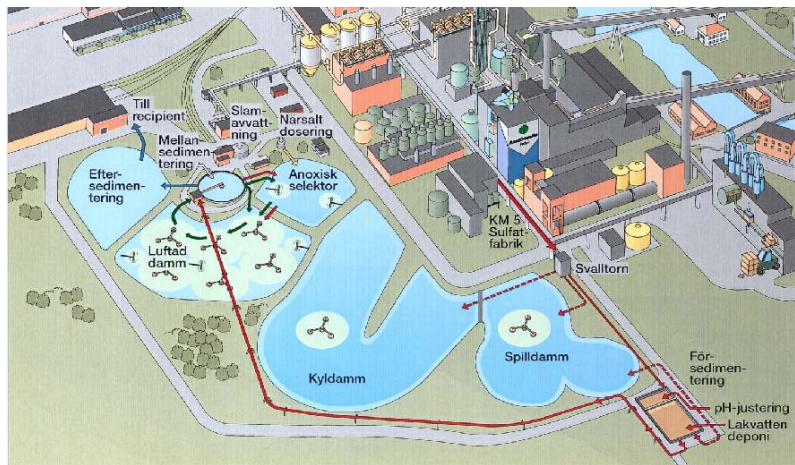




# rapport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

## Tillämpning av multivariata metoder för övervakning och optimering av skogsindustriella biologiska reningsanläggningar



Magnus Andersson Jenny Olsson Jonas Röttorp Mats Ek

B1539

Oktober 2003



<b>Organisation/Organization</b> IVL Svenska Miljöinstitutet AB IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.	<b>RAPPORTSAMMANFATTNING</b> <b>Report Summary</b>
<b>Adress/address</b> Box 21060 100 31 Stockholm	<b>Projekttitel/Project title</b>
<b>Telefonnr/Telephone</b> 08 598 563 00	<b>Anslagsgivare för projektet/ Project sponsor</b>
<b>Rapportförfattare/author</b> Magnus Andersson Jenny Olsson Jonas Röttorp Mats Ek	
<b>Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report</b> Tillämpning av multivariata metoder för övervakning och optimering av skogsindustriella biologiska reningsanläggningar	
<b>Sammanfattning/Summary</b> <p>I takt med att utsläppskraven på skogsindustrin ökat under 90-talet byggde många luftade dammar om till långtidsluftad aktivslamanläggning (LAS). Med en LAS anläggning ökar möjligheterna till styrning väsentligt i jämförelse med en traditionell luftad damm. I detta projekt som initierats av IVL Svenska Miljöinstitutet AB och Å-forsk var målet att skapa ett multivariat övervakningssystem för att ta fram viktig processinformation för övervakning och styrning av en LAS-anläggning. Inledningsvis installerades en del kompletterande givare för mätning av suspenderat material och TOC vid olika positioner i processen. Därefter implementerades en dynamisk databas för att produktionsanpassa datainsamlingen. Databasmodellen kompenserar för tidsförskjutningarna i processen vilket gör att tidsseriemodellering inte är nödvändig. Ett viktigt resultat av databasmodellen är att data loggas snabbt när produktionen är snabb (högt flöde) och med lägre frekvens vid låg produktion (lågt flöde). Detta medför att man minimerar "data overload". Parallellt med framtagning av databasmodellen beräknades multivariata modeller på laboratoriedata för att få fram indikationer på viktiga processparametrar och på modelleringskonceptet. Resultaten för modelleringen på laboratoriedata föll mycket väl ut, bl.a. hittades interaktioner mellan variabler som tidigare var okända, t.ex. korrelerade fastsittande ciliater, filament i anoxisk miljö och frisimmande bakterier i olika utsträckning mot kvalitetsvariablerna utgående COD, utgående suspenderade ämnen samt utgående total fosfor. Detta har medfört en större processkunskap och bättre styrningsmöjligheter för processoperatörerna.</p> <p>I slutfasen av projektet utvärderades realtidsdata med en multivariat modell baserad på data från den dynamiska databasen. Modeller för processövervakning (PCA) och för prediktion av utgående kvalitetsvärden (PLS) genomfördes med goda resultat. Systemet från insamlat mätvärde till databasmodell och multivariat prediktion fungerar väl. Förseningar i projektet gör dock att dataomfattningen i kalibreringsmodellerna är för liten för att modellera alla verkliga driftscenarior. Implementeringen av systemet var mycket lyckad och modeller predikterar och övervakar idag i realtid. I den närmaste framtiden kommer detta system fortfarande att vara i drift för att ta fram bättre och mer omfattande modeller.</p> <p>Projektet har framförallt utvecklat ett verktyg som visar på styrkan av att tillämpa multivariata realtidssystem för processövervakning. Eftersom verktyget är generellt och kan tillämpas på andra processer är det givetvis intressant för t.ex. skogsindustrin att tillämpa dessa metoder på andra processer så som massa- och pappersframställning</p>	
<b>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren /Keywords</b> MVA; Biologisk rening; skogsindustri; optimering	
<b>Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data</b> IVL Rapport/report B1539	
<b>Rapporten beställs via /The report can be ordered via</b> <a href="http://www.ivl.se">www.ivl.se</a> , eller/or e-mail: <a href="mailto:publicationservice@ivl.se">publicationservice@ivl.se</a>	

## Innehållsförteckning

Innehållsförteckning .....	1
Sammanfattning .....	3
1 Projektsyfte .....	4
2 Bakgrund .....	4
2.1 Långtidsluftad aktivslam .....	4
2.2 Beskrivning av LAS-anläggningen på ASSI Domän Frövi.....	5
2.3 Inkommande avloppsvatten .....	6
2.4 Multivariata metoder - teori.....	6
2.5 Datasystem.....	8
2.6 Pluggflödesmodeller .....	9
3 Givare på ASSI .....	11
3.1 Befintliga on-line givare .....	11
3.2 Nya givare.....	12
4 Förstudie ASSI.....	13
4.1 Resultat från laboratoriedata.....	14
4.1.1 Resultat från PCA-modellering av laboratoriedata .....	14
4.1.2 Resultat från PLS-modellering av laboratoriedata.....	16
4.2 Resultat från on-line data.....	18
4.2.1 Resultat från PCA-modellering av on-line data .....	18
4.2.2 Resultat från PLS-modellering av on-line data .....	20
4.3 Sammanfattning och diskussion av förstudien .....	24
5 Huvudstudie ASSI.....	25
5.1 Resultat pluggflödesmodell .....	25
5.2 Resultat modellering .....	26
5.2.1 Resultat från PCA-modellering av pluggad data.....	26
5.2.2 Resultat från PLS-modellering av pluggad data .....	29
5.3 Sammanfattning och diskussion av huvudstudien.....	32
6 Framtida mål .....	33
Appendix .....	35
Bilaga 1. Off-line parametrar Assi Domän Frövi .....	35
Bilaga 2. On-line parametrar Assi Domän Frövi.....	37
Bilaga 3. On-line parametrarnas tag- och flödespluggnamn .....	38



## Sammanfattning

I takt med att utsläppskraven på skogsindustrin ökat under 90-talet byggde många luftade dammar om till långtidsluftad aktivslamanläggning (LAS). Med en LAS anläggning ökar möjligheterna till styrning väsentligt i jämförelse med en traditionell luftad damm. I detta projekt som initierats av IVL Svenska Miljöinstitutet AB och Å-forsk var målet att skapa ett multivariat övervakningssystem för att ta fram viktig processinformation för övervakning och styrning av en LAS-anläggning. Inledningsvis installerades en del kompletterande givare för mätning av suspenderat material och TOC vid olika positioner i processen. Därefter implementerades en dynamisk databas för att produktionsanpassa datainsamlingen. Databasmodellen kompenserar för tidsförskjutningarna i processen vilket gör att tidsseriemodellering inte är nödvändig. Ett viktigt resultat av databasmodellen är att data loggas snabbt när produktionen är snabb (høgt flöde) och med lägre frekvens vid låg produktion (lågt flöde). Detta medför att man minimerar "data overload". Parallellt med framtagning av databasmodellen beräknades multivariata modeller på laboratoriedata för att få fram indikationer på viktiga processparametrar och på modelleringskonceptet. Resultaten för modelleringen på laboratoriedata föll mycket väl ut, bl.a. hittades interaktioner mellan variabler som tidigare var okända, t.ex. korrelerade fastsittande ciliater, filament i anoxisk miljö och frisimmande bakterier i olika utsträckning mot kvalitetsvariablerna utgående COD, utgående suspenderade ämnen samt utgående total fosfor. Detta har medfört en större processkunskap och bättre styrningsmöjligheter för processoperatörerna.

I slutfasen av projektet utvärderades realtidsdata med en multivariat modell baserad på data från den dynamiska databasen. Modeller för processövervakning (PCA) och för prediktion av utgående kvalitetsvärden (PLS) genomfördes med goda resultat. Systemet från insamlat mätvärde till databasmodell och multivariat prediktion fungerar väl. Förseringar i projektet gör dock att dataomfattningen i kalibreringsmodellerna är för liten för att modellera alla verkliga driftscenarior. Implementeringen av systemet var mycket lyckad och modeller predikterar och övervakar idag i realtid. I den närmaste framtiden kommer detta system fortfarande att vara i drift för att ta fram bättre och mer omfattande modeller.

Projektet har framförallt utvecklat ett verktyg som visar på styrkan av att tillämpa multivariata realtidssystem för processövervakning. Eftersom verktyget är generellt och kan tillämpas på andra processer är det givetvis intressant för t.ex. skogsindustrin att tillämpa dessa metoder på andra processer så som massa- och pappersframställning.

# 1 Projektsyfte

I projektet *multivariat optimering av en skogsindustriell aktivslamanläggning* är syftet att visa på möjligheterna att tillämpa multivariata metoder på objektsgenererade data (förklaras närmare i avsnitt 2.6) för att på ett effektivt sätt få fram relevant och användbar processinformation. Syftet med projektet är även att visa på möjligheterna att använda de genererade modellerna för att styra och övervaka driften i realtid.

## 2 Bakgrund

### 2.1 Långtidsluftad aktivslam

Den biologiska reningsmetod som kallas Långtidsluftad AktivSlam (LAS) har blivit populär i skogsindustrin. Skillnaden mot en mer konventionell aktivslambehandling är egentligen bara den hydrauliska uppehållstiden i systemet. Eftersom man normalt arbetar vid ungefär samma slamhalter som i konventionell aktiv slam (AS) (1,5-3 g/l) betyder det att slambelastningen blir betydligt lägre och slamåldern högre.

Den låga belastningen får till följd att även mer svårnedbrutna föreningar hinner metaboliseras. Man får alltså normalt en bra minskning av COD och av toxiska organiska föreningar. En hög slamålder ger också långsamväxande bakterier möjlighet att stanna kvar i systemet, och alltså en rikare mikroflora som bidrar till lägre utsläpp av organiskt material.

En annan fördel med den högre slamåldern är att man får en viss mineralisering av slammet i processen, och alltså en lägre slamproduktion. På grund av den låga belastningen kan man arbeta med låga resthalter av närsalter i utgående vatten.

Assi Domän Frövis LAS har ett anoxiskt steg i början. Det anoxiska steget var från början för att ge kloratreduktion, men används ofta även om man inte har klorat i vattnet, det tycks nämligen ge bra slamegenskaper. För att ytterligare minska risken för kraftig växt av vissa filamentbildande organismer (selektera för flockbildare) används i vissa aktivslamprocesser aeroba eller anoxiska selektorer med bara några procent av hela behandlingsvolymen.

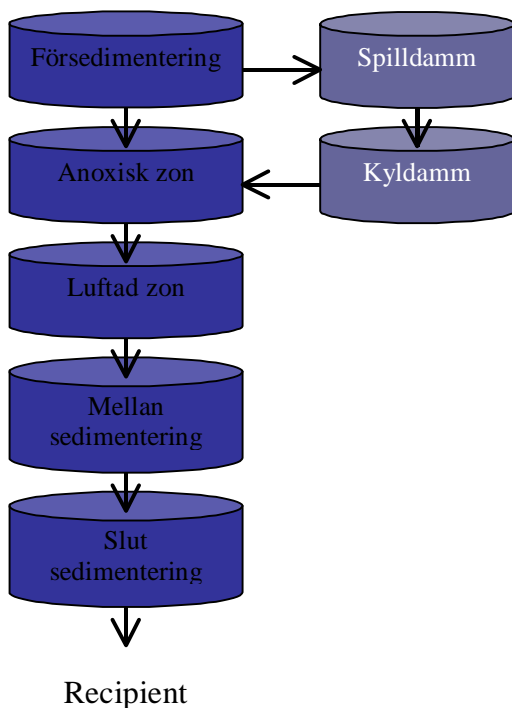
Slamegenskaperna är mycket viktiga, både för att kunna upprätthålla en hög slamhalt och för att ge låga resthalter av suspenderat material ut från sedimenteringen. Slammets sammansättning påverkar också den vidare slamhanteringen med förtjockning, avvattning och torkning. Slamegenskaperna bestäms, när vattnets sammansättning och an-

läggningens utformning är given, främst av närsaltstillgång, syrehalt, belastning och slamålder.

Som alla biologiska system fungerar en LAS bäst vid så konstanta förhållanden som möjligt, men genom den längre uppehållstiden tål den variationer bättre än en mer konventionell AS.

## 2.2 Beskrivning av LAS-anläggningen på ASSI Domän Frövi

Det inkommande avloppsvattnet till LAS-anläggningen passerar först en försedimentering. Där sker framförallt avskiljning av fibrer och därmed även avskiljning av den del fosfor som sitter bundet till fibern. Det varma utgående vattnet från försedimenteringen värmeväxlas med avloppsvatten från mellansedimenteringen. Detta leder till en lägre och mer gynnsam temperatur för mikroorganismerna i den anoxiska zonen. Vid de tillfällen då det inkommande avloppsvattnet ändå är för varmt leds en delström in i de steg som kallas för spill- och kyldamm för att kyla vattnet ytterligare innan det leds in till den anoxiska delen. Avloppsvattnet går därefter till den luftade zonen där vattnet syresätts med ytluftare, dessutom sitter det omrörare monterade i bassängen för att hålla slammet i suspension. Avloppsvattnet kommer sedan till mellansedimenteringen där slammet avskiljs. Det avskiljda slammet återförs till anläggningen som returslam eller tas bort som överskottslam. Innan vattnet går till recipienten passerar det ett slutsedimenteringssteg där det sker ytterligare en avskiljning av suspenderat material.



## 2.3 Inkommande avloppsvatten

Totalt är det 11 stycken olika delströmmar av avloppsvatten som kommer in till LAS-anläggningen från produktionen. Det totala flödet över anläggningen är 30 000 m<sup>3</sup>/dygn. Halten av COD som går in till LAS-anläggningen är omkring 500 mg/l. Det största enskilda delavloppet kommer från kartongmaskinen ”KM5” och bidrar med halva belastningen av organiskt material och fosfor.

