LUND UNIVERSITY

Styrning av avloppsreningsverk

Gillblad, Thomas; Olsson, Gustaf

1978

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

Link to publication

Citation for published version (APA):
Gillblad, T., & Olsson, G. (1978). *Styrning av avloppsreningsverk*. (Technical Reports TFRT-7151). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

Total number of authors:
2

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: https://creativecommons.org/licenses/

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

CODEN: LUTFD/(TFRT-7151)/1-036/(1978)

STYRNING AV AVLOPPSRENINGSVERK

THOMAS GILLBLAD
GUSTAF OLSSON

Department of Automatic Control
Lund Institute of Technology
May 1978

TILLHÖR REFERENSBIBLIOTEKET
UTLANAS EJ

Dokumentutgivare
04T0
Lund Institute of Technology
Handläggare Dept of Automatic Control
06T0
G. Olsson
Författare
08T0
T. Gillblad, G. Olsson

Dokumentnamn
04T4
REPORT
Utgivningsdatum
06T4
Maj 1978

Dokumentbeteckning
04T6
LUTFD2/(TFRT-7151)/1-36 (1978)
Ärendebeteckning
06T6

10T4

Dokumenttitel och undertitel
18T0
Styrning av avloppsreningsverk
(Control of wastewater treatment processes)

Referat (sammandrag)
20T0
The report is the final report to the Swedish Board for Technical Development (STU) on a project "Control of wastewater treatment plants" (STU 74-3204, 76-5247). The project has been a cooperative effort between Datema AB, the Department of Automatic control, Lund Institute of Technology and the Käppala and Gävle sewage treatment works. Dynamical studies and identification experiments have been performed at an activated sludge process. Computer control of the dissolved oxygen concentration has been implemented. A new minicomputer was installed in early 1977 in Gävle. A new measurement system with liquid multiplexing was designed. Three control loops are controlled by the computer, the dissolved oxygen, the return sludge and the bypass flow rate.

Referat skrivet av
22T0
Förf

Förslag till ytterligare nyckelord
44T0
computer control, wastewater treatment, process identification activated sludge

Klassifikationssystem och -klass(er)
50T0

Indextermer (ange källa)
52T0

Omfång
56T0

Övriga bibliografiska uppgifter
56T2

Språk
58T0
Swedish

Sekretessuppgifter
60T0

ISSN
60T4

ISBN
60T6

Dokumentet kan erhållas från
62T0
Department of Automatic Control
Lund Institute of Technology
Box 725, S-220707 LUND 7, Sweden

Mottagarens uppgifter
62T4

Pris
66T0

DOKUMENTDATABLAD enligt SIS 62 10 12

SIS-DB 1

Blankett LU 11:25 1976–07

Abstract

The report is the final report to the Swedish Board for Technical Development (STU) on a project "Control of wastewater treatment plants" (STU 74-3204, 76-5247). The project has been a cooperative effort between Datema AB, the Department of Automatic control, Lund Institute of Technology and the Käppala and Gävle sewage treatment works. It was initiated in late 1973 and finished during 1977.

Dynamical studies and identification experiments were performed at the activated sludge process of the Käppala plant. Later, computer control of the dissolved oxygen concentration was performed. A new minicomputer was installed in early 1977 in Gävle. A new measurement system with liquid multiplexing was designed. The ambition level of this computer system was considerable higher than that of the initial Käppala installation. Three control loops are controlled by the computer, the dissolved oxygen, the return sludge and the bypass flow rate. On top of that a large number of "operational conditions" are recognized, so that an operator commucation can be maintained.

INNEHÅLL

Sammanfattning sid

1. Projektets genomförande 8
2. Reglerproblem i reningsverk 11
   2.1 Allmänt 11
   2.2 Typiska problem med drift och reglering av reningsverk 11
3. Utveckling av dynamiska modeller 15
4. Identifiering av aktivslamanläggningens dynamik 19
5. Reglerstrategier 21
   5.1 Reglering av syrehalten i luftningsbassänger 22
   5.2 Returslamflödesreglering 23
   5.3 Bräddlucksreglering 25
   5.4 Drifttillstånd 26
6. Datorinstallationer 27
   6.1 Siemens 303 i Käppala 27
   6.2 LSI 11 i Käppala 28
   6.3 PDP 11/04 i Gävle 29
7. Mätsystem 31
8. Praktiska reglerexperiment 33
9. Referenser 35

SAMMANFATTNING

Projektet styrning av avloppsreningsverk initierades under senare delen av år 1973. Projektets målsättning var i huvudsak att utreda vilka problem vid avloppsreningsverk som kunde åtgärdas med reglertekniska metoder.

För att skaffa nödvändigt underlag bedrevs reglerexperiment vid Käppala reningsverk. De första regulatorerna implementerades i den befintliga Siemens-datorn. Senare installerades en minidator av typ LSI11 med ett fullständigt reglersystem. Målsättningen med detta system var att visa att aktiv-slam-bassängen var reglerbar samt att verifiera de reglertekniska modellerna av aktiv-slamanläggningen.

Under våren 1976 togs kontakter med Gävle Kommun, som förklarade sig intresserade av projektet. Med hjälp av förnyade anslag kunde en referensinstallation göras i början av år 1977.

Därigenom nåddes det målet, att information från ett helt avloppsreningsverk kunde sammanställas.

Ett av forskningsresultaten är, att de olika processdelarna i ett reningsverk har starka naturliga samband, t ex. kan problem vid en lokal processregulator härledas till störningar från andra processteg. Genom samlad information kan en omfattande logisk förregling ske, vilket starkt förbättrar möjligheterna till en fungerande automatisk kontroll av anläggningen.

Genom projekt har kunskapen om aktiv-slamanläggningens dynamik väsentligen ökats. Detta innebär, att följande reglerloopar.

- styrning av blåsmaskinkapaciteten efter syrehalten
- styrning av returslamsåterföring efter belastning
- optimering av returslamsåterföring efter torrhalt i returslammet

samt

- mätning av BS-halt efter luftförbrukning
- mätning av BS-nedbrytningen efter syreprofilen
- mätning av bakteriell respiration

har överförts till att vara känd teknologi. Emellertid har många nya problemställningar aktualiserats genom forskningsarbetet. Styrning av bakteriesammansättning via slamåldern samt kopplingen mellan bakterietyp och sedimenteringsegenskaper är ännu ej känd.

Ett flertal driftsproblem av enkel karaktär kan avhjälpas via datorsystemet. Exempel på detta är åtgärder vid slamflykt, svart slam, onormalt flöde m m. Genom att minimera massförlusten ur verket samt driva mineraliseringen av syreförande substans så långt som möjligt förbättras reningen. Det väsentliga med datorn är att den är ett instrument för bättre processkännedom, d v s den utgör ett stimuli till bättre skötsel av verket samtidigt som den kan automatisera mannuell hantering.

Projektets resultat kan sammanfattas i att,

- kunskapen om processdynamiken ökat väsentligt
- ett antal reglerloopar har uttestats i kombination med givare och en del av dessa har visat sig lönsamma. Det gäller speciellt blåsmaskinreglering, doseringar och styrning av centrifuger.
- genom lämplig utformning av datorsystemet kan det användas av personer med mycket ringa förkunskaper.
- Förutom driftskostnadsreducering kan effektivitetseffekter uppnås, d v s kapaciteten på verket kan ökas alt. utsläppen trendmässigt minskas.

