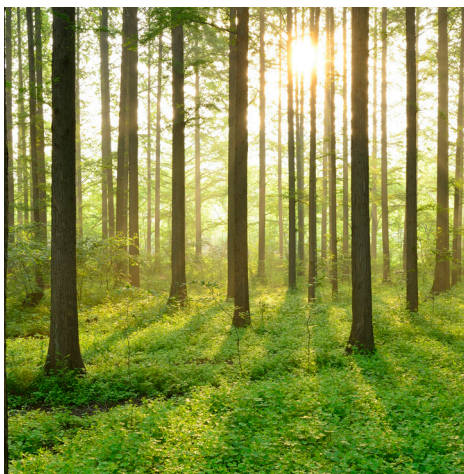


HYDROLYS AV BIOSLAM MED INTERNA RESTSTRÖMMAR FÖR ÖKAD RESURSEFFEKTIVITET

RAPPORT 2022:848



Hydrolys av bioslam med interna restströmmar

Ökad resurseffektivitet vid massa- och pappersbruk

EVA-MARIA EKSTRAND, XU-BIN TRUONG OCH ANNA KARLSSON

ISBN 978-91-7673-848-1 | © Energiforsk februari 2022

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Denna rapport är slutrapportering av projekt Projekt KVVU45117 *Hydrolys av överskottsslam med interna restströmmar för ökad resurseffektivitet* inom Energiforsks skogsindustriella program.

Programmet handlar i första hand om energieffektivisering, att kunna nyttiggöra sidoströmmar och restvärme samt effektiv användning och återvinning av kemikalier. Projekt som genomförs inom programmet ska ge lösningar på upplevda problem på bruken och vara så generaliserbara så att flera har möjlighet att implementera forskningsresultaten inom en överskådlig tid.

Detta projekt har haft som mål att möjliggöra en förbättrad driftsekonomi vid hantering av överskottsslam och fiberslam genom förbättrad avvattnings av överskottsslammet.

Arbetet har genomförts av AFRY med Xu-Bin Troung som huvudprojektledare. Projektets referensgrupp har bestått av Hanna Penttilä, SCA Östrand, Lars Johansson, BillerudKorsnäs Skärblacka och Jonas Wetterling, Södra Innovation.

Forskningen har möjliggjorts ekonomiskt genom medel från ÅForsk, Valmet samt dessa bruk:

Ahlstrom-Munksjö Aspa
 Billerud Korsnäs, Frövi
 Billerud Korsnäs Gävle
 Billerud Korsnäs Gruvön
 Billerud Korsnäs Karlsborg
 Billerud Korsnäs Skärblacka
 Holmen Iggesund
 Metsä Board, Husum
 SCA Munksund
 SCA Obbola
 SCA Östrand
 Södra Cell Mönsterås
 Södra Cell Mörrum
 Södra Cell Värö

Samtliga har representanter i programstyrelsen.

Helena Sellerholm
 Programansvarig
 Termisk energiomvandling, Energiforsk AB

Sammanfattning

Inledning och bakgrund

Många massa- och pappersbruk använder idag biologisk rening för att minimera utsläpp av organiskt material från avloppströmmar. En av nackdelarna med processen är uppkomsten av bioslam som måste tas om hand. Det stora problemet är att slammet är svårt att avvattna. En förbättrad slamavvattning skulle minska mängden slam som måste hanteras, men också öppna upp för förbränning utan eller med minskade förluster och därmed kan de höga kostnaderna för kvittblivning reduceras rejält. Ett sätt att förbättra slammets avvattningsbarhet kan vara att förbehandla (hydrolysera) slammet via tillförsel av värme och/eller kemikalier, men även detta är kostsamt då slammängderna är stora. Om behandlingen däremot kan ske genom att ta tillvara egenskaper i bruksinterna avloppströmmar finns möjlighet för en resurs- och kostnadseffektiv slamhantering.

Projektets mål är att 1) sammanställa befintliga erfarenheter och lärdomar kring hydrolys av bioslam inom svensk massa- och pappersindustri (litteratur- och intervjustudie) och 2) kartlägga befintliga interna resurser för hydrolys på bruken, såsom restvärme eller sura/alkaliska restströmmar (intervjustudie) samt slutligen 3) utvärdera effekten av utvalda restvärmeströmmar och/eller sidoströmmar för hydrolys på bioslam från ett till två bruk. Testen genomförs i labbskala.

Resultat

- I dag finns ett koncept för behandling av bioslam som inbegriper hydrolys av slammet: Avvattnat bioslam blandas med lut från lutcykeln, och förs efter genomförd hydrolys tillbaka till lutcykeln och vidare till sodapannan för förbränning. Konceptet fungerar dock bara på sulfatbruk, där lut, indunstning och sodapanna finns att tillgå, och lämpar sig bäst på rena massabruk, då kemikalier från pappersproduktionen som hamnar i bioslammet riskerar att störa kemikaliåtervinningen.
- Kartläggningen av interna resurser visade att värme samt alkaliska, peroxidhaltiga och sura restströmmar finns att tillgå i betydande mängder på sulfat och CTMP-bruk, medan TMP-bruk ofta har lägre temperaturer i sina avloppsströmmar och saknar motsvarande alkaliska eller sura vatten.
- Tester i labbskala visade att värme (70–90°) ökade mängden löst organiskt material (COD) i rejektivattnet efter behandling av bioslam vilket tyder på en sönderdelning av större organiska molekyler. Samma resultat erhöles med tillräckligt stark alkalisk behandling. I inget av dessa fall förbättrades dock avvattningen markant. Behandling med restsyra gav motsatt resultat då en tydligt förbättrad avvattning kunde ses i volymförhållandet 100:1 mellan bioslam och restsyra, medan ökningen i löst COD var låg.
- En teknisk utvärdering av ett processkoncept med restsyra för slamhydrolys visade att detta är möjligt att implementera i fullskala och skulle medföra minskad volym avvattnat slam. För de bruk som idag är i behov av extern hjälp för avsättning av delar eller hela mängden avvattnad slam finns en stor potential för kostnadsbesparing. Ytterligare möjliga positiva effekter har identifierats men behöver utredas vidare.

Nyckelord

Bioslam, överskottsslam, hydrolys, avvattning, avvattnat slam, rejektvatten, filtrat, suspenderade ämnen, torrhalt, papper- och massa, förbehandling, COD, indunstning, sulfatbruk, mekaniskt bruk

Summary

Introduction and Background

Many pulp- and paper mills today applies biological treatment to minimise the release of organic material content of the wastewater streams. One of the drawbacks with this process is the production of waste sludge that needs to be taken care of, the main problem being its low dewaterability. An improvement here would of course mean reduced sludge volumes but also increased opportunities for incineration of the waste sludge without heat losses. One way to improve the dewaterability of the sludge could be to pre-treat (hydrolyse) it by the addition of heat and/or chemicals, but due to the large volumes of biological sludge, such treatments could be costly. However, if the sludge could be hydrolysed using internal waste streams available at the mill, a more resource- and cost-effective sludge handling could be achieved.

The project goals were 1) to compile experiences and lessons learnt from today's concept of waste sludge hydrolysis within the pulp- and paper industry (literature and interview study) and 2) map internal resources suitable for hydrolysis of the waste sludge such as residual heat and acid or alkalic streams and finally 3) evaluate the effect of the selected waste- or side streams for hydrolysis of waste sludge from one to two mills. The practical tests were performed in lab-scale.

Results

1. There is an existing concept for hydrolysis of biological sludge at mills today, where dewatered sludge is mixed with black liquor from the chemical recovery process, the mix is then returned to the recovery cycle and incinerated in the recovery boiler. The concept is however only applicable at Kraft mills, where strong alkali and the recovery cycle is present, and is best performed at pulp mills without paper production, as chemicals used in the paper production that ends up in the biological sludge can cause disturbances in the chemical recovery process.
2. The mapping of internal resources showed that both heat and residual streams with alkaline and acidic properties as well as peroxide containing streams are available at kraft and CTMP mills, while corresponding heat sources or chemical wastewaters were largely lacking at TMP mills.
3. Tests in lab-scale showed that heat (70-90°) increased the amounts of soluble organic material (sCOD) in treated waste sludge which implies a partial degradation of the material. The same result was obtained when the sludge was treated with strong alkali. However, in none of these cases the dewatering of the sludge was improved. Treatment of the waste sludge with spent acid in volume ratio 100:1, on the other hand, showed a clearly improved dewatering but no or only minor increases in soluble COD.
4. A technical evaluation of a process concept based on hydrolysis using spent acid is deemed feasible and results in reduced volume of dewatered sludge. A number of other positive side effects have been identified but need to be evaluated separately.

Innehåll

1	Introduktion och bakgrund	8
1.1	Projekt mål	8
1.2	Avloppsvattenrening och slamhantering	9
1.3	Förbehandling av bioslam	10
1.4	Biogasproduktion	11
2	Metodik och genomförande	12
2.1	AP1 - Intervjustudie	12
2.2	AP2 - Fördjupad studie inklusive laborativa försök	12
2.2.1	Slamhantering vid bruk i fördjupad studie	12
2.2.2	Bioslam och sidoströmmar	13
2.2.3	Hydrolys av bioslam	14
2.2.4	Karaktärisering av bioslam och sidoströmmar	17
2.2.5	Utlöst COD, NH ₄ -N och PO ₄ ³⁻ -P efter hydrolys	17
2.2.6	Avvattningsegenskaper	18
2.2.7	Biokemisk metanpotentialbestämning	19
2.3	AP3 - Teknisk utvärdering	20
3	Resultat och diskussion	21
3.1	AP1 - Intervjustudie	21
3.1.1	Bruk med indunstning och förbränning av bioslam	21
3.2	AP2 - Laborativa försök med utvalda strömmar	23
3.2.1	Effekt av hydrolys på löst COD, fosfat och ammonium	23
3.2.2	Effekt av hydrolys på avvattningsegenskaper	27
3.2.3	Effekt av hydrolys på slammets metanpotential	36
3.2.4	Sammanfattning av resultat från behandlingarna	36
3.3	AP3 - Teknisk utvärdering	38
3.3.1	Massbalans för befintlig slamavvattning	38
3.3.2	Massbalans för slamavvattning med nytt processkoncept	39
3.3.3	Kostnadsbesparing vid slamavvattning med slamhydrolys	41
4	Sammanfattning och slutsatser	43
5	Författarnas tack	45
	Referenslista	46

Bilaga 1: Frågor Energiforsk Hydrolys bioslam

Bilaga 2: Frågor Energiforsk Hydrolys bioslam

Bilaga 3: Fosfat

1 Introduktion och bakgrund

Slamhantering vid massa- och pappersbruk är idag ett problem. Det biologiska slammet som genereras i avloppsvattenreningen är svårt att avvattna, orsakar förhöjda utsläpp av kväveoxider vid förbränning och kostsamt att hantera.

Biologisk rening är för många massa- och pappersbruk idag en nödvändig process för att säkerställa låga utsläpp av organiskt material till recipient. Dessvärre genererar den biologiska reningen ett bioslam, som måste tas om hand. Slamhanteringen är en utmaning för många bruk, och nya, mer kostnadseffektiva och miljömässigt fördelaktiga lösningar efterfrågas.

En av de stora utmaningarna med bioslam är svårheten att avvattna slammet i tillräckligt hög grad. Många bruk bränner sitt slam i barkpannan, men den höga vattenhalten innebär att man behöver stötta med annan biomassa eller fossila bränslen för att generera ett tillräckligt högt energivärde vid förbränningen. I andra fall omhändertas slammet externt, vilket medför höga kostnader.

Tidigare studier indikerar att förbehandling av bioslam, med till exempel extra tillförsel av värme eller kemikalier, kan förbättra avvattningsbarheten, men det är kostsamt. Om denna förbehandling kunde ske med brukens egna resurser skulle det kunna ge en resurseffektiv och kostnadseffektiv slamhantering.

1.1 PROJEKTMÅL

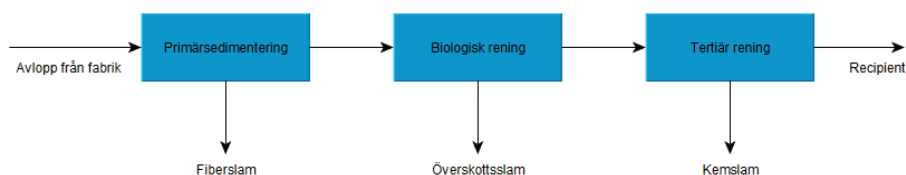
Det övergripande målet med studien är att uppnå en förbättrad driftsekonomi vid hantering av bioslam och fiberslam genom förbättrad avvattning av bioslammet.

Inom projektet utvärderas förbehandling (hydrolysis) av bioslam med bruksintern restvärme och/eller andra lämpliga restströmmar. Mer specifikt avser projektet att:

- Sammanställa befintliga erfarenheter och lärdomar kring hydrolysis av bioslam inom svensk massa- och pappersindustri via litteratur- och intervjustudier
- Via en intervjustudie kartlägga befintliga interna resurser för hydrolysis på bruken, såsom restvärme eller sura/alkaliska restströmmar
- I en fördjupad studie utvärdera lämpliga restvärmeströmmar och/eller sidoströmmar på 1–2 bruk med laborativa försök av hydrolysis på bioslam
 - × Utvärdera effekten av hydrolysis på slammet gällandes löst organiskt material (COD) och lösta näringsämnen (kväve och fosfor) från slammet
 - × Utvärdera eventuella förändringar i slammets avvattnings-egenskaper, kopplat till torrhalt och mängd avvattnat slam samt kvalitet på rejektvattnet (organiskt material, ammonium, fosfat och suspenderade ämnen)
- Genomföra en tekno-ekonomisk utvärdering av den/de mest lovande behandlingarna

1.2 AVLOPPSVATTENRENING OCH SLAMHANTERING

Avloppsvattenrening vid massa- och pappersbruk sker vanligen i tre steg, se Figur 1. Först avskiljs fiber och andra partiklar i primärsedimenteringen, vilket genererar ett slam rikt på restfiber från processen. Avloppsvattnet passerar därefter ett biologiskt reningssteg, där mycket av det organiska materialet bryts ner av mikroorganismer under kontinuerlig tillförsel av syre och närsalter (kväve, fosfor). Denna process genererar ett biologiskt slam (kallat aktivt slam eller bioslam) som avskiljs i en sedimenteringsbassäng och där en andel av detta kontinuerligt plockas ut från processen för att hålla rätt slamålder. Det slam som tas ut kallas överskottsslam. Slutligen kan det behandlade vattnet renas ytterligare via någon form av tertiär behandling.



Figur 1 Översikt av reningssteg vid ett massa- och pappersbruk och de slam som genereras.

Tillsammans med fiberslam utgör överskottsslammet ofta största andelen av ett bruks avfall, och kvittblivning av slam från avloppsvattenreningen är idag ett stort problem på många bruk. Enligt en kartläggning av Ek m. fl.¹ genererade svenska bruk omkring 270 000 ton bioslam år 2001 (20–40% torrhalt). Liknande siffror ses i en rapport av Sivard m. fl.², som anger 200 000–300 000 ton år 2010 (ca. 20% TS), vilket motsvarar ca 110–160 ton TS per dygn. I Sivard m fl. nämns även att den totala mängden avvattnat slam (primär-, bio- och kemslam) är 1,1 miljon ton (ca. 30% TS) 2010.

Bruken söker därför ständigt efter bättre lösningar för att hantera slammen. Fiberslammet är i sig relativt lätt att avvattna och kan därmed brännas i barkpannan, eller återföras till processen, t.ex. vid produktion av fluting eller kartong. Det finns även marknader för fiberslam externt t.ex. inom cementindustrin och för tegelproduktion³. En annan möjlighet är att röta fiberslammet i samrötningsanläggningar för produktion av biogas.

Bioslammet är svårare att hitta avsättning för, främst eftersom det är mycket svårare att avvattna än fiberslammet. För att kunna förbränna slam utan stödtillsats av olja eller bark krävs en torrhalt på minst 40%, vilket i nuläget möjliggörs genom en kombination av kostsamma polymertillsatser och

¹ Mats; Ek and Olle Westling, "Dagsläget Beträffande Skogsindustrins Avfall" (Rapport B1482, 2003).

² Å Sivard et al., "Nuvärdesmaterial Kring Bioslam" (Stockholm, 2013),

http://www.processum.se/images/dokument/FoU/Bioslam_Bilaga_2_Rapport_F.pdf.pdf.

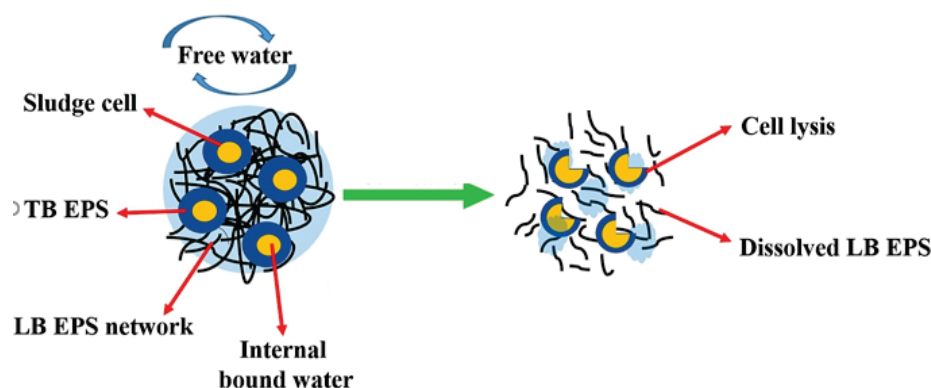
³ M C Monte et al., "Waste Management from Pulp and Paper Production in the European Union," *Waste Management (New York, N.Y.)* 29, no. 1 (January 2009): 293–308, doi:10.1016/j.wasman.2008.02.002.

inblandning av fiberslam innan avvattning. Avvattningsegenskaperna försämras normalt radikalt om bioslammet utgör mer än en tredjedel av den totala slammängden.

Ett alternativ, som används på ett antal bruk idag, är att behandla slammet med värme och lut från kemikaliecykeln innan det indunstas och förbränns i brukets sodapanna. Metoden förutsätter dock tillgång till den kemikaliecykel som finns på sulfatmassabruk och fungerar bäst på bruk som har enbart massaproduktion då ämnen som tillsätts i pappersproduktionen och kommer med bioslammet från avloppsvattnet kan ge problem med ackumulering av processfrämmande ämnen.

