

BIOKOL FRÅN BIOSLAM – PILOTFÖRSÖK

RAPPORT 2015:218



BRÄNSLEBASERAD EL- OCH
VÄRMEPRODUKTION



Biokol från bioslam – Pilotförsök

MALIN FUGLESANG

ÅSA SIVARD

JANICE TÖRMÄLÄ

KAJSA FOUGNER (UPPDRAGSLEDARE)

ISBN 978-91-7673-218-2 | © 2015 ENERGIFORSK

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

Förord

Denna rapport är slutrapportering av projekt SYS 39204 Bioslam till biokol - Pilotförsök (Energimyndighetens projektnummer P 39204 som faller under teknikområde systemteknik inom SEBRA, samverkansprogrammet för bränslebaserad el- och värmeproduktion.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av

Anna Ramberg och Camilla Rydstrand, Holmen Paper, Hallsta bruk

Anna-Karin Magnusson, BillerudKorsnäs, Skärblacks bruk

Elina Skerfe och Erik Mattsson, Stora Enso AB

Roger Nordman, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

SEBRA, samverkansprogrammet för bränslebaserad el- och värmeproduktion, är efterföljaren till Värmeforsks Basprogram och startade som ett samarbetsprogram mellan Värmeforsk och Energimyndigheten 2013. All forskningsverksamhet som bedrevs inom Värmeforsk ingår sedan den 1 januari 2015 i Energiforsk. Därför ges denna rapport ut som en Energiforskrapport.

Programmets övergripande mål är att bidra till långsiktig utveckling av effektiva miljövänliga energisystemlösningar. Syftet är att medverka till framtagning av flexibla bränslebaserade anläggningar som kan anpassas till framtida behov och krav.

Programmet är indelat i fyra teknikområden: anläggnings- och förbränningsteknik, processtyrning, material- och kemiteknik samt systemteknik.

Stockholm mars 2016

Helena Sellerholm

Områdesansvarig

Bränslebaserad el- och värmeproduktion, Energiforsk AB

Författarnas förord

Föreliggande arbete har utförts av ÅF Industry under perioden december 2014 till november 2015.

Medverkande från ÅF Industry:

Malin Fuglesang
Åsa Sivard
Janice Törmälä
Kajsa Fougner (uppdragsledare)

Referensgruppen har bestått av följande personer:

Anna Ramberg och Camilla Rydstrand, Holmen Paper, Hallsta bruk
Anna-Karin Magnusson, BillerudKorsnäs, Skärblacka bruk
Elina Skerfe och Erik Mattsson, Stora Enso AB
Roger Nordman, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Projektet har finansierats av Energiforsk, Energimyndigheten samt industripartners i projektet:

Holmen Paper, Hallsta bruk
BillerudKorsnäs, Skärblacka bruk
ÅF Industry

Valmet, som gick in i projektet som industripartner och medfinansiär i juni 2015

ÅF Industry vill tacka den engagerade grupp av personer som utifrån de olika rollerna beskrivna ovan bidragit i projektet i olika form:

Anna Ramberg och Camilla Rydstrand, Holmen Paper, Hallsta bruk
Anna-Karin Magnusson, BillerudKorsnäs, Skärblacka bruk
Elina Skerfe och Erik Mattsson, Stora Enso AB
Roger Nordman, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Cecilia Geijer, Peter Björklund och Tomas Jonsson, Valmet

Stort tack!

Sammanfattning

Hydrotermisk karbonisering (HTC) av slam från pappers- och massa industrin har genomförts i pilotskala i AVA-CO2s forskningsanläggning i Karlsruhe. Ett bioslam och ett blandslam har behandlats. Båda slammen karboniserades väl och det producerade biokolet uppnådde ett värmevärde (torrt, askfritt) på ca 29 MJ/kg, vilket överstiger värmevärdet hos brunkol.

En egenskap som ofta lyfts fram hos biokol jämfört med slam är att det ska vara lättavvattnat. Torrhalter på 70% nämns i litteraturen som möjliga att nå med endast mekanisk avvattning. För att grovt bedöma vilken torrhalt som kan nås på biokol från slam från pappers- och massa industrin med mekanisk avvattning genomfördes avvattningstester på det producerade biokolet. Testerna gjordes i labskale kammarfilterpress hos Metso i Sala. I avvattningstesterna uppnåddes en torrhalt på ca 45%. I utvärderingen av HTC har antagits att avvattningen kan optimeras något och att en torrhalt på 50% kan nås vid mekanisk avvattning.

Utifrån resultaten från pilotkörningarna hos AVA-CO2 och från avvattningstesterna så har nyckeldata ställts samman för HTC-behandling av slam från pappers- och massa industrin.

Nyckeldata har använts för att grovt beskriva två industriella HTC- anläggningar, en för behandling av 10 t TS/d bioslam och en för behandling av 20 t TS/d blandslam.

Modellbruken "modellbruk kraftliner" (ett bruk med sulfatmassaproduktion) och "modellbruk magazine" (ett bruk med produktion av mekanisk massa) har använts för att kunna relatera förbrukningar, utsläpp etc från de tänkta HTC-anläggningarna till data för dessa bruk.

En HTC-anläggning designad för att behandla slam från ett bruk är en förhållandevis liten anläggning. Ångförbrukningen är liten och påverkan på brukets energisituation med eventuell produktion av mottryckskraft är försumbar. Processvattnet från HTC-anläggningen kommer dock att innehålla relativt stora mängder organiskt material och närsalter och mindre mängder av metaller. Om processvattnet från en HTC-anläggning går till externrening utan reningssteg kommer belastningen på externreningen att öka. En membranfiltrering kan användas för att återföra organiskt material till HTC-processen och få ett renare vatten till reningen och samtidigt öka utbytet av biokol. Ytterligare reningssteg kan läggas till vid behov. Vilka mängder organiskt material, närsalter och metaller som kan tillåtas i processvattnet från en HTC-anläggning till externrening måste bedömas för specifikt bruk, och därmed vilka reningssteg som behövs på processvattnet.

En ekonomisk bedömning har gjorts och resultaten kan sammanfattas enligt nedan.

För bioslam där bruket betalar 400 kr/vått ton slam för en extern behandling ger en HTC-anläggning en rak återbetalningstid på 3 – 5 år om det producerade biokolet kan säljas som bränsle till oljepris resp biobränslepris (antalet oljepris 400 kr/MWh inkl skatter och utsläppsrätter och biobränslepris 170 kr/MWh). Om en kalkylränta på 7% ansätts blir återbetalningstiden 4 – 6 år.

För ett bruk där ett vått bioslam eldas i barkpannan och där det höga vatteninnehållet i slammet och begränsad pannkapacitet på rökgassidan framtvingar oljeanvändning kan en HTC-anläggning ge en rak återbetalningstid på 5,5 år (7,2 år med kalkylränta 7%).

För blandslam där bruket betalar 300 kr/vått ton slam för en extern behandling ger en HTC-anläggning en återbetalningstid på 2 – 4 år om det producerade biokolet kan säljas som bränsle till oljepris resp biobränslepris (antaget oljepris 400 kr/MWh inkl skatter och utsläppsrätter och biobränslepris 170 kr/MWh).

För ett bruk där ett vått blandslam eldas i barkpannan och där det höga vatteninnehållet i slammet och begränsad pannkapacitet på rökgassidan framtvingar oljeanvändning kan en HTC-anläggning ge en rak återbetalningstid på 11 år (ca 24 år med kalkylränta 7%).

HTC-behandling av bioslam eller blandslam för att åstadkomma ett bättre internt bränsle till barkpannan då bruket har biobränsle som marginalbränsle är ekonomiskt ointressant. Då har dock inte beaktats att de våta slammen i vissa fall ger upphov till problem med panndriften, stopp, ökat underhåll etc.

En HTC-anläggning installerad vid ett massa- och pappersbruk med rätt förutsättningar skulle kunna vara verklighet under 2018.

Summary

Hydrothermal carbonisation (HTC) of sludge from the pulp and paper industry has been implemented in pilot trials in the AVA CO₂ research center in Karlsruhe, Germany. Two types of pulp and paper sludge have been treated, one biosludge and one mixed sludge. Both slurries carbonized well and the produced biocoal achieved a heating value (dry, ashfree) of about 29 MJ/kg, which exceeds the heating value of lignite.

One characteristic of biocoal that is often mentioned is that it is hydrophobic and easy to dewater. A dryness of 70% is mentioned in the literature as possible to reach by only mechanical dewatering. To evaluate which dryness that can be achieved with mechanical dewatering of biocoal produced of sludge from the pulp and paper industry, dewatering tests were performed on the produced biocoal. The tests were made in a laboratory scale chamber filter press at Metso in Sala. In the dewatering tests a dry solid content of about 45% was reached. In the evaluation of the HTC-treatment of pulp and paper sludge it has been assumed that the dewatering can be somewhat optimized and that a dry content of 50% can be reached by mechanical dewatering.

Based on the results of the pilot trials at AVA-CO₂ and from the dewatering tests, key figures of HTC-treatment of sludge from the pulp and paper industry have been compiled.

The key figures have been used to describe two HTC- industrial plants, one plant treating 10 t TS biosludge/d and a second plant treating 20 t TS mixed sludge/d.

The model mills "model mill kraftliner" (a kraft pulp mill) and "model mill magazine" (a mill with production of mechanical pulp) have been used to relate consumptions, emissions, etc. from an HTC-plant to data of these mills.

An HTC plant designed to treat sludge from a pulp- and paper mill is a relatively small plant. Steam consumption is small and the impact on the mill's energy situation with possible co-generation of power is negligible. The process water from the HTC plant will contain relatively large amounts of organic material and nutrients and smaller amounts of metals. If the process water from an HTC plant is led to external waste water treatment without any additional steps, the load on the waste water treatment will increase. Membrane filtration can be used to restore organic matter to the HTC process and to get cleaner water to the waste water treatment. This increases the yield of biocoal. Further purification steps can be added if required. What quantities of organic matter, nutrients and metals that can be acceptable in the process water from the HTC plant to the wastewater treatment plant must be assessed for the specific mill, and thus decided if additional purification of the process water is required.

An economic assessment has been made and the results can be summarized as follows.

For biosludge where the mill has a cost of 400 SEK/wet ton of sludge for external treatment, an HTC plant provides a straight payback time of 3-5 years if the produced biocoal can be sold with a price corresponding to fuel oil or biofuel price (assumed oil price SEK 400/MWh including taxes and allowances and biofuel price 170 SEK/MWh). With a discount rate of 7% payback time is 4-6 years.

For mills where a wet biosludge is burned in the bark boiler and where the high water content of the sludge and a capacity limitation of the boiler on the flue gas side makes it

necessary to use fossil oil an HTC plant gives a straight payback time of 5.5 years (7,2 years with the discount rate 7%).

For mixed sludge where the mill pays 300 SEK/wet tons of sludge for external treatment an HTC plant provides payback times of 2-4 years if the produced biocoal can be sold as fuel oil or biofuel price (assumed oil price of SEK 400/MWh including taxes and allowances and biofuel price 170 SEK/MWh).

For mills where a wet mixed sludge is burned in the bark boiler and where the high water content of the sludge and a capacity limitation of the boiler on the flue gas side makes it necessary to use fossil oil an HTC plant gives a straight payback time of 11 years (24 years with discount rate 7%).

HTC-treatment of biosludge or mixed sludge to achieve a better internal fuel for the bark boiler when biofuel is the marginal fuel is less economically attractive. However, problems with the boiler operation, stops and maintenance due to the wet sludges have not been considered.

An HTC facility installed at a pulp and paper mill with the right conditions, could be a reality in year 2018.

Innehåll

1	Inledning	14
1.1	BAKGRUND	14
1.1	Uppdragets uppgift	14
2	Slam från svensk skogsindustri – en översikt	16
3	Hantering och förädling av slam – en översikt	18
3.1	Mekanisk avvattning och förbränning i fastbränslepanna	19
3.2	Mekanisk avvattning och torkning före förbränning i fastbränslepanna	19
3.3	Hydrolys av bioslam genom inblandning av lut i indunstningen följt av förbränning i sodapanna	20
3.4	Rötning	20
3.5	Användning som jordförbättrings- och täckmaterial eller biobränsle utanför bruket	21
3.6	Användning i massaprodukt	21
3.7	Cambi/Krepro-processen, BioCon and Kemicond	21
4	Regelverk avfall från skogsindustrin – en översikt	23
5	HTC Hydrotermisk karbonisering	24
5.1	HTC-processen	24
5.2	Företag som utvecklar HTC-processen	25
5.2.1	Beskrivning HTC som batchprocess – AVA-CO2	25
5.2.2	Beskrivning HTC som kontinuerlig process – exempel SunCoal	27
6	Pilotförsök med HTC	29
6.1	Slam till pilotförsök	29
6.1.1	Förutsättningar vid uttag av bioslam	29
6.1.2	Förutsättningar vid uttag av blandslam	29
6.2	Pilotanläggning	29
6.3	Genomförande pilotförsök – beskrivning	30
6.4	Pilotförsök bioslam	30
6.5	Resultat pilotförsök bioslam	31
6.5.1	Energiförbrukning	33
6.5.2	Processvatten	33
6.6	Genomförande pilotförsök blandslam	34
6.7	Resultat pilotförsök blandslam	35
6.7.1	Energiförbrukning	37
6.7.2	Processvatten	37
6.8	Slutsatser pilotförsök med HTC hos AVA-CO2	38
7	Avvattningsförsök hos Metso Minerals	40
7.1	Genomförande	40
7.2	Resultat	41
8	Nyckeltal från pilotförsöken	43

8.1	Resultat från pilotförsöken, inkl avvattningsförsök - biokol från bioslam	43
8.2	Nyckeltal pilotförsök biokol från bioslam – Utbyte och energi	44
8.3	Resultat från pilotförsöken, inkl avvattningsförsök – biokol från blandslam	44
8.4	Nyckeltal pilotförsök biokol från blandslam	45
9	HTC-processen i industriell skala	46
9.1	Biokol från bioslam	46
9.1.1	Processvatten	46
9.2	Biokol från blandslam	47
9.2.1	Processvatten	48
10	Nyckeltal vid optimerad torrhalt – teoretisk studie	50
10.1	Teoretiska data för HTC vid optimerad torrhalt – biokol från bioslam	50
10.2	Teoretiska nyckeltal vid optimerad torrhalt - biokol från bioslam	51
10.3	Teoretiska data för HTC vid optimerad torrhalt – biokol från blandslam	51
10.4	Teoretiska nyckeltal vid optimerad torrhalt - biokol från blandslam	53
11	HTC-processen i industriell skala med teoretisk torrhalt 70%	54
11.1	Biokol från bioslam, teoretisk torrhalt 70%	54
11.2	Biokol från blandslam, teoretisk torrhalt 70%	54
12	Integrering HTC-anläggning vid modellbruk kraftliner	56
12.1	Beskrivning modellbruk kraftliner	56
12.2	Integrering HTC-anläggning för behandling av bioslam vid modellbruk kraftliner	56
12.3	Data för modellbruk kraftliner med bioslam till barkpanna	57
12.4	Data för modellbruk kraftliner med bioslam till HTC-anläggning och producerat biokol till barkpanna	58
12.5	Slutsatser integrering HTC-anläggning vid modellbruk kraftliner	59
12.5.1	Energisituation	59
12.5.2	Externreningen	60
13	Integrering HTC-anläggning vid modellbruk magazine	61
13.1	Beskrivning modellbruk magazine	61
13.2	Integrering HTC-anläggning för behandling av blandslam vid modellbruk magazine	61
13.3	Data för modellbruk magazine med blandslam till extern jordförbättring	62
13.4	Data för modellbruk magazine med blandslam till HTC-anläggning och producerat biokol till extern användning som bränsle	63
13.5	Slutsatser integrering HTC-anläggning vid modellbruk magazine	63
13.5.1	Energisituation	64
13.5.2	Externreningen	64
14	Ekonomisk utvärdering	65
14.1	Investeringskostnad	65
14.2	Besparingspotential Biokol från bioslam	70
14.2.1	Biokol externt jämfört med bioslam externt	70

14.2.2	Biokol till barkpanna jämfört med bioslam till barkpanna, marginalbränsle biobränsle	71
14.2.3	Biokol till barkpanna jämfört med bioslam till barkpanna, marginalbränsle olja	72
14.3	Besparingspotential Biokol från blandslam	73
14.3.1	Biokol externt jämfört med blandslam externt	74
14.3.2	Biokol till barkpanna jämfört med blandslam till barkpanna, marginalbränsle olja	75
14.4	Återbetalningstid	76
14.5	Känslighetsanalys oljepris	77
15	Aktivitets- och tidplan för HTC-anläggning	79
16	Slutsatser	81
17	Diskussion	83
18	Referenser	84

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Pappers- och massaindustrin i Sverige producerar varje år stora mängder slam (ca 560 000 ton/år räknat som torrs substans). Energipotentialet i detta motsvarar ca 2 TWh/år varav ungefär hälften utnyttjas i brukens egna pannor (Gyllenhammar et al, 2003).

Hantering av främst bioslam, men även andra slamtyper, är ett område där dagens tekniska lösningar inte är optimala. I de flesta fall avvattnas bioslam och förbränns sedan antingen blandat med andra typer av slam eller som det är. Bioslam är svårt att avvattna högre än till en torrhalt på 20-30% och ger därmed endast ett marginellt bidrag eller till och med ett underskott av energi när det förbränns tillsammans med andra bränslen. Detta leder till höga rökgasflöden och ibland krav på stödbränsle för att genomföra förbränningen. Vissa bruk har inte möjlighet att förbränna sitt slam och betalar istället externa företag för omhändertagandet.

För att möjliggöra en förbättrad förbränning och skapa mer högvärdig energi finns det anledning att se på möjligheterna att vidareförädla bioslam till ett mer högvärdigt bränsle.

Hydrotermisk karbonisering är en naturlig process under vilken kol-liknande substanser kan produceras av biomassa. Genom teknikutveckling har denna process accelererats från miljontals år till endast några timmar. I motsats till torrefiering eller pyrolys använder man i denna process upphettat vatten vid ca 200 °C vid förhöjt tryck för att "koka" biomassan och på så sätt produceras en slurry som effektivt kan avvattnas och eventuellt torkas till en kolloidliknande substans ("biokol").

Teknologin för HTC är provad i pilotskala i ett antal anläggningar i Tyskland, Spanien och USA sedan ett antal år tillbaka och sedan 2012 finns en anläggning i industriell skala i Tyskland (Relzow) som levererats av företaget AVA-CO₂ som är ett av de företag som driver teknikutvecklingen.

1.1 UPPDRAGETS UPPGIFT

Uppdragets uppgift är att demonstrera HTC-processen i pilotskala för två olika industriella slam från massa- och pappersindustrin.