Den delen av avloppsvattnet som kommer från det som kallas smutsvattengropen (SVG) svarar för ungefär en 1/5 del av det totala flödet. Till smutsvattengropen kommer avloppsvatten från renseri, vitlutsberedning, kokeri, samt kyl- och tätningsvatten från bark- och sodapanna.

Kondensat på indunstat avloppsvatten från kokeri bidrar med 15 % av det totala flödet. Halten av TOC är omkring 260 mg/l och fosforhalten ca. 1 mg/l.

Blekeriet som bleker med syrgas och peroxid bidrar med ett relativt litet avloppsvattenflöde ca. 3 %. Ibland bräddar man avloppsvattnet från blekeriet utan att det passerat indunstarna (kapacitetsbrist). Vid dessa tillfällen kan framförallt halten fosfor till LAS-anläggningen öka markant.

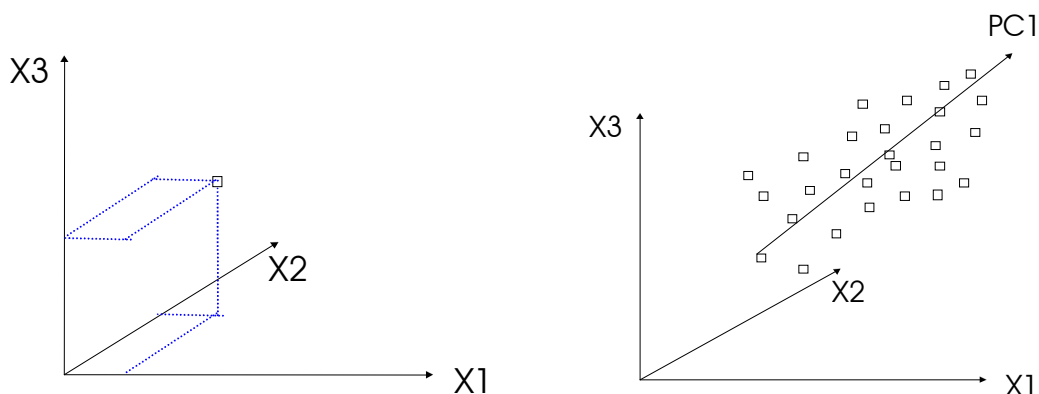
Lakvatten från deponi utgör en mycket liten del av det totala avloppsvattnet (mindre än 0,5 %). Framförallt deponeras mesa, aska och grönlutsslam.

En stor del av resterande mängder avloppsvatten kommer från inläckage av grundvatten och andra tillfälliga punktutsläpp som är svårt att identifiera vid tillfälliga mätningar och analystillfällen.

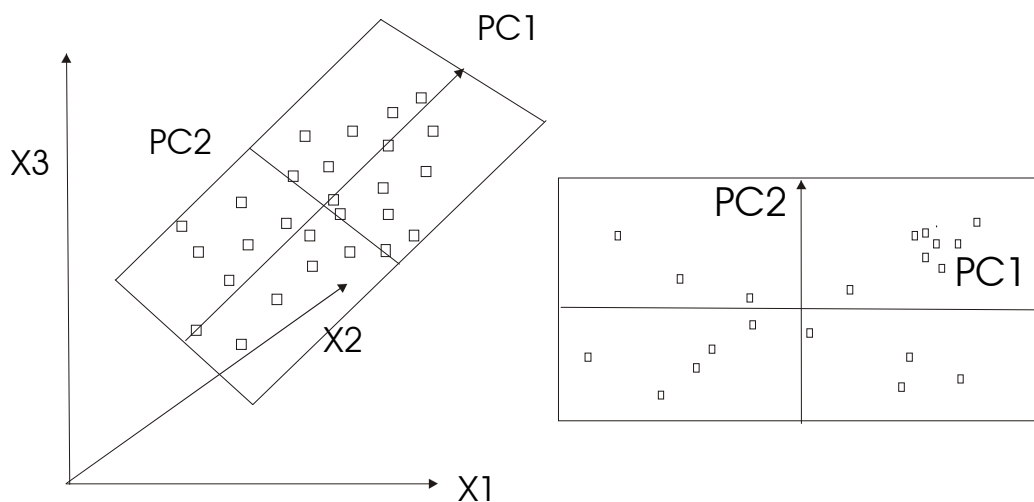
## 2.4 Multivariata metoder - teori

Anta att ett system beskrivs av tre variabler  $X_1$ ,  $X_2$  och  $X_3$  som var och en beskriver en riktning i en rymd. Varje observation har ett värde på varje variabel och representeras av en position i den tredimensionella rymden, se figur 1. Många observationer resulterar i en punktsvärm. Punktsvärmen approximeras till en vektor med minsta kvadratmetoden, se figur 1. Vektorn kallas för den första principalkomponenten (PC1) och beskriver den största oberoende variationsriktningen hos observationerna. Ytterligare en vektor beräknas (PC2), den beskriver den största variationen ortogonalt mot den första principalkomponenten hos observationerna, se figur 2.





Figur 1. En observation i rymden respektive en punktsvärm



Figur 2. Observationer projicerat på ett plan i rymden respektive observationer i två dimensioner

De båda vektorerna beskriver tillsammans lutningen på ett plan i den 3-dimensionella rymden. Planet är den bästa anpassningen till punktsvärmerna. En del observationer (punkter) kommer att ligga över respektive under planet. För att beskriva variationen hos observationerna med det beräknade planet speglas samtliga punkter in i planet, se figur 2. Därefter kan variationerna i tiden studeras med avseende på de två nya vektorerna (PC 1 och PC 2). I detta illustrativa fall har ett system med tre variabler ersatts med två, dvs modellen har förenklats. Den största fördelen av multivariat dataanalys erhålles dock i större system. Det är inte ovanligt att processer beskrivs av flera hundra variabler. Processer i denna storleksordning är omöjliga för en människa att överblicka. Med hjälp av multivariat dataanalys kan stora och komplicerad processer förenklas och förklaras väl, oftast med färre än fem principalkomponenter och därmed bli mer överskådliga och hanterbara.

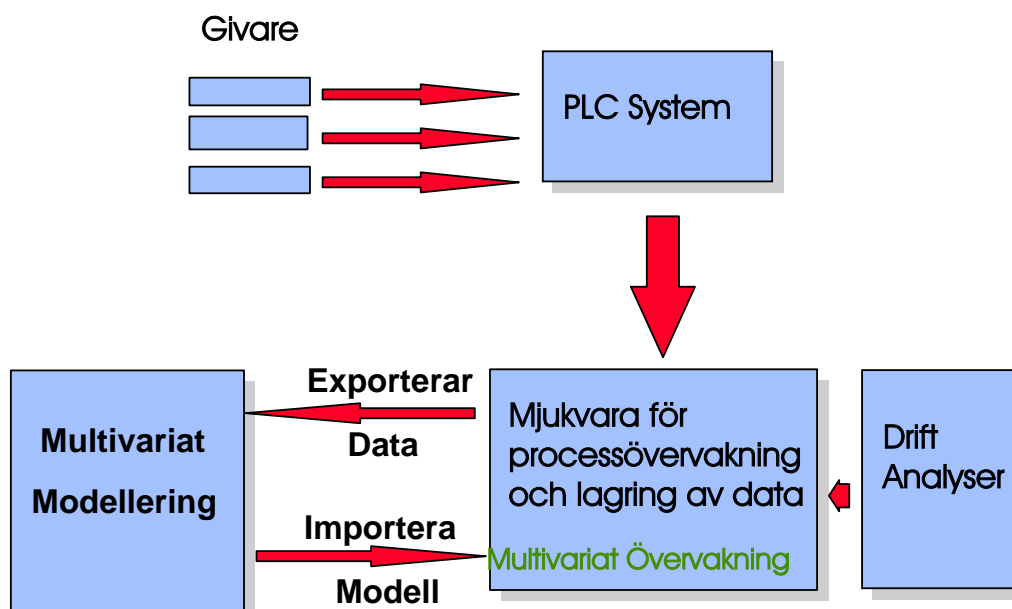
I en PCA (Principal Component Analysis) studeras samtliga parametrar som X-parametrar. PCA-modellering är ett sätt att studera grupperingar och trender inom och emellan observationerna och variablerna. Principen för PCA återfinns i C. Chatfield och A.J. Collins, 1992. I denna artikel förklaras även laddningarnas uppkomst.

Ett annat sätt att studera data är med hjälp av PLS-modellering (Partial Least Square Projection to Latent Structures). PLS-modellering är en kalibreringsmetod vilken ger information hur en eller flera Y-parametrar samvarierar med ett flertal X-parametrar, dvs hur Y-parametrarna påverkas av aktuella X-parametrar. Teorierna för PLS finns i en artikel av Geladi och Kowalski, 1985. Förhållandet mellan X- och Y-parametrar kan ses som en ekvation där Y är en funktion av X:

$$Y = f(\text{processparametrar, inkommande vatten,}, \dots, +\epsilon)$$

## 2.5 Datasystem

Datasystemets funktion är att samla in data information på ett logiskt och hanterbart sätt. Figur 3 är en generell översiktsbild hur databasstrukturen för detta projekt byggdes upp. De röda pilarna visar informationsflödet mellan de olika mjuk- och hårdvarorna. Det är även dessa kommunikationer som ger upphov till de tidsmässigt största problemen, då mjuk- och hårdvarorna kräver olika typer av gränssnitt för att kunna kommunicera med varandra.



Figur 3. Bilden visar en generell struktur över databasen som byggdes för detta projektet. De röda pilarna syftar till kommunikationsflödet mellan de olika enheterna.

*Givare:* Givarna är de realtidsinstrument som fysiskt finns ute i processen. Detta kan vara allt från enklare pH- och konduktivitetmätare till avancerade TOC- och aktivitetsmätare. Dessa givare ger en analog eller digital signal som är proportionerlig mot det som mäts.

*PLC System:* PLC står för *Process Logic Control*. Denna del av systemet består av flera enheter. Den första hårdvaran, vilken redan fanns på Assi vid projektstarten, samlar in data med en mycket hög hastighet från de olika givarna. Den här delen av PLC omvandlar även analoga signaler till digitala. Det finns även filtreringsmöjligheter här för att reducera brus. Nästa del av PLC är databasen *Bepaq*, levererad av Sigma Benima (se dess funktion och utformning under kapitel 2.6 Pluggflödesmodeller). Dess funktion är att lagra data objektsrelaterat (se avsnitt 2.6) till skillnad från vanligtvis förekommande tidsrelaterat. Bepaq-databasen har goda möjligheter att korrigera för brus (störningar som ej innehåller processinformation), *missing values* (t.ex sensorn mäter ej p.g.a. fel, d.v.s. sensorn registrerar inget värde), drift (mätningarna driver långsamt, vilket kan bero på utslitna delar i sensorn) samt uteliggare (felaktiga mätningar som bl.a. kan uppstå vid kalibrering av sensorn). Roséns licensiatsavhandling, *Monitoring Wastewater Systems* (LTH, 1998), kan med fördel läsas för mer grundläggande information om datakorrigeringar.

*Multivariat modellering:* I detta steg byggs multivariata kalibrerings- och övervakningsmodeller upp av objektsrelaterad data exporterad från PLC databasen eller från systemet *Mjukvara för processövervakning*. Dessa modeller implementeras sedan till det sistnämnda systemet.

*Mjukvara för processövervakning och lagring av data:* Huvuduppgiften för denna del av systemet är att visa hur processen förändras i realtid, vilket ger mycket goda möjligheter för processkontroll samt optimering av såväl kvalitet, miljö och ekonomi. Den är byggd på en server som hämtar data i realtid från den objektrelaterade databasen. Denna data exekveras i de importerade multivariata modellerna och bildar en så kallad mask (se 5.2 Resultat modellering) som med sitt läge visar processens tillstånd.

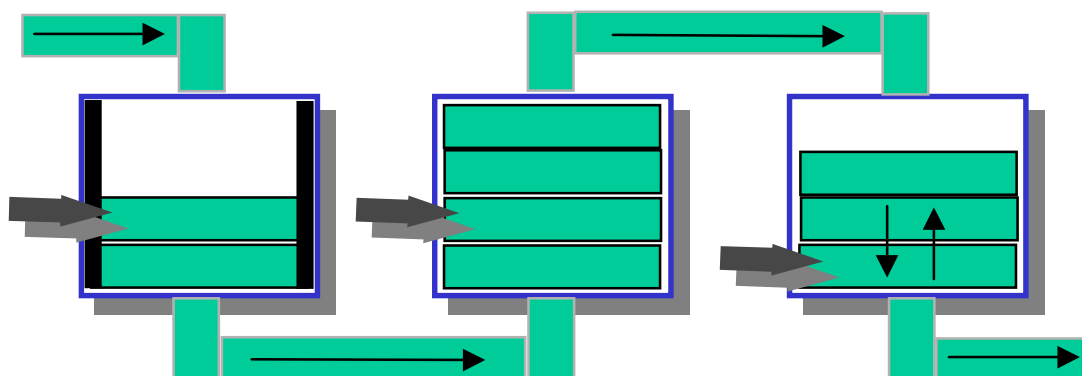
*Drift analys:* Från denna systemdel kan labdata föras in i modellen. Detta ger goda möjligheter att statistiskt validera modellerna.

## 2.6 Pluggflödesmodeller

Pluggflödesmodellerna skapas i en dynamisk databasstruktur. Målet med att använda objektsrelaterade modeller, dvs pluggmodeller, istället för tidsrelaterad datainsamling är att överkomma det svårhanterliga problemet med flödesdynamik i processen. I en dynamisk process som ett reningsverk varierar tidsberoendet för processen

kontinuerligt. Skulle denna process modelleras med avseende på tid krävs det lika många modeller som dynamiska lägen. En pluggflödesmodell hanterar detta problem genom att se en specifik volym vatten som ett objekt. Detta objekt förs genom processen i olika hastigheter beroende på mängd vatten som kommer in i reningsverket. Ju högre vattenmängd till reningsverket, desto fortare rör sig pluggarna genom systemet och vice versa. Varje gång en vattenplugg passerar en givare registreras givarens värde i databasen. Denna teknik skyddar även mot *oversampling*, d.v.s. överrepresenterad mätning av vissa objekt. Det kan enkelt förklaras med en processlinje för bilar. På nattskiftet är produktionen halverad gentemot dagtid. Är mätningen tidsbaserad kommer det dubbla antalet mätningar att utföras på varje bil under nattskiftet gentemot dagskiftet, d.v.s. en *oversampling* på nattskiftets producerade bilar erhålls. Detta fenomen uppstår ej med objektsrelaterad mätning, p.g.a. att mätningen bara utförs när objektet passerar mätpunkten.