1.3 FÖRBEHANDLING AV BIOSLAM

Typiskt för bioslam är att det är svårt att avvattna. En anledning kan vara att denna typ av biologiskt slam innehåller mycket biomolekyler som mikroorganismer tenderar att producera vid svält och annan stress. Dessa biomolekyler kallas extracellulära polymera substanser (EPS), och kan sitta hårt bundet vid cellväggen, eller löst bundet mellan mikroorganismerna. De kan bidra till att mycket vatten binds in i slammet (Figur 2). Genom att förbehandla slammet på olika sätt kan både EPS och cellväggar brytas ner och vatten frigöras, och därmed uppnås troligen högre torrhalter vid avvattning. Detta leder i sin tur till att en större del av det organiska materialet (COD) blir tillgänglig som löst, och därmed ofta mer lättomsättligt, COD vilket kan öka bioslammets nedbrytbarhet och därmed förbättra möjligheterna för att t.ex. röta det till biogas.



Figur 2 Schematisk illustration över hur biologiskt slam binder vatten. Mikroorganismerna producerar vattenbindande biomolekyler (EPS) som sitter antingen hårt bundet till cellväggen (TB-EPS) eller löst bundet mellan cellväggar (LB-EPS). Förbehandling av slammet kan bryta sönder biomolekyler och cellväggar så att bundet vatten frigörs. Modifierad från Dong-Qin m. fl. (2017)⁴.

En termisk och/eller kemisk förbehandling av slammet medför en kostnad i form av energi och/eller kemikalier. Genom att i stället utnyttja eventuell befintlig restvärme eller sidoströmmar innehållande restkemikalier (ex. sura, basiska eller oxiderande) från brukens egna avlopp skulle denna förbehandling kunna utföras

⁴ Dong-Qin He et al., "Changing Profiles of Bound Water Content and Distribution in the Activated Sludge Treatment by NaCl Addition and PH Modification," 2017, doi:10.1016/j.chemosphere.2017.08.045.

på ett för bruken mer resurseffektivt sätt, men en kartläggning över vilka sådana möjligheter som finns saknas idag.

1.4 BIOGASPRODUKTION

Att producera biogas från överskottsslam via anaerob nedbrytning (så kallad rötning) har testats i många studier, men resultaten visar generellt på låg biogaspotential eftersom slammen är svåra att bryta ner, mellan 40 – 160 ml CH₄/g VS⁵. För att öka metanutbytet från slammen kan det förbehandlas, vanligen på termisk, kemisk eller mekanisk väg. Några av de metoder som testats är förbehandling med värme, NaOH, ultraljud och enzymer⁶.

⁵ Eva-Maria Ekstrand, *Anaerobic Digestion in the Kraft Pulp and Paper Industry – Benefits and Strategies for Implementation*, 2019, doi:10.3384/diss.diva-156667.

⁶ Torsten Meyer and Elizabeth A. Edwards, "Anaerobic Digestion of Pulp and Paper Mill Wastewater and Sludge," *Water Research* 65 (2014): 321–349, doi:10.1016/j.watres.2014.07.022.

2 Metodik och genomförande

Detta projekt har genomförts av AFRY i samarbete med Scandinavian Biogas Fuels och Linköpings Universitet. Projektet pågick under 2020–2021, och arbetet fördelades i tre arbetspaket (AP), enligt:

- AP1 – Intervjustudie
- AP2 – Laborativa försök
- AP3 – Teknisk utvärdering

2.1 AP1 - INTERVJUSTUDIE

I AP1 utfördes en kartläggning och nulägesanalys kring nuvarande och potentiella metoder för hydrolys av biologiskt slam på bruken. Denna del tog sin utgångspunkt i en övergripande litteraturstudie och med hjälp av tillgänglig expertis inom AFRY och projektgruppen och genomfördes som ett antal intervjuer med företrädare för utvalda bruk.

I ett första steg kontaktades sex bruk som idag förbehandlar sitt bioslam med lut följt av indunstning och förbränning, och semi-strukturerade intervjuer utfördes. Basen för intervjuerna var ett frågeformulär (Bilaga 1) som skickats ut till bruken i förväg och som sedan diskuterades under ett Teams-möte med deltagare från aktuellt bruk och minst två representanter från projektgruppen. Sex sådana intervjuer genomfördes, en för varje bruk.

Vidare genomfördes en fördjupad utvärdering av förekomst och tillgänglighet av restvärme och sidoströmmar (exempelvis basiska eller sura strömmar) som skulle kunna användas för att hydrolysera bioslam. Utvärderingen gjordes på fyra bruk som representerar olika processer (mekanisk, sulfat och NSSC). Intervjuerna utfördes som i steg 1, men med frågorna i Bilaga 2 som utgångspunkt.

Utifrån resultatet från denna AP valdes två bruk ut för att laborativt utvärdera följande förbehandlingskoncept (AP2): termisk, sur, alkalisk hydrolys, behandling med peroxidhaltiga vatten, samt termisk i kombination med alkalisk eller sur hydrolys.

2.2 AP2 - FÖRDJUPAD STUDIE INKLUSIVE LABORATIVA FÖRSÖK

2.2.1 Slamhantering vid bruk i fördjupad studie

Biologiskt slam från två bruk (BillerudKorsnäs Skärblacka och SCA Östrand) inkluderades i den fördjupade studien.

BillerudKorsnäs Skärblacka är ett integrerat massa- och pappersbruk med en årlig produktion av 370 kton sulfatmassa och 60–65 kton NSSC-massa, vilket i reningen genererar ca. 20 ton TS fiberslam och 10 ton TS bioslam per dygn. Slammen avvattnas var för sig. Slamåldern i reningsanläggningen (långtidsluftad aktivslamanläggning) ligger på ca. 20 dygn. En del av de avvattnade slammen bränns i barkpannan, resten skickas till ett externt företag för jordproduktion.

Torrhalten på bioslammet uppgår idag till ca 16–17% efter avvattning, och bruket ser stora fördelar med att kunna öka TS-halten, då det innebär minskade volymer att hantera och mer av bioslammet skulle kunna brännas i barkpannan.

SCA Östrand är ett integrerat massa- och pappersbruk med en produktion på 760 kton sulfatmassa och 80 kton CTMP-massa. Slamåldern i bioreningen ligger på 8–9 dygn. I dagsläget hydrolyseras allt bioslam med mellantjocklut för att sedan indunstas och förbrännas, men då detta belastar sodapannan med både TS och kväve är bruket intresserade av att hitta alternativa lösningar. Dessutom kommer CTMP-produktionen att flyttas till annan ort, där möjligheten att hydrolysera bioslammet med luten saknas.

2.2.2 Bioslam och sidoströmmar

Bioslam från båda bruken provtogs av brukspersonal och transporterades till lab där det förvarades i kyl (+3 °C) i upp till 4 veckor innan analys.

Prov från sidoströmmar som i AP1 bedömdes ha en möjlig hydrolyserande kapacitet skickades från respektive bruk till labbet för vidare tester. Provtagna strömmar från BillerudKorsnäs Skärblacka finns listade i Tabell 1, och från SCA Östrand i Tabell 2. Grönlutslam och syror förvarades i rumstemperatur, övriga strömmar i –20 °C.

På BillerudKorsnäs Skärblacka finns en ström, mekaniskt renat 80-gradigt vatten som delvis släpps till recipient och som skulle kunna användas för värmebehandling av bioslam. Denna ström provtogs inte, utan värmebehandlingen utfördes med hjälp av vattenbad på lab. Restsyran är en biprodukt från klordioxidproduktion för blekning, och "EOP" är ett alkaliskt blekerifiltrat från ett av blekstegen. Grönlut är en produkt i kemikaliencykeln på sulfatbruk, och grönlutsslam är en restprodukt från denna process som avvattnas till 30 – 55% TS för att sedan deponeras.

På SCA Östrand genereras i bleksteget på CTMP-linjen ett tempererat bakvatten som innehåller höga halter restperoxid och fiber. Även totalavloppet från CTMP-produktionen innehåller fiber och peroxider men i lägre halter. Vi valde därför att testa både dessa. Peroxiden väntas ha en hydrolyserande effekt, medan närvaron av fiber förväntas ge en ytterligare effekt på avvattningen. Syravatten är en restprodukt från talloljeproduktionen vid SCA Östrand med lågt pH. Även SCA har grönlutsslam, men i projektet användes bara grönlutsslam från BillerudKorsnäs Skärblacka.

Tabell 1 Egenskaper och tillgängliga volymer på utvalda strömmar från BillerudKorsnäs Skärblacka. TS = torrhalt, COD_f = filtrerat (löst) COD, chemical oxygen demand, EOP = alkaliskt blekerifiltrat

Sidoström	Volym (m ³ /d)	pH	TS (%)	Temp (°C)	COD _f (mg/l)	Peroxid (mg/l)
Överskottsslam	900	7	1,0		260	
Mekaniskt renat vatten	1 800	7		80		
EOP	10 000	9		65–70	1 570	10
Grönlutsslam	11	13 ^a	50		880 ^a	
Restsyra	1–2	<1		65		

^aMätt på grönlutsslam spädd till TS 5 %, motsvarande oavvattnat grönlutsslam

Tabell 2 Egenskaper och tillgängliga volymer på utvalda strömmar från SCA Östrand. TS = torrhalt, SÄ = suspenderade ämnen, COD_f = filtrerat (löst) COD, chemical oxygen demand, CTMP = kemisk termomekanisk massatillverkning

Sidoström	Volym (m ³ /d)	pH	TS, SÄ (% g/l)	Temp (°C)	COD _f (mg/l)	Peroxid (mg/l)
Överskottsslam	2 400	7	TS: 1,1		390	
Totalavlopp CTMP	10 800	6	SÄ: 3–3,5	85	8 830	25
Bakvatten blekeri CTMP	840	6	SÄ: 0,5–1	80–90	8 770 ^b	3 000
Grönlutsslam	220		TS: 30–40			
Restsyra	7	<1		60–70		
Syravatten	310	3		80	11 000	

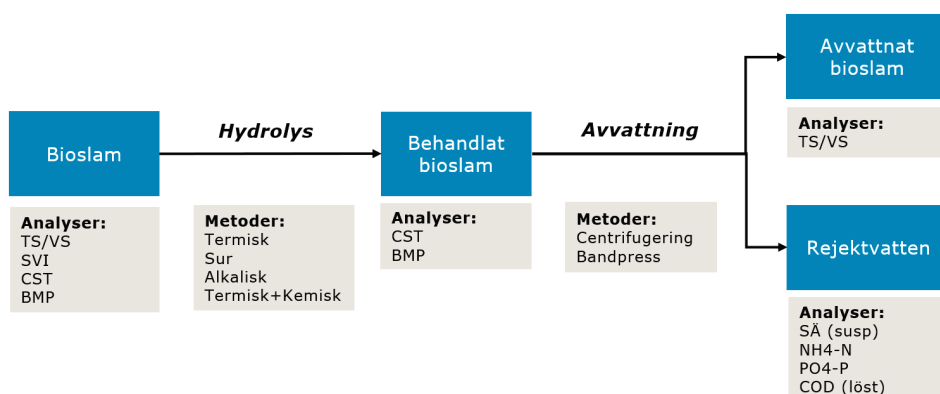
^a pH grönlutsslam bestämdes efter spädning till 5% TS, motsvarande oavvattnat grönlutsslam

^b Troligen överskattad COD-halt pga hög peroxidkoncentration i provet

2.2.3 Hydrolysis av bioslam

Hydrolysis av bioslam genomfördes på både termisk och kemisk väg, samtliga i 1L glasflaskor, och med omrörning var tionde minut i de fall där bioslammet blandades med en sidoström. Efter avslutad hydrolysis avvattnades obehandlat och behandlat bioslam, varpå ett antal analyser utfördes på både den fasta fasen och den flytande fasen i syfte att utvärdera effekten av hydrolysis inklusive eventuellt förändrade avvattningssegenskaper (Figur 3).

I de fall där det bedömdes finnas ett behov inkluderades en parallell kontroll vid hydrolysisförsöken, där endast vatten tillsattes bioslammet i samma mängd som sidoströmmen, för att kunna utvärdera eventuella utspädningseffekter.



Figur 3 Översikt av de metoder och analyser som användes i den fördjupade studien av hydrolys av bioslam. TS/VS = total solids/volatile solids, SVI = sludge volume index, CST = capillary suction time, BMP = biochemical methane potential, TSS = total suspended solids, COD = chemical oxygen demand

Termisk hydrolys

Termisk hydrolys utfördes på bioslam från både BillerudKorsnäs Skärblacka och SCA Östrand genom att 400 ml bioslam inkuberades i vattenbad (70, 80 eller 90 °C) i 1 – 2 timmar (Tabell 3). För att undvika övertryck var flaskorna inte helt stängda under inkubationen, och efter avslutad inkubation fick de svalna i rumstemperatur i 20 minuter.

Tabell 3 Temperatur och tid som tillämpades vid termisk hydrolys

Temperatur °C	Tid (h)
70	1
80	1
80	2
90	1

Hydrolys med peroxidhaltigt avloppsvatten

Bioslam och vald sidoström blandades enligt de volymer som anges i Tabell 4. Både avlopp från CTMP och blekeri finns i så stora mängder i förhållande till bioslammet att volymen sidoström i testerna var lägre än vad som finns tillgängligt på bruken. Eftersom de peroxidhaltiga vatten som inkluderades i studien enbart fanns tillgängliga från SCA Östrands CTMP-linje utfördes dessa tester bara på Östrands bioslam

Tabell 4 Volymer överskottsslam och sidoström som användes vid hydrolysförsöken. CTMP = kemisk termomekanisk massaproduktion

Sidoström, volymsandel (% av total)	Överskottsslam (ml)	Totalavlopp CTMP (ml)	Blekerifiltrat (ml)
CTMP, 50%	200	200	
Blekeri, 25%	300		100

Alkalisk hydrolys

Alkalisk hydrolys av bioslam från båda bruken utfördes med EOP-vatten och grönlutsslam från BillerudKorsnäs Skärblacka (Tabell 5). I de tre första testen med grönlutsslam späddes slammet från 50% TS till 5% TS (motsvarande oavvattnat grönlutsslam) innan det blandades till bioslammet till olika koncentrationer, och i det sista testet tillsattes outspätt grönlutsslam (35 g) direkt i bioslammet (Tabell 5). Utöver testerna inkluderades en kontroll med NaOH, som har en känd hydrolyserande effekt på bioslam. 0,32 g NaOH-pellets blandades direkt med 200 ml bioslam vilket gav en koncentration av 16 g NaOH/100 g TS eller 1,6 g NaOH per liter.

Tabell 5 Volym överkottsslam och sidoström som användes vid hydrolysförsöken. EOP = alkaliskt blekerfiltrat, GLS = Grönlutsslam

Sidoström, volymsandel (% av total)	Överkottsslam (ml)	EOP (ml)	Grönlutsslam (ml, g)	NaOH (g)
EOP 25%	300	100		
EOP 50%	200	200		
EOP 75%	100	300		
GLS 0,5 g/l	198		2 ml ^a	
GLS 2,5 g/l	190		10 ml ^a	
GLS 5 g/l	180		20 ml ^a	
GLS 50 g/l	350		35 g ^b	
NaOH 1,6 g/l	200			0,32

^a Volym grönlutsslam med TS 5% (oavvattnat)

^b Vikt grönlutsslam med TS 50% (avvattnat)

Sur hydrolys

Sur hydrolys utfördes med restsyra från BillerudKorsnäs Skärblacka på båda bioslammen. Endast bioslam från SCA Östrand behandlades med syravatten eftersom den strömmen inte finns på Skärblacka. Andelen restsyra på bruken uppgick till 0,1% av bioslammet, men då många bruk tillämpar föravvattning av bioslammet bedömde vi att det var rimligt att utföra testerna med en volymsandel på 0,5–1% restsyra. Ett slutligt test med 10% restsyra gjordes också.

Tabell 6 Volym överkottsslam och sidoström till olika volymsandelar som användes vid hydrolysförsöken.

Sidoström, volymsandel (% av total)	Överkottsslam (ml)	Restsyra (ml)	Syravatten (ml)
Restsyra, 0,5%	199	1	
Restsyra, 1%	198	2	
Restsyra, 10%	360	40	
Syravatten, 0,5%	199		1
Syravatten, 1%	198		2

Kombinationer termisk och kemisk hydrolys

Kombinationen värme och syra/bas utvärderades med restsyra till en koncentration av 0,5–10% (volymsbasis) och för grönlutsslam (Tabell 7). Värmebehandlingen utfördes i 1h i 70 och 80 °C för restsyra och 70 °C för grönlutsslam. Dessa jämfördes med värmebehandlat bioslam utan tillsats, samt med behandlat slam som pH-justerades till pH 7 med en 5M NaOH-lösning, för att se om eventuella effekter på avvattningsbarheten var beroende av pH.

Tabell 7 Sammanställning av försök som utfördes med en kombination av värme/syra eller värme/alkalisk hydrolys.

Sidoström, volymsandel (% av total)	Överskottsslam (ml)	Restsyra (ml)	Grönlutsslam (g)
Restsyra, 1%	200	2	
Restsyra, 1%, 80 °C	196	2	
Restsyra, 1%, 80 °C, pH 7	195	2	
Restsyra, 10%	200	20	
Restsyra, 10%, 80 °C	193	20	
Restsyra, 10%, 80 °C, pH 7	195	20	
Grönlutsslam	350		35
Grönlutsslam, 70 °C	350		35

2.2.4 Karaktärisering av bioslam och sidoströmmar

pH mättes på samtliga batcher bioslam och sidoströmmar med en InoLab 7320 pH meter med en HAM polilyte Bridge Lab pH elektrod. pH-metern kalibrerades en gång per vecka med buffertlösningar (pH 4 och 7) samt kontrollerades mot en referens på pH 8,00 vid 20 °C före och efter mätning. pH på syra och blandningar med grönlutsslam mättes med pH-stickor.