I första hand är resultaten tillämpbara på avloppsreningsverk med en belastning överstigande 40 000 pe. Verk med driftsproblem på grund av starkt varierande sammanställning på inkommande flöde eller starka flödesvariationer är speciellt betjänta av systemet.

Förbättring av driftsresultatet i den meningen att utgående vattens kvalitet förbättras medför normalt ingen intäkt för ett avloppsreningsverk. Detta är i företagsekonomisk mening ingen lönsam investering. Emellertid kan ett system ernå en avskrivningstid på 3 - 5 år genom rent monetära vinster på minskad förbrukning av elenergi och kemikalier. Detta förutsätter emellertid att flera regulatorer implementeras.

Den framtida utvecklingen torde medföra att behovet av denna typ av system växer. Genom projektet har kunskapen om driftsförhållandena ökat, varvid nya problem kunnat behandlas. Genom att utnyttja den av datorn genererade informationen om processen kan nya problem behandlas rationellt. Exempel på detta är driftlarm, styrning av periodiskt underhåll, styrning av rötkammare mot maximal energiproduktion, styrning av förtjockare samt olika former av standardiserad rapportering till myndigheter.

Datorstyrningen ger en bättre beredskap mot en föränderlig framtid. Den bidrar även till att höja anseendet hos avloppsreningsverket, som ofta är kommunens största "processindustri".

1. PROJEKTETS GENOMFÖRANDE

Projektet styrning av reningsverk startades hösten 1972 med en förstudie. I studien deltog Axel Johnsson Institutet för Industriforskning (Tekn Dr Karl Eklund), institutionen för reglerteknik, LTH (Univ. lektor Gustaf Olsson), Statens Naturvårdsverk (Avd. dir. Lars Ulmgren) samt Käppala reningsverk (Doc. Kjell Ivar Dahlqvist).

Förstudien ledde fram till en rapport (1), vilken sammanfattar reglerproblemen i reningsverk. Rapporten och förstudien låg som underlag för en ansökan för ett mer omfattande forskningsprojekt, vilket nu redovisas. Projektet initierades under senare delen av 1973.

I arbetet deltog under första etappen av projektet Civ ing Olof Hansson och Tekn Dr Karl Eklund, Axel Johnsson Institutet för Industriforskning (senare Datema AB, avd för processtyrning) samt Gustaf Olsson, LTH. Fr.o.m. 1 jan 1976 ersattes Olof Hansson med civ. ing. Thomas Gillblad, Datema AB. Från Käppala reningsverk har man bidragit till projektet på så sätt, att reningsverket ställts till förfogande för experiment. Man har också bidragit med mätdata och vissa analyser. De som arbetat på detta är framför allt Doc. Kjell Ivar Dahlqvist och Civ ing Eva Hjelmvik.

Ganska omfattande kontakter med andra forskare och institutioner har bedrivits under projektets gång. Bl.a. har Gustaf Olsson inbjudits som visiting professor till University of Houston, Houston, Texas i två perioder, höstterminen 1975 och sommaren 1977. Kontakterna i USA har lett fram till flera viktiga spin-off resultat som kommit projektet tillgodo. Projektet kom också i fokus vid en internationell konferens 1977, IAWPR (International Association on Water Pollution Research) "International workshop on Instrumentation and control for water and wastewater treatment and transport systems". Konferensen var förlagd till sin första del till London och sin andra del till Käppala reningsverk, där datorregleringen på aktivslamanläggningen kunde demonstreras.

I stort sett har arbetet bestått av följande huvudmoment: fr,o,m, senare delen av 1973 till första halvåret 1975 gjordes omfattande modellerings- och identifieringsstudier på Käppala. Parallellt med detta gjordes simuleringsstudier av matematiska modeller av aktivslamanläggningar. Under senare delen av 1975 utvärderades och avrapporterades dessa resultat. Vidare kompletterades modelleringsresultaten med analyser av dynamiska modeller för aktivslamanläggningar. Mycket av det senare arbetet utfördes i samarbete med professor John F. Andrews vid University of Houston under hösten 1975.

Under 1975 och början av 1976 programmerades regulatorer på den befintliga Siemensdatorn vid Käppalaverket. Detta utfördes av Olof Hansson. I första hand användes regulatorerna för syrehaltsreglering. Regulatorerna uttestades fram till mitten av 1976 på den befintliga datorn. När sedan fler regulatorer skulle implementeras visade det sig mer lönsamt att, i stället för att omprogrammera den befintliga datorn, köpa in en minidator av typen LSI 11. Den nya LSI 11 maskinen installerades i aug. 1976. Programmeringsarbetet utfördes av Thomas Gillblad, och till vissa delar av Olof Hansson. Datorn var i drift fram till juni 1977. Under den tiden utprovades framför allt reglering av syrehalten. Även åtskilliga registreringar har utförts, vilket förbättrar kunskapen om reningsverkets dynamik och dess beroende av belastningsvariationer.

För att göra mer realistiska utprovningar av reglerstrategier för reningsverk ansågs det nödvändigt att inte skräddarsy några funktioner till ett speciellt reningsverk. För att utprova de generella ideerna initierades därför arbetet med implementeringen av ett datorreglersystem också vid Duvbackens reningsverk i Gävle. Detta reningsverk skiljer sig från Käppala på flera väsentliga punkter. Verket är dels mindre, ca. 50 000 p.e. i stället för ca 300 000 p.e., dels är det belastat hårdare. Reglering av verket blir därför väsentligare och lönsammare än för Käppala. Målsättningen med regleringen var dessutom att fördröja en utbyggnad av luftningsbassängerna med hjälp av reglering.

Ett datorsystem PDP 11-04 installerades i febr 1977i Gävle. Tillsammans med datorsystemet konstruerades också ett mätsystem. Filosofin bakom detta system är att mätgivarna - en syremätare och två suspensionshaltsmätare - är placerade centralt. Till mätarna pumpas sedan vatten från olika delar av luftningsbassängerna. Detta arrangemang ger en möjlighet att mäta rumsdistributionen av både syre och slamhalt utan att kalibreringsproblem uppstår vid jämförelsen av olika signaler. Det faktum att datorn styr mätsystemet gör att flera biresultat av mätningarna kan erhållas. Ett exempel på detta är respirationsmätning för luftningsbassängen.

Datorsystemet i Gävle är en permanent installation i motsats till Käppaladatorn. I Gävlemaskinen ingår förutom reglerkretsarna också ett loggningssystem.

2. REGLERPROBLEM I RENINGSVERK

I detta avsnitt ges en allmän överblick över reglerproblem i reningsverk. Vidare motiveras varför aktivslamanläggningen anses vara den mest intressanta och lönsamma processen att reglera.

