



rapport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Resurseffektiv optimering av fosfateringsprocessen

Staffan Filipsson, Jonas Röttorp, Ulrika Bark

B 1401-A

Stockholm, april 2001



Organisation/Organization IVL Svenska Miljöinstitutet AB IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.	RAPPORTSAMMANFATTNING Report Summary
Adress/address Box 21060 100 31 Stockholm	Projekttitel/Project title Centrum för Avloppsvattenfria Processer
Telefonnr/Telephone 08-08-587 563 00	Anslagsgivare för projektet/ Project sponsor Naturvårdsverket, Scania, Volvo TU, Alcro-Beckers, Reci Industries, Avesta Sheffield
Rapportförfattare/author Staffan Filipsson, Jonas Röttorp, Ulrika Bark	
Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report Resurseffektiv optimering av fosfateringsprocessen	
Sammanfattning/Summary Denna rapport visar hur kvalitetsoptimering och resurseffektivisering av en process kan genomföras parallellt. Detta har åstadkommit genom att: <ul style="list-style-type: none">• Identifiera vilka processparametrar i fosfateringsprocessen som har störst påverkan på produktkvaliteten, i detta fall definierad som fosfateringsskiktets tjocklek (skiktvtikt) samt färgens vidhäftning• Upprätta en god överblick över flödena i processen (kemikalier och vatten) för att på så sätt identifiera var och hur de största resursförlusterna sker samt hur de ur kvalitetssynpunkt mest förorenande ämnen sprids i processen• Utföra försök och beräkningar med syfte att förbättra recirkuleringen av vatten och kemikalier i processen i de delprocesser som enligt ovan har störst påverkan på produktkvaliteten och resursförbrukningen Resultatet av arbetet har varit lyckosamt och visar att arbetsmodellen för “Resurseffektiv kvalitetsoptimering” fungerar väl och kan tillämpas då man vill optimera sin process ur kvalitets- och miljösynpunkt parallellt.	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren /Keywords Fosfatering, resursförbrukning, kvalitet, recirkulering, separationsteknik, skiktvtikt, vidhäftning, lackering, kemikalieåtervinning, sköljvatten, avfettning, passivering, membranfiltrering, nanofiltrering, omvänd osmos, jonbyte Phosphating, resources, quality, recirculation, separation technology, phosphate layer density, adhesion of paint, recovery of chemicals, rinse water, degreasing, passivation, membrane filtration, nano filtration, reverse osmosis, ion exchange	
Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data IVL Rapport/report B 1401-A	
Beställningsadress för rapporten/Ordering address IVL, Publikationsservice, Box 21060, S-100 31 Stockholm fax: 08-598 563 90, e-mail: publicationservice@ivl.se	

Innehållsförteckning

Sammanfattning	1
Summary	1
1. Inledning	3
2 Processbeskrivning	5
2.1 Kända orsaker till störning	6
2.2 Recirkuleringstekniker	7
2.2.1 Membranfiltrering	7
2.2.2 Jonbytare	7
2.2.3 Övriga separationstekniker	8
3 Multivariat utvärdering av samspelseffekter	8
3.1 Multivariata metoder	9
3.2 Processbeskrivning och data struktur	9
3.3 Metod del 1- badjournalsdata	9
3.4 Resultat del 1- Badjournalsdata	10
3.5 Resultatdiskussion – Del 1	10
3.6 Metod - Del 2, Provtagningskampanj	11
3.7 Resultat – Del 2	11
3.8 Modellering av andra kvalitetsparametrar	12
3.9 Resultat – Skikt vikt	12
3.10 Resultat - Elasticitet på våta prover	14
3.11 Diskussion - Del 2	16
3.12 Slutsatser	17
4 Massbalans	18
4.1 Utförande	19
4.2 Resultat	20
4.2.1 Vätskeflöden	21
4.3 Kemikaliebalans	23
4.4 Förslag till åtgärder för förbättrad uppföljning	25
5 Önskvärda åtgärder för minskad resursförbrukning	26
5.1 Recirkulering av sköljvatten efter avfettning	27
5.1.1 Behandlingsteknik	28
5.1.2 Kemikaliercirkulering	29
5.1.3 Koppling av resursförbrukande åtgärder till kvalitetsaspekter	29
5.2 Recirkulering av sköljvatten efter fosfatering, G07	30
5.2.1 Behandlingsteknik och kemikaliercirkulering	31
5.2.2 Koppling av resursförbrukande åtgärder till kvalitetsaspekter	32
5.2.3 Förslag på andra resursbesparande åtgärder	33

Sammanfattning

Denna rapport visar hur kvalitetsoptimering och resurseffektivisering av en process kan genomföras parallellt. Detta har åstadkommit genom att:

- Identifiera vilka processparametrar i fosfateringsprocessen som har störst påverkan på produktkvalitén, i detta fall definierad som fosfateringsskiktets tjocklek (skiktvik) samt färgens vidhäftning
- Upprätta en god överblick över flödena i processen (kemikalier och vatten) för att på så sätt identifiera var och hur de största resursförlusterna sker samt hur de ur kvalitetssynpunkt mest förorenande ämnen sprids i processen
- Utföra försök och beräkningar med syfte att förbättra recirkuleringen av vatten och kemikalier i processen i de delprocesser som enligt ovan har störst påverkan på produktkvalitén och resursförbrukningen

Resultatet av arbetet har varit lyckosamt och visar att arbetsmodellen för "Resurseffektiv kvalitetsoptimering" fungerar väl och kan tillämpas då man vill optimera sin process ur kvalitets- och miljösynpunkt parallellt.

Summary

This report shows that optimisation of both quality and resources can be done in parallel to each other. This has been achieved through:

- Identification of those parameters which have the greatest impact on product quality, in this case defined as phosphate layer density and the adhesion of paint
- Establish of a good overview of chemical- and water flows in the process. This is important for the identification of where and how resources and impurities (that affects the product quality) are spread and lost in the process
- Tests and calculation with the aim to improve the recirculation of water and chemicals in those sub-processes that was identified above to have the greatest impact on quality and resources issues.

The result of the work shows that the model for “Resource efficient optimisation of quality” works well and can be applied when processes have to be improved in both quality and environmental aspects.

1. Inledning

I denna rapport sammanfattas det arbete som utförts som delprojekt inom Centrum för avloppsvattenfria Processer, CAP. För en mer detaljerad beskrivning hänvisas till bilagor som är samlade i en separat B-rapport (B1401-B). Bilagedelen är utformad så att den kan läsas sammanhållet utan hänvisningar till denna sammanfattning.

Centrum för Avloppsvattenfria Processer, CAP

Arbetet som beskrivs i denna rapport har utgjort ett delprojekt i IVLs delkollektiva program Centrum för Avloppsvattenfria Processer, CAP. Syftet med CAP är att förbättra kunnandet om slutning av processer för att på så sätt erhålla mer hållbara produktionsprocesser. Projektet har finansierats av bland andra Scania, Volvo TU, Avesta Sheffield, Sydkraft, Alcro-Beckers Reci Industries samt Naturvårdsverket.

Komplexiteten vid processoptimering och införandet av mer slutna processer, där kravet på ökad kvalitet ska samverka med minskad miljöbelastning, kräver ett nära samarbete mellan produktion, utveckling och tillämpad forskning. Att optimera eller öka slutningsgraden i en befintlig process är komplext och ställer stora krav både på kunnandet om produktionsprocessen och kunnandet om den separationsprocess som krävs för att recirkulera vatten och/eller kemikalier tillbaka till processen.

I dagsläget gäller ofta två steg framåt och ett bakåt då processoptimering och slutning av processer ska genomföras. Ett av de större problemen är att processerna ofta styrs erfarenhetsmässigt utan exakt kunskap om vilka faktorer och gränser som är kritiska för att kvalitén ska säkerställas eller förbättras. Detta försvårar optimering av processen och val av separationsteknik vid införande av en mer sluten process.

Tanken med CAP är att närmare knyta ihop företagets produktionskunnande och realistiska frågeställningar med IVLs tillämpade forskning inom detta område. Genom försök bedöms olika optimerings- och separationsalternativ objektivt samtidigt som exempelvis multivariat analys (MVA) används för att förbättra kunskapen om vilka processparametrar som är kritiska för produktkvalitén. Genom att kombinera en ökad recirkuleringsgrad med processoptimering kan både resursförbrukning, kvalitet och ekonomi pressas. Inom nätverket utbyter också de medverkande sina egna erfarenheter av arbetet mot allt resurseffektivare processer.

Delprojektet ”Resurseffektiv optimering av fosfateringsprocessen”

Det delprojekt som beskrivs i denna rapport, Resurseffektiv optimering av fosfateringsprocessen, har en fallstudie utförts av Scantias fosfateringsanläggning för lastbilshytter i Oskarshamn. Denna fosfateringsanläggning är redan hårt sluten på sköljvattensidan men

Scania har ambitionen att ytterligare minska vattenförbrukningen, minimera avfallsmängden och samtidigt ytterligare förbättra kvalitén hos fosfateringsskiktet.

Huvudsyftet med detta delprojekt har varit att ta fram en arbetsmodell som innebär att en processen kan optimeras med avseende på både kvalitét och resursförbrukning och att detta ska utföras parallellt i ett samlat grepp.

För att komma framåt med denna ansatts måste man i första hand öka kunskapen om den process som avses att optimeras. De främsta luckorna är ofta bristande kunskaper om vilka parametrar som styr processen och därmed den slutgiltiga produktkvalitén. Dessa parametrar kan utgöras av exempelvis koncentrationen av processkemikalier och föroreningar, temperaturer, spruttryck etc. Komplexiteten ökar ytterligare på grund av att samvariationer mellan de olika parametrarna förekommer.

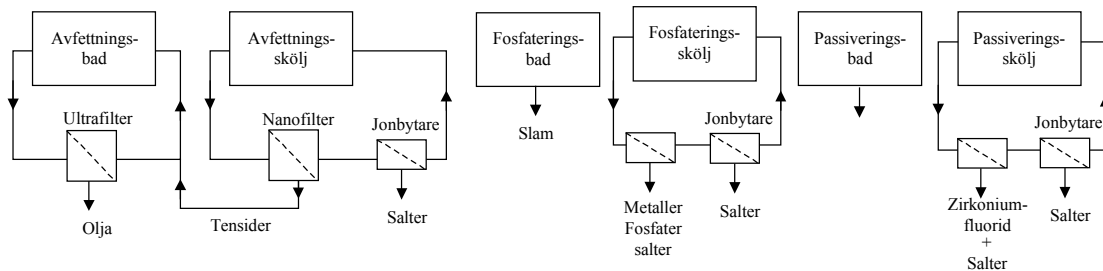
En annan viktig kunskap vid optimering av processen är hur vätske- och kemikalieflödena sker både i delsteg av processen men också i processen som helhet. Utan en sådan materialbalans vet man inte var och hur optimering med avseende på resursförbrukning och kvalitét bör utföras. Dessutom ger bristande kunskaper om massflöden också osäkerhet i hur optimeringen ska och kan utformas.

För att förbättra kunskapen om fosfateringsprocessen har den utförda fallstudiens delmoment bland annat varit följande:

- * Att upprätta materialbalans uppdelad på samtliga delprocesser vid anläggningen. Materialbalansen omfattar både vattenflöden, processkemikalier och föroreningar. Med hjälp av materialbalansen ska tydliggörs var i processen som vatten och processkemikalier går förlorade. Dessutom avslöjas hur föroreningar sprids och ackumuleras i processen.
- * Att under längre tid följa upp samvariationer i processen med hjälp av multivariat analys (MVA). Ett led i detta arbete är korrosionsstudier som utförs av Korrosionsinstitutet på provplåtar som uttagits vid olika processtatus.
- * Att identifiera problem som är förknippade med slutning av processerna samt att föreslå åtgärder för att lösa dessa.
- * Att föra dialog med kemikalieleverantörer och andra experter för att öka kunskapen om vilka parametrar som styr och begränsar processen.
- * Att genom rätt val av processkemikalier erhålla bättre separations- och processbetingelser vid recirkulering.
- * Att via optimeringsåtgärder öka koncentreringsgraden vid recirkuleringen och därmed även minska mängden avfall.
- * Att med hjälp av bland annat MVA öka förståelsen för vilka processparametrar som styr fosfateringsresultatet.

2 Processbeskrivning

Nedan återfinns en kortfattad beskrivning av fosfateringsprocessen i Oskarshamn. En något mer utförlig beskrivning återfinns i bilaga 2.



Figur 2.1 Principen för fosfateringsanläggningen för lastbilshytter vid Scania i Oskarshamn. De tekniker som finns installerade för recirkulering av sköljvatten och processkemikalier framgår också av figuren.

Fosfatering av metallytor innebär att materialet får en oorganisk fosfatbeläggning som skydd mot korrosion och för att ge förbättrad vidhäftning åt efterföljande lackering. Fosfateringen består av en mängd olika delsteg och Scantias fosfateringslinje är indelad i 12 stycken delprocesser.