TS och VS (volatile solids, även kallat glödningsförlust) mättes i duplikat på alla provtagna bioslam samt på grönlutsslammet enligt svensk standardmetod 028113. Enbart TS mättes på den fasta fasen efter avvattnings med samma metod. Suspenderade ämnen (SÄ) mättes i triplikat på totalavlopp CTMP och bakvatten blekeri, samt på rejektivatten efter avvattnings enligt svensk standardmetod (EN 872-1996) med 1.6 µm glasfiberfilter (MGA-grade, Munktell, Sverige).

För att testa styrkan på syrorna och grönlutsblandningen (5% TS) gjordes titrerkurvor med 0,1 M NaOH respektive 1 M HCl.

Slamvolymsindex (SVI) på bioslammet mättes genom att hälla 1000 ml slam i ett mätglas, varpå slamnivån i mätglaset lästes av efter 5 och 30 minuter. SVI beräknades därefter enligt:

$$SVI(ml/g) = \frac{\text{slamvolym (ml/L)}}{\text{suspenderade ämnen (mg/L)}} \cdot 1000$$

2.2.5 Utlöst COD, NH₄-N och PO₄³⁻-P efter hydrolys

Hydrolysen påverkan på bioslammet egenskaper utvärderades genom att bestämma förändring i

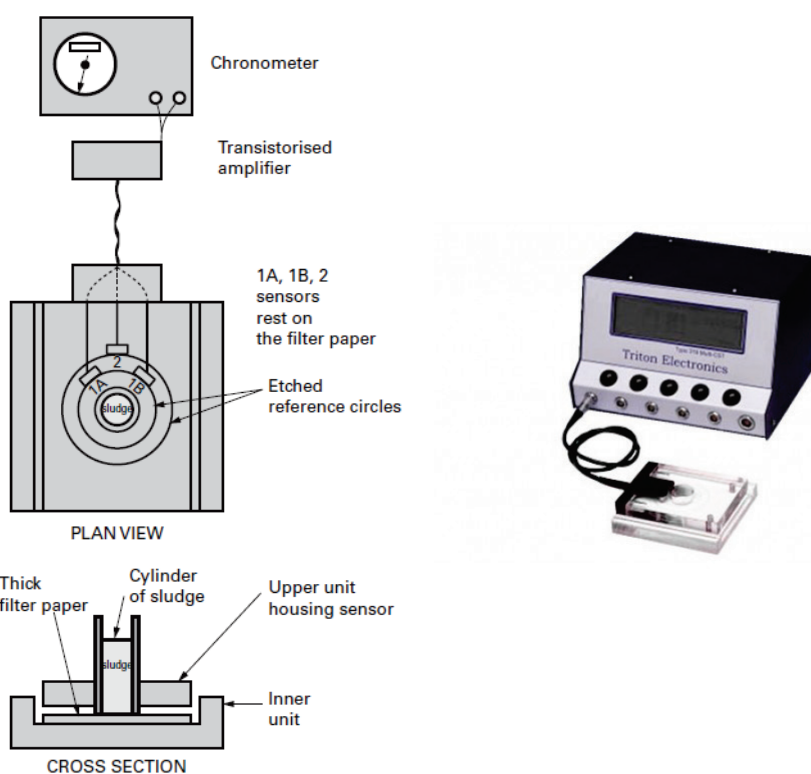
- löst/filtrerat organiskt material (COD_t , chemical oxygen demand),
- ammoniumkväve (NH_4-N_t)
- fosfatfosfor ($PO_4^{3-}-P_t$).

Efter utförd hydrolysis centrifugerades varje prov och rejektet filtrerades genom ett $1.6 \mu m$ glasfiberfilter (MGA-grade, Munktell, Sverige) för att därefter analyseras med kit från Hach enligt leverantörens instruktioner. COD analyserades med kit LCK415 och LCK 014, ammonium med kit LCK302 och LCK303, och fosfat med kit LCK349 och LCK350.

2.2.6 Avvattningsegenskaper

Capillary suction time (CST)

I detta försök användes en 304C Capillary Suction Time från Triton, och för varje prov gjordes 3–5 replikat. 5 ml slam tillsattes till en metallcylinder placerad på ett pappersfilter, och tiden det tog för vätskan i slammet att vandra i pappret mellan två elektroder registrerades.



Figur 4 Schematisk bild över CST-instrumentet (capillary suction time). Bioslam placeras i cylinder som står på ett filterpapper (undre bild, cross section), varefter vätskan i bioslammet dras ner i filtret med kapillärkraft, och tiden det tar för vätskan att färdas mellan sensorerna 1 och 2 registreras (övre bild, plan view).

Centrifugering

Obehandlat och behandlat bioslam centrifugerades vid 4700 G i 3 minuter i en Thermofisher Hereaus Megafuge eller en Beckman Coulter centrifug med JA-10-rotor. För att utvärdera separationen bestämdes TS/VS på acceptet och suspenderade ämnen på rejektvattnet på samma sätt som beskrivits i sektion 2.2.4.

Crown press

Obehandlat och värmebehandlat bioslam avvattnades med en bandpress i labskala (Crown press, SP-2689, Phipps & Bird, USA). Innan avvattning flockades slammgen genom tillsats av samma polymer och dosering som används i fullskala på respektive bruk (2,6 g/kg TS för BillerudKorsnäs Skärblacka och 1,9 g/kg TS för SCA Östrand). Därefter hälldes slammgen i en trutt med ett filter i botten (1 i Figur 5) och volymen rejektvatten som samlats upp lästes av efter 30 s. Sedan roterades slammgen mot filtret med hjälp av ett handtag kopplat till en arm (2 i Figur 5), och den totala mängden rejektvatten lästes av. Slutligen placerades slammgen mellan två filter (HF7-7040, polyester, 6 x 2 fiskbensmönster, 3 i Figur 5) och vätskan pressades ut mot en statisk, rundad yta genom att manuellt pressa slammgen enligt tryckschemat 50, 75 och 90 lbs. Acceptet från avvattningen analyserades därefter för TS enligt ovan.



Figur 5 Bandpress i labskala. Instrumentet består av 1) behållare med ett filter i botten, där en första separation sker, 2) insats med handtag som driver roterande arm, vilken placeras i behållare 1 för ytterligare separation, 3) bägare där rejekt från separation i 1 och 2 samlas upp och läses av, 4) filterdukar där slammgen från 1+2 placeras, för att sedan i ett sista steg pressas mot den kupade ytan.

2.2.7 Biokemisk metanpotentialbestämning

Biokemisk metanpotentialbestämning (BMP) utfördes för prover med en större ökning i löst COD. Testerna utfördes i triplikat i två omgångar, första gången med bioslam från SCA Östrand i ett BMP testsystem från CJC Labs (Tabell 8), andra gången med bioslam från BillerudKorsnäs Skärblacka med ett system från AMPTS II (Tabell 9). Som mikrobiell startkultur (ymp) användes vid båda tillfällena rötslam från Nykvarns reningsverk, Linköping, i ett VS-förhållande mellan ymp och substrat på 2:1. För att kunna dra bort bakgrundsproduktionen av metan från ympen inkluderades ett triplikat där bioslam ersatts med vatten, och en positiv kontroll med ymp och filterpapper (WhaPa) inkluderades för att kontrollera aktiviteten på ympen. Vid behov pH-justerades de förbehandlade slammgen till ett pH mellan 7 och 8. I övrigt följdes metoden beskriven av Ometto et al. 2017⁷ för första omgången. I den andra testomgången byttes gasfasen i testbehållarna från

⁷ Francesco Ometto et al., "Seasonal Variation of Elements Composition and Biomethane in Brown Macroalgae," 2017, doi:10.1016/j.biombioe.2017.11.006.

luft till N₂ istället för till en 80:20 % blandning av N₂ och CO₂, och vätskan i testbehållarna rördes om med en hastighet av 10–14 RPM.

Producerad metan registrerades online med gasflödesmätare och presenteras här som ackumulerad gas minus metanproduktionen från ympen i enheten Nml, dvs antal ml normaliserat till 0 °C och 1 atm.

Tabell 8 Försöksupställning för metanpotentialbestämning av slam från SCA Östrand. W3 = näringslösning

Prov	Ymp (ml)	Obehandlat bioslam (ml)	Behandlat bioslam (ml)	H ₂ O (ml)	W3 (ml)
Ymp	200			290	10
WhaPa	200			290	10
Bioslam	200	290			10
Bioslam, 80 °C 1h	200		290		10
Restsyra, 1%	200		290		10

Tabell 9 Försöksupställning för metanpotentialbestämning av slam från BillerudKorsnäs Skärblacka. GLS = grönlutsslam

Prov	Ymp (ml)	Obehandlat bioslam (ml)	Behandlat bioslam (ml)	H ₂ O (ml)
Ymp	100			150
WhaPa	100			150
Bioslam	100	150		
Bioslam, 70 °C 1h	100		150	
Restsyra, 1%	100		150	
GLS ^a	100		150	
GLS ^a , 70 °C 1h	100		150	

^a 65 g GLS blandades i 650 ml bioslam

2.3 AP3 - TEKNISK UTVÄRDERING

Baserat på resultatet från de laborativa försöken (AP2) valdes den mest lämpliga behandlingen ut och ett teoretiskt processkoncept togs fram.

I den tekniska utvärderingen beskrivs dels de strömmar och flöden som ingår i processkonceptet mer ingående med hjälp av ett flödesdiagram och dels för konceptet nödvändig maskin och utrustning. En massbalans upprättades med avseende på flöde och TS för samtliga strömmar och de antaganden som använts vid beräkningarna listades. Massbalansen utgör grunden för dimensionering av utrustning.

En kostnadsbesparingsanalys har också gjorts genom att jämföra uppskattade kostnader för extern avsättning för ett referensfall med fall där slammet genomgått hydrolys utifrån ett antal förutsättningar.

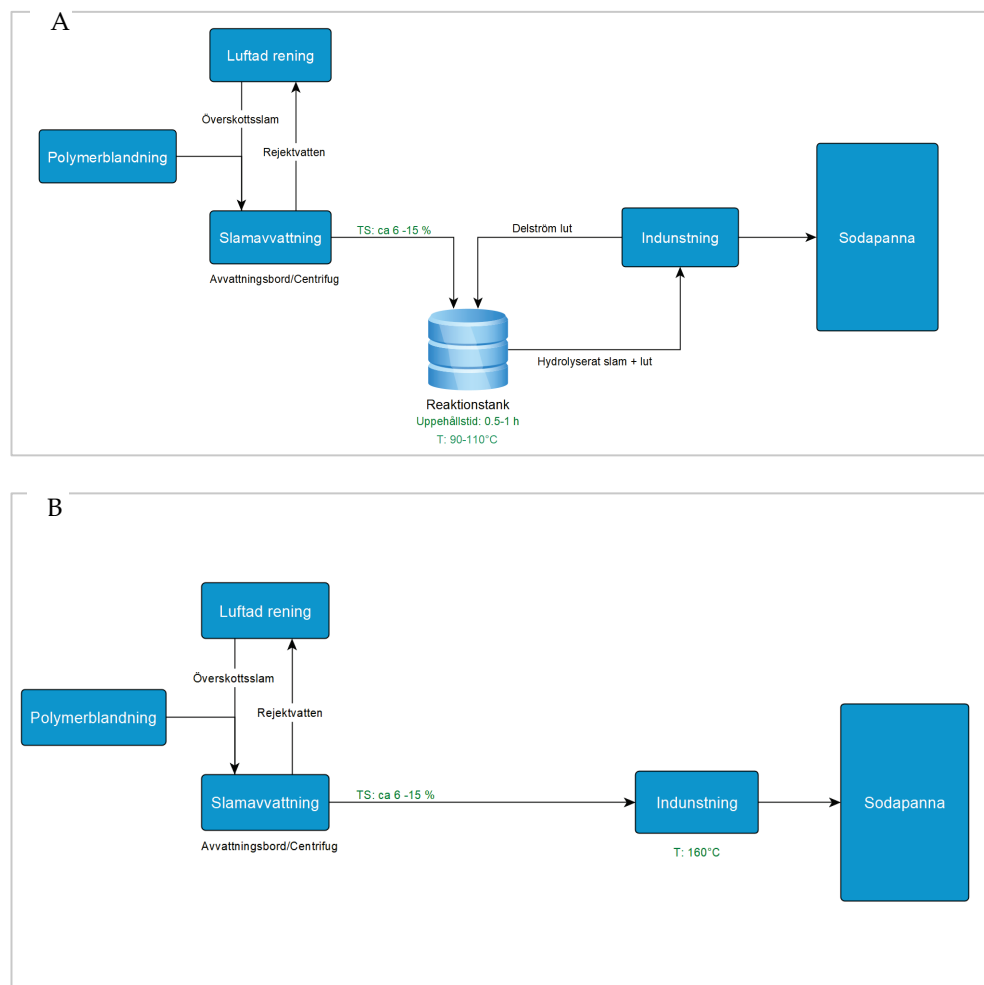
3 Resultat och diskussion

3.1 AP1 - INTERVJUSTUDIE

3.1.1 Bruk med indunstning och förbränning av bioslam

De flesta av medverkande bruk som tillämpar förbehandling och indunstning av bioslam utför behandlingen enligt flödesschemat i Figur 6A. Principiellt så avvattnas bioslam från den luftade reningen tillsammans med polymer på avvattningsbord eller centrifug till en TS-halt på 6–15 % (högre torrhalt med centrifugering). Det avvattnade bioslammet förs sedan, tillsammans med mellanlut från indunstningen, till en reaktionstank, där slammet sedan hydrolyseras i 0,5 – 1 h, vid en temperatur på 80 – 100 °C. Temperaturen och uppehållstiden beror på från vilken effekt som luten hämtas, ju senare effekt desto högre temperatur och TS (och därmed högre hydrolyserande effekt) har luten, vilket gör att behandlingstiden kan kortas. Efter avslutad hydrolys förs sedan blandningen tillbaka in i lutcykeln för att slutligen förbrännas i sodapannan.

Ett av bruken utnyttjar just att styrkan på luten minskar behandlingstiden, och tar luten från den näst sista effekten. Luten blandas med bioslammet direkt i ledningen till sista indunstaren ($T = 160\text{ °C}$) och bränns därefter i sodapannan (Figur 6B).



Figur 6 Flödesschema över två olika lösningar för förbehandling, indunstning och förbränning av bioslam

Anledningen till att många bruk gått över till denna typ av bioslamshantering är höga kostnader för extern hantering. Ett bruk nämner att man slipper problem med förhöjda utsläpp av kväveoxider när man inte bränner slammet i barkpannan. Ett annat bruk nämner att eftersom de har haft problem med Legionella är det positivt att slamhanteringen sker i ett slutet system. Man ser fördelar med att kunna hantera bioslammet inom brukets egna gränser.

Ovan nämnd metod är begränsad till sulfatbruk, som har tillgång till lut, indunstning och sodapanna. Därtill är lösningen vanligast på rena massabruk, eftersom pappersproduktionen för med sig kemiska ämnen som ställer till med problem när de ackumuleras i processen. Bland annat nämner många bruk att Mg/Al-kvoten kan orsaka störningar i kemikalieåtervinningen, där aluminium kan komma från dosering i avvattningen eller från papperstillverkningen. Ett bruk som doserade aluminium i vattenreningen fick minska på tillsatserna för att komma till rätta med problemet. Ett annat av de medverkande bruken, ett integrerat massa- och pappersbruk, undvek problem med metaller från pappersidan genom en separat biorening för det avloppsvattnet, och att bara indunsta det bioslam som kommer från massasidan. Ett annat bruk nämner att indunstning av bioslam orsakar förhöjda halter av klorid i lutcykeln, vilket avhjälpas genom att köra

asklakning i större utsträckning. Högre TS på slammet medför också att mindre klorid följer med till indunstningen.

De flesta av de medverkande bruken rapporterar att man inte märker att det uppkommer några driftsproblem länkat till indunstningen av bioslam med luten, och några tycker till och med att processen fungerar bättre med bioslammet då det verkar bidra till att mängden inkruster på effekterna minskar. Det bör dock noteras att det är väldigt viktigt att slammet tillförs på rätt ställe i processen för att denna effekt ska uppnås.

Något att tänka på är valet av utrustning för avvattning av bioslammet, ett våtare bioslam kostar mer ånga i indunstningen, och har man en kapacitetsbegränsning i indunstningen kan detta vara en viktig faktor. Likaså belastar bioslammet sodapannan med torrs substans, vilket också kan vara en flaskhals. Instabil avvattning med stora variationer leder också till driftsproblem i indunstningen, och här tycker flera bruk att det är viktigt att lägga resurser på att hitta en driftssäker avvattningsprocess. Att bioslammet inte innehåller föroreningar är också en viktig faktor, då restfiber och plaster mm. kan bränna fast på effekterna och skapa problem. Förbränning av bioslam i sodapannan kan också generera utsläpp av kväveoxid (NO_x), vilket kan begränsa möjligheten för vissa bruk med redan höga utsläpp.

Kartering restvärme och restströmmar

De fördjupade intervjuerna visade på ett antal möjliga restströmmar med potential för förbehandling/hydrolys av bioslam (se sektion 2.2.2 för detaljer):

- Varma avlopp (60–90°C)
- Totalavlopp CTMP, varmt vatten innehållandes peroxidrester och fiber
- Peroxidrikt blekerifiltrat CTMP
- Alkaliskt blekerifiltrat sulfat (EOP)
- Grönlutsslam, alkaliskt
- Restsyra från klordioxidproduktion
- Syravatten från talloljeproduktion

Tillgång på restvärme och restkemikalier från termomekanisk massa var låg hos de bruk som medverkade i studien. Den restvärme som fanns tillgänglig var främst lågvärdig, och ofta återvanns den inom bruket eller användes som fjärrvärme i närliggande samhällen.