2.1 Allmänt

Avloppsreningsverk är ett ganska nytt tillämpningsområde för reglerteknik. Inte förrän under de allra senaste åren har ett bredare intresse väckts. Parallellt med utvecklingen av automatisering och reglering av reningsverk har också instrumenten blivit bättre och många variabler kan idag mätas on-line, vilka var oåtkomliga för direkt mätning tidigare. Som ett uttryck för det ökande intresset för instrumentering och reglering i reningsverk har under senare år arrangerats flera internationella specialkongresser kring instrumentering och reglering. Två sådana har organiserats av IAWPR (International Assiciation on Water Pollution research). Den första hölls i London 1973 och den andra i London-Stockholm 1977. Vid den första rapporterades mest planer på reglersystem men inget färdigt avancerat reglersystem. En viss kunskap om dynamiska modeller fanns. Vid 1977 års kongress kunde flera färdiga implementeringar presenteras. Driftserfarenheter hade erhållits, och den allmänna kunskapen om processdynamik har ökat. Också detta projekt presenterades och fick en hedrande uppmärksamhet. Då kongressens sista dag var förlagd till Käppala reningsverk, Lidingö, fanns en direkt möjlighet att demonstrera datorregleringen med LSI 11 datorn på verket.

2.2 Typiska problem med drift och reglering av reningsverk

Reglerproblemen i reningsverk skiljer sig på många väsentliga punkter från dem i annan kemisk processreglering. Flera av problemen förekommer också i andra tillämpningar, men tagna tillsamman definierar de en kombination av svårigheter, som är unika för just reningsverk.

Störningarna till processen är liksom i kemiska processer ofta relaterade till inkommande flöde. I en kemisk process är de ganska små och långsamma. I ett reningsverk däremot är störningarnas amplitud signifikant, både mätta i flödets och i koncentrationernas variationer. Detta innebär

att linjäriseringar ofta är inadekvata. S.k. finreglering är ofta ointressant i jämförelse med reglering av stora störningar, vilka kan förändra hela processens beteende.

De flöden som förekommer i ett reningsverk är av en annan storleksordning än varje kemisk industri. Detta medför att varje form av flödesutjämnning är mycket svår eller omöjlig.

Mätproblemen i ett reningsverk är mycket svåra. Att karakterisera sammansättningen av inkommande flöde är besvärligt. Många processvariabler kan inte mätas on-line, andra är för dyra att mäta.Även om alla processvariablerna skulle kunna mätas är inte koncentrationerna homogena i t.ex. en inkommande ström. Detta betyder att ett sample av inkommande råvatten inte alls behöver vara representativt för hela flödet. Att därför basera en regleralgoritm på egenskaperna hos inkommande råvatten är i allmänhet opålitligt.

Biologiska egenskaper kan i vissa fall mätas indirekt, via fysikaliska eller kemiska mätningar. Ett exempel på detta är den metod som utarbetats i detta projekt, att via koncentrationsvariationer i syrehalten mäta biologisk aktivitet i luftningsbassängen.

Många koncentrationer i enhetsprocesserna är rumsberoende. För att förstå sedimentering eller nedbrytningen av organiskt material i en luftningsbassäng måste rumsberoende beskrivningar införas. Rumsutbredningen ger både praktiska och teoretiska problem. Ett exempel är placeringen av instrument, eller hur många instrument som behöver placeras ut etc.

Själva biologiska processen i ett reningsverk är tidsvariabel. Beroende på inkommande vattnets sammansättning, driftsförhållanden etc. kan processens dynamik skifta under en period av ett antal dagar. Bakteriekulturer kan växa upp på bekostnad av andra, vilket helt kan förändra driftsförhållandena. Exempel på sådana fenomen är uppkomsten av trådbakterier, vilka sedimenterar dåligt. Ett annat exempel är inkommande gifter. Sådana processförändringar kräver inte bara regulatorromställningar utan ofta en förändring av själva regulatorstrukturen. Dessa frågor har givit upphov till begreppet driftstillstånd (se avsnitt 5.4).

Många processer har inte konstruerats med avsikt att ge dem bra regleregenskaper. I alltför många fall har reningsverket dimensionerats utifrån rent statiska betraktelsesätt, d.v.s. för konstant inkommande råvattenflöde och råvattenkoncentrationer. Detta innebär t.ex. att ställdon eller bassängdimensioner inte är avpassade till variabla förhållanden.

Regleringens ekonomi måste ses annorlunda i ett avloppsreningsverk än i kemisk processindustri, eftersom ingen säljbar produkt redovisas (dock bör noteras att metangas kan säljas från rötkammarprocessen). Därför finnes ofta ingen klart motiv att optimera driftsförhållandena, så länga kvalitetskraven för utgående vattnet är uppfyllda. Ett skäl är, att statliga subventioner ges enbart för investeringar och inte för driftskostnaderna. Detta har både i Sverige och utomlands medfört, att åtskilliga reningsverk överdimensionerats i förhållande till sin uppgift. På så sätt minskas också behovet av reglering, och driftskostnaderna kan minskas genom att investeringarna gjorts desto större. Den balansering som alltid bör finnas mellan design av processen och drift av den är sällan analyserad.

Ett annat problem är att processkonstruktörer sällan har tillräckligt motiv att minimera konstruktionskostnaden. Garantireglerna är ofta så utformade, att konstruktörer ej vågar minimera konstruktionen eller att kompensera en minimerad konstruktion med avancerad reglering.

Kopplingen mellan olika processvariabler är ofta signifikant, både inom en enhetsprocess och mellan olika enhetsprocesser i ett reningsverk. Denna samvariation är avgörande för vilka kriterier som skall användas för regleringen av de enskilda delprocesserna. Den övergripande målsättningen skall naturligtvis vara att producera ett utgående vatten av acceptabel kvalitet till minimal kostnad. Samtidigt skall alltså verket vara så belastningsokänsligt som möjligt.

Slamhantering - vilken står för kanske halva driftskostanden - skall också göras så bra som möjligt för lägsta kostnad. I vissa verk vill man minimera mängden slam för att minimera behandlings-

och transportkostnaderna. I andra verk vill man i stället maximera mängden slam. Det skall då användas i rötkammare och kan där producera metangas. Denna kan sedan användas internt eller säljas externt.

Enklare målsättningar är naturligtvis att minimera rörliga driftskostnaderna, t.ex. energikonsumtion i blåsmaskiner, kostnader för fällningskemikalier eller konditioneringsmedel. Som nämnts är också metangas en ekonomiskt viktig produkt.

För att åstadkomma rimliga kriterier för enskilda enhetsprocesser krävs således en ingående kännedom om samverkan mellan processenheterna. Utan en sådan förståelse för helheten kan man aldrig med framgång konstruera ett reglersystem som passar för flera verk. Detta är det viktigaste motivet varför en grundläggande modellutveckling och förståelse för reningsverksdynamik utvecklats och ansetts motiverad.

En mer detaljerad redovisning av reglerproblem i reningsverk återfinnes i ref (1) - (5).

3. UTVECKLING AV DYNAMISKA MODELLER

Utvecklingsarbetet kring dynamiska modeller för aktivslamanläggningen har försiggått utmed två linjer, härledning av grundläggande fysikaliskt-kemiskt-biologiska samband, samt identifiering. Identifieringarna är beskrivna i nästa kapitel.

