SKOGSINDUSTRIELLA PROGRAMMET 1258

Inverkan av biotransformation på syrebehov och energianvändning i skogsindustriella reningsverk

Maria Sandberg, Karin Arvsell, Jens Beiron

värmeforsk
VÄRMETEKNISK FORSKNING OCH UTVECKLING

Inverkan av biotransformation på syrebehov och energianvändning i skogsindustriella reningsverk

The effect of biotransformation for oxygen need and energy use in forest industrial wastewater treatment plants

Maria Sandberg, Karin Arvsell, Jens Beiron

S12-250

VÄRMEFORSK Serviceaktiebolag
101 53 STOCKHOLM · Tel 08-677 25 80
December 2014
ISSN 1653-1248

Abstract

Resultatet bekräftar att ju längre ett processavloppsvatten behandlas med biologisk rening desto lättare blir det att syresätta. Men mindre väntat var att syresättningshastigheten fortsätter att stiga trots att halten organiskt material inte sjunker längre. Det visar att det inte finns något entydigt dos-samband mellan TOC eller COD halt och K_La.

För att utvärdera strategier för effektivare reningsteknik byggdes en modell i MATLAB/Simulink. Modellen predikterade substratreduktion, produktion av biomassa och syrebehov i tre olika reningsverk. Resultaten från modellen indikerar att det går att spara upp till 30 % av syrebehovet för reningsverk med lång uppehållstid, genom att utjämna vattenkvaliteten så att även början bassängen innehåller processavlopp som behandlats under lång tid

Sammanfattning

De flesta massa- och pappersbruk använder sig av någon typ av biologisk aerob reningsteknik. Luftningen av reningsverken använder 50-80% av reningsverkens totala energianvändning. Stora mängder av det syre som tillförs till bassängerna bubblar genom vattnet och lämnar systemet som off gas. Genom att öka hastigheten för syre att lösa sig i vattnet, kan luftningen effektiviseras och energi sparas. Syftet med den här studien har varit att hitta strategier för effektivare luftning.

Syrets transporthastighet ut i vattnet påverkas bl.a av ytaktiva ämnen som fäster på bubblornas yta och hindrar syretransporten. Många av dessa ämnen är organiska och bryts ner i reningsverket. Därför är det lättare att syresätta vattnet i slutet av reningsverket jämfört med i början. Vilka ämnen och i vilken utsträckning de påverkar syretransporten behöver utredas mer.

För att studera hur biotransformationen av det organiska materialet påverkar luftningseffektiviteten, har syresättningshastigheten mätts i processavloppsvatten som påverkats av biologisk rening av olika grad. Ett stort antal mätningar gjordes på prover tagna från tre skogsindustriella reningsverk. Proverna karaktäriserades med avseende på innehåll av organiskt material mätt som COD och TOC. Men även halten extraktivämnen och ytspänning mättes för att studera sambanden mellan ytaktiva ämnen och syretransporthastighet. När det visade sig vara svårt att hitta direkta samband utökades studien och i några prover karakteriserades storleksfördelningen på det organiska materialet genom att mäta TOC och COD i filtraten från GFA-filter, och membran med porstorlek 100kDa, 10kDa och 3kDa. Resultatet bekräftade att ju längre ett processavloppsvatten behandlas med biologisk rening desto lättare blir det att syresätta det. Resultaten visar bl.a att syretransportkoefficienten k_La stiger när halten extraktivämnen sjunker. Men mindre väntat var att k_La, fortsätter att stiga trots att halten organiskt material inte sjunker längre. Det visar att det inte finns något entydigt samband mellan TOC eller COD halt och k_La. Det tyder på att de organiska ämnena i vattnet är svårnedbrytbara och transformeras till något som har mindre effekt för syretransporten.

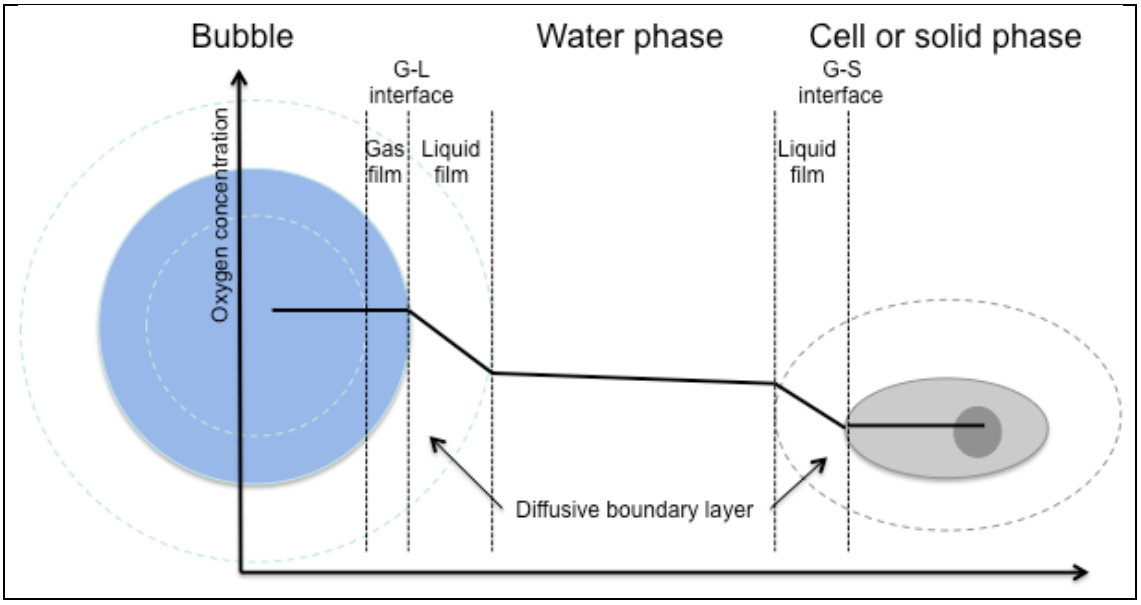
För att utvärdera och ytterligare förstå hur halterna av organiskt material påverkar syretransport och därmed energianvändning i reningsverk, har experimentella data använts för att bygga en modell i MATLAB/Simulink. Modellen användes för att prediktera hur förändringar i strömningsförhållanden och grad av biotransformation påverkade syrebehov och energianvändning. Med modellen var det möjligt att prediktera substratreduktion och produktion av biomassa i ett reningsverk. Eftersom resultaten visar att det är tiden och inte någon halt av ett karaktäriserbart ämne eller fraktion, som korrelerar mot syrebehov, gick det inte fullt ut att prediktera syrebehovet vid förändrade strömningsförhållanden. Men det gick att prediktera potentialen för effektivisering. Resultaten från modellen visar att det går att spara upp till 30 % av syrebehovet för reningsverk med lång uppehållstid, genom att utjämna vattenkvaliteten så att även början av bassängen innehåller processavlopp som behandlats under lång tid.

Sökord: syretransport, biotransformation, processavlopp, simulering

Executive summary

Background

Most Swedish pulp and paper mills use an aerobic biological treatment. The treatment uses a lot of electric power, and the aeration of the basin is the single most energy using unit in a treatment plant. Aeration uses 50-80% of the total energy use *[1]*. The majority of the oxygen passes through the basin and leaves the system as off gas. The aeration could be more efficient if the oxygen transfer rate from the bubble into the water volume was able to be increased.



Figur 1. Syretransport från gasen i bubblan till processavloppsvattnet passerar det diffusiva gränskiktet. Diffusionen är de hastighetsbegränsande stegen när syre transporteras från bubbla till cell [2].

Figure 1. Oxygen transfer through the diffusive boundary layer is the rate determine step, when oxygen transfer from the bubble to the cell [2].

The oxygen transfer rate is affected by surface active compounds, like resin acids, fatty acids and lignin. These compounds can attach to the bubble surface and increase the diffusive boundary layer thickness. Many of theses compounds are biodegradable. Therefore it is easier to aerate the water at the beginning of a treatment plant than at the end of it. What compounds and to which extent do they affect the oxygen transfer rate need to be further investigated.

The aim of this study is to find strategies for more efficient aeration.

Method

To be able to study how the biotransformation of the organic compounds affects the aeration efficiency, the oxygen transfer rate have been measured in process effluent that have been biologically treated to different extent. A large number of trials have been done to test the pxygen transfer rate in effluent from three pulp and paper mills. The oxygen transfer rate was measured in a cylinder aerator, figure 2. The aerator is 2 m high and holds 75 litres. The air was added in the bottom through bubble diffusers what give bubbles with 4 mm diameter in clean water. In all of the trials120 l/h air flow was used.



Figur 2. Cylinderluftaren uppställd för mätning, diffusör använd under försöken

Figure 2. The cylinder aerator filled with process effluent, diffuser used during the trials

In order to measure the oxygen transfer rate in process effluent with different degree of biotransformation, aeration trials were made in process effluent collected at different places in three pulp and paper mill treatment plants. Effluent from two mills was also treated with bio sludge in the cylinder aerator for 7 days. Each day, the oxygen transfer rate was measured and the effluent characterised.

Aeration trial procedure: When the cylinder aerator was filled with process effluent, the microorganisms consumed the oxygen. The oxygen uptake rate (OUR) was measured. When the concentration of dissolved oxygen (DO) was zero, the airflow was started. The concentration of DO increases until it reaches saturation. It is the difference between the concentration of DO and the concentration of saturation ($C-C_s$) that is the

driving force for the oxygen transfer rate. The mass transfer coefficient k_La is a product of the mass transfer coefficient k_L, and the surface area a. k_La can be explained by equation (1).

$$\frac{dC}{dt} = k_L a(Cs - C) \quad (1)$$

The conditions in terms of bubble size, bubble speed through the water volume, the stirring conditions and the water chemical composition e.t.c., which makes k_La specific for each aerator and each situation. In this study, all the trial were performed in the same aerator with the same air flow and temperature conditions. The results show how the differences in chemical composition affect the oxygen transfer rate.

When microorganisms are present can the oxygen transfer rate can be described as (2)

$$\frac{dC}{dt} = k_L a(Cs - C) - OUR \quad (2)$$

At steady state, the Cm is reached when the microorganisms use oxygen at the same speed as it is dissolved.

$$OUR = k_L a(Cs - Cm) \quad (3)$$

By combining (2) and (3), we get (4)

$$\frac{dC}{dt} = k_L a(Cm - C) \quad (4)$$

$$Cs = \frac{OUR}{k_L a} + Cm \quad (5)$$

The measured data was fitted against (4) using non-linear least squares. The calculations were implemented using the GRE Solver in Microsoft Excel. OUR was calculated from the measured OUR data using linear regression and also used in turn to calculate Cs. Temperature compensation was made on the k_La values according to (6).

$$k_L a(20) = k_L a * 1.024^{(t-20)} \quad (6)$$

The organic materials in the effluents were characterised as TOC and COD. Concentrations of extractives and surface tension were measured to study the connections between the surface active compounds and oxygen transfer rate. Since it was hard to find dose-effect connections the study was extended and some of the

samples were filtrated with a 100kDa 10kDa and 3 kDa cut off. TOC and COD were measured in filtrate.

To be able to evaluate and increase the understanding for how the concentrations of organic materials affect the oxygen transfer rate, a model built in MATLAB/Simulink had been used. The model was used to predict how changes in flow, retention time and biotransformation affected the oxygen transfer rate and energy use.

The model calculated the change of substrate concentration with (11) and the rate of microorganism growth with (13)

$$r_{su} = -\frac{\mu_m X S}{Y(K_s + S)} \qquad (11)$$

r_{su}	Specific substrate rate (g/m^3, d)
μ_m	maximum specific biosludge growth rate (g new cells/g cells, d)
X	concentration of biomass in the basin (g/m^3)
S	concentration of growth limiting substrate (g/m^3)
K_s	half-rate constant (g/m^3)

$$r_g = Y\frac{kXS}{k_s + S} - k_d X \qquad (13)$$

r_g	netto production rate for biomass (VSS/m^3, d)
Y	Yield coefficient, new biomass /substrate (gVSS/g VSS)
k_d	decay coefficient (g VSS/g VSS, d)

The oxygen utilisation rate r_0 is described as (15)

$$r_o = -r_{su} - 1{,}42 r_g \qquad (15)$$

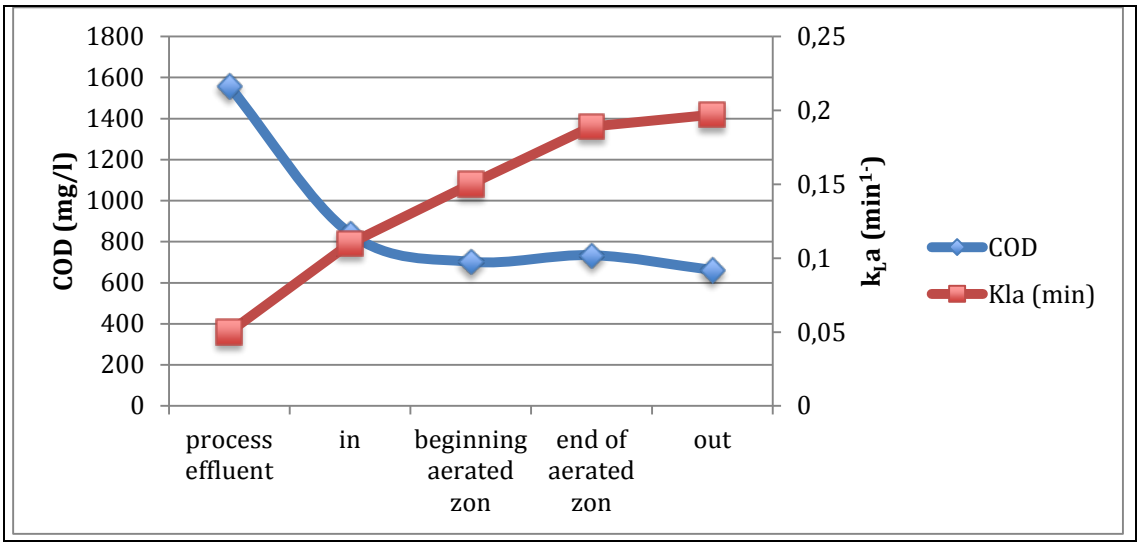
When the standardised oxygen need (SOTR) is calculated from the actual oxygen need (AOTR), correction factors for saturation and oxygen transfer rate in process effluent is used.

$$AOTR = SOTR\left(\frac{\beta C_{STH} - C_L}{C_s 20}\right)(1{,}024^{T-20})(\alpha)(F) \qquad (16)$$

AOTR	actual oxygen transfer rate (kg/h)
SOTR	Standard oxygen transfer rate in clean water at 20°C and zero DO.
C_{STH}	Average conentration of DO in clean water at temp T and altitud H.
CL	Actual concentration of DO (mg/l)
Cs,20	Concentration at saturation at 20°C in clean water
α	Corrections factor for oxygen transfer in process effluent
β	Corrections factor for concentration of saturation DO in process effluent.
F	Fouling factor (0,65-0,9)

Results

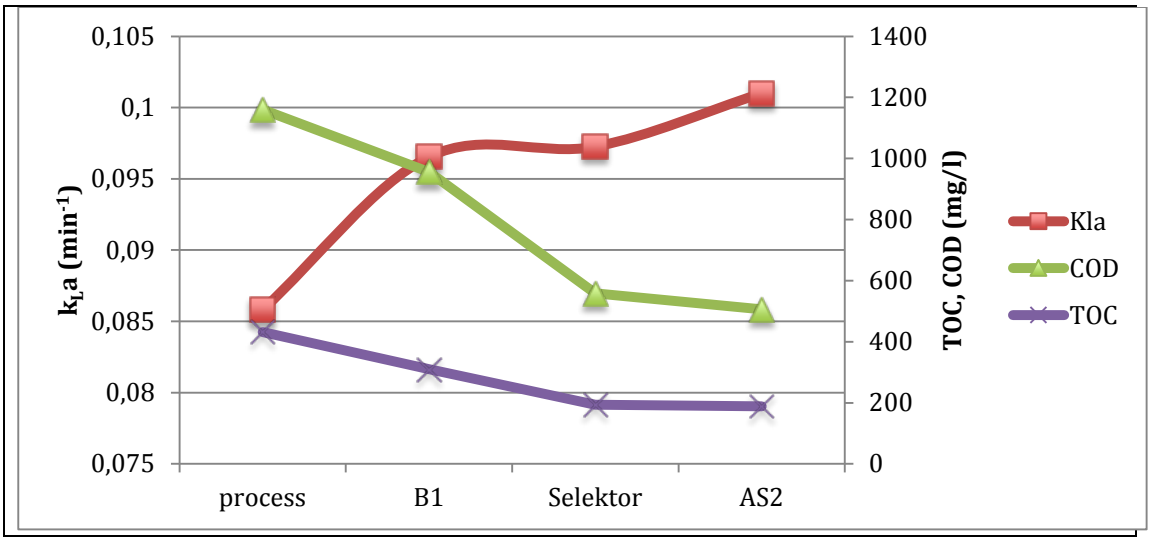
The results confirmed that the oxygen transfer rate increases with prolonged biodegradation. In all trials, the oxygen transfer rate coefficient k_La increased when the concentration of extractives decreased. However less expected, the k_La increased even when the concentration of COD or TOC not longer decreased, figure 3, results from Skoghall mill.