3.2 AP2 - LABORATIVA FÖRSÖK MED UTVALDA STRÖMMAR

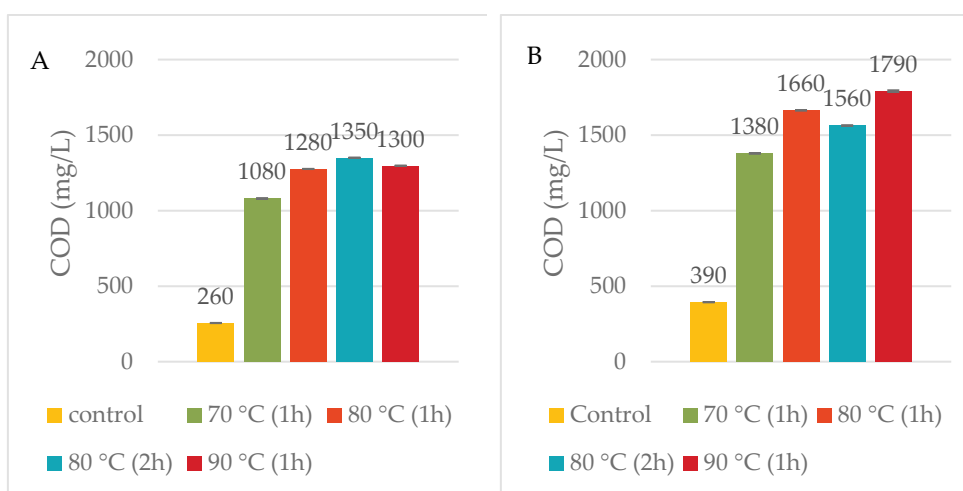
3.2.1 Effekt av hydrolys på löst COD, fosfat och ammonium

COD på filtrerade prover efter centrifugeringen analyserades och användes som ett relativt mått på hur effektiv en specifik förbehandling var på att bryta ner vattenbindande biomolekyler (EPS) och mikroorganismernas cellväggar i bioslammet. Procentuell ökning i COD-halt anges i förhållande till obehandlat bioslam.

Även ammoniumkväve och fosfatfosfor användes som en möjlig indikator på graden av hydrolysis. Dessvärre verkade ammoniumanalysen störas av kemikalierna från behandlingarna, varför enbart resultaten från värmebehandlingen inkluderas i denna rapport.

Termisk hydrolysis

Av de olika förbehandlingarna som utvärderades gav termisk hydrolysis störst ökning i löst COD för båda bioslammen (Figur 7), vilket indikerar att värmen brutit upp celler och makromolekyler i slammen. För slammet från BillerudKorsnäs Skärblacker gav även en temperaturhöjning från 70 till 80 °C en ökning i löst COD med 18%, medan en längre behandlingstid vid samma temperatur eller en höjning till 90 °C inte gav större ökad effekt (Figur 7A). För slammet från SCA Östrand kunde man se liknande resultat, men här gav även en ökning till 90°C en liten ytterligare ökning i löst COD. Sammanfattningsvis varierade effekten av värmen något beroende på vilket bioslam som behandlats, men i båda fallen gav 80 °C en bättre effekt än 70 °C.



Figur 7 Löst organiskt material i form av filtrerat COD (chemical oxygen demand) i värmebehandlat bioslam från A) BillerudKorsnäs Skärblacker och B) SCA Östrand

Mängden fosfatfosfor skiljde sig åt mellan de obehandlade bioslammen, 0,5 mg/l hos BillerudKorsnäs Skärblacker och 6,3 mg/l hos SCA Östrand (Bilaga 3). Värmebehandling gav en tydlig ökning i fosfatfosfor för båda bruken, i ett spann på 8,1 - 11,2 g/l för Skärblacker och 13,2 - 19,6 mg/l för Östrand, med det högsta värdet efter behandling vid 80 °C. Vad gäller ammonium skedde en viss ökning i bioslammet från BillerudKorsnäs Skärblacker jämfört med kontrollen, men sammantaget blev halten ändå låg, från 0,01 till 1,1-1,7 mg/l (Bilaga 4). I bioslammet från SCA Östrand kunde ingen tydlig skillnad ses efter behandling.

Peroxidhaltiga strömmar

Hydrolysis med peroxidhaltigt bakvatten från blekeri på CTMP-linjen gav ingen märkbar positiv effekt på mängden löst COD (Figur 1 i Bilaga 5). Dessvärre framkom efter försökets avslut att den COD-analys som använts kan ge en falsk

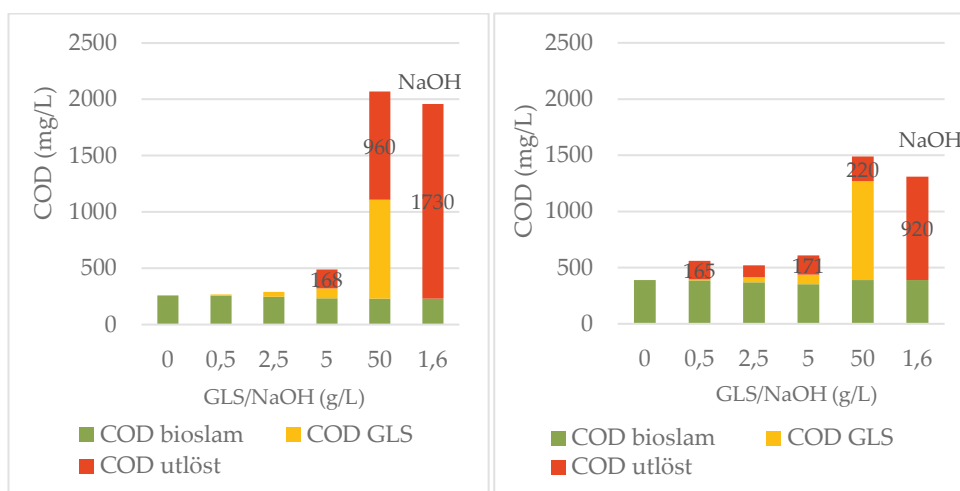
positiv ökning i COD vid höga peroxidhalter, vilket gör resultaten från dessa tester svårtolkade. Ytterligare tester med blanka peroxidprover skulle behövas för att fastställa den faktiska ökningen i löst COD vid hydrolysis med peroxidhaltigt bakvatten.

För behandlingen med 50% av CTMP totalavlopp ökade halten löst COD från 390 till 2270 mg/l (Figur 1 i Bilaga 5). Dock var halten löst COD i CTMP totalavlopp 8830 mg/l, vilket innebär att den stora ökningen i löst COD i behandlat bioslam härstammade från COD i det tillsatta processvattnet, snarare än att det lösts ut från bioslammet. Peroxidhalten i CTMP totalavlopp var dessutom ganska låg, 25 mg/l (Tabell 2), vilket indikerar att den hydrolyserande effekten var svag.

Alkalisk hydrolysis

Alkalisk hydrolysis med 25% EOP-vatten gav en ökning i löst COD från bioslammet med 9% (från 190 till 216 mg COD/L, borträknat den andel COD på 390 mg/L som kom med EOP-vattnet). För en tillsats på 50 och 75% EOP blev andelen COD från EOP:n så pass stor att ingen ökning av COD från bioslammet kunde urskiljas (Figur 2 i Bilaga 5). Mängden alkali i vattnet bedömdes efter pH-justering vara låg, motsvarande omkring 0,1 g NaOH/l, och peroxidhalten låg på 10 mg/l, vilket förklarar varför denna sidostrom hade så liten effekt på mängd löst COD. Dock finns strömmen tillgänglig i stora volymer (10 000 m³/d) och håller en temperatur på omkring 70 °C (Tabell 2), så det finns möjlighet att använda den för termisk hydrolysis (via värmeväxling).

Hydrolysis med grönlutsslam gav framför allt en tydlig ökning i löst COD vid den högsta tillsatsen (50 g/l), här sågs en ökning i total COD från 260 till 2070 mg/l för BillerudKorsnäs Skärblacka och från 390 till 1310 mg/l för SCA Östrand (Figur 8). Dock innehöll grönlutsslammet i sig också COD, motsvarande 18 mg COD/g grönlutsslam (torrt) och den faktiska ökningen i löst COD blev därför 960 mg/l i slammet från BillerudKorsnäs Skärblacka och 220 mg/l i slammet från SCA Östrand (se röd serie, Figur 8).



Figur 8 Alkalisk hydrolysis med A) GLS på slam från Billerud Korsnäs Skärblacka, samt B) GLS på slam från SCA Östrand. Även resultat från behandling av bioslam med natriumhydroxid (NaOH) visas. GLS = grönlutsslam, COD = chemical oxygen demand.

Precis som vid värmebehandling gav Skärblackas slam högre halter löst COD vid behandling med GLS jämfört med Östrands slam, åtminstone vid högre koncentrationer grönlutsslam. En orsak skulle kunna vara att Skärblacka har ett äldre slam, potentiellt med mycket extracellulära biomolekyler (EPS) som bryts loss vid behandlingarna.

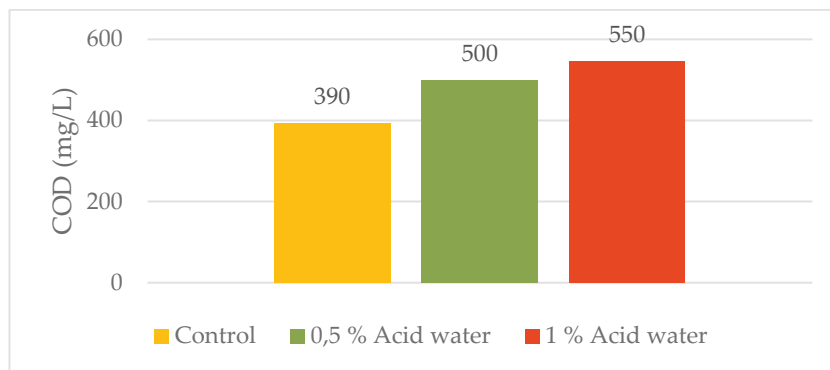
Kontrollen med NaOH (1,6 g/l) visade att alkalisk förbehandling kan vara mycket effektiv för att lösa ut COD från bioslam, men även här syns en tydlig skillnad mellan Skärblackas och Östrands slam

De olika alkaliska förbehandlingarna hade generellt sett ingen större påverkan på halten fosfatfosfor i bioslammen, undantaget behandlingen med grönlutsslam (50 g/l) och NaOH (1,6 g/l) på bioslam från BillerudKorsnäs Skärblacka, där koncentrationen ökade från 0,5 mg/l till 4,3 (grönlutsslam) och 2,2 g/l (NaOH). Som jämförelse gav ingen av de alkaliska behandlingarna någon ökning i fosfatfosfor i bioslammet från SCA Östrand.

Sur hydrolysis

Sur hydrolysis med restsyra gav ingen tydlig effekt på koncentrationen av löst COD i vare sig bioslam från BillerudKorsnäs Skärblacka eller SCA Östrand (Figur 3 i Bilaga 5). En möjlig förklaring kan vara att den COD som eventuellt löses ut oxideras av syran, vilket är positivt då det skulle minska belastningen på bioreningen om man efter avvattnings återför rejektet dit. Behandlingen gav inte heller någon större effekt på halten fosfatfosfor i bioslammet från BillerudKorsnäs Skärblacka, medan halten mer än fördubblades vid behandling med restsyra (1 och 10%) av bioslam från SCA Östrand, från 6.3 mg/l i kontrollen till 13 respektive 12 mg/l (Bilaga 3).

Behandling med syravatten från SCA Östrand gav en viss ökning i COD-halt, från 390 mg/l i kontrollen till 500 och 550 mg/l med en tillsats på 0,5 och 1% syravatten (Figur 9). Dock innehöll syravattnet i sig ganska mycket COD (11 000 mg/l, Tabell 2), och detta motsvarar ungefär 20% av ökningen (11 och 22 mg/l COD för 0,5 och 1% syravatten). Det är möjligt att en förbehandling med 10% syravatten hade gett en starkare effekt på COD-halten, men denna koncentration testades inte inom projektet.



Figur 9 Löst organiskt material i form av filtrerat COD (chemical oxygen demand) i bioslam behandlat med restsyra (spont acid) från A) BillerudKorsnäs Skärblacka och B) SCA Östrand, eller C) bioslam behandlat med syravatten (acid water) från SCA Östrand

Sammanfattning löst COD, fosfat och ammonium.

Sammantaget var det bara termisk hydrolysis som gav en tydlig effekt på löst COD i bioslammet. Kontrollen med NaOH visade att alkalisk hydrolysis är effektiv metod för att lösa ut COD om alkaliniteten är stor nog, och en tillsats av 50 g/l grönlustslam gav en ökning i löst COD på 200–1000 mg/l. En viss ökning i löst COD kunde konstateras vid hydrolysis med syravatten från SCA Östrand.

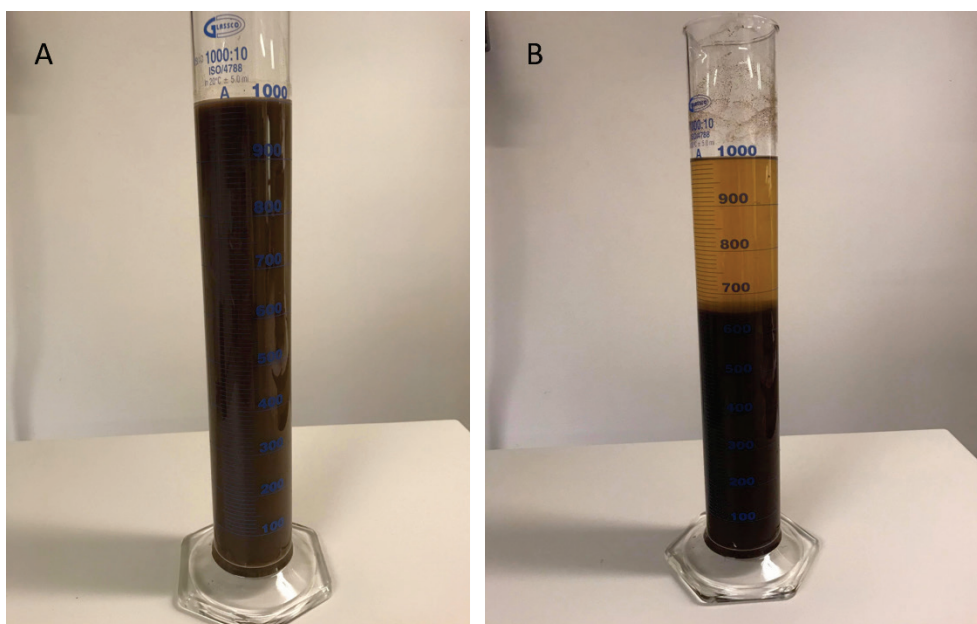
Inga tydliga slutsatser kunde dras vad gäller kopplingar mellan ökning i halterna löst COD och koncentrationen av fosfatfosfor eller ammoniumkväve. Generellt ökade fosfatfosfor mer än ammoniumkvävet vilket kanske kan förklaras med att en stor del av det hydrolyserade materialet är fosfolipider men det kan vi inte belägga i denna studie.

3.2.2 Effekt av hydrolysis på avvattningsegenskaper

Eventuella förändringar i avvattningsegenskaper utvärderades primärt genom separation med centrifugering, där ökad torrhalt på det avvattnade slammet (acceptet) ansågs demonstrera förbättrade avvattningsegenskaper i de förbehandlade slammen (Figur 3). Därtill användes capillary suction time (CST) som enligt litteraturen kan indikera förändringar i avvattningsegenskaper: Ju längre tid det tar för vattnet att släppa från slammet och med kapillärkraft dras in i ett filter, desto högre vattenhållande kapacitet har slammet, vilket i sin tur antyder att slammet är svårare att avvattna. För de mest lovande förbehandlingarna utfördes utökade tester, där kombinationer av restström och värme utvärderades. En enklare massbalans baserad på askhalter i acceptet och suspenderade ämnen i rejektvattnet gjordes.

SVI

Sedimenteringsegenskaperna i de obehandlade bioslammen var olika, vilket syntes tydligt i SVI-testet (Figur 9) där SVI var 252 ml/g för BillerudKorsnäs Skärblacka och 114 ml/g för SCA Östrand. Detta indikerar att de obehandlade slammen har olika avvattningsbarhet, och stärker misstanken om att förklaringen till att slammen svarar olika på termisk och alkalisk behandling ligger i slammens struktur. En orsak skulle kunna vara att SCA Östrand har mycket kortare slamålder i sin reningsanläggning jämfört med Skärblacka (8-9 dygn jämfört med ca. 20 dygn). En annan förklaring är att bruken har olika typ av luftare, där Skärblacka har ytluftare och Östrand ett fast grovblåsig luftningssystem i botten av bassängerna.

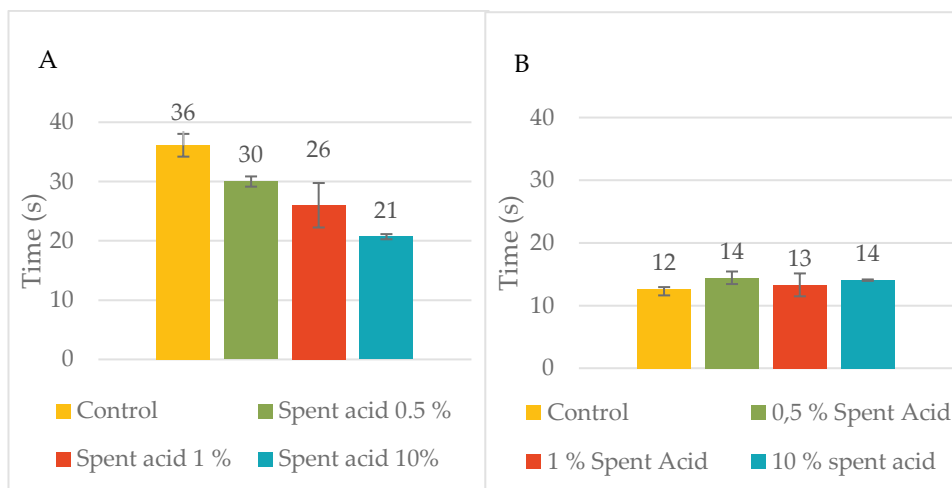


Figur 10 Sedimentering i rör för bioslam från A) BillerudKorsnäs Skärblacka och B) SCA Östrand

Capillary suction time

Generellt fanns ingen tydlig koppling vare sig mellan CST och löst COD, mellan CST och torrhalt i accept eller mellan CST och susp i rejektvattnet, och därför har en majoritet av resultaten för CST (termisk och alkalisk hydrolys, hydrolys med peroxidhaltigt vatten) placerats i Bilaga 6. För sur hydrolys med restsyra fanns en indikation på förbättrade avvattningssegenskaper vid ökad tillsats syra i bioslammet från BillerudKorsnäs Skärblacka (Figur 11A). Ett motsvarande resultat kunde inte ses för slammet från SCA Östrand (Figur 11B), vilket möjligen skulle kunna förklaras av att tiden för CST-testet redan var mycket kortare i det obehandlade bioslammet för Östrand (12 s) jämfört med Skärblacka (36 s).