Inledningsvis avfettas godset i två steg; föravfettning (steg G02) och avfettning (steg G03) i en svagt alkalisk lösning för att avlägsna oljerester från pressningen av plåten. Det är mycket viktigt att ytorna är rena och avfettningssteget efterföljs av ett sköljsteg (steg G04), där rester av avfettningsmedlet sköljs bort. Nästa steg är ett aktiveringssteg (steg G05), vars syfte är att ge grund för ett finkristallint fosfatskikt. Ett vanligt och bra aktiveringsämne är kolloidal titanfosfat. Titanfosfatpartiklar adsorberas på metallytan och de fungerar som kristallkärnor vid zink-nickel-fosfatering av ytan. Titanfosfat har visat sig vara ett mycket bra aktiveringsämne, eftersom det alltid bildar mycket små kristaller.

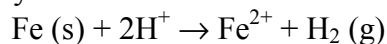
I själva fosfateringssteget (steg G06) sker först en betningsreaktion där metalloxid och delar av den underliggande metallen löses upp vid kontakt med fosforsyra i badet. Zink-nickel-fosfat ger sedan ett skyddande ytskikt på godset. Efterföljande steg är efter sköljning (steg G07) zirkonium-passivering (steg G08), vars syfte är att öka vidhäftning och korrosionsbeständighet på godsytan. Efter ytterligare ett sköljsteg (steg G09) förs godset vidare till ett avrinningssteg (tilt) innan det torkas i ugn för att slutligen lackeras i två omgångar; först grundmålning med pulverlack och till sist slutlackering med täcklack.

De huvudreaktioner som sker vid zink-nickelfosfatering är följande:

Vid fosfatering av stål sker först en elektrokemisk upplösning av oxidskiktet:

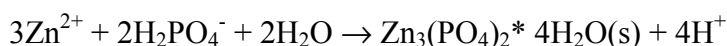


Fosforsyra attackerar därefter den oxidfria metallytan i en betningsreaktion:

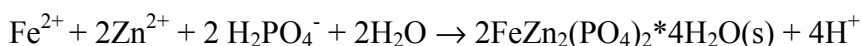


Upplöst järn faller ut och bidrar till ett överskott av tvåvärt järn i fosfatbadet. För att oxidera järnet används nitrit och trevärt järn bildar ett slam med fosfatjonerna.

Vid betningsreaktionen förbrukas vätejoner och bidrar till en pH-höjning. Denna pH-höjning leder till att zink-fosfats löslighetsprodukt överskrids och hopeit bildas:



På stål kommer Fe^{2+} från betningsreaktionen bilda fosfocyllit:



Den viktigaste reaktionen i fosfateringsprocessen är kärnbildningen av zink-nickel-fosfat kristaller. Antalet kärnor som bildas bestämmer egenskaperna hos fosfatskiktet. Ett stort antal kärnor resulterar i ett finkornigt skikt, medan få kärnor ger ett grovt skikt som tar lång tid att färdigställa. För att kärnor ska bildas måste lösningen vara mättad med zink-nickel fosfat.

Huvudkomponenter i fosfatlösningen är fosforsyra, nickel- och zinkjoner och tillsatser som påskyndar bildningen av fosfatskiktet. Vid fosfateringen hos Scania i Oskarshamn tillsätts nitrit NO_2^- som accelerator; dvs för att minska den tid som krävs för att färdigställa fosfatskiktet. Nitrit har även en starkt oxiderande effekt; Fe^{2+} som bildas i processen och innebär ett badgift oxideras härigenom till Fe^{3+} (Tegnander 1992).

2.1 Kända orsaker till störning

Det finns vissa ämnen som har en negativ inverkan på processen – som försämrar kvaliteten hos godset eller på annat sätt stör fosfateringen. Som vanliga exempel på sådana ämnen kan nämnas:

Fe^{2+} kommer från betningsreaktionerna (se ovan) på plåten och kan skapa korrosionsproblem.

Cl^- kan ge ”whitespots” vid koncentrationer över 30 ppm.

Al stör fosfatbesiktningen på stål om det förekommer i halter > 5 ppm (Tegnander 1992).

Ett innehåll av krom i fosfateringsbadet kan störa processen redan vid mycket små mängder. Krom inaktiverar fosfateringskemikalierna och passiverar även metallytan innan fosfateringsreaktionerna hunnit ske (Scislowski 1991).

Vid fosfatering, där nitrit utgör accelerator, har man kunnat visa att koncentrationerna av både badkemikalier och nitrit spelar en stor roll för att kontrollera stabiliteten hos processbadet (K. B. Roy et. al. 1993).

Nitrit spelar en viktig roll i fosfateringsbadet, då det har en funktion som accelerator / oxidationsmedel. Det järn som bildas i fosfateringsreaktionen, bildar i sin tur ett badgift då det reagerar med fosfatet. Denna reaktion sker på bekostnad av fosfateringen av metallytan. Nitrit tillsatt till badet bidrar till oxidering av det tvåvärda järnet till mindre reaktivt trevärt järn. På så sätt påskyndas den önskade fosfateringen. Alltför höga halter av nitrit kan emellertid orsaka problem såsom ”dammiga” godsytter eller en plötslig och okontrollerbar nedbrytning av badet. Det senare händer vanligen vid hög badålder då dess innehåll av järn är högt (Scislowski 1991).

2.2 Recirkuleringstekniker

En stark bidragande orsak till att just denna fosfateringslina valdes för de utförda fallstudierna är att den har betydande grad av slutning på både vatten- och luftsidan (ventilationen). De recirkuleringstekniker som finns installerade framgår av figur 2.1. Nedan återfinns en kort redogörelse för respektive teknik. Av bilaga 8 och 9 framgår också principen för membranfiltrering och jonbytesteknik.

2.2.1 Membranfiltrering

Ett ultrafilter finns för behandling av avfettningsstegen men används endast för avskiljning av olja ur avfettningsbadet G03. Koncentratet innehållande olja skickas för externt omhändertagande. Permeatet som främst innehåller avfettningskemikalier återförs till avfettningsbadet.

För recirkulering av sköljvatten efter avfettning (G04) finns ett nanofiltreringsfilter installerat. Tanken har varit att koncentratet innehållande främst tensider skulle återföras till avfettningsbadet och att permeatet skulle recirkuleras tillbaka till sköljbadet via jonbytare (se nedan) för avsättning. På grund av problem med igensättning har dock ingen återföring av koncentratet skett.

För framställning av avjonat vatten till processen används en omvänd osmosanläggning i serie med en blandbäddjonbytare och ett aktiv kolfilter.

2.2.2 Jonbytare

Sammanlagt sex par jonbytare (kat- och anjonbytare) används för avsättning av sköljvatten i processen. Jonbytarparen A001 och A002 recirkulerar nanofiltreringspermeat från behandling av avfettningssköljvatten i G04 tillbaka till G04. Jonbytarparen

A003 och A004 recirkulerar sköljvatten efter fosfatering (från G07A till G07B).
Jonbytarparen A005 och A006 recirkulerar passiveringssköljvatten i G09.

Dessutom behandlar jonbytarparet A007 vatten från tilten (avrinning efter slutskölj).

2.2.3 Övriga separationstekniker

En skimmer avskiljer flytolja i G02 som skickas för externt omhändertagande. Dessutom avskiljs sedimenterande partiklar över en slamavskiljare i G02.

En lamellsedimenteringsutrustning avskiljer fosfateringslam i fosfateringssteget G06 vilket skickas separat för omhändertagande externt.

I den värmeväxlare som finns installerad på ventilationen från delstegen sker dels en kondensation av vattenånga och dels en sönderslagning av aerosoler. Dessa vätskor benämns ”kondensatvatten” och förs numera till reningsverket (tidigare till jonbytarparet A007, se ovan).

3 Multivariat utvärdering av samspelseffekter

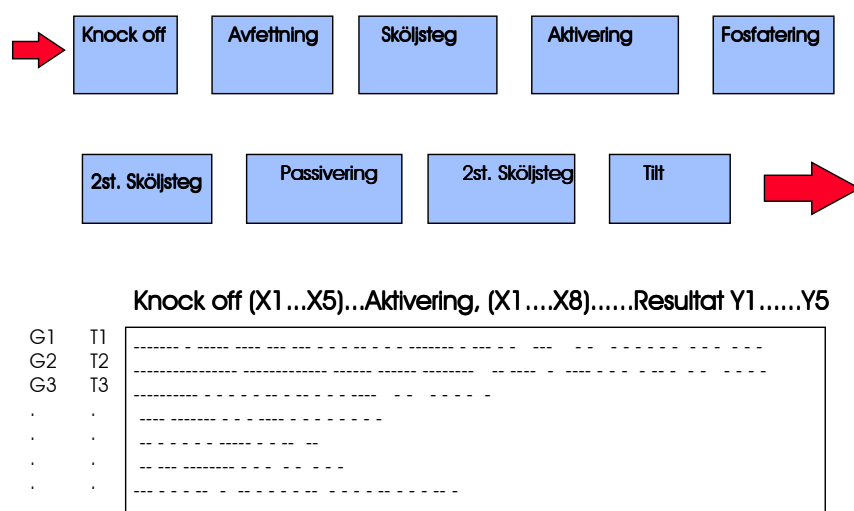
I modern process- och tillverkningsindustri ställs allt högre krav på kvalitet och effektivitet. Dessutom är processerna ofta komplexa vilket gör att det är svårt att identifiera de processorsaker som ger kvalitets störningar. Installation av givare ökar möjligheterna att styra och övervaka processerna i realtid. Ett flertal givare och laboratorierelaterade data i kombination med långa mätserier ställer även ökade krav på sammanställning och utvärdering av processdata. Traditionella utvärderingsmetoder och traditionella processövervakningsapplikationer visar hur en process förändras med avseende på en parameter som funktion av tiden. Med den tekniken är det svårt att bilda sig en uppfattning om hur de olika driftsparametrarna påverkar slutresultatet. Risken är därför stor att man förlorar relevant processinformation, som får till följd att processen inte drivs under optimala driftbetingelser. Med multivariata metoder sammanställs processvariationerna i tiden (trendkurva) med avseende på samtliga parametrar (se metodbeskrivning). På så sätt fås även information om hur de olika processparametrarna samvarierar med varandra. Risken att man förlorar viktig information minskar därför betydligt.

Syftet med att tillämpa multivariata metoder vid utvärderingen av fosfateringslinjen i Oskarshamn är att identifiera kritiska parametrar som måste beaktas vid slutning av fosfateringsprocessen. Syftet är även att på ett generellt sätt visa hur multivariata metoder kan användas som ett verktyg för processoptimering och kvalitetsuppföljning av driften på Scania.

3.1 Multivariata metoder

Multivariata metoder används för att tillgodogöra sig stora mängder information. Metoderna bygger på att stora mängder numeriska data i tabellform komprimeras och presenteras i grafisk form. I bilaga 3 återfinns en förenklad beskrivning till metoderna, för att förstå principerna och resultattolkningen.

3.2 Processbeskrivning och data struktur



Figur 3.1 Process- och matriskonfiguration över fosfateringslinjen på Scania i Oskarshamn.

Som tabellen och figuren visar så får vi information om hur vissa processparametrar i fosfateringsprocessen varierar. Däremot så saknas det information om hur plåtkvalitén på provplåtarna varierar. Om denna har betydelse så kan det vara en bidragande orsak till att det inte går att beskriva all variation i skiktvikten. Andra saker som kan vara av betydelse är att inte alla parametrar som kan tänkas påverka skiktvikten analyseras.

Provtagningsstillfällena kan antas produktionsrelaterad eftersom under den tid proverna tas ut förändras inte badbetingelserna i någon större utsträckning. Detta innebär att tids-seriemodellering inte kommer att beaktas vidare i detta delprojekt.

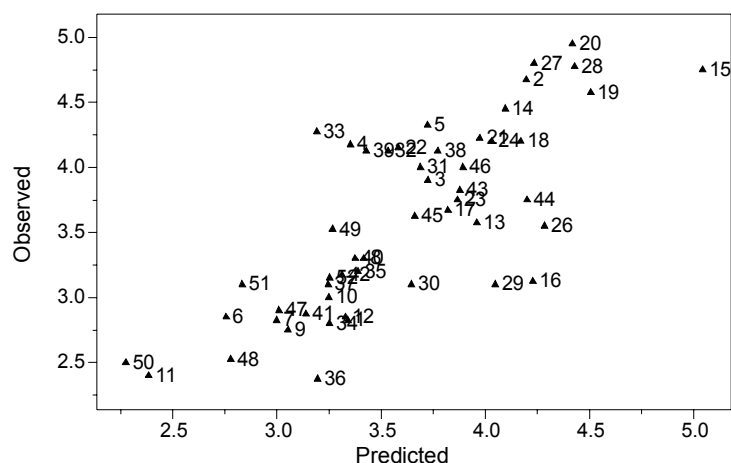
3.3 Metod del 1- badjournalsdata

Badjournalsdata genereras genom rutinmässiga driftanalyser som görs varje vecka. Parametrarna beskriver fosfateringsprocessens olika steg och några mätningar görs även på den färdigbehandlade plåten för att bedöma resultatet. De första ansatserna var att visa på hur en multivariat utvärdering av dessa befintliga data kan ta fram ny information i jämförelse med den traditionella utvärderingen och dokumentationen. Syftet var även att

processpersonal och processexpertis på Scania i Oskarshamn skulle få en inblick i den multivariata metodiken. Inledningsvis i detta förprojekt studerades endast skiktviktnens variation som funktion av processparametrarna. Samtliga data är tagna från i badjournalerna.