3.1 Modeller för luftningsbassängers dynamik

I litteraturen har på senare år kommit spridda bidrag kring dynamiska modeller för luftningsbassänger. Dessa har sammanställts i en rapport (6), där också en ansats till en samlad modell för luftningsbassängers dynamik göres. Hänsyn tages till dels olika bakteriesorter - heterotrofer, trådformiga bakterier, protozoer - dels till olika strömningsförhållanden i reaktorn.

De utvecklade modellerna ligger till grund för en serie med simuleringsprogram, skrivna vid institutionen för reglerteknik, LTH. Flödestypen i reaktorn kan variera från enklaste fallet fullständig omblandning och homogena koncentrationer till en diffussionsmodell med stegbeskickning. Två typer av substrater kan förekomma och två sorters bakterier för organisk nedbrytning finnes. Dessutom representeras löst syre. Vidare finnes modeller för nitrifikation, vilka är programmerade. Dessa innehåller ytterligare variabler, såsom ammoniumkväve, nitrit, nitrat samt bakterier av typen Nitrosomonas och Nitrobacter.

I rapporten (7) har olika modeller analyserats och vissa begrepp redes ut, såsom konsekvensen av olika definitioner av slamålder. Olika komplexitetsgrader av reaktorer har jämförts. Där finnes också grundidéerna till koncentrationsprofiler för syre och dess relation till biologiska reaktioner.

3.2 Dynamiska modeller för sedimentering

Dynamiska beteendet hos en sedimenteringsanläggning är mycket dåligt känt. De modeller som förekommer är betydligt mindre strukturerade än dem för luftningsbassänger. Eftersom en sedimenteringsanläggning egentligen består av två processer, klardelen och förtjockningsdelen

måste olika dynamiska samband för dessa härledas.

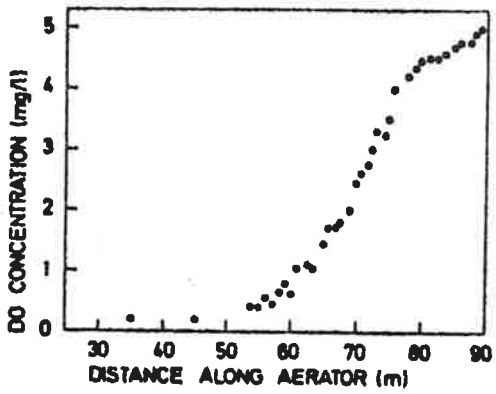
För klardelen har man länge använt sig av den s.k. Pflanz relation. Detta är en empirisk modell. Den säger, att utgående vattnets suspensionshalt är proportionell mot massbelastningen på sedimenteringsbassängen. Tyvärr finnes inga modeller, som kan beskriva relationen mellan biologiska egenskaper hos flocken och dess sedimenteringsegenskaper. Genom identifieringsexperiment (se kap 4) har vissa samband kunnat härledas.

För modellarbetet på förtjockare har samarbete ägt rum med University of Houston samt Clemson University, Clemson, S.C. USA. De erhållna modellerna bygger väsentligen på massbalanser av sedimenterat material i olika horisontella skikt av förtjockaren. I ett examensarbete (8) har flera modeller jämförts vad avser deras dynamiska egenskaper i samband med luftningsbassängers dynamik. Arbete pågår f.n. tillsammans med John F. Andrews i Houston att söka finna mer relevant modeller för sedimenteringen. Problemet är, att både massbalans och kraftbalans för de sedimenterande flockarna måste beaktas. Modellerna blir då mycket komplexa och svårhanterliga. Många grundläggande fysikaliska mekanismer är fortfarande okända.

Primärsedimenteringens dynamik har undersökts i ett annat examensarbete (9). Vid primärsedimentering blir problemen av en annan art, eftersom koncentrationerna är mycket mindre än vid biologiskt slam. Dessutom finnes inte kopplingen mellan biologiska egenskaper och sedimenteringsegenskaper på samma sätt.

3.3 Koncentrationsprofiler av löst syre i luftningsbassänger

I de flesta luftningsbassänger är inte syrehalten likformig utefter bassängens längdriktning. Om bassängen är lång kommer i stället syret att få en karakteristisk profil med låga koncentrationer i början och relativt höga koncentrationer i slutet, se figur. Om syrehalten skall regleras kan man endast påverka den totala mängd luft som pumpas in i luftningsbassängen. Distributionen längs bassängen kan däremot inte påverkas.



Figur. Typiskt utseende av koncentrationsprofil av löst syre.

Frågan uppstår då direkt, hur börvärdet på en syrehaltsregulator skall sättas för att åstadkomma den rätta mängden luft.

Detta slag av problemställningar var inte alls beaktade i litteraturen, när det först blev aktuellt att reglera syrehalten i Käppala år 1974. Därför kunde konstateras, att ingen metod eller teori fanns tillgänglig som kunde ge en ledtråd, hur börvärdet skulle sättas. Varje värde mellan 2 och 10 mg/l såg rimligt ut.

De aktuella frågeställningarna ledde fram till en gemensam forskning tillsammans med John F Andrews i Houston. Under hösten 1975 genererades de första ideerna, vilka ledde fram till en bättre förståelse för vad syreprofilen betyder, (7). I senare arbeten har påvisats de grundläggande samband som råder mellan syreprofilens utseende och den biologiska aktiviteten samt belastningen till processen, både statiskt (10) och dynamiskt (11). Arbetena har rönt internationell uppmärksamhet och innebär ett visst genombrott för förståelsen av dynamiken i aktivslamanläggningar.

Syreprofilen återspeglar den biologiska aktiviteten i luftningsbassängen. Genom att mäta profilens lutning i slutet av bassängen kan man avgöra om den biologiska reaktionen gått mot sin fullbordan. Profilen visar också efter den största lutningen en övergång till mindre lutning. Denna böjning av profilen kan karakteriseras med en rumsderivata av andra ordningen. Det visar sig, att denna derivata är ett bra mått på belastningen till verket, och den kan ersätta en mätning av biokemisk syreförbrukning BS. Eftersom normalt BS ej kan mätas på mindre än fem dagar, blir nu storheten praktiskt åtkomlig för reglering genom denna indirekta mätning, där processen själv utgör mätinstrumentet. Som enda sensor användes enkla instrument, syrehaltsmätare.

En kunskap om profilens utseende ger information om flera saker:

- o var skall börvärdet för syreregleringen läggas
- o storleken på inkommande organisk belastning
- o ett mått på hur stor doseringen av organismer bör vara, d.v.s. regleringen av returslamflödet

En algoritm som utnyttjar informationen av syreprofilen har implementerats i Duvbackens reningsverk i Gävle (15).

4. IDENTIFIERING AV AKTIVSLAMANLÄGGNINGENS DYNAMIK

Ett stort antal identifieringsexperiment har utförts vid Käppala reningsverk. Experimenten har gjorts i olika perioder från 1974 till 1976. De har rapporterats i detalj (13), i en översiktsartikel (3) samt i internationella konferenser (12, 14).

Aktivslamanläggningen består av två huvuddelar, den biologiska reaktorn (luftningsbassängen) samt sedimenteringsanläggningen. Det är angeläget att dessa enhetsprocesser ses i samma samman hang. Flera typer av dynamiska samband har undersökts för systemet. De väsentliga insignalerna, vilka kan utgöra antingen styrsignaler eller yttre störningar, består av luftflödet till luftningsbassängen, returslamflödet eller inkommande råvattenflödet. Ett stort antal variabler har i allmänhet registrerats. Exempel på sådana är syrehalten i olika delar av bassängen, suspensioner i luftningsbassäng, returslamflöde eller utgående klarvatten, samt vattenflöden i olika delar av systemet.

