



# Närsaltsdosering till luftad damm

- En åtgärd för ökad TOC-reduktion hos Skoghalls  
Bruk luftade damm

---

Carl Bonde

## REFERAT

### Närsaltsdosering till luftad damm

– En åtgärd för ökad TOC-reduktion hos Skoghalls Bruk luftade damm  
*Carl Bonde*

Vid tillverkning av kartong och pappersmassa på Skoghalls Bruk förorenas stora mängder vatten, som därmed måste renas före utsläpp till recipienten, Kattfjorden, en vik i Vänern. En av de föroreningar som är viktig att avlägsna ur avloppsvattnet är organiska kolföreningar (TOC-total organic carbon) eftersom det vid mikrobiologisk nedbrytning av TOC åtgår syre vilket kan leda till att sjöbotten blir syrefri.

Rening av avloppsvatten på Skoghall Bruk sker genom en extern reningsanläggning som är placerad på bruket. Det biologiska reningssteget i reningsanläggningen är en s.k. luftad damm. Detta är en 140 000 m<sup>3</sup> stor vattenbassäng med ytluftare som syresätter vattnet. I dammen lever mikroorganismer vilka utför den största delen av TOC-reduktionen i brukets reningsanläggning.

Ett problem med dammen är att reningen av TOC är betydligt sämre vintertid än sommartid. Reduktionen av det till dammen inkommande TOC, är vintertid endast ca 40 % medan den sommartid ligger kring 70-80 %. Denna årstidsvariation kan till stor del förklaras av att vattentemperaturen i dammen sjunker vintertid. Den låga temperaturen medför att den biologiska aktiviteten i dammen sjunker, vilket hämmar TOC-reduktionen. En annan orsak till en låg TOC-reduktion kan vara att det för mikroorganismerna råder brist på biotillgängliga närsalter (kväve och fosfor) som behövs för tillväxt av ny biomassa.

I detta examensarbete har det undersökts behovet av närsalter för att höja TOC-reduktionen. I två laborationsdammar (ca 20 l) skedde doseringar av närsalter i syfte att finna en bra doseringskvot som innebar en ökad reduktion av TOC, utan att det blev förhöjda kväve-/fosforhalter i utgående vatten. En av laborationsdammarna höll sommartemperatur (ca 30°C) och en höll vintertemperatur (ca 10°C) vilket gjordes för att undersöka om det var skillnad av närsaltsbehovet mellan sommar och vintertid.

Den viktigaste slutsatsen av försöken var att en närsaltsdosering till Skoghalls luftade damm höjer TOC-reduktion vintertid. Det konstaterades att det var kvävet som främst bidrog till den ökade TOC-reduktionen och kväve anses därmed vara det tillväxtbegränsande ämnet vintertid. Fosfor tycktes ha överdoserats under försöken, då det sågs förhöjda halter i utgående vatten, och en optimal dosering av fosfor kunde inte avgöras. Den rekommendation som föll ut av de laborativa försöken var att vintertid dosera kväve och fosfor enligt TOC:N:P-kvot 100:0,75:0,10.

Till sommardammen sågs inte någon förbättring av TOC-reduktionen till följd av närsaltstillsatserna, vilket innebär att närsaltsdoseringar sommartid är obefogat.

Vidare sågs tendenser till att slammets sedimentationsegenskaper, hos framförallt vinterdammen, blev bättre till följd av närsaltsdosering, men brist på mätdata medför att det är svårt att dra slutsatser om det verkliga varit så.

**Nyckelord:** Avloppsvattenrening, biologisk vattenrening, luftad damm, närsalter, pappersmassaindusti, Skoghalls Bruk, TOC-reduktion.

## **ABSTRACT**

### **Dosage of nutrient to an aerated lagoon**

– A measure to a higher TOC-reduction to the aerated lagoon of Skoghall Mill

*Carl Bonde*

In the process of making carton boards into Skoghall Mill, are great quantities of water being contaminated. This water has to be treated before it is possible to release into the recipient, Kattfjorden. One of the contaminations that is important to extract from the wastewater, is organic carbon (measured as TOC-total organic carbon) because microbiological breakdown can lead to the bottom becoming free of oxygen.

The wastewater treatment at Skoghall Mill is done through an external wastewater treatment that is located at the factory. The biological treatment (aerated lagoon) is a 140 000 m<sup>3</sup> water pool with surface aerator, which gives oxygen to the water. In the lagoon live microorganisms who perform the biggest part of the TOC-reduction.

One problem with the lagoon is that the treatment of TOC is considerably worse during wintertime than during summertime. The reduction is during wintertime only 40 %, while during summertime it is about 70-80 %. This seasonal variation can to a large extent be explained by, that the water temperature in the lagoon decreases wintertime. The low water temperature does that the biological activity in the lagoon is reduced, which reduces the TOC-reduction. A second reason can also be that the microorganisms do not have enough bioavailable nutrients that is needed for growth of a new biomass.

In this thesis the need of nutrient has been examined. In two test pools, additions of nutrient were being done, to come to the conclusion of a good dosage of nutrient which would lead to a larger reduction of TOC, without enlarged quantities of nitrogen/phosphorus in the outgoing water. One of the test pools hold a summer temperature (30°C), and the other test pool hold a winter temperature (10°C). The test was performed this way to see if there would be any difference in the need of nutrient between summertime and wintertime.

The most important conclusion was that a nutrient dosage to the Skoghall aerated lagoon, rise the TOC-reduction wintertime. It was also concluded that it was foremost the nitrogen that contributed to the raised TOC-reduction, and nitrogen is thereby considered to be the growth restraining element wintertime. It seemed like phosphorus had been overdosed during the tests, while enlarged halts of the substance could be seen in the outgoing water, and an optimal dosage of phosphorus could not be done. The recommendation that came as a result from the tests, was that during wintertime add nitrogen and phosphorus according to TOC:N:P-quota 100:0,75:0,10. To the summer pool was no considerable improvement of the TOC-reduction seen, as a result of the nutrient additions. It is also no reason to dosage nutrients in summertime.

Keywords: Wastewater treatment, biologic wastewater treatment, aerated lagoon, nutrients, pulp and paper industri, Skoghall Mill, TOC-reduction

Uppsala University, Department of Information Technology  
BOX 337 SE-751 05 Uppsala, Sweden  
ISSN 1401-5765

## FÖRORD

Detta examensarbete har utförts på uppdrag av Stora Enso Skoghalls Bruk i samarbete med Karlstad universitet. Arbetet har utförts under hösten 2005 på Skoghalls Bruk.

Handledare har varit Ann-Kristin Magnusson, utvecklingsingenjör vid Skoghalls Bruk och Maria Sandberg, Universitetsadjunkt vid avdelningen för energi- och miljöteknik, Karlstad universitet. Ämnesgranskare har varit Sara Hallin, Docent vid Institutionen för mikrobiologi, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala och Examinator har varit Allan Rodhe, professor i hydrologi vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet. För laborativ handledning har Anna Jansson, laboratorieassistent vid Skoghalls Bruk, bistått med hjälp. Hon har även varit hjälpsam då mina armar och ben inte räckt till samt kommit med nyttiga synpunkter som fört mitt arbete framåt.  
Ett stort tack till er alla!

Stort tack även till:

- Rolf Larsson, miljöingenjör vid Skoghall Bruk, som med stor kunskap och entusiasm hjälpt till med både teoretisk- och praktisk problemlösning.
- Håkan Matsson, försäljare på YARA Industrial AB som bidragit med kunskap om närsalter och försett mig med de kväve- och fosforkemikalier som använts vid närsaltsförsöken.
- Till all personal på Sulfatlab som hjälpsamt svarat på frågor och bistått med hjälp under min tid på Skoghalls Bruk
- Övrig personal på Skoghall Bruk som jag lärt känna och som hjälpt mig under mitt examensarbete.

Slutligen, ett STORT tack till min familj och mina vänner som givit mig stöd under arbetets gång. Ett särskilt tack till Marika Bonde Dahlström, min kära syster som tålmodigt har hjälpt till med korrekturläsning och synpunkter på rapporten.

Hammarö den 31 januari 2007

## ORDLISTA

Biomassa	Mängden levande organismer
Biotillgänglig	Ett ämnes kemiska form som mikroorganismer kan utnyttja
BOD	Biologisk syreförbrukning, ( <i>Biological Oxygen Demand</i> )
CMC	Carboximetylcellulosa, förtjockningsmedel
COD	Kemisk syreförbrukning, ( <i>Chemical Oxygen Demand</i> )
COD:N:P-kvot	Kvotförhållande mellan mängden COD, kväve och fosfor
CTMP	Kemitermomekanisk massa, ( <i>Chemo-Termo Mechanical Pulp</i> )
MCA	Monoklorättiksyra, förtjockningsmedel
NaOH	Natriumhydroxid, lut
NH <sub>4</sub> -N	Ammoniumkväve
NO <sub>3</sub> -N	Nitratkväve
PO <sub>4</sub> -P	Fosfatfosfor
Recipient	Plats där renat avloppsvatten släpps ut i naturen
Returslam	Slam från eftersedimentering som återförs till luftad damm
SV	Slamvolym
SVI	Slamvolymindex
SÄ	Suspenderade ämne
TOC	Totalt organiskt kol, ( <i>Total Organic Carbon</i> )
TOC:N:P-kvot	Kvotförhållande mellan mängden TOC, kväve och fosfor
Vira	Plastduk vilken pappersmassan ligger på i kartongmaskinerna

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING .....	1
1.1. BAKGRUND .....	1
1.2. SYFTE .....	1
2. VATTENRENING INOM SKOGSINDUSTRIN .....	3
2.1. PAPPERSTILLVERKNING - EN VATTENFÖRBRUKANDE PROCESS .....	3
2.2. EXTERN RENING .....	3
2.3. MIKROORGANISMERNAS BETYDELSE FÖR TOC-RENING .....	3
2.3.1. Mikroorganismerna renar avloppsvattnet från organiskt material .....	3
2.3.2. Mikroorganismernas behov för tillväxt .....	4
3. SKOGHALLS BRUK .....	5
3.1. FÖRETAGSFAKTA .....	5
3.2. TILLVERKNINGSPROCESSEN .....	5
3.3. EXTERN RENINGEN PÅ SKOGHALLS BRUK .....	6
3.3.1. Skoghalls luftade damm .....	7
4. MATERIAL OCH METODER .....	8
4.1. FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING VID LABORATORIEFÖRSÖK .....	8
4.2. NÄRSALTSFÖRSÖK .....	9
4.2.1. Försöksperioden .....	9
4.2.2. Ingående avloppsvatten .....	10
4.2.3. Provtagning och vattenanalyser under försöksperioden .....	10
4.2.4. Doseringskemikalier .....	11
4.2.5. Val av doseringskvoter .....	11
4.3. ANALYSMETODER .....	11
4.3.1. Organiskt material – COD- och BOD-analys .....	11
4.3.2. Kväve- och fosforanalys .....	12
4.3.3. Slamanalys – SÄ/SV/SVI .....	12
5. RESULTAT .....	14
5.1. DAMMFÖRSÖK .....	14
5.1.1. COD .....	14
5.1.2. Fosfor- och kvävehalter .....	15
5.1.3. Suspenderade ämnen (SÄ) .....	16
5.1.4. BOD-analys .....	16
6. DISKUSSION .....	17
6.1. RESULTAT – NÄRSALTSFÖRSÖK .....	17
6.1.1. Val av COD:N:P-kvoter vid doseringsförsök .....	17
6.1.2. Närsaltsdoseringarnas effekt på COD-reduktionen .....	17
6.1.3. Utgående kväve-/fosforhalter .....	18
6.1.4. Slamegenskaper .....	18
6.1.5. Varför behövs tillsats av kväve och fosfor endast vintertid? .....	19
6.2. FÖRSÖKEN RESULTAT vs SKOGHALLS LUFTADE DAMM .....	20
6.3. VAL AV METOD .....	20
7. SLUTSATSER OCH FÖRSLAG TILL FORTSATTA STUDIER .....	21
8. REFERENSER .....	22
9. BILAGOR .....	24
Bilaga 1. COD-halter, dammförsök .....	24
Bilaga 2. Kvävehalter, dammförsök .....	25
Bilaga 3. Fosforhalter, dammförsök .....	26
Bilaga 4. SÄ/SV/SVI, dammförsök .....	27
Bilaga 5. Laborationsdammarnas status under laborationsförsöken .....	28

# 1. INLEDNING

## 1.1. BAKGRUND

Vid tillverkning av papper och pappersmassa är vattenbehovet stort. Vattnet förorenas genom processen och måste renas innan det släps ut i recipienten. En av de viktigaste föroreningarna att avlägsna ur skogsindustriellt avloppsvatten, innan utsläpp till recipient, är organiskt material. Halten av organiska föreningar i avloppsvattnet är oftast stor och vid mikroorganismers nedbrytning av dessa föreningar åtgår syre. Om det ansamlas stora mängder organiskt material i en sjö kan nedbrytningens syreåtgång medföra att botten blir syrefri. Vattenrening på pappersbruk sker genom externa reningsanläggningar som kan bestå av flera olika typer av reningssteg (Alexandersson, 2003). Ofta är ett av dessa steg en biologisk reningsanläggning vars främsta syfte är att avlägsna organiskt material från avloppsvattnet. Den biologiska reningen utgörs av mikroorganismer som oxiderar organiska kolföreningar för att kunna tillgodose sitt behov av kol.