3.4 Resultat del 1- Badjournaldata

En PLS modell har gjorts för att korrelera processvariationerna med variationerna i skiktvikten. Resultatet nedan visar det värde som modellen räknar ut på skiktvikten mot det analyserade värdet. Som resultaten visar så är det en ganska stor spridning i data, men modellen pekar ändå ut en signifikant variationsriktning.



Figur 3.2. Analyserat värde på skiktvikten mot uträknat värde av PLS-modellen baserat på processvariationer dokumenterade i journalsdata.

3.5 Resultatdiskussion – Del 1

Det första som man kan ta fasta på är att skiktvikten har varierat kraftigt mellan de olika provplåtarna, vilket betyder att det finns processparametrar som påverkar skiktvikten. Det finns däremot inga dubbelprov på provplåtarna, därför kan osäkerheten i analysmetodiken för bestämning av skiktvikten vara en orsak till variationen på skiktvikten.

PLS- modellen kan peka ut en signifikant variationsriktning, vilket visar hur parametrarna i processbadet samvarierat med skiktvikten. Det är viktigt att förstå skillnaden på samvariationer och effekt vid utvärdering av denna modell. Modellen talar om hur driftbetingelserna varit då man fått låg respektive hög skiktvikt, dvs. den talar om hur de olika processparametrarna samvarierar med varandra men den kan inte tala om vilka effektparametrarna är. Ett exempel kan vara att parametrarna i sköljsteget efter passive-

ringen inte nödvändigtvis påverkar skiktvikten men variationerna i sköljen har samvarierat med skiktvikten.

Det viktigaste resultatet av den första delen var nog att visa på hur en multivariat utvärdering av processdata skiljer sig från den mer traditionella utvärderingen av processdata. Den preliminära utvärderingen visade förutom på ett användbar metodik att det gick att modellera fram signifikant processinformation utifrån befintliga processdata som dokumenteras idag.

Den relativt stora osäkerheten i modellen visar dock på att det finns fler saker i processen som är av vikt för att förstå hur t.ex. skiktvikten varierar.

3.6 Metod - Del 2, Provtagningskampanj

För att gå vidare i denna processutvärdering beslutades det att genomföra en intensifierad provtagningskampanj för att komplettera de befintliga processparametrarna med ett utökat antal parametrar. Dessutom intensifierades provtagningen för att generera tillräckligt många observationer (provplåtar).

Utöver de befintliga badjournalsdata som analyserades rutinmässigt på driften genomfördes ett stort antal ytterligare analyser. De flesta av dessa analyser gjordes av Scania men en del av analyserna gjordes även på IVL och KI, se bilaga 4 för parameterbeskrivning.

Målet med denna andra del var att ta fram ett kalibreringsdatasätt som innehöll bättre och mer omfattande data för att få fram en säkrare kalibreringsmodell. Målet var även att titta på fler responsvariabler än skiktvikten så som elasticitet, bockprov och vidhäftningsförmåga. Om goda kalibreringsmodeller erhöles skulle dessa även valideras med oberoende processdata för att ytterligare säkerställa de eventuella sambanden mellan processdrift och processkvalitet. Dessa resultat skulle sedan kunna användas för att ta fram de nyckelparametrar som är viktiga att kontrollera vid en eventuell process-slutning och för det dagliga kvalitetsarbetet.

3.7 Resultat – Del 2

Examensarbetet utfört av Eva Västerberg ligger till grund för den mängd data som sammanställts med den multivariata utvärderingen. IVL har gjort en del enklare processanalyser och KI har gjort korrosionspotentialmätningar på plåtar efter passivering, som ett mått på fosfateringsskiktets kvalitet avseende korrosionsbenägenhet.

3.8 Modellering av andra kvalitetsparametrar

Den kanske viktigaste förutsättningen för att kunna modellera och förstå hur kvalitetsparametrarna påverkas är att det faktiskt att dess variation är av betydelse. Problemet med många av kvalitetsparametrarna är att de har en mycket liten variation eller är långt ifrån normalfördelade. Till exempel går det inte att studera hur bockproven har påverkats av processparametrarna om bockproven inte varierat. De responsparametrar som modellerats är skiktvikten och elasticiteten för våta prover.

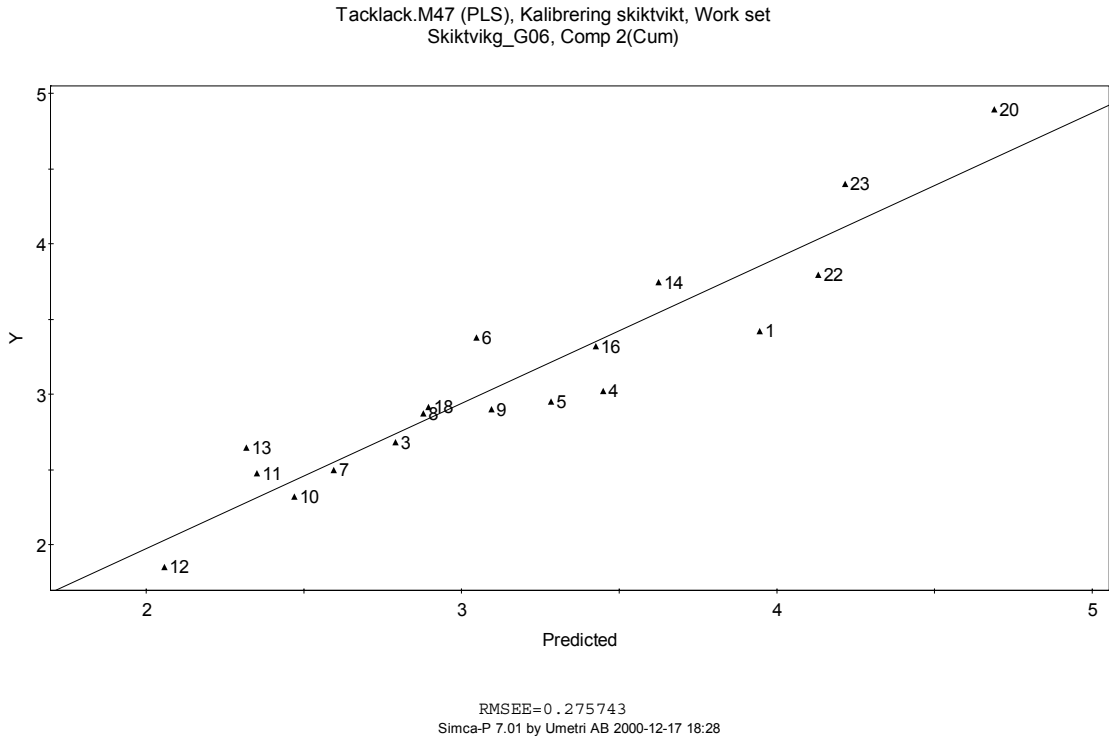
3.9 Resultat – Skiktviktt

På samma sätt som tidigare gjordes en multivariat PLS-modell för att beskriva korrelationen mellan de nya driftparametrarna och skiktvikten. Denna gång kunde resultaten förväntas vara bättre eftersom antalet parametrar var mer omfattande. Totalt sätt genomfördes 23 st användbara provtagningsomgångar för att ta fram både nya kalibreringsmodeller och för att validera den samma. Nedan redovisas resultaten för skiktvikten.

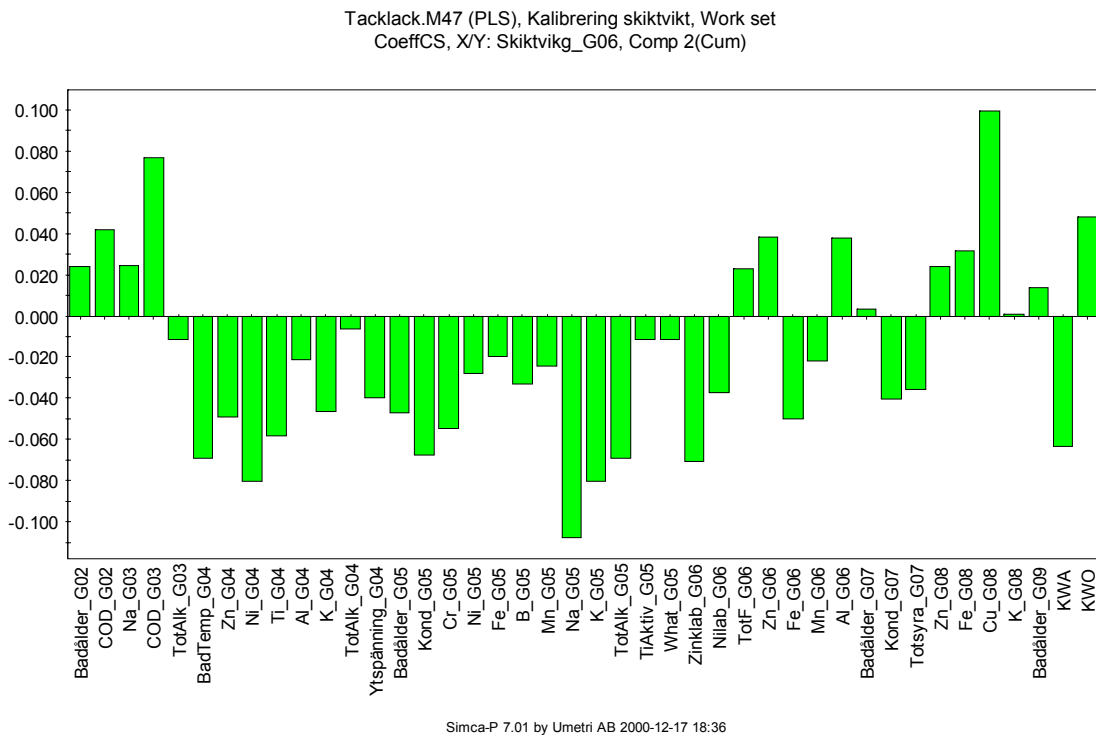
Kalibreringsmodellen för skiktvikten är mycket god och förklarar upp till 90% av den totala variationen i skiktvikten, vilket är betydligt bättre än för den tidigare modellen som endast gjordes på data från badjournalerna.

Eftersom resultatet av kalibreringsmodellen visade sig vara god är det givetvis intressant att studera betydelsen av de olika driftparametrarnas betydelse för skiktvikten. Se koefficientfiguren 3.4.

En hög badålder i G02 ger antagligen en ackumulering av organiskt material och salter vilket har samvarierat med en ökande skiktviktt. Däremot visar modellen att det omvända gäller för G04 dvs att en hög badålder i G04 och salter i G04 samvarierar med en minskande skiktviktt. Även relativt höga salthalter i G05 samvarierar med en minskande skiktviktt. De aktiva salterna i fosfateringsbadet (G06) samvarierar även dessa med låga skiktvikter. Korrosionspotentialmätningarna som är genomförda på Korrosionsinstitutet har en stark samvariation med skiktvikten, där en ökad korrosionspotential samvarierar med en hög skiktviktt. Höga halter av metaller i passiveringen samvarierar med en hög skiktviktt.



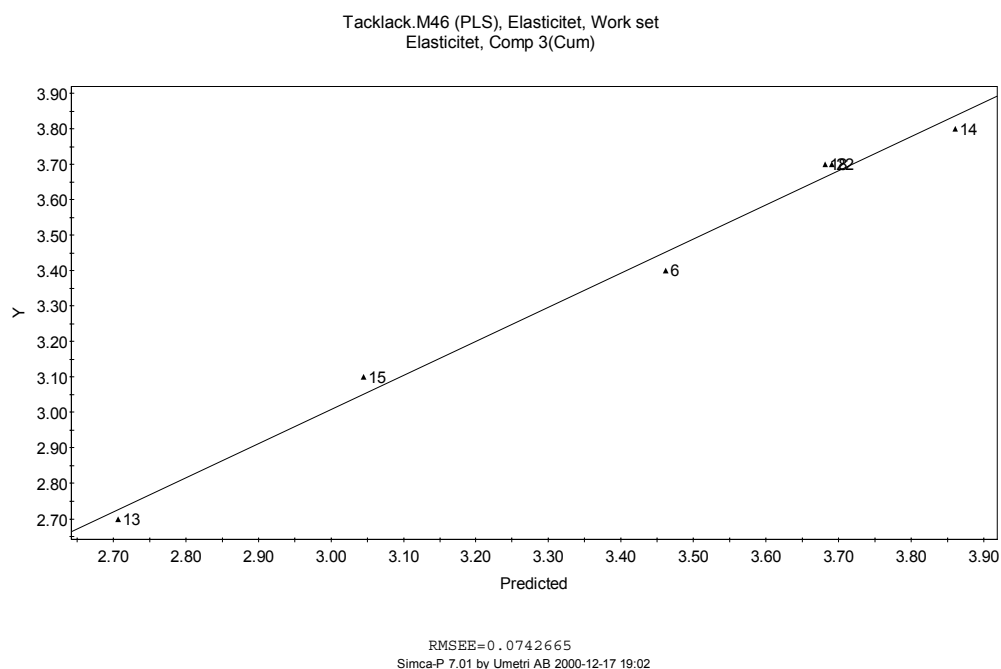
Figur 3.3 Resultatet av kalibreringsmodellen för skiktvikten.