På ett tidigt stadium (1974) undersöktes relationen mellan inkommande luftflöde och löst syre i luftningsbassängerna. Dessa undersökningar ledde till en grundläggande kännedom om syredynamiken. De gav också en del viktiga andrahandsresultat, vilka senare har kunnat användas. Exempel på sådana är

(i) den verkliga luftmängd som kommer till olika delar av bassängen kan mätas indirekt via identifieringsexperiment
Luftmängden kan nämligen variera starkt i tiden beroende på igensättning av luftarrör.

(ii) Genom identifieringsexperimenten kan man on-line avgöra om membranet i syrehaltsmätarna blivit skadat.

Dynamiken mellan inkommande luft och löst syre är tidsvariabel, dels på grund av den omnämnda igensättningen av luftarrören, dels beroende på variationer i vatteninnehållet. Det senare åstadkommer att massöverförings-konstanten från gasformigt till löst syre kan variera en faktor två eller tre.
Experiment åtskilda i tiden har dock visat att syredynamiken i Käppala varit oväntat konstant i tiden.

Hydrauliska störningar från antingen inkommande råvatten eller returslam påverkar inte bara mängden löst syre eller biologiska reaktionerna i luftningsbassängen, utan också suspensionen i utkommande flöde från sedimenteringsbassängen. Om returslamflödet eller inkommande råvattenflöde skall manipuleras måste därför en stor hänsyn tagas till hur hydrauliken påverkar sedimenteringen. Sådana experiment har utförts i olika omgångar, och en ökad kännedom om hur dels förtjockningen, dels klarningen av vattnet i sedimenteringen påverkas av belastningen till sedimenteringen har utförts. I ref (14) visas hur tidigare gjorda hypoteser av Pflanz kan verifieras med identifieringsexperiment. Dock bör noteras att denna dynamik är starkt olinjär, vilket också visats i experimenten. Förtjockningsdynamiken har visat sig vara olika vissa konventionella uppfattningar. Koncentrationen i returslamflödet beror primärt på bottenuttaget i förtjockaren. Dock är relationerna till belastningen på sedimenteringen mycket komplexa. Detta har också bearbetats en hel del i modellutvecklingsarbetet angående sedimentering (se ovan).

Slutsatsena som kan dras av de hydrauliska identifieringsexperimenten är, att båda variationer i inkommande råvatten och förändringar i returslamflödet måste göras med mycket stor försiktighet. Om det önskade totalresultatet av vattenreningen i aktivslamanläggningen skall optimeras visar det sig att regleraukoriteten från returslamflödet är mycketbegränsad. Det har bekräftats både genom simuleringar (11) och praktiska experiment.

5. REGLERSTRATEGIER

En luftningsbassäng kan regleras med tre olika styrvariabler, mängden luft, returslamflödet samt stegbeskickningen. Endast de två första diskuteras här. Reglering med stegbeskickning har ej kunnat utprovas, beroende på att ställdon saknas både i Käppala och i Gävle. Det är dock mycket troligt, att stegbeskickningen har en mycket stor potential som styrvariabel, vilket borde utnyttjas mer i framtiden.

Utöver regleringen av aktivslamanläggningen har i Gävle också implementerats en reglering av bräddluckorna. Detta skall ses som en speciell reglering, som endast skall användas under exceptionella förhållanden.

Begreppet drifttillstånd diskuteras vidare. Det har visat sig vara ett användbart begrepp för en komplex process, där all mätinformation inte kommer från on-line instrument. Operatörsobservationer kan på ett naturligt sätt komplettera direkta mätningar.

5.1 Reglering av syrehalten i luftningsbassänger

Luftflödet till luftningsbassängen är den primära styrvariabeln för syrehalten. Det är väsentligen av ekonomisk betydelse hur luftflödet styres och har inte mycket inverkan på processens effektivitet eller utgående vattnets kvalitet, så länge som syrehalten i luftningsbassängen hålles ovanför en viss koncentration 1 á 2 mg/l. Det finnes undantag till denna grundregel, antingen när trådformiga bakterier förekommer eller när rent syre användes i stället för luft.

För bakteriernas tillväxt är det således väsentligt att tillräckligt med luft tillsättes processen vid belastningsökningar. Syret annars en starkt begränsande faktor för tillväxten. Detta har också klart visats vid både identifierings- och reglerexperimentsförsök i Käppala. Den bassäng som hela tiden försörjes med tillräckligt med syre har klart högre värde av slamhalt än de oreglerade bassängerna.

Åtskilliga störningar kan förändra syrehalten i luftningsbassängen. Exempel på sådana är

- ändringar i koncentrationen av inkommande råvatten
- flödesändringar i råvattnet
- ändringar i returslamflödet

Det här nämnda störningarna har alla tidsskalan ett antal minuter till några timmmar.

De första erfarenheterna från syreregleringen rapporterades i (14). De visade på ett grundläggande problem, nämligen regleraukoriteten hos luftarsystemet. Luftmängden är naturligt begränsad uppåt av kompressorernas kapacitet. Den är även begränsad nedåt, beroende på att man måste uppehålla en viss blandningsgrad i luftningsbassängerna. När detta sker med diffusorer uppstår ett överskott på syre, vilket ej kan tillgodogöras av bakterierna.

De principiella svårigheterna med begränsningar i regleraukoriteten för syreregleringen gjorde, att en adaptiv regulator inte var lönsam för Käppala. En variant av en PI-regulator gjorde väsentligen det arbete man kunde kräva. I en annan installation med större regleraukoriet i ställdon kan emellertid en adaptiv regulator (självinställande regulator) visa sig lönsam.

Också i Gävle har syrehaltreglering installerats och fungerar ungefär enligt samma principer som i Käppala, se (15).

Åtskilliga praktiska problem kan rapporteras i samband med reglering av reningsverk.

5.2 Returslamflödesreglering

Returslamflödesreglering är betydligt mer komplex än syrehaltsreglering. Orsaken till detta är, att förändringar i returflödet påverkar inte bara de biologiska reaktionerna utan också hydrauliska förloppet i systemet.

Den primära orsaken till att returflödet skall förändras är en ändrad organisk belastning till verket. På så sätt ändras doseringen av aktiva organismer till l. b. vilket bör matcha mängden organisk belastning till verket. Denna kan avgöras på i princip två olika sätt. I båda fallen utnyttjas l.b. själv som respirator. Den mängd luft som behövs för att hålla syrenivån på ett visst värde återspeglar den organiska belastningen. Luftsignal utgör insignal till returslamregleringen. Vidare kan information om syreprofilens förändring med fördel användas. Syreprofilens förändring indikerar också belastningens förändringar till processen. Algoritmerna är härledda i (17). Detta finnes också implementerat i Gävle, se (15).