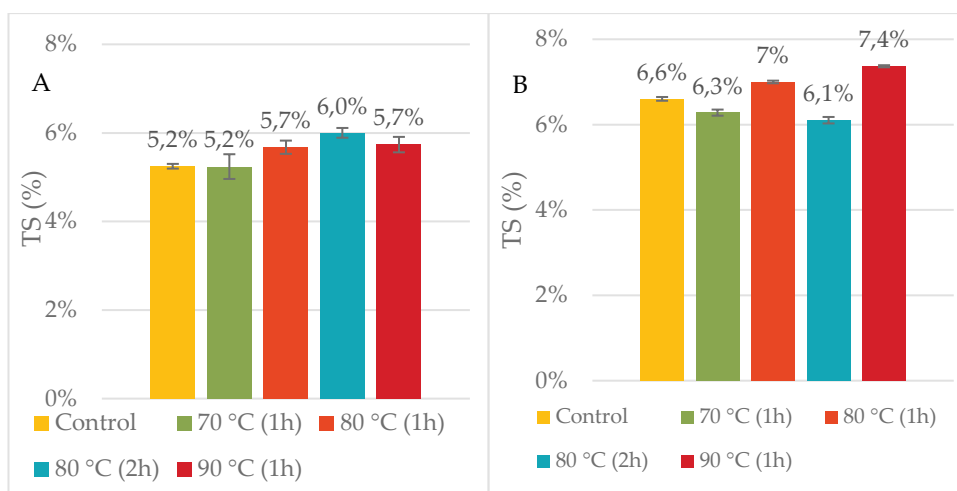
Här ser man också en koppling mellan CST och SVI, där obehandlat slam från SCA Östrand uppvisar både kortare CST och lägre SVI.



Figur 11 Capillary suction time (CST) efter sur hydrolys med restsyra i bioslam från A) Billerud Korsnäs Skärblacka, och B) SCA Östrand

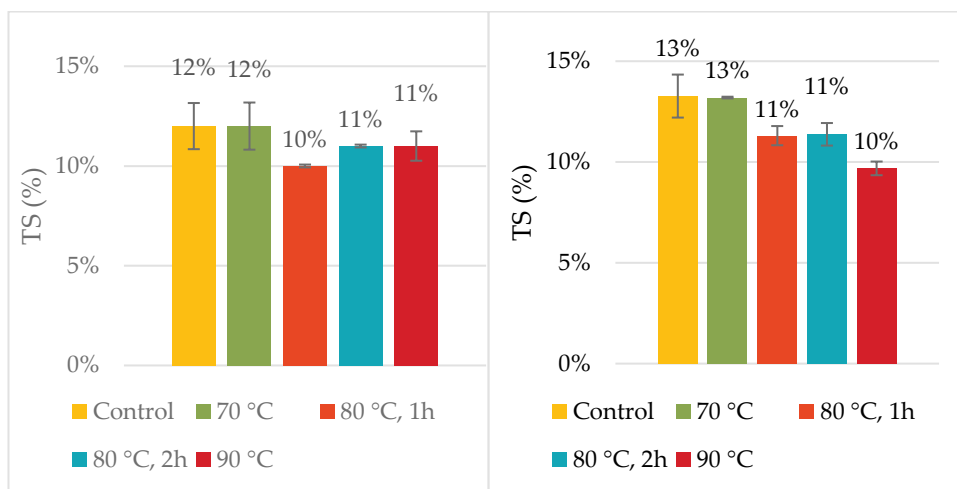
Termisk hydrolys

Termisk hydrolys gav liten eller ingen effekt på TS i det avvattnade slammet efter centrifugering (Figur 12). Störst ökning uppnåddes vid 80 °C i 2h för slam från BillerudKorsnäs Skärblacka (från 5,2 till 6,0 %), och vid 90 °C i en timme för SCA Östrand (6,6 % till 7,4 %). Detta visar att ökade halter löst COD som följd av värmebehandling (Figur 7), inte behöver leda till en förbättrad avvattning.



Figur 12 Torrhalt (TS, %) i accept efter termisk hydrolys och centrifugering av slam från A) BillerudKorsnäs Skärblacka och B) SCA Östrand

En bandpress i labskala användes också för att ytterligare utvärdera avvattningsbarheten för värmebehandlat slam från BillerudKorsnäs Skärblacka och SCA Östrand. Dessa försök indikerade till och med en viss försämring i torrhalt på acceptet efter värmebehandling, främst på slam från SCA Östrand, med lägst torrhalt efter behandling vid 90 °C (10% jämfört med 13% i kontrollen; Figur 13). En skillnad i metoden mot avvattning med centrifug var att här användes polymer, vilket normalt sett leder till förbättrad avvattning. Dock har man med värmebehandlingen förändrat slammets egenskaper, vilket skulle kunna leda till att polymeren inte längre är lämplig och att en ny måste provas ut.



Figur 13 Torrhalt (TS, %) i accept efter termisk hydrolys följt av avvattningsmed bandpress. Testen utfördes med bioslam och polymer från A) BillerudKorsnäs Skärblacka och B) SCA Östrand

Peroxidhaltiga strömmar

Hydrolys med peroxidhaltigt blekfiltrat på bioslam från SCA Östrand gav en sämre avvattningsgrad vid centrifugering, med en torrhalt i acceptet på 2,5% jämfört med 6,6% i kontrollen (Figur 1 i Bilaga 7). Även vid inblandning med fiberrikt totalavlopp från CTMP försämrades torrhalten i acceptet, från 6,6 till 6%.

Tidigare studier har visat att peroxid kan bryta ner EPS och cellväggar och frigöra bundet vatten⁸. I en studie av Yang et al. (2016)⁹ kombinerades förbehandling av bioslam med peroxid med inblandning av jutefiber och polymer för att ge struktur och flockulering av slammet. I studien sågs en positiv effekt på avvattningsgraden från inblandning med fiber (mätt som torrhalt på filterkakan och volym av supernatanten), och här gav peroxiden ytterligare förbättrade avvattningssegenskaper. Dock fanns en optimal dosering av peroxid (100 kg/ton), där högre dos peroxid gav sämre torrhalt och större volym supernatant. På liknande vis skulle det kunna vara så att halten peroxid som tillsattes bioslammet i denna studie var högre än vad som var optimalt. Det är också möjligt att peroxiden hade en positiv effekt på slammet i den bemärkelsen att vatten frigjordes i större utsträckning, men att polymer eller någon fibrös struktur sedan krävdes för att ge en fullgod avvattningsgrad.

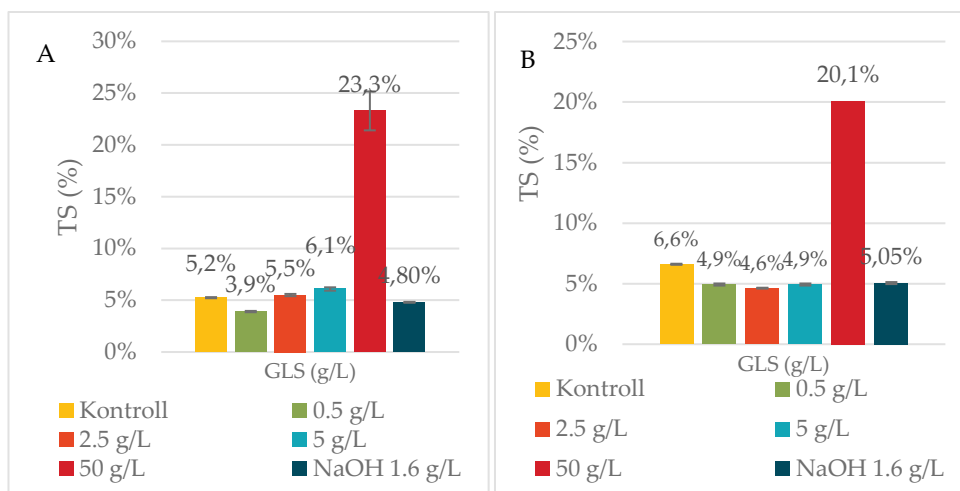
I kontrast till detta gav den fiber som tillsattes via CTMP-vattnet inte någon ökad torrhalt. Då flertalet massa- och pappersbruk samavvattnar bioslam med fiberslam för att få upp torrhalten i bioslammet fanns en förhoppning om att den fiber som CTMP-vattnet bidrog med skulle leda till bättre avvattningsgrad och därmed högre torrhalter, men så verkar inte vara fallet i denna studie.

⁸ Dong-Qin He et al., "A Fenton-like Process for the Enhanced Activated Sludge Dewatering," accessed January 17, 2022, doi:10.1016/j.cej.2015.03.034.

⁹ Jie Yang, Shuai Chen, and Hui Li, "Dewatering Sewage Sludge by a Combination of Hydrogen Peroxide, Jute Fiber Wastes and Cationic Polyacrylamide," 2016, doi:10.1016/j.ibiod.2016.10.027.

Alkalisk hydrolysis

Behandling av bioslammen med grönlutsslam hade liten effekt vid låga koncentrationer, men vid en tillsats på 50 g/l gav behandlingen en TS i acceptet på 20–23% (Figur 14). Dock indikerar den höga askhalten (glödningsresten) i grönlutsslammet att det innehåller mycket salter. Därmed kan en orsak till de högre TS-halterna i det avvattnade slammet vara att en del av grönlutsslammet ligger kvar i fast form. Fler tester skulle behövas för att utreda detta till fullo.



Figur 14 Torrhalt (TS, %) i accept efter hydrolysis med grönlutsslam och centrifugering av bioslam från A) BillerudKorsnäs Skärblacka och B) SCA Östrand

Den högsta koncentration av grönlutsslam (50 g/l) gav störst ökning i både utlöst COD och torrhalt i acceptet (Figur 8, Figur 14). För NaOH resulterade den tydliga ökningen i COD-halt snarare i en viss minskning i torrhalt, vilket på samma vis som för värmebehandling visar att en effektiv hydrolysis inte nödvändigtvis resulterar i förbättrade avvattningssegenskaper.

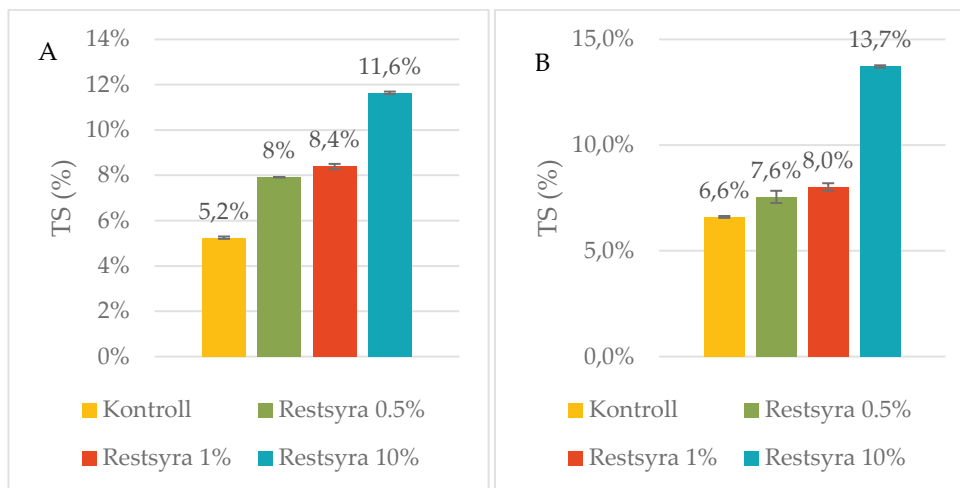
En ytterligare nackdel med grönlutsslammet är att det innehåller en hel del metaller och andra ämnen som skulle kunna lösas ut och därmed återföras med rejektivattnet. Skulle grönlutsslam övervägas som alternativ för hydrolysis skulle en mer noggrann analys över vilka ämnen som hamnar i det avvattnade slammet och i rejektivattnet, och hur dessa skulle kunna påverka den luftade reningen (dit rejektivattnet normalt återförs) och hanteringen av den fasta fasen.

Förbehandling med EOP gav en svagt negativ effekt på torrhalten i acceptet, med den lägsta torrhalten för 75% inblandning, 5,1 % jämfört med 6,23% i kontrollen (Figur 2 i Bilaga E). Sannolikt blir bioslammet vid så stor utspädning svårt att avvattna, oavsett om vattnet haft en hydrolyserande effekt eller ej.

Sur hydrolysis

Sur hydrolysis med restsyra gav en klar effekt på TS-halten i acceptet för båda bioslammen, särskilt vid en tillsats på 10% restsyra (Figur 15). På grund av höga koncentrationer salter var TS-halten i restsyran hög, omkring 60%, vilket betyder

att en del av den TS man ser i acceptet sannolikt kommer från syran. Detta utvärderades mer i detalj i de kombinerade testerna (nedan).



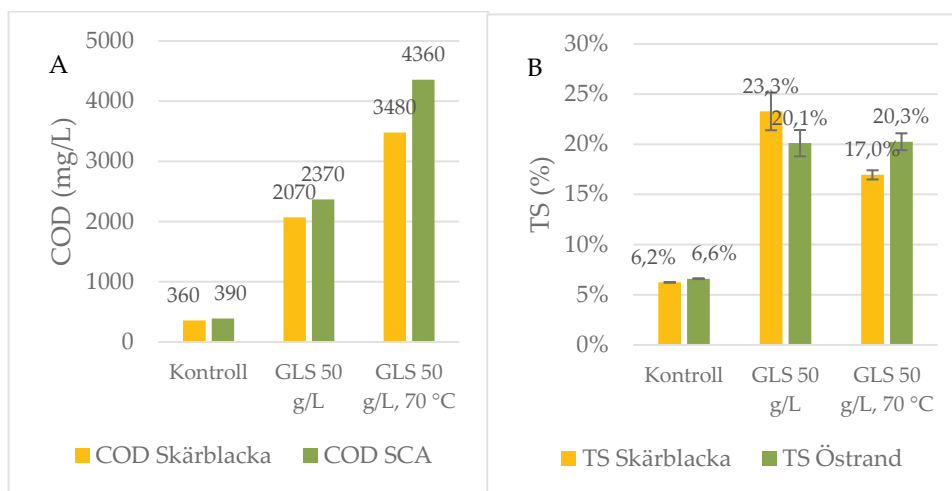
Figur 15 TS i accept efter hydrolys med restsyra på bioslam från A) BillerudKorsnäs Skärblacka, B) SCA Östrand

Förbehandling med syravatten gav en svagt negativ effekt på torrhalten efter centrifugering, med en TS på 5,9 % vid både 0,5 och 1% inblandning med syravatten (Figur 3, Bilaga 7). Förklaringen är troligen den betydligt svagare syraeffekten i syravattnet jämfört med restsyran. pH på det behandlade slammet var 1,7 – 2,2 efter tillsats av restsyra och 7,2 – 7,3 efter tillsats av syravatten (Tabell 11).

Kombination termisk + kemisk hydrolys

I en första omgång undersöktes om grönlutsslam i kombination med värme kunde ge en ökad påverkan på slammen. Vad gäller COD visade tester på bioslam från Skärblacka en tydlig ökning i löst COD, från 2070 mg/l till 3480 mg/l med grönlutsslam i 70 °C (Figur 16A). Dock gav behandlingen inte motsvarande positiv effekt på TS-halten, utan resulterade i stället i en minskning i TS, från 20,3 till 17% (Figur 16B). Motsvarande resultat på bioslam från SCA Östrand visade på en större ökning i löst COD när grönlutsslam kombinerades med värme, från 2370 mg/l till 4360 mg/l (Figur 16A), men visade inte på någon skillnad i TS på acceptet (Figur 16B). Enbart värme (70 °C) gav, som redan nämnts, en ökning i COD till omkring 1100–1400 mg/l (Figur 7). Sammantaget visar resultaten att förbehandling med grönlutsslam och värme ger mer löst COD än de enskilda behandlingarna, vilket skulle kunna vara en indikation på att de påverkar olika strukturer i bioslammet. Ur avvattnings synpunkt är dock inte värmebehandling intressant.

Enbart värmebehandling gav en tydlig ökning i fosfatfosfor. Denna effekt är svagare när behandlingen utförs i kombination med grönlutsslam, med en ökning från 0,5 till 4,4 g/l istället för till 9,8 mg/l med bara värme (Bilaga 3).