På Skoghalls Bruk utgörs det biologiska reningssteget av en så kallad luftad damm. Det är en 140 000 m<sup>3</sup> stor damm där rening av organiskt material (total organic carbon; TOC) sker. Sommartid är TOC-reduktionen ca 70-80 % medan den vintertid sjunker betydligt, ibland ända ner till ca 40 %. En orsak till den vintertid låga TOC-reduktionen kan vara att temperaturen i dammen sjunker ca 10-15 grader, vilket medför att den mikrobiella nedbrytningen av TOC sker mindre effektivt. Hos skogsindustriellt avloppsvatten är andelen kol ofta hög i förhållande till det kväve och fosfor som krävs för att tillgodose mikroorganismernas behov för tillväxt och därför kan en tillsats av näringsämnen bidra till en ökad TOC-reduktion (Ellis m fl, 2003). Vid Hallsta Pappersbruk har det visats att halten lättillgängligt kväve och fosfor är för låg vid för att en optimal biologisk rening ska kunna ske (Ramberg, 2005). Även i reningsanläggningar vid Södra Cell Mörrum och Gruvöns sulfatmassabruk begränsades COD-reduktionen främst av kväve (Björkman, 2004; Thyberg, 2004). Vid Gruvöns bruk konstaterades det att en dosering av en mindre mängd fosfor behövdes för att minimera risken för fosforbrist. I samtliga av dess studier har reningsanläggningarnas näringsbehov endast studerats vid en konstant sommartemperatur (ca 35°C) och om det råder en variation av näringsbehoven mellan sommar- och vintertid är därför okänt. Det är dock ett välkänt problem att reningseffekten generellt minskar vintertid. Det har även visats att reningsanläggningar för skogsindustriellt avloppsvatten kan drivas med ett minimum av näringsstillsatser sommartid, medan det krävs större tillsatser under vintern för att uppnå optimal reningskapacitet (Springer, 2000). En teori vid Skoghalls Bruk var att alltför låga halter av näringsämnen i den luftade dammen kunde vara orsaken till den vintertid låga TOC-reduktionen. Detta medförde att man på försök under vintern 2004-2005 doserade kväve och fosfor i den luftade dammen. Detta gav positiv effekt och under vintern 2004 var TOC-reduktionen ca 70 %, men för att kunna styra processen bättre bör det klargöras hur en lämplig näringsdosering ska ske.

## 1.2. SYFTE

Syftet med detta examensarbete var att avgöra om det går att höja TOC-reduktionen i Skoghalls luftade damm genom tillsatser av näringsämnen. Vidare skulle undersökas om näringsbehovet skiljde sig mellan vinter- och sommarförhållanden. Det var även önskvärt att finna en balans mellan kväve och fosfor som inte medför högre halter av näringsämnen i utgående vatten från dammen d.v.s. att ingen överdosering av kväve/fosfor skulle ske.

Två laborationsdammar, konstruerade att efterlikna Skoghalls luftade damm, användes för att studera om tillsats av närsalter kunde höja reduktionsgraden av TOC. Den ena dammen höll vintertemperatur och den andra sommartemperatur för att undersöka om det fanns skillnader i närsaltsbehovet under de olika årstiderna. För att utvärdera resultatet av närsaltstillsatserna analyserades ingående och utgående vatten från laborationsdammarna med avseende på totalkväve/-fosfor, COD, BOD och SÄ-halter.



## 2. VATTENRENING INOM SKOGSINDUSTRIN

### 2.1. PAPPERSTILLVERKNING - EN VATTENFÖRBRUKANDE PROCESS

Vid tillverkning av papper och pappersmassa är vattenbehovet stort. Exempelvis behövs vatten för avbarkning av träd, tillverkning av kokvätska (vitlut) och för tvättning av massa. Dessutom åtgår mycket vatten i pappers- och kartongmaskinerna då viran ständigt rengörs för att motverka att fibrer och fines (små flis) fastnar på viran och orsakar stop i produktionen. Vatten används även till drift av vakuumpumpar och för kylning (Alexandersson, 2003). Skoghalls Bruk använde år 2005 totalt 40 000 000 m<sup>3</sup> vatten (Miljörapport, 2006).

Vattnet som används i tillverkningsprocessen förorenas och det är därför viktigt att vattnet renas innan det släpps ut i naturen. Skogsindustriellt avloppsvatten innehåller stora mängder organiskt material, som kan renas genom ett biologiskt reningssteg i en vattenreningsanläggning. För att reningen ska vara effektiv krävs att förhållandet mellan biotillgängligt kol, kväve och fosfor finns i rätta mängder för mikroorganismerna (se vidare 2.3.1 Mikroorganismernas behov för tillväxt).

### 2.2. EXTERN RENING

Intern rening och extern rening är två typer av avloppsvattenrening som kan förekomma på ett pappersbruk (Alexandersson, 2003). Intern rening syftar dels till att dels återvinna viktiga resurser i avloppsvattnet som därmed kan återanvändas i tillverkningsprocessen, dels till att avlägsna föroreningar som kan störa tillverkningsprocessen. Den externa reningen har till syfte att minimera avloppsvattnets påverkan på miljön och de flesta pappersbruk i Sverige har idag någon form av extern rening. Den externa reningsanläggningen kan, som på Skoghalls Bruk, finnas på fabriksområdet och skötas av personalen på bruket. Ett annat alternativ är att avloppsvattnet leds till ett kommunalt avloppswerk. I detta arbete är det endast den externa reningen som berörs.

### 2.3. MIKROORGANISMERNAS BETYDELSE FÖR TOC-RENING

#### 2.3.1. Mikroorganismerna renar avloppsvattnet från organiskt material

Till mikroorganismerna hör bakterier, svampar, alger och protozoer och gemensamt för dem är att de består av en enda cell eller cellsamling. Av mikroorganismerna är det främst bakterier i en reningsanläggning som bidrar till rening av TOC (Carlsson och Hallin, 2003). Bakterierna är i behov av organiskt kol av två skäl:

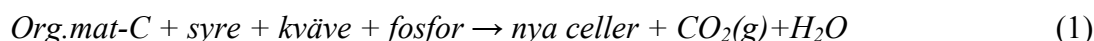
#### *Bakteriernas behov av kol för cellupbyggnad*

Bakterierna behöver kol för uppbyggnad av ny biomassa. För bakterierna kan kolet antingen tas från det organiska materialet i avloppsvattnet eller ifrån luftens koldioxid. De bakterier som tar sitt kol ifrån det organiska materialet kallas hetrotrofer och är de som vanligen förekommer i avloppsvattenreningsanläggningar och bidrar till TOC-reningen, medan de som fixerar koldioxid kallas autotrofa (Bitton, 1999).

#### *Bakteriernas behov av energi*

Bakterierna behöver energi och det finns tre sätt för dem att tillgodose sitt energibehov. De hetrotrofa bakterierna använder organiskt material till energi. Det finns också bakterier som kan använda antingen ljus eller oorganiska föreningar som energikälla. Exempel på oorganiska föreningar som kan utnyttjas som energi källa är  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  och  $\text{H}_2$  (Bitton, 1999).

Allt organiskt kol som finns i avloppsvattnet är inte biotillgängligt för bakterierna, som därmed inte kan utnyttja allt TOC i avloppsvattnet. En del av det, från början, icke biotillgängliga materialet kan med tiden bli biotillgängligt genom s.k. hydrolys. Hydrolys innebär att vatten spjälkar sönder större molekyler till mindre. Detta är en långsam process och ofta hastighetsbegränsande vid biologisk rening (Springer, 2000; Metcalf och Eddy, 2003). Nedbrytning av organiskt material kan ske både aerobt och anaerobt, men aerob oxidation, där tillgång till syre krävs, ger maximal effektivitet. För att tillväxa behövs även kväve och fosfor. Bakteriernas oxidation av organiskt kol och bildning av ny biomassa beskrivs av ekvation 1 (Metcalf och Eddy, 2003).



Av det kol bakterierna tar upp avges en del som  $\text{CO}_2$  (g) medan resten av kolet lagras i mikroorganismerna och bildar ny biomassa. Genom sedimentation eller filtrering kan biomassan avlägsnas från vattenfasen och avloppsvattnet har renats från organiskt kol (Metcalf och Eddy, 2003).

### 2.3.2. Mikroorganismernas behov för tillväxt

För att uppnå en bra biologisk rening av det organiska materialet krävs en god bakterietillväxt. En hög bakterietillväxt innebär att mycket kol binds upp i ny biomassa, som sedan kan avlägsnas genom sedimentation. För att gynna en god bakterietillväxt måste en miljö som uppfyller mikroorganismernas behov av näringsämnen, syre, pH och temperatur skapas (Gray, 2004; Springer, 2000).

#### Näringsämnen

Bakterier består till 75-80 % (v/w) av vatten, och den resterande torra vikten består av ca 50 % kol, 20 % syre, 14 % kväve, 8 % väte och 3 % fosfor (Bitton, 1999). Dessa ämnen är därför nödvändiga att finnas i bakteriens omgivning för att nya bakterier ska kunna bildas. Andra ämnen som är viktiga att de finns i bakteriens omgivning för en god bakterietillväxt är svavel, natrium, kalium, magnesium, kalcium, klor och järn liksom små mängder mangan, kobolt, koppar, zink och molybden. Av mikroorganismerna tas kväve helst upp i form av  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3$  och fosfor tas helst upp som ortofosfater (Springer, 2000).

#### Temperatur och pH

Temperaturen är viktig för rening av organiskt material då TOC-reduktionen oftast är sämre ju lägre vattentemperaturen är. Orsaken till detta är att mikroorganismernas tillväxthastighet vanligtvis minskar då temperaturen sjunker, vilket då innebär att mängden kol som binds upp i ny biomassa minskar (Alexandersson, 2003).

Bakterier är klassificerade som psykofila, mesofila, och termofila beroende på vid vilken temperatur de har sitt tillväxtoptimum. Psykofiler har optimal tillväxthastighet vid ca 15-30°C, men kan leva i miljöer ned till -5°C. Mesofila bakterier, som är de vanligaste i vattenreningsanläggningar, har optimal tillväxt vid 30 – 40°C men kan tillväxa ned till 10°C. Termofila bakterier kan existera vid 40°C men tillväxer optimalt vid 55-75°C (Springer, 2000).

Bakterierna i en aerob biologisk reningsanläggning klarar av att leva i ett brett pH intervall mellan 6-9. Det mest optimala för bakterierna är dock om pH ligger mellan 6,5-7,5 (Springer, 2000).