Figur 3. Syretransportkoefficienten (K_La) ökar med tiden trots att COD-reduktionen avstannat i Skoghalls luftade damm

Figure 3. The oxygen transfer coefficient (kLa) increasse with time, even though the COD reduction stopped in Skoghall aerated lagoon

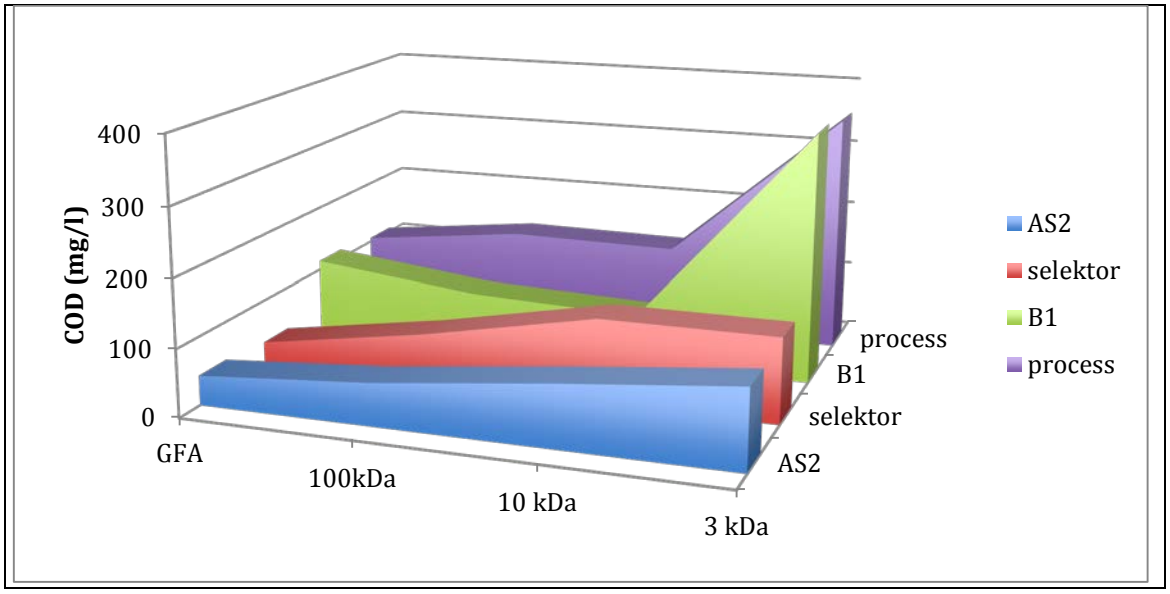
In figure 4, the results from Gruvön mill are presented. The oxygen transfer rate was measured in process effluent and samples collected from the first bacterial stage, the selector and the last activated sludge stage in Gruvön mill MultiBio treatment plant.



Figur 4. Syretransportkoefficienten (k_La) ökar med tiden trots att COD-reduktionen avstannat i Gruvöns MultiBio

Figure 4. The oxygen transfer coefficient (k_La) increases with time even if the COD does not decreases any more

When the organic material is characterised by its size, it shows that the larger part of COD are found in the smallest fraction < 3 kDa. It also shows that the concentration decreases through the treatment plant.

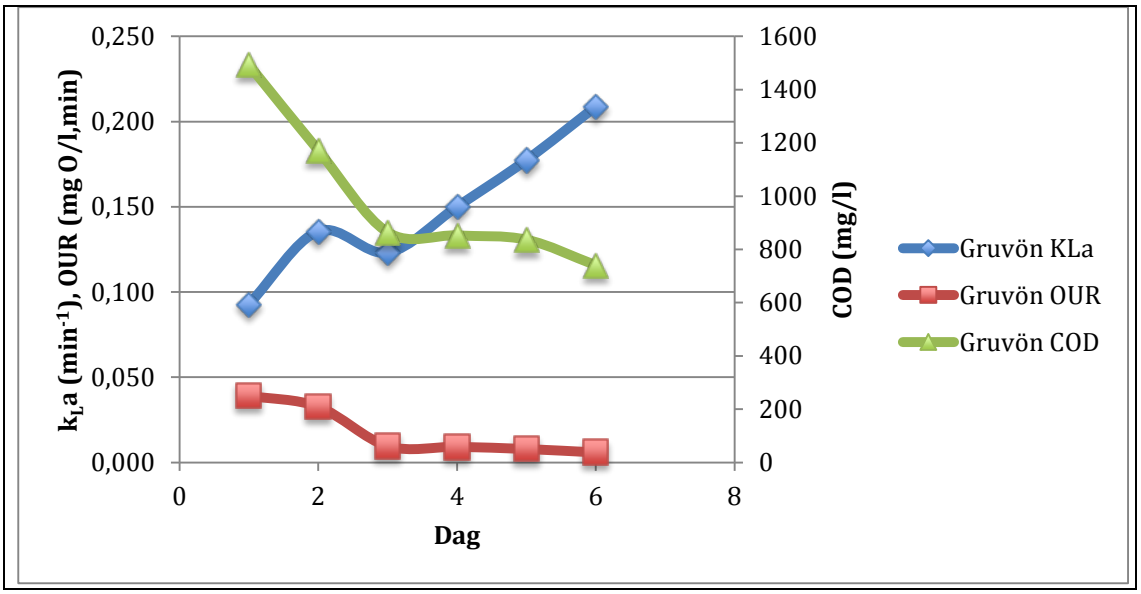


Figur 5. Halten COD i de membranfiltrerade fraktionerna från Gruvöns reningsverk.

Figure 5. Concentration of COD in the filtrate from membrane filtration

The results were similar for the other mills.

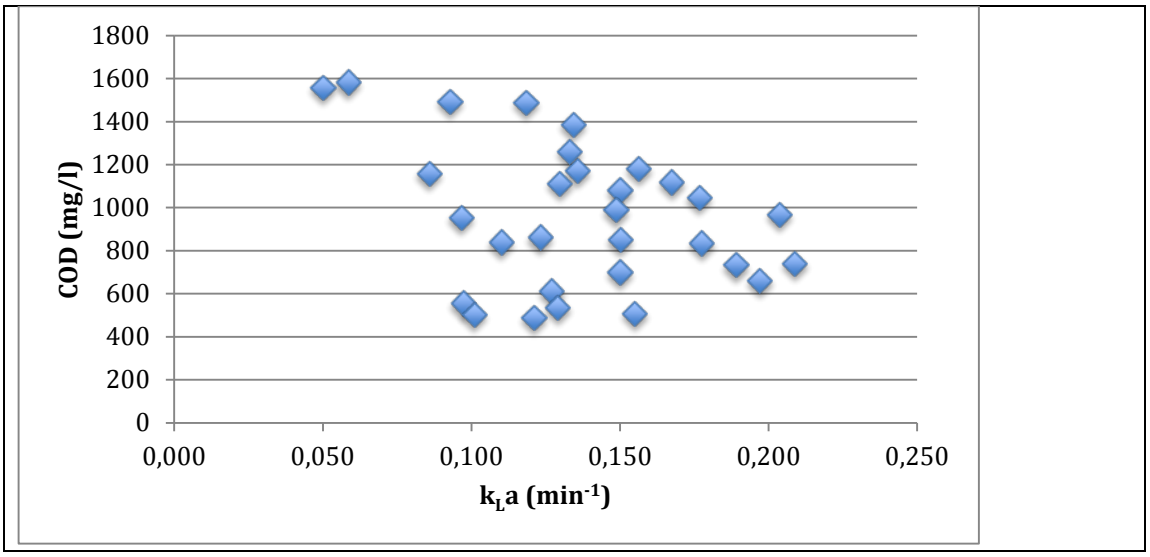
When the process effluent from Gruvön mill was treated in the cylinder aerator, the COD decreased with time until day 3. Then, most of the biodegradable substrate was consumed. The OUR decreased since the microorganism did not have any substrate to use. Even when the biological activity seems to slow down, the oxygen transfer coefficient k_La increased for a few more days. The experiment was ended before the maximum transfer rate was reached.



Figur 6. Syretransportkoefficienten (k_La) ökar med tiden trots att COD-reduktionen och OUR avstannar när processavloppsvatten från Gruvön reagerar med biomassa under 6 dagar

Figure 6. The oxygen transfer coefficient k_La increases with time even though the COD reduction and OUR stop

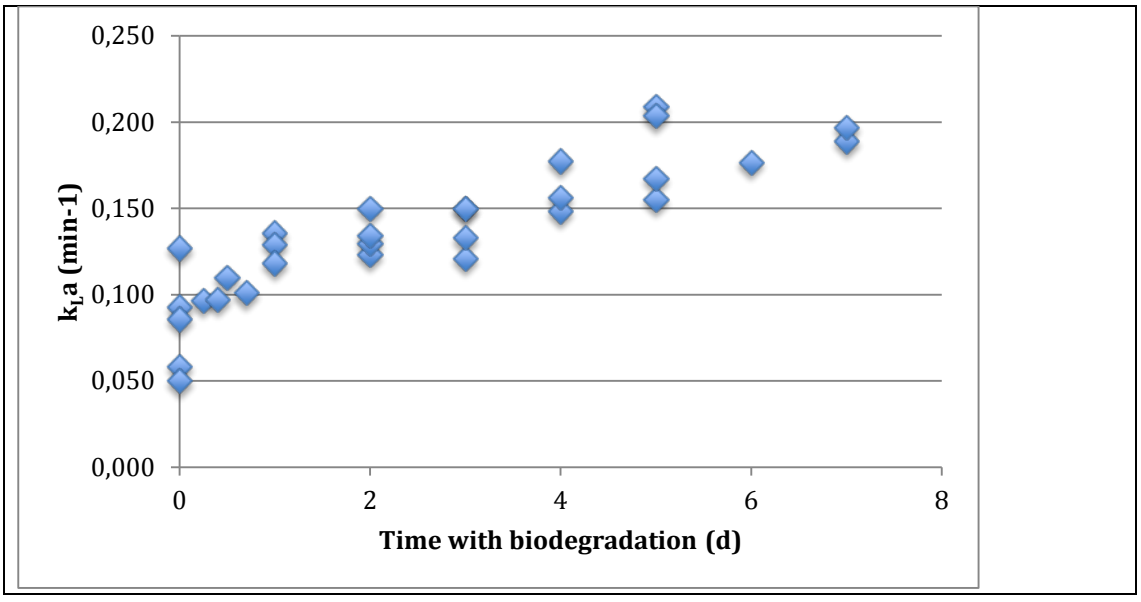
To find answers that explain the increased oxygen transfer rate characteristics from all trials were compared. It was not possible to find a correlation between the oxygen transfer rate and COD or TOC, figure 7.



Figur 7. Det finns ingen korrelation mellan COD i proven och k_La

Figure 7. There is no correlation between COD in the sample and the oxygen transfer coefficient k_La

Some correlation was found in the membrane filtrated fractions, however, not a significant enough amount for conclusions. Also, here was some correlation between concentrations of extractives and k_La. However a correlation was found between time for biodegradation and k_La, independent of the sampled mill or treatment method, figure 8.



Figur 8. Det finns ett samband mellan k_La och tiden som provet behandlats med biologiska reningsmetoder oavsett vilket bruk provet hämtats från eller vilken reningsmetod provet benhandlats med

Figure 8. There is a correlation between the oxygen transfer coefficient k_La and the amount of time the sample has been treated with biological methods, not depending on which mill the sample was collected from or what treatment method was used

However, unexpectedly, the k_La increased even when the concentration of organic compounds did not decreased any more. This indicates that compounds important for oxygen transfer are persistence and are slowly transformed to something with less effect for the oxygen transfer rate.

It was possible to predict substrate reduction and sludge growth with the model. However, when the result indicated that time and not a concentration correlates to oxygen transfer rate, it was not possible to fully predict the need for oxygen at different flow patterns in a treatment plant. However it was possible to predict the efficiency potential. The results from the model of Skoghall mill, table 1, show that it is possible to save up to 30 % of the oxygen needed (SOTR) in treatment plants with long retention time, table 1 and 2, by increasing the k_La by diluting the incoming effluent with long treated effluent.

Tabell 1. Indata till Modell Skoghall, fysikaliska parametrar

Table 1. Data used in the model for Skoghall treatment plant

	Control volume 1	Control volume 2	Control volume 3
Part of treatment plant	Anaerob zon	aerated zon 1	aerated zon 2
Flow Q (m3/d)	37000	37000	37000
Retention time (tim)	0,5	2	3
Deep m	4	4	4
DO (mg/l)	0	1,5	1,5
Exchange between contr.vol (%)	10	10	10
T (°C)	30	30	30
k_La (min -1) case 1	0,11	0,15	0,19
k_La (min -1) case 2	0,19	0,19	0,19

Tabell 2. Resultat från Modell Skoghalls reningsverk

Table 2. Results from model, Skoghall treatment plant

	Contr.vol. 1	Contr.vol. 2	Contr.vol. 3	Totalt
Conc COD (1+2+3) (mg/l)	900	0	0	
Bio mass conc SS (mg/l)	220	620	450	
Oxygen need R_0 (ton/d)	0	9	7	16
Sludge production (ton/d)				5
Sludge age SRT (d)				19
SOTR (ton/d) k_La case 1				29
SOTR (ton/d) k_La case 2				16

Also Skärblacka mill have a treatment plant with long retention time, 5 days. The model shows that it is possible to save 13 % of SOTR when the long time treated effluent is diluted in to the beginning of the treatment plant. Gruvön mill use a compact treatment plant with short retention time, 10 hours. The k_La did not increase to the same extent as in the two long time treatment plants. Therefore, the potential for improving aeration was smaller. According to the model was the efficiency potential for SOTR in Gruvön treatment plant 5%.

Conclusions

The results confirmed that the oxygen transfer rate increases with prolonged biodegradation. However less expected, the k_La increased even when the concentration of COD or TOC not longer decreased. Some correlation could be found between concentration of extractives and k_La.

It was possible to predict substrate reduction rate, sludge growth and oxygen need with the model. The results from the model show that there is a potential to save 30 % SOTR in treatment plants with long retention time by increasing the k_La by diluting the incoming effluent with long treated effluent.

Ordlista

Hydrofil	Kemisk förening som löser sig i vatten
Hydrofob	Kemisk förening som inte löser sig i vatten
Amfifil	Kemisk förening som har både hydrofila och hydrofoba egenskaper
Biotransformation	När ett ämne omvandlas av biologisk aktivitet, ex.vis mikroorganismer i ett reningsverk
Ytaktiv	Ämne vars kemiska egenskaper gör att det fäster på ytor, ex.vis ytskiktet av en gasbubbla i en vätskefas
COD	Chemical oxygen demand, analysmetod för att bestämma hur mycket syre som går åt för att oxidera provet till CO2. Analyser används för att uppskatta halten organiska föreningar i avloppsvatten
TOC	Total organic carbon, analysmetod för att bestämma halten organiskt kol i ex.vis avloppsvatten
OUR	Oxygen uptake rate, hastigheten mikroorganismer i ett reningsverk förbrukar syre.
DO	Dissolved Oxygen, halten löst syre
NSSC	Neutralsulfitmassa

Innehållsförteckning

1 INLEDNING 1
1.1 BAKGRUND 1
1.2 BESKRIVNING AV FORSKNINGSOMRÅDET 1
1.3 FORSKNINGSUPPGIFTEN OCH DESS ROLL INOM FORSKNINGSOMRÅDET 2
1.4 MÅL OCH MÅLGRUPP 2
2 METODER 3
2.1 SAMMANFATTNING 3
2.2 PROVTAGNING I RENINGSVERK MED OLIKA FLÖDESMÖNSTER 3
2.3 BIOTRANSFORMATION I LABORATORIESKALA 7
2.4 KARAKTÄRISERING AV PROCESSAVLOPP MED AVSEENDE ATT PREDIKTERA 8
2.5 SYRETRANSPORTFÖRSÖK 8
2.6 MODELLBERÄKNINGAR 10
2.7 MODELL GRUVÖN 15
2.8 MODELL SKÄRBLACKA 16
2.9 MODELL SKOGHALL 17
3 RESULTAT 18
3.1 PROVTAGNING GRUVÖN 18
3.2 PROVTAGNING SKOGHALL 20
3.3 PROVTAGNING SKÄRBLACKA 21
3.4 BIOTRANSFORMATION I LABORATORIESKALA 23
3.5 RESULTAT GENERELL KARAKTÄRISERING 25
3.6 RESULTAT MODELL 29
4 RESULTATANALYS 32
5 SLUTSATSER 34
6 REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING 35
7 FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSARBETE 36
8 LITTERATURREFERENSER 37