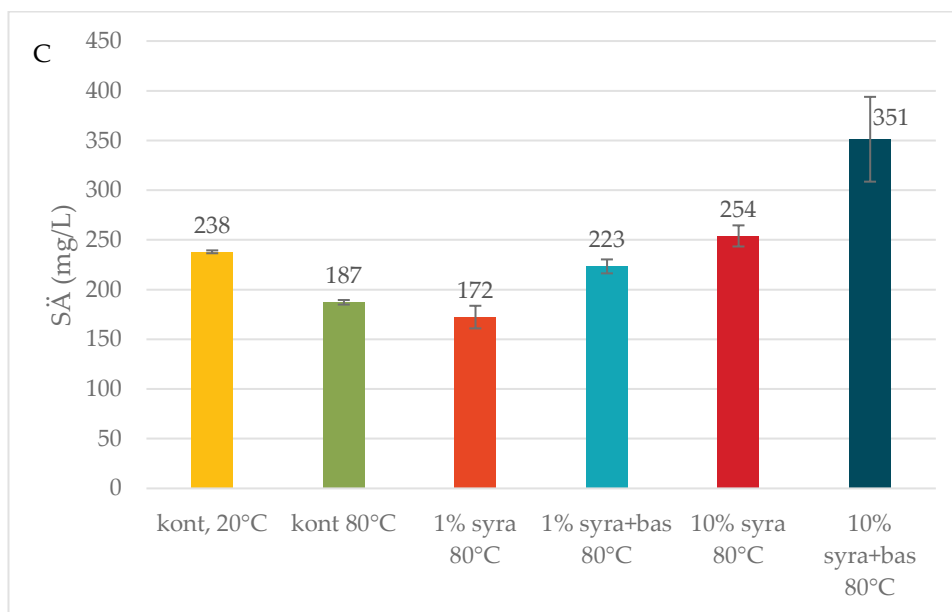


Figur 16 Effekt av förbehandling med en kombination av grönlutsslam (GLS) och värme på bioslam från BillerudKorsnäs Skärblacka och SCA Östrand, gällandes A) Löst COD (chemical oxygen demand) och B) torrhalt (TS) i acceptet efter centrifugering

På liknande vis undersöktes om kombinationen värme och restsyra kunde ge ytterligare positiva effekter på löst COD och vid avvattnings. I denna testomgång gjordes även en bestämning av askhalter i det avvattnade slammet och suspenderade ämnen i rejektivattnet. Resultaten indikerar en svagt negativ effekt på utlöst COD när syran inkluderas i behandlingen (Figur 17A). En anledning kan vara att syran bryter ner en del av den COD som värmebehandlingen ger, alternativt att effekten av värmebehandlingen hämmas på något vis i närvaro av syran. För 1% syra innebar det en minskning i löst COD från 910 mg/l med bara värme till 780 mg/l när syra inkluderades. Resultaten med 10% syra och värme uppvisade stor variation och mellan de två testomgångarna och utslöts därför ur grafen. Vid pH-justering efter avslutad behandling sjönk andelen löst COD ytterligare, till 650 mg/l (Figur 17A). Orsaken till detta är oklar, och fler tester för att säkerställa att det verkligen är en skillnad mellan proverna skulle behövas.

Fosfatfosfor bestämdes i en tidigare testomgång enbart på behandling med 1% restsyra med och utan värme. Här kunde man se en ökning i fosfat från kontroll till restsyra, och vidare till restsyra + värme, från 0,5 till 12 respektive 19 mg/l.





Figur 17 Effekten av förbehandling med värme och restsyra på bioslam från BillerudKorsnäs Skärblacksa avseende A) fast och löst COD, B) torrhalt, uppdelat på VS och askhalt, i acceptet efter centrifugering, och C) suspenderade ämnen i rejektet. Även effekten av pH-justering efter avslutat förbehandling men innan centrifugering utvärderades.

Värmebehandling av bioslammet i kombination med restsyra hade ingen effekt på torrhalten i acceptet jämfört med tillsats av enbart restsyra (Figur 17B). COD-halten vid kombinationen var dock högre med värme, 780 mg/L jämfört med 230 mg/L (Figur 17A), vilket skulle vara negativt ur belastningssynpunkt om rejektet efter avvattning skickas tillbaka till reningen.

Eftersom avvattning ofta kopplas till laddning av partiklar och hur de attraherar/repellerar varandra fanns en misstanke om att det låga pH:t i restsyran var anledningen till den förbättrade torrhalten, och att denna positiva effekt skulle försvinna om slammet pH-justerades, något som skulle krävas för att kunna avvatta bioslammet i befintlig utrustning. Efter pH-justering med NaOH till pH 7 innan centrifugering konstaterades det dock att torrhalten i acceptet var fortsatt hög, både vid 1 och 10% förbehandling med syra, vilket indikerar att syran orsakat en permanent förändring i slammets struktur. Däremot orsakade pH-justeringen en ökning i askhalt (procent av våtvikt), i fallet 10% restsyra sågs en fördubbling i andel aska, från 4% till 8%. Samtidigt resulterade pH-justering i en viss ökning i mängden suspenderade ämnen i rejektvattnet, från 170 till 220 mg/l vid behandling med 1% syra och 80 °C, vilket indikerar att mer av bioslammet låg kvar i rejektvattnet som susp. Båda dessa effekter är oönskade, eftersom man vill ha så låga slammängder som möjligt och så hög avskiljningsgrad som möjligt. Det ska noteras att vi i detta försök pH-justerade till ca pH 7, men efter diskussioner med bruken konstaterades det att en justering till ca. pH 5 hade kunnat räckt för att utrustningen skulle klara att hantera det förbehandlade slammet. Rimligen skulle då både askhalter och susphalter sjunka, men ytterligare tester krävs för att utreda detta till fullo.

Vid 1% syra och 80 °C uppnåddes lägst halt suspenderade ämnen (170 mg/l), vilket var en minskning med nästan 30% jämfört med kontrollen. Samtidigt är askhalterna i acceptet vid 1% behandling lägre än vid 10%. Dessvärre gjordes inte samma utökade utvärdering (askhalt, susp) för behandling med enbart syra, varvid några frågetecken kring behandlingens effekt kvarstår.

3.2.3 Effekt av hydrolys på slammets metanpotential

Effekten av olika förbehandlingar på slammens metanpotential utvärderades i BMP-tester. Slammet från Skärblacks testades efter behandling med värme (70°C 1h), GLS, GLS+värme (70°C 1h) och 1 volym-% restsyra och bioslammet från Östrand efter behandling med värme (80°C 1h) och 1 volym-% restsyra. Metanpotentialen för obehandlat slam låg mellan 30 och 60 NmL/g VS, ingen skillnad kunde visas mellan slammerna. Metanbildningshastigheten under det första dygnet var 0,6–0,7 NmL/g VS och timme för de obehandlade slammerna.

Värmebehandlingen gav både en ökad initial metanbildningshastighet och en högre slutlig potential för båda slammerna. BMP-värdena var här mellan 80 och 100 NmL/g VS medan den initiala hastigheten mer än fördubblades efter värmebehandling (över 2 NmL/g VS och timme). Syrabehandlingen gav en liknande effekt men den initiala hastigheten var något lägre i proverna från Skärblacks (1.3 jämfört med 2 NmL/g VS och timme) och slutpotentialerna var också något lägre för båda slammerna (60–80 NmL/g VS). Den högre hastigheten innebär att man kan få ut mer gas på kortare tid från slammerna (från 30% av den totala potentialen till 50–60% under första dygnet), vilket i en fullskaleprocess innebär att mer slam kan rötas per tidsenhet.

Proverna behandlade med grönlutsslamm gav lägre metanpotentialer jämfört med kontrollen, vilket är en tydlig indikation på att grönlutsslammerna innehåller ämnen som är hämmande för mikroorganismerna.

I inget fall kunde någon tydlig skillnad i metanpotential påvisas mellan slammerna.

3.2.4 Sammanfattning av resultat från behandlingarna

En sammanfattning av resultaten för torrhalt, CST, löst COD och pH efter de olika förbehandlingarna kan ses i Tabell 10 och Tabell 11 för BillerudKorsnäs Skärblacks respektive SCA Östrand (resultaten för ammonium och fosfat hittas i Bilaga 3 och 4).

Tabell 10 Översikt av resultaten för de olika förbehandlingarna gällandes torrhalt (TS), capillary suction time (CST), löst chemical oxygen demand (sCOD) och pH för BillerudKorsnäs Skärblacks

Behandling	Andel (% volym) alt. koncentration (g/l) tillsatt	TS	CST	sCOD	pH
Kontroll (bioslam)		5,2%	36	360	7,0
70 °C (1h)		5,3%	114	1080	6,7
80 °C (1h)		5,2%	172	1276	6,7
80 °C (2h)		6,0%	190	1350	6,7

Behandling	Andel (% volym) alt. koncentration (g/l) tillsatt	TS	CST	sCOD	pH
90 °C (1h)		5,7%	250	1300	6,7
Restsyra	0,5%	8,0%	30	255	2,2
Restsyra	1%	8,4%	26	244	1,5
Restsyra	10%	11,6%	21	211	0,8
Restsyra, 80 °C	1%	8,0%		780	1,0
Restsyra, 80 °C	10%	12,6			1,0
Restsyra, 80 °C, pH-just	1%	7,5%		650	1,0
Restsyra, 80 °C, pH-just	10%	13,6			1,0
GLS	0,5 g/l	3,9%	38	190	5,6
GLS	2,5 g/l	5,5%	42	263	9,2
GLS	5 g/l	6,1%	33	485	10,2
GLS	50 g/l	23,3%	116	2070	11,9
GLS, 70 °C	50 g/l	17,0%	359	3480	11,5
EOP	25%	6,3%	19	598	6,7
EOP	50%	5,8%	22	909	7,2
EOP	75%	5,1%	16	1201	7,7
NaOH	1,6 g/l	4,8%	752	1955	12,4

Tabell 11 Översikt av resultaten för de olika förbehandlingarna gällandes torrhalt (TS), capillary suction time (CST), löst chemical oxygen demand (sCOD) och pH för SCA Östrand

Behandling	Andel (% volym) alt. koncentration (g/l) tillsatt	TS	CST	sCOD	pH
Kontroll (bioslam)		6,6%	13	390	7,0
70 °C (1h)		6,3%	19	1379	7,3
80 °C (1h)		7,0%	18	1665	7,3
80 °C (2h)		6,1%	21	1563	7,3
90 °C (1h)		7,4%	18	1791	7,3
Restsyra	0,5%	7,6%	14	394	2,2
Restsyra	1%	8,0%	13	400	1,7
Restsyra	10%	13,7%	14	421	0,8
Restsyra, 70 °C	1%	7,3%	12	821	1,7
Syravatten	0,5%	5,9%	13	500	7,3
Syravatten	1%	5,9%	12	546	7,2
GLS	0,5 g/l	4,9%	13	562	7,9
GLS	2,5 g/l	4,6%	14	521	9,1
GLS	5 g/l	4,9%	15	681	1,9
GLS	50 g/l	20,1%	38	14 902	11,2

Behandling	Andel (% volym) alt. koncentration (g/l) tillsatt	TS	CST	sCOD	pH
GLS, 70 °C	50 g/l	20,3%	60	3478	10,7
NaOH	1,6 g/l	5,1%	22	1309	11,9
Blekerifiltrat CTMP	25%	2,6%	13	258	7,1
CTMP	50%	6,0%	19	2270	6,4

Sammanfattningsvis visar resultaten att det i princip endast är behandling med restsyra som ger en ökning i torrhalt efter centrifugering. Detta i kombination med att behandlingen inte leder till ökad COD-halt i rejektet gör detta alternativ intressant att fortsätta utvärdera. Några frågor som kvarstår är hur behandlingen skulle påverka halten suspenderade ämnen, om behandlingen fortfarande är intressant efter pH-justering till pH 5, och om avvattning med en passande polymer skulle kunna ge en ytterligare ökning i torrhalt.

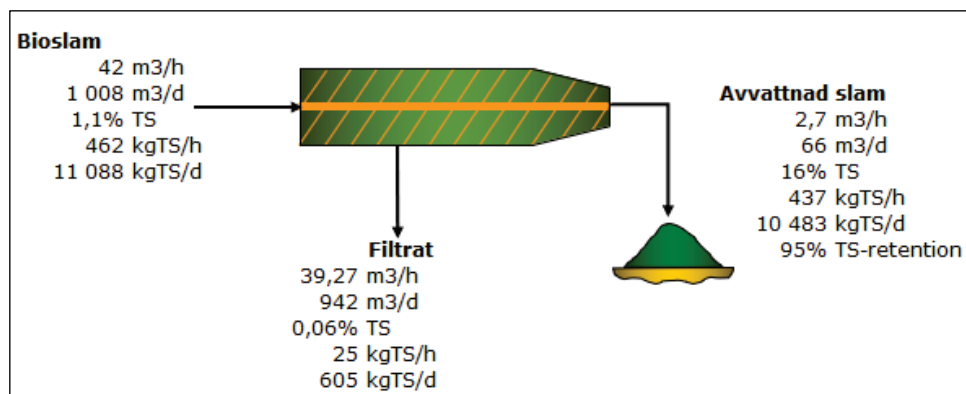
Flera av behandlingarna påvisade ökade halter löst COD i slammet, men utan att leda till någon tydlig effekt på torrhalten i acceptet efter avvattning. Inte heller Metanpotentialtesten visade på ökade nedbrytningshastigheter efter värmebehandling men inga tydligt ökade totala potentialer Grönlutsslammet hämmade metanbildningen i testen.

3.3 AP3 - TEKNISK UTVÄRDERING

Utifrån resultaten av de laborativa försöken i AP2, var det endast behandling med restsyra som gav tillräcklig torrhalt i det avvattnade slammet för att vara intressant för den tekniska utvärderingen.

3.3.1 Massbalans för befintlig slamavvattning

BillerudKorsnäs Skärblacka valdes som modellbruk för processkonceptet. Utgångspunkt var en massbalans över nuvarande hantering av bioslammet med avseende på flöden och TS-halter (Figur 18). Bioslammet från mellansedimenteringen avvattnas idag separat med en dekantercentrifug utan föravvattning. TS-retentionen, dvs den andel av TS som stannar i det avvattnade slammet beräknas vara omkring 95%, resterande mängd TS följer med rejektvattnet som återförs till inloppet av externreningen. Koncentrationen av 0,06% TS i rejektvattnet motsvarar en susphalt på 600 mg/l förutsatt att saltinnehållet är lågt. Ca 10 ton avvattnad bioslam produceras dagligen.



Figur 18 Massbalans för avvattning av bioslam idag på BillerudKorsnäs Skärblacka med avseende på flöde och TS.

3.3.2 Massbalans för slamavvattning med nytt processkoncept

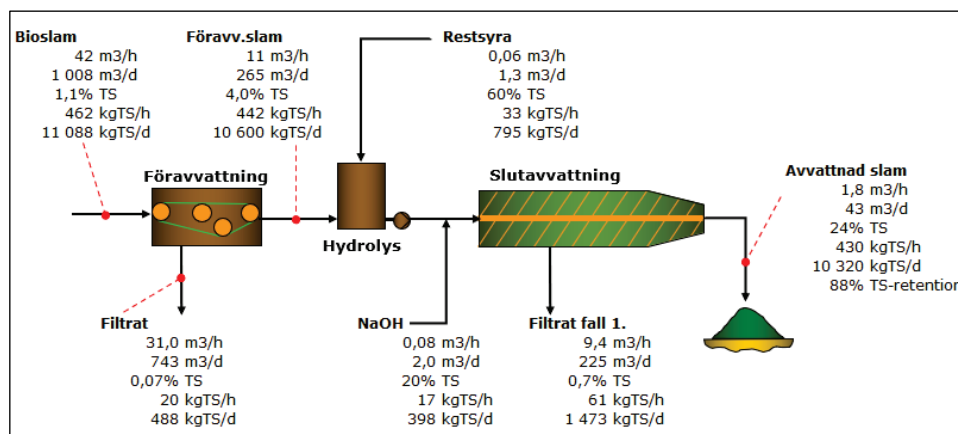
I det föreslagna processkonceptet (Figur 19) sker först en föravvattning av bioslammet till ca 4% TS, dels för att stabilisera den varierande TS-halten på inkommande flöde och dels för att maximera effekten av restsyran genom att minska volymen bioslam. Mängden restsyra som används motsvarar 0,5% av volymen för bioslammet, samma förhållande som användes i labförsöken. Det föravvattnade slammet blandas med restsyra i en reaktionstank där själva hydrolysen sker. Reaktionstanken behöver ha en volym på ca 12 m³. Vi har nu räknat med en timmes uppehållstid för att försäkra att hydrolysen drivs tillräckligt långt, men det är möjligt att kortare tid ger samma effekt vilket ger minskad volym på reaktionstanken. Materialval för reaktionstanken och vissa pumpar är viktigt att ha i åtanke då hydrolysen genomförs vid lågt pH (1–2).

Då pH på det behandlade slammet ligger omkring 1, behöver detta höjas inför slutavvattning. Den mängd NaOH (5M, 20%) som behövs för att nå pH 7 uppskattades genom titreringsförsök på lab till motsvarande 1,5 m³ per tillsatt m³ restsyra, vilket ligger i paritet med bruket skattning på 1,4 – 2,4 m³ per m³ restsyra. Lutförbrukningen vid pH-justering blir något lägre om ett lägre pH kan accepteras vid slutavvattning. Det skall dock noteras att vid titrering på lab, går 90% av lutvolymen till att höja pH från 1 till 5 och bara 10% från pH 5 till 7.

Labförsöken visade även att behandling av bioslam från Skärblacka med 0,5% restsyra resulterade i en ökning av torrhalten med mer än 50% på det avvattnade slammet jämfört med obehandlat slam (från 5,2% till 8% TS). Denna ökning har använts i processkonceptet och motsvarar en sluttorrhalt på 24% jämfört med 16% för obehandlat slam.

I massbalansen antas allt flöde samt större delen (95%) av den TS som tillsätts via restsyran och NaOH hamnar i rejektvattnet efter avvattning. Antagandet baseras på data från labförsöken. Konsekvensen blir att den procentuella TS-retentionen efter slutavvattning blir lägre, 88%. Det mesta av denna TS förekommer som olika salter och TS som förekommer i partikulär form förväntas ligga som suspenderade ämnen vid en koncentration på ca 1300 mg/l.

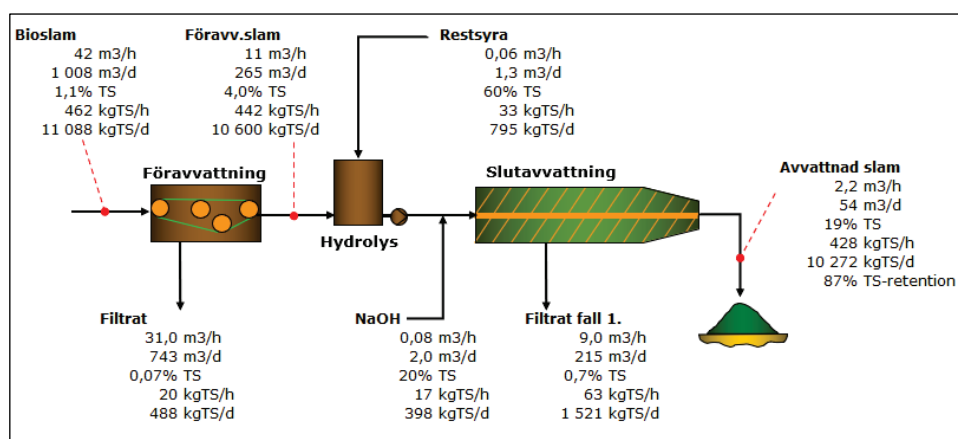
Jämfört med referensfallet, går samma mängd TS ut via det avvattnade slammet men den dagliga volymen minskas med nära 35% (23 m³/d) som ett resultat av ett torrare slam.