## **3. SKOGHALLS BRUK**

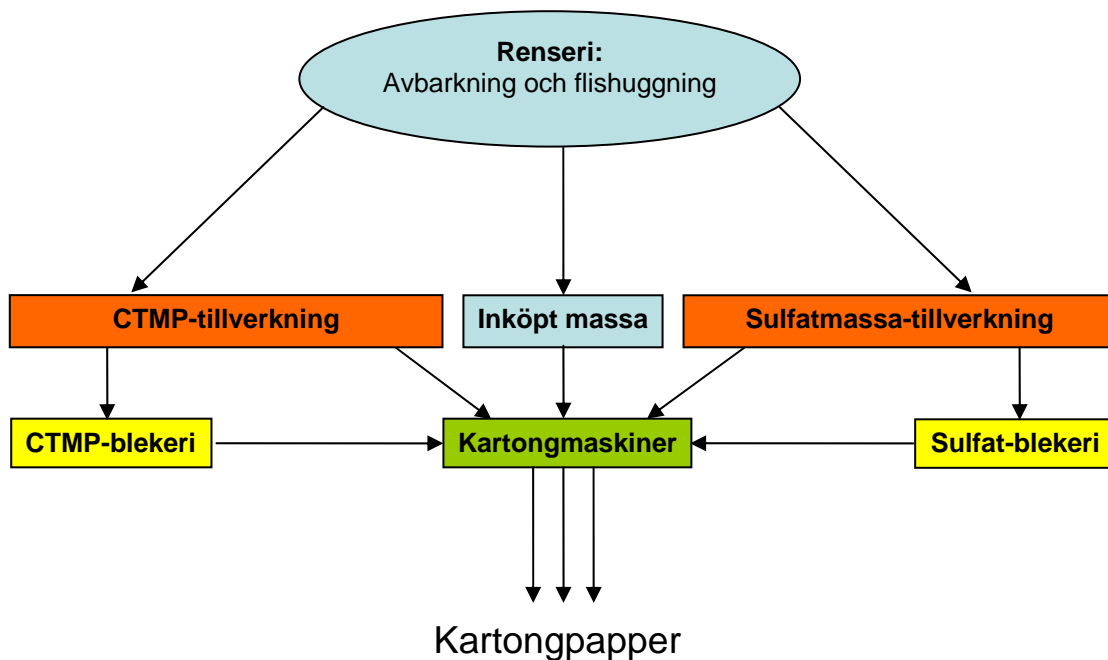
### **3.1. FÖRETAGSAKTA**

Skoghalls Bruk tillhör skogsindustrikoncernen Stora Enso, som har en världsledande marknadsposition för tillverkning av tryck- och finpapper, förpackningskartong samt träprodukter. Inom Skoghalls Bruk finns idag ca 1100 anställda, fördelade på Skoghalls Bruk och Forshaga. På Skoghalls Bruk tillverkas kartongpapper och massorna för tillverkning av detta. En del kartongpapper går till Forshaga där kartongen beläggs med olika material efter kundens behov. Den största kunden av kartongpapper är Tetra Pak och av kartongpappret görs vätskekartong och liner (Stora Enso i sammandrag, 2005; Miljöredovisning 2004 Skoghalls Bruk, 2005).

### **3.2. TILLVERKNINGSPROCESSEN**

Då den största delen av den pappersmassa som används vid kartongtillverkningen även är producerad på Skoghalls Bruk, är det ett så kallat integrerat pappers- och massabruk. De tre olika typer av massor som används vid tillverkning kartong är CTMP (kemitermomekanisk massa), sulfatmassa (råvara: gran och tall) och inköpt kortfibermassa (råvara: eukalyptus). De trädstockar som ska användas vid massatillverkningen förs först till renseriet där de avbarkas och huggs till flis. Flisen används sedan till sulfatmassatillverkning och CTMP-tillverkning. Sulfatmassan tillverkas genom att flisen kokas i s.k. vitlut (innehåller bl.a. natriumhydroxid och natriumsulfid), vilket gör att fibrerna i flisen frigörs. CTMP tillverkas genom att flisen behandlas med natriumbisulfid som sedan mals ned i stora kvarnar (Miljöredovisning 2004 Skoghalls Bruk, 2005).

En del av den färdiga CTMP respektive sulfatmassan leds direkt till kartongmaskinerna medan en del förs till CTMP- respektive sulfatblekeriet. Blekning av massa sker för att få kartongpapper med bra tryckeegenskaper. Sulfatmassan bleks med hjälp av syrgas, klordioxid och väteperoxid medan CTMP enbart bleks med väteperoxid. För de båda blekningsprocesserna krävs tillsättning av EDTA (Etylendiamintetraättiksyra) för att skydda blekkemikalierna mot sönderfall (Miljöredovisning 2004 Skoghalls Bruk, 2005). Figur 1 visar en principskiss över tillverkningsprocessen på Skoghalls Bruk.



**Figur 1.** Skiss över tillverkningsprocessen på Skoghalls Bruk.

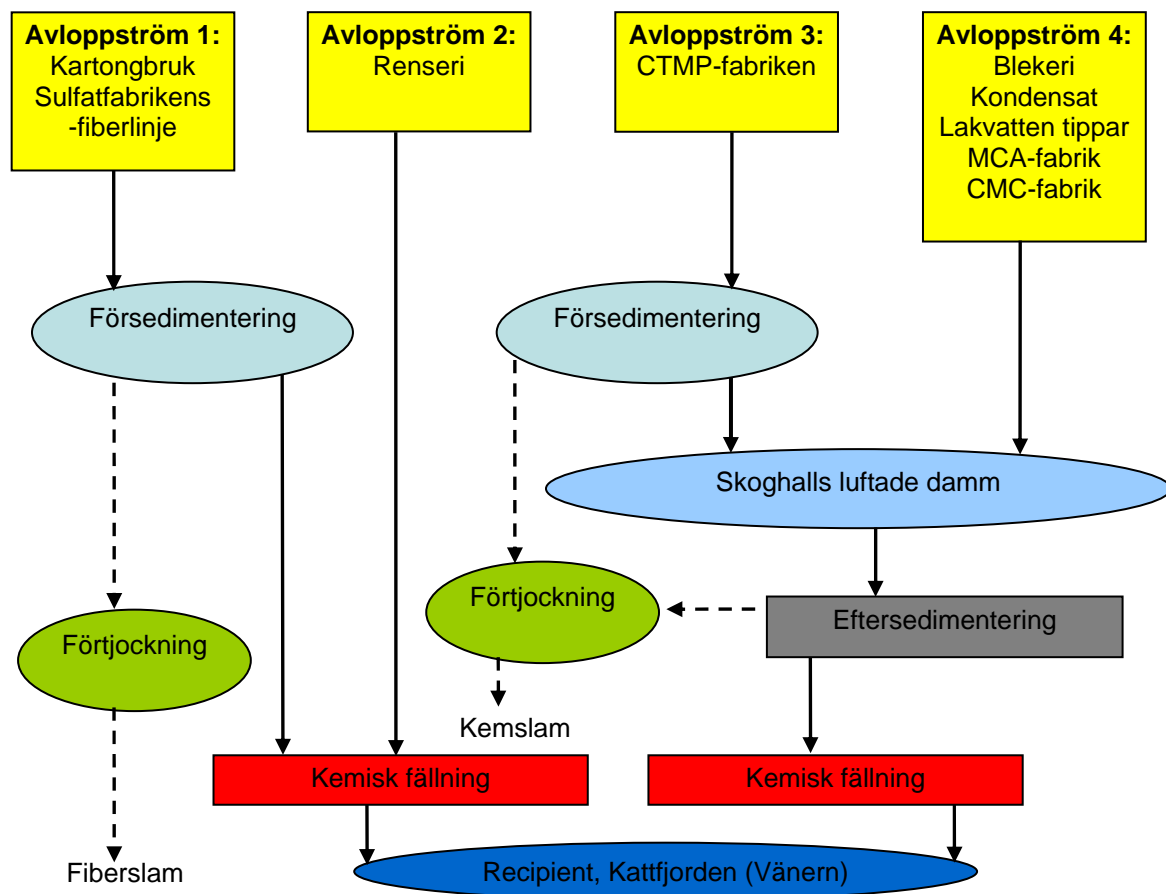
### 3.3. EXTERN RENINGEN PÅ SKOGHALLS BRUK

Rening av avloppsvatten delas ofta in i primär-, sekundär- och tertiär-rening. Denna indelning kan även göras för vattenreningsanläggningen på Skoghalls Bruk (Fig. 2). Primär-reningen av avloppsvattnet sker genom försedimentering, sekundär-reningen sker i den luftade dammen och tertiär-reningen sker genom kemisk fällning (Extern rening Skoghalls Bruk, 2005; pers. komm. Ann-Kristin Magnusson).

**Avloppsström 1** d.v.s. fiberförande avloppsvatten från kartongbruken och sulfatfabrikens fiberlinje försedimenteras i en sedimenteringsbassäng och leds till två parallella bassänger för kemisk fällning. Det renade vattnet leds sedan ut till recipienten. **Avloppsström 2** (vatten från rensriet) går direkt till kemisk fällning och vidare ut till recipienten. **Avloppsström 3 och 4** leds in till den luftade dammen. Avloppsström 4 är vatten från blekeriet, kondensat från indunstningarna, lakvatten från tipparna samt avloppsvatten från två närliggande företag (Akzo Nobels MCA-fabrik och Noviants CMC-fabrik). Avloppsström 3 är vattnet ifrån CTMP-fabriken, men till skillnad från avloppsström 4 så försedimenteras detta avloppsvatten i en sedimenteringsbassäng. Slammet från sedimenteringsbassängen leds sedan till en förtjockare och slammet tas ut som så kallat fiberslam. Vattnet från försedimenteringen leds vidare in till den luftade dammen.

Efter att avloppsvattnet passerat och renats i den luftade dammen går det till eftersedimenteringen. Detta är 20 000 m<sup>3</sup> stor vattenbassäng där bioslammet sedimenterar. Av det sedimenterade bioslammet återförs ca 80 % till dammen som så kallat returslam. Hälften av returslammet återförs till början av dammen och resterande slam återförs till mitten av dammen. En slamåterföring sker för att bibehålla en önskvärd mängd mikroorganismer i dammen. Slamåterföring innebär även att kväve och fosfor återförs till dammen och då slam bryts ned av mikroorganismer frigörs dessa näringsämnen, som då blir biotillgängliga för bakterierna. De resterande 20 % av bioslammet från eftersedimenteringen förs till en förtjockare och slammet tas här ut som så kallat kemslam. Från eftersedimenteringen förs

vattnet till de två bassängerna för kemisk fällning vilket är det sista steget i den externa vattenreningen. Här tillsätts en polymer och aluminiumklorid, som flockar ut vissa organiska ämnen. Det reade avloppsvattnet leds sedan ut genom en 500 m lång ledning till Kattfjorden, en vik i Vänern.



**Figur 2.** Extern rening av processvatten vid Skoghalls Bruk. Heldragna pilar är vattenflöde och streckade pilar är slamflöde.

### 3.3.1. Skoghalls luftade damm

Den luftade dammen togs i drift 1989. Dammen hade då volymen 200 000 m<sup>3</sup>, men slam har med åren ackumulerats på botten av dammen, och idag beräknas dammens volym ha minskat till ca 140 000 m<sup>3</sup>. Avloppsflödet in till dammen är ca 20 000 m<sup>3</sup>/dygn, vilket ger en teoretisk omsättningstid på 7-8 dygn. Dammen upptar en areal av 42 000 m<sup>2</sup> och finns på Skoghalls Bruks fabriksområde.

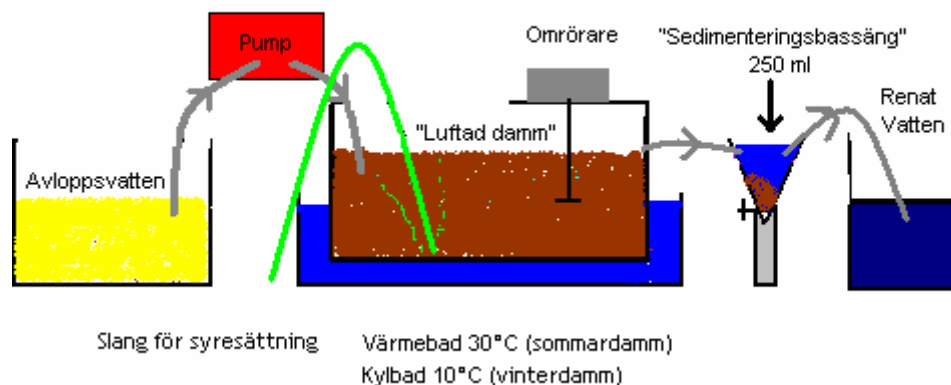
Ingående avloppsvattnet har pH 5-6 och ibland tillsätts NaOH för att höja pH i dammen. Detta görs då det visats att ett högre pH (ca 8) har en positiv effekt på reningen (pers. komm. Magnusson, Ann-Kristin). I början av dammen finns en anox (syrefri) zon som har till uppgift att rena avloppsvattnet från klorater, medan den luftade delen har till främsta syfte att reducera halten organiskt material i avloppsvattnet. För att syresätta vattnet luftas dammen med 33 ytluftare som finns placerade på dammens yta. Ytluftarna suger upp vattnet och slungar upp det i luften, vilket innebär att vattnet syresätts. Det finns även fyra omrörare, som tillsammans med ytluftarna förhindrar en alltför hög sedimentering av biomassa i dammen.

## 4. MATERIAL OCH METODER

### 4.1. FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING VID LABORATORIEFÖRSÖK

För att uppnå syftet med examensarbetet valdes att bygga två försöksdammar på vardera ca 20 l (Fig. 3). Den ena försöksdammen, kallad somnardammen, placerades i ett vattenbad, som värmdes till ca 30°C. Vinterdammen skapades genom att kyla ett vattenbad till ca 10°C. Dessa temperaturer motsvarade vattentemperaturen i Skoghalls luftade damm under en varm sommar respektive en kall vinter. Försöksdammarna konstruerades enligt skissen i figur 3 för att efterlikna Skoghalls luftade damm och förhållandena i denna så långt som möjligt. Detta för att slutsatserna från laborationsförsöken skulle kunna överföras till den verkliga dammen.