Pilotförsök i utvald HTC-pilotanläggning genomförs med mål att:

- Undersöka processens tillämpbarhet i relevant skala
- Identifiera lämpliga processförhållanden
- Ta fram nyckeldata för mass- och energibalanser
- Ta fram bränsleprover i kiloskala, lämpliga för fortsatta analyser och eventuellt förbränningstester
- Ta fram prov på vattenfasen från HTC-processen
- Karakterisera producerat biokol m a p värmevärde, elementaranalys, oorganiskt innehåll, torrhalt, partikelstorlek samt en bedömning av kolets tillämpbarhet som bränsle

Därutöver ska i uppdraget undersökas hur HTC-processen kan integreras med ett bruk som producerar mekanisk massa samt med ett sulfatmassabruk. Påverkan på ångsystem, externrening, bränslehantering ska beskrivas samt effekter på el- och

värmeproduktion och -behov, variation av dessa parametrar med årstid och hantering av restströmmar från HTC-processen.

Uppdraget ska skapa kontakter mellan massa- och pappersindustrin och HTC-leverantörer och ge en inblick i de tekniska lösningar som finns idag.

En fördjupad ekonomisk analys avseende investeringskostnad och driftkostnad görs i uppdraget och en diskussion ska föras kring möjliga användningsområden för det producerade biokolet.

2 Slam från svensk skogsindustri – en översikt

I Sverige finns ca 50 massa- och pappersindustrier med en produktion av storleksordningen 4 Mton avsalumassa och 10,5 Mton papper och kartong per år (Skogsindustrierna, 2014). För rening av processavlopp från dessa bruk finns det i nästan alla fall någon typ av avloppsvattenrening på bruket. Några få anläggningar skickar sitt avlopp till kommunalt reningsverk.

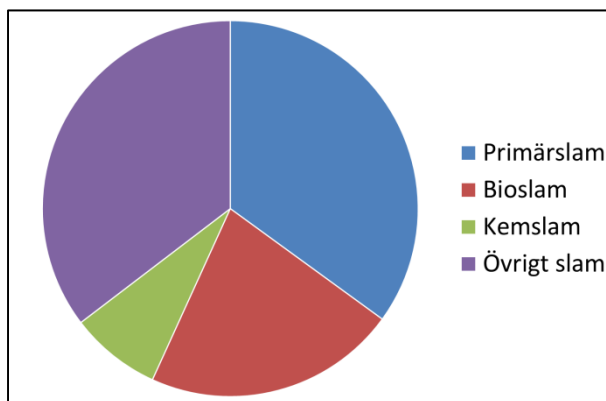
Reningsprocesserna består av mekanisk rening (oftast sedimentering) för avskiljning av fast material, biologisk rening med olika principer där mikroorganismer bryter ner organiskt material. Vid fullständig biologisk nedbrytning bildas koldioxid och vatten. Det är inte möjligt att få total nedbrytning av skogsindustriella avlopp med biologisk rening. I vissa fall kompletteras reningen med kemisk fällning för att avskilja ytterligare organiskt material samt fosfor och vissa andra ämnen i avloppsvattnet med hjälp av metallsalter, oftast aluminium eller järn.

Slammet kan delas in i primär- eller fiberslam från försedimenteringssteg, biologiskt slam från biologiska reningssteg, kemiskt slam från kemfällningssteg och övrigt slam. Bland övrigt slam rapporteras huvudsakligen avsvärtnings- och returfiberslam, men också ibland virvelrenarrejekt, betrykningslam och grönlutsslam. Mesa, kvistrejaekt, renserrejaekt och olika typer av plastrejaekt från processen brukar normalt inte betraktas som slam. Avvattning kan ske på silbandpressar, skruvpressar och centrifuger. Silbandpress var den vanligaste avvattningsmetoden i en undersökning av 37 svenska bruk 2002 (Ahlroth och Sivard, 2002).

Ungefärlig fördelning mellan de olika slamtyperna vid svenska bruk 2014 framgår av Figur 2-1. Diagrammet är grundat på avvattnade mängder i ton/år (genomsnitt 70 % vatten). Bakgrundsdata är en översiktlig enkät bland skogsindustrier kompletterat med framräknade mängder byggt på erfarenhetsdata (ÅF, 2012). Uppdatering till situationen 2014 har gjorts i förhållande till produktionssiffror för bruken (Skogsindustrierna, 2014) och kända förändringar i reningsanläggningarna.

Mängder och genomsnittlig torrhalt efter avvattning för de olika slamtyperna är:

- Primärslam, 265 000 ton/år, 35 % torrhalt
- Bioslam, 165 000 ton/år, 20 % torrhalt
- Kemsam, 60 000 ton/år, 20 % torrhalt
- Övrigt slam, 265 000 ton/år, 40-50 % torrhalt



Figur 2-1 Ungefärlig fördelning av slammängder från skogsindustrier i Sverige 2014

Figur 2-1 Sludge amounts (rough figures) from Pulp and Paper Industries in Sweden, 2014

Blue = Primary sludge, Red = Biological sludge, Green = Chemical sludge, Violet = Other sludge

Totala slammängderna förväntas vara av ungefär samma storleksordning om man ser inom ett perspektiv av 5-10 år framåt. Vissa bruk och produktionslinjer kommer säkert läggas ner, exempelvis tidningspapperstillverkning, men samtidigt sker en liten successiv utbyggnad på andra bruk.

Mängden primärslam är i stort proportionell mot produktionen.

Mängden biologiskt slam beror av mängden organiskt material (mätt som COD eller TOC) i processavloppen och reningsmetoden. De flesta bruk har idag biologisk rening. En övergång till anaerob (rening i syrefri miljö) reningsteknik skulle minska bioslammängderna och det finns på flera håll intresse för detta. Eftersom anaerobi med dagens utformning fungerar dåligt på avlopp från sulfatmassafabriker är det inte troligt att en förändring på dessa bruk kommer att ske inom en nära framtid.

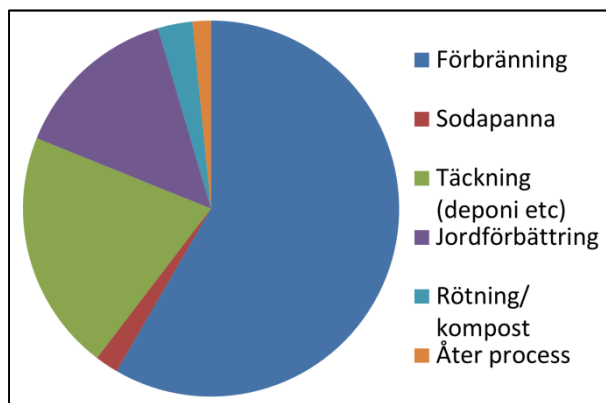
Ökade krav på låga utsläpp av suspenderade ämnen skulle kunna leda till en utbyggnad av kemisk fällning och därmed ökade mängder av kemiska slam.

3 Hantering och förädling av slam – en översikt

Efter avvattning måste slammet slutomhändertas på ett långsiktigt hållbart och miljöeffektivt sätt. Olämplig hantering av slam kan bland annat leda till obehaglig lukt från t. ex. den giftiga gasen svavelväte. De stora slammängderna gör att kostnaderna för olika metoder är av stor betydelse för val av behandlingsalternativ. I avsnittet presenteras ett antal olika metoder – några allmänt förekommande idag, några mer idéer för framtiden. Sedan 2005 är deponering av slam (organiskt avfall) förbjudet i Sverige med stöd av EU-förordning.

De metoder som idag används vid svenska skogsindustrier är förbränning i fastbränslepanna, förbränning i sodapanna efter förbehandling och införsel via indunstningen, täckning av deponier, gruvor och liknande, jordförbättring, rötning eller kompostering samt återanvändning i processen vid eget eller annat bruk.

Figur 3-1 visar fördelning av användning av slam 2010 (ÅF, 2012). Diagrammet, som redovisar slammängder efter avvattning, bygger på en snabb enkätundersökning kompletterad med vissa uppskattningar. Det kan inte betraktas som fullständigt vetenskapligt framtaget, men ger ändå en god bild. Förhållandena bedöms inte ha ändrats i någon större utsträckning sedan 2010.

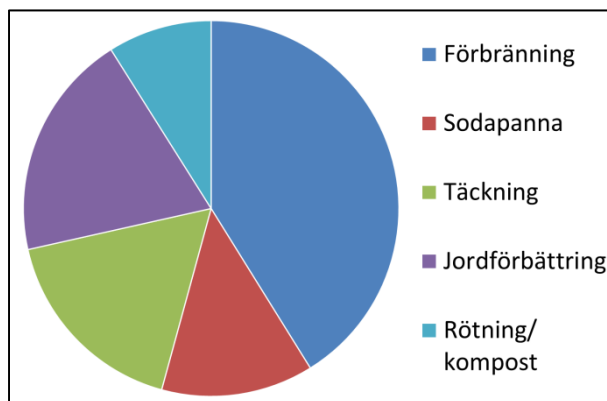


Figur 3-1 Ungefärlig fördelning av slutanvändningsmetoder, svenska bruk 2010

Figure 3-1 Final use of sludge from Swedish Pulp and Paper industries, 2010

Blue = Incineration, Red = Incineration of biological sludge in the recovery boiler, Green = Cover material for deposit areas, mines etc., Violet = Soil material, Light blue = Digestion/Composting, Orange = Reuse in process

En grov uppskattning har också gjorts av slutanvändning för bioslam från svenska bruk, Figur 3-2. Diagrammet bygger på förhållanden 2014 och en total mängd av 165 000 ton bioslam för hela året med en genomsnittlig torrhalt av ca 20 %.



Figur 3-2 Slut användning för bioslam från svenska bruk, 2014

Figure 3-2 Final use of biological sludge from Swedish Pulp and Paper Industries, 2014
Colours as above

Det är en relativt stor andel som går till sluttäckning av deponier, gruvor och liknande. Eftersom deponering av organiskt avfall numera är förbjudet och målsättningen är att minska all typ av deponering förväntas avsättningsmöjligheterna för slam till denna typ av verksamhet komma att minska. Förbränning av bioslam är inte problemfritt, så om det utvecklas alternativa möjligheter till omhändertaganden skulle det med säkerhet välkomnas vid många bruk.

3.1 MEKANISK AVVATTNING OCH FÖRBRÄNNING I FASTBRÄNSLEPANNA

Mekanisk avvattning och förbränning i fastbränslepanna (ofta barkpannan) är en av de vanligaste metoderna för slutlig slamhantering vid svenska skogsindustrier. Vid en enkätundersökning bland svenska bruk 2002 var det 22 bruk av 37 tillfrågade, som brände slam i fastbränslepanna. Förbränningen ansågs i de flesta fall fungera bättre vid bruk med bubblande fluidiserad bädd-panna (BFB) eller cirkulerande fluidiserad bädd-panna (CFB) än vid bruk med rosterpannor (Ahlroth och Sivard, 2002).

Vid undersökningen redovisad i Figur 2 förbrändes nära 60 % av fallande slammängder (ÅF, 2012).

I EU:s direktiv 2000/76/EG är slam undantaget från direktivets bestämmelser om förbränningsanläggningar och samförbränningsanläggningar och får brännas på plats i brukets egen barkpanna om värmen återvinns (Ahlroth och Sivard, 2002).

3.2 MEKANISK AVVATTNING OCH TORKNING FÖRE FÖRBRÄNNING I FASTBRÄNSLEPANNA

Bland metoder för slamtorkning kan nämnas (Ingvarsson, 2004):

- Termisk torkning i trumtork, eventuellt i vakuum
- Torkning i fluidiserad bäddtork
- Torkning i strömtork
- Torkning i bäddtork, eventuellt i vakuum

Vakuomtorkning av skogsindustriella finns beskrivet i utredningar för Värmeforsk (Eklund och Eriksson, 2002 och Eklund, 2003).

I Sverige finns en trumtork för torkning av slam i drift sedan mer än tio år vid SCA Edet bruk. Mer än hälften av slammet torkas före förbränning i en panna med fluidiserande bädd (BFB). Torken drar en del underhållskostnader och var inte i drift under ett par år, men har startats igen för att mer slam då kan förbrännas (Ekström, 2015). Trumtork för slamtorkning används också vid Stora Enso Anjalankoski i Finland och har provats i en testanläggning vid Rockhammars bruk (Ingvarsson, 2004).

I Österrike och Tyskland finns installationer med fluidiserande bäddtorkar för torkning av slam (Ingvarsson, 2004).

Processum har genomfört tester med torkning av fiberslam och bioslam från SCA Obbola i DMR och i vakuumtork. DMR är en tork med direktkontakt mellan material och en varm gas, torken är försedd med rotorspridare i botten. Resultaten visar att torkning med dessa utrustningar kan vara energieffektivt under rätt betingelser. Från försöken med bioslam rapporterades en del praktiska problem (Westin, 2011 och Westin, 2012).

Torkning av slam efter avvattning har länge varit fokus för intresse, främst med syfte att få en effektivare förbränning. Hittills har inte teknikerna haft något större genomslag. Orsaker kan vara rädsla för störningar och att det inte visat sig vara ekonomiskt lönsamt. Torkning av slam och liknande material genom upplag på stora torkytor beskrivs i senare avsnitt.

3.3 HYDROLYS AV BIOSLAM GENOM INBLANDNING AV LUT I INDUNSTNINGEN FÖLJT AV FÖRBRÄNNING I SODAPANNA

Ett sätt att vid sulfatmassabruk omhänderta bioslam är hydrolys genom blandning med mellanlut och upphettning till ca 80 °C under en timme följt av indunstning och förbränning i brukets sodapanna. Metoden används sedan ett antal år på ca åtta bruk i Sverige och Finland. En nackdel är att ytterligare processfrämmande grundämnen (PFG) tillförs systemet och ibland kan ge inkruster i kemikalieåtervinningen och att ökad tillförsel av färsk kalk ofta krävs. Effekter av PFG vid några olika massabruk finns beskrivna i ett par Värmeforskrapporter från början av 2000-talet (Dahlbom, 2003 samt Dahlbom och Wadsborn 2005). En studie av kemikaliebalanserna vid det egna bruket rekommenderas före beslut om att använda metoden. De flesta bruk som använder metoden upplever att det fungerar bra eller tillfredsställande.

3.4 RÖTNING

Rötning av slam är en allmänt förekommande metod inom kommunal avloppsvattenrening. Rötningen minskar slammängderna, gör slammet mer lättavvattnat och innebär också en hygienisering, d.v.s. mängden patogener eller sjukdomsspridande mikroorganismer minskar.

Rötning av skogsindustriella bioslam enbart (Truong et al, 2010) eller i kombination med andra rötbara ämnen (Berg et al, 2011) har testats i omfattande försök i samarbete mellan Pöyry Sweden, Tema Vatten vid Linköpings universitet och Scandinavian Biogas Fuels.

Försöken visade på en slamreduktion kring 30-40 % och förbättrad avvattningsbarhet. Möjlig belastning av försöksanläggningarna begränsades av hög viskositet. Samrötning med andra substrat kunde öka biogasproduktionen.

Ett problem vid rötning av enbart bioslam var att rötresten innehöll för höga halter av främst kobolt för att klara de krav som ställs för certifierat jordförbättringsmedel. Tänkbara alternativa användningar är skogsgödning, täckskikt för deponier eller förbränning. Samrötning med lämpligt substrat kunde minska mängderna tungmetaller i rötresten, men det krävdes mycket stor mängd samrötningssubstrat för att komma under gränsvärden för biogödsel och anläggningsjord.

Rapportförfattarna känner inte till att rötning av skogsindustriellt slam förekommer i fullstor skala.

3.5 ANVÄNDNING SOM JORDFÖRBÄTTRINGS- OCH TÄCKMATERIAL ELLER BIOBRÄNSLE UTANFÖR BRUKET

Det finns några olika aktörer på marknaden vars affärsidé är att omhänderta och förmedla vidare olika typer av restprodukter, såsom exempelvis slam från reningsverk. Slam läggs ofta ut på stora ytor för att torka med hjälp av sol och vind och används sedan i jordprodukter, för täckning av exempelvis deponier och till olika typer av grönytor. Slam kan också blandas med askor, vilket ger en produkt som kan användas i tätskikt för exempelvis deponier och gruvområden. Slam kan också användas i produkter för förbränning.

En del bruk har också lokala mottagare av skilda slag (gruvor, hästanläggningar, tillverkare av adsorptionsmedel, kompostströ, kattsand m.fl.) för sitt slam eller använder det för sluttäckning av egna deponier (Ahlroth och Sivard, 2002).

3.6 ANVÄNDNING I MASSAPRODUKT

När försedimenteringsbassänger började byggas inom skogsindustrin (1960- 1970-talet) var förutom skärpta miljölagar med krav på minskade utsläpp en starkt pådrivande faktor att fibrer som tidigare släppts ut kunde tillvaratas och återvinnas.

Utveckling av processutrustning med tillvaratagande i filtersteg före rening har gjort att andelen fibrer i primärslammet har minskat och det förekommer numera på flera bruk att man kontinuerligt eller periodvis måste tillföra extra fibrer i slamavvattningen för att få den processen att fungera. Höga produktkrav har också medfört att möjligheten att återta slam i produkter har minskat.

I vissa produkter, t.ex. fluting, går det dock bra att blanda in rejekt- och sedimentmassor, ett exempel är BillerudKorsnäs Gruvön som tar emot sådant material från 6-7 bruk i Sverige och Norge (Ganroth, 2015).

3.7 CAMBI/KREPRO-PROCESSEN, BIOCON AND KEMICOND

Med ett huvudsyfte att kunna avskilja och återvinna fosfor har Cambi/Krepro- och BioCon- processerna utvecklats. Kemicond är en enklare variant av Krepro.

I Cambi/Krepro sker termisk hydrolys av avvattnat slam, förbränning av slamrest och biologisk oxidation av löst hydrolyserat organiskt material. Fosfor och metaller löses genom behandling av det avvattnade slammet med svavelsyra. Fosfor återvinns i form av järnfosfat genom kemisk fällning. Tungmetaller fälls som sulfider. Fällningskemikalierna återvinns delvis genom upplösning med syra (Hultman och Löwén, 2001).

I BioCon sker torkning av förbränning av avvattnat slam. Fosfor och metaller löses genom behandling av aska från förbränningen med svavelsyra. Fosfor återvinns som fosforsyra genom jonbyte. Tungmetaller koncentreras i jonbytesprocessen och i fällningskemikalierna återvinns också med hjälp av jonbyte (Hultman och Löwén, 2001).

Både Cambi/Krepro och BioCon är dyra och komplicerade processer och några fullskalereferenser är inte kända. Skogsindustriella slam innehåller lägre halter av närsalter, så incitamentet för fosforåtervinning från dessa slam är mindre.

Kemicond är en förenklad variant av Cambi/Krepro som sker i rumstemperatur och normalt tryck. Slam surgörs med svavelsyra för att lösa upp järnfosfat och hydroxider. Därefter sker en oxidation med väteperoxid för att oxidera järn varvid fosfatjonerna återförs till järnfosfat samtidigt som gelstrukturen i slammet påverkas så att avvattningen underlättas. Större delen av bakterierna dör och luktämnen oxideras eller binds till frigt järn. Slutligen sker en avvattning, som underlättas av förbehandlingen (Jönsson, 2004).