Bilagor

A BESKRIVNING AV MODELL

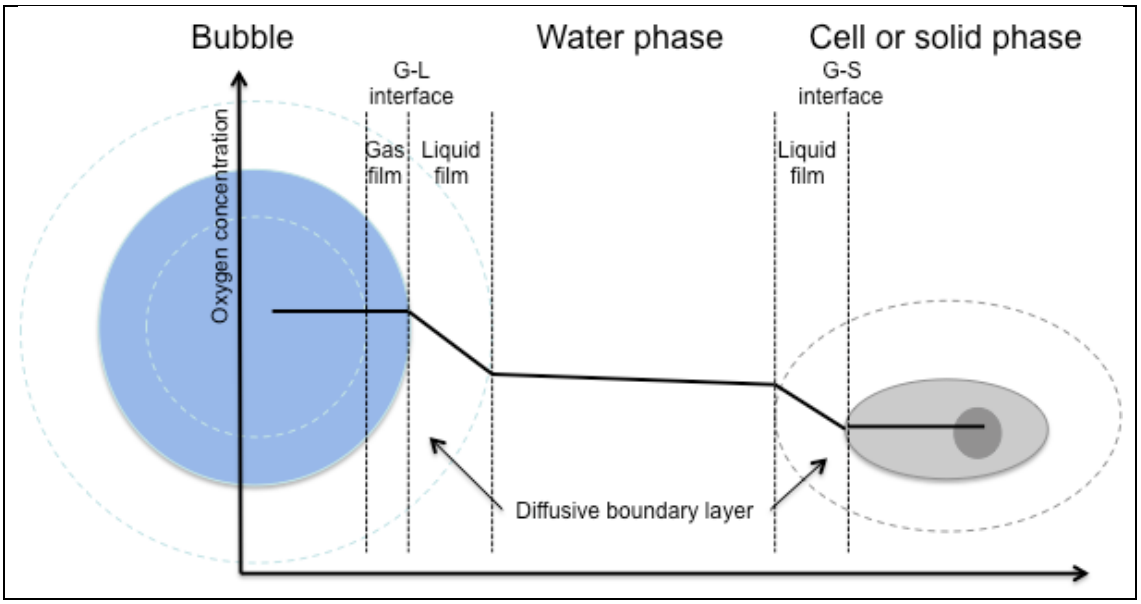
1 Inledning

1.1 Bakgrund

Varje år renar svensk skogsindustri ca 440 miljoner m^3 processavlopp. De flesta massa- och pappersbruk använder sig av någon typ av biologisk aerob reningsteknik. För att ge mikroorganismerna det syre de behöver använder man sig av luftare. Oberoende av typ av luftare så förbrukar de stora mängder el-energi. Luftningen använder 50-80% av reningsverkens totala energianvändning *[1]*. Genom att effektivisera luftningen kan man spara mycket energi och pengar.

1.2 Beskrivning av forskningsområdet

Många reningsverk använder sig av luftare som tillför bubblor genom diffusörer i botten på bassängen. Medan bubblan stiger genom vattenvolymen ska den lämna ifrån sig sitt syre. Runt varje bubbla orienterar vattnet sig i ett diffusivt gränsskikt, d.v.s ett gränsskikt som syre måste diffundera genom för att nå vattnets bulkfas, figur 9. I många fall hinner endast några få procent av bubblans syre lösa sig i vattnet innan den når ytan. Om syret kan transporteras fortare till vattenfasen, kan vi minska antalet kompressorer och blåsmaskiner, och på så vis minska energianvändningen.



Figur 9. Syretransport från gasen i bubblan till processavloppsvattnet passerar det diffusiva gränskiktet. Diffusionen är de hastighetsbegränsande stegen när syre transporteras från bubbla till cell.

Figure 9. Oxygen transfer through the diffusive boundary layer is the rate determine step when oxygen transfer from a 1ubblet o a cell.

Processavloppet innehåller bland annat extraktivämnen som har ytkemiska egenskaper. Inom gruppen ytkemiska ämnen räknas exempelvis fettsyror och hartssyror. Eftersom de är amfifila med en laddad syragrupp och en hydrofob kolvätedel, fastnar de på bubblornas yta och hindrar syretransporten [3]. Även lignin kan ha ytaktiva egenskaper

p.g.a av dess storlek och laddning. När de ytaktiva ämnena fastnar på bubblornas yta skapas ett tjockare diffusivt lager. Eftersom diffusionen genom lagret är långsam och det hastighetsbegränsande steget, har ytaktiva ämnen stor inverkan på syretransporten. I många reningsanläggningar passerar >90% av tillfört syre genom bassängen utan att hinna lösa sig. Kan syre transporteras från bubblan till processavloppet lite snabbare, kan mycket elenergi sparas.

Fettsyror och hartssyror är bionedbrytbara och därför kommer deras effekt på syretransporten att minska genom biotransformation ju längre reningen pågår.
I en anläggning där hela volymen är omblandad kommer halten av ytaktiva ämnen att vara låg i hela systemet. I en anläggning med pluggflöde kommer halten att vara hög vid inloppet och minska genom systemet. Det betyder också att syresättningen är mindre effektiv i början.

Leiviskä m.fl [4] studerade halten av harts- och fettsyror samt lignin före och efter biologisk rening. De tittade på avloppsvatten från massa- och pappersproduktion. De filtrerade avloppet i flera olika fraktioner. De såg att det ingående vattnet innehöll hartssyror, fettsyror och lignin i partikelform, kolloid form och löst form (<3kDa). Efter biologisk rening hade 89% reducerats. Det som fanns kvar fanns till största delen i den minsta fraktionen, 3kDa. Genom att studera hur organiskt material i olika storleksfraktioner påverkas av biologisk nedbrytning kan det gå att hitta samband mellan syretransporthastighet och biotransformationen.

1.3 Forskningsuppgiften och dess roll inom forskningsområdet

Genom att lära sig hur biotransformationen av processavloppet påverkar syresättningen av vattnet och även hur flödesmönster i reningsanläggningar påverkar biotransformationen, kan ny teknik och nya strategier för energieffektiv rening utvecklas.

I den här studien har syrets transporthastighet, d.v.s tiden för syre att syresätta processavlopp, studerats. Mätningar har gjorts i fyra olika typer av vatten från tre olika bruk. Syftet var att få stor spridning på vattenkvalitet och stor variation på reningsverkens uppehållstider och flödesprofil. Anledningen är att skapa generell kunskap om området snarare än att skapa lösningar för ett specifikt bruk.

För att förutsäga hur flödet i en reningsanläggning påverkar syresättningshastigheten har en modell byggts upp där biologisk aktivitet, i form av bionedbrytbarhet av olika typer av substrat och slamproduktion kan beräknas.

1.4 Mål och målgrupp

Syftet är att hitta strategier för minskad energianvändning i aeroba reningsverk för skogsindustriella avloppsvatten.

Målet med studien är att belysa hur stor inverkan biotransformationen och flödet i bassängen/omblandningen har på syresättning och energianvändning för luftning.

2 Metoder

2.1 Sammanfattning

För att studera hur biotransformationen av det organiska materialet påverkar syretransporten, har syresättningsförsök gjorts på process-avloppsvatten som genomgått olika grader av biotransformation, d.v.s olika långt renat. Mätningarna gjordes på olika platser i tre skogsindustriella reningsverk: Billerud Korsnäs Gruvöns bruk, Billerud Korsnäs Skärblacka och Stora Enso Skoghalls bruk. De olika bruken valdes med anledning av att de har olika typer av reningsverk. I den här studien ville vi studera olika flöden, uppehållstider och strömningsförhållanden. De olika bruken har olika massatillverkningsprocess vilket påverkar innehållet av organiskt material, både i koncentration av ämnen och olika grader av kemiskt behandling.

Biotransformationens inverkan på syretransporthastigheten har även uppmätts i laboratorieförsök där processavlopp från två olika bruk fått reagera med biomassa under sex dagar. Varje dag karaktäriserades det organiska materialet och syretransporten uppmättes.

För att närmare undersöka vilka typer av föroreningar som påverkar syretransporten har de organiska föreningarna i processavlopp från olika bruk karaktäriserats med avseende på storlek genom ultrafiltrering genom GFA-filter, och membran med 100kDa, 10kDa och 3kDa porstorlek. Fraktionerna karakteriserades med avseende på COD, TOC och ytkemiska egenskaper.

För att kunna prediktera och ytterligare förstå hur halterna av organiskt material påverkar syretransport och därmed energianvändning i reningsverk, har experimentella data använts för att bygga en modell i MATLAB/Simulink.

Modellen simulerar dynamiskt biologisk nedbrytning av organiskt material, uppbyggnad av bioslam samt syrebehov och energiförbrukning i skogsindustriella reningsverk. Modellen använder sig av tre olika typer av substrat (organiskt material) S1, S2 och S3 med tre olika nedbrytningshastigheter. Genom att bygga upp modellen i en eller flera kontrollvolymer kan olika flödesmönster simuleras. När utbytet mellan kontrollvolymerna är litet simuleras pluggflöde genom ett reningsverk. När utbytet mellan kontrollvolymerna är stort, simuleras större omblandning. Om beräkningarna görs i endast en kontrollvolym simuleras ett helt omblandat system liknande en aktivslam bassäng.

2.2 Provtagning i reningsverk med olika flödesmönster

För att studera hur biotransformationen påverkar syretransporten togs prover på flera positioner i olika biologiska reningsanläggningar. Proverna togs i fyra reningsverk tabell 3. Alla reningsverk har olika flödesprofiler och olika omblandat processavlopp. Alla processavlopp har olika halter organiskt material.

Tabell 3. Antal provpunkter, inklusive obehandlat processavlopp, för karaktärisering av organiskt material och syretransporthastighet

Table 3. Description of the treatment plants where samples for characterisation were collected from

Bruk och typ av reningsanläggning	Typ av flöde i anläggningen	Flöde av processvatten (m^3/d)	COD in (mg/l) och reduktion (%)	Antal prover
BillerudKorsnäs Skärblacka LAS	Pluggflöde	60000	1200 58%	4
BillerudKorsnäs Gruvön Multibio	Flerstegsprocess med total omblandning i varje steg	45000	1500 50%	4
Stora Enso Skoghall Modifierad luftad damm	Varierande flödesbild	25000	1600 62%	5

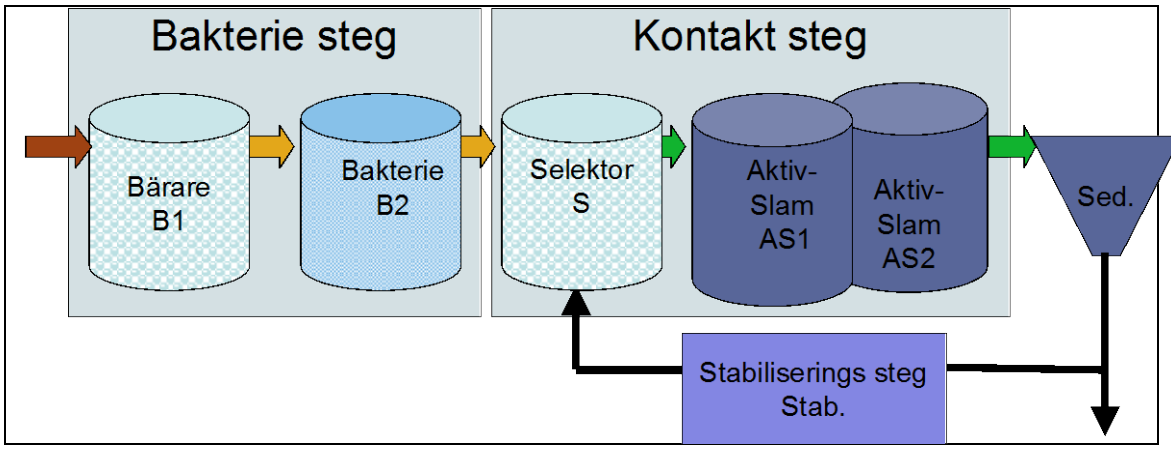
2.2.1 Provtagning Gruvön

Gruvön producerar NSSC- och sulfatmassa samt starka papper. Gruvön renar sitt vatten i ett system med sex helt omblandade volymer, figur 2. Det första steget är ett bärarsteg. Bassängen innehåller Natrixbärare där bakterierna bildar en biofilm på plastmaterialet. Det innersta bakterielagret får anaeroba förhållanden vilket möjliggör klorat reduktion. Det andra steget är ett bakteriesteg utan biofilm eller slamretur. Här växer snabbväxande frisimmande bakterier. I de första två stegen sker den största delen av COD-reduktionen.

Det två sista stegen AS1 och AS2, är aktivslamsteg med relativt hög slamålder och hög koncentration av biomassa. Den låga halten substrat gör att bakterietillväxten avtar medan förhållandena är anpassade för högre organismer som metazoer och protozoer. Här reduceras den sista andelen COD men främst reduceras mängden slam samtidigt som slamegenskaperna förbättras.

Mellan de inledande bakteriestegen och de avslutande aktivslamstegen finns en selektor, S, där returslammet blandas in. Hela konceptet kallas MultiBio, figur 10.

Varje bassäng är helt omblandad och vattnet transporteras mellan dem utan omblandning. Uppehållstiden i hela systemet är ca 11 timmar. Slamåldern i aktivslamstegen är ca 4 dygn. Normalt tar man ut ca 11 ton bioslam per dag.



Figur 10. MultiBio är uppbyggd av sex omblandade och kommunicerande volymer med olika typer av microorganismer

Figure 10. The MultiBio is combination of six basins with different types of microorganisms in

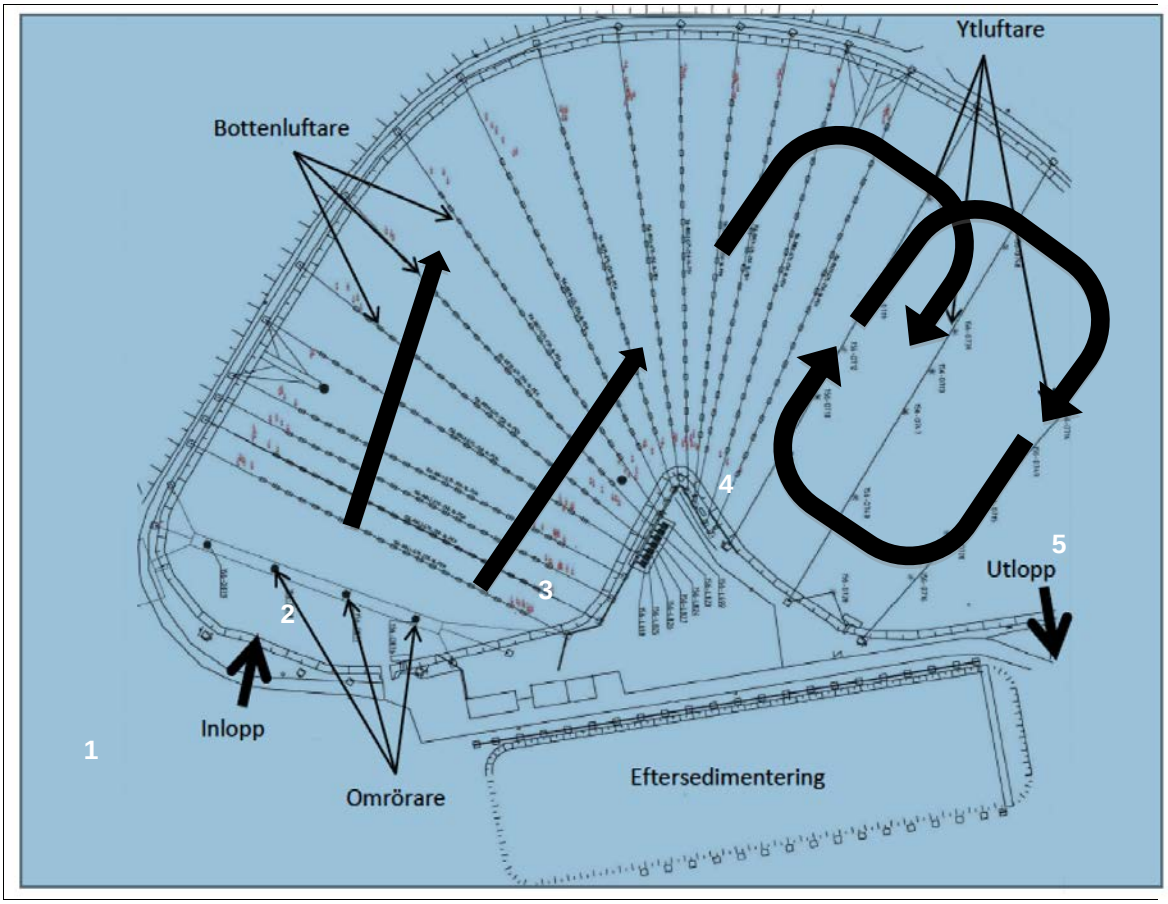
Det organiska materialet karaktäriserades och syretransporthastigheten samt OUR mättes i processavloppet, B1, Selektorn och AS2.

Bassängerna är ca 13 meter djupa och luftas med OKI-luftare. OKI-luftarna ger omrörning samtidigt som vattnet syresätts. I en tidigare studie uppskattades effektbehovet för reningsverket till ca 1,8 MW varav ca 1,1 MW användes för luftning.