Figur 19 Processkoncept för hydrolysis av bioslam och den resulterande massbalansen med avseende på flöde och TS vid ökning av torrhalten på det slutavvattnade slammet med 50%.

Jämfört med befintlig avvattning av bioslam på bruket (dekantercentrifug och tillsats av polymer), användes på labbet en bordscentrifug utan tillsats av polymer för avvattningstesterna. De olika metoderna för avvattning medför att resultaten och effekterna från försök i labbskala kan vara svåra att översätta till fullskala.

Med anledning av detta gjordes en beräkning och massbalans för ytterligare ett fall, där den förbättrade avvattningen antogs vara lägre, 20% istället för 50% (Figur 20). Ändringen påverkar främst mängden avvattnat slam och filtrat som återförs från slutavvattningen. Den slutliga torrhalten beräknades till 19% och resulterar i en minskning av avvattnat slam med 18% (12 m³/d).



Figur 20 Processkoncept för hydrolysis av bioslam och det resulterad massbalansen med avseende på flöde och TS med ökning av torrhalten på slutavvattnade slammet med 20%.

Den utrustning som behövs i Skärblackas fall, utöver befintlig, är ett föravvattningssteg, ytterligare en slamtank samt ny ledning och ny doseringsutrustning för både NaOH och restsyra. Till detta tillkommer även instrumentering såsom givare samt automationsutrustning.

Hur den totala polymerförbrukningen påverkas i detta koncept är oklart och behöver utredas vidare. Processkonceptet innebär att polymerdosering sker vid två tillfällen men förhoppningen är att den totala polymerförbrukningen blir lägre för ett slam som genomgått hydrolysning.

Ytterligare något som kan utredas vidare är om reaktionstiden för slammet och restsyran kan optimeras. Detta minskar volymen av reaktionstanken och investeringskostnaden kan därmed optimeras.

3.3.3 Kostnadsbesparing vid slamavvattning med slamhydrolys

Den största kostnadsbesparingen i en förbättrad avvattning ligger i minskade kostnader för kvittblivning, särskilt i de fall där en extern part måste anlitas. De flesta sulfatbruken har idag, inte möjlighet att själva omhänderta allt slam från avvattningen främst pga. begränsad förbränningskapacitet. Normalt är kostnaden för externt omhändertagande baserat på våtvikt och ett torrare slam skulle innebära minskade mängder och därmed kostnader.

Resultaten indikerar också ett minskat behov av lut (NaOH) till pH-justering efter hydrolyssteg, detta då bioslammet troligen bidrar med vis alkalinitet. Dock behöver dessa resultat bekräftas.

Tabell 12 visar uppskattad kostnadsbesparing efter hydrolys av bioslammet vid 50% och 20% ökad torrhalt. I beräkningarna förutsätts bruket kan hantera max 50 m³ avvattnat slam internt per dag.

Tabell 12 Uppskattade kostnader och möjliga kostnadsbesparingar för extern avsättning av bioslam

		Referens	50% ökad TS (labförsök)	20% ökad TS
Total mängd avvattnat slam	m ³ /d	66	43	54
Intern slamhantering	m ³ /d	50	43	50
	Andel av tot.	76%	100%	92%
Extern slamhantering	m ³ /d	16	0	4
	Andel av tot.	24%	0%	8%
Kostnad	SEK/m ³	500	500	500
	SEK/d	7 920	0	2160
	SEK/år ^a	2 812 000	0	767 000
Besparing jämfört med referens	SEK/år		2 812 000	2 045 000

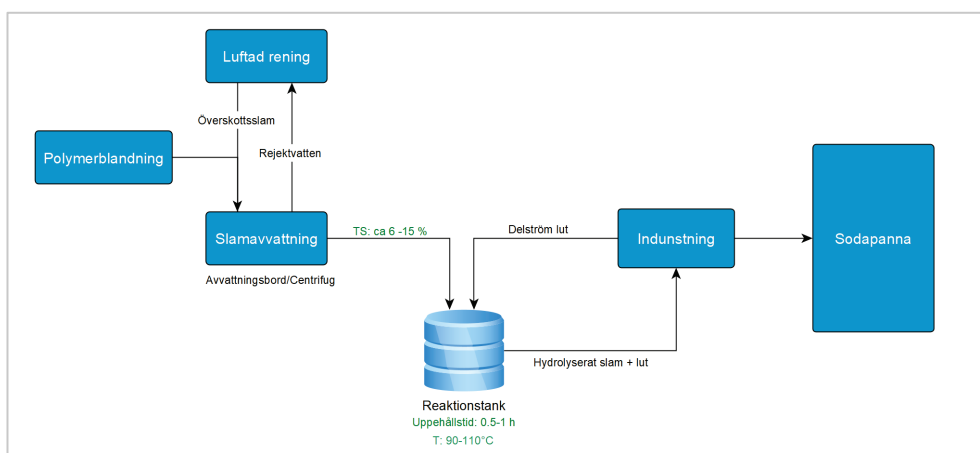
^a Räknat på 355 dagar

En ökning i torrhalt med 50% innebär att allt slam kan hanteras internt och besparingen blir då nära 3 MSEK per år. Vid 20% ökad torrhalt blir besparingen ca 2 MSEK per år.

Ett torrare avvattnat slam kan samtidigt medföra mindre behov av stödeldning i pannan eller att mindre andel fiberslam krävs vid inblandning för att komma upp i tillräckligt värmevärde. Det finns dock en risk för att klorider och andra föreningar från restsyren följer med det avvattnade slammet vid avvattning, vilket kan begränsa möjligheterna för förbränning av slammet i panna pga. risk för korrosion. Mängder samt vilka typer av föreningen som kan påverka bör utredas separat.

4 Sammanfattning och slutsatser

AP1. I dag finns ett koncept för behandling av bioslam som inbegriper hydrolys av slammet genom att blanda avvattnat bioslam med lut, blandningen förs sedan tillbaka till lutcykeln för att slutligen förbrännas i sodapannan. Samtliga intervjuade bruk har i princip samma processkoncept. Konceptet fungerar bara på rena sulfatmassabruk då kemikalier från pappersproduktionen, som hamnar i bioslammet, riskerar att förorena kemikaliåtervinningen.



Figur 21 Flödesschema över den idag vanligaste lösning för hydrolys av bioslam på svenska massa- och pappersbruk med förbehandling, indunstning och förbränning.

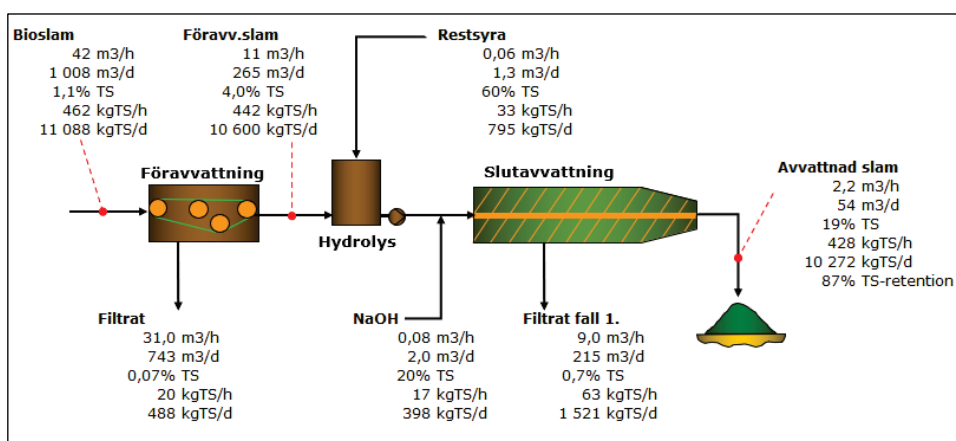
AP2. De på lab utvärderade förbehandlingarna gav olika resultat (Tabell 13), störst effekt på avvattningen hade restsyra. Labbförsöken indikerar att man får både en ökad torrhalt och en minskad halt suspenderade ämnen i rejecktvattnet men ytterligare tester med bland annat polymer behöver göras.

Tabell 13 Översikt av resultaten för de olika förbehandlingarna

Hydrolysmetod	Effekt på avvattnad slam	Effekt på rejecktvattnet	Övrigt
Termisk			
70°C, 1h	Ingen/låg effekt på TS	Ökad löst COD och PO4-P.	
80°C, 1-2h	Ingen/låg effekt på TS	Ökad löst COD och PO4-P.	Ökad hastighet vid rötning.
90°C, 1h	Ingen/låg effekt på TS	Ökad löst COD och PO4-P.	
Peroxidhaltigt avlopp			
Blekerifiltrat, CTMP	Försämrade TS	Ingen/låg	
Totalavlopp, CTMP	Försämrade TS	Ingen/låg	
Alkalisk			

Hydrolysmetod	Effekt på avvattnad slam	Effekt på rejektvattnet	Övrigt
<i>EOP</i>		Ingen/låg	Kan användas för termisk hydrolys?
<i>GLS</i>	Oklart	Ökad löst COD. Låg/ingen ökad PO4-P.	Ger hämmande effekt vid rötning.
Sur			
<i>Restsyra</i>	Ökad TS-halt	Ingen/låg	Kräver pH-justering
<i>Syravatten</i>	Ingen/försämradeffekt på TS	Ingen/låg	
Kombination termisk och kemisk			
<i>80°C + sur</i>	Sämre än med bara restsyra	Mer COD än bara restsyra	
<i>80°C + alkalisk</i>	Sämre än bara GLS	Mer COD än bara GLS	

AP3. En teknisk utvärdering på ett processkoncept (Figur 22) med restsyra för slamhydrolys visade att detta är möjligt att implementera i fullskala och kan medföra minskade slamvolymmer på mellan 18 och 35% jämfört med referensfallet. Detta skulle innebära kostnadsbesparingar för de bruk som idag är behov av extern hjälp för avsättning av delar eller hela mängden avvattnad slam. Jämfört med referensfallet uppskattas en årlig kostnadsbesparing kunna ligga mellan 2 och 2,8 MSEK. Ytterligare möjliga positiva effekter kan vara kemikaliebesparing men detta behöver utredas vidare.



Figur 22 Processkoncept för hydrolys av bioslam och den resulterande massbalansen med avseende på flöde och TS vid ökning av torrhalten på det slutavvattnade slammet med 50%.

5 Författarnas tack

Författarna vill tacka Louise Hjalmarsson, som under sitt examensarbete inom projektet utförde majoriteten av de laborativa försöken som presenteras i denna rapport. Författarna vill även tacka medverkande bruk för allt stöd under projektets gång, särskilt Lars Johansson (BillerudKorsnäs Skärblacka) och Hanna Penttilä (SCA Östrand) som under den fördjupade studien var till stor hjälp för projektet. Tack också till referensgruppen för bra kommentarer och grundlig läsning av rapporten.

Referenslista

- Ek, Mats, and Olle Westling. "Dagsläget Beträffande Skogsindustrins Avfall" (Rapport B1482, 2003).
- Ekstrand, Eva-Maria. *Anaerobic Digestion in the Kraft Pulp and Paper Industry – Benefits and Strategies for Implementation*, 2019.
<https://doi.org/10.3384/diss.diva-156667>.
- He, Dong-Qin, Long-Fei Wang, Hong Jiang, and Han-Qing Yu. "A Fenton-like Process for the Enhanced Activated Sludge Dewatering." Accessed January 17, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.03.034>.
- He, Dong-Qin, Ying-Jie Zhang, Chuan-Shu He, and Han-Qing Yu. "Changing Profiles of Bound Water Content and Distribution in the Activated Sludge Treatment by NaCl Addition and PH Modification," [2017].
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.045>.
- Meyer, Torsten, and Elizabeth A. Edwards. "Anaerobic Digestion of Pulp and Paper Mill Wastewater and Sludge." *Water Research* 65 (2014): 321–349.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.07.022>.
- Monte, M C, E Fuente, A Blanco, and C Negro. "Waste Management from Pulp and Paper Production in the European Union." *Waste Management (New York, N.Y.)* 29, no. 1 (January 2009): 293–308.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.02.002>.
- Ometto, Francesco, Kristine B Steinhovden, Hana Kuci, Johan Lunnbäck, Andreas Berg, Anna Karlsson, Aleksander Handå, Håvard Wollan, and Jörgen Ejlertsson. "Seasonal Variation of Elements Composition and Biomethane in Brown Macroalgae," (2017). <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.11.006>.
- Sivard, Å, Tomas Ericsson, M Krogerus, and S. Stemme. "Nuvärdesmaterial Kring Bioslam" [Stockholm, 2013].
[http://www.processum.se/images/dokument/FoU/Bioslam Bilaga 2 Rapport F.pdf.pdf](http://www.processum.se/images/dokument/FoU/Bioslam%20Bilaga%20Rapport%20F.pdf).
- Yang, Jie, Shuai Chen, and Hui Li. "Dewatering Sewage Sludge by a Combination of Hydrogen Peroxide, Jute Fiber Wastes and Cationic Polyacrylamide," [2016]. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.10.027>.

Bilaga 1: Frågor Energiforsk Hydrolys bioslam

Xu-Bin Truong, AFRY
xubin.truong@afry.com

Date
02/10/2020

Eva-Maria Ekstrand, Linköpings Universitet
eva-maria.ekstrand@liu.se

Project ID
6219466 Energiforsk Hydrolys
bioslam

Anna Karlsson, Scandinavian Biogas Fuels
anna.karlsson@scandinavianbiogas.com

Frågor
<ul style="list-style-type: none"> - Hydrolyseras bioslammet idag och hur ser konceptet is så fall ut? <p>Beskriv konceptet, gärna så utförlig som möjligt med ungefärlig data och underlag inkluderande:</p> <ul style="list-style-type: none"> o <i>Andel av bioslammet som behandlas, flöden och TS efter de olika stegen</i> o <i>Vad händer med rejektet från avvattningen?</i> o <i>Mängd, typ och temperatur på ev. ånga som används</i> o <i>Mängd, typ, temperatur etc. på ev. kemikalier som används.</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Vad är bakgrunden och främsta syftet med slamhydrolysen och det teknik/koncept ni valde?
<ul style="list-style-type: none"> - När tog slamhydrolysen i drift?
<ul style="list-style-type: none"> - Är energin och/eller kemikalierna som åtgår för hydolysen befintliga på bruket eller behöver de tillföras utifrån specifikt för hydrolysen
<ul style="list-style-type: none"> - Ger hydrolys av bioslammet det resultat som förväntades?
<ul style="list-style-type: none"> - Vad har fungerat och vad har inte fungerat?
<ul style="list-style-type: none"> - Vilka andra delar och funktioner på bruket påverkas? Ex. sodapanna, avvattningen, indunstning, etc.
<ul style="list-style-type: none"> - Vilka är hittills de viktigaste lärdomarna länkat till slamhydrolysen? Vad skulle man behöva veta och tänka på om man funderar på att implementera konceptet?
<ul style="list-style-type: none"> - Vilka besparingar har kunnat göras? Blev driftkostnaderna högre eller lägre än planerat?
<p><i>Bonusfrågor, kan fyllas i här eller tas upp vid möte</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> - Är installationen en kommersiellt tillgänglig koncept (via leverantör) eller egendesignad med hjälp av ex. konsultfirma?
<ul style="list-style-type: none"> - Vilka typer av försök och utredningar gjordes som underlag för beslut om slamhydrolys (exjobb, interna försök och utredningar, externa utredningar)
<ul style="list-style-type: none"> - Övervägdes andra lösningar och koncept för slamhanteringen innan det aktuella konceptet valdes?

Bilaga 2: Frågor Energiforsk Hydrolys bioslam

Xu-Bin Truong, AFRY
xubin.truong@afry.com

Date
13/11/2020

Eva-Maria Ekstrand, Linköpings Universitet
eva-maria.ekstrand@liu.se

Project ID
6219466 Energiforsk Hydrolys
bioslam

Anna Karlsson, Scandinavian Biogas Fuels
anna.karlsson@scandinavianbiogas.com

Frågor
<ul style="list-style-type: none">- Finns det varma avlopp eller andra restströmmar som man skulle kunna värmeväxla från/blanda med? Temperaturen behöver vara minst 60 grader.- Vilka volymer?- Hur stor grad av värmeåtervinning sker idag på dessa strömmar?
<ul style="list-style-type: none">- Har ni basisk/sura avlopp eller andra restströmmar?- Vilket pH (och om ni har, alkalinitet motsvarande mg CaCo3/l)?- Vilka volymer?
<ul style="list-style-type: none">- Tillgång till överskottsånga, finns det kontinuerligt?- Idag avsättning för överskottet?
<ul style="list-style-type: none">- Vad har ni för slamålder på bioslammet?
<ul style="list-style-type: none">- Vilken volymer på bioslammet? Efter olika avvattningsstegen.