Figur 3.4 Betydelsen av de olika driftparametrarnas inverkan på skiktvikten.

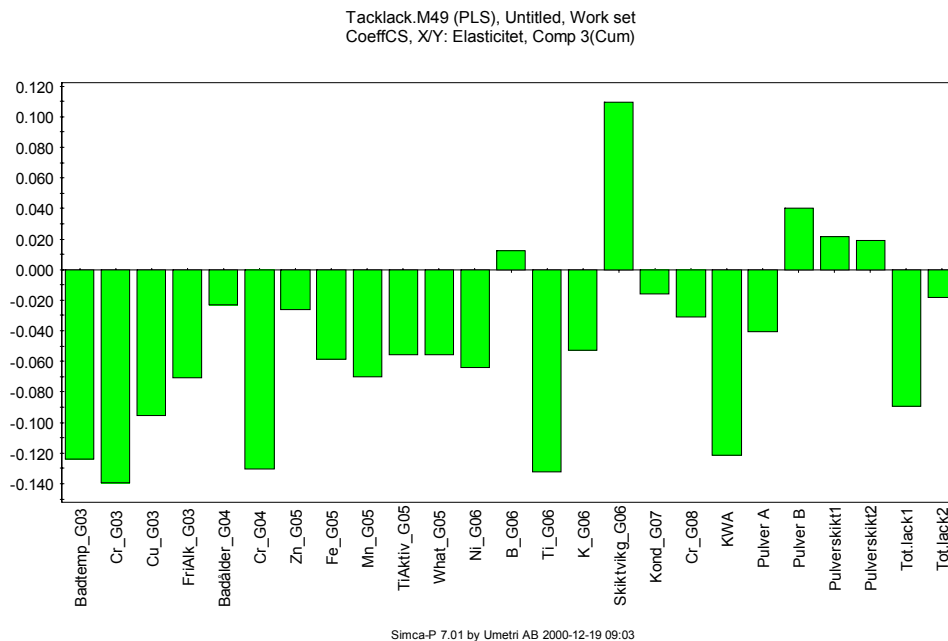
3.10 Resultat - Elasticitet på våta prover

I fallet med modellering av elasticitet var det endast de våta proverna som hade en tillräckligt stor varians. Den parameter som visade sig ha störst påverkan var vilken typ av täckfärg man målade med vilket var ganska väntat. Det var därför inte meningsfullt att ta med provplåtar i ett och samma datasätt med varierande täckfärg eftersom modellen då endast skulle beskriva hur täckfärgen påverkar elasticiteten. Därför valdes de provplåtar ut som hade den bästa täckfärgen. Vidare finns det en stor begränsning i hur elasticiteten mäts. Elasticitetens högsta värde är 4 vilket de flesta provplåtarna gav, eftersom man inte kan skilja deras elasticitetssegenskaper åt måste alla provplåtar som har värdet 4 uteslutas. Detta faktum i kombination med de olika täckfärgerna gör att det inte blir många provplåtar kvar vilket givetvis gör att mängden data är begränsat. Figuren nedan visar ändå att kalibreringsmodellen som baserar sig på mycket få mätvärden har en god internvalidering och en god korrelation mellan elasticitet på våta prover och processvariabler i det undersökta intervallet.



Figur 3.10 Kalibreringsmodell som baserar sig på mycket få mätvärden har en god internvalidering och en god korrelation mellan elasticitet på våta prover och processvariabler i det undersökta intervallet.

På samma sätt som för skiktvikten kan resultatet av parametrarnas samvariation med elasticiteten studeras.



Figur 3.11 Processparametrarnas samvariation med elasticiteten på våta prover efter täcklack.

Resultatet av kalibreringsmodellen för elasticitet på våta prover liknar till stor del resultaten för skiktvikten eftersom skiktvikten är positivt korrelerad mot elasticiteten. Höga salthalter i de olika baden samvarierar med en låg elasticitet och korrosionspotentialen har en stor samvariation med elasticiteten. I G06 har halten titan en tydligt negativ korrelation med elasticiteten, en förklaring kan vara ett överdrag av titan från aktiveringen kan störa fosfateringen och därigenom ge en minskat elasticitet.

Hög badtemperatur och höga metallhalter i G03 samvarierar med låga värden på elasticiteten. På samma sätt som för skiktvikten har höga halter av metaller i G04-G06 samvarierat med låga värden på elasticiteten. Höga värden på skiktvikten samvarierar med höga värden på elasticiteten.

Pulverskiktet är angivet som 2 parametrar, 1 och 2 där 1 anger det tunnaste uppmätta skiktet på plåten och 2 det tjockaste uppmätta skiktet på plåten av pulverlacken. På motsvarande sätt är den totala skikten angiven, total-lack 1 och total-lack 2. Som resultatet av de olika skikten visar i figur 3.12 samvarierar ett tjockt skikt av totallacken med en låg elasticitet. Den parameter som har störst inverkan är om det tunnaste skiktet är tjockt (se total lack 1).

Av de 2 pulverlackerna A och B ger B den bättre elasticiteten.

Den stora svagheten med denna modell är att det totala antalet observationer är för litet för att delar av observationerna skall kunna användas för en tillförlitlig extern validering.

Den multivariata sammanställningen av befintliga data visar dock på en stor potential att även för elasticiteten ta fram processinformationen på ett effektivt sätt.

3.11 Diskussion - Del 2

Sammanställningen av skiktvikten i den andra fasen med mer omfattande datamaterial gav bättre modeller än den första modellen som baserade sig på befintliga badjournalsdata. För skiktvikten gick det även att använda delar av data för extern validering vilket styrkte kalibreringsmodellens resultat. Detta visar tydligt på möjligheterna att försöka förstå sambanden mellan processdrift och skiktvikt och därigenom öka förståelsen för skiktvikten som kvalitetsparameter.

Korrosionspotentialmätningarna gav värdefull information om skiktvikts och elasticitetens varians. Antagligen säger korrosionsmätningarna även en del om skiktets kvalitet. Därför kan det på sikt vara av stort intresse att införa dessa mätningar på plats i driftlaboratoriet.

Höga salthalter i avfettningen samvarierar med låga skiktvikter och låga värden på elasticitet. Svårigheten ligger i att förstå vad de höga salthalterna beror på. En förklaring är att en hög badålder gör att salthalterna ackumuleras och därigenom påverkar skiktvikten. En annan förklaring kan vara att en effektiv rengöring gör att salter och annat material avlägsnas från plåten och hamnar i avfettningsbadet, om detta är fallet betyder det att höga föroreningshalter i badet korresponderar mot en effektiv rengöring. Det tydligaste resultatet är ändå att rengöringsstegets funktion påverkar fosfateringsskiktets skiktvikt, därför är processbetingelserna i avfettningen viktig för det slutgiltiga resultatet.

Höga halter av de aktiva salterna i aktiveringen och i fosfateringen samvarierar med låga skiktvikter och låga värden på elasticiteten. Det är givetvis av stort intresse att försöka anpassa de olika salternas koncentrationer för att uppnå önskade värden på skiktvikterna.

En av de anmärkningsvärda slutsatserna är att det höga skiktvikter samvarierar med höga värden på elasticiteten. Detta har påpekats av sakkunniga som ett ovanligt samband. Detta kan vara av intresse att studera vidare för att förstå hur skiktvikten påverkar elasticiteten.

Elasticitetsmodellen visar att halten titan i fosfateringsskiktet är negativt korrelerad med elasticiteten. Däremot har inte halten titan någon korrelation med fosfateringsskiktet. Detta skulle kunna förklara att ett överdrag av titan från aktiveringen påverkar fosfateringsskiktets kvalitet och därigenom elasticiteten, utan att den egentligen påverkar den totala skiktvikten.

Modelleringen av elasticiteten för de våta proverna gick mycket bra, en stor begränsning är dock att modellen baserar sig på ett mycket fåtal mätvärden. De få antalet mätvärden

gör att det inte är rimligt att använda delar av resultaten för extern validering. Flera observationer skulle göra det möjligt att validera elasticitetsmodellen.

Provtagningen är genomförd under relativt korta driftperioder vilket gör att den totala naturliga variationen för hela processen antagligen inte finns med i data. Det kan i sin tur leda till att en del samband som gäller för denna utvärdering kanske inte gäller för processen i allmänhet. Därför är det lämpligt att se över provtagningsrutinerna och komplettera med ett antal intressanta parametrar för att under en längre tid följa processvariationerna och dess påverkan på produktionsresultatet.

Det mest positiva med de multivariata resultaten är att det tydligt har visat tillämpbarheten att ta fram värdefull information ur driftdata från fosfateringslinjen. En intressant fortsättning är för Scantias del är givetvis att tillämpa den multivariata tekniken i det dagliga arbetet för processkontroll och kvalitetsuppföljning. Om ett sådant system införs kommer de framtagna modellerna att vara stabilare och tillförlitligare eftersom de kalibreras på större datamängder. Resultaten skulle sedan kunna användas för att styra vilka teknikval som är mest lämpade vid t.ex. processlutning. Modellerna skulle även kunna användas för att styra processen till mer optimala betingelser för att få en jämnare kvalitet och en mer resurseffektiv produktion.

3.12 Slutsatser

- De inledande modellerna som togs fram för att modellera skiktvikten som funktion av befintliga processdata var osäkra men visade ändå en viss signifikans och en framkomlig väg för en vidare modellering.
- Modellering av skiktvikten med ett utökad antal processparametrar gav ett mycket bra resultat. En av de viktigaste parametrarna i modellen var korrosionspotentialen, vilket gör att denna antagligen är en intressant parameter att komplettera befintliga driftanalyser med.
- Modelleringen för att beskriva elasticiteten på våta prover gick mycket bra. En begränsning var dock att modellen baserar sig på ett fåtal observationer eftersom många observationer fick uteslutas på grund av täckfärgstyp och mätintervall.
- Gemensamt för skiktvikten och elasticiteten var att både rengöringen, aktiveringen och fosfateringen påverkade resultatet. Höga metallsalter i dessa steg samvarierade med låga skiktvikter och låga värden på elasticiteten.
- Ett anmärkningsvärt samband var att en hög elasticitet samvarierade med en hög skiktvikt.

- Täcklackens tjocklek verkar vara viktig för elasticiteten, det viktigaste verkar då vara att se till att det inte blir för tjockt.
- Den multivariata sammanställningen av processdata från fosfateringslinjen visade att metoden var mycket användbar för att sammanställa denna typ av data. De goda resultaten visar att det finns en stor potential för Scania att använda en multivariat metodik för optimering av fosfateringslinjen och för kvalitetssäkring. Implementering av multivariat processmodellering kräver emellertid utbildning av driftpersonal.
- Modeller som baserar sig på ett större tidsintervall och täcker dom naturliga processvariationerna skulle kunna användas för att välja lämpliga processlutningsåtgärder och för att styra tillsatser av kemikalier i de olika baden.
- För att öka nyttan med den multivariata modelleringen finns det anledning att se över metoderna för mätning av responsparametrar, på så vis skulle processen kunna optimeras mot flera olika riktningar.

Den viktigaste slutsatsen är att metoderna visat sig mycket användbara för processuppföljning och att många intressanta samband dykt upp. Tekniska möjligheter finns att använda dessa modeller för t.ex. att styra badsammansättningen på driften vilket kan bli en utveckling av de nu uppnådda resultaten.

4 Massbalans

Utöver den för optimering av processen viktiga informationen om samspelseffekter mellan processparametrar och fosfateringskiktets kvalitet (se ovan), är vetskap om hur vätske- och kemikalieflödena sker avgörande för optimeringen. Utan en sådan materialbalans vet man inte var och hur optimering med avseende på resursförbrukning och kvalitet bör och kan utföras. Dessutom ger bristande kunskaper om massflöden också osäkerhet i hur optimeringen ska utformas.