Den objektsrelaterade databasen tar även hänsyn till dynamiken som finns i varje processbassäng. Detta är en mycket viktig aspekt då vattenpluggarna kommer att blandas olika mycket beroende på omröringen i varje bassäng. Figur 4 ger en grafisk översikt av pluggflödesmodellen.



Figur 4. Bilden visar en grafisk översikt av pluggflödesmodellen. De tunna pilarna visar vattenflödets riktning och de tjockare pilarna illustrerar olika mätpunkter i processen.

De blå fyrkanterna representerar processbassängerna, de gröna enheterna representerar ett vattenobjekt och de stora respektive tunna pilarna indikerar mätstationer samt vattenflöde. Bilden visar tydligt hur vattenenheterna rör sig, samt var data påförs enheterna och var omblandning sker.

En flödesplugg kan röra sig genom en processbassäng genom att helt eller delvis blandas med andra pluggar eller som en rent pluggflöde. Blandningen beror främst på mekanisk omrörning.

I Assi Domän Frövis luftade zon gjordes antagandet att flödespluggarna är totalombladdade. Vid totalomblandning genomförs följande beräkning varje gång en flödesplugg lämnar det totalombladdade processteget.

$$b = a \cdot b_k + b \cdot (1 - b_k)$$

där

a = värde för variabel x i näst sista pluggen

b = värde för variabel x sista pluggen

b<sub>k</sub> = blandningskonstant (totalomblandning = 0.5)

Totalombladdad bassäng innebär alltså att man tar medelvärdet på den sista och näst sista pluggen i objektet och detta bildar ett nytt värde i den sista pluggen.

## 3 Givare på ASSI

### 3.1 Befintliga on-line givare

Det finns ett antal befintliga givare installerade på aktivslamanläggningen i Frövi. Samtliga befintliga on-line givare inkluderades i den multivariata modellen.

- Delavlopp från produktionen - konduktiviteten mäts på samtliga 11 delavlopp från produktionen in till svalltornet. På vissa av delavloppen mäts även pH, flöde och temperatur.
- Försedimenteringen – i försedimenteringen mäts temperatur på utgående och inkommande vatten. pH mäts på inkommande vatten.
- Värmeväxlare – på in- och utflöde till värmeväxlaren efter försedimenteringen innan anoxisk zon mäts temperaturen.
- Anoxisk zon – i den anoxiska zonen mäts pH och temperatur
- Luftade zonen – i den luftade zonen mäts pH och temperatur. Syregivare finns i början och slutet av zonen.
- Mellansedimenteringen – temperaturen mäts på inkommande vatten
- Eftersedimenteringen – på utgående vatten från mellansedimenteringen mäts temperatur, pH, konduktivitet och flöde.

## 3.2 Nya givare

För att kunna övervaka processen on-line ansågs det nödvändigt att komplettera aktivslamanläggningen med ett antal nya givare. Samtliga nya givare tillhandahölls under projekttiden av Oleinotec. Följande givare ansågs lämpliga att komplettera med:

- Mätare av suspenderat material i utgående vatten från mellansedimenteringen samt i den luftade zonen
- TOC (*Total Organic Carbon*)-instrument för analys av utgående vatten från mellansedimenteringen och inkommande vatten till anoxisk zon.
- Redoxpotential-givare i anoxisk zon
- Total fosfor och fosfat (P<sub>tot</sub>/PO<sub>4</sub>) mätningsinstrument på utgående vatten
- pH-givare i kyldamm/spilldamm

För att kunna mäta kvalitetsparametern suspenderat material på utgående vatten behövs en on-line givare. Först var det tänkt att mäta suspenderat material på utgående vatten från eftersedimenteringen. Efter en diskussion framgick det att det är mer intressant att mäta suspenderat material på utgående vatten från mellansedimenteringen. Detta på grund av att eftersedimenteringen tar bort en stor del av det suspenderade materialet i det vattnet som kommer från mellansedimenteringen. Om analysen skall avspegla hur LAS-anläggningen fungerar är det därför mer lämpligt att mäta på utgående vatten från mellansedimenteringen. En annan orsak till att mäta efter mellansedimenteringen är att det ges en tidigare varning om något är fel i processen. Det beslutades att on-line mätning görs på utgående vatten från mellansedimenteringen. Givaren för mätning av suspenderat material är monterad i ett provtagningskärl med en kontinuerlig genomströmning av provvatten. Halten suspenderat material i den luftade zonen är intressant att mäta för att få en uppfattning om halten mikroorganismer. Det ger i sin tur en uppfattning om möjligheten för nedbrytning av organiskt material i vattnet.

Till en början analyserades TOC-innehållet på både inkommande vatten till processen och utgående vatten efter mellansedimenteringen. På grund av hög fiberhalt i inkommande vatten var det svårt att få filtrering innan analys att fungera tillfredsställande. TOC-mätpunkten för inkommande vatten flyttades således till utgående vatten från försedimenteringen, där fiberhalten är lägre. TOC-halten i utgående vatten är en kvalitetsparameter som processen skall optimeras med avseende på. Provvatten till TOC-analysatorn tas växelvis ut från provtagningskärl för respektive vatten. Provet filtreras innan det tas in för analys.

En del av vattnet som når den anoxiska zonen kommer från spilldamm/kyldamm. Dammarna används främst under sommarhalvåret när vattnet in till den anoxiska zonen är för varmt. Detta vatten passerar inte försedimenteringen. I dagsläget finns inga on-line givare i kyldamm och spilldamm. Uppehållstiden i dessa dammar är ca 6 dygn. Den

långa uppehållstiden och den därför förmodade långsamma förändringen av sammansättningen gör att analysdata framtagna på laboratorium kan användas för att beskriva förhållandet i dammarna vid on-line utvärderingen. Labvärden kan kontinuerligt föras in i databasen Bepaq.

Redoxpotentialen i den anoxiska zonen mäts för att kunna kontrollera om förhållandena är anoxiska. En redoxgivare har installerats i den mätpunkt där pH och temperatur sedan tidigare mäts i den anoxiska zonen.

Ytterligare en kvalitetsparameter som vore önskvärd att mäta på utgående vatten är total fosfor. För on-line analys av total fosfor krävs specialutrustning. Den ekonomiska ramen för projektet gjorde att det inte var möjligt att mäta denna parameter.

## 4 Förstudie ASSI

En vanlig första ansats för att undersöka om processen går att styra är att använda befintlig information. Denna ansats gjordes även i detta projekt. Fördelarna med att använda sig av befintlig data är många, inte minst ur den ekonomiska synvinkeln. Ur processsynpunkt ger förstudien en indikation om tillräckligt många parametrar finns för att kartlägga variationerna i processen, om inte går det att utröna var informationsbristen finns. Dessutom erhålls i många fall nya samband mellan variablerna vilka tidigare var okända, vilket kan leda till en bättre processförståelse.

Förstudien var uppdelad i två delar: Den första innefattade en studie av off-line parametrar, dvs parametrar som är analyserade i laboratorium. Huvudmålet med denna delstudie var att undersöka om LAS-processen går att modellera. Den andra delen gjordes på data mätta on-line, dvs i realtid. Huvudmålet med denna studie var att undersöka förhållanden mellan variablerna samt att påvisa möjliga brister i analysmetodernas precision och informationsbrist i insamlad data.

Den första delen omfattar totalt 63 off-line variabler och 40 observationer (datum). Fem av parametrarna är responsparametrar (även kallade Y-parametrar); utgående halter av  $\text{COD}_{\text{TOT}}$ ,  $\text{COD}_{\text{GF/A}}$ , total fosfor ( $\text{P}_{\text{TOT}}$ ), suspenderande ämnen ( $\text{SÄ}_{70}$  och  $\text{SÄ}_{\text{GF/A}}$ ). Resten av variablerna är olika parametrar som beskriver tillståndet i processen, s.k. tillståndsp parametrar eller processparametrar. Samtliga parametrar återfinns i bilaga 1. Data är insamlade under perioden januari till mitten av maj 1999.

## 4.1 Resultat från laboratedata

### 4.1.1 Resultat från PCA-modellering av laboratedata

Med en principalkomponentanalys studeras grupperingar och trender, inom samt mellan objekten (provtagningstillfällena) och parametrarna.

Modellen förklarade över 40 % av all variation i den insamlade datamängden med hjälp av de två första principalkomponenterna (PC1 och PC2). Modellen expanderades med ytterligare två principalkomponenter för att kunna förklara responsparametrarna ytterligare. Av de fyra principalkomponenterna modellen byggdes på, förklarades responsparametrarna främst av nedan avgivna komponenter:

Parameter	parameternamn	PC	Förklaringsgrad
UTG_COD	COD <sub>TOT</sub>	1 och 2	(totalt 82 %)
UTG_COD_GFA	COD <sub>GF/A</sub>	1 och 2	(totalt 77 %)
UTG_SA	SÄ <sub>70</sub>	1 el.2 el.3 och 4	(totalt 37 %)
UTG_SA_GFA	SÄ <sub>GF/A</sub>	1 och 2	(totalt 43 %)
UTG_Ptot	Total fosfor	1 och 4	(totalt 70 %)

De parametrar som förklaras bäst av principalkomponentanalysen är COD<sub>TOT</sub>, COD<sub>GF/A</sub> och total fosfor. De parametrar som till störst del förklaras av PC 1 och PC 2 är mest lämpliga att studera i en projektion av PC1 och PC2, se figur 5 nedan.





Figur 6 Objektsprojektion där alla provtagningstillfällen som inkluderats i utvärderingen visas. Projektionen visar principalkomponent 1 och 2. De färgade ringarna indikerar olika processlägen. Röd ring; januari och februari, grön ring; mars samt blå ring slutet av mars till maj.

Resultaten visar att processen har haft tre olika lägen under våren 1999, d.v.s. tre grupper som är skilda från varandra med avseende på de två första principalkomponenterna som visas i figur 6. Under januari och februari hade processen ett läge, processläge 1 (röd ring), se figur 6. Under slutet av mars samt april och maj har processen befunnit sig i ett annat processläge, processläge 2 (blå ring), motsatt det i januari och februari. I början av mars finns ett tredje processläge, processläge 3 (grön ring).

Vid jämförelse mellan objektprojektion (figur 6) och variabelprojektion (figur 5) av principalkomponent 1 och 2, kan t.ex. skillnaden i utsläpp mellan processlägena utläsas. Under processläge 1 var utsläppet av total fosfor lägre jämfört med under processläge 2 och 3. I början av mars, processläge 3, var utsläppen av  $COD_{TOT}$  och  $COD_{GF/A}$  högre jämfört med de andra processlägena. Observera att båda parametrarna för suspenderande ämnen,  $S\ddot{A}_{70}$  och  $S\ddot{A}_{GF/A}$  har en låg förklaringsgrad vilket innebär att deras placering i figur 5 måste tolkas med försiktighet. Med låg förklaringsgrad menas att parametrarna ligger när centrum i figur 5. Parametrar som ligger nära kanterna av figuren har en stor inverkan på modellen, de har en s.k. hög laddning.

#### 4.1.2 Resultat från PLS-modellering av laboratoriedata

PLS är en multivariat kalibreringsmetod som korrelerar X-matrisen mot Y-parametrarna. I detta fall innebär det att de ingående variabelernas och tillståndsvariablernas (X-matrisen) varians "vrids" tills den sammanfaller med responsparametrarna (Y-parametrarna). Detta förfarande används när man vill försöka förklara och förutsäga så stor del av Y-parametrarna som möjligt, vilket stämmer överens med målet uppsatt för responsparametrarna i denna studie.

PLS-modellen på laboratoriedata består av fem principalkomponenter och beskriver 81,8 % av variationen hos Y-parametrarna samt har en prediktionsförmåga på 61,6 %, vilket bör anses vara en bra modell.

Varken flagellater eller frisimmande ciliater visade sig ha någon större påverkan på Y-parametrarna. Liten påverkan hade också vissa parametrar som beskriver vattenkvaliteten in till LAS-anläggningen från spilldammen. Filamentförekomsten i den senare delen av luftningsbassängen har inte någon större påverkan på de studerade Y-parametrarna.

Nedan anges de parametrar som är korrelerade med respektive Y-parameter (för beskrivning av off-line parametrarna, se bilaga1):

<b>Y-parameter</b>	<b>Positivt korr.</b>	<b>Negativt korr.</b>
UTG_COD (COD <sub>TOT</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciliater fastsittande L2</li> <li>• TOC i Anox, L1 och L2</li> <li>• Grumlighet i L1</li> <li>• Ingående LAS COD, totP, flöde och CODtot</li> <li>• Utgående MS totP, TOC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GFA i Anox</li> <li>• Utgående spilldamm pH</li> <li>• Slamålder</li> <li>• Ingående LAS P/COD</li> </ul>
UTG_COD_GFA (COD <sub>GF/A</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciliater fastsittande L1, L2</li> <li>• Filament Anox</li> <li>• TOC Anox, L1 och L2</li> <li>• Grumlighet Anox, L1, L2</li> <li>• Ingående LAS COD</li> <li>• Utgående MS totP, TOC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frisimmande bakterier Anox och L2</li> <li>• Utgående SD pH, ledningsf.</li> <li>• Ingående LAS GFA</li> </ul>
UTG_SA (SÄ <sub>70</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frisimmande bakterier i Anox</li> <li>• Ingående LAS COD, totP, flöde, CODtot</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GFA i Anox</li> </ul>
UTG_SA_GFA (SÄ <sub>GF/A</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frisimmande bakterier i L1, L2 och anox</li> <li>• Flöde, GFA in till LAS</li> <li>• Utgående MS SÄGFA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hjuldjur L1 och L2</li> </ul>
<b>Y-parameter</b>	<b>Positivt korr.</b>	<b>Negativt korr.</b>
UTG_Ptot (Total fosfor)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• frisimmande bakterier i Anox, L1 och L2</li> <li>• Filament L1</li> <li>• Utgående ledningsförmåga, flöde från spilldamm</li> <li>• Ing LAS totP, flöde, CODtot, GFA</li> <li>• P-dos</li> <li>• Utgående MS SÄGFA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GFA L2, Anox</li> <li>• Hjuldjur i Anox och L2</li> <li>• Ing LAS SÄ70</li> </ul>

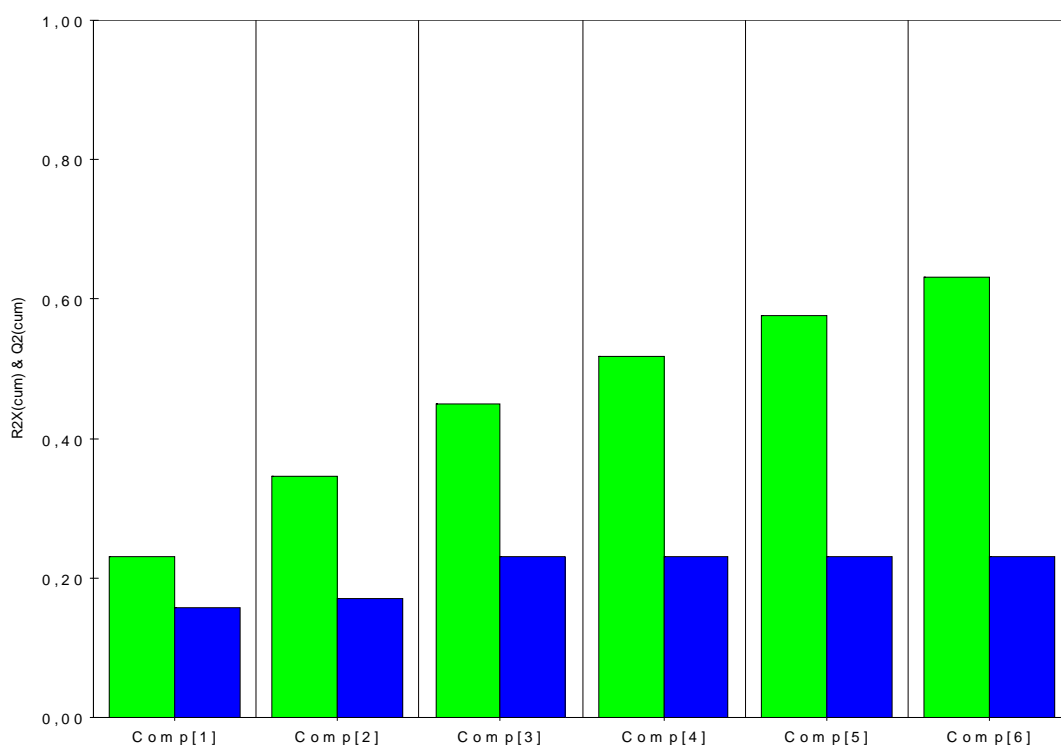
Att en parameter är positivt korrelerad med en Y-parameter, ett utsläpp i detta fall, betyder att när utsläppet är högt har den positivt korrelerade parametern ett högt värde. Tvärtom gäller för de negativt korrelerade parametrarna, d.v.s. att när utsläppet är högt har dessa parametrar låga värden. Det går också att se det på ett annat sätt: det är ett lägre utsläpp när de negativt korrelerade parametrarna har höga värden.