Kemicond var i drift ett antal år vid Käppalaverket på Lidingö.

4 Regelverk avfall från skogsindustrin – en översikt

Att gå igenom och värdera alla lagar och förordningar som skulle kunna vara applicerbara för hantering av biokol producerat från skogsindustriellt slam faller utanför ramarna för detta projekt. Detta är endast några kortfattade kommentarer.

Skogsindustriella slam undantas från regler för avfallsförbränning om det bränns på platsen i egen panna (Ahlroth och Sivard, 2002). Ett rimligt antagande bör kunna vara att detta även gäller om man först tillverkar biokol från slammet.

Vilka regler som mer generellt kommer gälla för biokol producerat från slam beror bland annat på om det kommer att klassas som ett avfall eller en biprodukt. Att dra en tydlig gräns är viktigt för att veta vilka regler som gäller, men för material som inte är det huvudsakliga syftet med en produktionsprocess är det ofta svårt. Europeiska gemenskapernas kommission har gett ut ett tolkningsmeddelande om avfall och biprodukter (EU, 2007).

I tolkningsmeddelandet (EU, 2007) finns bland annat följande definitioner:

Produkt – alla material som avsiktligt skapas i en produktionsprocess

Restprodukt – ett material som inte avsiktligt framställs i en produktionsprocess och som kan vara ett avfall eller inte

Biprodukt – en restprodukt som inte är ett avfall

I tolkningsmeddelandet (EU, 2007) står vidare med hänvisning till två mål i EG-domstolen:

”När produktionen av det berörda materialet var ”följden av ett teknikval” (att avsiktligt producera ett sådant material) kunde det inte vara en restprodukt.

Den första fråga som skall ställas för att fastställa om ett material är ett avfall eller inte är därför om tillverkaren avsiktligt valt att producera det berörda materialet. Om tillverkaren kunde ha producerat primärprodukten utan att producera det berörda materialet men ändå valt att göra detta, tyder detta på att det berörda materialet inte är en restprodukt. Ett annat tecken på att produktionen av det berörda materialet varit ett teknikval är om produktionsprocessen ändrats för att ge det berörda materialet särskilda tekniska egenskaper.”

Relaterat till ovanstående citat förefaller det tydligt att biokolet är en biprodukt och ur legalt hänseende kan hanteras som huvudprodukten (massa och eller papper).

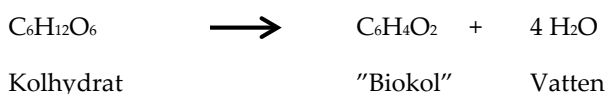
En miljöprövning måste sannolikt göras för att konstatera att inte den förändrade processen ger upphov till förändrade utsläpp till vatten och luft eller medför andra miljökonsekvenser.

5 HTC Hydrotermisk karbonisering

5.1 HTC-PROCESSEN

Hydrotermisk karbonisering är en process där biomassa behandlas i vatten som reaktionsmedium, under hög temperatur (200-370 °C), högt tryck (>20 bar) och varierande uppehållstid (5 min till flera timmar). Beroende på vilka förhållanden som råder och vilka katalysatorer som används kan biomassan omvandlas till gas, vätska eller till en fast kolliknande form ("biokol").

Sammanfattande kan reaktionen från kolhydrat (här glukos) till biokol beskrivas som nedan:



Biokolet har goda avvattningsegenskaper och kan enligt uppgifter i litteraturen och från leverantörer filtreras/mekaniskt avvattnas upp till 50-70 % TS (SunCoal 2015, AVA-CO2 2015, Escala et al, 2013), eller till och med upp till 80% (Palmu, 2011).



Figur 5-1 Exempel på hur en biokolprodukt kan se ut
Figure 5-1 Example of a biocoal product

Utöver biokol erhålls också vid den hydrotermiska karboniseringen en vattenström innehållande utlösta organiska föreningar (storleksordningen 15% av ingående organisk substans) samt lösliga salter (Ramke et al, 2009). De organiska föreningarna i vätskeströmmen har visat sig vara lätt nedbrytbara i både aeroba och anaeroba processer. Vidare fås en gasfas bestående av främst CO₂ men även en liten mängd andra föreningar såsom metan och högre kolväten (storleksordningen 5% av

ingående organisk substans) (Ramke et al, 2009). Gasfasens sammansättning varierar med reaktionsförhållandena och startmaterialet och bör utredas för varje material.

5.2 FÖRETAG SOM UTVECKLAR HTC-PROCESSEN

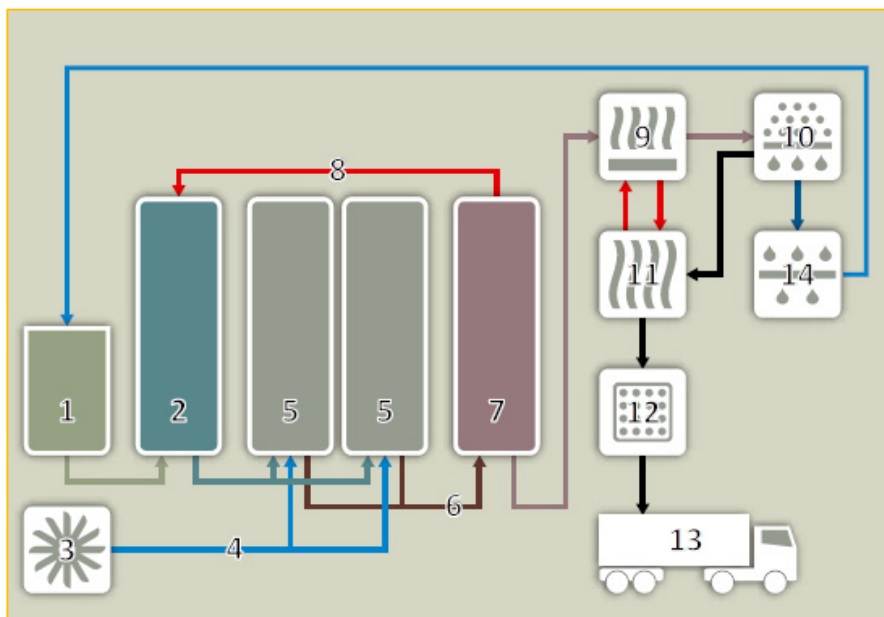
I biokol från bioslam - teknisk förstudie beskrevs fyra företag som utvecklar HTC-processen i mer detalj:

- AVA-CO2
- SunCoal
- CarbonSolutions
- Ingelia

Nedan beskrivs i all korthet HTC som batch process, utvecklad av AVA-CO2 och HTC i kontinuerligt utförande, med SunCoals process som exempel.

5.2.1 Beskrivning HTC som batchprocess – AVA-CO2

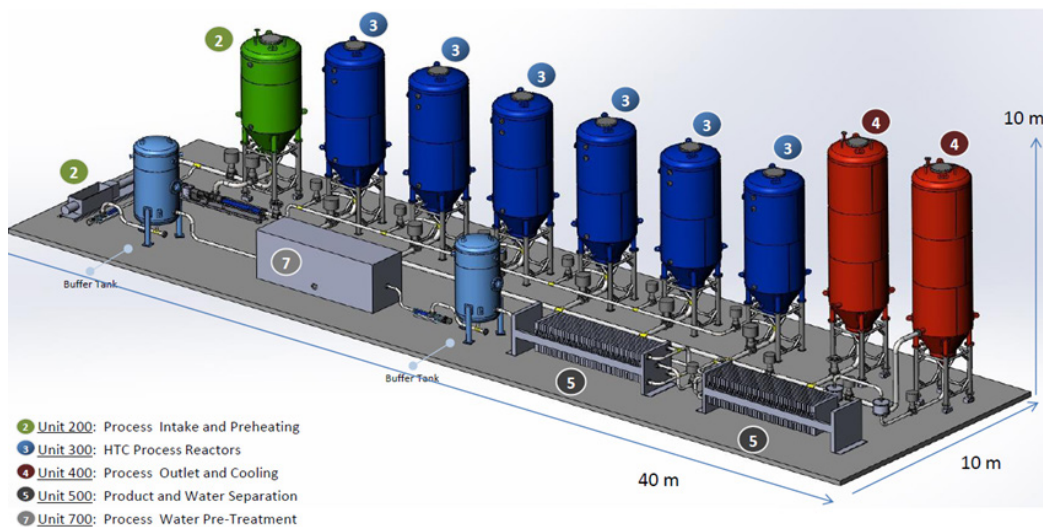
Den process AVA-CO2 använder för omvandling av biomassa till biokol är en s.k. multibatchprocess. Processen kan beskrivas med följande principbild.



Figur 5-2 Principbild av HTC-anläggning från AVA-CO2

Figure 5-2 Schematic picture of a HTC plant from AVA-CO2

- | | |
|---|--|
| 1. Inmatning av biomassa | 8. Återföring av flashång |
| 2. Förvärmning | 9. Värmeåtervinning |
| 3, 4. Ånga | 10. Mekanisk separation av produkt och vattenfas |
| 5. Trycksatta reaktionskärn som körs batchvis kopplade i ring så att den energi som frigörs i den exoterma reaktionen kan ledas framåt i systemet | 11. Torkning, valfri |
| 6. Utflöde biokolslurry | 12. Biokol, hantering |
| 7. Flashtank | 13. Biokol, logistik |
| | 14. Behandling av processvatten |



Figur 5-3 Schematisk bild av HTC-anläggning från AVA-CO2

Figure 5-3 Schematic picture of a HTC plant from AVA-CO2

1. Bufferttank
2. Intag av biomassa och förvärmningstank
3. HTC-reaktorer
4. Uttag av biokolslurry till flashtankar, kylning
5. Mekanisk separation av produkt och vattenfas
6. Bufferttank
7. Behandling av processvatten

AVA-CO2 har två pilotanläggningar i Karlsruhe, Tyskland. Den större pilotanläggningen, HTC-0, består av en förvärmningstank, en trycksatt reaktor om 14 m³ och en flashtank. Pilotanläggningen omfattar även en kammarfilterpress och möjlighet att behandla processvattnet från HTC-reaktionen med membranfiltrering. HTC-0 har kapacitet att behandla 8400 t biomassa/år.

I den mindre pilotanläggningen i Karlsruhe, K3-335, kan försök göras för att effektivt undersöka potentialen för en viss biomassa för HTC. I detta projekt har pilotförsök genomförts i K3-335.



Figur 5-4 HTC-0, AVA-CO2 pilotanläggning med 14 m³ reaktor

Figure 5-4 HTC-0, AVA-CO2 pilot plant with reactor size 14 m³

5.2.2 Beskrivning HTC som kontinuerlig process – exempel SunCoal

SunCoals HTC-process är kontinuerlig. Huvuddelarna av processen kan beskrivas som följer:

1. Inmatning av slam från befintlig slamavvattning
2. Förvärmning i förvärmningstank
3. Kontinuerlig reaktor med uppehållstid 1-3 timmar
4. Avgasning av den producerade biokolsslurryn i avgasningskärl där ångan återvinns och leds tillbaka till tidigare steg i processen
5. Bufferttank
6. Mekanisk avvattning

SunCoal har en pilotanläggning i Ludwigsfelde nära Berlin i Tyskland.

Pilotanläggningen är kontinuerlig och kan omvandla upp till 200 kg våt biomassa/h.



Figur 5-5 SunCoals pilotanläggning i Ludwigsfelde
Figure 5-5 SunCoal pilot plant in Ludwigsfelde

6 Pilotförsök med HTC

6.1 SLAM TILL PILOTFÖRSÖK

6.1.1 Förutsättningar vid uttag av bioslam

Bioslammet togs ut under produktion av blekt och oblekt massa som användes för pappersproduktion och en delmängd som avsalumassa. Dosering av järnsulfat gjordes till reningen i samband med slamuttaget. Kväve och fosfor doserades inte. Driften av reningen bedömdes som normal. Polymer doserades innan avvattningssteget. Bioslammet avvattades till en torrhalt på 17% och pH i bioslammet var 5,1.

6.1.2 Förutsättningar vid uttag av blandslam

Blandslammet togs ut vid produktion av lågblekt och högblekt TMP för användning i papperstillverkningen. Järnsulfat och närsalter, kväve och fosfor, doserades i samband med slamuttaget, fosfor dock en lägre dosering än normalt. Reningen bedömdes i övrigt fungera normalt. Polymer doserades innan avvattningen och blandslammet avvattades till 30% torrhalt. pH i blandslammet uppmättes till 5,5. Andelen bioslam i blandslammet uppskattades till ca 40%.

6.2 PILOTANLÄGGNING

I detta uppdrag genomfördes pilotförsök i AVA-CO2s pilotanläggning K3-335 i Karlsruhe. Vid pilotförsök i K3-335 genomförs HTC-processen i en reaktor med storleken 335 l.



Figur 6-1 Pilotanläggning K3-335, AVA-CO2 Karlsruhe

Figure 6-1 Pilot plant K3-335, AVA-CO2 Karlsruhe

6.3 GENOMFÖRANDE PILOTFÖRSÖK – BESKRIVNING

Ett bioslam och ett blandslam transporterades till AVA-CO2s forskningsanläggning i Karlsruhe. Representativa prover togs ut och analyserades m. a. p. kemiska och fysikaliska egenskaper. Utifrån analysresultaten bestämdes karboniseringsrecepten för de båda slammerna.

Pilotförsöken genomfördes i följande steg:

- Förvärmning av reaktor
- Dosering av biomassa, vatten och vid behov syra till reaktor
- Ånga tillsätts till temperatur ca 200C och tryck ca 20 bar uppnås
- Biomassablandningen blandas om genom rundpumpning, och blandningen värms också då den passerar en tubvärmväxlare
- För att kompensera för reaktorns värmeförluster tillsätts även ånga till reaktorn i intervaller
- Efter ca 6 h avbryts reaktionen och biokolsslurryn förs över till en oisolerad tank där den svalnar
- Biokol och processvatten separeras genom filtrering i labutrustning
- Representativa prover tas ut på biokol och processvatten och analyseras m. a. p. kemiska och fysikaliska egenskaper

6.4 PILOTFÖRSÖK BIOSLAM

Bioslammet hade följande utseende inför pilotförsöken.



Figur 6-2 Bioslam, innan HTC-pilotförsök

Figure 6-2 Biosludge, before HTC pilot trial

I pilotförsöken omvandlades bioslammet till en biokolsslurry som sedan avvattnades.



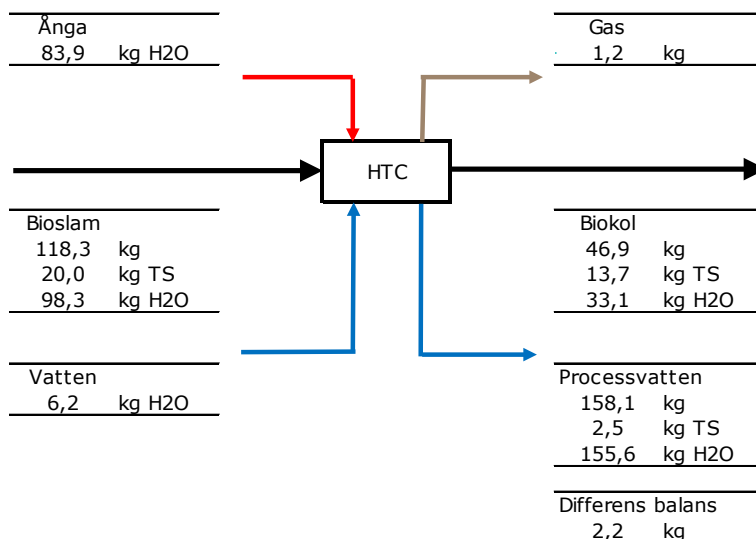
Figur 6-3 Biokolsslurry, producerad av bioslam
Figure 6-3 Biocoal slurry, produced of biosludge



Figur 6-4 Biokol från bioslam, under avvattning
Figure 6-4 Biocoal from biosludge, during dewatering

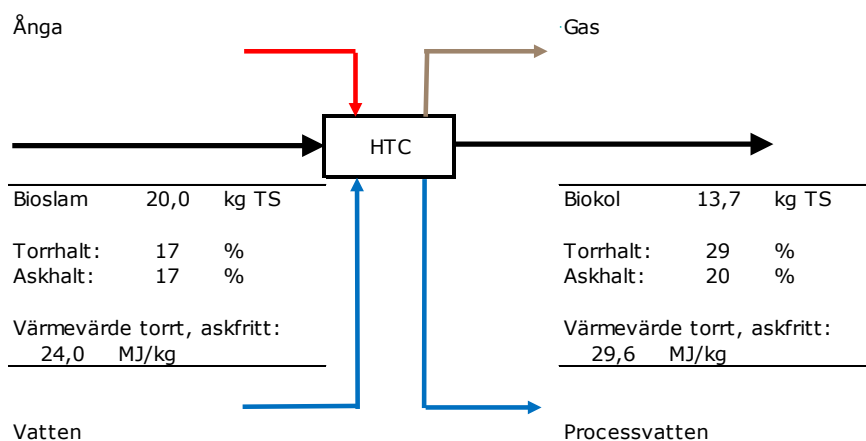
6.5 RESULTAT PILOTFÖRSÖK BIOSLAM

Resultaten från pilotförsöket på bioslam sammanfattas i nedanstående bilder med massbalans samt grundläggande data för slam och producerad biokol.



Figur 6-5 Resultat pilotförsök bioslam: Massbalans

Figure 6-5 Results pilot trial biosludge: Mass balance



Figur 6-6 Resultat pilotförsök bioslam: Data slam och biokol

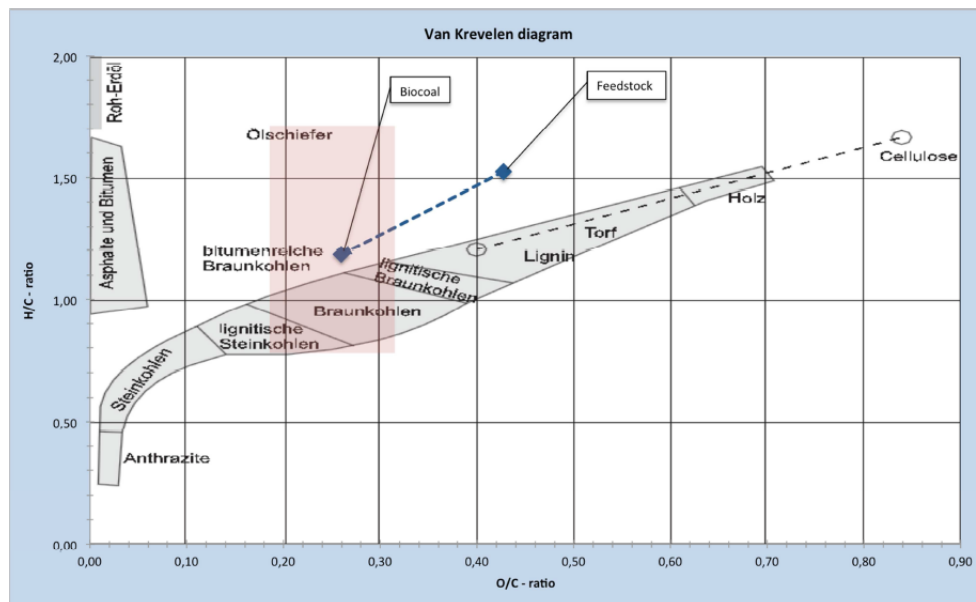
Figure 6-6 Results pilot trial biosludge: Data sludge and biocoal

Värden angivna ovan är baserade på mätvärden och analyser genomförda under och efter pilotförsöken. Då pilotanläggningen saknar möjlighet att mäta och analysera den gas som bildas är mängden gas uppskattad av AVA-CO₂ från referensdata från många tidigare försök.