Syftet har varit att ta fram en flexibel modell som är lätt att modifiera och successivt förbättra. Vidare har modellen byggts upp så att den kan avslöja felaktigheter i massbalansen i respektive delsteg av processen. Detta har varit viktigt för att modellen successivt ska förbättras. Att modellen är flexibel är viktigt eftersom en fullständig och felfri massbalans över en komplex process i praktiken är omöjlig att åstadkomma. Denna lättmodifierade och flexibla modell har varit möjlig att åstadkomma genom att bygga upp en modell i Excel, där i stort sätt alla tänkbara vätske- och materialflöden i processen har tagits med.

Nedan beskrivs kortfattat hur modellen är uppbyggd. Vidare beskrivs kortfattat resultaten och slutsatser av dessa resultat. I bilaga 4 återfinns en mer fullständig beskrivning över

hur de data som använts i modellen har mätts upp och uppskattats samt resultaten och slutsatserna från några av de utförda beräkningsperioderna.

4.1 Utförande

Ett flertal massbalanser har upprättats under projektets gång. Mellan varje beräkningsperiod har processförändringar förekommit. Dessa har tagits hänsyn till i nästkommande beräkningsperiod. Vidare har vi försökt förbättra modellen varje beräkningsperiod.

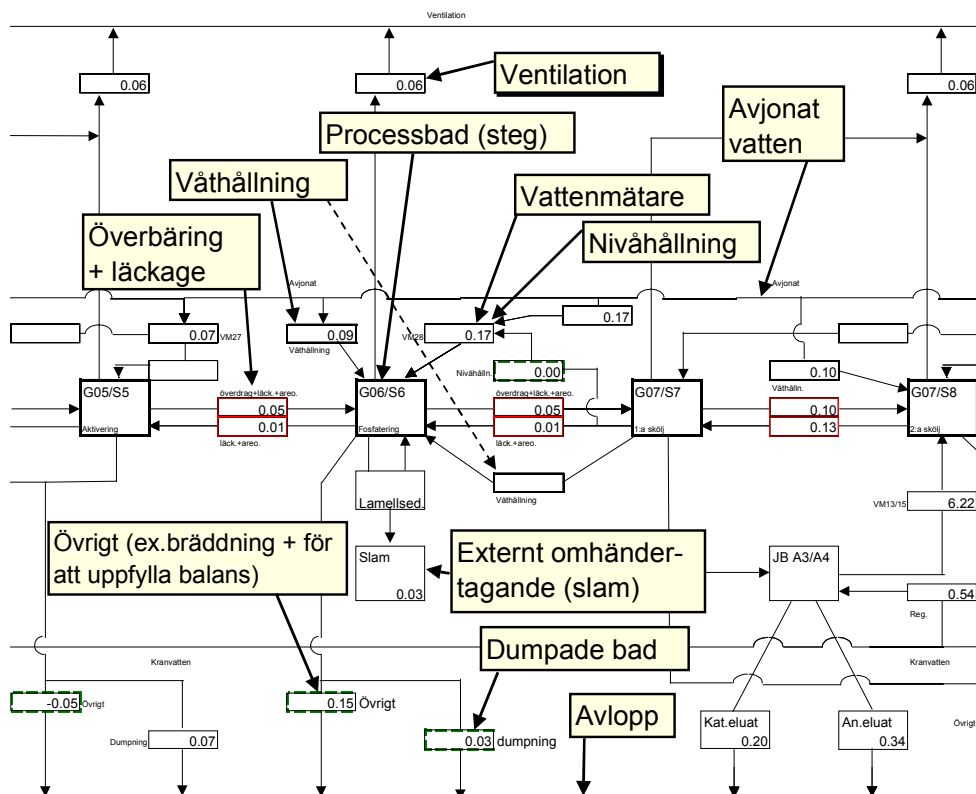
För varje beräkningsperiod har de värden som avlästs från de trettioåriga vattenmätare förts in i modellen tillsammans med andra aktuella uppgifter som exempelvis antalet fosfaterade hytter under perioden (se figur 4.2). Från dessa införda värden genomför modellen därefter beräkningar avseende exempelvis vattenflöde per ytenhet fosfaterad plåtyta i varje enskilt delsteg eller bidraget avseende nickel per ytenhet. Baserat på dessa uppgifter kan modellen räkna fram samma värden uttryckt i andra nyckeltal som exempelvis vattenflöde per tidsenhet vid olika taktider och full produktion. På detta sätt kan processförändringar lätt modelleras. Exempelvis kan en förbättrad utstötning av badföroreningar i ett delsteg simuleras för att visa på hur detta påverkar föroreningsnivåer i övriga delsteg.

Dessutom har för perioden aktuell processtatus förts in. Exempel på detta är hur ventiler ställts om, vilket exempelvis påverkar varifrån nivåhållningsvatten eller våthållningsvatten hämtas till respektive delsteg. Modellen har också uppdaterats vartefter nya uppskattningar har av exempelvis överbäring utförts. Då orimligheter beträffande vattenmätarställningar har observerats (uppenbart trasiga vattenmätare) har volymen istället uppskattats.

Datum	Produktion VM5 (In fosfatprocess)					
	Antal hytter	yta (m ²)	Avläst (m ³)	Förbruk. (m ³)	Förbruk.(l/m ²)	Andel av förbr
01-sep			14057			
30-nov	12946	906220	16468.3	2411	2.66	114
	12946	906220		2411	2.66	114

Figur 4.1 Exempel på hur data förs in i modellen som därefter räknar fram olika nyckeltal för varje enskilt delsteg.

Varje delsteg utgör en intern egen balans vilket gör att en orimlighet i ett enskilt delsteg avslöjas där den uppkommit. Detta har möjliggjort att successivt förbättra modellen i varje delsteg. Av figur 4.5 framgår en del av vattenbalansen för G06 (steg 7, fosfateringsbadet) och G07 (steg 7 och 8, fosfateringsköljar). För balansen i G06 gäller att alla pilar som är riktade mot rutan G06 beskriver det inkommande vattenflödet till detta steg uttryckt i liter per kvadratmeter plåtyta. Pilar som är riktade från rutan beskriver motsvarande utgående vattenflöde från detta steg.



Figur 4.2 Av figuren framgår vad de olika cellerna som ingår i den Excelbaserade modellen har för funktion.

4.2 Resultat

Med hjälp av den framarbetade modellen är det relativt enkelt att räkna fram en mängd olika nyckeltal för processen som helhet och för varje enskilt steg. Vi har i denna rapport valt att redovisa följande nyckeltal för perioden den 1 september 2000 - 30 november 2000, (tre månader):

- Vätskeflöden uttryckt i liter per kvadratmeter fosfaterad plåtyta
- Kemikalieflöde uttryckt i milligram per kvadratmeter plåtyta

Resultaten har redovisats uppdelat enligt:

- Generellt för samtliga delsteg
- Avfettning
- Aktivering
- Fosfatering
- Passivering
- Avjonat vatten och avlopp
- Summerade flöden för hela processen

Utöver redovisningen för dessa nyckeltal per delsteg, redovisas dessa också summerade för processen som helhet.

Fördelen med nyckeltal är att de lätt kan användas för olika jämförelser samt omräkningar. En uppenbar nackdel med ett nyckeltal som "liter per kvadratmeter fosfaterad plåtyta" är att siffrorna lätt blir abstrakta. Därför har även periodens värden räknats om till medeltalen för vattenförbrukning och nickelflöde per månad.

I kapitel 5 har även andra nyckeltal använts för dimensioneringsberäkningar.

4.2.1 Vätskeflöden

Som nämnts ovan uttrycks vätskeflöden i liter per kvadratmeter fosfaterad plåtyta och gäller för perioden 1 september 2000 - 30 november 2000. Av bilaga 4 framgår detaljerat balansen över varje enskilt delsteg. Här nedan redovisas endast resultatet för den totala balansen kortfattat.

Balans

I stort tycks vattenbalansen gå jämnt ut. Cellerna "VM5-övrig förbrukning" och "Summa till avlopp" som bygger på uppskattad förbrukning respektive bygger på summan av varje enskilt processtegs uppskattade bidrag till avlopp (summering av alla celler som går till avlopp) går nästan jämnt ut. Uppmätt förbrukning är 2,12 l/m² och uppskattad volym till avlopp är 2,14 l/m².

Om däremot studerar den volym som mäts upp över VM5 och som representerar totalt förbrukad volym i hela fosfateringsprocessen och drar ifrån koncentrationen från omvänd osmosanläggningen och som går till kommunalt avlopp (ej till reningsverket) så ger detta en total förbrukning i fosfateringsprocessen om 2,34 l/m². Uppmätt volym som går ut via reningsverket är dock bara 1,69 l/m². Om man lägger till de 0,19 l/m² som uppskattas försvinna via skorstenen så försvinner "endast" $2,34 - 1,69 + 0,19 = 0,84$ l/m².

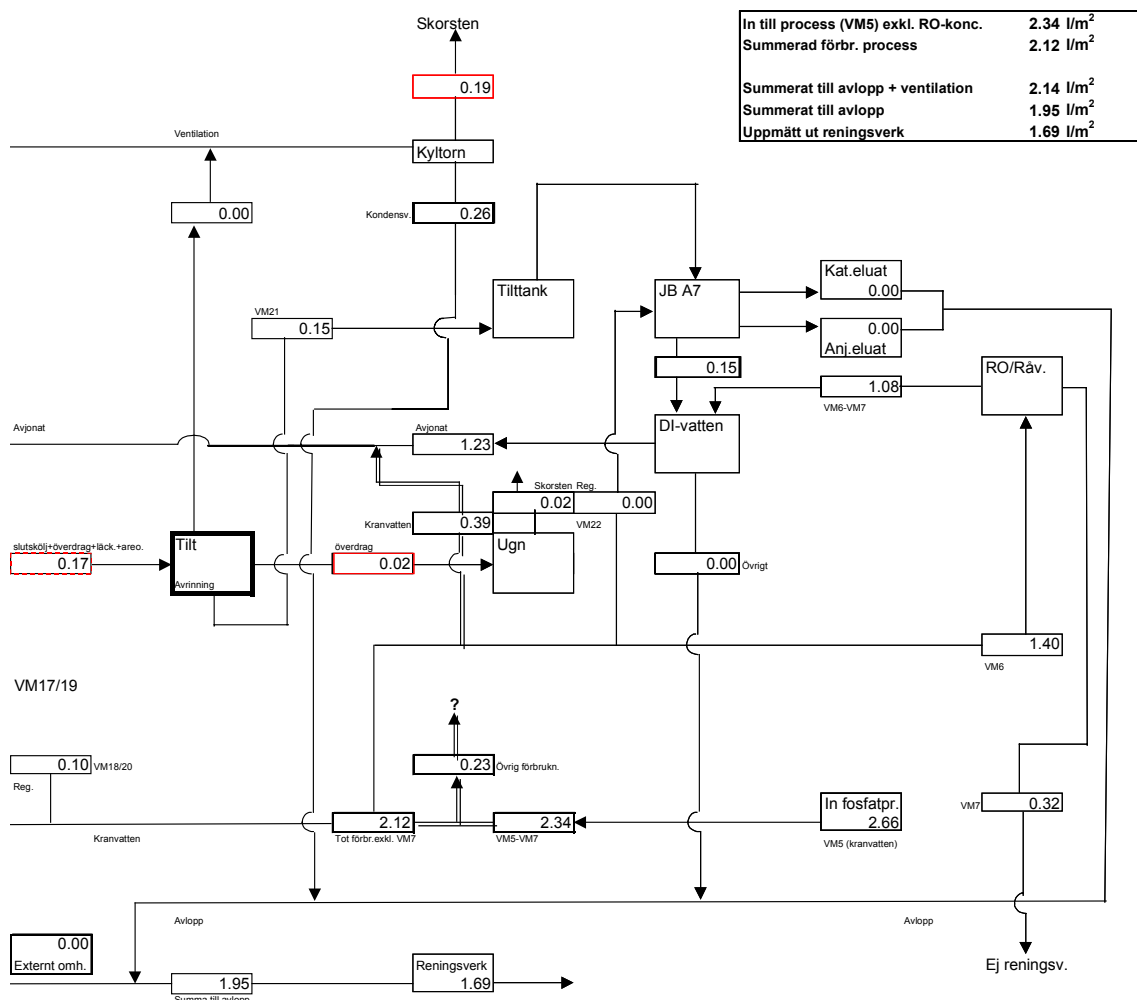
Möjliga förklaringar till dessa skillnader kan vara:

- Förbrukad volym är överskattad:
Någon eller några av de vattenmätare som avläses kan visa för höga värden, exempelvis vattenmätaren som sitter på G07 (VM29).
- Producerad volym underskattad:
Den producerade volymen skulle kunna vara underskattad om exempelvis vattenmätaren på intagsvattnet till omvänd osmosanläggningen visar för lite eller koncentrationmätaren (vatten till avlopp) visar för mycket.

Det troligaste är dock att det "försvinner" en volym som utgörs av övrig förbrukning och att en stor del av denna inte går till reningsverket (se "Övrig förbr." = 0,23 l/m²). Alla övriga siffror i balansen tyder på detta och antyder därmed att det är vattenmätaren efter reningsverket som visar för lite.