En intressant slutsats som bör undersökas närmare är att vissa mikroorganismer i L1, L2 och Anox ofta samvarierar med utgående halter till recipient. De förefaller kunna användas som en indikator för utsläppshalter till recipienten. Vice versa kan halten på ett utsläpp ge information om förekomsten av de mikroorganismer som finns i bassängerna.

## 4.2 Resultat från on-line data

### 4.2.1 Resultat från PCA-modellering av on-line data

Det krävs sex principalkomponenter för att förklara 64% av variansen hos objekten. För högre förklaringsgrad (gröna staplar) kan fler principalkomponenter användas, vilket dock inte ökar modellens förutsägningsförmåga (blå staplar). I figur 7 visas variationens kumulativa förklaringsgrad och modellens kumulativa förutsägningsförmåga.



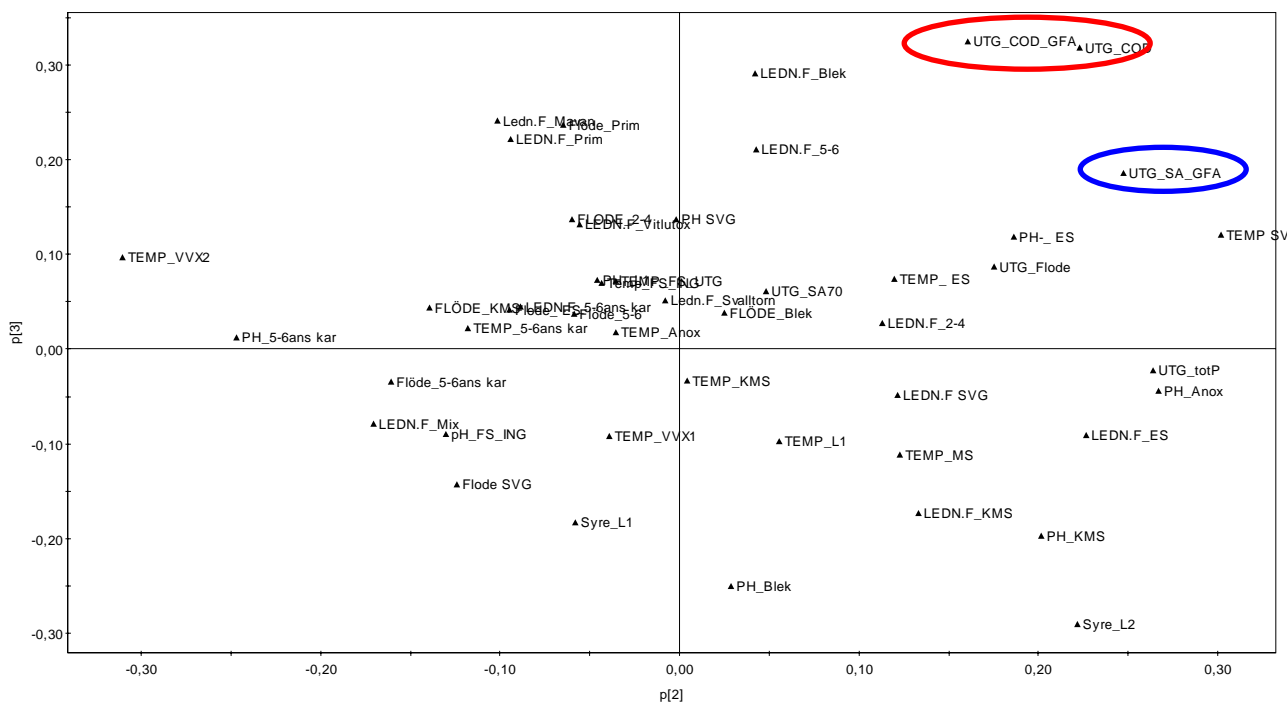
Figur 7. Modellöversiktsstapeldiagram vilket visar principalkomponenternas förklaringsgrad (gröna staplar) och förutsägningsförmåga (blå staplar) m.a.p. antal principalkomponenter som används i modellen (Comp[1]- Comp [6]).

Stapeldiagrammet i figur 7 visar, att efter tre principalkomponenter ökar ej modellens förutsägningsförmågan nämnvärt. Att variansens förklaringsgrad ändå stiger beror troligtvis på att sk brus (variens som ej beror av variablernas relation till varandra) påverkar modellen. Eftersom responsparametrarna förklaras olika mycket av olika principalkomponenter (se tabell nedan), togs dock hänsyn till ett större antal principalkomponenter än tre.

Responsparametrarna förklaras främst av följande principalkomponenter:

Parametrar	PC	Förklaringsgrad
UTG_COD	2 och 3	(totalt 76%)
UTG_COD_GFA	2 och 3	(totalt 66%)
UTG_SA	5 och 4	(totalt 74%)
UTG_SA_GFA	2 och 3	(totalt 51%)
UTG_Ptot	1 och 2	(totalt 63%)

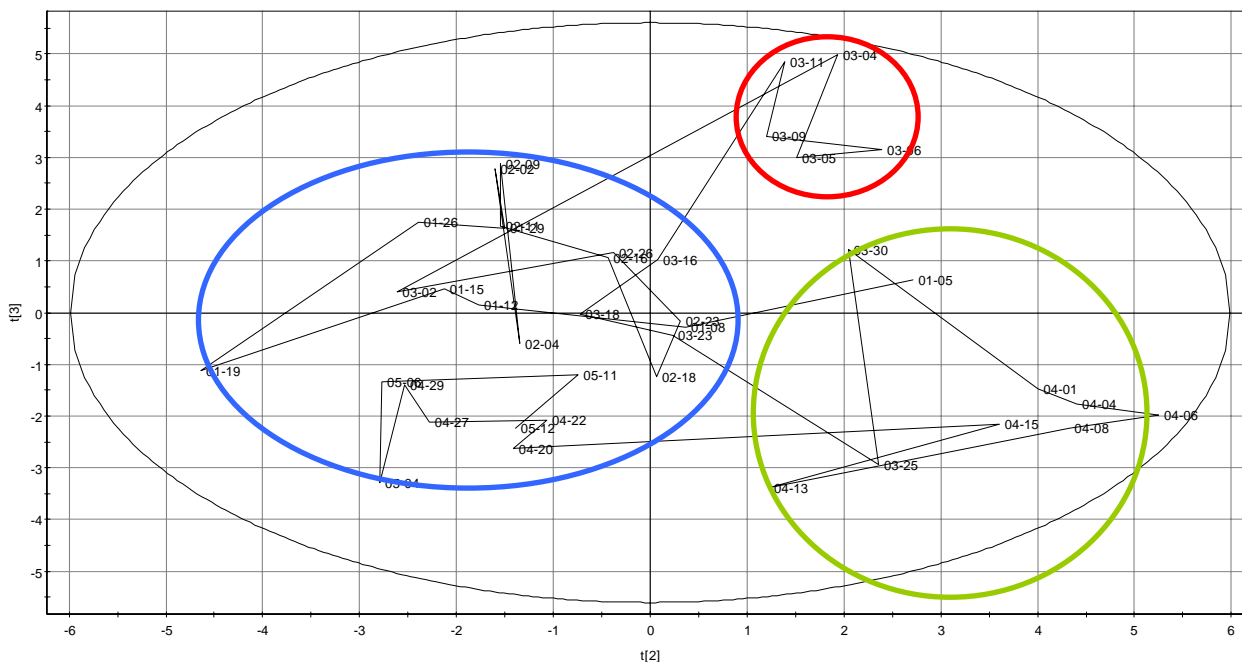
Parametrarnas fullständiga namn är utskrivet i bilaga 2. Enligt tabellen ovan utvärderas parametrarna UTG\_COD, UTG\_COD\_GFA och UTG\_SA\_GFA bäst i projektionen av PC2 och PC3, se figur 8 och 9. UTG\_SA kan analyseras i projektionen PC5, PC6, och UTG\_Ptot i projektionen PC1, PC2.



Figur 8. Variabelfigur av PC 2 och PC 3 vilken visar grupperingar och förhållanden mellan variablerna. PC2 och PC3 är den kombination av PC som tydligast visar UTG\_COD (COD<sub>TOT</sub>), UTG\_COD\_GFA (COD<sub>GF/A</sub>, röd ring) och UTG\_SA\_GFA (SÄ<sub>GF/A</sub>, blå ring) (se översta högra kvadranten) inbördes förhållande samt förhållande till de andra processparametrarna.

I objektsprojektionen av PC2 och PC3, kan tre processlägen urskiljas (se de färgade ringarna i figur 9). I kombination med variabelfiguren (figur 8) går det att urskönja att processläget i början av mars (röd ring) hade höga utsläpp av COD<sub>TOT</sub>, COD<sub>GF/A</sub> och

$S\ddot{A}_{GF/A}$ , jämfört med resten av våren. Processen övergår sedan till ett annat läge i början av april (blå ring), då utsläppet av totalfosfor ser ut att ha varit högt. Resterande tiden av våren (grön ring), d.v.s. januari, februari, maj samt slutet av mars och av april, tycks reningsprocessen ha varit i ett tredje läge. Under detta läge har utsläppen av de studerade utgående parametrarna varit förhållandevis låga.



Figur 9. Objektsfigur av PC 2 och PC 3 vilken visar grupperingar och trender mellan objekten, d.v.s. hur processen har rört sig under dataperioden. De färgade ringarna visar de olika processlägena. Provtagningsstillfällena presenteras i mm-dd form dvs, 05-17 är lika med 17:e maj.

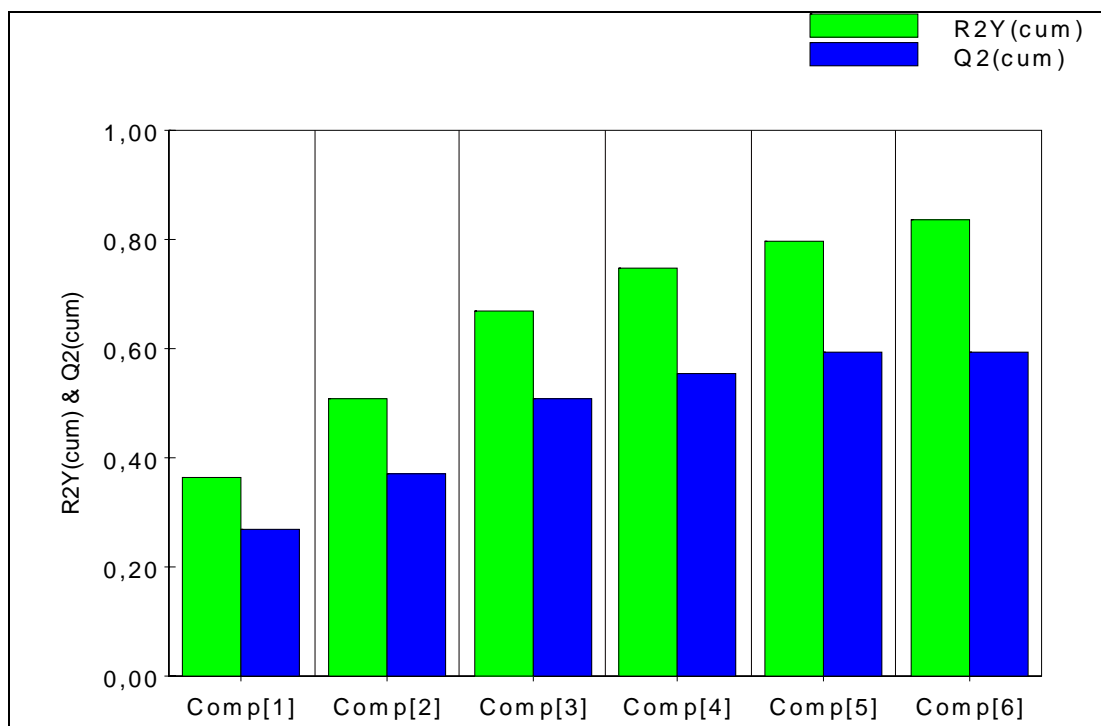
Processen har alltså, i likhet med föregående utvärdering, växlat mellan tre olika lägen under våren. Endast ett av de tidigare observerade processlägena sammanfaller dock tidsmässigt utvärderingarna emellan, det i början av mars. Enligt båda utvärderingarna var det då höga utsläpp av  $COD_{TOT}$ ,  $COD_{GF/A}$  och  $S\ddot{A}_{GF/A}$ . Det går också att se, att de höga fosforutsläppen i början av april framträder i båda utvärderingarna.

#### 4.2.2 Resultat från PLS-modellering av on-line data

En PLS-ansats på on-line data är ett första steg mot realtidsstyrning. Resultaten erhållna i denna studie visar att det finns goda möjligheter till realtidsstyrning om processen kompletteras med ytterligare givare såsom TOC-analysator eller COD-analysator (Oleintechs TOC-analysatorn var ej installerad under on-line data perioden).