Då hydrotermisk karbonisering innebär bl. a. att vattenmolekyler spjälkas av från kolhydraterna i biomassan är det naturligt att den sammanlagda vikten av torr biokol, torrs substans i processvattnet och gas (dvs allt utom vatten) är mindre än den ingående torra vikten av bioslammet.

I Van Krevelen diagrammet visas hur mängden väte förhåller sig till mängden kol (y-axeln) och hur mängden syre förhåller sig till mängden kol (x-axeln). Genom att rita in ursprungsmaterial och produkt i diagrammet fås en uppfattning om hur väl materialet karboniserats. Produkten kan jämföras med kända referensmaterial som brunkol, stenkol och antracit.

Bioslammet karboniserades väl och det producerade biokolet uppnådde ett värmevärde (torrt, askfritt) på 29.6 MJ/kg. Detta överstiger värmevärdet hos brunkol.



Figur 6-7 Resultat pilotförsök: Van Krevelen diagram för hydrotermisk karbonisering av bioslam

Figure 6-7 Result pilot trial: Van Krevelen diagram for hydrothermal carbonization of biosludge

6.5.1 Energiförbrukning

Uppskattad mängd tillförd energi under pilotförsöket var 86.2 kWh värme och 16.5 kWh el. Detta motsvarar 729 kWh värme/ ton våt biomassa till reaktorn samt 139 kWh el/ ton våt biomassa. Detta är flera gånger högre än vad som är angivna nyckeltal vid HTC i industriell skala. Det är rimligt att energiförbrukningen är oproportionerligt hög vid pilotförsök i liten skala. I pilotanläggningen finns heller inte någon återvinning av den värme som frigörs i den exoterma HTC-reaktionen, vilket är en väsentlig del av processlösningen i såväl batch som kontinuerliga varianter av HTC-processen.

6.5.2 Processvatten

Processvattnet innehåller höga halter av organiskt material. Omvandlingsfaktorn COD/TOC = 2.7 har använts.

Tabell 6-1 Resultat pilotförsök bioslam: Organiskt material i processvattnet

Tabel 6-1 Result pilot trial biosludge: Organic material in the process water

DOC	9800	mg/l
TOC	10000	mg/l
TOC	79,1	g/kg slam
COD	27000	mg/l
COD	213	g/kg slam

Bioslammet innehåller grundämnen av olika slag, inkl metaller och vissa tungmetaller. I nedanstående tabell visas innehållet av olika grundämnen i bioslammet och hur de efter HTC-reaktionen fördelade sig mellan biokol och processvatten.

Tabell 6-2 Resultat pilotförsök bioslam: Grundämnen i bioslammet och fördelning mellan biokol och processvatten

Table 6-2 Result pilot trial biosludge: Chemical elements in the biosludge and the distribution between biocoal and process water

	Mängd i bioslam [g/kg TS slam]	Andel i biokol [%]	Andel i processvatten [%]
Kväve N	31,6	54	46
Fosfor P	5	93	7
Svavel S	17	65	35
Klor Cl	1,4	43	57
Natrium Na	1,7	20	80
Kalium K	1,6	45	55
Kalcium Ca	4,3	39	61
Magnesium Mg	1,5	57	43
Järn Fe	43	80	20
Aluminium Al	9,7	99	1
Tungmetaller	0,5	100	0

(huvudsakligen krom, bly, koppar, nickel, kadmium)

6.6 GENOMFÖRANDE PILOTFÖRSÖK BLANDSLAM

Blandslammet hade följande utseende inför pilotförsöken.



Figur 6-8 Blandslam, innan HTC-pilotförsök

Figure 6-8 Mixed sludge, before HTC pilot trial

Blandslammet omvandlades i pilotförsöken till nedanstående biokolsslurry som sedan avvattnades.

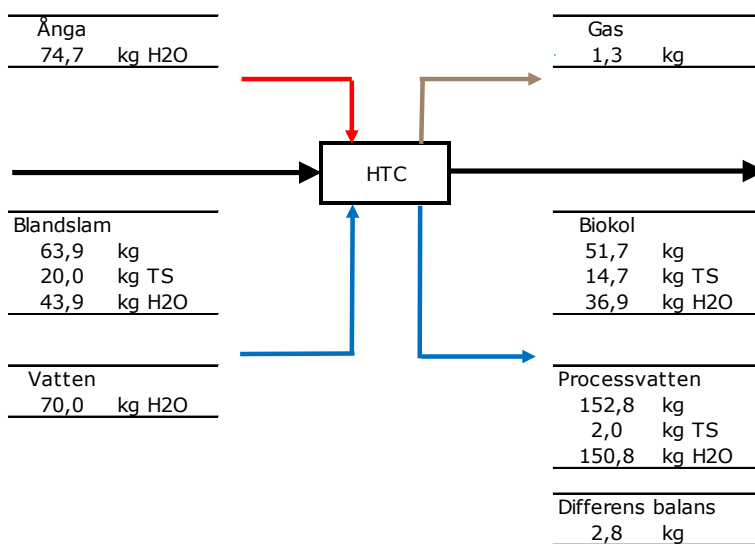


Figur 6-9 Biokolsslurry, producerad av blandslam

Figure 6-9 Biocoal slurry, produced of mixed sludge

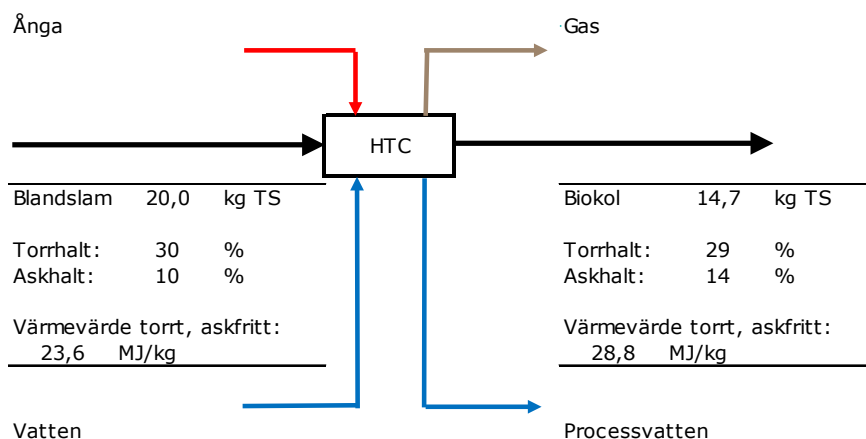
6.7 RESULTAT PILOTFÖRSÖK BLANDSLAM

Resultaten från pilotförsöket på blandslam sammanfattas i nedanstående bilder med massbalans samt grundläggande data för slam och producerad biokol.



Figur 6-10 Resultat pilotförsök blandslam: Massbalans

Figure 6-10 Results pilot trial mixed sludge: Mass balance



Figur 6-11 Resultat pilotförsök blandslam: Data slam och biokol

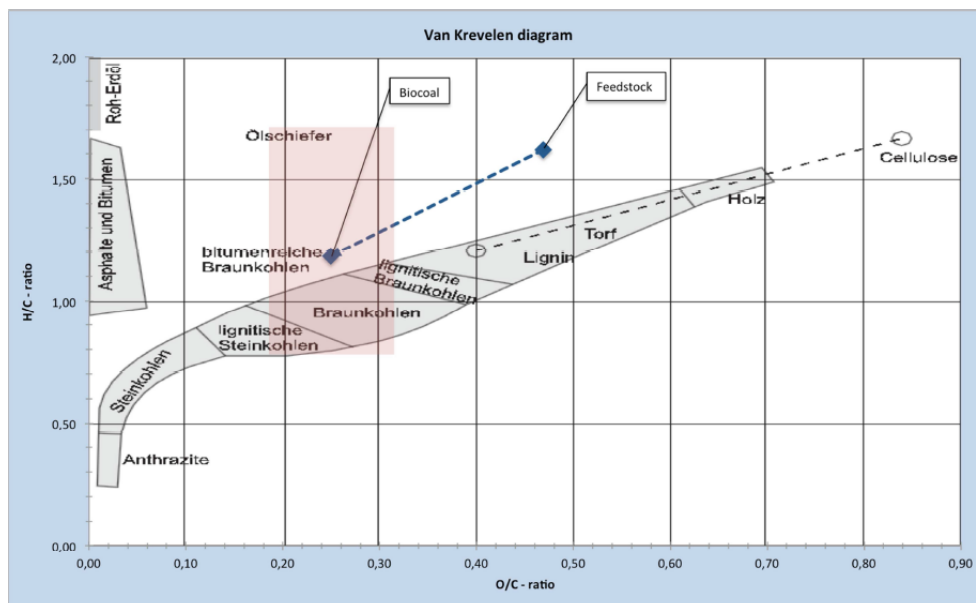
Figure 6-11 Results pilot trial mixed sludge: Data sludge and biocoal

Värden angivna ovan är baserade på mätvärden och analyser genomförda under och efter pilotförsöken. Då pilotanläggningen saknar möjlighet att mäta och analysera den gas som bildas är mängden gas uppskattad av AVA-CO₂ från referensdata från många tidigare försök.

Då hydrotermisk karbonisering innebär bl. a. att vattenmolekyler spjälkas av från kolhydraterna i biomassan är det naturligt att den sammanlagda vikten av torr biokol, torrsubstans i processvattnet och gas (dvs allt utom vatten) är mindre än den ingående torra vikten av bioslammet.

I Van Krevelen diagrammet visas hur mängden väte förhåller sig till mängden kol (y-axeln) och hur mängden syre förhåller sig till mängden kol (x-axeln). Genom att rita in ursprungsmaterial och produkt i diagrammet fås en uppfattning om hur väl materialet karboniserats. Produkten kan jämföras med kända referensmaterial som brunkol, stenkol och antracit.

Blandslammet karboniserades väl och det producerade biokolet uppnådde ett värmevärde (torrt, askfritt) på 28.8 MJ/kg. Detta överstiger värmevärdet hos brunkol.



Figur 6-12 Resultat pilotförsök: Van Krevelen diagram för hydrotermisk karbonisering av blandslam
 Figure 6-12 Result pilot trial: Van Krevelen diagram for hydrothermal carbonization of mixed sludge

6.7.1 Energiförbrukning

Tillförd energi under pilotförsöket var 89.2 kWh värme och 16.5 kWh el, vilket motsvarar 1396 kWh värme/ ton våt biomassa till reaktorn samt 258 kWh el/ ton våt biomassa. Detta är flera gånger högre än vad som är angivna nyckeltal vid HTC i industriell skala. Det är rimligt att energiförbrukningen är oproportionerligt hög vid pilotförsök i liten skala. I pilotanläggningen finns inte någon återvinning av den värme som frigörs i den exoterma HTC-reaktionen, vilket är en väsentlig del av processlösningen i såväl batch som kontinuerliga varianter av HTC-processen. Vid pilotförsöken med blandslam tillfördes dessutom extra vatten till reaktorn som kräver energi för uppvärmning. Detta då pilotreaktorn inte är utrustad med omrörare och för att kunna få en bra ombländning måste torrhalten vara förhållandevis låg.

6.7.2 Processvatten

Processvattnet innehåller höga halter av organiskt material. Omvandlingsfaktorn COD/TOC = 2.7 har använts.

Tabell 6-3 Resultat pilotförsök blandslam: Organiskt material i processvattnet
 Table 6-3 Result pilot trial mixed sludge: Organic material in the process water

DOC	10000	mg/l
TOC	11000	mg/l
TOC	84,0	g/kg slam
COD	29700	mg/l
COD	227	g/kg slam

Blandslammet innehåller grundämnen av olika slag, inkl metaller och vissa tungmetaller. I nedanstående tabell visas innehållet av olika grundämnen i blandslammet och hur de efter HTC-reaktionen fördelade sig mellan biokol och processvatten.

Tabell 6-4 Resultat pilotförsök blandslam: Grundämnen i blandslammet och fördelning mellan biokol och processvatten

Table 6-4 Result pilot trial mixed sludge: Chemical elements in the mixed sludge and the distribution between biocoal and process water

	Mängd i blandslam [g/kg TS slam]	Andel i biokol [%]	Andel i process-vatten [%]
Kväve N	30	58	42
Fosfor P	3,3	93	7
Svavel S	7	55	45
Klor Cl	0,6	38	62
Natrium Na	2,1	23	77
Kalium K	0,75	36	64
Kalcium Ca	6,3	44	56
Magnesium Mg	1,2	81	19
Järn Fe	4,1	83	17
Aluminium Al	10	100	0
Tungmetaller	0,2	98	2

(huvudsakligen krom, bly, koppar, nickel, kadmium)

6.8 SLUTSATSER PILOTFÖRSÖK MED HTC HOS AVA-CO2

Följande slutsatser kan dras från pilotförsöken hos AVA-CO2:

Bioslam och blandslam karboniserades väl. Det producerade biokolet uppnådde i båda fallen ett värmevärde (torrt, askfritt) som överstiger värmevärdet för brunkol, för biokol från bioslam 29.6 MJ/kg och för biokol från blandslam 28.8 MJ/kg.

Utbytet av biokol uppnådde 68.5 vikt% för biokol från bioslam och 73.5 vikt% för biokol från blandslam.

Förutom graden av karbonisering, värmevärde och utbyte är vilken torrhalt som är möjlig att uppnå med mekanisk avvattning av betydelse för biokolets värde som bränsle. Vid försöken i K3-335 avvattades biokolet genom filtrering i labutrustning. Den torrhalt som då uppnås är inte representativ för vad som kan uppnås i en mekanisk press. För att bedöma vilken torrhalt som är möjlig att uppnå på producerat biokol med en mekanisk avvattning kompletterades pilotförsöken hos AVA-CO2 med avvattningstester i en kammarfilterpress i labbskala hos Metso i Sala. Avvattningstester och resultat från dessa finns beskrivet i kapitel 7.

Energiförbrukningen under pilotförsöken i K3-335 är av naturliga skäl inte representativ för vilken energiförbrukning som är möjlig att uppnå i en industriell HTC-anläggning. I kapitel 9 beskrivs vilken energiförbrukning som kan förväntas i en HTC-anläggning i industriell skala. I kapitel 12 och 13 ställs sedan energiförbrukningen för en HTC-anläggning i relation till energisituationen i modellbruk kraftliner och modellbruk magazine.

Processvattnet som avvattnades från biokolet under pilotförsöken innehåller höga halter av organiska ämnen, kväve, fosfor och av en del metaller. I kapitel 9 beskrivs vilka halter och mängder av dessa material som kan förväntas komma till externreningen från en HTC-anläggning i industriell skala om processvattnet leds direkt till externrening från HTC-processens avvattningssteg. I kapitel 12 och 13 ställs sedan denna tillkommande belastning på externreningen i relation till ursprunglig belastning på externreningen i modellbruk kraftliner och modellbruk magazine.

7 Avvattningsförsök hos Metso Minerals

För att bedöma vilken torrhalt som är möjlig att nå på biokolet kompletterades pilotförsöken hos AVA-CO2 med avvattnings tester i kammarfilterpress i labbskala hos Metso i Sala.

7.1 GENOMFÖRANDE

Biokol från bioslam och från blandslam från försöken hos AVA-CO2 i Karlsruhe transporterades till Metso i Sala.

Försöken genomfördes i följande steg:

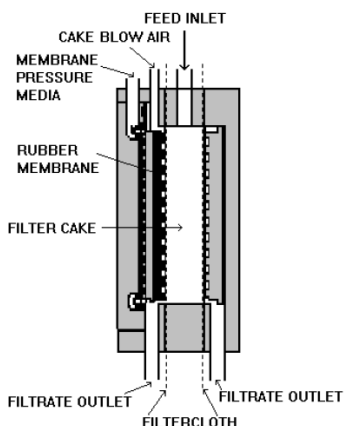
- Biokolet späddes med varmt vatten till ca 10% torrhalt och temperatur 50C
- Bestämning av partikelstorleksdistribution och specifik densitet
- Genomförande av avvattning i kammarfilterpressen i tre steg som motsvarar stegen i ett fullstort filter: filtrering, membrankompression och luftgenomblåsning. Detta gjordes tre gånger för resp biokol

Metsos kammarfilterpress i labbskala avvattnar dubbelsidigt och filterytan på var sida är 1 dm². Kammarens djup är 42 mm.



Figur 7-1 Kammarfilterpress i labbskala, Metso i Sala

Figure 7-1 Chamber filter press laboratory scala, Metso Sala

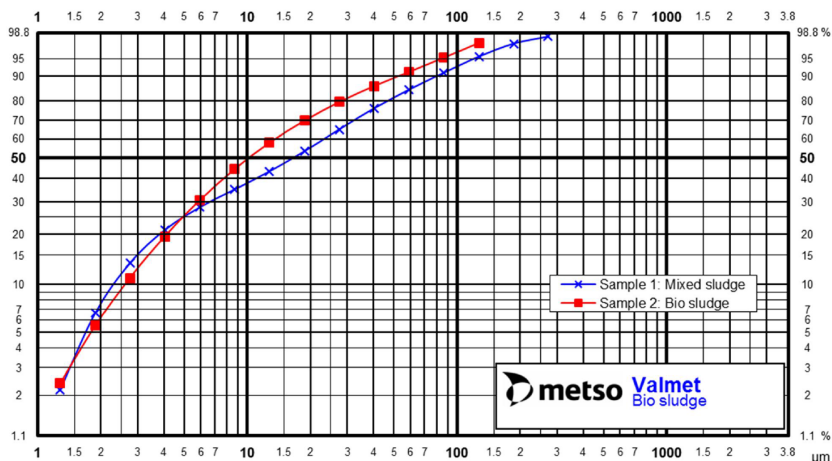


Figur 7-2 Principbild filterkammare i Metsos laboratorie kammarfilterpress
Figure 7-2 Schematic of filter chamber in Metso laboratory chamber filter press

7.2 RESULTAT

Vid avvattningsförsöken i kammarfilterpress i labbskala uppnåddes en torrhalt på ca 45% för båda biokolen.