2.2.2 Provtagning Skoghall

Vid Skoghall produceras CTMP och sulfatmassa.
Den luftade dammen är stor och har en volym på ca 180 000 m^3. Flödet genom dammen är ca 25 000 m^3/d och en uppehållstid på ca 7 dygn. Man återför en liten del av bioslammet och slamåldern blir ca 20 dygn. Man tar ut ca 7 ton bioslam per dag.

Dammen är indelad i tre zoner. Den första är en anaerob zon som ger möjlighet för biologisk kloratreduktion. Sedan luftas dammen med två olika luftarsystem. Först luftas den med bottenluftare. Bottenluftarna är placerade utefter linor i solfjäderform, se figur 11. I slutet av dammen luftas den i stället med ytluftare. Det här ger upphov till ett komplicerat flödesmönster. Genom zonen med bottenluftare transporteras vattnet till stor del i ett pluggflöde. Vattnet transporteras snabbast närmast den södra stranden. När vattnet sedan kommer ut i zonen med ytluftare blir strömningen mer eller mindre helt omblandad. [5]



Figur 11. Provtagningspunkter och flödesprofil vid Skoghalls luftade damm. Första provpunkten är processavlopp.

Figure 11. Sampling points and flow in the aerated lagoon at Skoghall mill.

Prover för syretransportförsök och karaktärisering togs i inloppet till dammen där processavloppet just blandats i den anaeroba zonen, prov 2. Prov togs också i början av den luftade zonen, prov 3, i mitten, prov 4, och i utloppet, prov 5. Prov 4 ligger i gränsen mellan bottenluftare och ytluftare. Utöver dessa prover testades även processavloppet, prov 1.

2.2.3 Provtagning Skärblacka

Vid Skärblacka produceras NSSC- och sulfatmassa och straka papper.
De renar sitt processavlopp med en Långtids Luftad Aktivslam (LAS), figur 12.

Reningsverket ligger några kilometer ifrån bruket och ca 60000m^3 processavlopp pumpas dit varje dag. Inledningsvis finns en anaerob zon där möjligheten finns för kloratreduktion. Sedan rinner vattnet sakta framåt med pluggflöde genom anläggningen Uppehållstiden i LAS-anläggningen är ca 5 dygn och slamåldern ca 25 dygn.

Hela reningsverket inklusive pumpar omrörare, sedimentering och uppvärmning av byggnaderna vid anläggningen, använder ca 1,93 MW. Reningsverket luftas av ytluftare som använder ca 1,13 MW, d.v.s. 60 %.

Provpunkterna placerades vid inloppet där processvattnet blandats in i den anaeroba zonen, prov 2, halvvägs genom reningsverket, prov 3, och i slutet av reningsverket strax före utloppet, prov 4. Utöver det togs även prov på det obehandlade processavloppet.



Figur 12. Provtagningspunkter och flödesprofil vid Skärblackas LAS. Förutom dessa togs även prov på processavloppet. Den yttre bassängen användes inte vid provtagningstillfället.

Figure 12. Sampling points at the LAS treatment plant at Skärblacka mill.

2.3 Biotransformation i laboratorieskala

För att få mer information om biotransformation gjordes mätningar på lab. Vatten hämtades från två bruk, Skoghall och Gruvön. Cylinderluftaren/reaktorn, beskriven nedan, fylldes med processavlopp och blandades med bioslam.

Bioslam hämtades från Skoghalls luftade damm medan bärare med biofilm hämtades från första steget i multibioanläggningen på Gruvöns bruk. Vid första mättillfället utfördes analyserna endast på processvatten och därefter tillsattes mikroorganismerna till vattnet. Försöken pågick i 6 dagar utan tillförsel av nytt processvatten och vattnet blir således mer biologiskt renat för var dag. Försöken utfördes samma tidpunkt varje

dag i laboratoriet på Karlstad universitet. Analyserna som genomfördes var COD, pH, ytspänning, gravimetrisk extrakthalt samt temperatur och syrehalt.

2.4 Karaktärisering av processavlopp med avseende att prediktera syretransporthastighet

Det organiska innehållet i processavloppet påverkar syresättningshastigheten. Halten av det organiska materialet karaktäriserades med avseende på COD, TOC och gravimetrisk extrakthalt. Ytspänning mättes för att ge information om halten ytaktiva ämnen som kan påverka syretranporten.

COD (Chemical oxygen demand) (mg/l) kyvettest LCK214

TOC (Totalt organiskt kol) (mg/l) Kyvettest LCK 386

Gravimetrisk extrakthalt: pH justeras i en känd volym av provet till 3,5. Provet extraheras med tertiär metyl butyl eter (MTBE). Provet centrifugeras och lösningsmedelsfasen samlas upp. Extraktionen upprepas och de samlade lösningsmedlet överförs till ett kärl med känd vikt. Lösningsmedlet drivs av med kvävgas. Mängden extraktivämnen vägs och anges i (mg/l). Tre analyser gjordes på varje prov och medelvärdet beräknades.

Ytspänning med LAUDA tensiometer (mN/m)

Några av proverna karakteriserades även med ultrafiltrering. Då kunde storlektsfördelingen av det organiska meterialet uppskattas. COD och TOC analyseras i filtrat från GFA-filter samt membran med porstorleken 100kDa, 10kDa och 3kDa. Resultaten redovisas så att andelen TOC som passerat det första filtret minskats med halten TOC som passerat efterföljande membran. På så vis redovisas TOC med storleksfördelning mellan GFA-filter och 100 kDa, mellan 100 kDa och 10 kDa, mellan 10 kD och 3 kDa.

2.5 Syretransportförsök

För att bestämma syretransporthastigheten i olika typer av processavloppsvatten användes en luftare i laboratorieskala, figur 0. Luftaren består av en 2 m hög cylinder med 75 l volym där luft eller annan gas kan tillsättas i botten av röret. För alla försök i denna serie användes ett luftflöde av 120 l/tim, figur 13.

Luften tillsattes igenom en diffusör som ger bubblor med ca 4 mm i diameter i rent vatten [3]. På grund av processvattnets starka färg och ogenomskinlighet, var det inte möjligt att mäta bubblornas storlek i processvatten.

Anläggningen är portabel och har använts under driftförhållanden ute på bruken. När försöken utförts i laboratoriet på Karlstads universitet har tryckluft använts för att ge önskat luftflöde. Vid försöken ute på bruken användes en bärbar kompressor.



Figur 13. Cylinderluftaren uppställd för mätning

Figure 13. The cylinder aerator filled with process effluent

När röret fyllts med processavloppsvatten sjunker syrehalten p.g.a. bakteriernas aktivitet. När syrehalten är noll startas luftflödet. Med tiden stiger halten löst syre i vattnet tills mättnadskoncentrationen är nådd.

Drivkraften för syre att lösa sig i vattnet utgörs av skillnaden mellan aktuell koncentration och mättnadskoncentration (Cs-Ct). När koncentrationen av löst syre närmar sig mättnadskoncentration avstannar syretransporthastigheten. Kurvan får en asymptotisk form. Syrets masstransportkoefficient, K_La, beskriver hastigheten för syretransporten i varje punkt efter kurvan, ekvation (1).

$$\frac{dC}{dt} = k_L a(Cs - C) \qquad (1)$$

Eftersom förhållanden kring luftaren, d.v.s bubblornas hastighet, vattnets strömning i bassängen, vattnets kemiska innehåll mm påverkar syretransporten är K_La specifik för varje luftningsanordning i varje givet vatten. I den här studien genomförs alla syretransportförsök i samma utrustning och under samma förhållanden. Resultaten visar hur syretransporthastigheten påverkas av vattnets kemiska innehåll. Men resultaten visar inte K_La för fullskale-anläggningen.
Syretransportkoefficienten k_La är produkten av masstranportkoefficienten k_L och arean a av ytan som syre kan transporteras genom.

När syretransporten mäts i processvatten och vatten från den biologiska reningen, behöver mätningarna kompenseras för mikroorganismernas syreupptag. Hastigheten för mikroorganismerna syreförbrukning benämns här som OUR (oxygen uptake rate). Hastighetsekvationen för syresättning ser då ut som i ekvation (2).

$$\frac{dC}{dt} = k_L a(Cs - C) - OUR \qquad (2)$$

Vid steady state när mikroorganismerna förbrukar syre i samma takt som syre löser sig når man koncentrationen Cm

$$OUR = k_L a(Cs - Cm) \qquad (3)$$

Genom att kombinera (2) och (3) får man

$$\frac{dC}{dt} = k_L a(Cm - C) \qquad (4)$$

$$Cs = \frac{OUR}{k_L a} + Cm \qquad (5)$$

För att bestämma K_La och Cm passades uppmätta data med ickelinjär minstakvadratmetoden. Beräkningarna genomfördes med GRE-lösare i Microsoft Excel.

De processavlopp som luftades innehöll även bioslam som förbrukade syre. För att bestämma vilken hastighet mikroorganismerna förbrukade syre bestämdes OUR (oxygen uptake rate). OUR bestämdes i cylinderluftaren direkt efter respektive luftningsförsök. Luftningen avslutades och toppen på cylindern täcktes för. OUR bestämdes genom att mäta hastigheten som mikroorganismerna förbrukade syre under omrörning.

C_S löstes ut ur ekvation (2).

I några av försöken med processavlopp var temperaturen högre än 20°C. För att räkna om K_La för att gälla 20°C, användes ekvation (6).

$$K_L a(T) = K_L a(20°C) * \theta^{T-20°C} \qquad \theta = 1{,}024 \qquad (6)$$

2.6 Modellberäkningar

Att omvandla substrat till biomassa och koldioxid är en irreversibel reaktion, d.v.s. reaktionen kan inte gå baklänges. Man antar att det inte bildas begränsande mellansteg och att systemet inte inhiberas av slutprodukterna. Hastigheten beror av koncentrationen av de bägge ämnena. Då gäller kinetik av första ordningen, där k är reaktionskoefficienten och [A], [B], [C] koncentration av ämne A, B och C.

$$[A]+[B]\rightarrow[C] \qquad \frac{dC}{dt}=k[A][B] \qquad (7), (8)$$

I ett biologiskt system skulle [A] kunna vara koncentrationen av substrat som förbrukas av/reagerar med bakterier [B].

2.6.1 Effekten av temperaturen

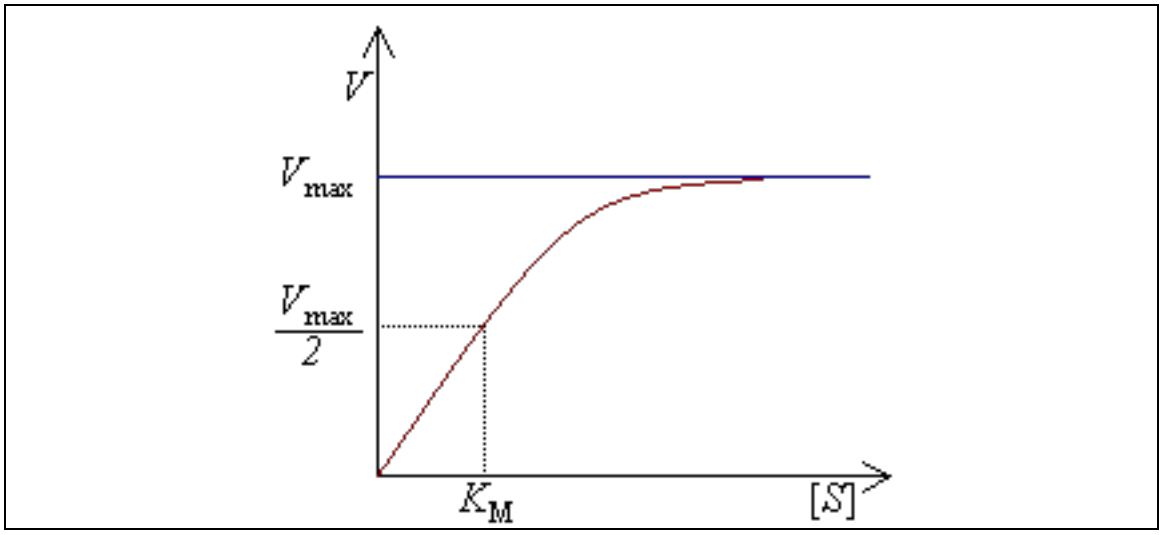
Temperaturberoendet är viktigt för alla biologiska rektionshastighetskonstanter. Temperaturen påverkar kemiska reaktionshastigheter, biologisk metabolism och fysikaliska processer som sedimentering och gastransport. För att beskriva hur en reaktion påverkas av temperaturen ändras k, reaktionskoefficienten. Temperaturens effekt på k i biologiska processer kan beskrivas med [9]

$$k_T = k_{20}\theta^{(T-20)} \qquad [9]$$

k_T	reaktionskoefficient vid temperatur T, (°C)
k_{20}	reaktionskoefficient vid temperatut 20°C
θ	temperatur aktivitetskoefficienten
T	temperaturen i systemet °C

2.6.2 Hastigheten för substratreduktion

Mikroorganismer använder substrat för att växa och leva. För olika typer av mikroorganismer finns det olika typer av substrat. För aeroba mikroorganismer som renar avloppsvatten är det lösta lättnedbrytbara organiska materialet substratet. Hastigheten som mikroorganismerna kan använda substratet minskar proportionellt mot substrathalten, figur 14.



Figur 14. Michaelis-Menten-kinetik. Beskriver reaktionshastigheten (V) för biokemiska system i förhållande till konscentrationen substrat(S), K_M visar halvhastighetskonstanten

Figure 14. Michaelis-Menten kinetics describing the reaction rate (V) for biochemical systems with the substrate koncentration [S]

När substratet används vid den maximala hastigheten är även den maximala tillväxthastigheten maximal. Den maximala specifika tillväxthastigheten μ_m kan beskrivas som (10)

$$\mu_m = kY \tag{10}$$

μ_m	maximal tillväxthastighet (g nya celler/ g celler , d)
k	maximal substratanvändningshastighet (g COD/g celler, d)
Y	slam utbyte (g celler / g COD)

Ekvationerna och koefficienterna som beskriver hur biomassa bildas och substrat förbrukas, är alla empiriskt framtagna och bygger på experimentella studier. Det kan därför finnas olika ekvationer beroende på vem som gjorde studien.
Enligt Tchobanoglos [6] kan man beskriva hastigheten som substrat förbrukas i ett aerobt biologiskt reningssteg som (11).

$$r_{su} = -\frac{\mu_m XS}{Y(K_s + S)} \tag{11}$$

r_{su}	hastighet som halten substrat förändras (g/m^3, d)
μ_m	maximal specifik tillväxthastighet (g nya celler/g celler, d)
X	halten biomassa i bassängen (g/m^3)
S	koncentration av tillväxtbegränsande substrat (g/m^3)
K_s	halv-hastighetskonstanten (g/m^3)

Hastigheten som halten substrat förändras i hela systemet beror även av i vilken hastighet som substrat tillförs systemet och hur mycket substrat som följer med ut med det renade vattnet (12). Sammantaget med (11) kan förändringen av substratkoncentrationen beskrivas med ekvation (12)

$$\frac{dS}{dt} = \frac{QS_0}{V} - \frac{kXS}{k_s + S} - \frac{QS}{V} \tag{12}$$

Q	Flödet vatten genom systemet (m^3/d)
V	Volymen på bassängen (m^3)
S_0, S	Substrathalt in och ut (COD g/m^3)
k	maximal specifik substratförbrukningshastighet (g/g, d)
X	halten biomassa i bassängen (g/m^3)
k_s	halv-hastighetskonstanten (g/m^3)

2.6.3 Tillväxthastigheten för mikroorganismer

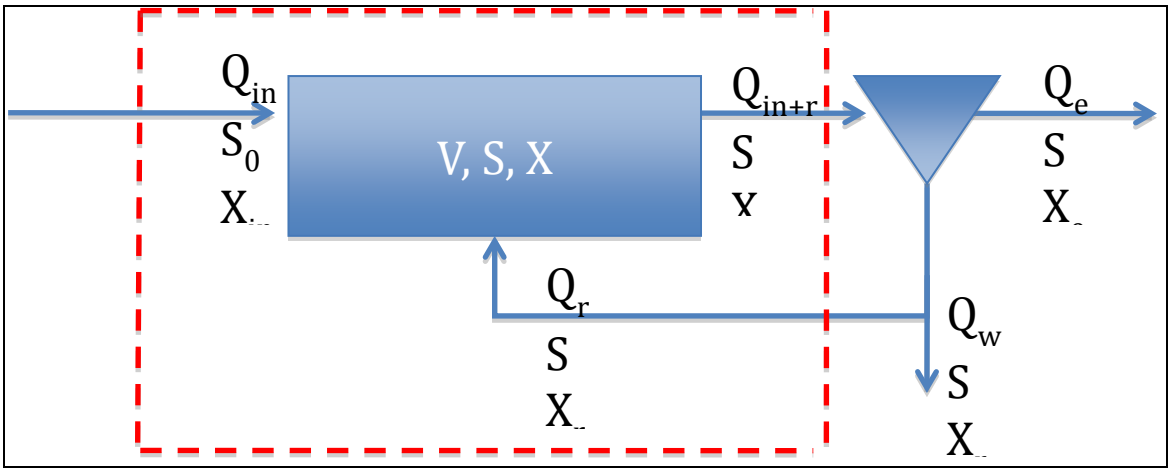
Biomassa växer till proportionellt mot hastigheten som substratet används. När substratet har högsta koncentrationen växer mikroorganismerna med högsta hastigheten. Men substratet omvandlas både till ny biomassa och till koldioxid. Utbytet, Y, visar hur stor andel av substratet som omvandlas till biomassa. Men i ett biologiskt system dör

även några bakterier. Nedbrytningskoefficienten (k_d) beskriver hur stor andel av mikroorganismerna som bryts ner. Tillsammans med (10) och (11) ger (13) sambandet för bildning av mikroorganismer från substratet

$$r_g = Y\frac{kXS}{k_s + S} - k_d X \qquad (13)$$

r_g	netto produktionshastighet för biomassa (VSS/m^3, d)
Y	Utbyteskoefficient, bildad biomassa /substrat (gVSS/g VSS)
k_d	nedbrytningskoefficient (g VSS/g VSS, d)

Halten av biomassa i bassängen, X, och hastigheten som koncentrationen förändras, påverkas inte bara av tillväxten utan beror även av inflödet och utflödet till bassängen.
In till bassängen kommer returflödet, Qr, med hög halt biomassa, Xr. Halten biomassa i returflödet bestäms av sedimenteringens effektivitet. Mellan 1-2 vikts % av flödet ur en sedimentering brukar vara biomassa. Halten biomassa i returflödet kan därför anses vara konstant. Om mer slam behöver tas ur sedimenteringen så ökar man i stället flödet i botten, d.v.s. (Qin+Qr-Qe), figur 15.