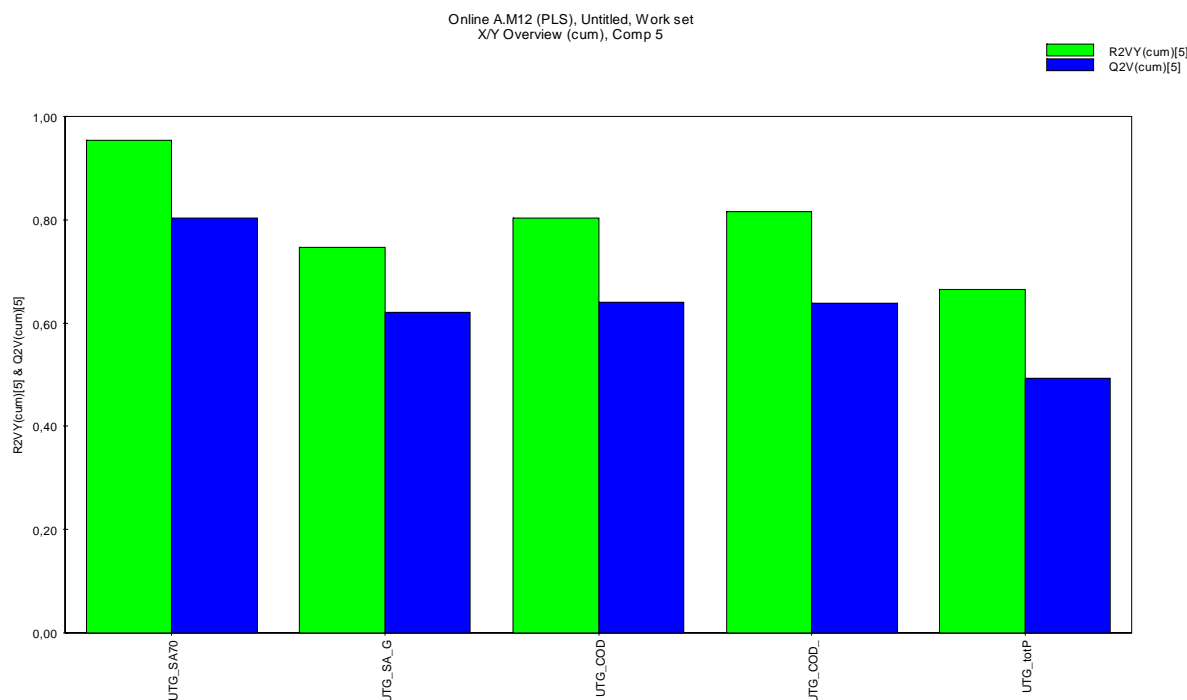
Fem principalkomponenter användes för att förklara responsp parametrarnas varians. För att uppnå en bättre modell togs en del objekt och X-variabler systematisk bort. De

objekt som exkluderades vara s.k. uteliggare. Den förbättrade modellen förklarade 80% och förutsade 59%. Det är möjligt att utöka modellen med fler principalkomponenter för att erhålla en bättre förklaringsgrad, men sannolikheten är väldigt stor att fysikalisk information (brus) och inte kemisk information förklaras. Detta kan tydas i en modellöversikt (Figur 10), där förutsägningsgraden (blå stapel, även kallad Q2) inte stiger efter den 5:e PC:n, vilket till största sannolikhet tyder på att brus inkluderas i modellen.



Figur 10. Modellöversiktsdiagram vilket visar principalkomponenternas förklaringsgrad (gröna staplar) och förutsägningsförmåga (blå staplar). Diagrammet visar att den 5:e PC:n (Comp[5]) har den största sammanlagda prediktiva förmågan Q2(cum).

Hur väl X-variablerna beräknar de olika responsparametrarna kan även utrönas ur Observerad mot Predikterad-grafer (se figur 12). Figur 11 sammanfattar hur väl responsparametrarna kan förklaras och förutsägas:

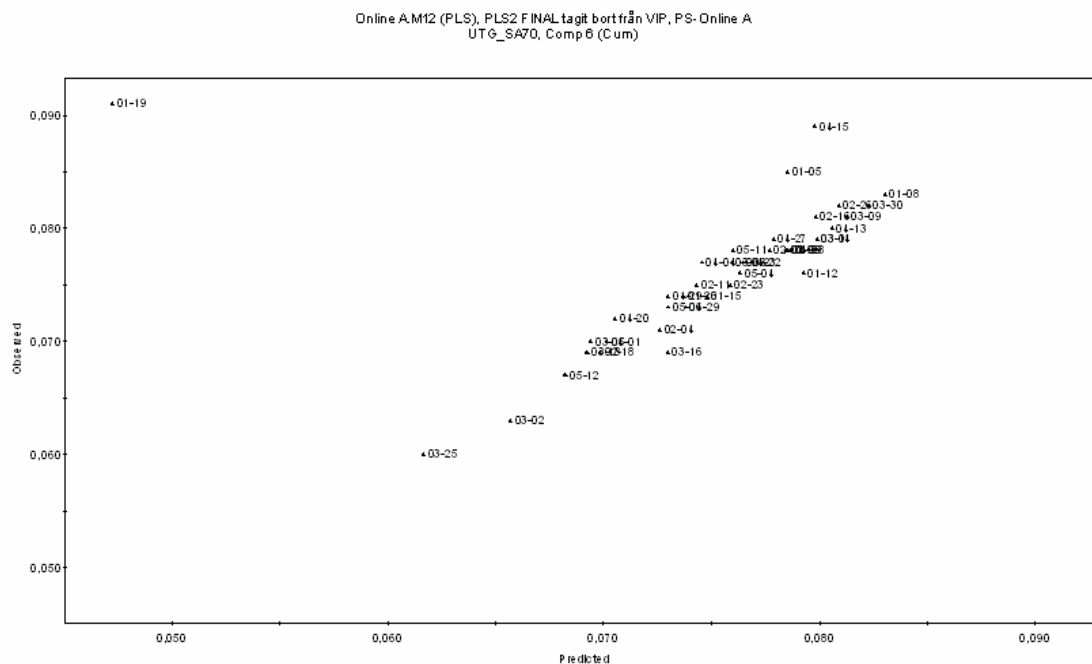


Figur 11. Stapeldiagrammet visar en sammanfattning av modellens möjlighet att förklara (gröna staplar) och förutsäga (blå staplar) Y-parametrarna med hjälp av on-line parametrarna.

Stapeldiagrammet (figur 11) ger oftast en tydlig indikation om vilka responsparametrar som kommer att kunna predikteras. Enligt figur 11 så har alla Y-parametrar bra prediktionsmöjligheter. Det resultat som är svårast att förutsäga är den totala mängden utgående fosfor (UTG\_totP), med en förutsägande förmåga strax under 60%. Den bästa responsparametern att förutsäga är utgående SÄ<sub>70</sub> (UTG\_SA70). Både dess förklarande och förutsägande förmåga kan betecknas som mycket god, över 95% respektive 79%.

Figur 12 visar hur väl SÄ<sub>70</sub> kan beräknas/förutsägas med hjälp av on-line parametrarna. Förutsägningsförmågan är mycket god, med ett stort undantag för den 19 januari. Denna observation är borttagen som uteliggare.





Figur 12. Figuren visar hur väl modellen kan förutsäga befintlig data. Figuren visar UTG\_SA70s observerade värden på y-axeln och modellens beräknade värden på x-axeln. Den 19:e januari (01-19) sammanfaller ej med modellen.

Tabellen visar de inkommande- och tillståndsvariabler som har störst inflyttande på res-  
ponsparametrarna. Förkortningarna finns beskrivna i bilaga 2.

Y-parameter	Positiv korrelering	Negativ korrelering
UTG_COD (COD <sub>TOT</sub> )	LEDN.F_Blek LEDN.F_2-4	Flode SVG Syre_L1 PH_Blek
UTG_COD_GFA (COD <sub>GF/A</sub> )	LEDN.F_Blek LEDN.F_2-4 Flode_Prim	Flode SVG UTG_Flode PH_Blek Syre_L1
UTG_SA70 (S <sub>Ä70</sub> )	UTG_Flode LEDN.F_Blek PH_ES	Flode_Prim
UTG_SA_GFA (S <sub>ÄGF/A</sub> )	UTG_Flode PH SVG TEMP SVG	Flode SVG Syre_L1
UTG_Ptot (Total fosfor)	UTG_Flode LEDN.F_ES	TEMP5-6kar PH SVG TEMP_VVX2

Att en parameter är positivt korrelerad med en Y-parameter, ett utsläpp i detta fall, betyder att när den positivt korrelerade parametern har ett högt värde är utsläppet högt. Tvärtom gäller för de negativt korrelerade parametrarna, d.v.s. när utsläppet är högt har dessa parametrar låga värden.

### 4.3 Sammanfattning och diskussion av förstudien

De multivariata modellerna visade att det gick bra att få ut användbar information ur stora datamängder och komprimera datamатriserna till överskådliga och lättolkade modeller. Det gick även bra att identifiera felaktiga mätvärden, uteliggare och deras uppkomst. Ett tydligt exempel på detta kan ses i figur 12, vilken tillhör den multivariata kalibreringsstudien som gjordes på on-line data. Den 19:e januari ligger långt ifrån den tänkta regressionslinjen. Detta mätvärde exkluderades från datamaterialet men man bör ändå beakta de möjliga scenarierna: 1) Värdet är felmätt och därför är det en riktig uteliggare. 2) Värdet är rätt, detta betyder att det antagligen finns en stor varians i reningsverket som on-line parametrarna inte mäter, vilket innebär att denna variation inte är inkluderad i den befintliga PLS modellen. Detta kan bara en person som är väl insatt i reningsverket ta ställning till eller så utökas datamaterialet med ytterligare observationer, för att påvisa om det är ett processläge eller en uteliggare. Varje uteliggare bör behandlas med en liknande metodik för att inte signifikant data skall tas bort från modellen.

PCA-modellerna visade datumgrupperingar och processförändringar som stämmer väl överens med hur processen skiftat under datainsamlingsperioden. On-line utvärderingens grupper stämmer inte helt överens med off-line datagrupper. Detta beror på att olika variabler analyserats och därför inte täcker in samma variansområde. Det är svårt att bestämma vilken av de båda PCA-utvärderingarna som är mer korrekt än den andra. Vad som bör beaktas är att on-line utvärderingen bygger på fler värden, jämfört med off-line utvärderingen, vilket kan tänkas ge ett mer tillförlitligt resultat. En annan skillnad mellan utvärderingarna är mätmetoderna. On-line värden som är analyserade "in situ" baseras oftast på enklare analysmetoder, vilket kan ge osäkrare resultat. Att de är analyserade på plats bör å andra sidan ge positiva effekter på resultatets säkerhet, eftersom provet analyseras utan transport och tidsfördröjning.

De båda PLS-modellerna av off-line och on-line matriserna visade sig förklara och förutsäga responsparametrarna ungefär lika bra med ett litet övertag för off-line utvärderingen, 81,8% och 61,6% mot respektive 79,7% och 59,2%. Enskilda responsparametrar kunde förutsägas med upp till 80% vilket bör betraktas som ett mycket bra resultat.

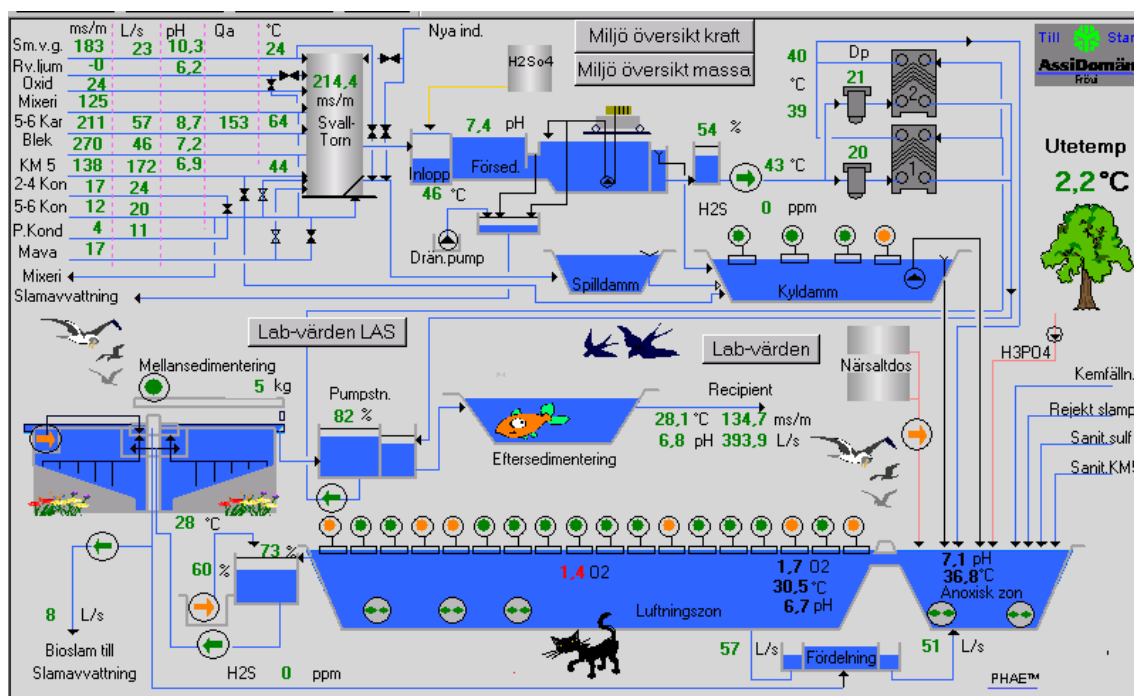
Användandet av den objektrelaterade databasen och ett utökat on-line dataset med ytterligare givare från Oleinitec kommer med största sannolikhet att förbättra modeller-

nas förklarings- och förutsägningsgrad och ligga till grund för en välfungerande real-tidsstyrning.

## 5 Huvudstudie ASSI

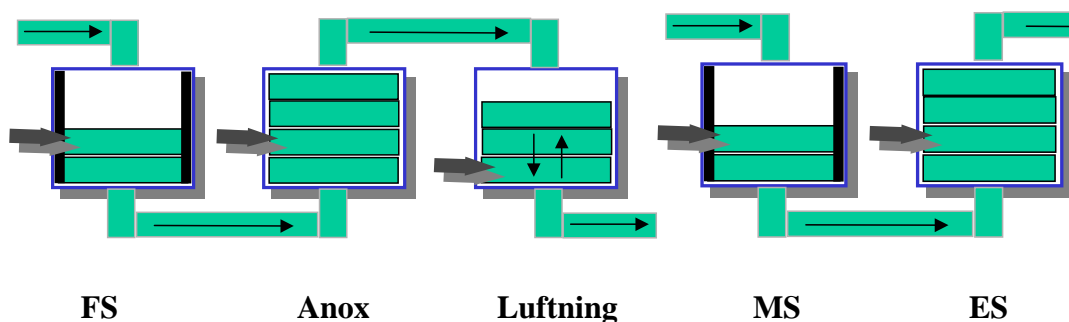
### 5.1 Resultat pluggflödesmodell

Pluggflödesmodellen som byggdes baserades på processoperatörernas övervakningsbild (se figur 13), process-störningar och deras processinverkan, fysisk närvaro samt god kommunikation mellan processkunniga och modellerare.