Vid en ökning av returflödet kommer i första hand doseringen av mängden organismer att öka i luftningsbassängen. Den hydrauliska belastningen ökar dock samtidigt. Det kommer att medföra att utgående vattnets suspensionshalt ökar, ty denna är ungefär proportionell mot massflödesbelastningen till sedimenteringen, (se kap 3). Vidare påverkas mängden slam i förtjockaren. När uttaget ökar kommer naturligtvis buffertvolymen av slam i förtjockaren att minska. Om slamnivån blir för låg kommer koncentrationen av returslammet att bli starkt beroende av flödets storlek.

Det finnes vidare mer naturliga begränsningar på returslamflödets storlek, sådana som beror på pumpkapacitet etc.

Om en belastningsökning till verket skall regleras med returslam finnes således många begränsningar. En ökning av doseringen av bakterier bidrar till att minska mängden BS i löst form i utgående vatten. De hydrauliska effekter gör dock att mängden BS som är bundet i suspenderad form kommer att öka.

I vissa fall kan dessa effekter helt ta ut varandra, vilket har konstaterats genom både simuleringar och praktiska experiment.

Returslamflödet har således en starkt begränsad auktoritet när det gäller att dämpa ut belastningsvariationer till verket. Däremot har returflödet en avgörande betydelse i en längre tidsskala, dygn och längre, hur kvaliten på vattnet kommer att bli. Slamåldern (vilken är approximativt omvänt proportionell mot slamtillväxten) beräknas som mängden slam i systemet genom mängden utgående slam. Den mängd slam som oavsiktligt försvinner genom utgående vattnet är av samma storleksordning som den mängd som tas bort avsiktligt genom överskottsslampumparna. Eftersom returslamflödet är starkt kopplat hydrauliskt till utgående vattnet kommer därför returslamflödet också att påverka slamåldern. Därmed påverkas också slammängden i systemet.

Såsom påpekats i kapitel 2 kan målsättningen vara helt olika i olika verk vad avser slamkoncentrationen och slammängden. Kopplingen till förtjockare och rötkammare avgör alltså också hur returslamflödet skall opereras.

Andra möjligheter än returslamflödet för att begränsa inverkan av belastningsvariationer har betraktats. Det viktigaste torde vara stegbeskickning. Genom att ställdon saknas både i Käppala och Gävle har ej stegbeskickning kunnat utprovas praktiskt. Däremot visar både simuleringar och erfarenheter, framförallt i Frankrike och i New York, USA, att sådan styrning kan vara intressant.

5.3 Bräddlucksreglering

Under normal drift förekommer ingen bräddning i ett reningsverk. I Gävle är verket försett med två bräddluckor vilka skall användas under exceptionellt stora belastningar.

Verket är försett med två identiskt lika bräddluckor, vilka opereras parallellt. Luckorna fungerar så att de stryper en del av flödet som går in till verket. Därigenom leds vattnet förbi verket och släpps delvis orenat ut i recipienten. Fel på bräddlucksregleringen har naturligtvis stora konsekvenser.

Luckorna är cirka 1 m höga. Luckorna kan röras mellan helt öppen och helt stängd på c:a 135 sekunder.

Bräddningsluckorna styres från datorn. Initiering sker under vissa villkor

(i) om utgående suspensionshalt överstiger ett givet värde samtidigt som flödet överstiger ett annat givet värde

(ii) om inkommande flödet är större är gränsen för bräddningsflödet men utgående suspensionshalten är låg, så minskas bräddningen

(iii) om utgående suspension ej kan mätas, baseras bräddningen enbart på flödesmätningar.

I likhet med returslammotorerna kan bräddlucksmotorerna köras endast korta intervall på några sekunder. I varje omgång köres motorn c:a 1.4 sekund. Därefter får man vänta till dess nästa anrop från datorn kommer, efter det att bräddluckornas rörelse har registrerats. Med hjälp av datorn kan därför en god finreglering erhållas av luckorna, trots att ställdonen är relativt grova. Motsvarande noggrannhet i regleringen går ej att utföra manuellt.

5.4 Driftstillstånd

Ett avloppsreningsverk är ett mycket komplext system med många in- och utsignaler. Mycket mätinformation erhålles genom mänskliga observationer, såsom färg, lukt, mönsterigenkänning på vattenytor etc. En fullständig bild av ett biologiskt system kräver därför mer än vad fysikaliskt- kemiska mätare kan åstadkomma.

Utifrån alla tänkbara observationer och mätningar kan man definiera ett ändligt antal diskreta drifttillstånd, i vilka processen ett visst ögonblick kan befinna sig (18). Det är viktigt att i en så komplicerad process som ett reningsverk först bestämma kvalitativt vilket drifttillstånd processen befinner sig i. Först därefter kan den kvantitativa regleringen med regulatorer initieras. Olika kombinationer av regulatorer används för olika drifttillstånd.

Iden med drifttillstånd har förverkligats i installationen i Gävle, och presenterades första gången våren 1977 (15). Driftserfarenheterna från Gävle har visat att angreppssättet har varit fruktbart.

Genom detta begrepp har en succesivt ökad kunskap om processdynamiken erhållits. Operatörens egen kunskap kan på detta sätt systematiskt matas in i modellen i datorn. Likaså kan antalet drifttillstånd succesivt ökas och modellen göras mer och mer raffinerad.

6. DATORINSTALLATIONER

Under projektets gång har tre datorer kommit till användning. De första reglerprogrammen skrevs i programspråket PROSA till den befintliga Siemensdatorn i Käppala. Programsystemet till LSIII är skrivet i ASSEMBLER och till Gävle maskinen (PDP11/04) har FORTRAN jämte ASSEMBLER använts.

6.1 Siemens 303 i Käppala

I SIEMENS-maskinen implementerades endast en PI syreregulator med indatakontroll. Utvecklingen av programmet tog jämförelsevis lång tid, då denna maskin ej primärt var levererad för programutveckling. Därtill kom svårigheter som att dokumentationen till maskinen var till stora delar utförd på tyska. Programspråket PROSA är mycket ovanligt, och maskinens ordlängd på 24 bitar ger ett speciellt instruktionsset.

Emellertid kunde en tillfredställande reglering upprätthållas så länge tillräcklig blåsmaskinkapacitet fanns tillgänglig. När belastningen till verket krävde mer luft än blåsmaskinerna kunde ge, integrerades PI-regulatorns reglerfel långt. När belastningen återgick till normala värden, dröjde det innan regulatorn kunde svara. Under vissa villkor kunde instabiliteter uppstå.

Med den ökade processkännedomen blev det möjligt, att konstruera regulatorer med ett önskat beteende vid randen av regleområdet. Samtidigt blev kopplingen mellan processtegen allt tydligare, varför en framgångsrik reglering måste innebära att kopplingen mellan processteg beaktas. Siemensmaskinen hade ej möjlighet att till rimliga kostnader realisera ett sådant system. Trots att någon datorinstallation ej ingick i den ursprungliga projektplanen beslöts det att en liten dator skulle införskaffas. Detta beslut var baserat på dels på övervägandet att de praktiska problemen måste bemästras, dels på att maskinvarukostnaderna hade sjunkit väsentligt under projekttiden.

6.2 LSI11 i Käppala

Under 1975 beställdes en mikrodator av typ LSI11. Leveranstiden var närmare ett år, och när den kom visade det sig vara det första exemplar, som skeppades till Sverige. Typen har sedermera blivit mycket populär med 10 000 sålda världen över.