Det ingående avloppsvattnet hämtades från inloppet till Skoghalls luftade damm och hälldes i en 12 l hink (Avloppsvatten, Fig. 3). Avloppsvattnet pumpades från hinken till de parallella dammarna med ett kontinuerligt flöde av ca 2 ml/min. Detta flöde gav den önskade teoretiska omsättningstiden på ca 8 dygn, vilket är densamma som för Skoghalls luftade damm. För att lufta försöksdammarna användes i vardera dammen två slangar ur vilka det strömmade luft. Slangarna hölls kvar på botten av dammarna med hjälp av tyngder. Omrörare installerades för att hålla slammet i suspension och omrörarnas propellerblad var till hälften nedsänkta i försöksdammarna. Slammet sedimenterade i en separertratt (250 ml) för att avskilja det renade vattnet. Ca 80 % av bioslammet återfördes manuellt till laborationsdammarna. Slamåterföringen gjordes varannan dag genom att separertrattarna tömdes på 100 ml av dess innehåll, vilket hälldes i en bägare. Efter omrörning av vattnet i bägaren återfördes 80 ml till respektive laborationsdamm. När vattnet passerat separertratten hamnade det slutligen i en uppsamlingshink (Renat vatten, Fig. 3). Det fanns en hink för somnardammens och en hink för vinterdammens renade vatten.



**Figur 3.** Principskiss för försöksuppställning av de två laborationsdammarna.



**Figur 4.** Laborationsuppställning med sommardammen (t.v.) och vinterdammen (t.h.). På stativ ovanför respektive damm kan omrörarna ses. Ingående vatten pumpades från hinken som ses placerad emellan dammarna. Utgående vatten från vardera dammen samlades upp i sommar- respektive vinterdammens uppsamlingshink, vilka kan ses placerade på golvet i nedre vänstra hörnet. Röd hink = sommardammens vatten, blå hink = vinterdammens vatten.

## 4.2. NÄRSALTSFÖRSÖK

Då laborationsuppställningen monterats testades anläggningen med vanligt vatten som cirkulerade i systemet. Sedan hämtades ca 40 l avloppsvatten från Skoghalls luftade damm som fördelades lika mellan de båda laborationsdammarna. Detta gjordes för att få samma typer av mikroorganismer i laborationsdammarna som fanns i Skoghalls luftade damm. Det hämtades även ca 10 l avloppsvatten från inloppet till Skoghalls luftade damm, vilket sattes till avloppsvattenhinken i försöksanläggningen. En testperiod där avloppsvattnet pumpades genom systemet gjordes fram till att försöksperioden började för att låta processen stabilisera sig.

### 4.2.1. Försöksperioden

Försöket, som kan delas in i 5 olika perioder, startade 4 oktober 2005 och pågick till 20 december. I den första perioden pumpades avloppsvattnet genom systemet utan att några närsaltsdoseringar gjordes. Denna period kallades referensförsöket (Ref.) och pågick från 4 oktober till 15 oktober. Det var främst med denna period de efterföljande närsaltsdoseringarna sedan jämfördes. Efter referensförsöket följde fyra perioder med närsaltsdoseringar. Den första närsaltsdoseringen (15-18 oktober) misslyckades och avbröts redan efter tre dagar. Därefter följde en period utan närsaltsdosering (19 oktober - 1 november) för att processen



skulle återhämta sig. Den 2 november startades det första närsaltsförsöket (N1) och sedan följde två ytterligare närsaltsdoseringar (N2, N3), vilka redovisas i tabell 1.

Tabell 1. Närsaltstillsatser till laborationsdammarna

Period	Tidsperiod	Antal dagar	Kväve/damm [mg/l]	Fosfor/damm [mg/l]	COD:N:P-kvot
N1	2 nov-25 nov	22	6,7	1,7	100:0,3:0,07
N2	25 nov-8 dec	13	5,4	0,8	100:0,3:0,04
N3	8 dec-20 dec	12	2,7	0	100:0,135:0

#### 4.2.2. Ingående avloppsvatten

Under försöksperioden hämtades avloppsvatten från inloppet till Skoghalls luftade damm vid sex tillfällen. Uppsamling av avloppsvattnet skedde i 10 l dunkar som förvarades i kylskåp (2°C) innan det användes i försöken. Vid varje tillfälle hämtades vatten för ca 1-2 veckors försök. Vid ett tillfälle under försöksperioden hämtades vatten för ca tre veckors försök p.g.a. ett planerat stopp i fabriken.

#### 4.2.3. Provtagning och vattenanalyser under försöksperioden

Under referensförsöket och de efterföljande närsaltsdoseringarna utfördes kontinuerligt analyser av det till laborationsdammarna ingående och utgående vattnet. Alla analyser utfördes på Skoghalls Bruks ackrediterade laboratorium. Undantaget var de BOD-analyser som utfördes av Gruvöns bruk. Analyser utfördes på det ingående avloppsvattnet samt det utgående vattnet från vinter- och sommardammen. Dessutom utfördes analyser av SÄ och SV på vatten från vinter- och sommardammens topp.

Provtagning av det ingående avloppsvattnet gjordes under referensförsöket direkt ur avloppsvattenhinken, men vid de efterföljande närsaltsdoseringarna togs vattenprov för analys ur de plastdunkar vilka avloppsvattnet förvarades i kylan. Ändringen av provtagningsrutin gjordes p.g.a. att ingen kontinuerlig omrörning skedde i hinken, vilket medförde att halterna av sedimentterande ämnen i vattenprovet ibland var högre än vad som ansågs ge ett representativt prov. På det ingående vattnet utfördes analyser av COD, totalkväve och totalfosfor 2-3 ggr/vecka, medan SÄ-halter bestämdes en gång per vecka.

Provtagning av utgående vatten från dammarna skedde i klarfasen i respektive uppsamlingshink för renat vatten. Vid varje provtagningstillfälle togs 100 ml vatten ut från respektive laborationsdamm. Av utgående vatten utfördes analyser av COD, totalkväve, totalfosfor samt SÄ-halter. Provtagning för utgående och ingående vatten skedde samtidigt vilket innebar att analysfrekvensen var densamma för utgående som för ingående vatten.

För att kontrollera att försöksdammarna fungerade väl mättes kontinuerligt temperatur, syrehalt och vattenflöde in till dem (Bilaga 5). Syrehalten mättes med en syrehaltsmätare, som även angav temperatur. Mätaren kalibrerades enligt bruksanvisning före varje mätning. Pumpflödet kontrollerades visuellt med jämna mellanrum. Om flödet verkade onormalt gjordes kontrollmätning av flödet genom att under en minut samla upp vatten i en bägare. Vattnets vikt bestämdes genom vägning på analysvåg och flödet/minut erhöles. Om pumpflödet inte var kring det önskade rengjordes syreslangarna eller så byttes de ut. Flödet kontrollerades att det åter var ca 2 ml/min.



#### 4.2.4. Doseringskemikalier

I försöken användes två skilda kemikalier av kväve och fosfor för att kunna ändra N:P kvoten. Detta medförde att inte samma typ närsaltskemikalie som tidigare doserats till Skoghalls luftade damm med N:P kvoten 5 användes (Nutriol<sup>®</sup> NP 5, YARA Industrial AB).

För dosering av kväve under laborationsförsöken användes Nutriol<sup>®</sup> N som innehöll 30 % (w/v) totalkväve i tre olika kemiska former (7,5 % ammonium-N, 15 % urea-N, 7,5 % nitrat-N (w/v)). Av detta uppskattades att 22,5 % (w/v) var tillgängligt för tillväxt (pers. komm. Mattson, Håkan). Fosfor doserades som fosforsyra (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) med 23,7 % (w/v) PO<sub>4</sub>-P vilket är det biotillgängliga fosforet. Spädningar med vatten gjordes av kväve- och fosforkemikalierna för att kunna dosera rätta mängder. De spädda lösningarna förvarades i 20°C innan användning.

#### 4.2.5. Val av doseringskvoter

För att bestämma den första mängd närsaltstillsatser som skulle doseras till de två försöksdammarna studerades de rekommendationer som YARA Industrial AB angivit (Tab.2, YARA Industrial BioNäring).

Tabell 2. YARA Industrial AB:s rekommendationer för närsaltsdosering

Typ av reningsanläggning	COD <sub>in</sub> :N:P	N:P
Aktiv slam/biobädd	100:4,0:0,5	8
Luftad damm	100:0,8:0,2	4
Anaerobiskt biosteg	100:1,2:0,2	6
Fluidiserande biobädd	100:3,8:0,6	6,33

Under försöksperioden utfördes tre olika närsaltsdoseringar (Tab.1) som valdes att utvärderas. Varje försöksdosering pågick i minst 9 dagar. Dosering skedde i inkommande avloppsvatten och doseringen blev då densamma till de båda dammarna. Efter varje period av närsaltsdosering analyserades och utvärderades resultaten av försöken och utifrån detta valdes nästa doseringskvot (se vidare stycke 6.1.1. i diskussionen).

### 4.3. ANALYSMETODER

#### 4.3.1. Organiskt material – COD- och BOD-analys

I försöken analyserades COD som ett mått på det organiska kolet i avloppsvattnet. Principen för COD-analys är att ett starkt oxidationsmedel sätts till en given mängd avloppsvatten. Mängden förbrukat oxidationsmedel bestäms för att sedan omräknas till förbrukat mängd syre. I laborationsförsöken mättes COD med Dr Lange's spektrofotometriska metod LCK 114/814.

Anledningen till att COD, och inte TOC analyserades i försöken var att TOC-apparaten var upptagen för brukets egna analyser. För att kunna jämföra med den riktiga dammen har det därför krävts att göra omräkningar från TOC (brukets mätdata) till COD. Då det är olika omräkningsfaktorer från COD till TOC beroende på vilket vatten det är som studeras, måste nya omräkningsfaktorer tas fram för varje nytt slags vatten som studeras. Det har tidigare tagits fram olika omräkningsfaktorer för avloppsvattnet till Skoghalls luftade damm. Denna omräkningsfaktor är 2,7 och har använts i detta arbete (Svenska kommunförbundet, 1996; Henze, 2002; Analysbeskrivning - Bestämning av Kemisk syreförbrukning COD-Cr hos vatten, 2003-11-27).

Prover för BOD<sub>7</sub>-analys sändes till Gruvöns bruk. Vid analys av BOD blandas avloppsvatten med syrerikt vatten, vilket därefter får stå i mörker i ett värmebad som håller 20°C. Efter sju dygn mäts mikroorganismernas syreförbrukning med avseende på löst syre, vilket orsakas av den biokemiska oxidationen av organiskt material (Henze, 2002).

#### 4.3.2. Kväve- och fosforanalys

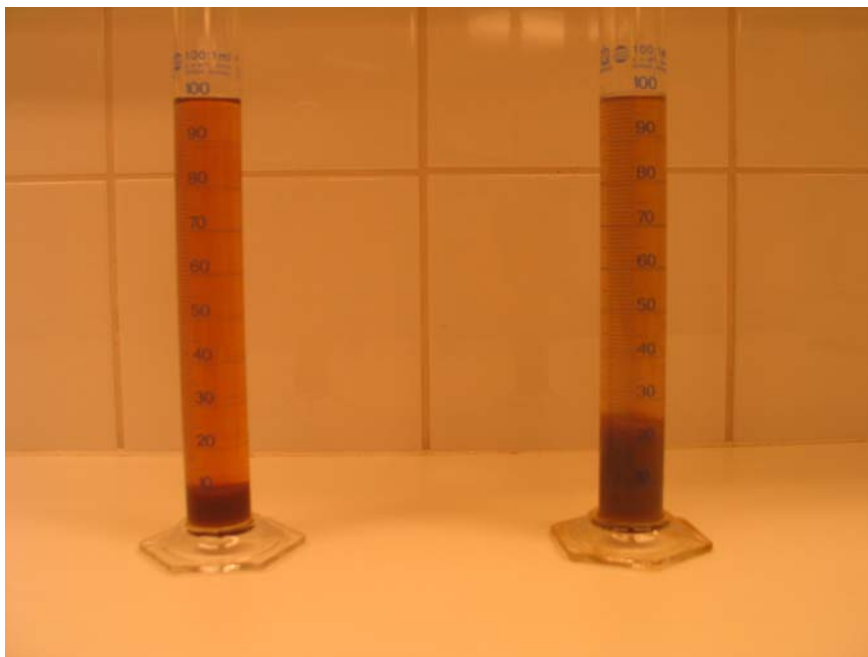
Totala kväve- och fosforhalter analyserades i filtrerat (0,45µm GF/A-filter ) och ofiltrerat prov. Den totala fosforhalten (Tot-P) analyserades med Dr Lange's spektrofotometriska metod LCK 349, som bygger på att fosfatjoner tillsammans med molybdat- och antimonjoner i en sur lösning bildar ett antimonylfosfor-molybdat-komplex som reduceras till fosformolybdenblått med askorbinsyra (Analysbeskrivning-Bestämning av TOT-P, 2003-12-03).