Figur 13. Bilden visar processoperatörernas övervakningsbild.

För att inte gå miste om dynamiken i systemet så ansattes en pluggvolym på  $100\text{ m}^3$  i relation till flödet från KM5 (Kartong Maskin 5). Att KM5 användes för att generera vattenpluggar beror på att det flödet bidrog till den klart största flödesvariationen i förhållande till de andra inkommande flödena. Med denna pluggstorlek skulle en ny plugg skapas var 8-20 minut beroende på flödet in. En förenklad bild av pluggflödesmodellen visas nedan (figur 14).



Figur 14. Bilden visar en grafisk översiktsbild över pluggflödesmodellen, med omblandning LAS. Förkortningarna står för; FS = Försedimentering, Anox = Anoxisk zon, Luftning = Luftningszon, MS = Mellansedimentering och ES = Eftersedimentering

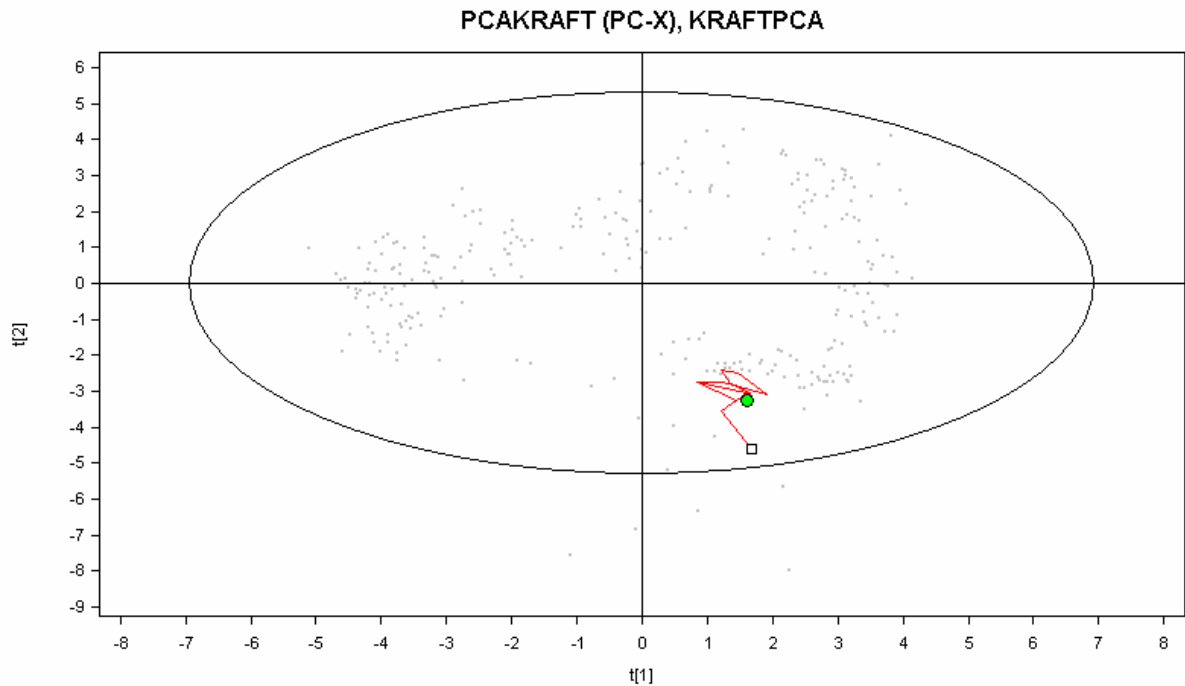
I luftad zon gjordes antagandet att zonen var totalomblandad (se kapitel 2.6), med avseende på data som erhållits från processtörningarnas inverkan på systemet. T.ex. en störning på ingående vatten till luftad zon gav utslag efter tolv timmar på utgående vatten från den luftade zonen. Hade systemet varit oblandat vid denna flödes hastighet skulle utslaget varit först efter 24 timmar.

Hur de genererade pluggarna och deras omblandning stämmer överens med verkligheten kommer att valideras mot olika processflöden. Det är möjligt att dagens pluggkonfiguration inte stämmer överens med höga och låga flödesextremer. Skulle detta vara fallet kan i framtiden ytterligare pluggmodeller ansättas.

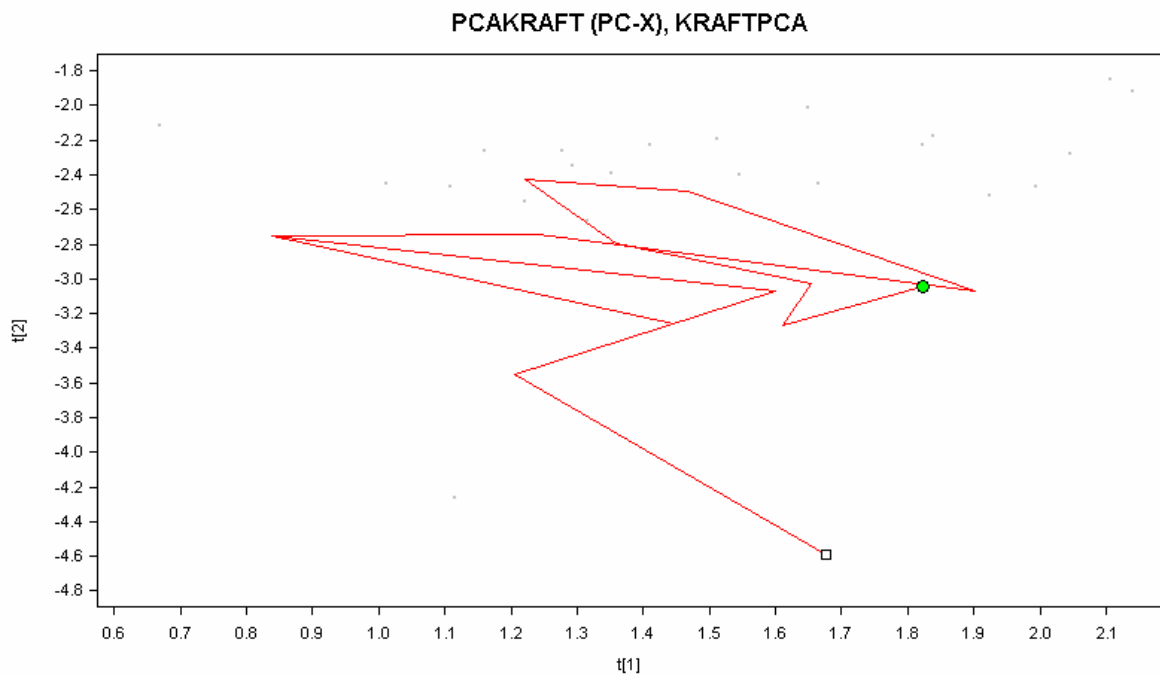
## 5.2 Resultat modellering

### 5.2.1 Resultat från PCA-modellering av pluggad data

Enligt systembeskrivningen har en övervakningsmodell baserad på realtidsdata tagits fram för att beskriva processvariationen på reningsverket. Modellen är en PCA-modell, d.v.s. alla variabler är x-variabler. Figur 15 och 16 visar objektsprojektioner av modellen. De grå punkterna är objekten som modellen baseras på. Den röda masken med det gröna huvudet visar var processen befinner sig vid det aktuella tillfället, d.v.s. var processen befinner sig i nutid och en viss tid tillbaka. Masken kan tolkas som en trendkurva där maskens läge beror på informationen från samtliga parametrar. Om värdena på alla indata inte förändras så förändras inte heller maskens position (det gröna huvudet).



Figur 15. Figuren visar en realtidsmodell av en objektsplot. Det gröna huvudet visar var processen befinner sig medan den röda svansen visar hur processen har varierat dess för innan. De grå prickarna är objekten modellen baseras på.

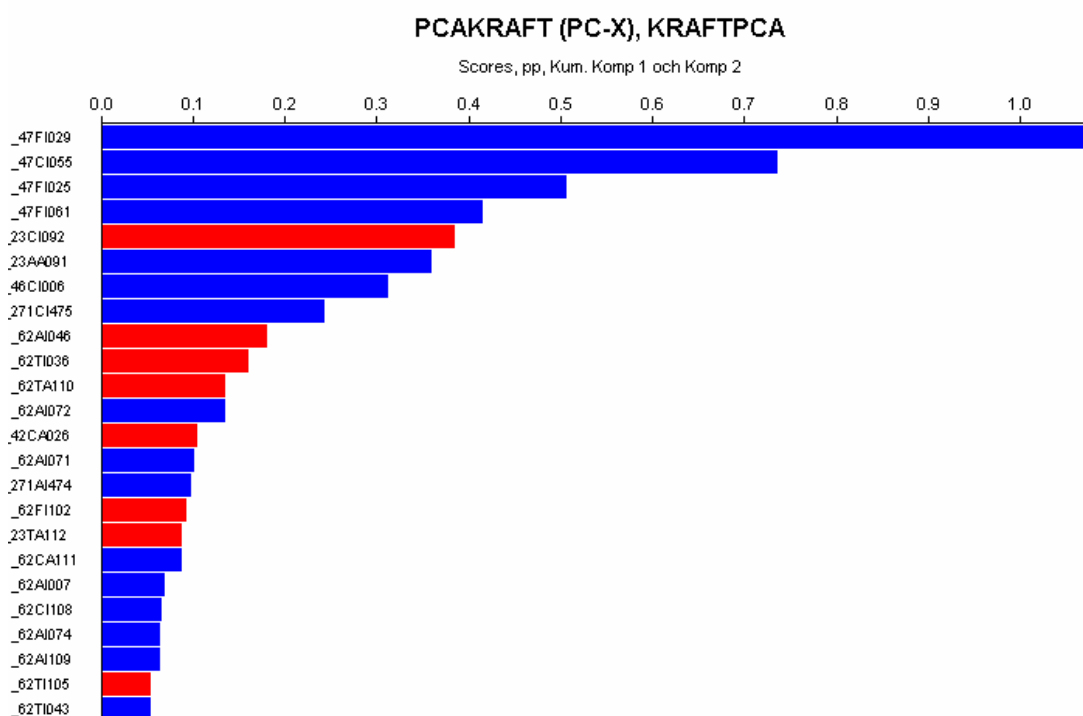


Figur 16. Objektsfiguren visar en förstoring av "masken" från figur 15.

För att studera maskens förflyttning (processtrenden), d.v.s. hur processen har förändrats mellan två olika lägen, kan en s.k. *gap projection* med fördel användas. Se *gap projectionen* (figur 17) där variationen från maskens början (den vita kvadraten) till maskens nuläge (det gröna huvudet) analyserats.

Resultatet av *gap projection* rangordnar parametrarnas variation i fallande ordning. Blått anger att parametrarna har minskat och rött att de har ökat. I detta fall representerar projektionen tidsintervallet mellan maskens start (vit fyrkant) och slut (grön cirkel) i objektsfigurerna ovan (se figur 15-16). Processförändringarna beror enligt projektionen till största del på att flödet från diverse delflöden minskat, först och främst primärkondensatet där även dess ledningsförmåga minskat.

Kombinationen av objektsfigurerna och *gap projection* ger information om processens trend snarare än att se till en enskild parameters trend. Detta gör det möjligt för processoperatören att snabbt få fram den viktigaste informationen om processförändringarna snarare än att gå in och analysera varje enskild trendkurva.

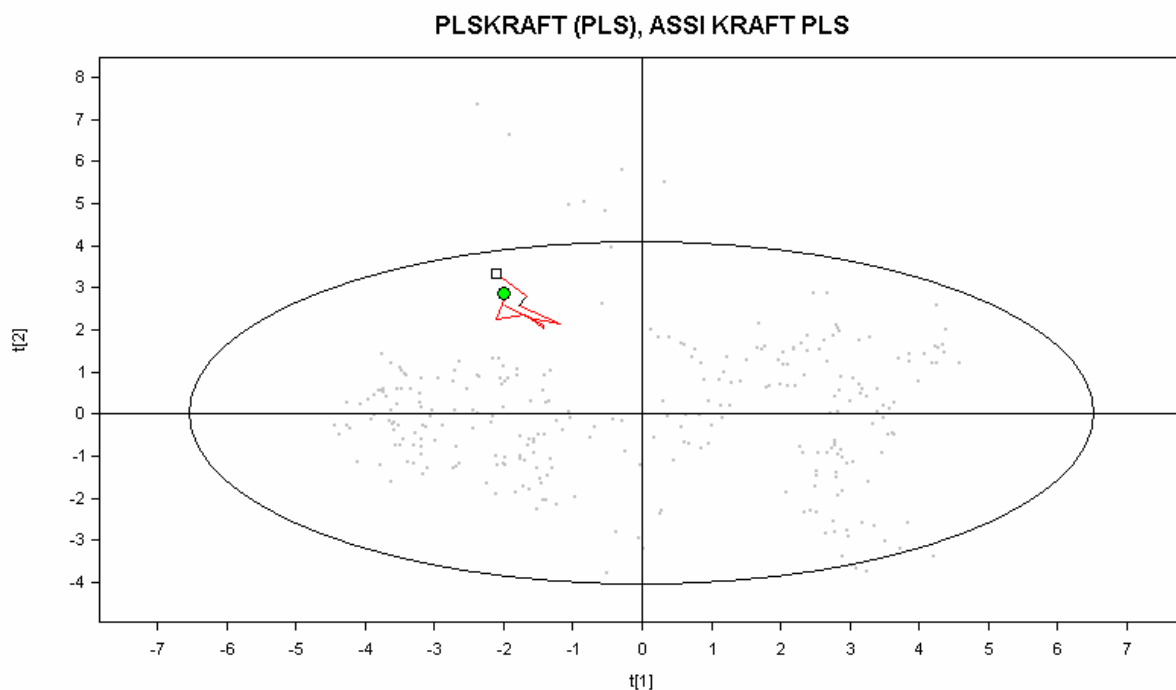


Figur 17. Figuren visar en *Gap projektion*, vilken visar hur processen har rör sig mellan två olika tidpunkter. På y-axeln visas hur de olika processvariablerna har varierat i fallande ordning. De blåa och röda staplarna indikerar att variabeln ifråga har fått minskat värde respektive ökat. Variablerna är visade med deras "tag"-namn. Bilaga 3 visar vilket "tag"-namn som tillhör respektive variabel.