Bilaga 3, Fosfat

Tabell 1, Halten fosfatfosfor (mg/L) i filtrerat prov efter olika förbehandlingar av bioslam från BillerudKorsnäs Skärblacka och SCA Östrand

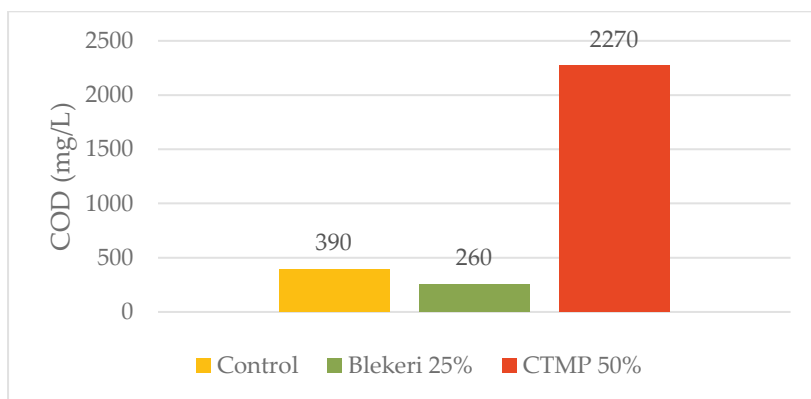
Behandling	Andel (% volym) eller koncentration (g/l) tillsatt	Fosfatfosfor BillerudKorsnäs Skärblacka (mg/L)	Fosfatfosfor SCA Östrand (mg/L)
Kontroll (bioslam)		0,5	6,3
70 °C (1h)		9,8	18,1
80 °C (1h)		1,4	19,6
80 °C (2h)		11,2	13,2
90 °C (1h)		8,1	14,9
EOP	25%	0,2	
EOP	50%	0,2	
EOP	75%	0,2	
GLS	0,5 g/L	0,1	7,5
GLS	2,5 g/L	0,1	7,1
GLS	5 g/L	0,5	7
GLS	50 g/L	4,3	7,1
GLS, 70 °C	50 g/L	4,4	7,1
NaOH	1,6 g/L	2,2	5,5
CTMP	50%		5,6
Blekerifiltrat CTMP	25%		7,2
Restsyra	0,5%	0,8	3
Restsyra	1%	1,1	13
Restsyra	10%	2,3	12
Restsyra, 70 °C	1%	4,7	19
Syravatten	0,5%		7,8
Syravatten	1%		7,7

Bilaga 4, Ammonium

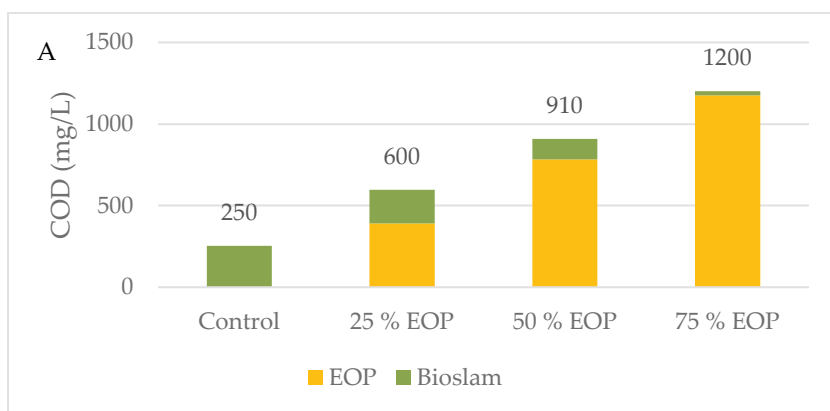
Tabell 1 Ammoniumhalt (mg/L) i filtrerat prov efter termisk förbehandling av bioslam från BillerudKorsnäs Skärblacka och SCA Östrand

Förbehandling	BillerudKorsnäs Skärblacka (mg/L)	SCA Östrand (mg/L)
Kontroll	0,01	0,3
70 °C (1h)	1,7	0,6
80 °C (1h)	1,4	0,1
80 °C (2h)	1,1	0,3
90 °C (1h)	0,4	0,6

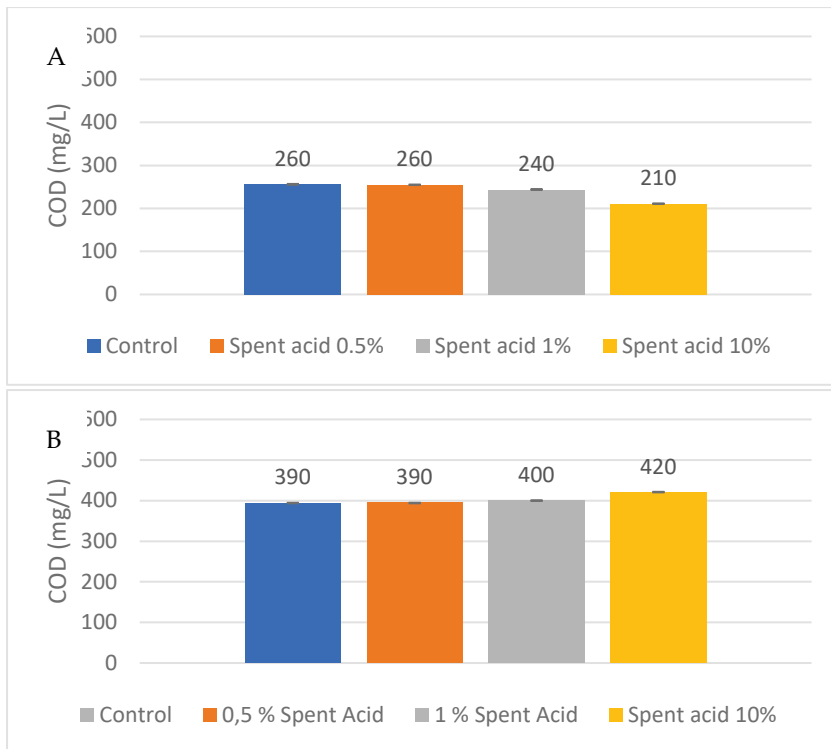
Bilaga 5, COD



Figur 1 Koncentration löst COD i bioslam från SCA Östrand behandlat med peroxidrikt bakvatten från blekeriet och totalavlopp från CTMP-tillverkningen. COD = chemical oxygen demand, CTMP = chemical thermomechanical pulp

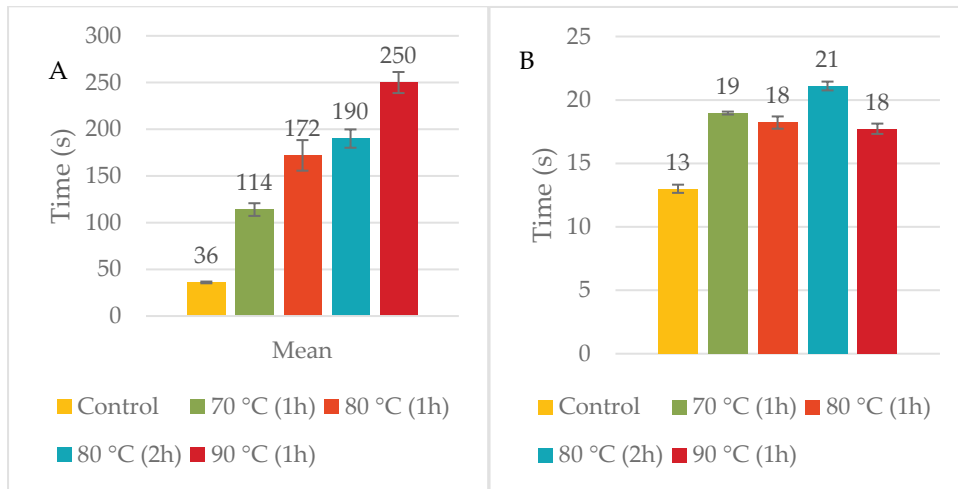


Figur 2 Alkalisk hydrolys med EOP från Billerud Korsnäs Skärblacka. Gult i staplarna representerar löst COD-innehåll från tillsatt EOP, grönt är löst COD från bioslam (det som fanns från start + utlöst efter hydrolys). EOP = alkaliskt blekerifiltrat, COD = chemical oxygen demand.

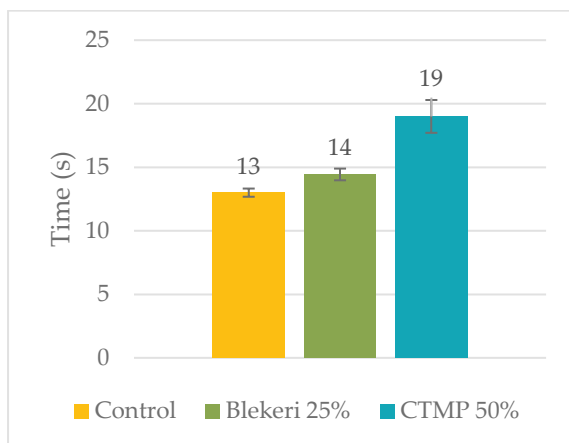


Figur 3 Löst organiskt material i form av filtrerat COD (chemical oxygen demand) efter sur hydrolys med restsyra (spent acid) i bioslam från A) BillerudKorsnäs Skärblacka och B) SCA Östrand

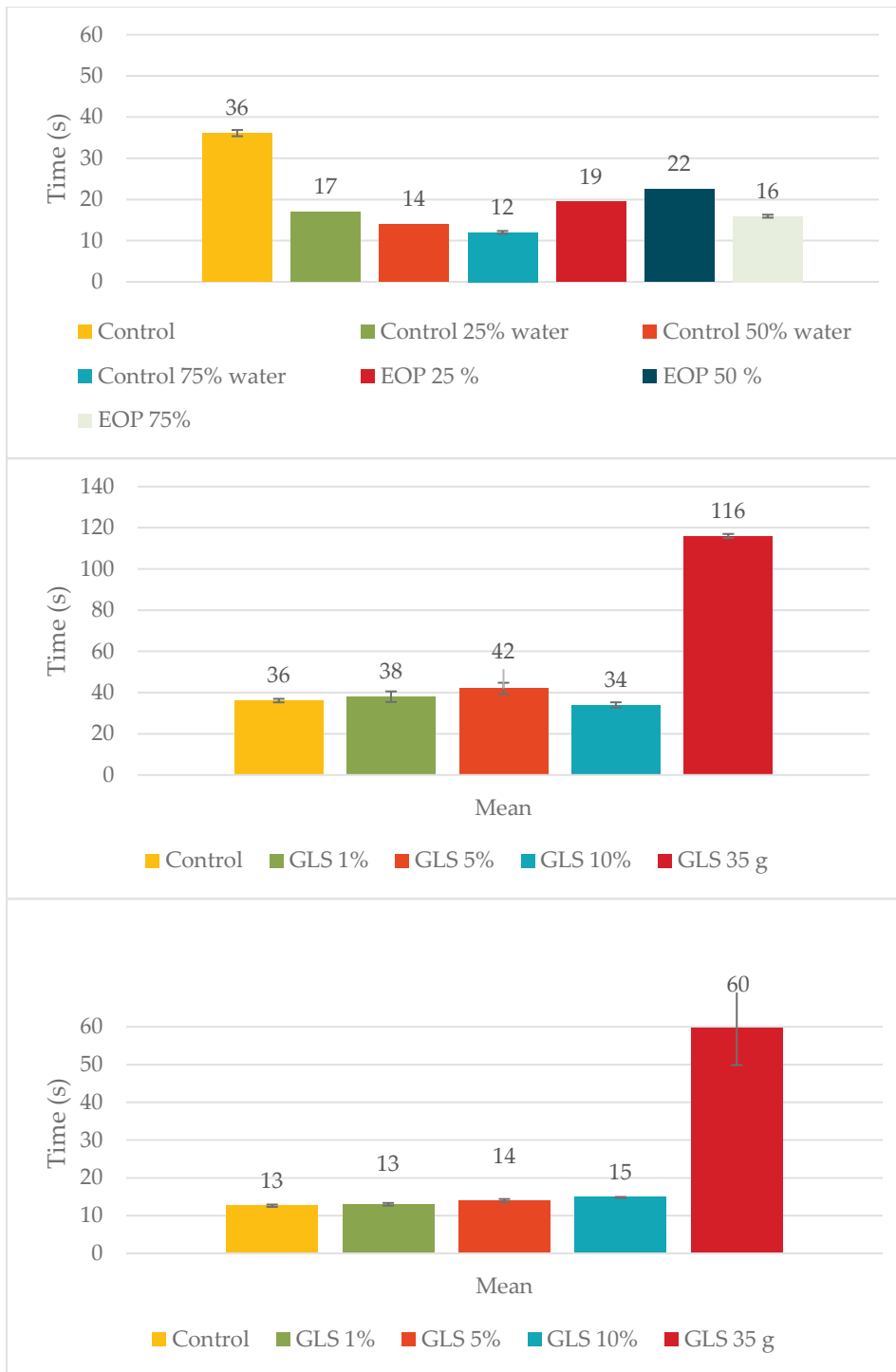
Bilaga 6, CST



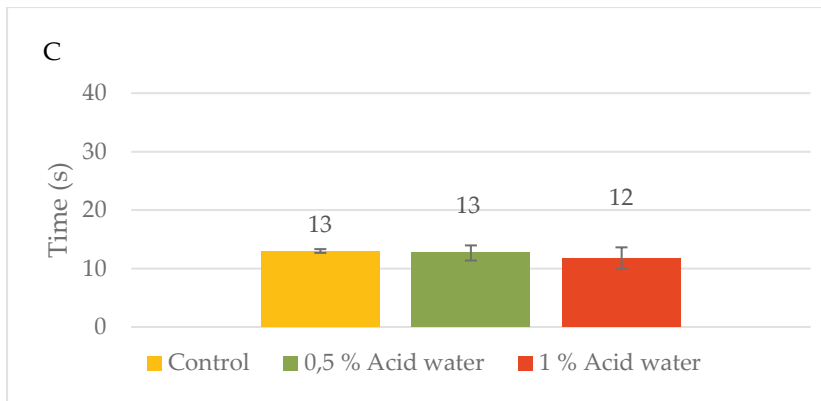
Figur 1 Capillary suction time (CST) efter termisk hydrolys i bioslam från A) Billerud Korsnäs Skärblacker, och B) SCA Östrand



Figur 2 Capillary suction time (CST) efter hydrolys med peroxid i bioslam från SCA Östrand

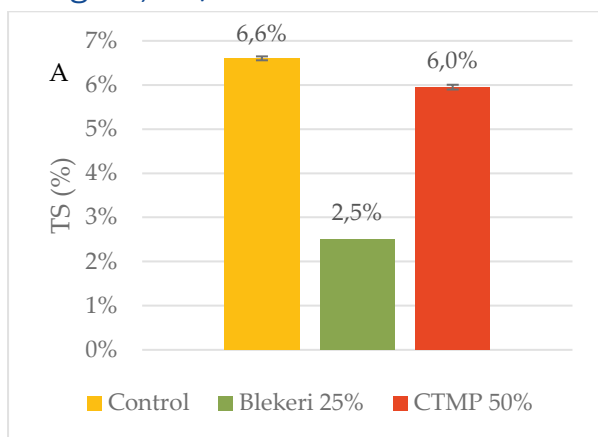


Figur 3 Capillary suction time (CST) för alkalisk hydrolysis med A) EOP och B) GLS på bioslam från BillerudKorsnäs Skärblacka, och C) GLS på bioslam från SCA Östrand

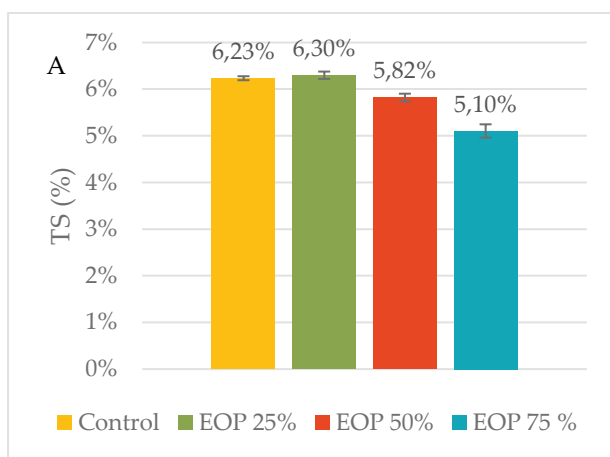


Figur 4 Capillary suction time (CST) efter sur hydrolys med syravatten i bioslam från SCA Östrand

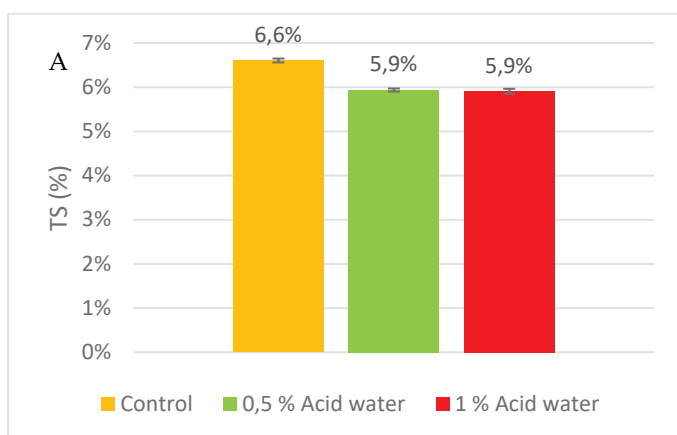
Bilaga 7, TS/VS



Figur 1 Effekt av hydrolys av bioslam med peroxid från totalavlopp CTMP och blekerifiltrat på TS av accept efter centrifugering. Bioslam från SCA Östrand.



Figur 2 Effekt av hydrolys av bioslam med EOP-vatten på TS av accept efter centrifugering. Bioslam från BillerudKorsnäs Skärblacka



Figur 3 TS i accept efter hydrolys med syravatten på bioslam från SCA Östrand

HYDROLYS AV BIOSLAM MED INTERNA RESTSTRÖMMAR FÖR ÖKAD RESURSEFFEKTIVITET

Många massa- och pappersbruk använder idag biologisk rening för att minimera utsläpp av organiskt material från avloppströmmar. En av nackdelarna med processen är uppkomsten av överskottsslam som måste tas om hand. En förbättrad slamavvattning skulle minska problemen. Ett sätt att förbättra slammetts avvattningsbarhet kan vara att förbehandla (hydrolysera) slammet via tillförsel av värme och/eller kemikalier, men även detta är kostsamt. Om behandlingen däremot kan ske med hjälp av bruksinterna avloppströmmar finns möjlighet för en resurs- och kostnadseffektiv slamhantering.

En kartläggning visade att värme samt alkaliska, peroxidhaltiga och sura restströmmar finns att tillgå i betydande mängder på sulfat- och CTMP-bruk, medan TMP-bruk ofta har lägre temperaturer i sina avloppsströmmar och saknar motsvarande alkaliska eller sura vatten.

Behandling med restsyra visade i labskala på tydligt förbättrade avvattningsegenskaper medan ökningen i löst COD var låg vilket indikerar att syra hade ingen eller bara liten effekt vad gäller sönderdelning av det organiska materialet. Värme (70–90°) ökade i stället mängden löst organiskt material (COD), men hade ingen positiv effekt på avvattningsegenskaperna. Liknade resultat erhöles efter alkalisk behandling.

En teknisk utvärdering, där restsyra används för slamhydrolys, visade att det är möjligt att implementera i fullskala och skulle medföra minskad volym avvattnat slam.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se