (1998). Controllers, computers and communications: Fusion in instrumentation, control and automation of water and wastewater systems in Japan. *Water, Science and Technology* ., **37**(12), 15-19.
- Olsson, G. och O. Hansson. (1976). Modelling and identification of an activated sludge process, Proc. *IFAC Symp on identification and System Parameter Estimation*, Thilisi, USSR.
- Olsson, G., L. Rundqwist, L. Eriksson och L. Hall. (1985). Self-tuning Control of the Dissolved Oxygen Concentration in Activated Sludge Systems. *Instrumentation, Control and Automation of Water and Wastewater Treatment and Transport Systems* R. A. R. Drake, ed., IAWPRC, Pergamon Press, 473-480.
- Olsson, G. och U. Jeppsson (1994). Establishing cause-effect relationships in activated sludge plants – What can be controlled?. In : *Workshop modelling, monitoring and Control of Wastewater Treatment Plants*. Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent. 2057-2070.
- Olsson, G., H. Aspegren och M. K. Nielsen (1998). Operation and control of wastewater treatment – a Scandinavian perspective over 20 years. *Water, Science and Technology* , **37**(12), 1-13.
- Olsson, G., U. Jeppsson och B. Carlsson (1999). Integrerad Information och Drift av Urbana Vattensystem. *Bilaga till projektansökan, NUTEKs program Komplexa Tekniska System*.

- Olsson, G. och B. Newell (1999). *Wastewater Treatment Systems –Modelling, Diagnosis and Control*. IWA Publishing, London, UK.
- Parr, E.-A. (1993). *Programmable Controllers*. Butterworth-Heinemann Ltd, Manchester.
- Petersen, B. (1999). Calibration, identifiability and optimal experimental design of activated sludge models. *PhD thesis*, Department of Applied Mathematics, biometrics and Control, Gent University, Belgium.
- Pleau, M., G. Pelletier, H. Colas, P. Lavallee´ och R. Bonin. (2000). Global predictive RTC of Quebec urban community’s westerly sewer network. *Proc. 5:th Inter Symp WATERMATEX 2000*. vol. 3. 1-8.
- Rhenström, A. (2000). Automatic Control of an Activated Sludge Process in a Wastewater Treatment Plant. *Master thesis F 00 074*. Department of System and Control, Uppsala University, Uppsala, Sweden..
- Rosén, C. (1998). Monitoring Wastewater Treatment Systems. *Licentiate thesis*. Department of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University, Sweden. ISBN 91-88934-10-1.
- Rosén, C. och Z. Yuan. (2000). Supervisory control of wastewater treatment plants by combining principal component analysis and fuzzy C-means clustering. *Proc. 5:th Inter Symp WATERMATEX 2000*. vol. 3. 25-32.
- Samuelsson, P. och B. Carlsson. (2001). Feedforward control of the external carbon flow rate in an activated sludge process. *Water, Science and Technology*. Vol. 43(1). 115-122.
- Samuelsson, P. M. Ekman och B. Carlsson. (2001). A JAVA based simulator of activated sludge processes. To appear in *Journal. Mathematics and Computers in Simulation*.
- Samuelsson, P. och B. Carlsson. (2001). Control of the aeration volume in an activated sludge process for nutrient removal. *The 1<sup>st</sup> IWA Conference on ICA*, Malmö, vol. 1. 43-50.
- Skogestad, S. och I. Postlethwaite. (1996). *Multivariable feedback control - Analysis and design*. Wiley & Sons Ltd, West Sussex, UK.
- Spanjers, H., P. Vanrolleghem, G. Olsson och P. Dolt (1996). Respirometry in control of the activated sludge process. *Water, Science and Technology*. 34(3-4), 117-126.
- Stoica, P. och R. Moses. (1997). *Introduction to Spectral Analysis*. Prentice Hall, Upper Saddle river, NJ.
- Söderström, T. och P. Stoica (1989). *System Identification*. Prentice Hall International, Hemel Hempstead, UK.
- Toijer, D. (2001a). –Automatiseringsbranschen får ny världsbild i vår. *Automation*. Vol.7. 30-42.
- Toijer, D. (2001b). Många motorbussar – men Ethernet vinner. *Automation*. Vol.7. 41.