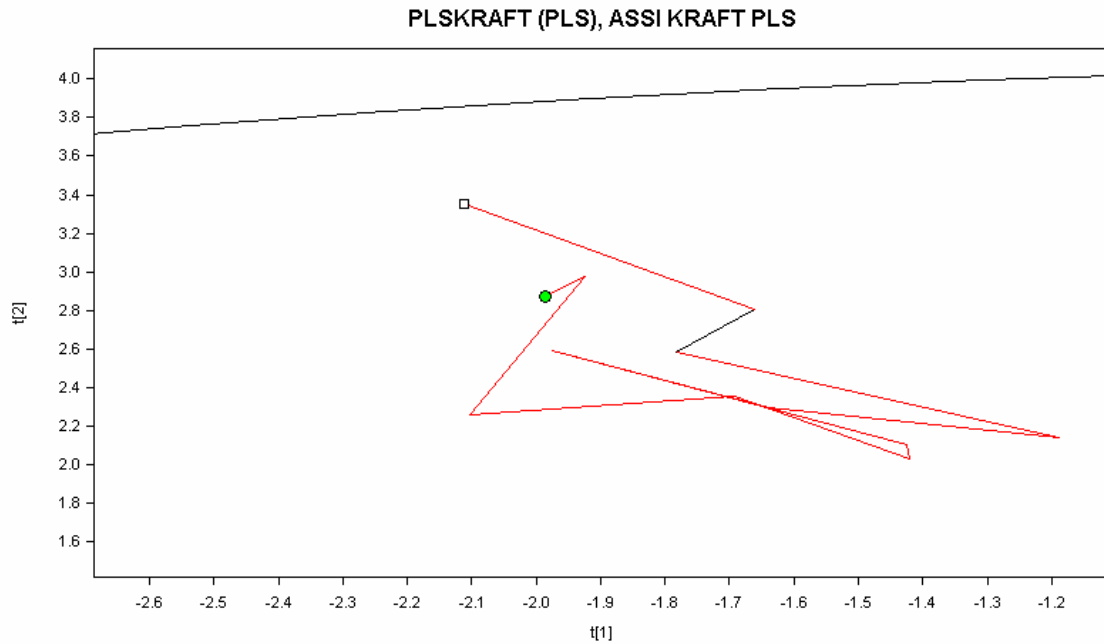
## 5.2.2 Resultat från PLS-modellering av pluggad data

Till skillnad från en PCA-modell där alla variabler är x-variabler så visar PLS modellen korrelationen mellan x- och y-variabler, d.v.s. PLS-modellen är en kalibreringsmodell. PLS ger möjlighet att optimera processen m.a.p. olika kvalitetsrelaterade variabler (y-variabler). Y-variablerna i denna kalibreringsmodell utgörs av suspenderade ämnen i mellansedimenteringen ( $S\ddot{A}_{70}$  och  $S\ddot{A}_{GF/A}$ ), totalfosfor, löst fosfor och TOC.

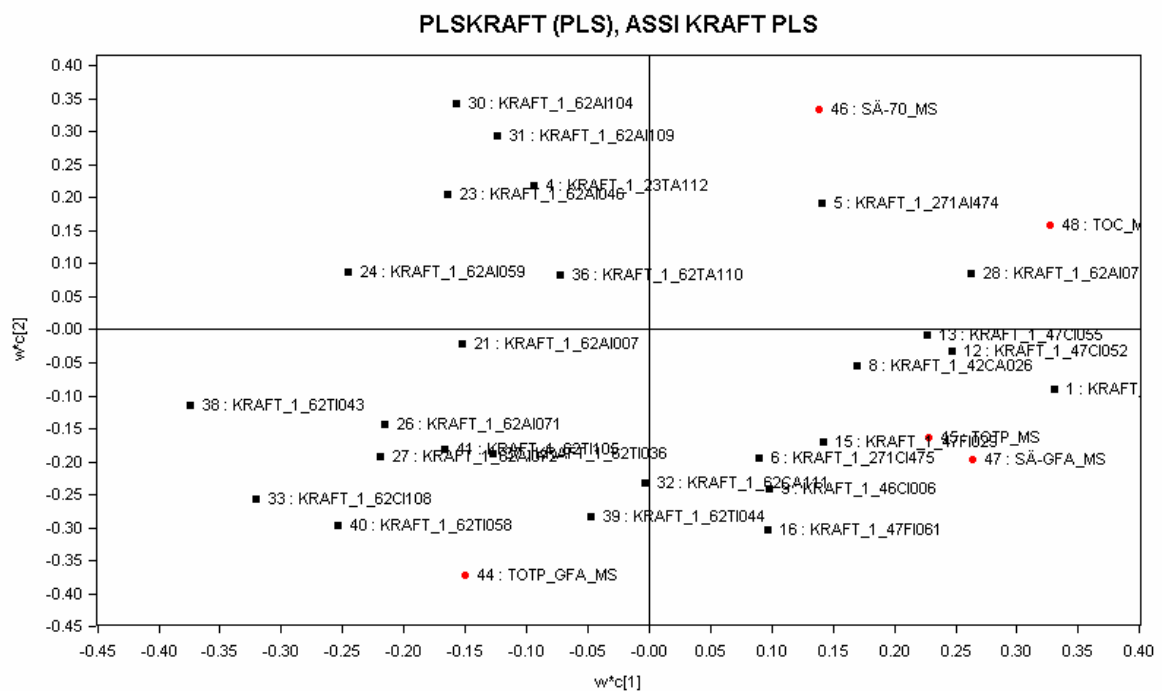
Kalibreringsmodellen utgörs av de grå punkterna i bakgrunden (figur 18). Den är annorlunda jämfört med PCA-modellen eftersom PLS-modellen även skall maximera korrelationen mellan x- och y-variablerna och inte endast beskriver den största variationen i objektrymden. PLS-modellen som skapades visade sig äga goda möjligheter att förutsäga de olika kvalitetsvariablernas värden.



Figur 18. Figuren visar PLS-modellens objektsprojektion, d.v.s. hur de olika mätpunkterna förhåller sig till varandra. Masken visar var modellen befinner sig i realtid (grön cirkel) samt hur processen varierat innan.



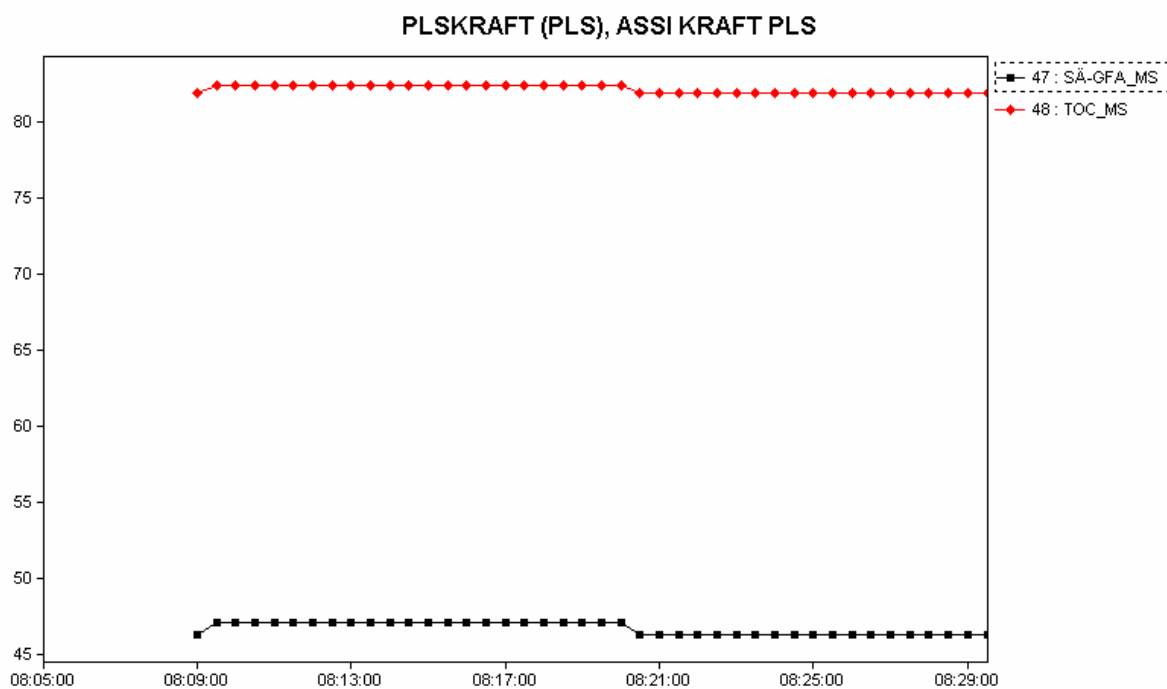
Figur 19. Figuren är en förstoring av processmasken i figur 18.



Figur 20. Variabelfiguren (även kallad variabelprojektion) visar hur modellens olika processvariabler förhåller sig till varandra samt hur de förhåller sig till våra y-variabler (röd punkter). Att det står KRAFT framför x-variablerna indikerar endast att mätvärdena för variablerna är baserade på objektsrelaterade mätningar. Variablerna är visade med deras ”tag”-namn. Bilaga 3 visar vilket ”tag”-namn som tillhör respektive variabel.

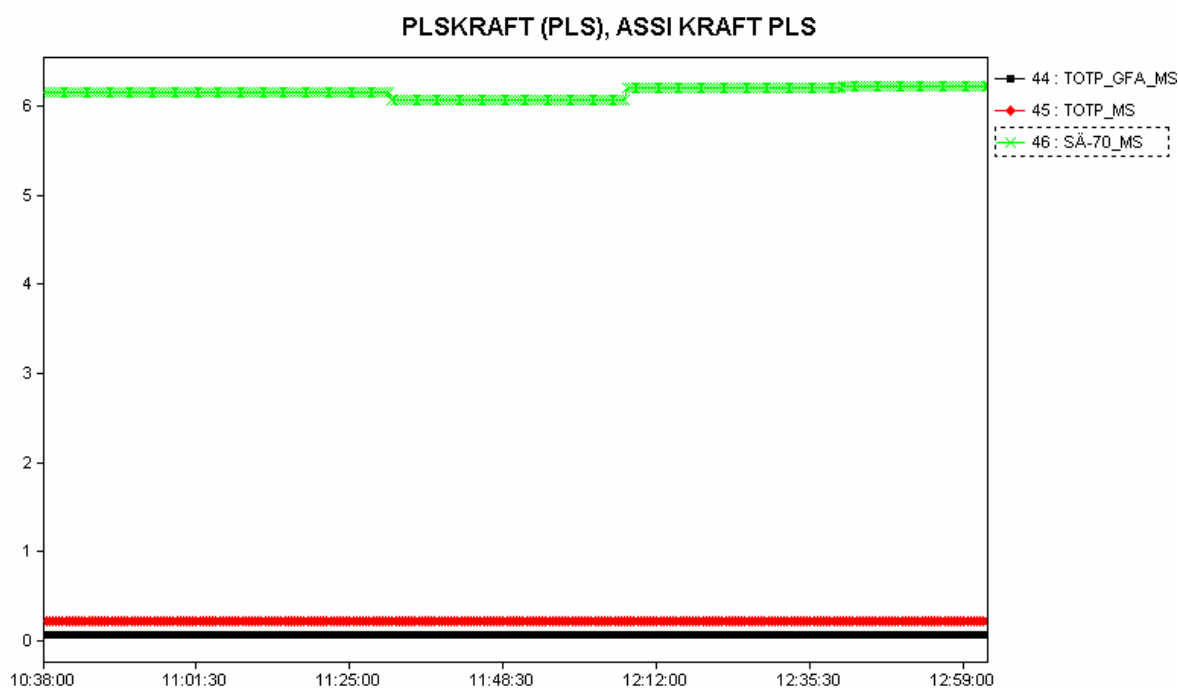


Variabelprojektion (figur 20) visar en karta över hur de olika processvariablerna (x-variablerna) samvarierar med kvalitetsvariablerna (y-variablerna) i modellen. Variabler som ligger nära en y-variabel indikerar att höga värden på variabeln samvarierar med höga värden på den närliggande y-variabeln. Om variablerna är motsatt riktade från origo betyder det att höga värden på processvariabeln samvarierar med låga värden på den motsatt riktade y-variabeln. Genom att studera objektsfigurer och relaterade variabelprojektioner samtidigt kan processoperatören snabbt få fram relevant information om orsaken till att processen befinner sig i det aktuella läget. Objektsfiguren (figur 18) visar att processen befinner sig i den vänstra övre kvadranten. Det innebär att processen i det aktuella läget har höga värden på de variabler som ligger orienterade i den övre vänstra kvadranten i variabelprojektion (figur 20). Då y-variablerna,  $S\ddot{A}_{GFA}$  och totalfosfor (som ligger i den nedre högra kvadranten), är motsatt riktade betyder det att processen i detta läge har haft låga  $S\ddot{A}_{70}$ - och totalfosfor-värden i utgående vatten från mellansedimenteringen. Om processen (masken) skulle röra sig ned mot den nedre högra kvadranten och således ha mindre gynnsamma betingelser, får processoperatören information från modellen om lämpliga åtgärder, genom att öka parametrarna i den övre vänstra kvadranten kommer processen att förflytta sig till ett gynnsammare läge.



Figur 21. Trendkurvor för beräknade kvalitetsvariabler. Denna figur visar TOC-halt och suspenderade ämnen i realtid i mellansedimentering. Denna viktiga information som processoperatören vanligtvis får en gång per dygn uppdateras i detta fall varje gång en plugg passerar, detta ger processoperatören helt nya möjligheter att styra processen.

När kalibreringsmodellen togs fram baserades den på information från y-variablerna som tagits fram i laboratoriet. Eftersom dessa värden inte analyseras on-line så kan man med fördel använda sig av modellen för att skatta halterna av suspenderat ämnen, fosfor och TOC genom att låta modellens värden på x-variablerna beräkna värdena på y-variablerna (TOC ansattes som en y-variabel då TOC-instrumentet var ur funktion under mätperioden realtidsmodellerna baserades på). Figurerna 21 och 22 visar skattningarna av värdena på fosfor, suspenderade ämnen, och organiskt material i realtid. Modellens validitet kan med fördel testas mot uppmätta laboratorievärden.



Figur22. Trendkurvor för beräknade kvalitetsvariabler. Denna figur visar hur total fosfor och filtrerade suspenderade ämnen varierar i realtid.

### 5.3 Sammanfattning och diskussion av huvudstudien

Pluggflödesmodellen som antagits är en bra grundmodell som ytterligare går att förfinas. En metod att rekommendera är att spårämnesförsök, som visar hur vattnet blandas om vid olika flödes hastigheter, bassängstorlekar, bassängutformningar och omröring. Detta är dock en mycket tidskrävande och kostsam metod.