För totalkväve (Tot-N) användes mätmetod SS-EN 12260:2004, vilken innebär att provet genomgår en katalytisk oxidation i ugn (minst 700°C) till NO som analyseras med en chemilumininesens detektor.

#### 4.3.3. Slamanalyser – SÄ/SV/SVI

Halten suspenderande ämnen (SÄ), är ett mått på det partikulära materialet. SÄ-halten uppmättes genom att mäta upp en viss mängd analysvatten i mätcylinder och sedan filtrera analysvattnet genom ett 0,45µm GF/A-filter. Efter 2 timmar i ugn (105°C) bestämdes torrsubstansen.

Slamvolym (SV) är ett mått på slammets totala volym efter sedimentering. SV bestämdes genom att 100 ml analysvatten hälldes upp i en mätcylinder och partiklarna i vattnet läts sedimentera i 30 minuter. Därefter avlästes volymen av det sedimenterade slamm (Fig. 5). Den standardiserade metoden för att mäta slamvolym är att låta 1000 ml vatten sedimentera i 30 minuter, men denna vattenvolym var för stor för att användas i försöken. Slamvolym uttrycks i ml slam/l.



**Figur 5.** SV-analys för sommardamm (t.v.) och vinterdamm (t.h.).

Ett mått på hur väl slammet sedimenterar fås vid beräkning av slamvolymindex (SVI) vilket beräknades genom ekvation 2. För att kunna bestämma SVI krävs att analys av SV och SÄ från samma prov- och tidpunkt har genomförts (Analysbeskrivning - Bestämning av suspenderad substans i avloppsvatten, 2003-01-16).

$$SVI = 1000 \cdot \frac{SV}{S\ddot{A}} \quad (2)$$

## 5. RESULTAT

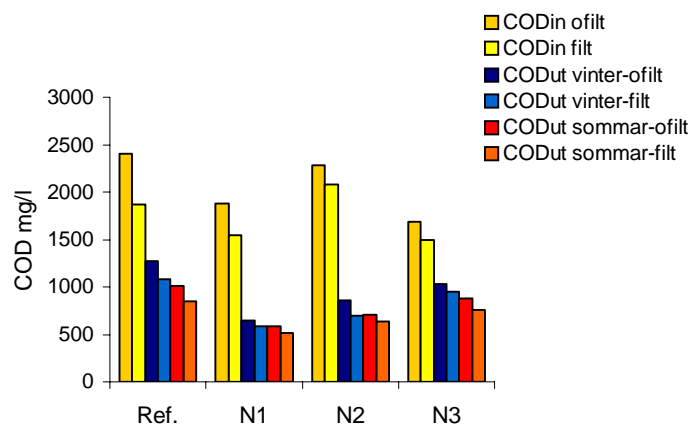
### 5.1. DAMMFÖRSÖK

De fyra provtagningsperioder som utvärderades var den inledande referensperioden samt de tre närsaltsperioderna N1, N2 och N3. Den första perioden med närsaltstillsatser (före N1) som gjordes studerades inte vidare p.g.a. att denna dosering avbröts efter 3 dagar. Det upptäcktes, strax efter att doseringen gjorts, att det inte bildades något slam i vresig sommar- eller vinterdammens separertratt. Vattnet från de båda dammarna studerades då i mikroskop och det gick inte att se några tecken på mikrobiologiskt liv, vilket tidigare gjorts under referensförsöket.

#### 5.1.1. COD

För att beräkna COD-halterna för referens- och närsaltsdoseringsperioderna användes medelvärden för respektive period. Medelvärden bildades av de prover som tagits 7 dagar efter periodens start till den sista dagen i perioden. Detta baserades på ett antagande att det var tidigast efter ca 7 dagar som effekter av dosering kunde påvisas.

COD-halten hos ingående avloppsvatten var som högst under referensperioden och N2 medan halterna var lägre under N1 och N3 (Fig. 6). Hos vinterdammen var den utgående COD-halten som högst under referensperioden. Halterna halverades under N1 då den lägsta COD-halten för vinterdammen noterades. Den utgående COD-halten steg sedan under N2 och ytterligare något under N3. Även för somnardammen var utgående COD-halt som högst under referensperioden och som lägst under N1, för att sedan stiga något under N2. Under N3 var COD-halten för somnardammen nästan densamma som under referensförsöket. Vidare noterades att somnardammens utgående COD-halter under samtliga försöksperioder var lägre än vinterdammens.



**Figur 6.** COD-halter i ofiltrerat och filtrerat prov för referensperioden samt under närsaltsförsök 1, 2 och 3 i sommar- och vinterdammen.

Differenserna mellan sommar- och vinterdammens COD-halter för respektive period ger ett mått på hur COD-reduktionen hos vinterdammen förändrades i förhållande till somnardammen (Tab.3). COD-differensen mellan de båda försöksdammarna var som högst under referensperioden, för att sjunka betydligt (med ca 70 %) under N1 och N2. Differensen ökade under N3 till en nästan lika hög nivå som under referensperioden.

De båda dammarnas COD-reduktion för de fyra jämförande perioderna har beräknats för filtrerat och ofiltrerat prov vilket redovisas i tabell 3. COD-reduktionen gavs av ekvation 3.

$$\frac{COD_{in} - COD_{ut}}{COD_{in}} \quad (3)$$

Tabell 3. COD-reduktion för ofiltrerat och filtrerat prov

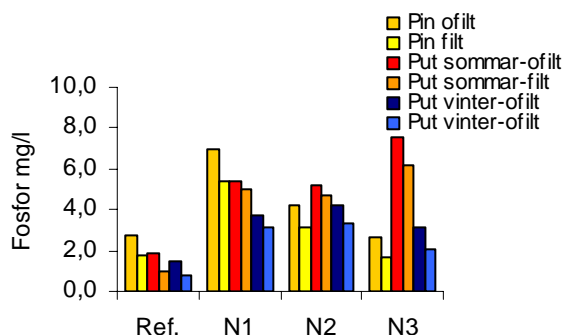
Period	COD-reduktion Ofiltrerat		COD-reduktion Filtrerat		COD-diff [mg/l]
	Vinterdamm [%]	Sommardamm [%]	Vinterdamm [%]	Sommardamm [%]	
Ref.	47	58	42	55	230
N1	66	69	62	66	70
N2	62	69	67	69	60
N3	39	51	37	49	190

### 5.1.2. Fosfor- och kvävehalter

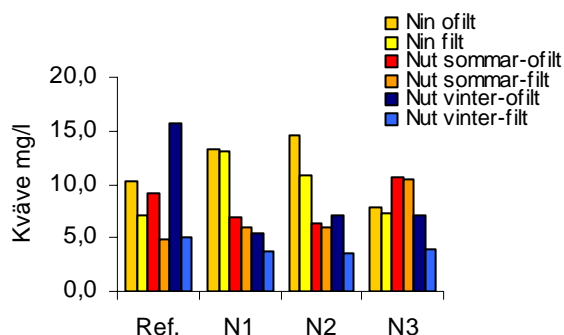
Ingående fosforhalter var högre under N1 och N2, då det gjordes fosfordoseringar, än under referensperioden då fosfor inte tillsattes (Fig. 7a). Även utgående fosforhalter var högre, hos både sommar- och vinterdammen, under N1 och N2 än under referensperioden och N3.

Under referensperioden låg vinterdammens utgående fosforhalter på samma nivå som fosforhalterna från sommardammen. Jämfört med referensförsöket ökade vinterdammens utgående fosforhalter till det dubbla under N1 och N2 för att sjunka något under N3. Sommardammens utgående fosforhalter var generellt högre än vinterdammens under de tre närsaltsdoseringarna. Likt vinterdammens utgående fosforhalter var sommardammens utgående halter under N1 och N2 ungefär lika. Differens mellan de utgående, filtrerade och ofiltrerade proverna var ca 1 mg/l för vinterdammen och 0,5 mg/l för sommardammen.

Ingående kvävehalter ökade under N1 och N2 jämfört med referensperioden för att under den avslutande N3-perioden vara som lägst. För vinterdammen var de utgående ofiltrerade kvävehalterna under referensperioden (Nut vinter, blåa staplar) ungefär dubbelt så höga som sommardammens. Under samma period var de filtrerade proverna ungefär lika höga i de båda dammarna. Resultaten av de efterföljande närsaltsdoseringarna visade att sommardammens utgående kvävehalter (figur 7b, Nut sommar, röda staplar) var högre än vinterdammens.



Figur 7a.



Figur 7b.

Figur 7a) Fosforhalter och b) kvävehalter i ofiltrerat och filtrerat prov under referensperioden samt under närsaltstillsats 1, 2 och 3 i sommar- och vinterdammen.

### 5.1.3. Suspenderande ämnen (SÄ)

Under N1 och N2 minskade utgående SÄ-halt hos både sommar- och vinterdammen jämfört med referensperioden (Tab.4) medan det skedde en ökning av utgående SÄ-halt under N3. Vidare noterades vid ett flertal tillfällen att vinterdammens slam luktade svavelväte (lukt liknande ruttna ägg). Lukten försvann periodvis under N1, men under hela N2 och N3 luktade vinterslammet dåligt. Sulfidlukten noterades aldrig hos sommardammens slam.

För att kunna jämföra mätresultaten från laborationsförsöken med Skoghalls luftade damm beräknades medelvärden för de SÄ-halter som mättes i Skoghalls sedimenteringsbassäng. Vid beräkningen av dessa medelvärden användes data från en vinterperiod (jan-mars 2005) och en sommarperiod (juni-aug 2005). Under vinterperioden, då en närsaltsdosering gjordes, var SÄ-halten  $160 \pm 140$  mg/l (n=63) och under sommarperioden var SÄ-halten  $110 \pm 80$  mg/l (n=67).

Tabell 4. SÄ-halter, ingående respektive utgående vatten för laborationsdammarna

Datum	Period	SÄ	SÄ	SÄ
		Ingående vatten [mg/l]	Sommardamm [mg/l]	Vinterdamm [mg/l]
08-okt	Ref.	50	56	107
11-nov	N1	82	14	31
28-nov	N2	65	7	17
08-dec	N2	90	25	42
15-dec	N3	67	22	76

Tabell 5. SÄ, SV och SVI från vinter-/sommardammens topp

Datum	Period	SÄ	SV	SVI	SÄ	SV	SVI
		Sommardamm [mg/l]	Sommardamm [ml]	Sommardamm [ml/g]	Vinterdamm [mg/l]	Vinterdamm [ml]	Vinterdamm [ml/g]
08-okt	Ref.	780	12	154	833	23	276
13-okt	Ref.	733	9	123	1043	18	173
11-nov	N1	320	3	94	582	11	189
15-nov	N1	422	5	118	642	9	140
28-nov	N2	373	3	80	420	5	119
08-dec	N2	284	3	106	468	7	150
15-dec	N3	527	4	76	794	10	126

### 5.1.4. BOD-analys

Vid två tillfällen under laborationsförsöken gjordes stickprov på avloppsvattnets ingående och utgående BOD-halter (Tab.6). Under referensförsöket var BOD något högre i ingående vatten än det var under N2-perioden. Vinterdammens BOD-reduktion var under referensförsöket något sämre än hos sommardammen (83 % jämfört med 93 %). Under N2-perioden var BOD-reduktionen näst intill densamma hos de båda dammarna (ca 96 %).