Partikelstorleksfördelningen för biokol från bioslam (röd kurva) och för biokol från blandslam (blå kurva) visas nedan.



Figur 7-3 Partikelstorleksfördelning för biokol från bioslam (röd kurva) och för biokol från blandslam (blå kurva)

Figure 7-3 Particle size distribution of biocoal from biosludge (red line) and for biocoal from mixed sludge (blue line)

I projektets ursprungliga planering skulle pilotförsöken hos AVA-CO2 i Karlsruhe även omfattat avvattning av biokolet i en mekanisk press. Då det blev uppenbart att avvattningen i pilotförsöken inte genomförts som planerat lades avvattningstester hos Metso i Sala till i projektplaneringen.

Avvattningstesterna gjordes därmed på det biokol som producerats i HTC-pilotförsöken hos AVA-CO2 och som då avvattnats till ca 30% torrhalt i büchnertratt och sedan lagrats ca sex veckor. Det är rimligt att anta att en del finmaterial som

ursprungligen funnits i biokolsslurryn gått med vattenfasen i den avvattnings som gjordes i samband med HTC-pilotförsöken. Detta kan ha en inverkan på resultaten från avvattningsstesterna. Även det faktum att biokolet lagrats i ca sex veckor kan påverka resultaten.

8 Nyckeltal från pilotförsöken

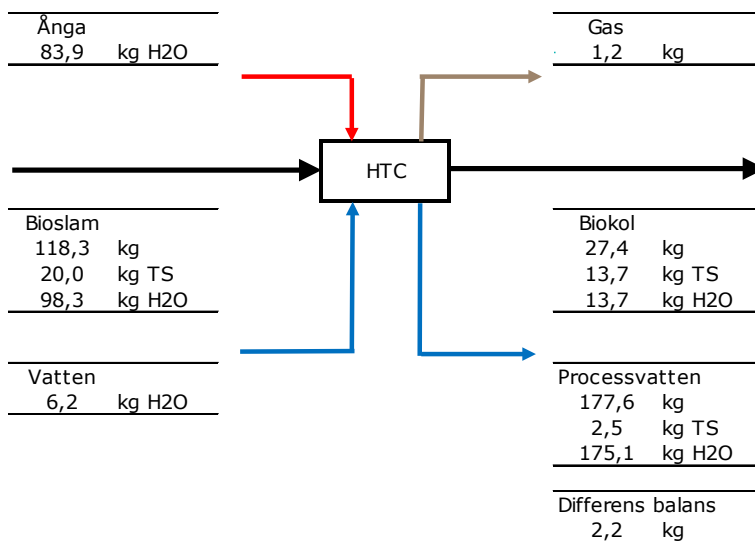
I detta kapitel beskrivs resultaten från pilotförsöken med HTC och från avvattningstesterna. Nyckeltal och data sammanställs som i senare kapitel används för att beskriva en industriell HTC-anläggning.

8.1 RESULTAT FRÅN PILOTFÖRSÖKEN, INKL AVVATTNINGSFÖRSÖK - BIKOL FRÅN BIOSLAM

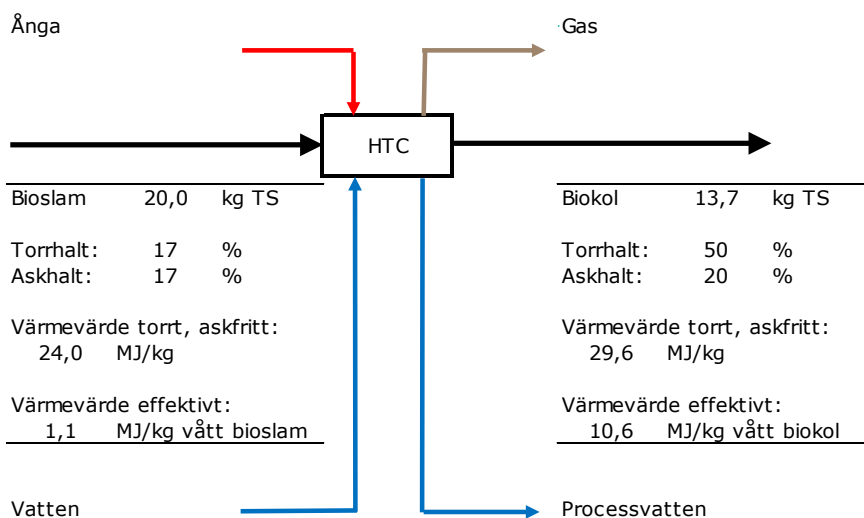
Utifrån resultaten från avvattningsförsöken antas det vara möjligt att med mekanisk avvattning uppnå en torrhalt på 50% på det producerade biokolet från bioslam.

Vatteninnehållet i biokolet är lägre vid den högre torrhalten, och mängden processvatten ökar med motsvarande mängd. Här antas att avvattningen i viss mån kan optimeras så att den sammanlagda mängden av organiska ämnen, kväve, fosfor och av de metaller som finns i processvattnet är lika stor även då biokolet avvattnas till 50% torrhalt. Utbytet av biokol antas därmed också vara oförändrad.

Nedanstående massbalans och grunddata för omvandlingen av bioslam till biokol sammanfattar resultaten från pilotförsök och avvattningstester.



Figur 8-1 Resultat pilotförsök bioslam inkl avvattning till 50% TH: Massbalans
Figure 8-1 Results pilot trial biosludge incl dewatering to 50% DS: Mass balance



Figur 8-2 Resultat pilotförsök bioslam inkl avvattning till 50% TH: Data slam och biokol

Figure 8-2 Results pilot trial biosludge incl dewatering to 50% DS: Data sludge and biocoal

8.2 NYCKELTAL PILOTFÖRSÖK BOKOL FRÅN BIOSLAM – UTBYTE OCH ENERGI

Tabell 8-1 Nyckeltal från pilotförsök inkl avvattningstester, biokol från bioslam

Table 8-1 Key figures from pilot trials incl dewatering tests, biocoal from biosludge

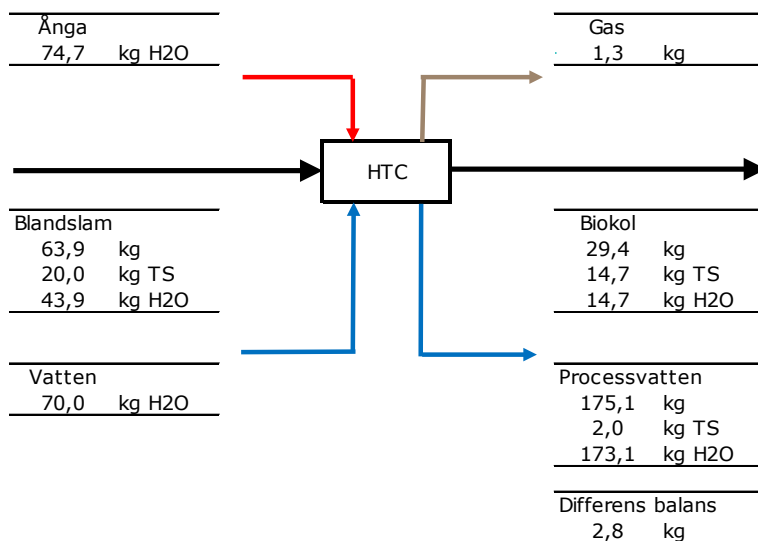
Massutbyte biokol	68.5	%
Torrhalt mekanisk avvattning	50	%
Värmevärde biokol (torrt, askfritt)	29.6	MJ/kg
Värmevärde biokol (effektivt)	10.6	MJ/kg vått biokol
Material i processvatten	12.5	vikt% av ingående
Material i gas	6.0	vikt% av ingående

8.3 RESULTAT FRÅN PILOTFÖRSÖKEN, INKL AVVATTNINGSFÖRSÖK – BOKOL FRÅN BLANDSLAM

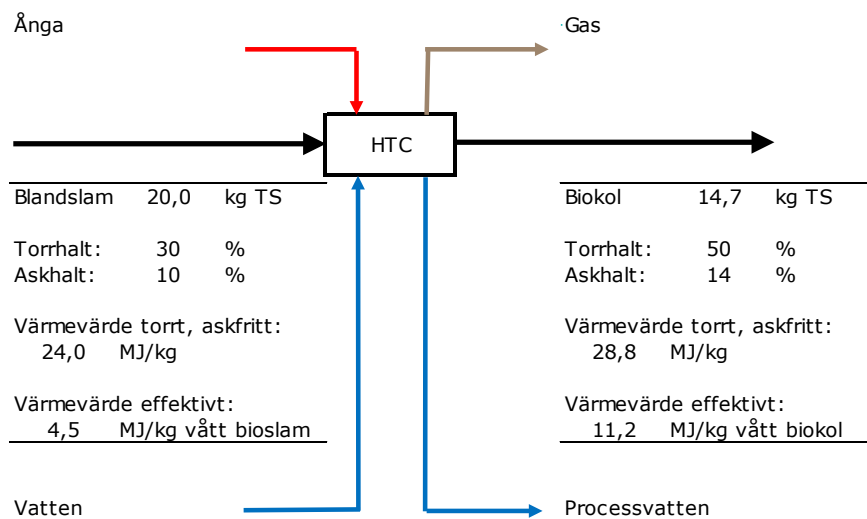
Utifrån resultaten från avvattningsförsöken antas det vara möjligt att med mekanisk avvattning uppnå en torrhalt på 50% på det producerade biokolet från blandslam.

Vatteninnehållet i biokolet är lägre vid den högre torrhalten, och mängden processvatten ökar med motsvarande mängd. Här antas att avvattningen i viss mån kan optimeras så att den sammanlagda mängden av organiska ämnen, kväve, fosfor och av de metaller som finns i processvattnet är lika stor även då biokolet avvattnas till 50% torrhalt. Utbytet av biokol antas därmed också vara oförändrad.

Nedanstående massbalans och grunddata för omvandlingen av blandslam till biokol sammanfattar resultaten från pilotförsök och avvattningstester.



Figur 8-3 Resultat pilotförsök blandslam inkl avvattning till 50% TH: Massbalans
 Figure 8-3 Results pilot trial mixed sludge incl dewatering to 50% DS: Mass balance



Figur 8-4 Resultat pilotförsök blandslam inkl avvattning till 50% TH: Data slam och biokol
 Figure 8-4 Results pilot trial mixed sludge incl dewatering to 50% DS: Data sludge and biocoal

8.4 NYCKELTAL PILOTFÖRSÖK BOKOL FRÅN BLANDSLAM

Tabell 8-2 Nyckeltal från pilotförsök inkl avvattningstester, biokol från blandslam
 Table 8-2 Key figures from pilot trials incl dewatering tests, biocoal from mixed sludge

Massutbyte biokol	73.5	%
Torrhalt mekanisk avvattning	50	%
Värmevärde biokol (torrt, askfritt)	28.8	MJ/kg
Värmevärde biokol (effektivt)	11.2	MJ/kg vått biokol
Material i processvatten	10.0	vikt% av ingående
Material i gas	6.5	vikt% av ingående

9 HTC-processen i industriell skala

9.1 BOKOL FRÅN BIOSLAM

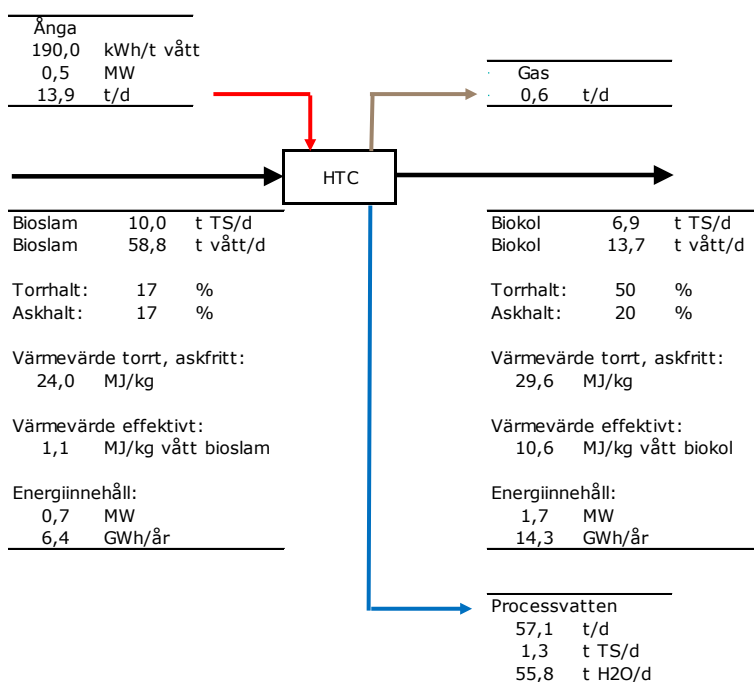
Bilden nedan visar data för en tänkt industriell HTC-anläggning som behandlar bioslam, 10 t TS/dygn.

Inget extra vatten sätts till HTC-processen. Dock tillförs vatten i och med att ånga tillförs.

Ångförbrukning enligt uppgift från leverantör ca 0.5 MW. HTC-processen förbrukar också en mindre mängd el, enligt uppgift från leverantör ca 50 kW.

Producerat biokol avvattnas mekaniskt till en torrhalt på 50%.

Detta ger en anläggning som kan beskrivas med följande bild.



Figur 9-1 HTC-anläggning för behandling av bioslam 10 t TS/dygn

Figure 9-1 HTC plant treating biosludge 10 t DS/day

9.1.1 Processvatten

Processvattnet från HTC-anläggningen kommer utifrån resultaten från pilotförsöken och tidigare antaganden om bibehållen mängd löst och suspenderat material i processvattnet vid avvattning till 50% TS jämfört med i pilotförsöken att innehålla organiskt material, närsalter och metaller enligt nedan.

Tabell 9-1 HTC-anläggning för behandling av bioslam 10 t TS/dygn: Organiskt material i processvattnet

Tabell 9-1 HTC plant treating biosludge 10 t DS/day: Organic material in the process water

TOC	79,1	g/kg slam
TOC	791	kg/d
COD	213	g/kg slam
COD	2134	kg/d

Tabell 9-2 HTC-anläggning för behandling av bioslam 10 t TS/dygn: Mängd av olika grundämnen i biokol resp processvatten

Table 9-2 HTC plant treating biosludge 10 t DS/day: Mass of chemical elements in biocoal and process water

	Mängd i bioslam [kg/d]	Mängd i biokol [kg/d]	Mängd i processvatten [kg/d]
Kväve N	316	171	145
Fosfor P	50	47	4
Svavel S	170	111	60
Klor Cl	14	6	8
Natrium Na	17	3	14
Kalium K	16	7	9
Kalcium Ca	43	17	26
Magnesium Mg	15	9	6
Järn Fe	430	344	86
Aluminium Al	97	96	1
Tungmetaller	5	5	0
(huvudsakligen krom, bly, koppar, nickel, kadmium)			

9.2 BOKOL FRÅN BLANDSLAM

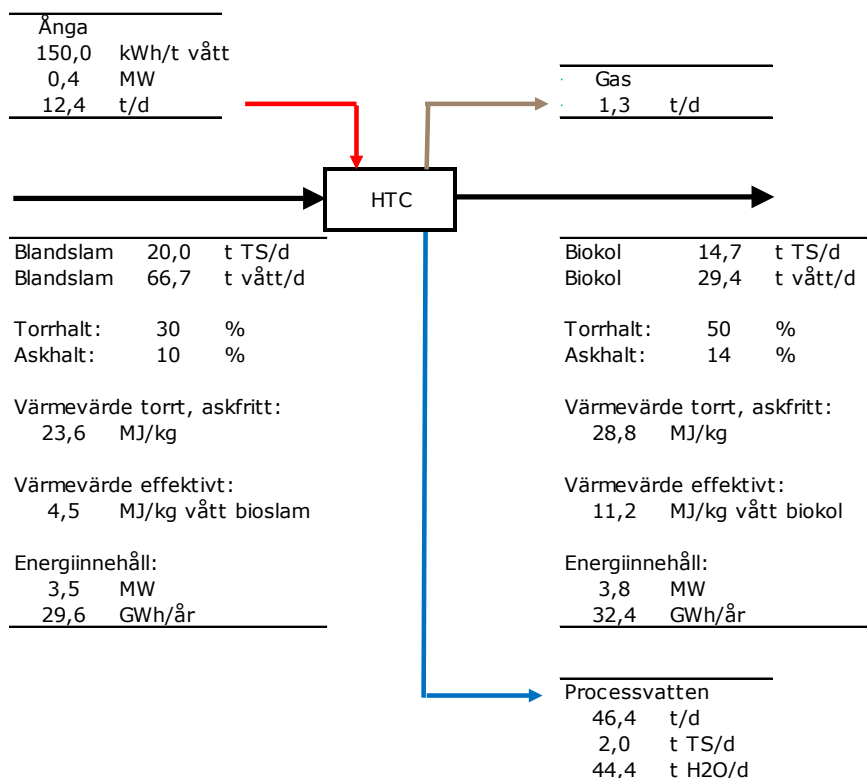
Bilden nedan visar data för en tänkt industriell HTC-anläggning som behandlar blandslam, 20 t TS/dygn.

Inget extra vatten sätts till HTC-processen. Dock tillförs vatten i och med att ånga tillförs.

Ångförbrukning enligt uppgift från leverantör ca 0.4 MW. Ångförbrukningen är lägre för anläggningen som behandlar blandslammet med högre torrhalt och lägre askhalt p g a den värme som avges i den exoterma reaktion då den organiska delen av slammet omvandlas till biokol. HTC-processen förbrukar också en mindre mängd el, enligt uppgift från leverantör ca 50 kW.

Producerat biokol avvattnas mekaniskt till en torrhalt på 50%.

Detta ger en anläggning som kan beskrivas med följande bild.



Figur 9-2 HTC-anläggning för behandling av blandslam 20 t TS/dygn

Figure 9-2 HTC plant treating mixed sludge 20 t DS/day

9.2.1 Processvatten

Processvattnet från HTC-anläggningen kommer utifrån resultaten från pilotförsöken och tidigare antaganden om bibehållen mängd löst och suspenderat material i processvattnet vid avvattning till 50% TS jämfört med i pilotförsöken att innehålla organiskt material, närsalter och metaller enligt nedan.