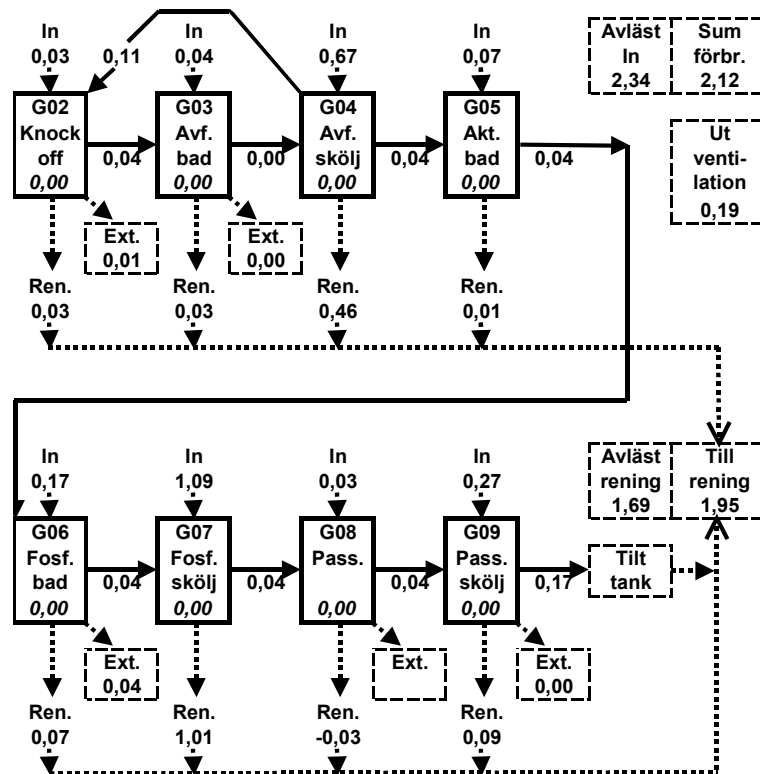
En annan förklaring kan utgöras av att den volym som avgår via skorsten är betydligt större jämfört med uppskattad (0,19 l/m²).

En vattenmätare som enbart mäter kondensvattenvolymsen togs i drift i mitten av oktober 2000. Denna uppmätte ca 0,42 l/m² under november. Detta är betydligt större volym jämfört med de 0,26 l/m² som använts under denna mätperiod. Detta skulle kunna innebära att också den volym som "försvinner" ur systemet via skorstenen också är underskattad i motsvarande grad.



Figur 4.7 Flödesbalansen för framställning av avjonat vatten ur stadsvatten genom omvänd osmosfiltrering samt ur tiltvatten genom jonbyte under perioden den 1 september - 30 november 2000. Av figuren framgår även summaberäkningar för volymen vatten till avlopp.

För att erhålla en överskådligare bild över flödena, kan dessa förenklas. Ett exempel på sådan förenkling utgörs av figur 4.8.



Figur 4.8 Exempel på förenklat flödesschema för vattenbalansen. Enheten är liter per kvadratmeter plåtyta. Eventuella differenser beror bland annat på att en avgång till ventilationssystemet om 0,06 l/m² per steg ej är medtaget i den förenklade figuren. Negativa värden avser att flödet går motsatt pilens riktning.

4.3 Kemikaliebalans

Genom att via provtagningar erhålla uppskattningar av medelkoncentrationen av processkemikalierna över en uppföljningsperiod och multiplicera dessa värden med vattenflödet, kan kemikalieflödet beräknas. Detta innebär att de osäkerheter som finns angivna för vätskebalansen under stycke 4.2 även gäller för kemikaliebalansen i detta kapitel.

Av nedanstående redogörelse framgår kemikalieflödet för ämnen som har en specifik källa. Detta innebär exempelvis att flödet från denna källa (processsteg) kan följas över hela processen, varvid bland annat ackumulering i bad som inte är utrustade med någon form av njure tydligt framgår.

För att inte detta avsnitt ska bli för långt, har vi valt att endast följa ett badspecifikt ämne inom de närmast omkringliggande processstegen. Exempel på ämnen som är specifika för

vissa processteg är:

Bor - Ingår som korrosionsinhibitor i avfettningsteget G03.

Kalium - Tillsätts för pH-justering i avfettningsteget G03.

Titan - Ingår som aktivt salt i aktiveringsteget G05.

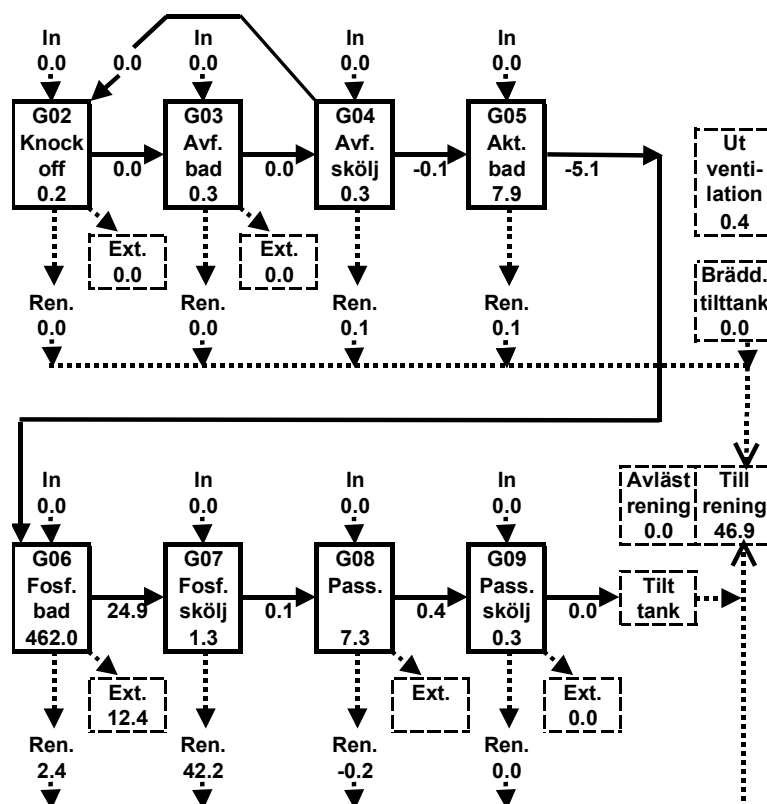
Nickel - Ingår i fosfateringsbadet G06

Zirkonium - Ingår i passiveringsbadet G08

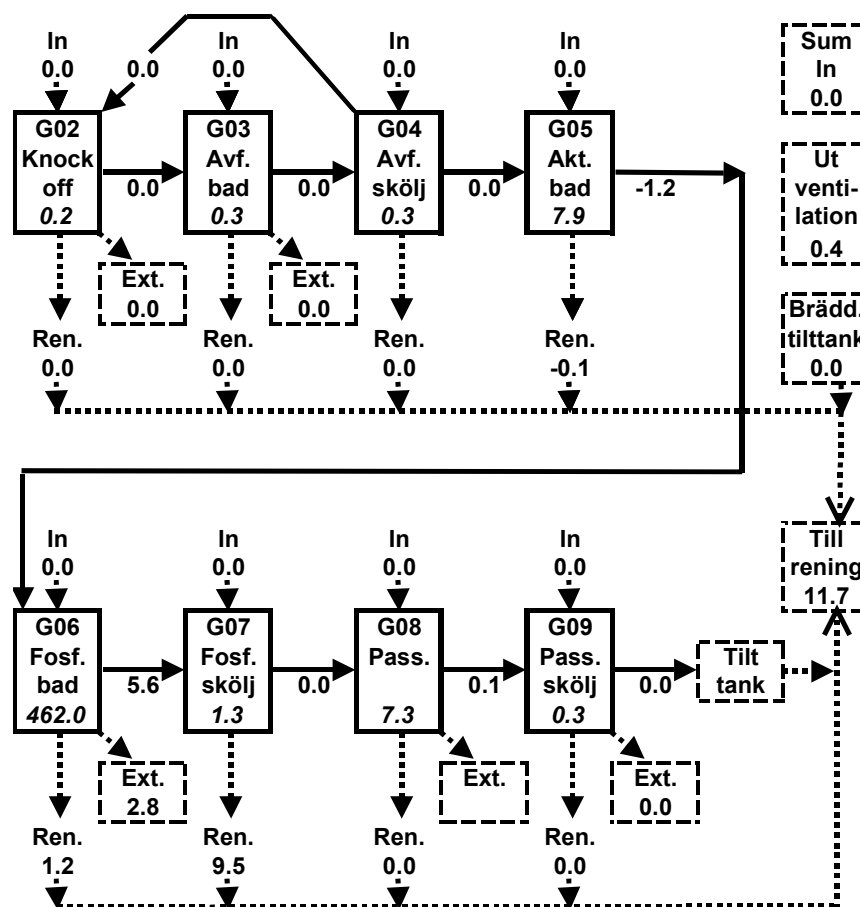
Av bilaga 4.3 framgår detaljerat balansen över varje enskilt delsteg. Här nedan redovisas endast resultatet för den totala balansen mycket kortfattat.

För att erhålla en överskådlig bild över flödena kan dessa förenklas. Ett exempel på sådan förenkling utgörs av flödet för nickel (representerar fosfateringskemikalier) genom processen, av figur 4.9.

För att enklare få en uppfattning vad dessa flöden motsvarar, kan nickelflödena räknas om till kg/månad. Av figur 4.10 framgår motsvarande värden från figuren ovan omräknade till kg/månad.



Figur 4.9 Exempel på förenklat flödesschema för nickel, enhet mg/m^2 . Negativa värden avser att flödet går motsatt pilens riktning. Nickelflödet från G07 är troligen överskattat. Ett mer troligt värde på nickelflödet från jonbytareluaten ska därför vara ca $25 \text{ mg}/\text{m}^2$ (jämför ingående mängd till G07). Detta påverkar även det summerade flödet till reningsverket som bör justeras ned i motsvarande grad (till ca $30 \text{ mg}/\text{m}^2$), se även stycket balans i nickelavsnittet.



Figur 4.10 Nickelflöde i enheten kg/månad. Negativa värden avser att flödet går motsatt pilens riktning. Nickelflödet från G07 är troligen överskattat. Ett mer troligt värde på nickelflödet från jonbytareluaten ska därför vara ca 5,6 kg/månad (jämför ingående mängd till G07). Detta påverkar även det summerade flödet till reningsverket som bör justeras ned i motsvarande grad (till ca 7,8 kg/månad), se även stycket balans i nickelavsnittet.

4.4 Förslag till åtgärder för förbättrad uppföljning

I bilaga 4.4 återfinns förslag till förbättrad uppföljning av vätske- och kemikalieflöden. Bland dessa kan kortfattat nämnas:

- Som framgår under stycket *Balans* för avfettningstegen (4.3.2), kvarstår ett behov av att bättre kunna uppskatta den specifika vätskevolym som avgår från varje enskilt steg via ventilationen. För att förbättra denna uppföljning återfinns två konkreta förslag i bilaga 4.4.
- Då *vätskevolymen* som bärs över med karossen samt att läckagevolymen mellan stegen endast är uppskattat för stegen G05-G06-G07 och därefter använt generellt för

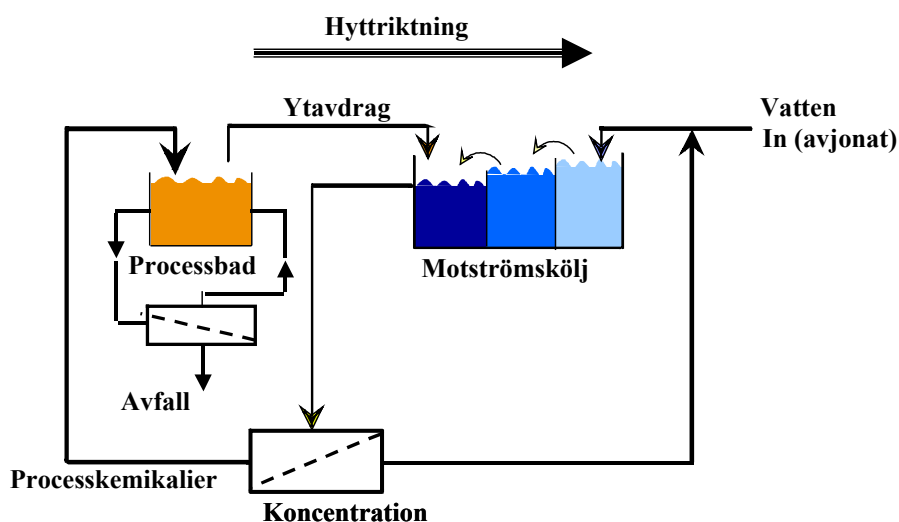
samtliga steg, bör dessa två faktorer bestämmas specifikt för varje enskilt steg. I bilaga 4.4 återfinns förslag på hur detta kan genomföras.