Tabell 6. BOD-halter ingående och utgående vatten för referensförsöket och närsaltstillsats 2

Datum	Period	Ingående vatten	Sommardamm	Vinterdamm
		BOD [mg O <sub>2</sub> /l]	BOD [mg O <sub>2</sub> /l]	BOD [mg O <sub>2</sub> /l]
18-okt	Ref.	847	62	148
24-nov	N2	592	22	20

## 6. DISKUSSION

### 6.1. RESULTAT – NÄRSALTSFÖRSÖK

Vid utvärdering av laborationsförsöken valdes att arbeta med medelvärden för COD-, kväve- och fosforhalter för respektive närsaltsperiod. Medelvärdena beräknades för slutet av respektive period eftersom det var först då som resultatet av doseringen kunde ses. Försök att plotta kontinuerliga grafer och göra tidsförskjutningar med den teoretiska omsättningstiden gjordes, men det var svårt avgöra hur detta skulle göras. Det berodde troligen på att den teoretiska omsättningstiden var just teoretisk och att omrörning var så effektiv i laborationsdammarna att det inte gick att följa vattnets flöde genom dammarna. Det beslutades därför att arbeta med medelvärden istället för att nå mer tillförlitliga slutsatser. För laborationsförsökens SÄ-halter, slamvolym och BOD-halter beräknades inga medelvärden då antalet analyser för respektive period var för få.

#### 6.1.1. Val av COD:N:P-kvoter vid doseringsförsök

Den första närsaltsdoseringen gjordes enligt den COD:N:P-kvot som YARA rekommenderade till luftade dammar (Tab.2). Detta första försök misslyckades dock, vilket kan ha orsakats av en överdosering, men mer troligt var att avloppsvattnet in till laborationsdammarna under perioden innehöll något för mikroorganismerna toxiskt ämne. Orsaken till att försöket misslyckades utreddes inte och försöket uteslöts ur utvärderingen.

Vid nästa närsaltsdosering (N1) användes en lägre doseringskvot än YARAs rekommendation, för att säkerställa att doseringen inte blev för hög. Doseringsmängden bestämdes till  $\frac{1}{3}$  av den COD:N:P-kvot YARA rekommenderade. Före nästa dosering (N2) gjordes en utvärdering av N1 och det konstaterades att allt det tillförda kvävet till vinterdammen hade förbrukats, medan en överdosering av fosfor hade skett. Därför sänktes fosforhalten, medan kvävehalten hölls konstant vid närsaltsdosering N2. Utvärdering av N2 visade att det mesta av det tillförda kvävet förbrukats, medan fosfor inte hade gjort det. Detta resulterade i att fosfor helt exkluderades under det sista närsaltsförsöket (N3). Eftersom COD-reduktionen varit bra under N2 försöket, och en målsättning var att finna en så låg dosering som möjligt, sänktes kväveknoten med hälften (jämfört med N2) under N3. I tabell 1 redovisas de doseringskvoter samt de mängder av kväve och fosfor som tillsattes under försöket.

#### 6.1.2. Närsaltsdoseringarnas effekt på COD-reduktionen

Under referensförsöket var COD-reduktionen hos vinterdammen 45 % medan den hos sommardammen var 62 % (ofiltrerade prov). Sommardammens betydligt högre COD-reduktion var väntad då den högre vattentemperaturen hos sommardammen medför en högre biologisk tillväxt än vad som sker vid lägre vattentemperaturer (Alexandersson, 2003). Skillnaden mellan sommar- och vinterdammens COD-reduktion under referensförsöket stämmer även väl överens med den skillnad av TOC-reduktion som råder mellan sommar- och vintertid i Skoghalls luftade damm. TOC-reduktion hos den luftade dammen har tidigare år varit ca 40 % vintertid och ca 70 % sommartid.

Under de två första närsaltsperioderna, N1 och N2, noterades en ökning av COD-reduktionen hos båda försöksdammarna jämfört med referensförsöket. Störst var ökningen hos vinterdammen där COD-reduktionen steg till 66 % under N1 respektive 62 % under N2. Även sommardammens COD-reduktion steg, jämfört med referensförsöket, under N1 och N2. Under dessa perioder var COD-reduktionen 69 %. Sommardammens ökning av

reduktionsgrad var dock liten jämfört med vinterdammens ökning. Detta visar att närsaltsdoseringarna haft störst påverkan på vinterdammen. Det kanske mest intressanta resultatet var att det under N1 och N2 uppnåddes en näst intill lika hög COD-reduktion hos vinterdammen som hos sommardammen. Detta resultat visar på att det, trots den låga vattentemperaturen hos vinterdammen, var möjligt att åstadkomma en bra COD-reduktion även i denna.

Under N3-perioden sjönk COD-reduktionen hos båda dammarna. Detta kan ha varit en följd av att det under perioden inte skedde någon fosfordosering och att det därmed blev brist på biotillgängligt fosfor. Den minskade COD-reduktionen kan även vara ett resultat av att det ingående vattnet under perioden var mer svårnedbrytbart. Den sistnämnda förklaringen är kanske mer trolig då COD-reduktionen hos båda dammarna under N3-försöket var lägre än under referensförsöket.

### 6.1.3. Utgående kväve-/fosforhalter

Under N1 och N2 var vinterdammens utgående filtrerade kvävehalter på samma nivå (ca 4 mg/l) som under referensperioden. Detta trots att det under N1 och N2 skedde dosering av kväve. Att utgående kvävehalter ändå inte ökade tyder på att det tillförda kvävet till vinterdammen användes av mikroorganismerna och att kvävetillsatsen bidrog till den ökande COD-reduktionen. Jämfört med vinterdammen var sommardammens utgående kvävehalter under N1 och N2 högre än under referensförsöket (ca 6 mg/l). Mikroorganismerna i sommardammen tycks alltså inte använt det tillförda kvävet i samma utsträckning som vinterdammens mikroorganismer gjorde. Slutsatsen av detta resultat blir att den kvävedosering som skedde under N1 och N2 lede till en överdosering av kväve i sommardammen, men inte i vinterdammen.

Liksom för kvävet var de utgående, filtrerade fosforhalterna lika för både sommar- och vinterdammen (ca 1 mg/l) under referensförsöket. I motsats till kvävet visade fosformätningarna på att fosfor överdoserades under försöken. Resonemanget kommer av att det under de perioder då fosfor doserades (N1 och N2) skedde en ökning av utgående fosforhalter från de båda dammarna. Detta kan innebära att mikroorganismerna inte behöver något tillskott av fosfor, men då sommardammens utgående fosforhalter var högre än vinterdammens under samtliga närsaltsförsök indikerar detta på att mikroorganismerna i vinterdammen behöver mer fosfor än vad sommardammens mikroorganismer gör. Det är därför troligt att anta att en dosering av en viss mängd fosfor bidrar till att höja TOC-reduktionen i Skoghalls luftade damm vintertid.

De från sommardammen utgående kväve- och fosforhalterna var under N3-perioden högre än de ingående halterna. Den ökade utgående fosforhalten kan ha berott på att det uppstod syrebrist på botten och att fosfat bundet till järnhydroxid i sedimenten då frigjordes. Då det sannolikt även fanns sulfid i vattnet bands de frigjorda  $Fe_2^+$ -jonerna upp i svårslöslig FeS, vilket innebar att en återfällning av fosfor till sedimenten inte skedde. Vidare kan syrebristen på botten förklaras av att det skett hög nedbrytning av organiskt material, vilket är en syreförbrukande process. Detta kan ha orsakat att kväve och fosfor frigjordes från sedimenten vilket då även förklarar den, i utgående vatten, höga kvävehalten (Warfvinge, 1997).

### 6.1.4. Slamegenskaper

Att det råder en årstidsvariation i sedimenteringsegenskaperna hos det slam som bildas i Skoghalls luftade damm visar de medelvärden som beräknades från SÄ-halterna i sedimenteringsbassängen. Vinterperiodens SÄ-halter var ungefär 50 % högre än



sommarperiodens, vilket innebär att slammets sedimenteringsegenskaper generellt sett är sämre vintertid. Även i laborationsförsöken var sedimenteringsegenskaperna hos vinterdammens slam sämre än hos slammets från sommardammen. Tabell 5 visar att sommardammens SÄ-halter för utgående vatten under samtliga försöksperioder var lägre än vinterdammens utgående SÄ-halter. Dessutom var sommardammens slamvolymindex (SVI, Tab.5) lägre än vinterdammens under hela försöksperioden. Ett lägre SVI i sommardammen indikerar att dess slam var mer lättsedimenterat än vad vinterdammens slam var (Svenska kommunförbundet, 1996).

Vinter- och sommardammens SÄ-halter för både utgående vatten och för vatten från dammarnas topp (Tab.6), var lägre efter det att närsaltsdoseringar gjorts. Detta kan ha inneburit att det rådde en närsaltsbrist i dammarna och att tillskott av närsalter medförde förbättrade sedimentationsegenskaper. Närsaltsbrist kan innebära att slammets försämrade sedimenteringsegenskaper genom tillväxt av filament eller överproduktion av extracellulära polysackarider, vilket ger slammets lägre densitet (Björkman, 2004; Ellis m fl, 2003). Då den största effekten av förbättrade slamegenskaper kunde ses hos vinterdammen är det framförallt hos denna som en närsaltsbrist kan ses som trolig. För att säkert kunna dra slutsatser om närsaltdoseringens effekt på sedimenteringsegenskaperna hade det dock behövts fler mätdata av SÄ-halter. Jämfört med sedimenteringsbassängen efter Skoghalls luftade damm var SÄ-halterna ut ur försöksdammarna mycket lägre. Orsaken var att det i dammförsöken rådde en mycket bra sedimentation hos såväl sommar- som vinterdammen och differensen mellan filtrerade och ofiltrerade prover var inte så stor. Den bättre sedimentationen i dammförsöken jämfört med Skoghalls sedimenteringsbassäng, kan bero på att den sedimentationshink som användes i laborationsförsöken medförde bättre möjligheter för slammets att sedimentera än vad som råder i Skoghalls sedimenteringsbassäng. Det är därför svårt att avgöra hur närsaltdoseringar kommer att påverka slammets egenskaper i den riktiga dammen.

#### **6.1.5. Varför behövs tillsats av kväve och fosfor endast vintertid?**

En slutsats av laborationsförsöken var att närsaltdoseringar till sommardammen inte bidrog till ökad COD-reduktion, medan doseringar till vinterdammen gjorde det. Denna slutsats innebär att det sommartid är biotillgängligt kol som är tillväxtbegränsande, medan det vintertid är kväve och/eller fosfor som är begränsande för tillväxten hos mikroorganismerna. Orsaken kan vara att nedbrytning av slam är större vid högre temperaturer. Detta innebär att det sommartid frigörs mer fosfor och kväve från slammets än vad det gör vintertid. De frigjorda kväve- och fosforföreningarna kan mikroorganismerna ta upp och använda vid uppbyggandet av ny biomassa. Den lägre frigörelsen av kväve/fosfor vintertid innebär att det blir en brist på närsalter för mikroorganismerna och att en tillsats av närsalter därmed leder till ökad bioproduktion.

En viss mängd närsalter behövs för att optimera den biologiska reningen inom skogsindustrin och kväve är det viktigaste ämnet att tillföra biosteget för att uppnå en ökad COD-reduktion (Thyberg, 2004; Björkman, 2004). Kvävet bidrog till ökningen av COD-reduktionen även i denna studie, men fosfor kunde också vara av betydelse i viss mängd. När det gäller fosfor är det svårare att generalisera. Thyberg (2004) menar att fosfor kan behöva doseras i en mindre mängd medan Björkman (2004) anser att det inte finns några incitament till att det skulle råda någon fosforbrist. Att det finns skillnader i behov av närsaltstillägg mellan olika reningsanläggningar kan bero på olika typer av inkommande avloppsvatten och att bruken har olika processlösningar för reningen.

## 6.2. FÖRSÖKEN RESULTAT vs SKOGHALLS LUFTADE DAMM

En överföring av resultaten från laborationsförsöken till Skoghalls luftade damm innebär att närsalter till Skoghalls luftade damm vintertid leder till ökad TOC-reduktion, medan tillsatser sommartid inte gör det. Detta innebär att närsaltsbehovet är större vintertid. I likhet med denna studie nämnde Springer (2000), en reningsanläggning vid ett pappersbruk med större närsaltsbehov vinter- än sommartid. Rekommendationen blir därför att vintertid dosera kväve och fosfor till Skoghalls luftade damm enligt den kvot som användes under närsaltsdosering N2 (TOC:N:P-kvot 100:0,75:0,10). Den kvävedosering som skedde under denna period anses ha varit tillräcklig för att öka bioproduktionen, samtidigt som doseringen inte innebar ökade utgående kvävehalter. Resultaten visar dock på att fosfor kan ha överdoseras, vilket kan tyda på att doseringen av fosfor var för hög.