Figur 15. Schematisk bild som beskriver systemgränserna runt bassängen

Figure 15. Description of system boundaries and index letters for the equations describing a biological treatment stage

Ut ur bassängen lämnar det sammanlagda flödet av Qin och returflödet, Qin+Qr. Koncentrationen av biomassa är densamma som i bassängen, X.
Sammantaget med (13) kan förändringen av halten bioslam i bassängen beskrivas enligt (14).

$$\frac{dX}{dt} = \frac{Q_r X_r}{V} + Y\frac{kXS}{k_s + S} - k_d X - \frac{Q + Q_r X}{V} \qquad (14)$$

2.6.4 Syreupptagningshastighet

Hur mycket syre som mikroorganismerna i systemet behöver beror av hur mycket substrat som oxideras och hur mycket bioslam som tas ut som överskottslam. I det dynamiska systemet kan substratanvändningen anges som r_s och bioslamsproduktionen som r_g.

Ett gram slam motsvarar 1,4 g COD. Hastigheten för syreupptaget kan beskrivas enligt (15).

$$r_o = -r_{su} - 1{,}42 r_g \qquad (15)$$

Hur effektiv syretransporten är beror av flera fysikaliska och kemiska omständigheter. För bottenluftare har även djupet och trycket i bubblorna betydelse. För att beräkna det standardiserade syrebehovet, SOTR, behöver man kompensera det verkliga syrebehovet AOTR, med förlust faktorer.

$$AOTR = SOTR\left(\frac{\beta C_{STH} - C_L}{C_s 20}\right)(1{,}024^{T-20})(\alpha)(F) \qquad (16)$$

AOTR	actual oxygen transfer rate (kg/h)
SOTR	Standard oxygen transfer rate i rent vatten vid 20°C och noll halt löst syre.
C_{STH}	Medelkoncentrationen av löst syre i rent vatten vid temp T och altitud H.
CL	Koncentration av löst syre i drift (mg/l)
Cs,20	Mättnads koncentration av löst syre i rent vatten vid 20°C
α	Korrektionsfaktor för syretransport i avloppsvatten
β	Korrektionsfaktor för mättnadskoncentration för syre avloppsvatten
F	Fouling faktor (ca 0,65-0,9)

2.6.5 Indata till modell, koefficienter till biologisk tillväxt

Koefficienterna som hämtades ur [6] finns redovisade i tabell 4. Genom att variera hastighetskoefficienterna inom det angivna intervallet anpassades modellen till mätvärdena.

Tabell 4. Typiska kinetiska koefficienter för aktivslamprocesser

Table 4. Kinetic coefficients for activated sludge processes

Koefficient		*enhet*	*intervall*	*typiskt*
μ_m	maximal specifik tillväxthastighet	g VSS/g VSS, d	3-13,2	6
k_s	halv-hastighetskonstant	g COD/m^3	5 – 40	20
Y	Slamutbyte	g VSS/g COD	0,3 -0,6	0,4
k_d	Nedbrytnings koefficient	g VSS/ g VSS, d	0,06 – 0,20	0,12
θ värden				
θ μ_m	Temperatur-aktiveringskoeff.	Enhetslös	1,03 – 1,08	1,07
θ kd	Temperatur-aktiveringskoeff.	Enhetslös	1,03 – 1,08	1,04
θ Ks	Temperatur-aktiveringskoeff.	Enhetslös	1	1

För att simulera den komplexa sammansättningen av organiskt material i skogsindustriella processavlopp, har substratet delats upp i tre olika fraktioner, S1, S2 och S3. De olika substratfraktionerna har olika hastighetskoefficienter och bryts därför ner olika fort i de olika kontrollvolymerna.

2.6.6 Kontrollvolymer

Genom att bygga upp modellen i en eller flera kontrollvolymer kan olika flödesmönster simuleras. När utbytet mellan kontrollvolymerna är litet simuleras pluggflöde genom ett reningsverk, när utbytet mellan kontrollvolymerna är stort, simuleras större omblandning. Om beräkningarna görs i endast en kontrollvolym simuleras ett helt omblandat system liknande en aktivslam bassäng.

2.7 Modell Gruvön

Modellen har förenklats och byggts upp i tre kontrollvolymer.
Gruvöns modell delades in i tre kontrollvolymer. Kontrollvolym 1 i motsvarar B1 och B2, kontrollvolym 2 motsvarar Selektorn och kontrollvolym 3 motsvarar de avslutande AS stegen.

De antagna fysikaliskt begränsande parametrarna är normala förhållanden vid Gruvöns MultiBio, tabell 5. Flödet in är satt till 45 000 m^3/d. Returslamflödet till selektorn är stort, 42 750 m^3/d. Modellen anpassades mot uppmätta värden. Syrebehovet, R_0, beräknades för varje kontrollvolym. Med K_La-värden från syretransportförsöken beräknades det faktiska syrebehovet SOTR. K_La är något högre i kontrollvolym 3 jämfört med kontrollvolym 1. Det sker ingen omblandning mellan de olika kontrollvolymerna men SOTR beräknades på nytt med antagandet att K_La kan vara lika lågt i alla kontrollvolymer.

Tabell 5. Indata till Modell Gruvön, fysikaliska parametrar

Table 5. Data used in the model for Gruvön treatment plant

	Kontrollvolym 1	Kontrollvolym 2	Kontrollvolym 3
Motsvarar i MultiBio	B1 och B2	Selektor	AS1 och AS2
Flöde Q (m3/d)	45000	87750	87750
Uppehållstid (tim)	5,1	0,9	3
Djup m	13	13	13
DO (mg/l)	0,5	1	2
Utbyte mellan kontrollvolym (%)	0	0	0
T (°C)	37	37	37
Kla (min^{-1}) beräkning 1	0,097	0,097	0,101
Kla (min^{-1}) beräkning 2	0,101	0,101	0,101

För att anpassa substrathalten i de olika kontrollvolymerna mot de uppmätta halterna vid Gruvöns reningsverk, användes indata i tabell 6.

Tabell 6. Indata till Modell Gruvön. Kinetiska koefficienter för biologisk tillväxt och substratreduktion för de tre olika substratfraktionerna

Table 6. Kinetic coefficients for bio mass growth and substrate reduction, Gruvön

Substrat	COD (mg/l)	μ_m	Y	k_s
COD (1)	520	5,8	0,6	10
COD (2)	130	0,5	0,5	60
COD (3)	130	0,5	0,3	60
Inert COD	500			

2.8 Modell Skärblacka

Modellen delades in i tre kontrollvolymer där den anaeroba zonen motsvarar kontrollvolym 1 och resten av LAS-anläggningen delades i två kontrollvolymer. För att nå rimliga värden på halt biomassa i de olika kontrollvolymerna, slamålder och uttag av överskottslam antogs 85 % av flödet recirkuleras till kontrollvolym 1. Provtagningen genomfördes på sommaren då det var ca 30°C i reningsverket. Beräkningarna utgår därför ifrån sommartemperaturer, tabell 7 och 8.

Tabell 7. Indata till Modell Skärblacka, fysikaliska parametrar

Table 7. Data used in the model for Skärblacka treatment plant

	Kontrollvolym 1	Kontrollvolym 2	Kontrollvolym 3
Del av reningsverk	Anaerob zon	Mitten av LAS	Slutet av LAS
Flöde Q (m3/d)	111000	111000	111000
Uppehållstid (d)	0,7	2	2
Djup m	4	4	4
DO (mg/l)	0	1,5	1,5
Utbyte mellan kontrollvolym (%)	10	10	10
T (°C)	30	30	30
Kla (min -1) beräkning 1	0	0,121	0,155
Kla (min -1) beräkning 2	0	0,155	0,155

Tabell 8. Indata till Modell Skärblacka, parametrar för biologisk tillväxt och substratreduktion för de tre olika substratfraktionerna

Table 8. Kinetic coefficients for bio mass growth and substrate reduction, Skärblacka

Substrat	COD (mg/l)	μ_m	Y	k_s
COD (1)	450	12,5	0,6	10
COD (2)	80	5,5	0,6	5
COD (3)	80	0,5	0,7	1
Inert COD	500			

2.9 Modell Skoghall

Även denna modell är uppdelad i tre kontrollvolymer, den första motsvarar den anaeroba zonen, den andra zonen som luftas med bottenluftare och den tredje som luftas med ytluftare. Även denna modell är räknad vid sommartemperatur. Till skillnad från Skärblackas och Gruvöns modell så var det recirkulerade slamflödet mindre ca 50 %.

Tabell 9. Indata till Modell Skoghall, fysikaliska parametrar

Table 9. Data used in the model for Skoghall treatment plant

	Kontrollvolym 1	Kontrollvolym 2	Kontrollvolym 3
Del av reningsverk	Anaerob zon	Luftad zon med bottenluftare	Luftad zon med ytluftare
Flöde Q (m3/d)	37000	37000	37000
Uppehållstid (tim)	0,5	2	3
Djup m	4	4	4
DO (mg/l)	0	1,5	1,5
Utbyte mellan kontrollvolym (%)	10	10	10
T (°C)	30	30	30
Kla (min -1) beräkning 1	0,11	0,15	0,19
Kla (min -1) beräkning 2	0,19	1,19	1,19

Tabell 10. Indata till Modell Skoghall, parametrar för biologisk tillväxt och substratreduktion för de tre olika substratfraktionerna

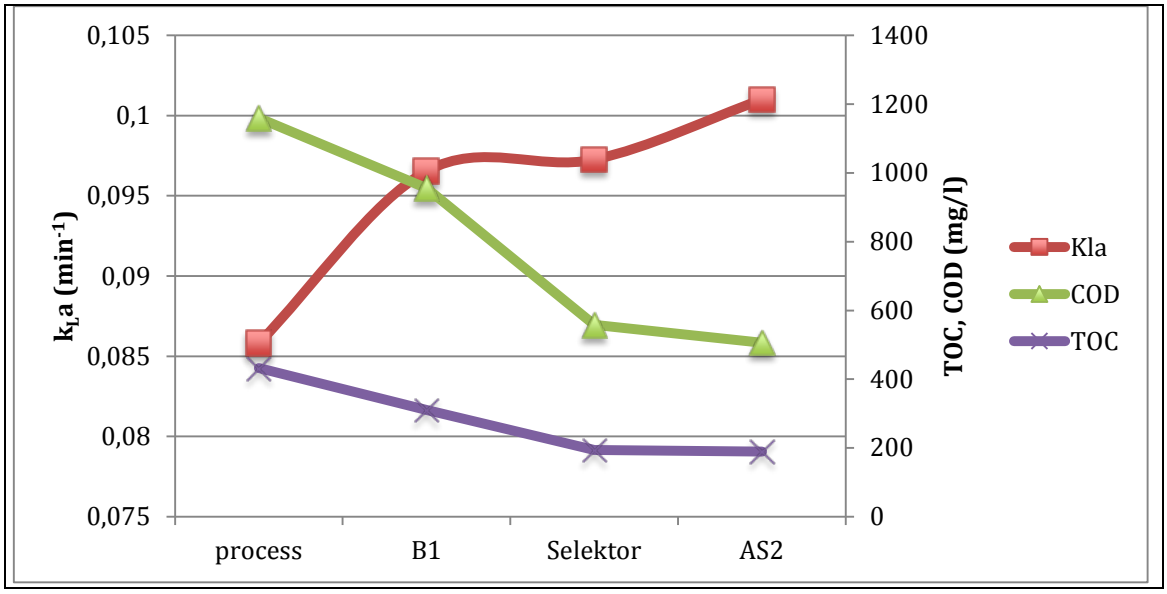
Table 10. Kinetic coefficients for bio mass growth and substrate reduction, Skoghall

Substrat	COD (mg/l)	μ_m	Y	k_s
COD (1)	50	0,5	0,7	10
COD (2)	400	0,5	0,7	5
COD (3)	450	0,5	0,7	1
Inert COD	600			

3 Resultat

3.1 Provtagning Gruvön

Syretransporthastigheten mättes i processavlopp och vatten hämtat från B1, Selektorn och AS2, se figur 9. I selektorn och AS2 var halten mikroorganismer så hög att OUR var för snabb för att mäta. Det gör även att k_La för selektorn och AS2 blir osäkra. Men resultaten tyder på att k_La ökar mellan reningsverkets olika bassänger, figur 16, tabell 11.



Figur 16. Syretransportkoefficienten (k_La) ökar med tiden trots att COD-reduktionen avstannat i Gruvöns MultiBio

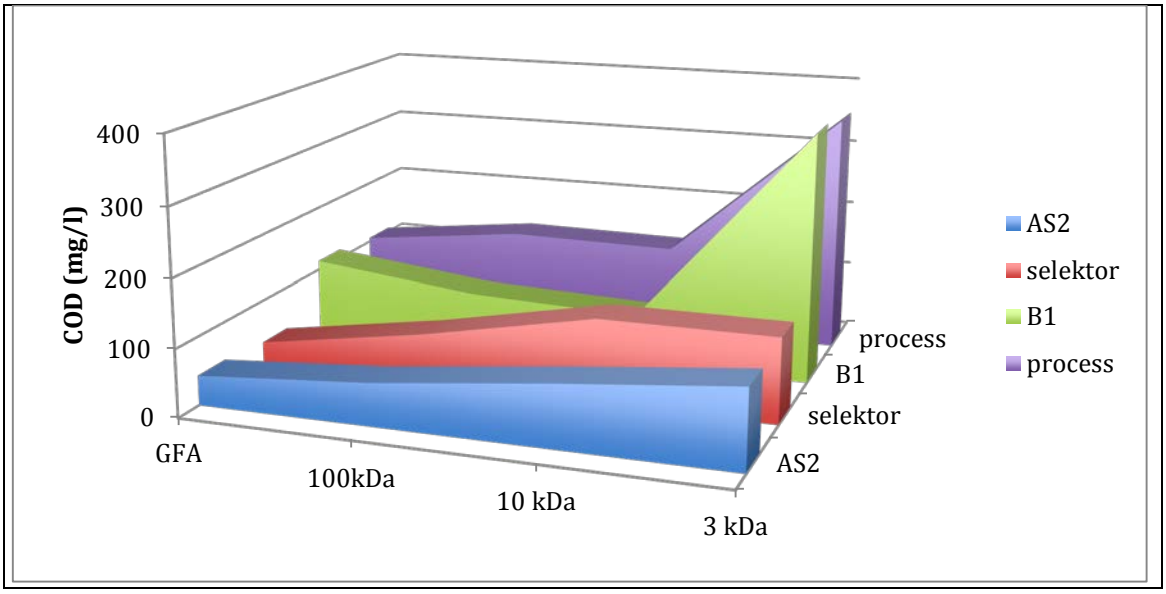
Figure 16. The oxygen transfer coefficient (k_La) increases with time even if the COD not decreases any more

Tabell 11. Resultat från Gruvöns MultiBio, m.a.p syretransportförsök och karaktärisering