Tabell 9-3 HTC-anläggning för behandling av blandslam 20 t TS/dygn: Organiskt material i processvattnet

Table 9-3 HTC plant treating mixed sludge 20 t DS/day: Organic material in the process water

TOC	84,0	g/kg slam
TOC	1681	kg/d
COD	227	g/kg slam
COD	4538	kg/d

Tabell 9-4 HTC-anläggning för behandling av blandslam 20 t TS/dygn: Mängd av olika grundämnen i biokol resp processvatten

Table 9-4 HTC plant treating mixed sludge 20 t DS/day: Mass of chemical elements in biocoal and process water

	Mängd i blandslam [kg/d]	Mängd i biokol [kg/d]	Mängd i process-vatten [kg/d]
Kväve N	600	348	252
Fosfor P	66	61	5
Svavel S	140	77	63
Klor Cl	12	5	7
Natrium Na	42	10	32
Kalium K	15	5	10
Kalcium Ca	126	55	71
Magnesium Mg	24	19	5
Järn Fe	82	68	14
Aluminium Al	200	200	0
Tungmetaller	4	4	0
(huvudsakligen krom, bly, koppar, nickel, kadmium)			

10 Nyckeltal vid optimerad torrhalt – teoretisk studie

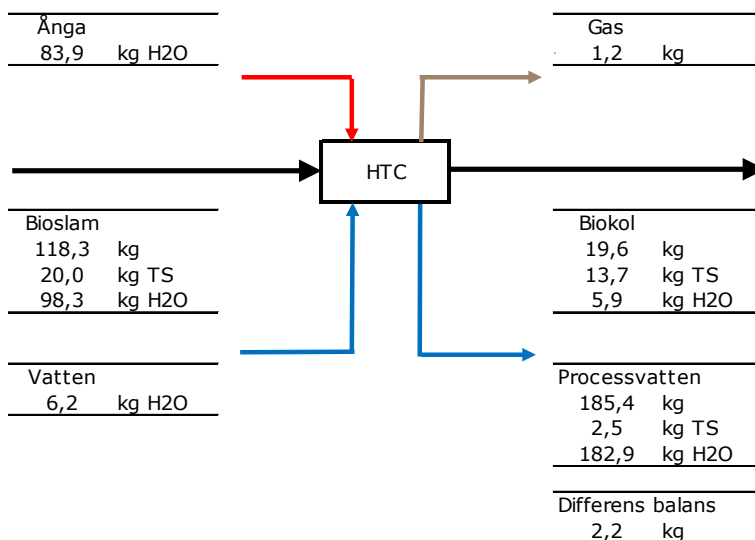
10.1 TEORETISKA DATA FÖR HTC VID OPTIMERAD TORRHALT – BIOKOL FRÅN BIOSLAM

Flera studier samt kontakter med leverantörer hänvisar till att HTC-kol med endast mekanisk avvattning kan uppnå en torrhalt på 70% på det producerade biokolet. Detta har inte bekräftats i de pilotförsök och avvattningstester som genomförts inom detta uppdrag. I detta kapitel studeras effekten om en framtida optimering gör det möjligt att med endast mekanisk avvattning uppnå en torrhalt på 70%.

Vatteninnehållet i biokolet är lägre vid den högre torrhalten, och mängden processvatten ökar med motsvarande mängd. Här antas att avvattningen i viss mån kan optimeras så att den sammanlagda mängden av organiska ämnen, kväve, fosfor och av de metaller som finns i processvattnet är lika stor även då biokolet avvattnas till 70% torrhalt. Utbytet av biokol antas därmed också vara oförändrad.

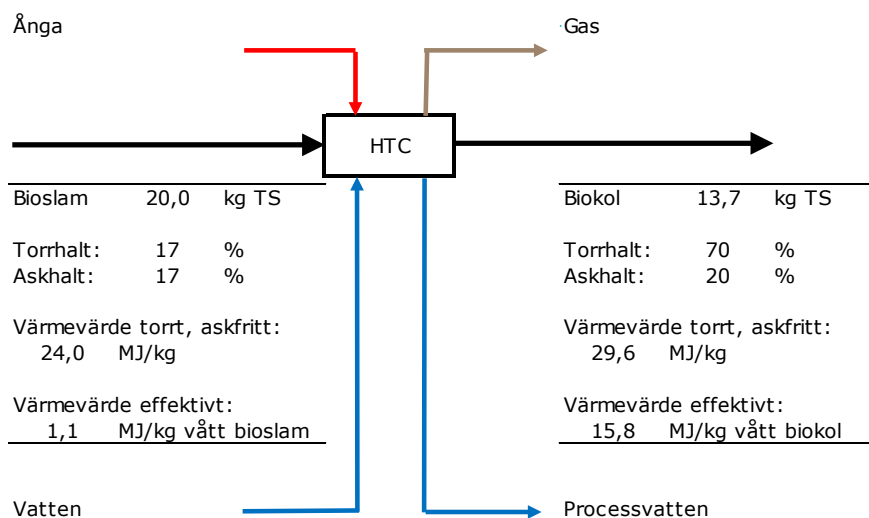
Nedanstående massbalans och grunddata för omvandlingen av bioslam till biokol visar alltså teoretiska data för HTC om en optimering av biokolets torrhalt till 70% kan uppnås.

Observera att dessa värden visas endast som en jämförelse och alltså inte används för att utvärdera HTC-tekniken i efterföljande kapitel i denna rapport. Alla slutsatser som dras i rapporten är baserade på en torrhalt på 50% och de nyckeltal som togs fram i kapitel 8.



Figur 10-1 Teoretiska data HTC bioslam med optimerad torrhalt till 70% TH: Massbalans

Figure 10-1 Theoretical data HTC biosludge with optimized dewatering to 70% DS: Mass balance



Figur 10-2 Teoretisk data HTC bioslam med optimerad torrhalt till 70% TH: Bioslam och biokol

Figure 10-2 Theoretical data HTC biosludge with optimized dewatering to 70% DS: Biosludge and biocoal

10.2 TEORETISKA NYCKELTAL VID OPTIMERAD TORRHALT - BIOKOL FRÅN BIOSLAM

Tabell 10-1 Teoretiska nyckeltal HTC med optimerad torrhalt till 70%, biokol från bioslam

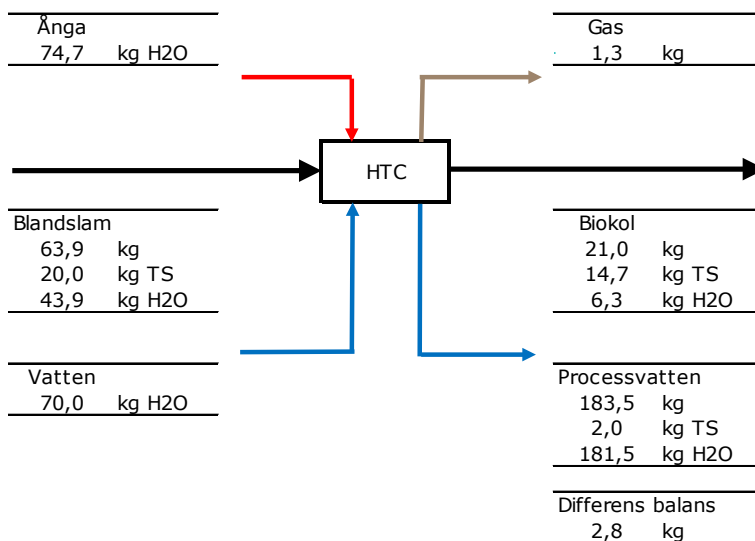
Table 10-1 Theoretical key figures HTC with optimized dewatering to 70% DS, biocoal from biosludge

Massutbyte biokol	68.5	%
Torrhalt mekanisk avvattning	70	%
Värmevärde biokol (torrt, askfritt)	29.6	MJ/kg
Värmevärde biokol (effektivt)	15.8	MJ/kg vått biokol
Material i processvatten	12.5	vikt% av ingående
Material i gas	6.0	vikt% av ingående

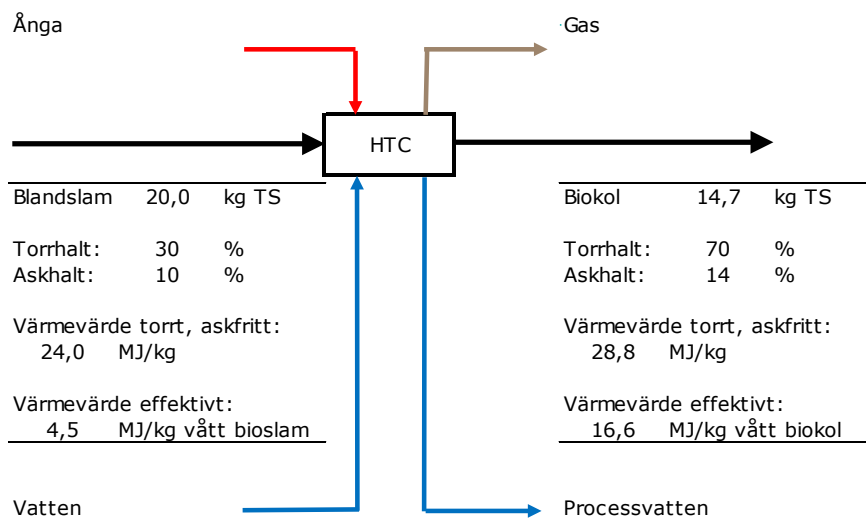
10.3 TEORETISKA DATA FÖR HTC VID OPTIMERAD TORRHALT – BIOKOL FRÅN BLANDSLAM

På motsvarande sätt som för biokol från bioslam visas här som en jämförelse massbalans, grunddata och nyckeltal för omvandlingen av blandslam till biokol vid en teoretisk torrhalt på 70%.

Observera att det inte har bekräftats i de pilotförsök och avvattningstester som genomförts inom detta uppdrag att det skulle vara möjligt att nå 70% torrhalt. De värden som visas nedan visas endast som en jämförelse och används inte för att utvärdera HTC-tekniken i efterföljande kapitel i denna rapport. Alla slutsatser som dras i rapporten är baserade på en torrhalt på 50% och de nyckeltal som togs fram i kapitel 8.



Figur 10-3 Teoretiska data HTC blandslam med optimerad torrhalt till 70% TH: Massbalans
 Figure 10-3 Theoretical data HTC mixed sludge with optimized dewatering to 70% DS: Mass balance



Figur 10-4 Teoretiska data HTC blandslam med optimerad torrhalt till 70% TH: Blandslam och biokol
 Figure 10-4 Theoretical study HTC mixed sludge with optimized dewatering to 70% DS: Mixed sludge and biocoal

10.4 TEORETISKA NYCKELTAL VID OPTIMERAD TORRHALT - BIOKOL FRÅN BLANDSLAM

Tabell 10-2 Teoretiska nyckeltal HTC med optimerad torrhalt till 70%, biokol från blandslam

Table 10-2 Theoretical key figures HTC with optimized dewatering to 70% DS, biocoal from mixed sludge

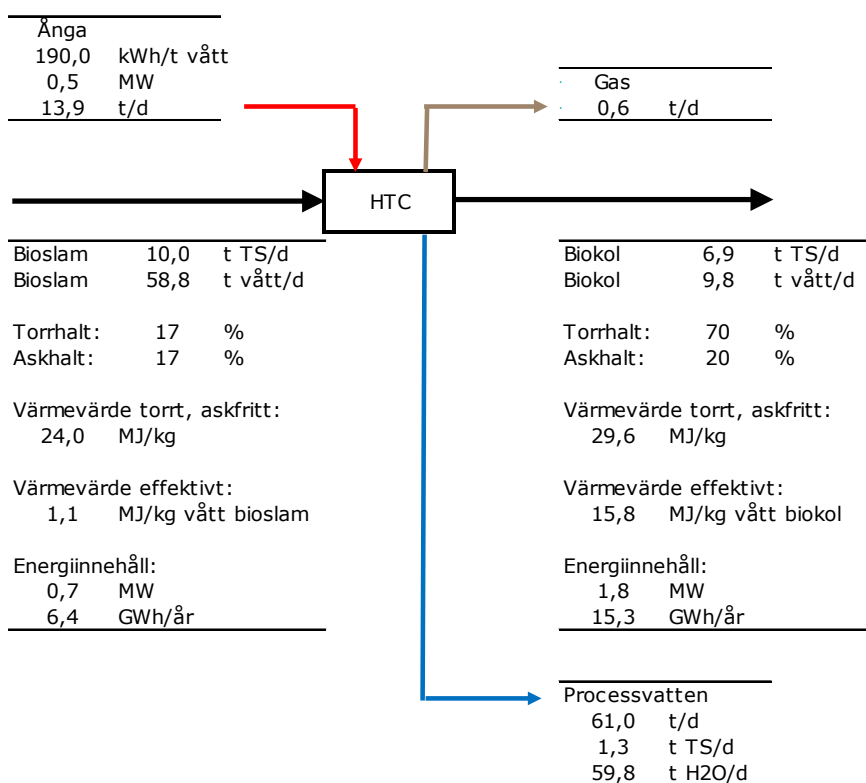
Massutbyte biokol	73.5	%
Torrhalt mekanisk avvattning	70	%
Värmevärde biokol (torrt, askfritt)	28.8	MJ/kg
Värmevärde biokol (effektivt)	16.6	MJ/kg vått biokol
Material i processvatten	10.0	vikt% av ingående
Material i gas	6.5	vikt% av ingående

11 HTC-processen i industriell skala med teoretisk torrhalt 70%

11.1 BIKOL FRÅN BIOSLAM, TEORETISK TORRHALT 70%

Bilden nedan visar data för en tänkt industriell HTC-anläggning som behandlar bioslam, 10 t TS/dygn och som uppnår en teoretisk torrhalt på 70%. Data utöver torrhalt som beskrivet i föregående kapitel.

Observera att det inte har bekräftats i detta projekt att det är möjligt att nå 70% torrhalt på biokol från bioslam från pappers- och massaindustrin och att dessa värden inte används för att utvärdera HTC-tekniken i efterföljande kapitel i denna rapport. Alla slutsatser som dras i rapporten är baserade på en torrhalt på 50% och de nyckeltal som togs fram i kapitel 8.



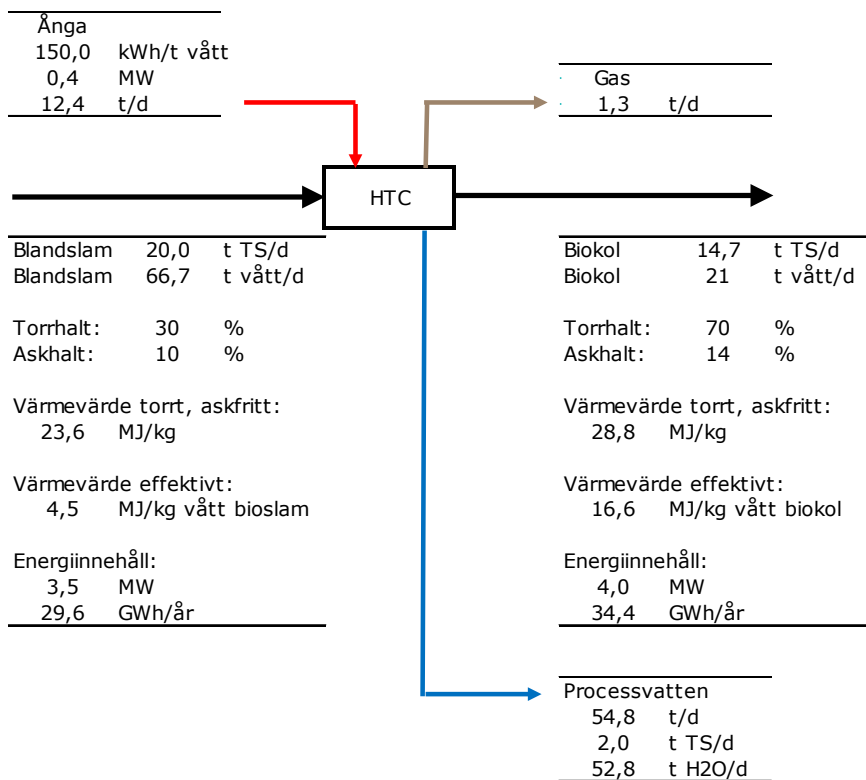
Figur 11-1 HTC-anläggning för behandling av bioslam 10 t TS/dygn, med teoretisk torrhalt 70%
Figure 11-1 HTC plant treating biosludge 10 t DS/day, with theoretical dewatering to 70% DS

11.2 BIKOL FRÅN BLANDSLAM, TEORETISK TORRHALT 70%

Bilden nedan visar data för en tänkt industriell HTC-anläggning som behandlar blandslam, 20 t TS/dygn och som uppnår en teoretisk torrhalt på 70%. Data utöver torrhalt som beskrivet i föregående kapitel.

Observera att det inte har bekräftats i detta projekt att det är möjligt att nå 70% torrhalt på biokol från blandslam från pappers- och massaindustrin och att dessa värden inte

används för att utvärdera HTC-tekniken i efterföljande kapitel i denna rapport. Alla slutsatser som dras i rapporten är baserade på en torrhalt på 50% och de nyckeltal som togs fram i kapitel 8.



Figur 11-2 HTC-anläggning för behandling av blandslam 20 t TS/dygn, med teoretisk torrhalt 70%

Figure 11-2 HTC plant treating mixed sludge 20 t DS/day, with theoretical dewatering to 70% DS

12 Integrering HTC-anläggning vid modellbruk kraftliner

För att få en uppfattning om hur en HTC-anläggning påverkar övrig anläggning studeras en HTC-anläggning för behandling av 10 t TS/d bioslam vid modellbruk kraftliner – ett sulfatmassabruk.

En jämförelse görs mellan modellbruk kraftliner med 10 t TS/d bioslam som destrueras i barkpannan och modellbruk kraftliner med en HTC-anläggning som behandlar 10 t TS/d bioslam och där det producerade biokolet förbränns i barkpannan.

Modellbruken beskrivs i detalj i ÅForskrapporten "Energy consumption in the pulp and paper industry - Model mills 2010". Denna rapport finns tillgänglig på ÅForsks hemsida (Delin et al, 2011).

12.1 BESKRIVNING MODELLBRUK KRAFTLINER

I modellbruk kraftliner produceras två kvaliteter av liner (blekt och oblekt) på två parallella maskiner. Bruket är integrerat och producerar oblekt massa och returfiber och köper in blekt sulfatmassa. Modellbruk kraftliner är uppbyggt enligt bästa tillgängliga, kommersiellt beprövade teknik.

12.2 INTEGRERING HTC-ANLÄGGNING FÖR BEHANDLING AV BIOSLAM VID MODELLBRUK KRAFTLINER

Integreringspunkterna för HTC-anläggningen av bioslam vid modellbruk kraftliner är följande:

Bioslam pumpas från befintlig slamavvattning till HTC-anläggningens förvärmningstank. Ingen ytterligare rening eller finfördelning av slammet bedöms vara nödvändig.

Beroende på slammets pH kan syra behöva tillsättas. Mängden syra som behövs är liten och i pilotförsöken behövdes inte någon syra alls för bioslammet.

Modellbruk kraftliner har ett ångsystem med högtrycksånga (100 bar) från sodapanna och barkpanna och en mottrycksturbin. Mottrycksturbinen har avtappning för sotånga mm (25 bar), mellantrycksånga (9 bar) och lågtrycksånga (3.5 bar). Ånga till HTC-anläggningen tas från 25barsångan. Ångflödet som behövs till HTC-processen är litet, mindre än ett ton/h. Uttaget av 25barsånga i modellbruk kraftliner är över 40 t/h.