## 6.3. VAL AV METOD

Inledningsvis i examensarbetet gjordes försök att skapa en närsaltsbalans över dammen där målet var att klargöra hur flödena av närsalter cirkulerade i dammen. Det visade sig dock vara svårt att få ett helhetsgrepp om närsaltsflödena med de data som fanns att tillgå. Det var även svårt att försöka utvärdera hur närsaltsdoseringen 2004-2005 hade påverkat reningsresultat, då doseringen varken var kontinuerlig eller efter en fastställd kvot. Det saknades även tillräckligt med data på kväve- och fosforhalter från Skoghalls luftade damm under en längre tidsperiod. Att istället använda försöksdammar, efterliknade Skoghalls luftade damm för att få en uppfattning om hur stor mängd närsalter som ska doseras var ett billigare alternativ än att göra försök direkt i Skoghalls luftade damm. Det är även lättare att enbart variera de parametrar som skall studeras. Försöken i dammarna gav indikationer på hur en viss närsaltstillsats påverkar TOC-reduktionen i den verkliga dammen. Laborationsförsöken bör dock följas upp av en utvärdering av de närsaltsdoseringar som utförs till Skoghalls luftade damm. Detta är viktigt då det är svårt att avgöra hur väl de funna resultaten från laborationsförsöken går att överföra till den luftade dammen.

Att det är svårt att avgöra hur väl resultaten från laborationsförsöken går att överföra till Skoghalls luftade damm beror framförallt på att i det är så många variabla parametrar som påverkar hur en närsaltsdosering ter sig i den verkliga dammen. Resultaten är bara giltiga för de temperaturer, syrehalter och övriga parametrar som rådde under laborationsförsöken. I verkligheten kanske dessa parametrar ser helt annorlunda ut. Dessutom gjordes endast försök med avloppsvatten från några få tillfällen och hur representativa dessa vatten är för Skoghalls luftade damm har inte undersökts. En förändring av vattnets sammansättning till följd av exempelvis ändrad produktion kan mycket väl medföra att resultatet av dammförsöken inte går att applicera på Skoghalls luftade damm.

En nackdel med försöksuppställningen var att det saknades en kontroller för sommar- respektive vinterdammen. För vidare studier med dessa dammar rekommenderas att skapa två identiska dammar för vilka förutsättningarna vad det gäller temperatur, syresättning och ingående vatten är de samma. Den ena dammen används som referensdamm och i den andra förändras variablerna en i taget genom t.ex. tillsats av kväve. Med denna metod ser man om tillsatsen i dammen ger ett positivt eller negativt resultat. En annan fördel är att problemet med att korrigera för variationen i inkommande vatten skulle försvinna.

## 7. SLUTSATSER OCH FÖRSLAG TILL FORTSATTAS STUDIER

- ✓ Resultaten av laborationsförsöken visar att tillsatser av rätt dos kväve och fosfor, vid låga temperaturer (ca 10°C), ger upphov till en högre COD-reduktion än vad som skulle uppnås utan närsaltsdosering. Resultatet innebär att rätt närsaltsdosering leder till en ökad TOC-reduktion i Skoghalls luftade damm.
- ✓ Vid högre temperaturer (ca 30°C) ledde närsaltstillsatser inte till någon märkbar förbättring av COD-reduktionen i laborationsdammarna. Detta tolkas som att det är obefogat med en närsaltsdosering sommartid då närsaltstillsatserna inte kommer leda till ökad TOC-reduktion i den luftade dammen.
- ✓ Laborationsförsöken visade att en lämplig närsaltstillsats till Skoghalls luftade damm vintertid (vid ca 10°C) är TOC:N:P-kvot 100:0,75:0,10 (d.v.s. COD:N:P-kvot 100:0,27:0,038).
- ✓ Av dammförsöken konstaterades att det var kvävet som var det tillväxtbegränsande ämnet för mikroorganismerna. Doseringen av lättillgängligt kväve antas därför bidra till att mikroorganismerna ökar sin tillväxt och att COD-reduktionen ökade i vinterdammen.
- ✓ Till skillnad från kvävet var effekten av fosfortillsatser marginell. En viss mängd biotillgänglig fosfor verkade dock vara nödvändig för att uppnå en högre TOC-reduktion vintertid. Detta bör undersökas vidare.
- ✓ Ingående studier för att undersöka hur stort behovet av närsalter är vintertid behövs. En sådan studie bör läggas upp med två parallella vinterdammar, varav den ena fungerar som referens.
- ✓ Sedimenteringsegenskaperna i vinterdammen tenderade att bli bättre till följd av en närsaltsdosering. Detta kan vara intressant att undersöka vidare, då det är av intresse att få ett så bra sedimentterande slam som möjligt för att minska utsläpp av TOC.
- ✓ En fråga som dessa försök inte har behandlat är när en närsaltsdosering ska inledas/avslutas. En teori som nämnts i diskussionen är att kväve/fosfor blir närsaltsbegränsande i dammen då temperaturen sjunker. Empiriska data från dammen från tidigare år kan kanske ge en vägledning vid vilken temperatur som TOC-reduktionen minskar i dammen.

## 8. REFERENSER

### Tryckta referenser

Ellis, R.M., Heuvel, M.v., Slade, A.H., Stuthridge, T.R., (2003), *Seventh International Water Association Symposium on Forest industry Wastewaters*, Seattle, Washington, 2003

Alexandersson, T., (2003), I konferensrapport: *Water reuse in paper mills: measurements and control problems in biological treatment*. Department of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University, Media Tryck, Lund

Bitton, G., (1999), *Wastewater microbiology*, 2<sup>nd</sup> ed., Wiley-Liss, New York

Björkman, H., (2004), *Närsaltsdosering till en LSP-anläggning vid ett sulfatmassabruk – frigörelse av fosfor vid slamreduktion och biologisk nedbrytning av EDTA*, Avdelningen för Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund

Gray, N.F., (2004), *Biology of wastewater treatment*, 2<sup>nd</sup> ed., Imperial College Press, Singapore

Carlsson, B. och Hallin, S., (2003), *Reglerteknik och mikrobiologi i avloppsreningsverk*, Svenskt Vatten AB, VA-Forsk rapport nr 27, ISSN 1102-5638

Henze, M., (2002), *Wastewater treatment - biological and chemical processes*, 3<sup>rd</sup> . ed., Springer, Berlin

Metcalf och Eddy, Inc., (2003). *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4<sup>rd</sup> ed., McGraw-Hill, Boston

Ramberg, A., (2005), *Utvärdering av avloppsvattenrening vid Hallsta Pappersbruk – kartering av inkommande avloppsvatten och optimering av driftparametrar*, Institutionen för informationsteknologi, Uppsala universitet, Geotryckeriet, Uppsala

Springer, A. M., (2000), *Industrial Environmental Control Pulp and Paper Industry*, 3<sup>rd</sup> ed., Tappi press, Atlanta

Svenska kommunförbundet, (1996), *Introduktion till avloppstekniken*, Tryckeri Balder AB

Thyberg, T., (2004), *Optimering av närsaltsdosering till biofilmsbaserade aktivslamanläggningar*, Institutionen för kemiteknik och miljövetenskap, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg

Warfvinge, P., (1997), *Miljökemi - miljövetenskap i biogeokemiskt perspektiv*, Institutionen för kemiteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund

### Tryckta interna referenser på Skoghalls Bruk

*Analysbeskrivning - Bestämning av Kemisk syreförbrukning COD-Cr hos vatten*, (2003-11-27), Stora Enso Skoghalls Bruk

*Analysbeskrivning - Bestämning av TOT-P*, (2003-12-03), Stora Enso Skoghalls Bruk

*Analysbeskrivning - Bestämning av Suspenderad substans i avloppsvatten, (2003-01-16), Stora Enso Skoghalls Bruk*

*Extern rening Skoghalls Bruk, (2005), Stora Enso Skoghalls Bruk*

*Miljöredovisning 2004 Skoghalls Bruk, (2005), Knappen, Karlstad*

*Miljöredovisning 2005 Skoghalls Bruk, (2006), Knappen, Karlstad*

*Stora Enso i sammandrag, (2005), Stora Enso Skoghalls Bruk*

### **Övrigt tryckta referenser**

Försäljningskompendium, *YARA Industrial BioNäring*, material från Håkan Mattson, försäljare på YARA

### **Muntliga referenser**

Magnusson, Ann-Kristin., Utvecklingsingenjör på Skoghalls Bruk Stora Enso AB, 2005-2006

Mattsson, Håkan., Försäljare av bionäring, YARA Industrial AB, [hakan.mattsson@yara.com](mailto:hakan.mattsson@yara.com), tel 0706 98 06 45, 2005-2006

Larsson, Rolf., Stora Enso, Miljöingenjör på Skoghalls Bruk Stora Enso AB, 2005-2006

## 9. BILAGOR

### Bilaga 1. COD-halter, dammförsök

Tabell 7. COD-halter under dammförsöket

Färgmarkering = visst vatten har använts; röda siffror = uteliggare, ej tillförlitliga värden

Datum	Period	COD <sub>in</sub> [mg/l]	COD <sub>in_filt</sub> [mg/l]	COD <sub>vinter</sub> [mg/l]	COD <sub>vinter_filt</sub> [mg/l]	COD <sub>sommar</sub> [mg/l]	COD <sub>sommar_filt</sub> [mg/l]
13-sep	Test	2536	-	1404	-	-	-
14-sep	Test	-	-	-	-	-	-
15-sep	Test	2556	-	1792	1240	-	-
20-sep	Test	2200	-	-	-	-	-
27-sep	Test	1590	-	598	526	732	531
29-sep	Test	2392	-	1564	526	762	583
30-sep	Test	2616	-	1146	667	678	536
03-okt	Test	2248	2140	1502	1130	450	481
04-okt	Ref.	2220	1936	1186	938	756	625
05-okt	Ref.	2412	2228	1266	996	744	678
06-okt	Ref.	2360	1668	2076	910	921	719
08-okt	Ref.	2980	-	1502	1130	807	708
11-okt	Ref.	2432	1700	2046	1898	1119	840
13-okt	Ref.	2472	1760	1530	1172	907	814
15-okt	Misslyckat	3408	1968	1056	980	902	722
18-okt	Misslyckat	2124	1808	1224	1080	1096	1006
20-okt	Misslyckat	2544	1744	1228	1160	960	834
24-okt	Återhämtning	1720	1440	784	682	928	770
25-okt	Återhämtning	1660	1560	732	642	820	724
30-okt	Återhämtning	1992	1832	-	-	-	-
31-okt	Återhämtning	3412	1144	1506	792	1396	1006
02-nov	N1	1236	1012	638	588	1058	546
03-nov	N1	1508	1176	674	654	924	528
07-nov	N1	1680	1480	702	548	1848	508
11-nov	N1	1920	1370	618	578	572	542
14-nov	N1	1846	1720	678	580	702	608
15-nov	N1	1860	1448	598	554	580	508
16-nov	N1	1956	1472	627	592	548	484
18-nov	N1	1792	1488	638	514	560	440
21-nov	N1	1812	1632	665	635	557	529
22-nov	N1	1932	1648	654	617	527	499
23-nov	N1	1880	1516	-	-	-	-
24-nov	N1	1944	1596	668	623	631	529
25-nov	N1	2332	2188	668	623	631	529
28-nov	N2	2352	2236	686	614	605	580
01-dec	N2	2112	1852	691	674	598	596
05-dec	N2	2200	1976	1076	704	744	663
06-dec	N2	2412	2128	816	703	775	653
08-dec	N3	1660	1428	896	-	876	-
12-dec	N3	1714	1512	812	698	746	698
14-dec	N3	-	-	1022	974	970	780
15-dec	N3	1660	1512	1164	1092	882	795
19-dec	N3	1728	1536	980	872	805	784
20-dec	N3	-	-	952	844	743	724