Table 11. Results from measurements at Gruvön treatment plant

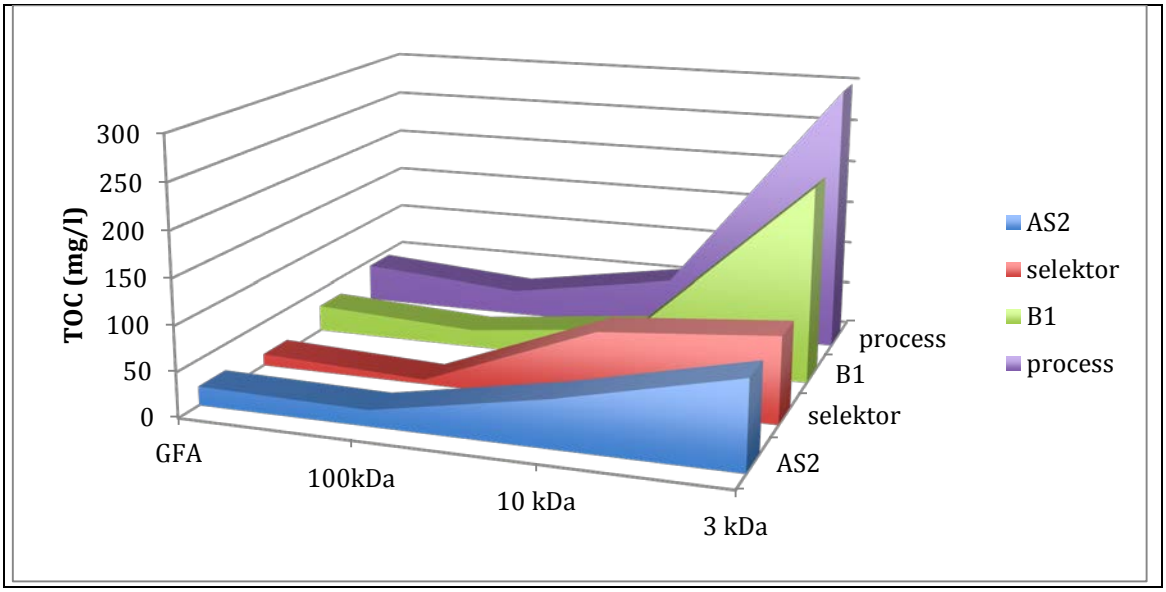
Provpunkt	k_La (min^{-1})	α	SÄ (mg/l)	COD (mg/l)	TOC (mg/l)	Ytspänning (mN/m)	X-ämne (mg/l)	OUR (mg/min)
process	0,086	0,54	0,092	1160	432	49,4	94	0,011
B1	0,097	0,61	0,178	956	310	58,9	58	0,117
Selektor	0,097	0,61	4,906	558	194	69,3	94	---
AS2	0,101	0,64	5,096	506	189	69,2	48	0,37

När de olika proverna karaktäriseras med avseende på storlek ser man att den största andelen COD och TOC finns i den minsta fraktionen <3kDa. Det syns också tydligt att halten sjunker genom reningsverket på grund av biologisk nedbrytning, figur 17 och 18.



Figur 17. Halten COD i de membranfiltrerade fraktionerna från Gruvöns reningsverk.

Figure 17. Concentration of COD in the filtrate from membran filtration

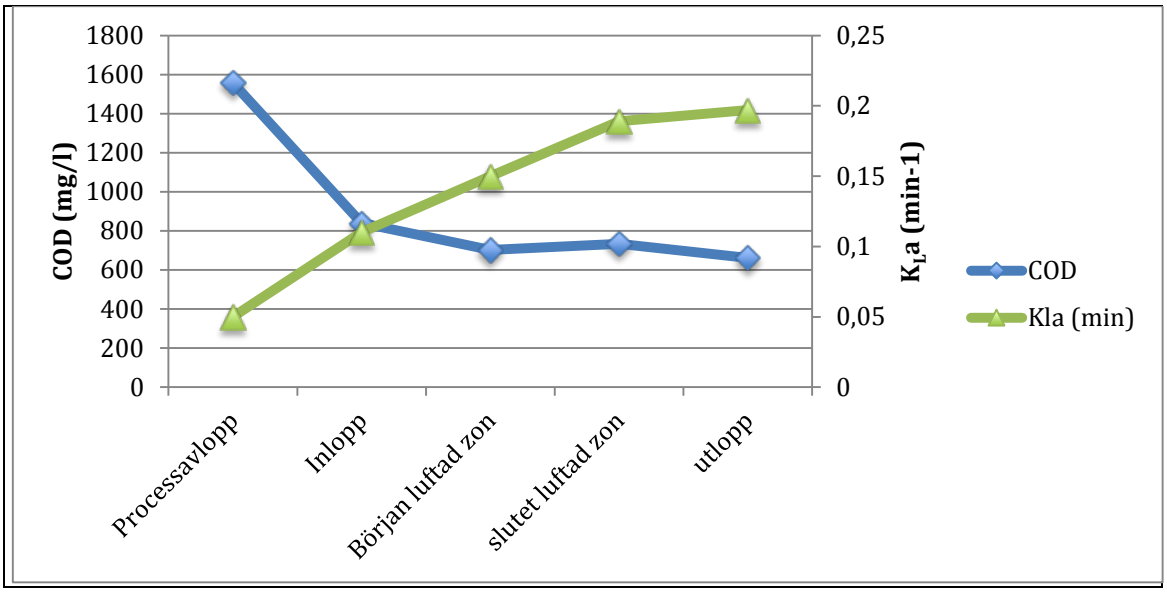


Figur 18. Halten av TOC i de membranfiltrerade fraktionerna från Gruvöns reningsverk.

Figure 18. Concentration of TOC in the filtrate from membran filtration

3.2 Provtagning Skoghall

Skoghalls processavlopp innehåller höga halter COD jämfört med Skärblacka, Gruvön och Bäckhammar. K_La-värdet är också väldigt lågt i början av dammen. Men syretransportkoefficienten k_La ökar med biotransformationen som sker i dammen. I slutet av dammen är vattnet väldigt lätt att syresätta med α-värdet 1,24, tabell 12. Men COD sjunker snabbt och med avseende på COD ser vattnet ut att vara färdig behandlat redan i början av den luftade zonen, figur 19.



Figur 19. Syretransportkoefficienten (k_La) ökar med tiden trots att COD-reduktionen avstannat i Skoghalls luftade damm

Figure 19. The oxygen transfer coefficient (k_La) increase with time even though the COD reduction stoped in Skoghall aerated lagoon

Ytspänning korrelerar till viss del mot k_La. Alla analysresultat syns i tabell 12. Mätningen vid Skoghalls luftade damm genomfördes tidigt i projektet innan membranfiltreringsutrustningen fanns på plats. Därför saknas dessa data för Skoghall.

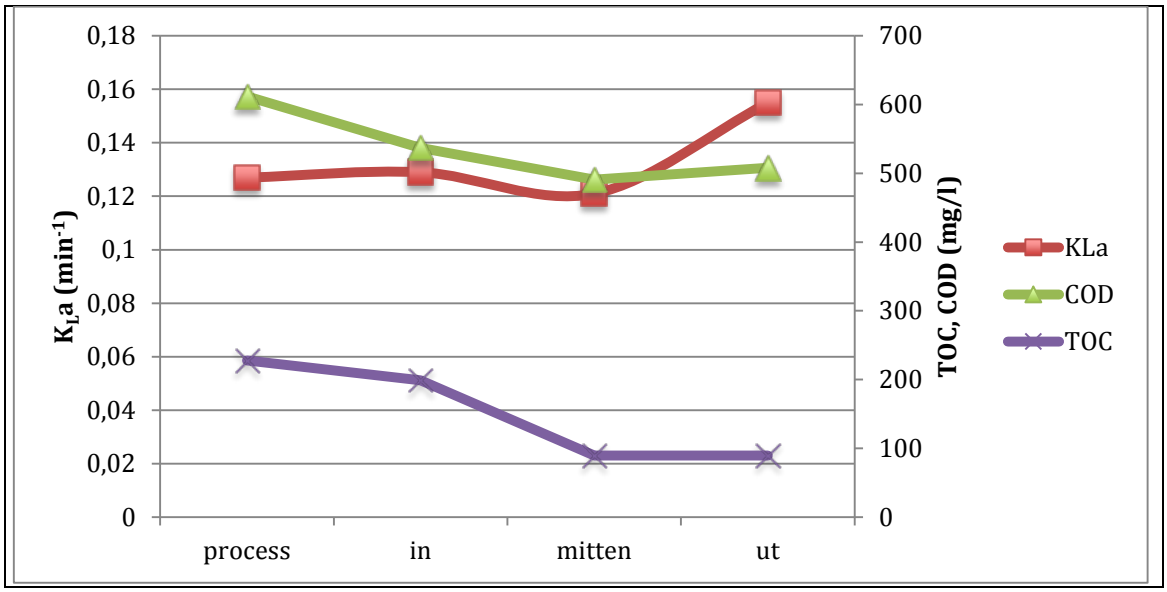
Tabell 12. Resultat från Skoghalls luftade damm, m.a.p syretransportförsök och karaktärisering.

Table 12. Results from measurements at Skoghall treatment plant

Provpunkt	k_La (min^{-1})	α	SÄ (g/l)	COD (mg/l)	Ytspänning (mN/m)	OUR (mg/min)
Processavlopp	0,05	0,315	0,136	1558	48,2	
Inlopp	0,11	0,694	0,678	840	53,9	0,135
Början luftad zon	0,15	0,946	0,834	702	60,5	0,0924
slutet luftad zon	0,189	1,192	1,43	734	60,7	0,0909
utlopp	0,197	1,242	0,49	662	54,9	0,048

3.3 Provtagning Skärblacka

Skärblackas processavlopp innehåller i förhållande till de andra bruken låga halter COD. K_La värdet är också förhållandevis högt. Men syretransporthastigheten ökar genom reningsverket, figur 20 och tabell 13.



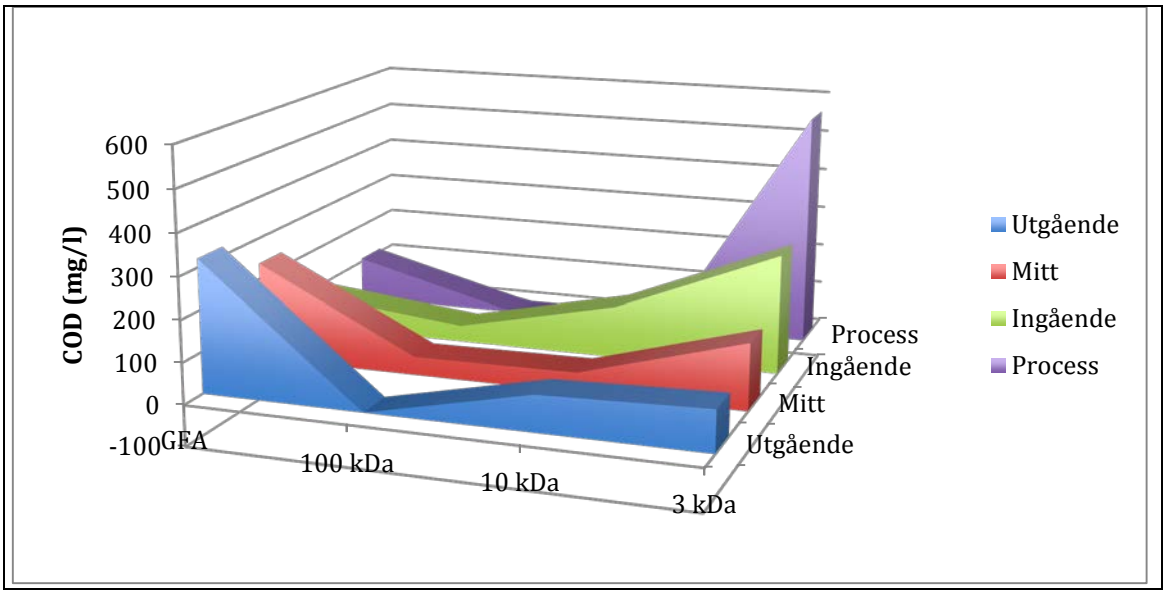
Figur 20. Samband mellan K_La, COD och TOC vid Skärblackas reningsverk.

Figure 20. Correlation between k_La, COD and TOC at Skärblacka treatment plant

Tabell 13. Resultat från Skärblackas LAS, m.a.p syretransportförsök och karaktärisering

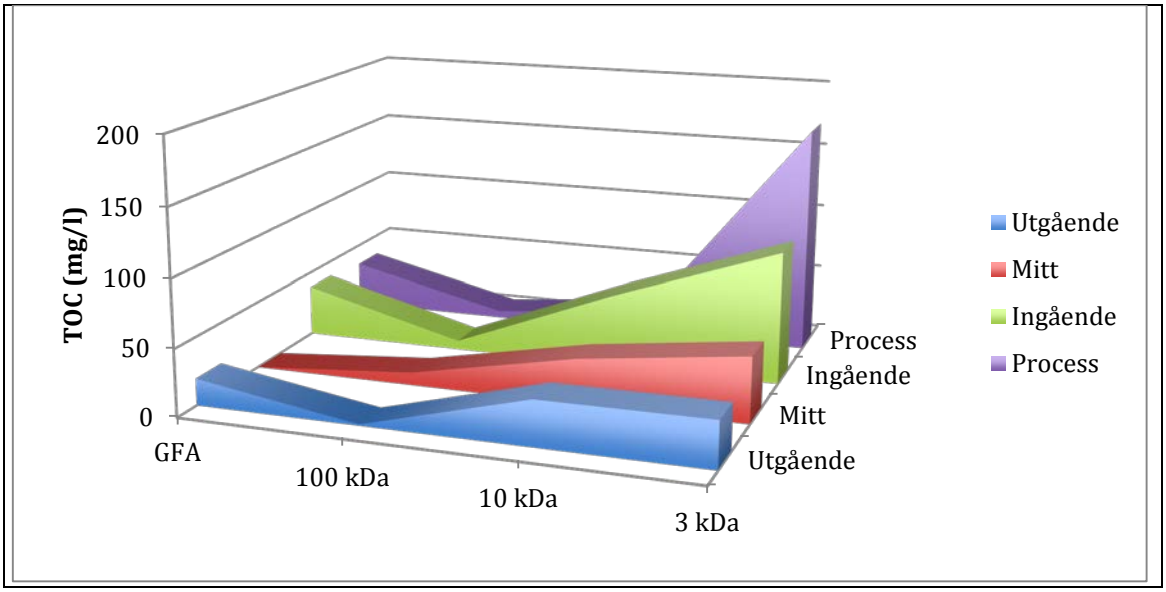
Table 13. Results from measurements at Skärblacka treatment plant

	K_La (min-1)	α	SÄ (mg/l)	COD (mg/l)	TOC (mg/l)	Ytspänning (mN/m)	X-ämne (mg/l)	OUR (mg/min)
process	0,127	0,80	---	612	228	58,2	85,6	---
in	0,129	0,81	---	537	199	66,4	141	0,0808
mitten	0,121	0,76	1,37	491	89,7	70,3	82,2	0,0819
ut	0,155	0,98	1,42	508	89,7	67,7	80,0	0,0644



Figur 21. Halten COD i de membranfiltrerade fraktionerna från Skärblackas reningsverk.

Figure 21. Concentration of COD in the filtrate from membran filtration, Skärblacka

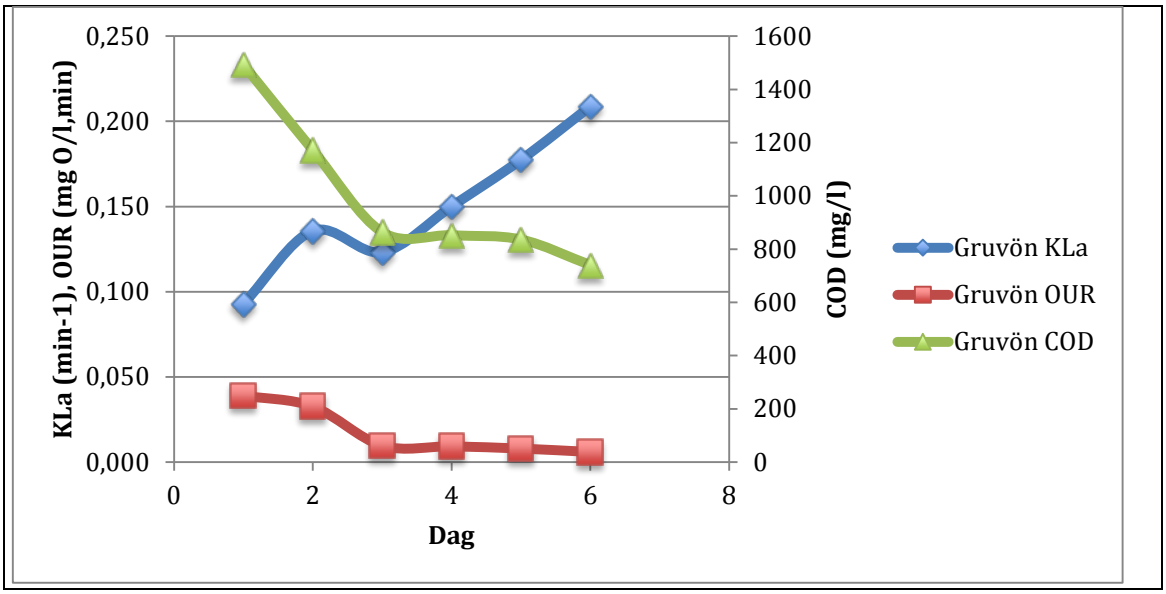


Figur 22. Halten av TOC i de membranfiltrerade fraktionerna från Skärblackas reningsverk.