Programsystemet i LSI-datorn byggdes upp kring i huvudsak fyra moduler:

Operativsystem
Operativsystemkommunikaton
Användarkommunikation
Datainsamling och reglering

Datainsamling och behandling gick snabbt att realisera. Därigenom visades eftertryckligt, att signalerna på ett vanligt avloppsreningsverk alls icke är så dåliga, att de ej kan användas för reglering. Från olika håll hade tidigare anförts, att störnivåerna skulle vara för höga. Troligen beror sådana svårigheter helt på olämpligt val av signalkablar (för billig kabel) och olämplig förläggning av signalkablar (signalkablar och kablage för manöverström på samma kabelstege).

Den detaljerade programstrukturen har dokumenterats i två internrapporter (19) och (20).

I Käppala utprovades även beräkning av sammansatta variabler, som torrflöde. Torrflödet är halt gånger volym, och genom att beräkna

TSIN = Inkommande torrsubstans
TSUT = Utgående torrsubstans
TSRE = Torrsubstans i returflöde
TSQW = Torrsubstans i överskottsslam

ger ekvationen

$$TSIN + TSRE = TSUT + TSQW$$

massbalansen i systemet aktivslamanläggning - sedimentering. Programsystemet är uppbyggt så, att beräknade variabler kunde utnyttjas för förreglingar och direkt reglering.

Speciellt visade sig korrelation mellan TSIN och syreförbrukning ge intressant information om verkets driftsförhållanden.

Med hjälp av beräkningskapaciteten hos datorn kan inkommande BS skattas ur syreförbrukningen. Detta är intressant, då det är mycket svårt att konstruera en provtagare, som kan ta ett representativt prov ur inkommande flöde.

Med hjälp av den lilla datorn utökades väsentligen den praktiska "know-how", som är nödvändig för att implementera en regulator i en godtycklig aktiv-slamanläggning. De begränsande karakteristika kunde klarläggas. Se vidare under punkt 8.

Det faktum, att dynamiken medger en fruktbar reglering ledde fram till kravet på en referensinstallation, nödvändig för att göra de ernådda resultaten kommersiellt tillgängliga. I syfte att uppnå detta togs kontakter med Gävle Kommun. Med hjälp av ett utsträckt STU-anslag kunde en PDP11/04 installeras i Gävle i början av år 1977.

6.3 PDP11/04 i Gävle

I och med installationen i Gävle togs steget mellan pilotskala och fullskala. I datorn vid Gävle avloppsreningsverk finns hela verkets signaler samlade. Som ett resultat av ett av Gävle uttalat önskemål innehåller systemet en rad "konventionella" dataloggfunktioner, som larm, rapportering m m.

Funktionellt indelas systemet i

- Operativsystem
- Operativsystemkommunikation
- Datainläsningspaket
- Styrlogik med förreglingar och regulatorer
- Rapportering
- Operatörskommunikation
- Diagramkonstruerande program
- Datalagring på flexskivminne.

Stor möda har lagts på att får systemet operatörsvänligt. Målsättningen är att en operatör med begränsade förkunskaper (typ folkskola) skall lära sig hantera systemet på mindre är en dag. Detta mål har i stort sett uppnåtts.

I stort sett all datahantering som ej är att hänföra till driften har eliminerats. Total omladdning av hela programsystemet är begränsat till ett enda direktiv, datorn övervakar själv att ingen låsning sker i något program. Datorn startas själv efter kraftfrånfall. Alla regulatorer är av självstartande typ med s k bumpless transfer. Detta innebär att regulatorn startar "ryckfritt" vid övergången mellan reglerbart/icke reglerbart område.

Regulatorerna i Gävle är av standardtyp, digitala kvot- och PID-regulatorer. De är förreglade mot givarna på så sätt, att varje regulator känner av att nödvändigt antal signaler finns innan regleråtgärd vidtas. Om ett suboptimalt antal finnes, övergår regulatorn till en enklare strategi. Om ett subminimalt antal finnes, övergår regulatorn till fastvärde. Målsättningen är, att datorn alltid skall reglera bättre än den manuella driften, som ofta är av fastvärdestyp.

I Gävle finns tre regulatorer

- styrning av blåsmaskiner
- styrning av bräddluckor
- styrning av returslam

Under februari 1978 installerades även styrning av två slamcentrifuger.

Programstrukturen finns beskriven i (21). All reglering är beroende av givare. För att få en säker datainsamling har ett mätsystem konstruerats.

7. MÄTSYSTEM

Till datorn i Gävle har ett mätsystem utvecklats. Det samlar in mätvärden från 6 punkter i luftningsbassängen. Målsättningen med systemet kan kort beskrivas med

- mätningen flyttas inomhus för att göra kalibreringen enklare (speciellt betydelsefullt vintertid)
- mätarna dubbleras för att öka tillförlitligheten
- provtagningen medför att respirationsmätningar kan utföras
- genom datorstyrningen erhålles en stor flexibilitet möjlighet till dynamisk ändring av provtagningssekvensen finnes
- viss möjlighet till automatisk kalibrering av slamhaltsmätare finns genom att systemet kan fyllas med renvatten
- systemet har en konstruktion, som möjliggör mätning på många punkter med ett fåtal givare.

Mätsystemet består av ett antal magnetventiler, en pump, sex provledningar från olika punkter i bassängerna och två provtagningskärl, i vilka mätgivarna är placerade. Till detta kommer också en display, som anger från vilken mätpunkt aktuellt prov samplas, en platta, på vilken instrumentelektroniken är placerad, och ett kontrollskåp med bl a mellanreläer.

De olika samplen, som vardera omfattar c:a 20 l (för att säkerställa representativitet) pumpas genom ledningen till provtagningskärlet. När en tillräcklig volym samplats gör datorn ett antal snabba avläsningar och bildar medelvärdet. På detta sätt förbättras mätvärdets precision till under 1 %.

Nästa prov förs sedan till det andra provtagningskärlet. Provet i det första kärlet kvarstår, och man kan då göra en respirationsmätning i provtagningskärlet. Genom att både syrehalt och slamhalt samtidigt finns tillgängliga, är en mätning av specifika syreupptagningshastigheten möjlig. (SCOUR).

Denna kan användas för alarmering och för reglering. At SCOUR är låg innebär antingen att man har för lite bakterier, att de är döda eller att de har för lite att äta. Genom att kombinera denna information med annan information, kan slutsatser om driften dras. Man kan t ex skilja gift från låg tillväxt samt varna då misstänkt tillväxt av dispersa bakterier pågår.

Det bör emellertid påpekas, att denna mätning är "svår". Den kräver datorns beräkningskapacitet, då det gäller att ta differenser av brusiga signaler, och den kräver tillförlitliga givare som hålls i trim och som mäter det de ska.

Mätsystemet är hittills den del av hela miljöövervakningssystemet som vållat mest problem. Det är svårt att hitta lämpliga material, hållbara pumpar etc. Emellertid är dessa problem av enkel teknisk art, och utvecklingen mot ett allt tillförlitligare system är en del av genomförandet av "know-how". Allmänt kan sägas, att miljömätsystem mycket väl går att konstruera och få att gå, men de fungerar ej inom så vida gränser av villkor som t ex datorsystemet. Datorteknikens snabba utveckling motsvaras ej av samma utveckling på givarsidan.