## Bilaga 2. Kvävehalter, dammförsök

Tabell 8. Kvävehalter under dammförsöket

Färgmarkering = visst vatten har använts

Datum	Period	N <sub>in</sub> [mg/l]	N <sub>in_filt</sub> [mg/l]	N <sub>vinter</sub> [mg/l]	N <sub>vinter_filt</sub> [mg/l]	N <sub>sommar</sub> [mg/l]	N <sub>sommar_filt</sub> [mg/l]
04-okt	Ref.	9,8	7,0	10,8	4,9	6,9	3,7
05-okt	Ref.	10,6	8,4	11,1	4,8	6,4	4,1
06-okt	Ref.	10,2	6,0	21,3	4	10,3	4,2
08-okt	Ref.	9,0	6,7	14,6	4,4	7,3	4,4
11-okt	Ref.	11,3	6,3	-	5,6	14,9	5,4
13-okt	Ref.	10,9	8,0	21,1	6,6	8,8	7,1
15-okt	Misslyckat	14,2	6,9	6,9	5,1	8,4	5,6
18-okt	Misslyckat	9,1	8,0	6,9	5,1	8,4	6,6
20-okt	Misslyckat	35,2	33,5	30,4	25,6	37,2	27,8
24-okt	Återhämtning	10,6	8,0	-	-	28,2	24,3
25-okt	Återhämtning	12,0	7,2	28,9	22,6	-	-
02-nov	N1	8,9	4,8	5,3	5,1	15,9	14,0
03-nov	N1	10,7	5,8	8,1	5,3	-	11,8
07-nov	N1	12,8	10,2	5,8	5,3	-	-
11-nov	N1	12,4	9,3	5,8	5,1	10,9	9,2
14-nov	N1	17,5	15,5	6,3	4,4	9,3	9,3
16-nov	N1	23,4	21,9	4,6	3,3	6,6	5,7
21-nov	N1	13,2	10,7	-	-	-	-
23-nov	N1	15,7	15,3	4,5	3,4	6,2	5,4
24-nov	N1	12,6	9,2	5,5	4,3	5,7	3,6
28-nov	N2	15,1	15,2	6,3	3,6	6,3	6,0
01-dec	N2	15,4	13,5	6,7	3,7	6,1	5,9
06-dec	N2	16,9	14,9	7,6	3,6	6,7	5,9
8-dec	N2	6,7	5,9	-	-	7,8	6,4
12-dec	N3	8,7	8,5	5,1	3,8	12,1	7,5
15-dec	N3	8,2	7,3	6,8	3,7	11,5	11,1
20-dec	N3	7,6	7,2	7,6	4,3	9,9	9,8

### Bilaga 3. Fosforhalter, dammförsök

Tabell 9. Fosforhalter under dammförsöket

Färgmarkering = visst vatten har använts

Datum	Period	P <sub>in</sub> [mg/l]	P <sub>in</sub> filt [mg/l]	P <sub>vinter</sub> [mg/l]	P <sub>vinter-filt</sub> [mg/l]	P <sub>sommar</sub> [mg/l]	P <sub>sommar-filt</sub> [mg/l]
04-okt	Ref.	3,0	2,1	1,8	1,0	1,4	0,8
05-okt	Ref.	2,8	2,3	1,7	1,4	1,1	0,8
06-okt	Ref.	3,0	1,7	4,6	0,8	1,7	0,8
11-okt	Ref.	3,0	1,7	4,5	1,0	2,6	1,3
13-okt	Ref.	2,9	1,9	2,3	0,6	2,9	0,9
15-okt	Misslyckat	5-	1,2	0,7	0,4	1,5	0,9
18-okt	Misslyckat	1,8	1,5	0,9	0,5	1,6	1,1
20-okt	Misslyckat	9,4	6,6	6,7	1,2	7,0	1,8
24-okt	Återhämtning	2,6	1,4	4,4	2,9	6,9	6,2
02-nov	N1	2,3	1,7	3,5	3,1	11,4	8,3
03-nov	N1	7,4	5,8	3,7	3,2	11,0	6,3
07-nov	N1	7,4	-	3,3	3,6	13,9	10,1
11-nov	N1	7,1	4,9	5,6	4,9	12,1	6,7
16-nov	N1	8,4	?	4,5	4,0	6,5	5,9
19-nov	N1	7,0	5,7	4,5	4,0	-	-
21-nov	N1	6,2	6,0	3,6	2,4	6,2	5,8
22-nov	N1	-	-	2,7	2,1	3,5	3,2
24-nov	N1	5,4	4,7	3,6	3,1	-	-
28-nov	N2	-	-	3,9	3,6	4,7	4,1
01-dec	N2	4,3	2,8	4,4	3,8	6,7	4,9
06-dec	N2	4,1	3,5	4,0	2,8	6,2	5,1
12-dec	N2	2,3	1,7	3,2	2,2	6,5	5,4
12-dec	N3	2,9	1,4	3,7	1,7	7,3	5,6
14-dec	N3	3,2	1,7	3,8	2,1	9,1	6,2
15-dec	N3	2,3	1,8	2,8	2,0	7,3	6,9
20-dec	N3	2,6	1,6	2,9	1,9	6,3	5,4



## Bilaga 4. SÄ/SV/SVI, dammförsök

Tabell 10. SÄ-halten in till dammarna under laborationsförsöket

Datum	(Period)	Vikt <sub>före</sub> [g]	Vikt <sub>efter</sub> [g]	Vätska [ml]	SÄ-in [mg/l]
08-okt	Ref.	7,1567	7,1589	44	50
11-nov	N1	7,0934	7,0971	45	82
28-nov	N2	7,0110	7,0146	55	65
08-dec	N3	6,9989	7,0027	42	90
15-dec	N3	7,0202	7,0231	43	67

Tabell 11. SÄ-halten ut ur sommardammen under laborationsförsöket

Datum	Period	Vikt <sub>före</sub> [g]	Vikt <sub>efter</sub> [g]	Vätska [ml]	SÄ-sommar [mg/l]
08-okt	Ref.	7,0053	7,0097	78	56
11-nov	N1	7,0156	7,017	99	14
28-nov	N2	7,0783	7,0792	127	7
08-dec	N3	7,0485	7,0521	145	25
15-dec	N3	7,0394	7,0421	122	22

Tabell 12. SÄ-halten ut ur vinterdammen under laborationsförsöket

Datum	Period	Vikt <sub>före</sub> [g]	Vikt <sub>efter</sub> [g]	Vätska [ml]	SÄ-vinter [mg/l]
08-okt	Ref.	7,0853	7,0901	45	107
11-nov	N1	7,0487	7,0508	67	31
28-nov	N2	6,9795	6,9811	93	17
08-dec	N3	7,0994	7,1024	72	42
15-dec	N3	7,0056	7,0103	62	76

Tabell 13. SÄ-halter och SV från sommardammens topp under labrationsförsöket

Datum	Period	Vikt <sub>före</sub> [g]	Vikt <sub>efter</sub> [g]	Vätska [ml]	SÄ-sommar [mg/l]	SV [ml]
08-okt	Ref.	7,0456	7,0534	10	780	12
13-okt	Ref.	6,995	7,0038	12	733	9
11-nov	N1	7,1023	7,1087	20	320	3
15-nov	N1	7,0125	7,0201	18	422	5
28-nov	N2	7,0945	7,1027	22	373	3
08-dec	N3	7,1566	7,1637	25	284	3
15-dec	N3	7,0445	7,0524	15	527	4

Tabell 14. SÄ-halter och SV från vinterdammens topp under labrationsförsöket

Datum	Period	Vikt <sub>före</sub> [g]	Vikt <sub>efter</sub> [g]	Vätska [ml]	SÄ-vinter [mg/l]	SV [ml]
08-okt	Ref.	7,0332	7,0407	9	833	23
13-okt	Ref.	7,0112	7,0185	7	1043	18
11-nov	N1	7,1256	7,1320	11	582	11
15-nov	N1	7,2155	7,2232	12	642	9
28-nov	N2	7,1256	7,1319	15	420	5
08-dec	N3	7,0564	7,0667	22	468	7
15-dec	N3	7,0332	7,0459	16	794	10

## Bilaga 5. Laborationsdammarnas status under laborationsförsöken

Tabell 15. Laborationsdammarnas status under referensförsöket

Kolumnerna *Flöde* anger pumpflödet in till dammarna. Ett ja = flödet såg ut att vara bra. Nej = inget flöde sågs eller det såg onormalt ut, vilket föranledde åtgärd.

Sommardamm				Vinterdamm			
Datum	Temp. [°C]	Syrehalt [mg/l]	Flöde [mg/l]	Datum	Temp. [°C]	Syrehalt [mg/l]	Flöde [mg/l]
20-sep	27,9	2,7	2,17	20-sep	13,6	6,2	2,38
21-sep				21-sep			
22-sep	28,2	4,2	nej	22-sep	10,9	9,4	ja
23-sep				23-sep			
24-sep	27,4	4,2	ja	24-sep	10,8	7,3	nej
25-sep				25-sep			
26-sep	28	3,2	ja	26-sep	9,9	11	nej
27-sep				27-sep			
28-sep	27,9	4,8	nej	28-sep	9,9	0,3	ja
29-sep	28,4	4,9	ja	29-sep	10	4,2	ja
30-sep	27,9	4,2	ja	30-sep	10,3	8,4	ja
01-okt				01-okt			
02-okt	27,3	3,7	ja	02-okt			
03-okt				03-okt			
04-okt	27	4,6	ja	04-okt	10,4	4,6	ja
05-okt	27,3	3,5	ja	05-okt	10,8	4,8	ja
06-okt	26,2	3,9	nej	06-okt	10	3,2	ja
07-okt				07-okt			
08-okt				08-okt			
09-okt				09-okt			
10-okt				10-okt			
11-okt				11-okt			
12-okt	26,3	3,8	nej	12-okt	11,4	0,4	ja
13-okt				13-okt			
14-okt	27,4	3,6	2,43	14-okt	10,1	3,8	2,32
15-okt				15-okt			
16-okt				16-okt			
17-okt	26,3	4,2		17-okt	10,4	0,3	
18-okt	27,1	3,9		18-okt	10,5	3,5	
19-okt				19-okt			
20-okt	27,9	3,6	nej	20-okt	11,1	0,3	ja
21-okt	27	4,1	ja	21-okt	11,7	0,1	ja
22-okt				22-okt			
23-okt				23-okt			
24-okt	25,3	5,8	nej	24-okt	11	0,1	ja
25-okt	27,4	3,2	nej	25-okt	10,2	3,4	nej
26-okt				26-okt			
27-okt				27-okt			
28-okt	28	5,2	nej	28-okt	10	8,7	ja
29-okt				29-okt			
30-okt				30-okt			
31-okt	26,2	6,2		31-okt	10,9	7,3	
01-nov	28,3	7,2	ja	01-nov	10,4	8,9	ja
02-nov				02-nov			
03-nov				03-nov			
04-nov				04-nov			
05-nov				05-nov			
06-nov				06-nov			
07-nov	25,3	7,8	ja	07-nov	10,4	9,3	ja
08-nov	27	8,3	ja	08-nov	10,1	8,7	ja

<b>Sommardamm</b>				<b>Vinterdamm</b>			
Datum	Temp. [°C]	Syrehalt [mg/l]	Flöde [mg/l]	Datum	Temp. [°C]	Syrehalt [mg/l]	Flöde [mg/l]
09-nov				09-nov			
10-nov	26,4	7,3	nej	10-nov	10,4	9,3	ja
11-nov	27,9	8,4	ja	11-nov	11	7,6	ja
12-nov				12-nov			
13-nov				13-nov			
14-nov				14-nov			
15-nov	26,2	7,4	ja	15-nov	10,3	9,2	ja
16-nov	28	8,4	ja	16-nov	10	9,4	ja
17-nov	28,3	7,6	ja	17-nov	9,8	8,6	nej
18-nov	27,8	7,2	nej	18-nov	9,9	9,2	ja
19-nov				19-nov			
20-nov				20-nov			
21-nov	27,3	6,4	ja	21-nov	10,2	8,3	ja
22-nov				22-nov			
23-nov	27,2	7,6	ja	23-nov	10,7	7,6	nej
24-nov	26,3	7,2	nej	24-nov	10,2	8,4	ja
25-nov				25-nov			
26-nov				26-nov			
27-nov				27-nov			
28-nov	25,4	6,3	ja	28-nov	9,4	9,5	nej
29-nov				29-nov			
30-nov	28,3	4,2	ja	30-nov	10,2	7,9	ja
01-dec	28,4	4,9	ja	01-dec	9,9	8,6	ja
02-dec	27,6	5,2	ja	02-dec	9,7	7,5	nej
03-dec				03-dec			
04-dec				04-dec			
05-dec	26,3	4,9	ja	05-dec	9,9	9,5	ja
06-dec				06-dec			
07-dec	27,2	4,3	ja	07-dec	10,4	9,6	ja
08-dec	26,9	6,2	nej	08-dec	10,1	8,4	ja
09-dec	27,2	5,6	ja	09-dec	10,2	8,2	ja
10-dec				10-dec			
11-dec				11-dec			
12-dec	25,4	5,2	nej	12-dec	10,2	9,7	ja
13-dec				13-dec			
14-dec	26,4	5,6	ja	14-dec	9,8	9,2	nej
15-dec	27,2	6,4	nej	15-dec	10,2	7,4	nej
16-dec	26,7	6,6	ja	16-dec	10,4	9,6	ja
17-dec				17-dec			
18-dec				18-dec			
19-dec				19-dec			
20-dec	26,4	5,6	ja	20-dec	9,7	10,2	ja
<b>Medel</b>	27	5,4		<b>Medel</b>	10,38	6,82	
<b>STDAV</b>	0,88	1,59		<b>STDAV</b>	0,68	3,24	