- Då den mängd *badkemikalier* som bärs över med karossen samt läckaget mellan stegen endast är uppskattat för stegen G05-G06-G07 och därefter använt generellt för samtliga steg, bör dessa två faktorer bestämmas specifikt för varje enskilt steg. I bilaga 4.4 återfinns förslag på hur detta kan genomföras.
- Recirkulering av avfettningkemikalier från sköljsteget G04 tillbaka till G03 (se kapitel 5) skulle sänka kemikaliekostnaderna. Genom att bestämma mängden avfettningkemikalier som bortgår ur G03 via koncentrat för omhändertagande (när nu membranen är utbytta), samt via badbyte och relatera dessa förluster till det som utgörs av överbäring och läckage till G04, skulle besparingenspotentialen kunna kvantifieras.
- Då flödesbalansen för G07 under flera perioder visat på kraftiga överskott, skulle det vara bra om all påfyllning till detta steg journalfördes under en period (i den mån detta inte redan sker). Härur skulle man kunna bedöma om vattenmätaren indikerar för stor volym eller ej.
- Volymen "övrig förbrukning" och som representerar den vattenförbrukning som ej kan härledas till fosfateringsprocessens förbrukning (exempelvis spolslangar m.m.) är hög och bör därför närmare inventeras.
- Då man erhåller indikation på att något i processen inte fungerar tillfredsställande, utan att kunna avgöra vad felet består av, byts ofta aktiveringsbadet G05. Detta utförs eftersom man av erfarenhet vet att detta bad dels är viktigt för produktkvaliteten, dels för att badet är känsligt för exempelvis för låga pH. Det som kan försämra badets funktion är att aktiveringsaltet deaktiveras genom utfällning. Aktivt, löst titansalt bör kunna skiljas från inaktivt genom någon analysmetod baserad på filtrering.

5 Önskvärda åtgärder för minskad resursförbrukning

Avseende vattenförbrukningen är det lätt att identifiera var åtgärder bör prioriteras för att minska denna. För den senaste perioden (1 september - 30 november 2000) utgjorde G04 (sköljvatten efter avfettning) och G07 (sköljvatten efter fosfatering) en fjärdedel respektive nära hälften av totala vattenförbrukningen. Merparten av dessa volymer skulle kunna reduceras genom att förbättra och komplettera befintliga recirkuleringsenheter. Om dessa åtgärder kombineras med återföring av de avskiljda och koncentrerade processkemikalierna (avfettningkemikalier respektive fosfateringskemikalier) tillbaka till närmast föregående processbad, skulle detta dessutom innebära mindre kemi-

kalieförbrukning och mindre mängd bildat avfall. Av figur 5.1 framgår principen för en resurseffektiv slutningsåtgärd för ett processbad inklusive dess efterföljande sköljsteg.



Figur 5.1 Principen för en resurseffektiv slutningsåtgärd för ett processbad inklusive dess efterföljande sköljsteg.

Utöver att åtgärda vattenförbrukningen i G04 och G07 finns ett antal andra åtgärder som kan genomföras och som har mer eller mindre stor påverkan på resursförbrukningen.

Nedan redovisas tänkbara alternativ för att minska sköljvattenvolymen i G04 och G07 samt förslag på ett antal andra åtgärder för att minska resursförbrukningen.

5.1 Recirkulering av sköljvatten efter avfettning

Ett omfattande experimentellt arbete har lagts ned på att identifiera orsakerna till att den befintliga recirkuleringsutrustningen för sköljvatten efter avfettning (G04) inte fungerar kapacitetsmässigt. Dessutom har stora ansträngningar gjorts för att finna åtgärder för att förbättra recirkuleringskapaciteten. Det senare arbetet har inkluderat både användning av alternativa recirkuleringsmetoder och förbättring av befintlig, i dagsläget ej fungerande teknik.

I detta kapitel redovisas hur resultaten av det praktiskt utförda arbetet skulle påverka recirkuleringen av avfettningssköljvatten och möjligheten att även återvinna avfettningssköljvatten.

5.1.1 Behandlingsteknik

För att gå till botten med igensättningsproblemen i samband med nanofiltreringen av avfettningssköljvatten – steg G04 - har en rad försök utförts, där de autentiska förhållandena i så hög grad som möjligt försökt efterliknas. Flera olika parametrar som misstänkts kunna ha betydelse för flödeskapaciteten har varierats och studerats. Utifrån utförda försök kan slutsatser dras såtillvida att vissa påverkande parametrar och faktorer har kunnat identifieras medan andra kunnat uteslutas.

En betydelsebärande parameter som framkom i tidigt skede var att badets ålder spelade in – ett gammalt bad innebar högre grad av igensättning och sämre funktion hos membranet. Detta kan i sin tur bero på flera olika saker; då badet åldras i rumstemperatur kan till exempel bakterier växa till och delvis förändra den kemiska sammansättningen hos vätskan.

Den allt överskuggande parametern som framkom i försöken är dock kalcium. Dess effekt på fluxet är tydlig i försöken, där kranvatten respektive avjonat vatten använts, men som i övrigt utförts vid likartade förhållanden. Effekten märks också mycket tydligt då 30 mg/l kalcium tillsatts under filtreringens gång, varvid fluxet minskat drastiskt. Att ett åldrat bad har sämre effekt på fluxet kan eventuellt också ha att göra med ett ökat innehåll av kalcium i badet som tillförts via kranvatten för att kompensera för avdunstningförluster.

Försök med nya, syntetiskt tillblandade badkemikalier har visat sig gå mycket bra. Tillsatser av aktiveringskemikalien Parcolene visade sig också vara utan större betydelse för flödet.

Försöken där komplexbildare tillsatts för att binda upp kalciumet (se försök 9 ovan) visade sig fungera mycket tillfredsställande. Såväl EDTA som NTA visade sig även ha en så snabb reaktionsförmåga med kalciumet i lösningarna, att fluxet inte alls påverkades vid kalciumtillsats i dessa komplexbildar-innehållande lösningar.

Under förutsättning att tillsats av komplexbildare i sköljvattnet inte stör processen i övrigt, torde problemet med igensättning av nanomembranen i och med detta nått sin lösning.

Den befintliga membranläggningen har en membranyta om 53 m² vilket skulle vara tillräckligt då den med det ovan antagna medelfluxet skulle klara ett recirkuleringsflöde om 2600 l/h.

En fullständig recirkulering av både sköljvatten och badkemikalier skulle innebära att den senaste periodens vattenförbrukning om 0,55 l/m² helt skulle utebli. Då nanofiltreringsanläggningen åter tas i bruk på avsett sätt, kommer dock jonbytarparen A001 och A002 som avsaltar permeatet från nanofiltreringen, åter belastas. Regenerering av dessa

förbrukar betydande vattenvolymer. Den vattenbesparing om 0,55 l/m² som en fungerande nanofiltrering skulle uppnå, skulle troligen reduceras till total besparing om 0,36 l/m² då jonbytareluaten beaktas. Den totala vattenförbrukningen för G04 skulle uppgå till 0,19 l/m² exklusive förluster via ventilationen. Osäkerheten om förväntad vattenbesparing vid åtgärdande av nanofiltret är dock stor, se vidare bilaga 5.

5.1.2 Kemikaliercirkulering

Beträffande kemikaliercirkulering, bör detta vara fullt möjligt eftersom flödeskapaciteten inte försämras oroväckande då uppkoncentrering (volymreduktion) sker mot de koncentrationer som motsvarar sammansättningen i avfettningsbadet. Som framgår av figur 5.9 var koncentrationen kalium ca 10 gånger lägre i sköljbadet G04 jämfört med i avfettningsbadet G03. En uppkoncentreringsgrad motsvarande ca 10 gånger skulle alltså vara tillräcklig. För att åstadkomma kemikaliercirkulering, pumpas koncentratet från membranbehandlingen till avfettningsbadet G03.

Den volym i G03 som står till förfogande för detta koncentrat utgörs av den volym som avgår via ventilationen. Man kan inte räkna med att den volym som bärs över med hytten från G03 till G04 kan användas, eftersom en lika stor volym bärs in till G03 från G02. Inte heller kan den våthållningsvolym som åtgår i G03 användas eftersom våthållning med membranfiltreringskoncentrat skulle innebära en betydligt större överbäring av kemikalier in till G04, jämfört med om avjonat vatten eller okoncentrerat sköljvatten från G04 används.

Om det var möjligt att tillföra avfettningkemikalier även till G02, skulle dels överburen volym ur detta steg, dels de volymer som avgår till ventilationen från både G02 och G03, tas i anspråk för återföring av membranfiltreringskoncentratet från G04.

5.1.3 Koppling av resursförbrukande åtgärder till kvalitetsaspekter

Hur skulle en fungerande recirkulering av sköljvattnet i G04 påverka fosfateringsskiktets kvalitet?

- Uppskattningarna av erforderligt recirkuleringsflöde utgår från att föroreningsnivån i G04 ska halveras. Detta bör kunna ha en positiv effekt på fosfateringsskiktets kvalitet.
- På grund av avsaknaden av njurfunktion över G05, ackumuleras föroreningar i detta steg. Utöver den lägre föroreningsnivån i G04, som en fungerande recirkulering skulle innebära, skulle denna lägre nivå också innebära att föroreningsnivån i G05 bör minska i motsvarande grad. G05 är i sin tur en källa för transport av föroreningar till det känsliga fosfateringsbadet G06.

- En av slutsatserna av den multivariata utvärderingen har just varit att höga salthalter i avfettningssköljen (G04) och aktiveringen (G05) samvarierar med låga skiktvikter och låga värden på elasticitet. En fungerande njurfunktion på detta steg skulle höja dessa värden.
- Ett något högre pH i G04, jämfört med idag, skulle i viss mån motverka den försurande effekten som läckaget av fosfateringsvätska (G06) har på aktiveringsbadet G05. Detta skulle vara positivt för funktionen av aktiveringssaltet i G05.
- En fungerande recirkulering, riskerar att innebära ackumulering av ämnen som helt eller delvis inte avskiljs. Exempel på detta är bor som på grund av dess ringa storlek uppvisar låg avskiljningsgrad över både nanofilter och jonbytare. Huruvida en förhöjd koncentration av bor i G04-G05-G06 skulle ha en negativ effekt på kvalitén är osäkert.

Ett annat exempel utgörs av vissa tensider vilka endast delvis avskiljs över nanofiltret och troligen inte alls över jonbytarna. Då en del av dessa svåravskiljda tensider dessutom har en skummande effekt, finns det risk för skumproblem i en sprutprocess som denna.

- Recirkulering av avfettningkemikalier tillbaka från G04 till G03 skulle sänka kemikaliekostnaderna. Genom att bestämma mängden avfettningkemikalier som bortgår ur G03 via koncentrat för omhändertagande (när nu membranerna är utbytta), samt via badbyte och relatera dessa förluster till det som utgörs av överbäring och läkage till G04, skulle besparingspotentialen kunna kvantifieras.

5.2 Recirkulering av sköljvatten efter fosfatering, G07

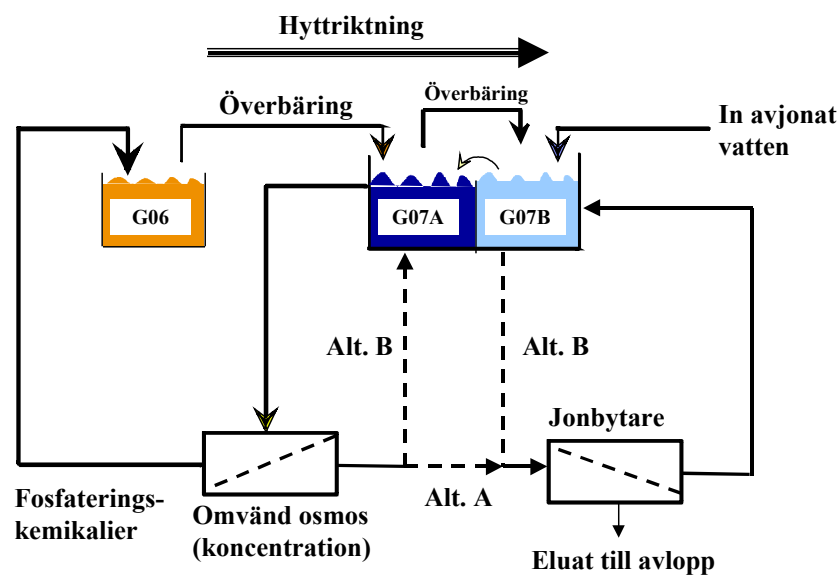
Vattenförbrukningen i G07, skölj efter fosfatering, utgör den enskilt största källan till den totala vattenförbrukningen. Under den senaste uppföljningsperioden, stod detta steg för nära hälften av den totala vattenförbrukningen.

Separationen av badkemikalier ur fosfateringsköljvattnet (G07) fungerar tillfredsställande och en bra sköljvattenkvalité erhålls därför. En flöde motsvarande 6,2 l/m² renas och recirkuleras från G07A tillbaka till G07B. Drygt motsvarande volym bräddas därefter tillbaka från G07B till G07A.