Mätsystemet innebär att principen om syreprofilen byggts in i själva systemstrukturen. Genom att mäta längs och tvärs bassängerna kan man hämta information om hur effektiv nedbrytningen är samt se till att vattnet fördelas jämnt linjerna i bassängsystemet. Mätsystemet presenterades i London, maj 1977 (15).

8. PRAKTISKA REGLEREXPERIMENT

Under projektframdriften har många reglerexperiment utförts. De flesta har utförts vid Käppala och har där syftat till att verifiera de dynamiska modeller, som tagits fram vid LTH. Experimenten har visat, att dynamiken är till stora delar olinjär. Detta har sitt ursprung i de olika processer, som sammantagna bildar hela systemet luftningsbassäng -sedimentering. Ett exempel på denna sammansatta dynamik utgöres av BS-nedbrytningen. Denna kan indelas i kontaktstabilisering, endogen respiration och bakteriell tillväxt. Kopplingen mellan de dynamiska förloppen beror av deras tidskonstanter.

Exempel på experiment utförda vid Käppala är:

- hydrauliska störningar av råvattenflöde och returslamflöde
- identifieringsexperiment
- registreringar av lamellsedimenteringen
- hydrauliska störningar av PI-reglering på syrehalten

Den grundläggande målsättningen med experimenten är att genom kunskap. I huvudsak har arbetet försiggått längs två riktlinjer.

1) att verifiera grundläggande samband

2) att praktiskt finna användbara regulatorer

Allmänt kan sägas, att en regulators kvalitet först visar sig, när atypiska förhållanden råder. Det gäller att ha ett förnuftigt svar på frågan "Vad gör syreregulatorn när mätgivaren kalibreras"? En stor del av arbetet har inriktats på att få svar på sådana frågeställningar. Systemet måste möta kravet att regulatorerna aldrig ska bete sig oförnuftigt.

Resultaten från dessa experiment har redan visats vid symposiet "System and Models in Air and Water Pollution", London sept 1976 (14) and IAWPR International Workshop, London maj 1977 (15). Resultaten fick ett mycket gott mottagande och flera forskare har sedan dess hört av sig, dock ej inom Sverige.

Vid Gävle har experimenten varit mindre omfattande än vid Käppala. Simulering av dynamiken har gjorts, och ett uppföljningsprogram av mätsystemet har genomförts. Resultaten från Gävle visar att de dynamiska ekvationerna hittills är generella, d v s de gäller även för högt belastade verk. Utvecklingen på regulatorsidan har i Gävle drivits vidare på så sätt, att förreglingar mellan olika processteg har genomförts. En total kontroll av systemet luftningsbassäng- sedimentering genom styrning av syrehalt, slamhalt, överskottsslamkvot och stegbeskickning verkar nu vara fullt genomförbar. Därigenom kan sådana begrepp som slamålder upphöra att vara designparametrar, till att i stället bli börvärden, vars värde aktivt kan kontrolleras.

REFERENSLISTA

1. Olsson, G., K.I. Dahlqvist, K. Eklund and L. Ulmgren (1973) Control problems in wastewater treatment plants. Technical report, The Axel Johnson Institute for Industrial Research, Nynäshamn, Sweden

2. Olsson, G. (1974) Measurement and control in chemical and environmental engineering. Survey Paper, Scandinavian Congress on Chemical Engineering, KemTek 3, Copenhagen, Denmark, Jan 29.

3. Olsson, G. (1977) State of the art in sewage treatment plant control. AIChE Symp. Series No. 159, Vo. 72, 52-76

4. Olsson, G. (1976) Estimation and identification problems in wastewater treatment. Invited paper, IIASA (International Institute of Applied Systems Analysis) workshop on Recent Developments in real-time forecasting/control of water resource systems, Laxenburg, Austria, 18-20 Oct, 1976

5. Andrews, J.F. and Olsson, G. (1976) A computer based operational strategy for the joint treatment of municipal and industrial wastewaters. Paper, Third national conference on complete water reuse, American Inst. of Chemical Engineers, Cincinnati, Ohio, June

6. Olsson, G. (1975) Activated sludge Dynamics I. Biological models. Report 7511, Dept of Automatic Control, Lund Inst of Technology, Lund, Sweden

7. Olsson, G. (1975) Activated sludge dynamics. Static Analysis. Dept of Civil Engineering, Univ of Houston, Houston, Texas

8. Gustavsson, Gösta (1977) Jämförelse av olika dynamiska modeller för sedimenteringen i biologisk vattenrening. Rep TFRT 5190, Department of Automatic Control, Lund Inst of Technology, Lund, Sweden

9. Larsson, R. Schröder, G. (1974) Dynamiska modeller för primärsedimentering i reningsverk. Examensarbete, rapport RE-146, Institutionen för reglerteknik, LTH, Lund

10. Olsson, G. and J.F. Andrews (1977) An analysis of dissolved oxygen profiles in the activated sludge process for the development of control strategies. Submitted to Water Research

11. Olsson, G. and J.F. Andrews (1977) Estimation and control of biological activity in the activated sludge process using dissolved oxygen measurements. Proc. IFAC Symp. Environmental Systems Planning, Design and Control, Kyoto, Japan

12. Olsson, G. and Hansson, O. (1976) Modeling and identification of an activated sludge process. Proc. IFAC Symp. on Identification and System Parameter Estimation, Tbilisi, USSR, Sep, 134-146

13. Olsson, G. Hansson, O. (1976) Maximum likelihood identification of the dissolved oxygen dynamics of the Käppala wastewater treatment plant. Rep 7611 (C), Dept of Automatic control, Lund Inst of Technology, Lund, Sweden.

14. Olsson, G. and Hansson, O. (1976b) Stochastic modeling and computer control of a full scale wastewater treatment plant. Proc. Symp. on systems and models in air and water pollution, The Institute of Measurement and control, London, Sep, 1976

15. Gillblad, T. and Olsson, G. (1977) Computer control of a medium sized activated sludge plant. Paper 62, IAWPR Int. Workshop on Instrumentation and Control for Water and Wastewater treatment and transport systems, London, May

16. Gillblad, Thomas and Olsson Gustaf (1978) Implementation problems for activated sludge controllers. Report TFRT-7137, Dept of Aut. Control, Lund Inst. of Techn., Lund.

17. Olsson Gustaf (1977) Reglering med hjälp av syreprofilen i en aktivslamanläggning. Intern rapport, Inst för reglerteknik, LTH, Lund

18. Gillblad Thomas and Olsson Gustaf (1977)Användning av begreppet drifttillstånd vid reglering av avloppsreningsverk. Intern rapport, Datema AB, 1977

19. Analog inläsning och reglering. Intern rapport, DATEMA AB januari 1977.

20. Uppbyggnad av kommunikationsprogrammet LOG. Intern rapport, DATEMA AB, augusti 1977.

21. Dokumentation av Gävle datorsystem. Intern rapport DATEMA AB, mars1978.

22. Instrumentering av VA-verk. VAV Meddelande nr M27, september 1977.