Figure 22. Concentration of TOC in the filtrate from membran filtration, Skärblacka

3.4 Biotransformation i laboratorieskala

När processvatten blandades med bioslam i cylinderreaktorerna var det lätt att följa förloppet. Det var samma vatten som mättes från dag till dag, till skillnad från mätningarna i reningsverken, där produktionsvariationer i bruket gav upphov till variationer även för innehållet i processavloppet. Resultaten från syretransportförsöken i laboratorieskala visade tydligt att syretransporthastigheten ökade för varje dag trots att halten COD stabiliserats redan dag 3, tabell 14 och 15, figur 23. Mönstret var det samma både för vatten från Skoghall och Gruvön.



Figur 23. Syretransportkoefficienten (k_La) ökar med tiden trots att COD-reduktionen och OUR avstannar när processavloppsvatten från Gruvön reagerar med biomassa under 6 dagar

Figure 23. The oxygen transfer coefficient k_La increases with time even though the COD reduction and OUR stop

Det syns även på bakteriernas syreförbukningshastighet, OUR, att den avtar efter några dagar. Det beror troligtvis på att det lättnedbrytbara substratet är slut. Då minskar även halten suspenderade ämnen, d.v.s. halten bakterier minskar när substratet tar slut. Trots alla tecken på att den biologiska aktiviteten avtar så fortsätter k_La att stiga.

Tabell 14. Resultat från karaktärisering och biotransformationsförsök i laboratorieskala med processavlopp från Gruvön

Table 14. Results from characterisation and biotransformation trials in the cylinder aerator with process effluent from Gruvön

Dag	k_La (min-1)	α	pH	COD (mg/l)	SÄ (g/l)	Ytspänning (mN/m)	X-ämne (mg/l)	OUR (mg/min)
1	0,093	0,59	6,11	1493	0,053	48,1	51	0,0391
2	0,136	0,86	7,96	1172	0,177	57,5	32	0,0327
3	0,123	0,78	8,13	864	0,069	60,4	39	0,0096
4	0,150	0,95	8,21	852	0,054	63,8	40	0,0092
5	0,177	1,12	8,33	836	0,032	61,9	22	0,0079
6	0,209	1,32	8,26	740	0,05	62,8	13	0,0059

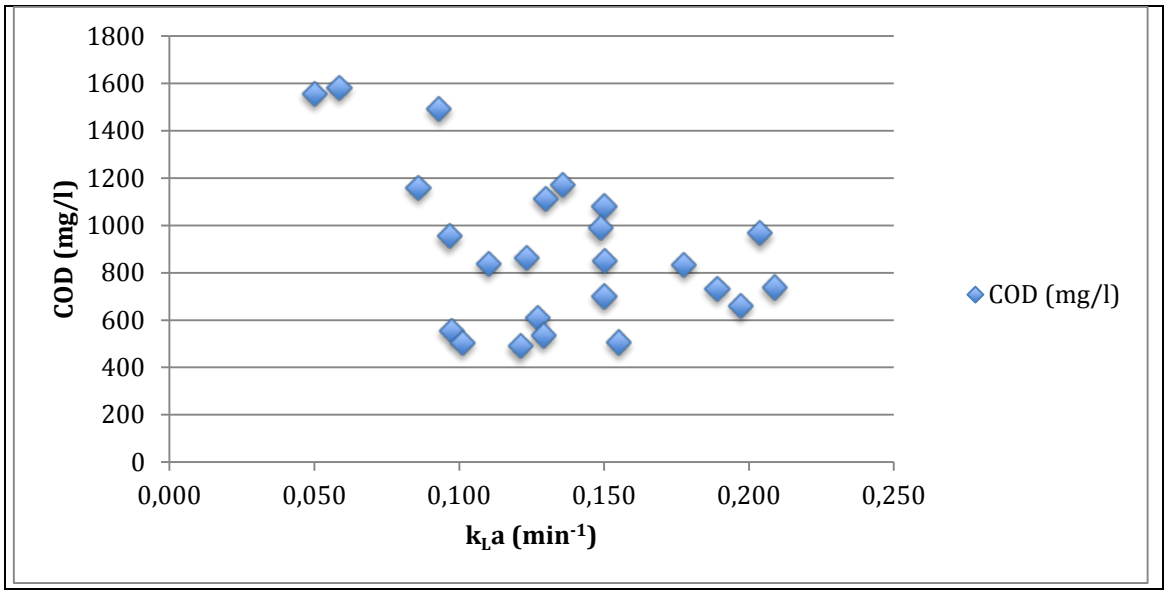
Tabell 15. Resultat från karaktärisering och biotransformationsförsök i laboratorieskala med processavlopp från Skoghall

Table 15. Results from characterisation and biotransformation trials in the cylinder aerator with process effluent from Skoghall

Dag	k_La (min-1)	α	pH	COD (mg/l)	SÄ (g/l)	Ytspänning (mN/m)	X-ämne (mg/l)	OUR (mg/min)
1	0,059	0,37	6,55	1584	0,067	46,8	93	0,0186
2	0,184	1,04	7,63	1372	0,141	53,4	77	0,0211
3	0,130	0,82	7,55	1114	0,129	54,9	47	0,042
4	0,150	0,95	7,94	1082	0,118	57,1	50	0,0345
5	0,149	0,94	7,96	990	0,144	57,2	55	0,0234
6	0,204	1,28	8,07	968	0,084	58,0	44	0,0118

3.5 Resultat generell karaktärisering

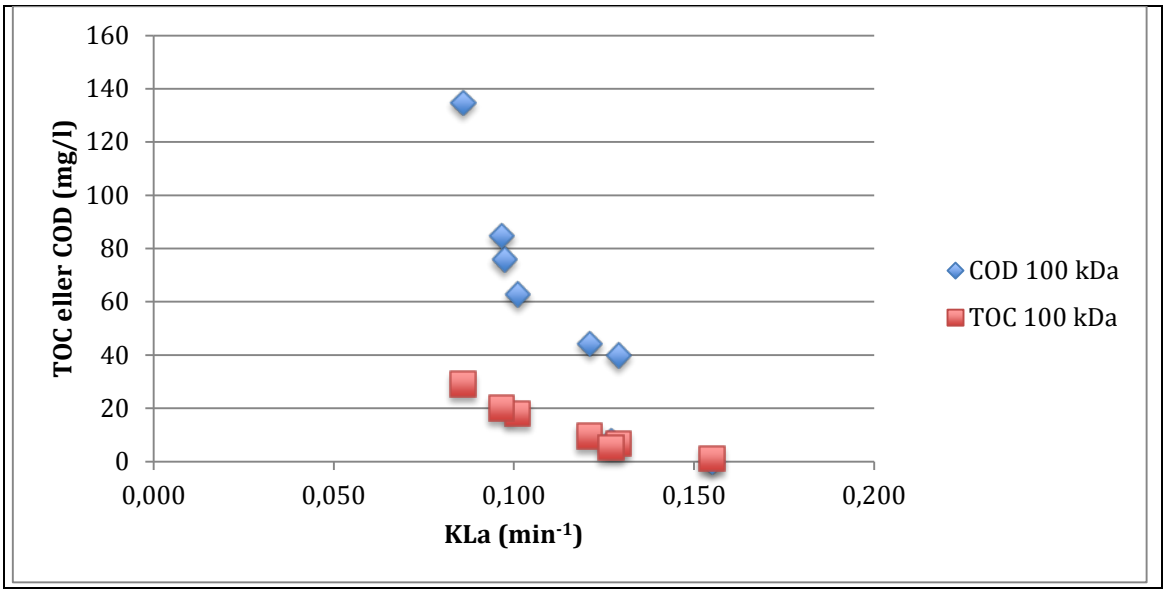
När alla karaktäriseringsresultat jämförs med varandra syns vissa mönster men det finns inget generellt samband mellan COD och k_La, figur 24.



Figur 24. Det finns inget generellt samband mellan k_La, och halten COD. Resultat från alla tester i studien samlad i samma graf.

Figure 24. There are no significant correlation between k_La and concentration of COD. Results from all trials in the study

När TOC- och COD-halten i filtraten från membranfiltreringarna jämförs med varandra syns samband mellan K_La och halten TOC och COD. Tydligast samband syns för filtraten från membran med100 kDa porstorlek, figur 25.

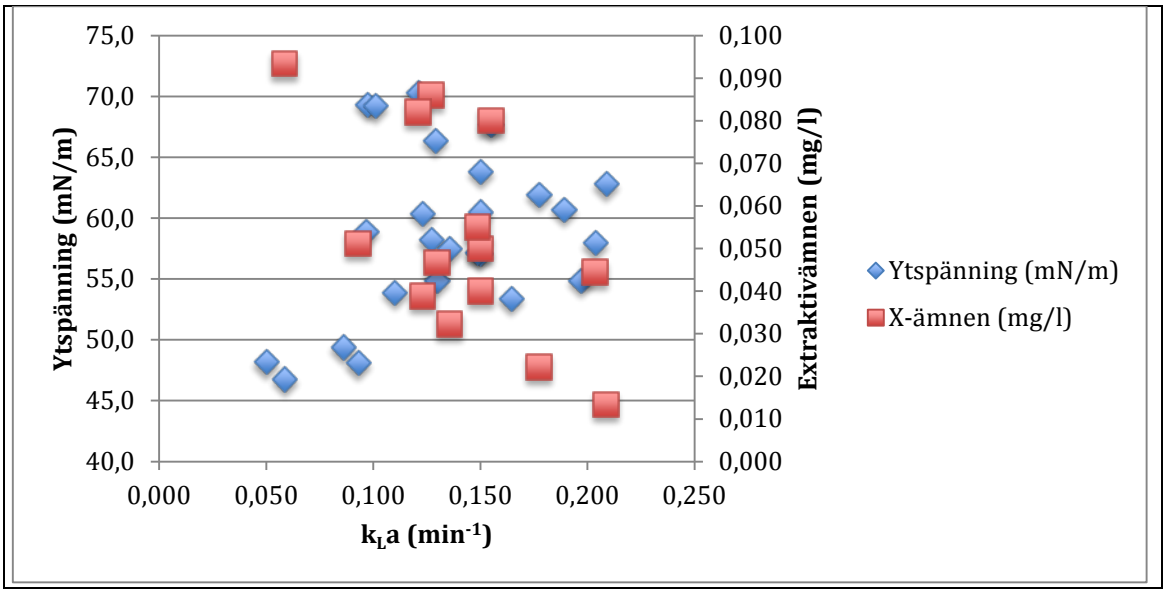


Figur 25. Samband mellan k_La, och halten COD och TOC i filtrat från membranfiltrering med 100 kDa porstorlek.

Figure 25. Korrelation between k_La and COD, TOC in filtrate from membrane filtration with 100 kDa pore size

Resultaten kommer från Skärblacka och Gruvön vilka båda har liknande massa-processer.

Det finns också svaga samband mellan extraktivämneshalt och k_La. Det indikerar att extraktivämnen har betydelse för syretransporten. Ytspänningen påverkas av halten extraktivämnen men även av andra jonstarka föreningar och det går inte att se ett samband mellan ytspänning och k_La.



Figur 26. Samband mellan k_La, halten extraktivämnen och ytspänning när alla resultat redovisas tillsammans

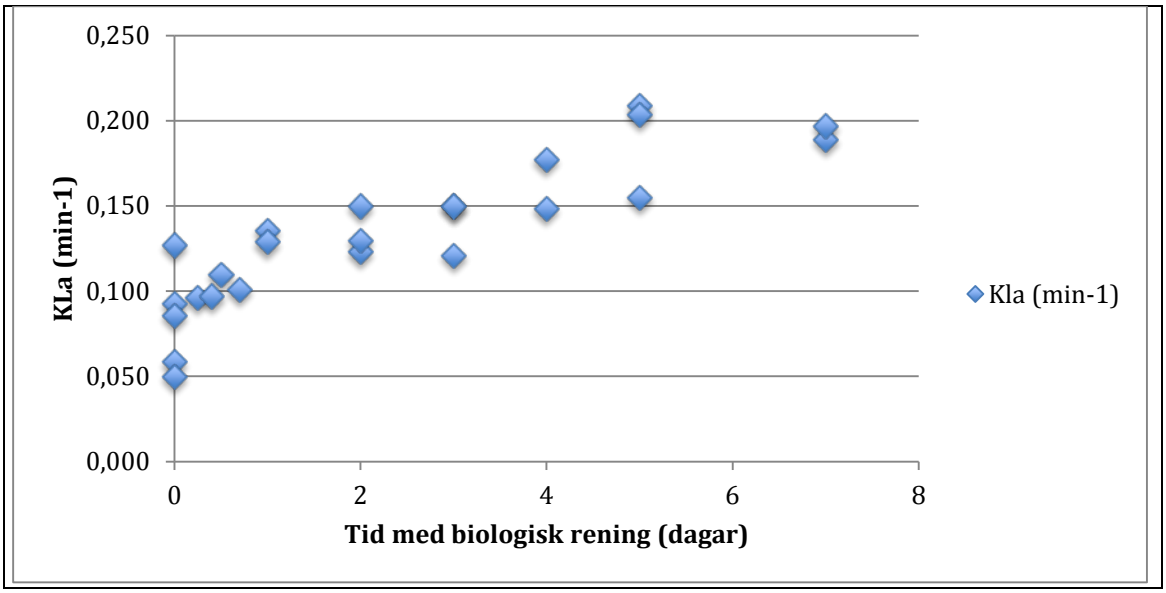
Figure 26. Correlation between kLa, concentration of extractives and the surface tension, results from all trials

Enligt figur 11, 12 och 15 är det tydligt att k_La stiger ju längre den biologiska nedbrytningen pågått. För att se om sambandet stämde generellt för alla försök uppskattades tiden som processvattnet behandlats med biologisk rening, har uppmätt k_La jämförts mot uppskattad tid, tabell 16 och figur 27. Det finns ett tydligt samband däremellan.

Tabell 16. Resultat alla försök. K_La och halt COD jämförs mot den uppskattade tiden som processvattnet behandlats med biologisk rening

Table 16. Results from all trials. Concentration of COD and kLa are compared to the time the process effluent been treated with biological methods

Provserie	provpunkt	Uppskattad tid (d)	K_La (min^{-1})	α	COD (mg/l)
Laboratorie-försök Gruvön	Dag 1	0	0,093	0,59	1493
2	Dag 2	1	0,136	0,86	1172
3	Dag 3	2	0,123	0,78	864
4	Dag 4	3	0,150	0,95	852
5	Dag 5	4	0,177	1,12	836
6	Dag 6	5	0,209	1,32	740
Laboratorie-försök Skoghall	Dag 1	0	0,059	0,37	1584
2	Dag 2	1	0,164	1,04	1372
3	Dag 3	2	0,130	0,82	1114
4	Dag 4	3	0,150	0,95	1082
5	Dag 5	4	0,149	0,94	990
6	Dag 6	5	0,204	1,28	968
Skärblacka	**process**	0	0,127	0,80	612
	in	1	0,129	0,81	537
	mitten	3	0,121	0,76	491
	ut	5	0,155	0,98	508
Skoghall	Processavlopp	0	0,05	0,32	1558
	Inlopp	0,5	0,11	0,69	840
	Början luftad zon	2	0,15	0,95	702
	slutet luftad zon	7	0,189	1,19	734
	utlopp	7	0,197	1,24	662
Gruvön	**process**	0	0,086	0,54	1160
	B1	0,25	0,097	0,61	956
	Selektor	0,4	0,097	0,61	558
	AS2	0,7	0,101	0,64	506



Figur 27. Samband mellan k_La, och tiden processvatten behandlats med biologisk rening.

Figure 27. Correlation between k_La and time the process effluent been treated with biological methods, all results in dependent of mill or treatment method

3.6 Resultat Modell

3.6.1 Beräkningar Gruvön

Resultaten från modellen överensstämmer väl med uppmätta värden, tabell 17. Den största andelen COD reduceras i första kontrollvolymen och slamkoncentrationen är hög i de avslutande aktivslamstegen.

Det var en liten skillnad mellan syretransportkoefficienten k_La i de olika kontrollvolymerna och därför blev inte ökningen så stor när SOTR beräknades med det högsta k_La-värdet i alla kontrollvolymer.

Tabell 17. Resultat från Modell Gruvöns reningsverk

Table 17. Results from model of Gruvön treatment plant

	Kontr.volym 1	Kontr.volym 2	Kontr.volym 3	Totalt
COD (1+2+3) (mg/l)	60	20	0	
Biomassa SÄ (mg/l)	400	400	4500	
Syrebehov R_0 (ton/d)	8,2	11,8	0,9	
Slamproduktion (ton/d)				10
Slamålder SRT (d)				4,7
SOTR (ton/d) K_La 0,097				38
SOTR (ton/d) K_La 0,101				36

Vid Gruvöns bruk renas ca 35 ton COD/dag. Utan förändrad strömningsbild förbrukar de 1,1 ton SOTR/ ton red COD.