Trots att jonbytarna avskiljningsmässigt fungerar väl, innebär den stora mängd fosfateringskemikalier (produkten flöde x koncentrationen hos de badkemikalier från G06 som belastar G07) att jonbytarna snabbt mättas. Då jonbytarna är mättade regenereras de, varvid en relativt stor volym vatten åtgår. Detta är en delförklaring till att G07 står för nära hälften av totala sköljvattenförbrukningen. Jonbytarnas vattenförbrukning står endast för hälften av den totala förbrukningen i detta steg. Trots detta kan dock jonbytarna

indirekt vara huvudorsaken till den höga vattenförbrukningen. Merparten av den övriga vattenförbrukningen kan bero på att jonbytarna av olika anledningar varit ur funktion, varvid sköljvattnet i G07 helt eller delvis har behövt bytas ut.

Vi har i våra nedanstående åtgärdsalternativ valt att behålla jonbytarna eftersom dessa har hög flödeskapacitet och därmed säkerställer en god sköljvattenkvalité. För att åtgärda den höga belastningen av jonbytarna har beräkningar utförts för att utröna vilken behandlingskapacitet som skulle erfordras för en kompletterande separationsenhet som skulle minska belastningen på jonbytarna. Den minskade belastningen skulle kunna åstadkommas med två olika processlösningar enligt figur 5.9. I alternativ A) sker sköljvattentransporten i motström (från G07B till G07A) och återrecirkuleras över en omvänd osmosanläggning (RO, Reverse Osmosis) i serie med jonbytarna. I alternativ B) avskiljs fosfateringskemikalier separat ur det första sköljsteget G07A med hjälp av omvänd osmosteknik och jonbytarna behandlar separat sköljvattnet i efterföljande steg G07B och producerar ett vatten för detta steg av mycket god kvalitet.



Figur 5.9 Processutformning för de två alternativ som beräkningar avseende sköljvatten- och kemikaliercirkulering i fosfateringsstegen utförts för.

5.2.1 Behandlingsteknik och kemikaliercirkulering

Som framgår av resultatet av de två alternativa beräkningarna i bilaga 5 bör behandlingskapaciteten över omvänd osmosanläggningen överstiga ca 700 l/h. För att säkerställa att vattenkvaliteten i sista sköljsteget (G07B) kan dock alternativ A) modifieras så att omvänd osmospermeatet visserligen lämnas i G07B men att jonbytarparen arbetar separat och oberoende över detta steg. På så sätt upprätthålls det höga behandlingsflödet (ca 5000 l/h) över jonbytarna, vilket säkerställer en mycket hög sköljvattenkvalité.

Vattenförbrukningen som åtgår för regenerering av jonbytarna skulle minska ca 6 gånger om jonbytarna kompletterades med en omvänd osmosanläggning med en kapacitet om 800 l/h. Om man antar ett medelfiltratflöde (flux) om 20 l/hxm² för omvänd osmosmembranen skulle en membranyta om 40 m² vara tillräcklig. Detta filtratflöde måste dock bestämmas genom praktiska försök i pilotskala.

Vid hyttfabriken på VCE i Hallsberg finns sedan 1998 en omvänd osmosanläggning installerad för recirkulering av fosfaterings-sköljvatten. Processen som bygger på nickel-zinkfosfatering liknar den i Oskarshamn. Recirkuleringsflödet uppgår till 2500 l/h över två sköljsteg i motström. Inga jonbytare används för recirkuleringen. Sedan 1999 har även koncentratet recirkulerats tillbaka till fosfateringsbadet (kemikalierrecirkulering). Erfarenheterna har efter en intrimningsperiod varit positiva. Hela fosfateringsprocessens vattenförbrukning har minskat från 90 l/m² till drygt 30 l/m². Förbrukningen av fosfateringskemikalier har halverats. Samma teknik har prövats vid en annan, snarlik fosfateringsprocess, men har haft större intrimningsproblem.

Omvänd osmosbehandling tycks med andra ord vara en framkomlig teknik, både för vatten- och kemikalierrecirkulering men kräver ett noggrant planeringsarbete, inkluderande praktiska försök i pilotskala. Kemikalierrecirkuleringen i Hallsberg har ställt ännu större krav på uppföljning med ett exempelvis ett stort antal provplåtsomgångar innan recirkuleringen kunde genomföras i fullskala. Exempel på tänkbara försiktighetsåtgärder kan vara att omvänd osmoskoncentratet leds till en bufferttank ur vilken prover för badanalyser kan tas före godkännande av återföring till fosfateringsbadet. Efter analys kan nödvändiga justeringar av exempelvis frisyrahalten utföras.

5.2.2 Koppling av resursförbrukande åtgärder till kvalitetsaspekter

- Beträffande sköljvattenkvaliteten skulle komplement av jonbytestekniken med omvänd osmosbehandling ha en relativt liten effekt. De kvalitetskrav som gäller för sköljvattnet säkerställs med god marginal redan med dagens processutformning (enbart jonbyte). Komplementet av jonbytarna med ett recirkuleringsflöde om ca 5000 l/h med en omvänd osmosanläggning med en kapacitet om 800 l/h är liten.
- Beträffande recirkulering av koncentrat till fosfateringsbadet kan detta troligen inte utgöra något positivt ur kvalitetssynpunkt. Användande av en mellanliggande bufferttank i vilken justering av koncentratet kan utföras före återföring till fosfateringsbadet bör dock säkerställa att kvaliteten inte försämras. Trots detta bör man ge noga akt på risk för ackumulering av eventuella badgifter i fosfateringsbadet, se kapitel 2. Dessa bör med jämna intervall följas upp genom analys.
- Sammantaget kommer ett komplement av den befintliga jonbytarutrustningen med omvänd osmosteknik troligen inte innebära vare sig positiva eller negativa effekter på

fosfateringsskiktets kvalitet. Åtgärden kan således endast hänföras till resursbesparande aspekter.

- Kemikalieåtervinning genom recirkulering av koncentrat skulle troligen halvera kemikaliekostnaderna för fosfateringsbadet samt knappt halvera kostnaderna för omhändertagande och bildande av metallslam i reningsverket. Tillkommer gör investeringskostnader samt driftskostnader i form av exempelvis membranbyte, membrantvättkemikalier, förfilter och energi.

5.2.3 Förslag på andra resursbesparande åtgärder

- Renkörningen av fosfateringssteget G06 förbrukar stora mängder vatten och kemikalier som bildar avfall. En anledning till detta är att tankarna måste fyllas upp helt för att pumparna inte ska suga luft. Det bör övervägas om inte någon form av åtgärd kan vidtas som innebär att betydligt mindre volymer åtgår vid renkörning.
- Ventilationen från processtegen bör förses med droppavskiljare på varje enskilt steg för att förhindra avgång av aerosol. Detta har genomförts för avfettningsstegen G02 och G03 varifrån även olja avgår. Trots åtgärden ansamlas fortfarande olja längs hela ventilationskanalen. Detta innebär att olja tillförs både enskilda steg via ventilationen samt att olja når tiltanken och de jonbytare som recirkulerar vatten i processen. Trots att jonbytarna är skyddade av ABS-filer som avskiljer fri olja har deaktivering av dessa skett vid flera tillfällen. Att placera två ABS-filer i serie och byta dessa med jämna mellanrum skulle minska risken för deaktivering.
- Avfettningskemikalierna i G03 bör anpassas till ultrafiltreringen så att recirkuleringen inte innebär att problem med skumning uppstår. Detta kan exempelvis innebära att "Narrow range"-tensidsystem införs efter tester i pilotskala.
- Nya, tätare portar har successivt införts under hela mätperioden juli-97 till 18 februari-98. Detta innebär förhoppningsvis att de uppmätta eluatvolymerna härrörande från jonbytesbehandling av sköljstegen i framtiden minskar något. Efter renkörning av fosfateringssteget G06 har dock observerats att tätningen runt portarna skadats, troligen på grund av natriumhydroxiden som används. Dessa bör därför besiktigas och om nödvändigt åtgärdas efter varje renkörning.
- Om inte jonbytaranläggningen för behandling av fosfateringssköljvatten ersätts enligt alternativ 1, bör möjligheter till utvinning av nickel och zink ur dessa katjonbytareluat utredas eftersom dessa metaller återfinns i hög koncentration i dessa eluat.
- Förlusten av kondensvatten är betydande (0,25 l/m²) sedan denna volym inte längre omhändertas. Ett bättre skydd av jonbytare A007 (genom att ha ett par ABS-filer

kopplade i serie samt att byta och kontrollera dessa med täta mellanrum) bör återigen kunna möjliggöra recirkulering av kondensvatten.

- Om recirkulering av kondensvatten återupptas, kommer troligen den bräddning av vatten ur tiltanken samt tanken för DI-vatten att åter förekomma. Denna bräddning var betydande vilket dels berodde på bräddning av tilt- och kondensvatten då jonbyttaranläggningen A007 var avstängd i väntan regenerering (tilttanken), dels att tillrinningen av jonbytt vatten från A007 inte alltid sammanföll med behovet av vatten till processtegen (DI-tanken). Dessa bräddningar kan delvis minskas genom större buffertvolymmer samt automatisk start av regenerering av A007 med fördröjningsfunktion för att förhindra regenerering vid momentant förhöjd konduktivitet i behandlat vatten.

För att gå till botten med igensättningsproblemen i samband med nanofiltreringen av avfettningssköljvatten – steg G04 - har en rad försök utförts, där de autentiska förhållandena i så hög grad som möjligt försökt efterliknas. Flera olika parametrar som misstänkts kunna ha betydelse för flödeskapaciteten har varierats och studerats. Utifrån utförda försök kan slutsatser dras såtillvida att vissa påverkande parametrar och faktorer har kunnat identifieras medan andra kunnat uteslutas.

En betydelsebärande parameter som framkom i tidigt skede var att badets ålder spelade in – ett gammalt bad innebar högre grad av igensättning och sämre funktion hos membranet. Detta kan i sin tur bero på flera olika saker; då badet åldras i rumstemperatur kan till exempel bakterier växa till och delvis förändra den kemiska sammansättningen hos vätskan.

Den allt överskuggande parametern som framkom i senare försök är dock kalcium. Dess effekt på fluxet är tydlig i försöken 6 och 7, där kranvatten respektive avjonat vatten använts, men som i övrigt utförts vid likartade förhållanden. Effekten märks också mycket tydligt i försök 8, där 30 mg/l kalcium tillsatts under filtreringens gång, varvid fluxet minskat drastiskt. Att ett åldrat bad har sämre effekt på fluxet kan eventuellt också ha att göra med ett ökat innehåll av kalcium i badet som tillförts via kranvatten för att kompensera för avdunstningsförluster.

Försök med nya, syntetiskt tillblandade badkemikalier har visat sig gå mycket bra. Tillsatser av aktiveringskemikalien Parcolene visade sig också vara utan större betydelse för flödet.

Försöken där komplexbildare tillsatts för att binda upp kalciumet (se försök 9 ovan) visade sig fungera mycket tillfredsställande. Såväl EDTA som NTA visade sig även ha en så snabb reaktionsförmåga med kalciumet i lösningarna, att fluxet inte alls påverkades vid kalciumtillsats i dessa komplexbildar-innehållande lösningar.

Under förutsättning att tillsats av komplexbildare i sköljvattnet inte stör processen i övrigt, torde problemet med igensättning av nanomembranen i och med detta nått sin lösning.

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL är ett oberoende och fristående forskningsinstitut som ägs av staten och näringslivet. Vi erbjuder en helhetssyn, objektivitet och tvärvetenskap för sammansatta miljöfrågor och är en trovärdig partner i miljöarbetet.

IVLs mål är att ta fram vetenskapligt baserade beslutsunderlag åt näringsliv och myndigheter i deras arbetet för ett bärkraftigt samhälle.

IVLs affärsidé är att genom forskning och uppdrag snabbt förse samhället med ny kunskap i arbetet för en bättre miljö.

Forskning- och utvecklingsprojekt publiceras i

IVL Rapport: IVLs publikationsserie (B-serie)
IVL Nyheter: Nyheter om pågående projekt på den nationella och internationella marknaden
IVL Fakta: Referat av forskningsrapporter och projekt
IVLs hemsida: www.ivl.se

Forskning och utveckling som publiceras utanför IVLs publikationsservice registreras i IVLs A-serie. Resultat redovisas även vid seminarier, föreläsningar och konferenser.



IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

P.O.Box 210 60, SE-100 31 Stockholm
Hälsingegatan 43, Stockholm
Tel: +46 8 598 563 00
Fax: +46 8 598 563 90

P.O.Box 470 86, SE-402 58 Göteborg
Dagjämningsgatan 1, Göteborg
Tel: +46 31 725 62 00
Fax: +46 31 725 62 90

Aneboda, SE-360 30 Lammhult
Aneboda, Lammhult
Tel: +46 472 26 77 80
Fax: +46 472 26 77 90

www.ivl.se