- Truett, M. och Jr. Garret. (1998). Instrumentation, control and automation progress in the United States in the last 24 years. *Water, Science and Technology*. **37**(12), 1-13.
- Waltin, J. (2000). Energioptimering av en aktivslamanläggning med kväverening. *Master thesis W00 009*. Department of System and Control, Uppsala University, Uppsala, Sweden.
- Weijers, S. (2000). Modelling, Identification and Control of Wastewater Treatment Plants for Nitrogen Removal. *Journal a*. Vol. 41. nr. 3. 74-81.
- Åström, K.-J. och B. Wittenmark. (1989). *Adaptive Control*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- Åström, K.-J. och B. Wittenmark. (1990). *Computer-controlled systems*. Prentice-Hall International editions, Inc. Englewood Cliffs.
- Åström, K.-J. och T. Hägglund. (1995). *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. Instrument Society of America 1995.
- Homepage for course in BIOSENSORS at Uppsala University (Date: 01-05-25).  
<http://www.ytbioteknik.uu.se/edu/courses/biosen4r.html>
- CONVIDENT AUTOMATION (Date: 01-04-18). Homepage for CONVIDENT AUTOMATION. <http://www.novotek.se/cvi/styr.htm>.
- EFOR (Date: 00-10-20). Homepage for EFOR simulator. <http://www.efor.dk>
- GPS (Date: 00-10-20). Homepage for GPS simulator. <http://www.hydromatics.com/gpsx.html>
- SIMBA (Date: 00-10-20). Homepage for SIMBA simulator. <http://www.ifak.fhg.de>
- WEST (Date: 00-10-20). Homepage for WEST simulator. <http://www.hemmiswest.com>
- Larsson, N. (Date: 01-05-25). Homepage for dissertation abstracts at Lund University.  
[http://www.lub.lu.se/cgi-bin/show\\_diss.pl?db=global&fname=sci\\_400.html](http://www.lub.lu.se/cgi-bin/show_diss.pl?db=global&fname=sci_400.html)
- CACTUS. (Date: 01-05-30). Homepage for CACTUS. <http://www.cactus.se/>
- Homepage for Real-Time Windows Target 2 (Date: 01-05-30).  
<http://www.mathworks.com/products/rtwt/>
- Homepage for Advanced Computer Control (Date: 01-05-30).  
Project. <http://www.signal.uu.se/Courses/Descr9798/procreg.html>

- Nr 20**      **Utvärdering av anaerob behandling av hushållspillvatten och tekniker för efterbehandling, examensarbete av Catharina Gannholm**
- Nr 21**      **Avloppsvattenrening i anaerob membranbioreaktor med VSEP-enhet, examensarbete av Andreas Carlsson**
- Nr 22**      **Avloppsvattenbehandling med anaerob membranbioreaktor – En jämförande systemanalys avseende exergi, miljöpåverkan samt återföring av närsalter, examensarbete av Cecilia Hessel**
- Nr 23**      **Utvärdering av förfällning vid Sjöstadsverkets anaeroba UASB-linje, examensarbete av Mila Harding**
- Nr 24**      **Utvärdering av fluidiserad bädd – kartläggning av orsaker till sandflykt, projektarbete av Jonas Karlsson**

## Lokalt reningsverk för Hammarby Sjöstad, etapp 1 – Projektpublikationer

- Nr 1 Förstudie av aerobera processer
- Nr 2 Förstudie av anaeroba processer
- Nr 3 Förstudie av membranteknik
- Nr 4 Informationsteknologi inom VA-sektorn
- Nr 5 Förstudie av mätstation för avloppsvatten
- Nr 6 Förutsättningar för biologisk fosforrening i avloppsvatten från Hammarby Sjöstad - en förstudie, examensarbete av Linus Dagerskog
- Nr 7 Förbehandling av kommunalt avloppsvatten före anaerob behandling, examensarbete av Jessica Bengtsson
- Nr 8 A new wastewater treatment plant for Hammarby Sjöstad  
Comparative study between four alternatives, examensarbete av Joost Paques
- Nr 9 Sammansättning på hushållspillvatten från Hammarby Sjöstad, examensarbete av Joel Magnusson
- Nr 10 Mikrosilning som förbehandlingsmetod av hushållsavloppsvatten, examensarbete av Fredrik Petterson
- Nr 11 Anaerob psykrofil behandling av hushållsavloppsvatten i UASB, examensarbete av Frida Hesselgren
- Nr 12 Aeroba processer Delrapport 1 - Linje 1 Period 0 Henriksdalsprocess med Henriksdalsvatten, Berndt Björleinius, Peter Magnusson, Mats Ek
- Nr 13 Aeroba processer Delrapport 2 - Linje 1 Period 1 Henriksdalsprocess med Sjöstadsvatten, Berndt Björleinius, Peter Magnusson, Mats Ek
- Nr 14 Aeroba processer Delrapport 1 - Linje 2 Period 1 Funktionstest av utrustningen, Berndt Björleinius, Peter Magnusson, Mats Ek
- Nr 15 Teknisk broschyr om Hammarby Sjöstads reningsverk, Berndt Björleinius
- Nr 16 Förbättrad avskiljning med trumfilter av suspenderat material, examensarbete av Jonas Karlsson
- Nr 17 Hydrolys av primärslam för förbättrande av biologisk fosforreduktion vid behandling av hushållsavloppsvatten, examensarbete av Erik Elfving
- Nr 18 Återvinning av näringsämnen från hushållspillvatten med omvänd osmos, examensarbete av Kristina Blennow
- Nr 19 En undersökning av efterfällning i ett sandfilter, examensarbete av Anders Wester

Fortsättning innersidan



**STOCKHOLM VATTEN AB, 106 36 STOCKHOLM**

**TELEFON 08-522 120 00 TELEFAX 08-522 120 02**

**E-POST: [stockholm.vatten@stockholmvatten.se](mailto:stockholm.vatten@stockholmvatten.se)**

**[www.stockholmvatten.se](http://www.stockholmvatten.se)**

**BESÖKSADRESS: Torsgatan 26**