De multivariata PCA- och PLS-modellerna fungerar mycket bra för den tidsperiod data de är baserade på. I PLS-modellen har on-line data kalibrerats mot dygnsrelaterade off-line data. Detta gör att modellen inte riktigt kommer till sin fulla rätt. En bättre upplösning på off-line data skulle med största säkerhet förbättra realtidsmodellens

förutsägningsförmåga och därmed skapa ett robust verktyg för processteknikerna att i realtid kunna få uträknade värden av kvalitetsvariabler att styra vattenreningsprocessen med. PCA-realtidsmodellen är ett utmärkt verktyg för processoperatörerna att övervaka processen med. Till skillnad från andra övervakningsmodeller, ger PCA-modellen överblick över alla variabler och dess interaktionseffekter simultant. Detta ger processoperatörerna en djupare insikt hur processvariablerna samverkar och en tidigare varning när processen flyttar sig från ett gynnsamt till ett mindre gynnsamt läge. PCA-modellen kan även snabbt förse processoperatörerna med kunskap hur de kan flytta reningsprocessen till ett önskat läge.

Den multivariata pluggflödesmodellen är den första i sitt slag och det finns tydliga indikationer till att detta kommer ligga till grund för framtidens processtyrning. En välkonstruerad modell kommer ge industrin stora möjligheter att optimera sina processer på såväl ekonomi, kvalitet och miljö.

## 6 Framtida mål

Initieringen och resultaten av detta projekt har tydligt visat på möjligheterna med att tillämpa multivariata processsystem i realtid för att få fram relevant processinformation. Grunden till denna tillämpning har varit att implementera en dynamisk databas för att samla produktionsrelaterade data och samtidigt utvärdera den omfattande datamängden med multivariata modeller i realtid. Tillämpningen som gjorts i detta projekt är helt unik och resultaten har visat sig vara intressanta, men eftersom tillämpningen är helt ny och inga andra referenser finns är den omedelbara planen att det installerade systemet får fortsätta att vara i drift för ytterligare förfining och utvärderingar.

Mervärdet av de erfarenheter som kan fås med ytterligare data när huvudjobbet d.v.s. implementeringen av systemet är gjort, är mycket stort. Det faktum att konceptet är nytt gör att det även är viktigt för processoperatörerna att samla på sig ytterligare erfarenheter av användandet och göra sig mer bekanta med systemet.

Den framtida applikationen på reningsverket är att ur ett helt nytt perspektiv gå in och optimera processen på ett resurseffektivare sett. Frågeställningar som, hur mycket kan luftflödet reduceras (samt reduktion av polymer eller/och fällningskemikalie) innan kvalitén på det utgående vattnet försämras blir möjliga att svara på, eftersom modellerna visar hur de olika processvariablerna samvarierar med avseende på olika typer av kvalitetsvariabler. Att tillämpa traditionella univariata övervakningsmetoder gör det mycket svårt att förstå hur hela processen påverkas då enskilda processvariabler ändras.

Projektet har levererat ett verktyg snarare än en specifik processlösning vilket givetvis även i framtiden gör det intressant att använda detta verktyg för att optimera andra del-

processer inom skogsindustrin, såsom massakokare och pappersmaskiner. Dessa processer påverkas givetvis även de av den råvara som kommer in och av hur processoperatören "kör" sin process. Implementering av multivariata realtidssystem för processövervakning och kontroll kommer sannolikt att ge ökade möjligheter att även på dessa processer finna nya och mer resurseffektiva processoptimeringsmöjligheter.

## Appendix

### Bilaga 1. Off-line parametrar Assi Domän Frövi

Förkortning	Fullständigt namn	Enhet
GFA_L1	SÄ <sub>GF/A</sub> -filtrat i början av luftade zonen	mg/l
GFA_L2	SÄ <sub>GF/A</sub> -filtrat i slutet av luftade zonen	mg/l
GFA_Anox	SÄ <sub>GF/A</sub> -filtrat i anoxiska zonen	mg/l
Fiberhalt_L2	Fiberhalt i luftningszon	mg/l
SV30_L1	Slamvolym efter 30 min i början av luftade zonen	ml/l
SV30_L2	Slamvolym efter 30 min i slutet av luftade zonen	ml/l
SV30_Anox	Slamvolym efter 30 min i anoxiska zonen	ml/l
SVI_L1	Slamvolymindex i början av luftade zonen	ml/g
SVI_L2	Slamvolymindex i slutet av luftade zonen	ml/g
SVI_Anox	Slamvolymindex i anoxiska zonen	ml/g
Oversk_slam	Flödet överskottsslam	m <sup>3</sup> /d
Slamalder	Slamalder	dygn
Flagell_Anox	Flagellater i anoxiska zonen	antal/mikroliter
Flagell_L1	Flagellater i början av luftade zonen	antal/mikroliter
Flagell_L2	Flagellater i slutet av luftade zonen	antal/mikroliter
Cili_fast_Anox	Fastsittande ciliater i anoxiska zonen	antal/mikroliter
Cili_fast_L1	Fastsittande ciliater i början av luftade zonen	antal/mikroliter
Cili_fast_L2	Fastsittande ciliater i slutet av luftade zonen	antal/mikroliter
Cili_fri_Anox	Frisimmande ciliater i anoxiska zonen	antal/mikroliter
Cili_fri_L1	Frisimmande ciliater i början av luftade zonen	antal/mikroliter
Cili_fri_L2	Frisimmande ciliater i slutet av luftade zonen	antal/mikroliter
Hjuldjur_Anox	Hjuldjur i anoxiska zonen	antal/mikroliter
Hjuldjur_L1	Hjuldjur i början av luftade zonen	antal/mikroliter
Hjuldjur_L2	Hjuldjur i slutet av luftade zonen	antal/mikroliter
Frisim_bakt_Anox	Frisimmande bakterier i anoxiska zonen	antal/mikroliter
Frisim_bakt_L1	Frisimmande bakterier i början av luftade zonen	antal/mikroliter
Frisim_bakt_L2	Frisimmande bakterier i slutet av luftade zonen	antal/mikroliter
Filament_Anox	Filament i anoxiska zonen	mm/mikroliter
Filament_L1	Filament i början av luftade zonen	mm/mikroliter
Filament_L2	Filament i slutet av luftade zonen	mm/mikroliter
TOC_Anox	TOC i anoxiska zonen	mg/l
TOC_L1	TOC i början av luftade zonen	mg/l
TOC_L2	TOC i slutet av luftade zonen	mg/l
Gruml_Anox	Turbiditet i anoxiska zonen	FNU
Gruml_L1	Turbiditet i början av luftade zonen	FNU
Gruml_L2	Turbiditet i slutet av luftade zonen	FNU
Utg_SD_pH	Utgående spilldamm pH	pH

<b>Förkortning</b>	<b>Fullständigt namn</b>	<b>Enhet</b>
Utg_SD_Lednf.	Utgående spilldamm ledningsförmåga	mS/m
Utg_SD_TOC	Utgående spilldamm TOC	mg/l
Utg_SD_COD	Utgående spilldamm COD	mg/l
Utg_SD_SA70	Utgående spilldamm SÄ <sub>70</sub>	mg/l
Utg_SD_SAGFA	Utgående spilldamm SÄ <sub>GF/A</sub>	mg/l
Utg_SD_Tot P	Utgående spilldamm totP	mg/l
Utg_SD_Flode	Utgående spilldamm flöde	m <sup>3</sup> /h
Ing_LAS_GFA	Ingående LAS SÄ <sub>GF/A</sub> -filtrat	mg/l
Ing_LAS_SA70	Ingående LAS SÄ <sub>70</sub>	mg/l
Ing_LAS_COD	Ingående LAS COD	mg/l
Ing_LAS_totP	Ingående LAS total fosfor	mg/l
Ing_LAS_Flode	Ingående LAS flöde	m <sup>3</sup> /h
Ing_LAS_CODtot	Ingående LAS CODtot	mg/l
Ing_LAS_P	Ingående LAS löst fosfat	mg/l
Ing_LAS_P/COD	Ingående LAS förhållandet mellan P och COD	ratio
Utg_MS_totP_GFA	Utgående mellansedimentering totP <sub>GF/A</sub> -filtrat	mg/l
Utg_MS_SA70	Utgående mellansedimentering SÄ <sub>70</sub>	mg/l
Utg_MS_SA_GFA	Utgående mellansedimentering SÄ <sub>GF/A</sub>	mg/l
Utg_MS_TOC	Utgående mellansedimentering TOC	mg/l
UTG_SA70	Utgående SÄ <sub>70</sub> till recipient	mg/l
UTG_SA_GFA	Utgående SÄ <sub>GF/A</sub> till recipient	mg/l
UTG_COD	Utgående COD till recipient	mg/l
UTG_COD_GFA	Utgående COD <sub>GF/A</sub> -filtrat till recipient	mg/l
UTG_totP	Utgående totP till recipient	mg/l
UTG_Flode	Utgående flöde till recipient	m <sup>3</sup> /h

## Bilaga 2. On-line parametrar Assi Domän Frövi

Förkortning	Fullständigt namn	Enhet
Flode SVG	Smutsvattengrops flöde	l/s
LEDN.F SVG	Smutsvattengrops ledningsförmåga	mS/m
pH SVG	Smutsvattengrops pH	pH
TEMP SVG	Smutsvattengrops temperatur	C
LEDN.F Mix	Mixerits ledningsförmåga	mS/m
LEDN.F5-6 kar	5-6:ans kars ledningsförmåga	mS/m
Flode5-6 kar	5-6:ans kars flöde	l/s
pH5-6 kar	5-6:ans kars pH	pH
TEMP5-6 kar	5-6:ans kars temperatur	C
LEDN.F_Blek	Blekerivattnets ledningsförmåga	mS/m
Flode_Blek	Blekerivattnets flöde	l/s
PH_Blek	Blekerivattnets pH	pH
LEDN.F_KMS	KM 5 ledningsförmåga	mS/m
Flode_KMS	KM 5 flöde	l/s
pH_KMS	KM 5 pH	pH
TEMP_KMS	KM 5 temperatur	C
LEDN.F_2-4	Kar 2-4:an kondensatets ledningsförmåga	mS/m
Flode_2-4	Kar 2-4:an kondensatets flöde	l/s
LEDN.F_5-6	Kar 5-6:an kondensatets ledningsförmåga	mS/m
Flode_5-6	Kar 5-6:an kondensatets flöde	l/s
LEDN.F_Prim	Primärkondensatets ledningsförmåga	mS/m
Flode_Prim	Primärkondensatets flöde	l/s
LEDN.F_Mavan	Mavans ledningsförmåga	mS/m
LEDN.F_Vitlutox	Vitlutoxidationens ledningsförmåga	mS/m
LEDN.F_Svalltorn	Svalltornets ledningsförmåga	mS/m
TEMP_FS_ING	Ingående försedimenteringsvattens temperatur	C
pH_FS_ING	Ingående försedimenteringsvattens pH	pH
TEMP_FS_UTG	Utgående försedimenteringsvattens temperatur	C
TEMP_VVX1	Temperatur efter värmeväxlare 1	C
TEMP_VVX2	Temperatur efter värmeväxlare 2	C
PH_Anox	pH i anoxiska zon	pH
TEMP_Anox	Temperatur i anoxiska zon	C
PH_L1	pH i luftad zon 1	pH
TEMP_L1	Temperatur i luftad zon 1	C
Syre_L1	Syre i luftad zon 1	%
Syre_L2	Syre i luftad zon 2	%
TEMP_MS	Temperatur i ingående vatten till mellansedimentering	C
LEDN.F_ES	Utgående vattens ledningsförmåga	mS/m
Flode_ES	Utgående vattens flöde	l/s
PH_ES	Utgående vattens pH	pH
TEMP_ES	Utgående vattens temperatur	C

### Bilaga 3. On-line parametrarnas tag- och flödespluggnamn

Förkortning	Tag namn	Flödesplugg namn
pH5-6 kar	23AA091	KRAFT_1_23AA091
LEDN.F5-6 kar	23CI092	KRAFT_1_23CI092
Flode5-6 kar	23FA105	KRAFT_1_23FA105
TEMP5-6 kar	23TA112	KRAFT_1_23TA112
PH Blek	271AI474	KRAFT_1_271AI474
LEDN.F Blek	271CI475	KRAFT_1_271CI475
Flode Blek	271FI579	KRAFT_1_271FI579
LEDN.F Mavan	42CA026	KRAFT_1_42CA026
LEDN.F Mix	46CI006	KRAFT_1_46CI006
LEDN.F Vitlutox	46CI379	KRAFT_1_46CI379
LEDN.F 5-6	47CI014	KRAFT_1_47CI014
LEDN.F 2-4	47CI052	KRAFT_1_47CI052
LEDN.F Prim	47CI055	KRAFT_1_47CI055
Flode 2-4	47FI025	KRAFT_1_47FI025
Flode Prim	47FI029	KRAFT_1_47FI029
Flode 5-6	47FI061	KRAFT_1_47FI061
pH_KMS	52AI321	KRAFT_1_52AI321
LEDN.F_KMS	52CI320	KRAFT_1_52CI320
Flode_KMS	52FI061	KRAFT_1_52FI061
TEMP_KMS	52TI318	KRAFT_1_52TI318
PH_FS_ING	62AI007	KRAFT_1_62AI007
PH Anox	62AI045	KRAFT_1_62AI045
SYRE_L2	62AI046	KRAFT_1_62AI046
PH_L1	62AI059	KRAFT_1_62AI059
SYRE_L1	62AI060	KRAFT_1_62AI060
SUSP_UTG_MS	62AI071	KRAFT_1_62AI071
SUSP_LUFTZON	62AI072	KRAFT_1_62AI072
Redox_anox	62AI074	KRAFT_1_62AI074
TOC_utg mellan	62AI075	KRAFT_1_62AI075
PH_ES	62AI104	KRAFT_1_62AI104
pH_SVG	62AI109	KRAFT_1_62AI109
LEDN.F_Svalltorn	62CA111	KRAFT_1_62CA111
LEDN.F_SVG	62CI108	KRAFT_1_62CI108
Flode_ES	62FI102	KRAFT_1_62FI102
Flode SVG	62FI107	KRAFT_1_62FI107
TEMP SVG	62TA110	KRAFT_1_62TA110
TEMP_FS_UTG	62TI036	KRAFT_1_62TI036
TEMP_MS_ING	62TI043	KRAFT_1_62TI043
TEMP_MS	62TI043	KRAFT_1_62TI043
TEMP_Anox	62TI044	KRAFT_1_62TI044
TEMP_L1	62TI058	KRAFT_1_62TI058
TEMP_ES	62TI105	KRAFT_1_62TI105
TEMP_VVX1	62TT040	KRAFT_1_62TT040
TEMP_VVX2	62TT043	KRAFT_1_62TT043