Vid den hydrotermiska karboniseringen bildas ett gasflöde som innehåller i huvudsak CO₂ men även mindre mängder andra föreningar såsom metan och högre kolväten. Sammansättningen beror kraftigt av ursprungsmaterial och under vilka processförhållande HTC-processen genomförs. Mängden gas har i pilotförsöken uppskattats till 0.6 t/dygn, motsvarande 25 kg/h. Vid modellbruk kraftliner finns ett gasuppsamlingsystem som samlar upp gaser från främst kokeri och indunstning. Uppsamlade gaser bränns i sodapannan. Gasen från HTC-anläggningen leds till gasuppsamlings-systemet och vidare till sodapannan. Om avstånden är långa kan en fläkt behövas.

Biokolet transporteras till barkpannan där det matas in i pannan tillsammans med övriga bränslen. Hanteringen av biokol som bränsle förväntas vara mindre problematisk än hanteringen av bioslam.

Processvatten från HTC-processen leds till externrening, eventuellt efter extra reningssteg.

12.3 DATA FÖR MODELLBRUK KRAFTLINER MED BIOSLAM TILL BARKPANNA

Nedan beskrivs energisituationen och belastningen på externreningen vid modellbruk kraftliner med bioslam till barkpannan i en översikt.

Tabell 12-1 Energisituationen på modellbruk kraftliner med bioslam till barkpanna

Table 12-1 Energy figures model mill kraftliner with biosludge to the bark boiler

Produktion massa	653 000	ADt/år
Produktion kraftliner	1 006 000	t/år
Ångförbrukning		
HP 100 bar	69,8	MW
Mottrycksproduktion	69,0	MW
Bottenblåsning SP, BP	0,8	MW
MP2 25 bar	16,1	MW
Sotånga SP, BP	15,6	MW
MP 9 bar	185,5	MW
Process	185,5	MW
LP 3.5 bar	54,1	MW
Process	54,1	MW
Ånga totalt (inkl mottr)	325,0	MW
-varav ånga process	256,0	MW
Ångproduktion		
Sodapanna	260,4	MW
Netto från lut	260,4	MW
Barkpanna	59,2	MW
Netto från bark mm	58,6	MW
Netto från bioslam	0,6	MW
Sekvärme förvärmn	5,4	MW
Ånga totalt	325,0	MW
Elproduktion		
Mottrycksproduktion	66,5	MW

Tabell 12-2 Belastning rening på modellbruk kraftliner med bioslam till barkpanna

Table 12-2 Load to waste water treatment model mill kraftliner with biosludge to the bark boiler

Flöde till rening	24800	m ³ /d
SÄ	100	mg/l
SÄ	2,5	t/d
COD	2250	mg/l
COD	55,8	t/d

12.4 DATA FÖR MODELLBRUK KRAFTLINER MED BIOSLAM TILL HTC-ANLÄGGNING OCH PRODUCERAT BOKOL TILL BARKPANNA

Nedan beskrivs energisituationen och grovt belastningen på externreningen vid modellbruk kraftliner med bioslam till en HTC-anläggning och med det producerade biokolet till barkpannan i en översikt.

Tabell 12-3 Energisituationen på modellbruk kraftliner med bioslam till HTC-anläggning och producerat biokol till barkpanna

Table 12-3 Energy figures model mill kraftliner with biosludge HTC-plant and produced biocoal to the bark boiler

Produktion massa	653 000	ADt/år
Produktion kraftliner	1 006 000	t/år
Ångförbrukning		
HP 100 bar	69,8	MW
Mottrycksproduktion	69,0	MW
Bottenblåsning SP, BP	0,8	MW
MP2 25 bar	16,1	MW
Sotånga SP, BP	15,6	MW
HTC-anläggning	0,5	MW
MP 9 bar	185,5	MW
Process	185,5	MW
LP 3.5 bar	54,1	MW
Process	54,1	MW
Ånga totalt (inkl mottr)	325,5	MW
-varav ånga process	256,5	MW
Ångproduktion		
Sodapanna	260,4	MW
Netto från lut	260,4	MW
Barkpanna	59,7	MW
Netto från bark mm	58,2	MW
Netto från biokol	1,5	MW

Ångproduktion		
Sekvärmeförvärmning	5,4	MW
Ånga totalt	325,5	MW
Elproduktion		
Mottrycksproduktion	66,6	MW

Tabell 12-4 Belastning rening på modellbruk kraftliner med bioslam till HTC-anläggning och producerat biokol till barkpanna

Table 12-4 Load to waste water treatment model mill kraftliner with biosludge HTC-plant and produced biocoal to the bark boiler

Flöde till rening	24800	m ³ /d
SÄ	100	mg/l
SÄ	2,5	t/d
COD	2250	mg/l
COD	55,8	t/d
+		
Processvatten från HTC	57	m ³ /d
COD	37000	mg/l
COD	2,1	t/d

12.5 SLUTSATSER INTEGRERING HTC-ANLÄGGNING VID MODELLBRUK KRAFTLINER

För att beskriva hur en HTC-anläggning påverkar övrig anläggning jämförs följande fall:

- Modellbruk kraftliner med bioslam 10 t TS/d till barkpanna
- Modellbruk kraftliner med HTC-behandling av bioslam 10 t TS/d samt producerat biokol till barkpanna

12.5.1 Energisituation

Behov av marginalbränsle i barkpannan minskar, p g a det högre energiinnehållet i biokol jämfört med bioslammet och med hänsyn tagen till HTC-anläggningens ångbehov.

Biokolet ger upphov till lägre rökgasflöde än det våta bioslammet. Om olja används av kapacitetsskäl p g a att barkpannan är begränsad på rökgassidan kan oljeeldning minskas och växlas mot billigare biobränsle.

Försumbar ökning av producerad mottryckskraft p g a något ökat ångunderlag i och med HTC-anläggningens ångförbrukning.

Om barkpannan är utrustad med varmvattenproduktion i t ex en rökgaskylning eller en rökgaskondensering kommer varmvattenproduktionen i denna att minska då biokol eldas i barkpannan i stället för bioslam, p g a den minskade fukthalten i rökgaserna.

12.5.2 Externreningen

Flödet av processvatten från HTC-anläggningen är lågt jämfört med totala flödet till reningsanläggningen i modellbruk kraftliner som är 24 800 m³/d och med COD 56 t/d.

Halterna organiskt material i processvattnet är mycket höga. Organiskt material från HTC-anläggningens processvatten, COD 2.1 t/d, utgör ca 4% av totala organiska belastningen på reningen i modellbruk kraftliner. Halterna kväve och fosfor är också höga. Under förutsättning att dessa kan utnyttjas som närsalter i reningsanläggningen och därmed ersätta dosering är detta inte ett problem. Om mängderna kväve och fosfor i processvattnet inte kan kompenseras genom sänkta doseringar riskeras ökade utsläpp av dessa till recipient.

Processvattnet innehåller också en del metaller, se tabell 9-2. Metallerna i slammet har tidigare avlägsnats från processen och hamnat i askan i barkpannan.

Med återföring av processvattnet från HTC-processen kommer halterna av metaller i externreningen att öka. Kalcium skulle återföras till reningen med 26 kg/d. Ökade halter av kalcium kan ge problem med utfällningar på utrustning och kan störa reningen.

Sammanfattningsvis är balansen för olika ämnen i reningen unik för varje bruk och en undersökning för aktuellt bruk bör genomföras för att i det enskilda fallet bestämma om en behandling av processvattnet innan det leds till externreningen är nödvändig och i så fall i vilken form.

Den största påverkan på reningsanläggningen är tillförsel av ytterligare ca 2.1 t/d COD. Erfarenhetsmässigt åtgår för luftning nivån 1 kWh/kg reducerad COD i brukets reningsanläggning (Sivard och Simon, 2010). Med en beräknad reduktionsgrad för COD av 80 % medför processvattnet ett ökat elbehov för luftning av i storleksordningen 1700 kWh/d.

13 Integrering HTC-anläggning vid modellbruk magazine

För att få en uppfattning om hur en HTC-anläggning påverkar övrig anläggning studeras en HTC-anläggning för behandling av 20 t TS/d blandslam vid modellbruk magazine – ett bruk som producerar mekanisk massa.

En jämförelse görs mellan modellbruk magazine med 20 t TS/d blandslam som går till extern jordförbättring och modellbruk magazine med en HTC-anläggning som behandlar 20 t TS/d blandslam och där det producerade biokolet säljs externt som ett bränsle.

Modellbruken beskrivs i detalj i ÅForskrapporten "Energy consumption in the pulp and paper industry - Model mills 2010". Denna rapport finns tillgänglig på ÅForsks hemsida (Delin et al, 2011).

13.1 BESKRIVNING MODELLBRUK MAGAZINE

I modellbruk magazine produceras SC-papper (magasin) av blekt, mekanisk massa. Modellbruk magazine är uppbyggt enligt bästa tillgängliga, kommersiellt beprövade teknik.

13.2 INTEGRERING HTC-ANLÄGGNING FÖR BEHANDLING AV BLANDSLAM VID MODELLBRUK MAGAZINE

Integreringspunkterna för HTC-anläggningen av blandslam vid modellbruk magazine är följande:

Blandslam pumpas från befintlig slamavvattning till HTC-anläggningens förvärmningstank. Ingen ytterligare rening eller finfördelning av slammet bedöms vara nödvändig.

Beroende på slammets pH kan syra behöva tillsättas. I pilotförsöken behövdes en liten tillsats av syra för blandslammet. Syra i liten mängd behöver finnas vid HTC-anläggningen.

Modellbruk magazine har ett ångsystem där ånga från TMP-processen används för att producera ren ånga i en reboiler. Ingen barkpanna finns. En elpanna säkerställer ångbehovet om TMP-processen står stilla. Det normala är dock fortfarande att det även vid ett bruk med produktion av mekanisk massa finns en panna och ånga av högre trycknivå som kan användas till HTC-anläggningen. Om detta inte finns måste ånga av minst 25bar produceras separat för HTC-anläggningen alternativt tryckhöja befintlig ånga med lägre tryck.

Vid den hydrotermiska karboniseringen bildas ett gasflöde som innehåller i huvudsak CO₂ men även mindre mängder andra föreningar såsom metan och högre kolväten. Sammansättning beror kraftigt av ursprungsmaterial och under vilka processförhållande HTC-processen genomförs. Mängden gas har i pilotförsöken uppskattats till 1.3 t/dygn, motsvarande 54 kg/h. Vid modellbruk magazine finns inget gasuppsamlings-system, och i vissa fall inte heller någon panna där bränsle eldas.

Analys måste göras från fall till fall vilka mängder av gas som uppstår, vilka komponenter som finns i gasen och hur den bör tas om hand.

Biokolet säljs externt som bränsle. Massan biokol motsvarar en knapp tredjedel av massan av fuktigt blandslam vilket ger minskat behov av transporter.

Processvatten från HTC-processen leds till externrening, eventuellt efter extra reningssteg.

13.3 DATA FÖR MODELLBRUK MAGAZINE MED BLANDSLAM TILL EXTERN JORDFÖRBÄTTRING

Nedan beskrivs energisituationen och belastningen på externreningen vid modellbruk magazine med blandslam till extern jordförbättring i en översikt.

Tabell 13-1 Energisituationen på modellbruk magazine med blandslam till extern jordförbättring
Table 13-1 Energy figures model mill magazine with mixed sludge to external soil improvement

Produktion TMP	272000	ADt/år
Produktion SC-papper	460000	t/år
Ångförbrukning process	3,33	GJ/t papper
Ångförbrukning process	426	GWh/år
Ångförbrukning process	50	MW
Ångproduktion	7,7	GJ/ADt TMP
Ångproduktion	582	GWh/år
Ångproduktion	68	MW
Blandslam till extern jordförbättring	66,7	t blandslam (30% TS)/d

Vid modellbruk magazine finns ett ångöverskott från TMP-processen då ångbehovet från SC-maskin och övrig process har täckts.

Tabell 13-2 Belastning rening på modellbruk magazine med blandslam till extern jordförbättring
Table 13-2 Load to waste water treatment model mill magazine with mixed sludge to external soil improvement

Flöde till rening	8000	m ³ /d
SÅ	1000	mg/l
SÅ	8	t/d
COD	6500	mg/l
COD	52	t/d

13.4 DATA FÖR MODELLBRUK MAGAZINE MED BLANDSLAM TILL HTC-ANLÄGGNING OCH PRODUCERAT BIOKOL TILL EXTERN ANVÄNDNING SOM BRÄNSLE

Nedan beskrivs energisituationen och grovt belastningen på externreningen vid modellbruk magazine med blandslam till en HTC-anläggning och med det producerade biokolet till extern användning som bränsle i en översikt.

Tabell 13-3 Energisituationen på modellbruk magazine med blandslam till HTC-anläggning och producerat biokol till extern användning som bränsle

Table 13-3 Energy figures model mill magazine with mixed sludge to HTC-plant and produced biocoal to external use as solid fuel

Produktion TMP	272000	ADt/år
Produktion SC-papper	460000	t/år
Ångförbrukning process	50	MW
Ångförbrukning HTC-anläggning	0,4	MW
Ångproduktion	68	MW
Biokol till extern användning som bränsle	29,4	t biokol (50% TS)/d
Biokol till extern användning som bränsle	3,5	MW

Tabell 13-4 Belastning rening på modellbruk magazine med blandslam till HTC-anläggning och producerat biokol till extern användning som bränsle

Table 13-4 Load to waste water treatment model mill magazine with mixed sludge to HTC-plant and produced biocoal to external use as solid fuel

Flöde till rening	8000	m ³ /d
SÄ	1000	mg/l
SÄ	8	t/d
COD	6500	mg/l
COD	52	t/d
+		
Processvatten från HTC	46,4	m³/d
COD	4,5	t/d

13.5 SLUTSATSER INTEGRERING HTC-ANLÄGGNING VID MODELLBRUK MAGAZINE

För att beskriva hur en HTC-anläggning påverkar övrig anläggning jämförs följande fall:

- Modellbruk magazine med blandslam 20 t TS/d till extern jordförbättring
- Modellbruk magazine med HTC-behandling av blandslam 20 t TS/d samt producerat biokol till extern som bränsle

13.5.1 Energisituation

Då såväl blandslam som biokol producerat av blandslam går till extern användare kommer påverkan av HTC-anläggningen på modellbruk magazine att bli mycket liten. Ångförbrukningen kommer att öka något p g a HTC-anläggningens ångbehov.

13.5.2 Externreningen

Flödet av processvatten från HTC-anläggningen är lågt jämfört med totala flödet till reningsanläggningen i modellbruk kraftliner som är 8 000 m³/d och med COD 52 t/d.

Halterna organiskt material i processvattnet är mycket höga. Ökningen av organiskt material utgör ca 9 % av totala organiska belastningen på reningen. Halterna kväve och fosfor är också höga. Under förutsättning att dessa kan utnyttjas som närsalter i reningsanläggningen och därmed ersätta dosering är detta inte ett problem. Om mängderna kväve och fosfor i processvattnet inte kan kompenseras genom sänkta doseringar riskeras ökade utsläpp av dessa till recipient.

Processvattnet innehåller också en del metaller, se tabell 9-4. Metallerna i slammet har tidigare avlägsnats från processen och hamnat i askan i barkpannan eller hos extern användare.

Med återföring av processvattnet från HTC-processen kommer halterna av metaller i externreningen att öka. Kalcium skulle återföras till reningen med ca 70 kg/d. Ökade halter av kalcium kan ge problem med utfällningar på utrustning och kan störa reningen.

Sammanfattningsvis är balansen för olika ämnen i reningen unik för varje bruk och en undersökning för aktuellt bruk bör genomföras för att i det enskilda fallet bestämma om en förbehandling av processvattnet är nödvändig och i så fall i vilken form.

Den största påverkan på reningsanläggningen är tillförsel av ytterligare ca 4.5 t/d COD. Erfarenhetsmässigt åtgår för luftning nivån 1 kWh/kg reducerad COD i brukets reningsanläggning (Sivard och Simon, 2010). Med en beräknad reduktionsgrad för COD av 80 % medför processvattnet ett ökat elbehov för luftning av i storleksordningen 3-4 MWh/d.

14 Ekonomisk utvärdering

14.1 INVESTERINGSKOSTNAD

En investeringskostnad har tagits fram för en HTC-anläggning med kapacitet att behandla 25 000 t våt biomassa/år. Denna anläggning är lämplig för båda HTC-koncepten som använts i detta uppdrag:

- Bioslam 10 t TS/d med torrhalt 17%
- Blandslam 20 t TS/d med torrhalt 30%

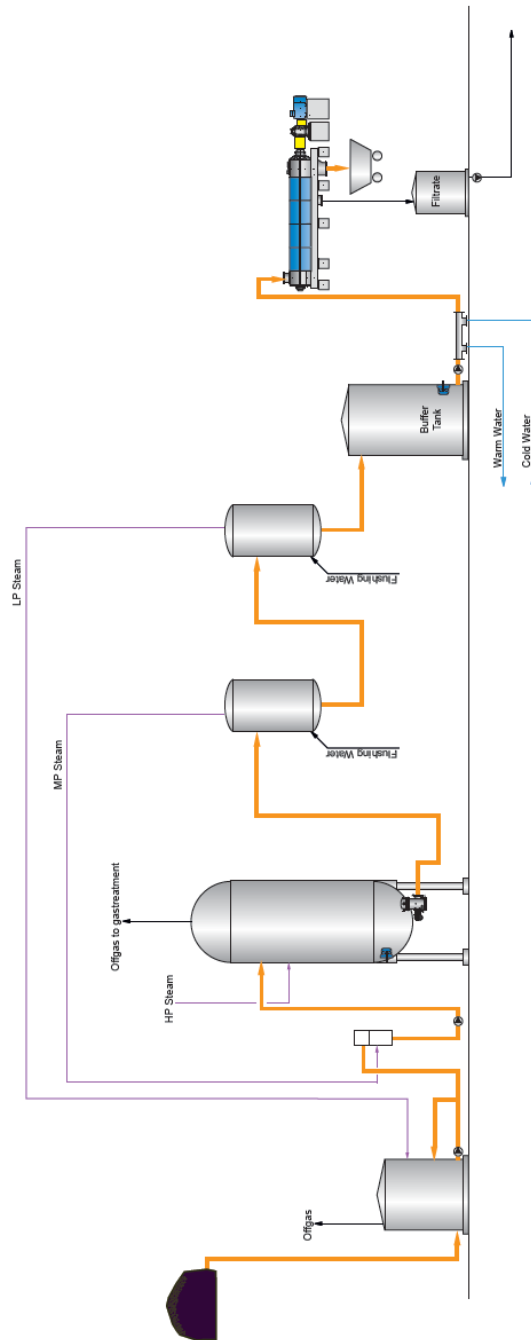
Investeringskostnaden är framtagen av Valmet och gäller för den kontinuerliga HTC-process som beskrivs nedan.