3.6.2 Beräkningar Skärblacka

Resultatet stämmer relativt väl överens med uppmätta värden. Med modellberäkningar var det dock svårt att nå lika höga halter av biomassa, SÄ, som uppmättes vid provtagningen. I kontrollvolym 1 reduceras inget COD eftersom zonen är anaerob. Av samma anledning förbrukas inget syre i den zonen. Mätningarna vid provtagningen visade dock att COD minskade med ca 8 % i den anaeroba zonen vilket modellen inte kan beräkna. Modellen visar att substratet förbrukas redan i kontrollvolym 2, så fort som syre tillförs till systemet. De stora volymerna och uppehållstiderna är fullt tillräckliga för långt gående COD-reduktion. Resultatet stämmer överens med de uppmätta halterna.

För att uppskatta om ett ökat flödesutbyte skulle kunna spara mängden nödvändigt tillförd syre, beräknades SOTR med uppmätta k_La värden i respektive kontrollvolym och med samma höga K_La i bägge syresatta kontrollvolymer. Beräkningen visade att ca 13 % att SOTR minskade med 13% om k_La värdet skulle kunna ökas till 0,155 (min^{-1}) även i kontrollvolym 2.

Tabell 18. Resultat från Modell Skärblackas reningsverk

Table 18. Results from model, Skärblacka treatment plant

	Kontr.volym 1	Kontr.volym 2	Kontr.volym 3	Totalt
COD (1+2+3) (mg/l)	610	0	0	
Biomassa SÄ (mg/l)	750	1050	920	
Syrebehov R_0 (ton/d)	0	12	9,25	21,25
Slamproduktion (ton/d)				3,5
Slamålder SRT (d)				18
SOTR (ton/d) K_La 0,121				30
SOTR (ton/d) K_La 0,155				23

Vid Skärblackas bruk renas ca 36 ton COD/dag. Utan förändrad strömningsbild förbrukar de 0,8 ton SOTR/ ton red COD.

3.6.3 Beräkningar Skoghall

Liksom för modellen av Skärblackas LAS visar resultaten från Skoghalls modell lägre halter biomassa i kontrollvolymerna jämfört med de uppmätta värdena. Slamproduktion och slamålder stämmer däremot överens.

Även i Skoghalls luftade damm förbrukas allt substrat så fort vattnet syresätts. I Skoghalls luftade damm finns en väsentlig skillnad mellan k_La i början och i slutet av dammen. När det höga k_La värdet användes för hela reningsverket minskade SOTR med nästan 30 %, tabell 17.

Tabell 19. Resultat från Modell Skoghalls reningsverk

Table 19. Results from model, Skoghall treatment plant

	Kontr.volym 1	Kontr.volym 2	Kontr.volym 3	Totalt
COD (1+2+3) (mg/l)	900	0	0	
Biomassa SÄ (mg/l)	220	620	450	
Syrebehov R_0 (ton/d)	0	9	7	16
Slamproduktion (ton/d)				5
Slamålder SRT (d)				19
SOTR (ton/d) K_La 0,15, 0,19				29
SOTR (ton/d) K_La 0,19				16

Vid Skoghalls bruk renas ca 22 ton COD/dag. Utan förändrad strömningsbild förbrukar de 0,87 ton SOTR/ ton red COD.

4 Resultatanalys

Ju längre ett processavloppsvatten behandlas med biologisk rening desto lättare blir det att syresätta det. Om man med exempelvis förändrat strömningsmönster kan blanda in processavlopp som behandlats under lång tid, tidigt i reningsverket, kan mängden tillsatt syre minskas och energi sparas.

För de tre jämförda bruken är Skoghalls processvatten svåras att syresätta. Det beror troligtvis på att de producerar CTMP vilket ger höga halter av både extraktivämnen och lignin. Men efter biologisk behandling stiger k_La värdet och är ett av de mest lättluftade vattnen trots att COD-halten fortfarande är hög jämfört med de andra. Detta beror på att vattnet behandlas under lång tid, 7 dygn, och de ämnen som påverkar syretransporten omvandlas under tiden. Modellberäkningar visade att den nödvändiga mängden tillförd syre, SOTR, skulle minska avsevärt om Skoghall kunde förbättra sitt k_La så det blev lika högt i hela dammen. Om det renade vatten blandades in med större andel i början av dammen, så att k_La ökade även i början, skulle de kunna minska luftbehovet, och därmed sänka sina energikostnader, med ca 30 %. Tyvärr kan inte resultaten från den här studien visa hur stor andel vatten som skulle behövas blandas in för att nå resultatet. Effektiviseringen med 30 % kan ses som ett övre riktvärde.

Även Skärblacka har en reningsanläggning med lång uppehålls tid. Skärblackas processavlopp är lite enklare att syresätta jämfört med Skoghalls avloppsvatten. Därför blir potentialen något mindre. Men modellberäkningarna visar att det går att effektivisera luftningen med 13 % om långt renat vatten blandas in för att späda ut orenat vatten.

Gruvöns bruk använder sig av ett kompakt reningsverk med kort uppehållstid. Därför förbättras inte k_La genom reningsverket i lika stor utsträckning som det gör i de bägge andra reningsverken. Enligt modellen blev förbättringspotentialen endast 5 %.

Anledningen till att processavloppsvatten blir lättare att syresätta ju längre det behandlats i det biologiska reningsverket beror troligtvis på att ytaktiva ämnen som fettsyror, hartssyror och till viss mån även lignin bryts ner. Resultatet från den här studien visar att det finns ett samband mellan halten extraktivämnen och k_La. Men halterna varierar för mycket mellan de olika proverna för ett signifikant koncentrationssamband.

Men syretransportkoefficienten, k_La, fortsätter att stiga trots att COD- och TOC-reduktionen avtagit. Det visar att det inte finns något samband mellan TOC eller COD halt och k_La. Det tyder på att ämnena i vattnet transformeras till något som har mindre effekt för syretransporten. Det tyder också på att det som påverkar syretransporten är svårnedbrytbart. Tydligast syns det i laboratorieförsöken. När tillgängligt substrat har tagit slut efter ca 3 dagar minskar även halten slam i systemet, d.v.s. det finns inte tillräckligt med mat för ny tillväxt. Men vattnets karaktär förändras fortfarande. Det indikerar att de är de mest svårnedbrytbara föreningarna som omvandlas då.

Studien visar dock ett samband som indikerar att halten TOC och COD, särskilt i membranfilterfraktionen 100 kDa, korrelerar mot Syretransport koefficienten k_La. Värdena gäller för Gruvön och Skärblacka som båda har liknande massaproduktion. Resultaten räckte dock inte till att ge ett signifikant samband som kunde användas för att uppskatta k_La generellt. Fler membranfiltreringen behöver göras från Skoghalls vatten och andra vatten som behandlats biologiskt under lång tid, för att ge tillräckligt med underlag.

Syftet med den här studien var att visa att biotransformationen av organiska föreningar i processavloppvatten påverkar syretransporthastigheten och energianvändning positivt i ett skogsindustriellt reningsverk. Det visar resultaten tydligt. Men syftet var också att koppla flödesmönstret i en reningsanläggning till biotransformationen. Eftersom syretransporthastigheten korrelerade till en tid med biologisk behandling snarare än mot en halt av något organiskt ämne, lyckades vi inte fullt ut att koppla resultaten mot ett flödesmönster.

Modellen som användes för att beräkna hastigheten som substratet förbrukades och biomassan växer till stämmer relativt bra överens med mätningar på bruken. Beräkningarna visar dock lägre halter biomassa i de olika kontrollvolymerna jämfört med uppmätta värden, särskilt för de stora reningsverken, LAS-anläggningarna. Det kan bero på att organiskt material annat än bioslam, ackumuleras i slammet i de stora och långsamma reningsverken. I modellen räknas endast tillväxt av bioslam.

5 Slutsatser

Resultatet bekräftar att ju längre ett processavloppsvatten behandlas med biologisk rening desto lättare blir det att syresätta det. Resultaten visar bl.a att syretransportkoefficienten k_La stiger när halten extraktivämnen sjunker.

Men mindre väntat visar resultaten att k_La, fortsätter att stiga trots att halten organiskt material slutat sjunka. Det visar att det inte finns något entydigt samband mellan TOC eller COD halt och k_La. Det tyder på att de organiska ämnena i vattnet är svårnedbrytbara och transformeras till något som har mindre effekt för syretransporten.

Med modellen var det möjligt att prediktera substratreduktion och produktion av biomassa i de tre reningsverken som studerats.

Eftersom resultaten visar att det är tiden och inte någon halt av ett karaktäriserbart ämne eller fraktion, som korrelerar mot syrebehov, gick det inte fullt ut att prediktera syrebehovet vid förändrade strömningsförhållanden.

Men det gick att prediktera potentialen för effektivisering. Resultaten från modellen visar att det går att spara upp till 30 % av syrebehovet för reningsverk med lång uppehållstid, genom att utjämna vattenkvaliteten så att hela bassängen innehåller processavlopp som behandlats under lång tid.

6 Rekommendationer och användning

Resultaten från den här studien visar att det finns en potential för reningsverk med långa uppehållstider att effektivisera syresättning och energianvändning. Genom att med ökad omblandning i systemet blanda vatten som behandlats länge och späda ut obehandlat vatten kan den totala syresättningseffektiviteten förbättras.

Modellen som predikterar substratreduktion och bioslamproduktion stämmer till stor del överens med de uppmätta värdena. Modellen kan fortsättningsvis användas för att förutsäga förändringar som uppstår p.g.a. processförändringar som exempelvis ökade/minskade halter av COD eller TOC. Närsaltsbehovet i ett reningsverk beror av hur mycket bioslam som tas ut som överskottslam. Med modellen kan processförändringar och temperaturförändringars inverkan på närsaltsbehovet predikteras.

7 Förslag till fortsatt forskningsarbete

Syftet med den här studien var att visa att biotransformationen av organiska föreningar i processavloppvatten påverkar syretransporthastigheten och energianvändning positivt i ett skogsindustriellt reningsverk. Det visar resultaten tydligt. Men syftet var också att koppla flödesmönstret i en reningsanläggning till biotransformationen. Eftersom syretransporthastigheten korrelerade till en tid med biologisk behandling snarare än mot en halt av något organiskt ämne, lyckades vi inte fullt ut att koppla resultaten mot ett flödesmönster. För att lyckas med det behöver k_La mätas i försök där processavlopp behandlat under lång tid blandas med processavlopp behandlat kort tid. Resultaten kan ge de samband som behövs för en förbättrad modell.

Fler analyser behöver göras på membranfiltrerat biologiskt behandlat processavlopp. Antalet analyser i den här studien var för litet för signifikanta resultat.

Den här studien visade att tiden för biologisk nedbrytning bättre korrelerade mot syretransporthastighet än halten av någon fraktion av COD eller TOC. Fortsättningsvis behöver vi studera hur svårnedbrytbara ämnen påverkas av biologisk nedbrytning. Troligtvis har lignin och dess olika oxiderade nedbrytningsprodukter stor effekt på syretransporthastigheten. Men det kan även vara intressant att studera halter av mikrokristallin cellulosa som också har egenskaper som gör att den fäster på bubblor.

Förutom karaktärisering av organiska ämnen behöver fortsatta studier göras för att karaktärisera proverna med avseende på ytkemiska egenskaper.

När fler vatten har membranfiltrerats och när det finns större kunskap om vilka föreningar som påverkar k_La, behöver modellen förbättras med fler kontrollvolymer.
Genom att utöka antalet kontrollvolymer kan strömningsmönstret bättre simuleras och syretransporten bättre predikteras.

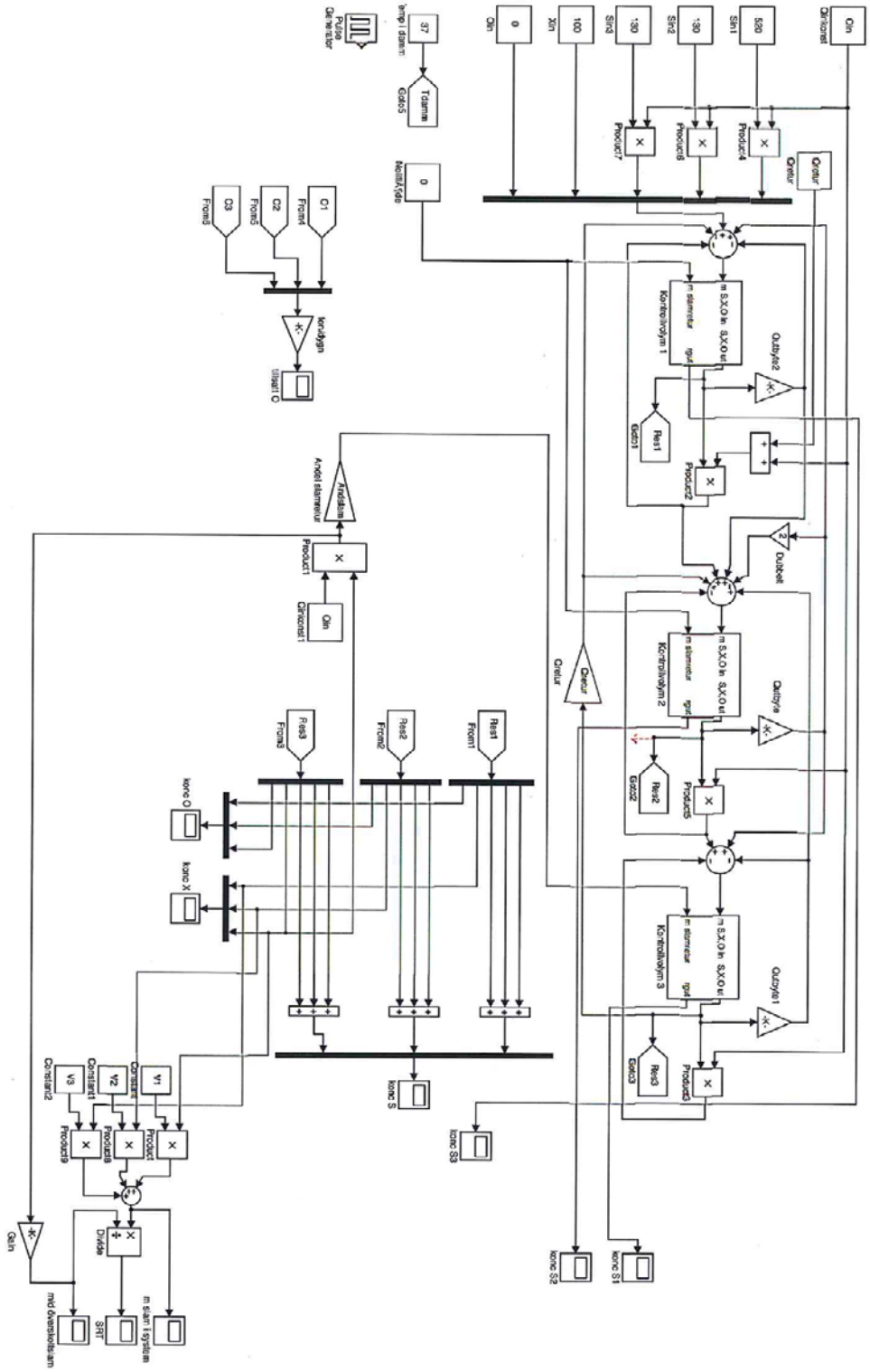
8 Litteraturreferenser

1. Stoica, A., M. Sandberg, and O. Holby, *Energy use and recovery strategies within wastewater treatment and sludge handling at pulp and paper mills.* Bioresource Technology, 2009. **100**(14): p. 3497-3505.
2. Garcia-Ochoa, F. and E. Gomez, *Bioreactor scale-up and oxygen transfer rate in microbial processes.* Biotechology advances, 2009. **27**: p. 153-176.
3. Sandberg, M. and M. From-Aldaron, *Energieffektiv aerob rening av skogsindustriella avloppsvatten*, in *Skogsindustriella programmet, report 1166, Värmeforsk service AB*. 2011: Stockholm. p. 29.
4. Leviskä, T., et al., *Size fraction of wood extractives, lignin and trace elements in pulp and paper mill wastewaters before and after biological treatment.* Water Research, 2009. **43**: p. 3199-3206.
5. Simes, M., *Undersökning av strömningsbilden i en luftad damm med två olika luftningssystem: En förstudie vid Skoghalls Bruk*. 2014, Ingenjörs- och kemivetenskaper: http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kau:diva-33329.
6. Tchobanoglous, G., F.L. Burton, and H.D. Stensel, *Wastewater engineering. Treatment and reuse*. 4th ed, ed. M.a. Eddy. 2003: Mcgraw-Hill Higher education.

Bilagor Översiktbild Modell

A Beskrivning av modell

A.1 Översiktsbild: Modell med tre kontrollvolymer



A.2 Del av modell, kontrollvolym 1