HTC-processen består av huvudkomponenterna förvärmningstank, HTC-reaktor, två flashtankar, en slurrytank, en slurrykylare och en kammarfilterpress.

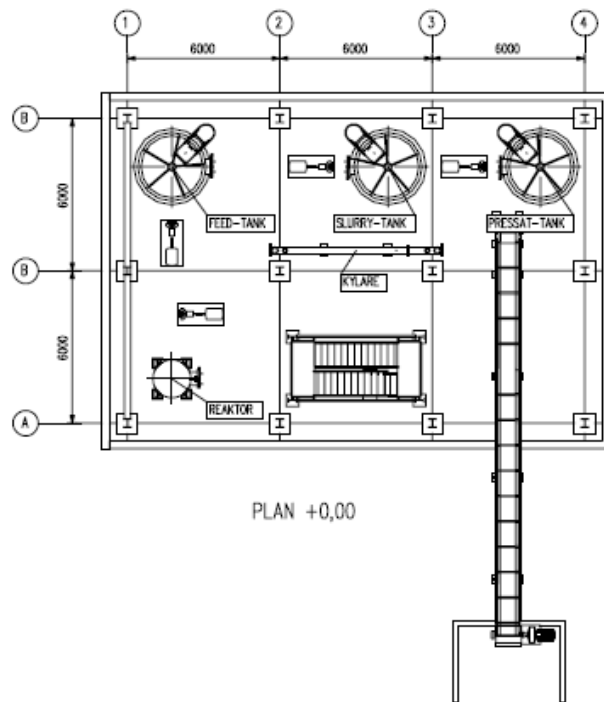
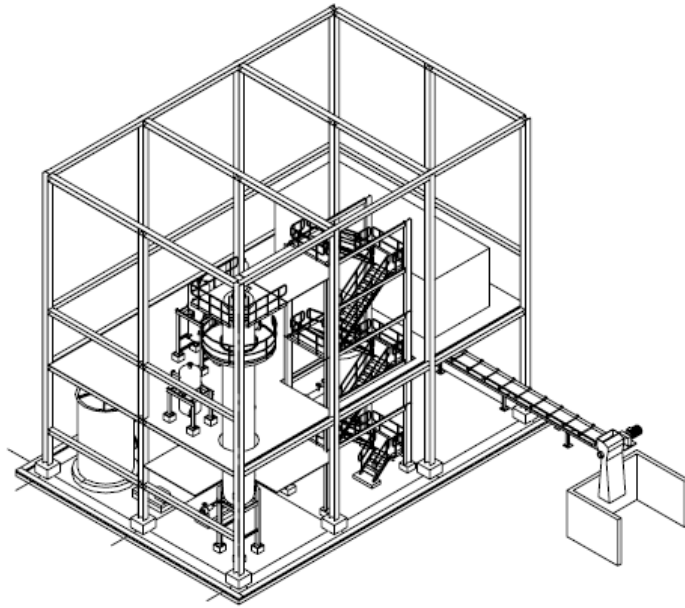
Nödvändig yta för uppställning är ca 12 x 18 m.

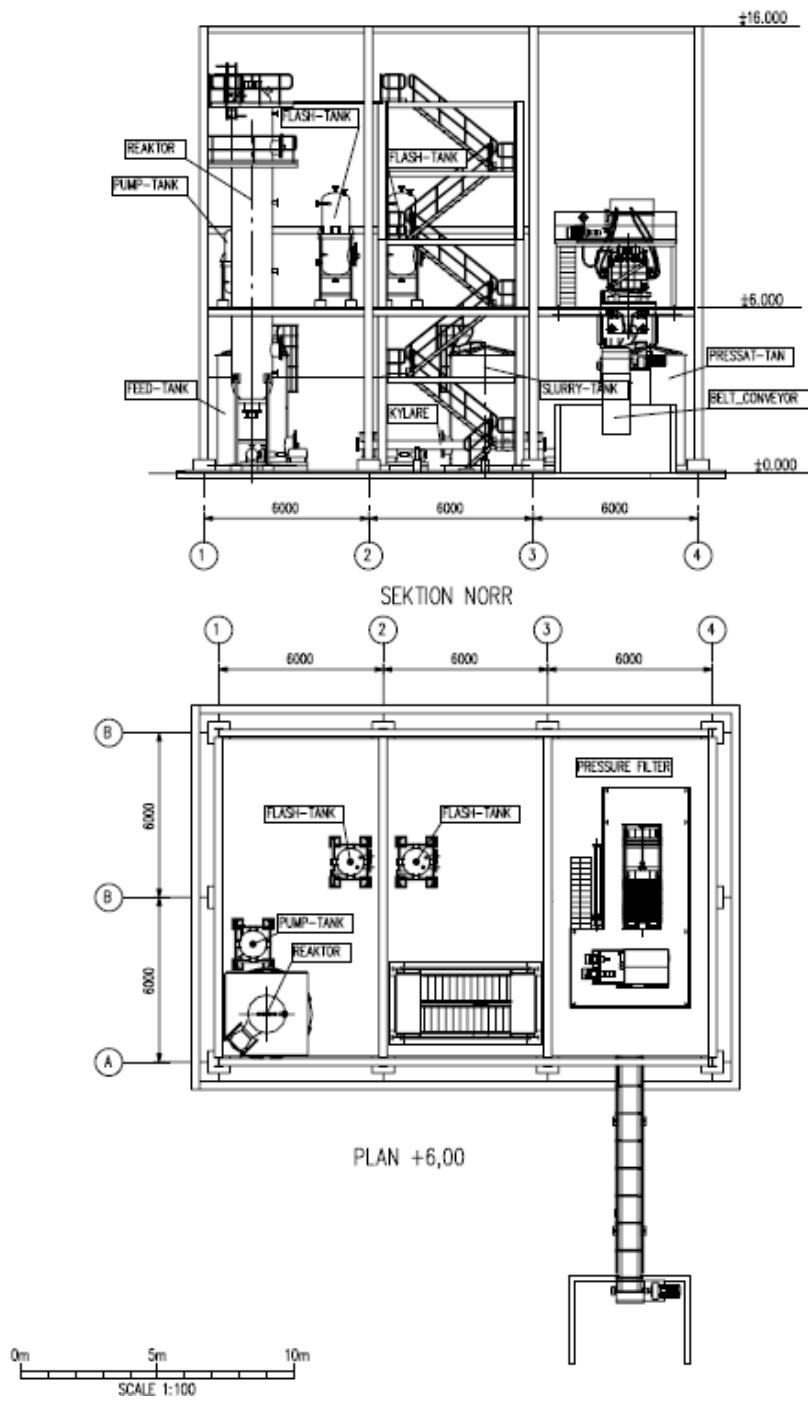
Ett förenklat flödesschema och layout visas på nästkommande sidor.

HTC Process



Figur 14-1 Förenklat flödesschema för den HTC-anläggning som kostnadsberäknats (Valmet)
 Figure 14-1 Simplified flow sheet HTC-process used for calculation of investment cost (Valmet)





Figur 14-2 Layout HTC-anläggning (Valmet)

Figure 14-2 Layout HTC-plant (Valmet)

Tabell 14-1 Investeringskostnad HTC-anläggning 25 000 t/år våt biomassa (Valmet)

Table 14-1 Investment cost HTC-plant with capacity to treat 25 000 t/y wet biomass (Valmet)

Investeringskostnad	
Huvudutrustning och basic engineering	
HTC- reaktor (15 m3)	
Tankar (förvärmningstank, 2 x flashtank, slurrytank, pressat-tank)	
Slurrykylare	
Pumpar, 3 st	
Omrörare, 3 st	
Press (typ Metso kammarfilterpress, inkl hydraulikenhet, PLC, lastceller)	
Instrumentering	
Motorer, lågspänning	
Supervision montage och startup	
FCA workshop	24 MSEK
Stödstruktur plattformar, trappor och stegar inkl detailed engineering	
Rör och handventiler inkl detailed engineering	
Installation	
- Mek	
- El och instrument	
	ca 10 MSEK
Ej inkluderat är markarbeten och evtl byggnad, samt styrsystem inkl detailed engineering.	

14.2 BESPARINGSPOTENTIAL BOKOL FRÅN BIOSLAM

Besparingspotentialen uppskattas för omvandling av bioslam till bokol.

Tre olika fall studeras:

- Bokol externt som bränsle jämfört med bioslam externt som jordförbättring
- Bokol till barkpanna jämfört med bioslam till barkpanna, marginalbränsle biobränsle
- Bokol till barkpanna jämfört med bioslam till barkpanna, marginalbränsle olja

Antagna kostnader i uppskattningen:

Kostnad extern hantering bioslam	400 kr/ ton vått bioslam
Kostnad biobränsle, bark	170 kr/MWh
Kostnad el	350 kr/MWh
Kostnad olja (inkl skatter och utsläppsrätter)	400 kr/MWh
Kostnad ånga 25 bar	200 kr/MWh
Hantering COD i externrening	1 kWh/kg reducerad COD

Underhållskostnad 1% av investeringskostnaden per år

Drift HTC-anläggning 20% av en operatörstjänst

HTC-anläggningens påverkan på brukets varmvattenbalans är helt bruksspecifik och ingår ej i uppskattningen av besparingspotential nedan.

Tabell 14-2 Processdata bioslam och bokol industriell HTC-anläggning 10 t TS/d

Table 14-2 Process data biosludge and biocoal industrial HTC-plant 10 t DS/d

Processdata					
Mängd bioslam	10	t TS/d	Mängd bokol	6,9	t TS/d
Mängd bioslam	59	t vått/d	Mängd bokol	14	t vått/d
Torrhalt	17	%	Torrhalt	50	%
Askhalt	17	%	Askhalt	20	%
Värmevärde			Värmevärde		
(effektivt)	1,1	MJ/kg vått	(effektivt)	10,6	MJ/kg vått
Energiinnehåll	0,7	MW	Energiinnehåll	1,7	MW
Energiinnehåll	6,4	GWh/år	Energiinnehåll	14,3	GWh/år

14.2.1 Bokol externt jämfört med bioslam externt

Besparingspotentialen uppskattas för det fall då bokol produceras med HTC för extern användning som bränsle. Jämförelse görs mot att bioslammet hanterats externt bruket för t ex jordförbättring.

För det producerade biokolet studeras två alternativa prissättningar – dels om biobränslepris kan tas ut för biokolet och dels om oljepris kan tas ut för biokolet.

Tabell 14-3 Biokol externt som bränsle jämfört med bioslam externt som jordförbättring, besparingspotential
 Table 14-3 Biocoal to external use as solid fuel compared with biosludge to external use as soil conditioner, saving potential

Intäkter och rörliga kostnader		
Intäkter		
Minskad kostnad ext slamhantering	59	t vått/d
	8,4	MSEK/år
Intäkt biokol som bränsle externt (antaget biobränslepris för biokol)	14,3	GWh/år
	2,4	MSEK/år
Intäkt biokol som bränsle externt (antaget oljepris för biokol)	14,3	GWh/år
	5,7	MSEK/år
Kostnader		
Kostnad ånga till HTC-anläggning	4,3	GWh/år
	0,9	MSEK/år
Kostnad ökad COD till rening	758	t/år
	0,2	MSEK/år
Kostnad UH	0,3	MSEK/år
Kostnad drift	0,2	MSEK/år
Summering		
Intäkter - kostnader (antaget biobränslepris för biokol)	9,2	MSEK/år
Intäkter - kostnader (antaget oljepris för biokol)	12,5	MSEK/år

Besparingspotentialen uppgår till 9,0 MSEK/år om biokolet kan säljas till biobränslepris och till 12,3 MSEK/år om oljepris kan tas ut för biokolet.

14.2.2 Biokol till barkpanna jämfört med bioslam till barkpanna, marginalbränsle biobränsle

Besparingspotentialen uppskattas för det fall då biokol produceras med HTC för intern användning som bränsle. Jämförelse görs mot intern destruktion av bioslammet i barkpanna. Marginalbränslet i barkpannan är biobränsle.

Tabell 14-4 Biokol till barkpanna jämfört med bioslam till barkpanna, marginalbränsle biobränsle, besparingspotential

Table 14-4 Biocoal to bark boiler compared with biosludge to bark boiler, biofuel marginal fuel, saving potential

Intäkter och rörliga kostnader		
Intäkter		
Minskat behov extern bark	8,5	GWh/år
pga högre energiinnehåll biokol jfrt bioslam	1,4	MSEK/år
Kostnader		
Kostnad ånga till HTC-anläggning	4,3	GWh/år
	0,9	MSEK/år
Kostnad ökad	758	t/år
COD till rening	0,2	MSEK/år
Kostnad UH	0,3	MSEK/år
Kostnad drift	0,2	MSEK/år
Summering		
Intäkter – kostnader	-0,2	MSEK/år

Att använda HTC för att omvandla bioslam till biokol och sedan använda det producerade biokolet som internt bränsle i barkpannan ger ingen besparing utan en något ökad kostnad.

Här är inte hänsyn tagen till eventuella problem med panndriften på grund av bioslammets i vissa fall besvärliga egenskaper som bränsle, kostnader för stopp och underhåll, materialproblem etc.

14.2.3 Biokol till barkpanna jämfört med bioslam till barkpanna, marginalbränsle olja

Besparingspotentialen uppskattas för det fall då biokol produceras med HTC för intern användning som bränsle. Jämförelse görs mot intern destruktion av bioslammet i barkpanna. Marginalbränslet i barkpannan är olja.

Bruket eldar slam i barkpanna som är trång på rökgassidan. För att kunna producera processens ångbehov används olja som marginalbränsle. Då det våta slammets byts mot ett torrare biokol minskar rökgasflödet. En optimering av bränslemixen kan göras så att oljeanvändningen minskar och barkanvändningen ökas till dess att maximalt rökgasflöde åter uppnåtts. Optimeringen av bränslemixen görs mot en ångproduktion som motsvarar ursprungligt ångbehov samt HTC-anläggningens ångbehov.

ÅFs beräkningsprogram FIRE har använts för optimeringen av bränslemix.

Tabell 14-5 Bränsleoptimering vid biokol i stället för bioslam till barkpanna som är rökgasbegränsad

Table 14-5 Fuel optimization when replacing biosludge with biocoal in bark boiler limited on flue gas capacity

Bränsleoptimering		
Minskning oljeanvändning	32,5	GWh/år
Ökning barkanvändning	29,3	GWh/år

Tabell 14-6 Biokol till barkpanna jämfört med bioslam till barkpanna, marginalbränsle olja, besparingspotential

Table 14-6 Biocoal to bark boiler compared with biosludge to bark boiler, oil marginal fuel, saving potential

Intäkter och rörliga kostnader		
Intäkter		
Minskat behov olja	32,5	GWh/år
	13	MSEK/år
Kostnader		
Ökat behov extern bark	29,3	GWh/år
(inkl HTC-anläggningens ångbehov)	5,0	MSEK/år
Kostnad ökad	758	t/år
COD till rening	0,2	MSEK/år
Kostnad UH	0,3	MSEK/år
Kostnad drift	0,2	MSEK/år
Summering		
Intäkter – kostnader	7,3	MSEK/år

Besparingspotentialen uppgår till 7,3 MSEK/år om biokolet kan användas internt i barkpannan och i och med att biokolet är ett bättre och torrare bränsle än bioslam möjliggöra byte av oljeanvändning mot biobränsleanvändning.

14.3 BESPARINGSPOTENTIAL BIOKOL FRÅN BLANDSLAM

Besparingspotentialen uppskattas för omvandling av blandslam till biokol.

Två olika fall studeras:

- Biokol externt som bränsle jämfört med blandslam externt som jordförbättring
- Biokol till barkpanna jämfört med blandslam till barkpanna, marginalbränsle olja

Antagna kostnader i uppskattningen:

Kostnad extern hantering blandslam	300 kr/ ton vått blandslam
Kostnad biobränsle, bark	170 kr/MWh
Kostnad el	350 kr/MWh
Kostnad olja (inkl skatter och utsläppsrätter)	400 kr/MWh
Kostnad ånga 25 bar	200 kr/MWh
Hantering TOC i externrening	1 kWh/kg reducerad COD

Underhållskostnad 1% av investeringskostnaden per år

Drift HTC-anläggning 20% av en operatörstjänst

HTC-anläggningens påverkan på brukets varmvattenbalans är helt bruksspecifik och ingår ej i uppskattningen av besparingspotential nedan.

Tabell 14-7 Processdata blandslam och biokol industriell HTC-anläggning 20 t TS/d

Table 14-7 Process data mixed sludge and biocoal industrial HTC-plant 20 t DS/d

Processdata					
Mängd slam	20,0	t TS/d	Mängd biokol	14,7	t TS/d
Mängd slam	67	t vått/d	Mängd biokol	29	t vått/d
Torrhalt	30	%	Torrhalt	50	%
Askhalt	10	%	Askhalt	14	%
Värmevärde			Värmevärde		
(effektivt)	4,5	MJ/kg vått	(effektivt)	11,2	MJ/kg vått
Energiinnehåll	3,5	MW	Energiinnehåll	3,8	MW
Energiinnehåll	29,6	GWh/år	Energiinnehåll	32,4	GWh/år

14.3.1 Biokol externt jämfört med blandslam externt

Besparingspotentialen uppskattas för det fall då biokol produceras med HTC för extern användning som bränsle. Jämförelse görs mot att blandslammet hanterats externt bruket för t ex jordförbättring.

För det producerade biokolet studeras två alternativa prissättningar – dels om biobränslepris kan tas ut för biokolet och dels om oljepris kan tas ut för biokolet.

Tabell 14-8 Biokol externt som bränsle jämfört med blandslam externt som jordförbättring, besparingspotential

Table 14-8 Biocoal to external use as solid fuel compared with mixed sludge to external use as soil conditioner, saving potential

Intäkter och rörliga kostnader		
Intäkter		
Minskad kostnad ext slamhantering	67	t vått/d
	7,1	MSEK/år
Intäkt biokol som bränsle externt (antaget biobränslepris för biokol)	32,4	GWh/år
	5,5	MSEK/år
Intäkt biokol som bränsle externt (antaget oljepris för biokol)	32,4	GWh/år
	12,9	MSEK/år
Kostnader		
Kostnad ånga till HTC-anläggning	3,4	GWh/år
	0,7	MSEK/år
Kostnad ökad COD till rening	1611	t/år
	0,4	MSEK/år
Kostnad UH	0,3	MSEK/år
Kostnad drift	0,2	MSEK/år
Summering		
Intäkter - kostnader (antaget biobränslepris för biokol)	11,0	MSEK/år
Intäkter - kostnader (antaget oljepris för biokol)	18,4	MSEK/år

Besparingspotentialen uppgår till 11,0 MSEK/år om biokolet kan säljas till biobränslepris och till 18,4 MSEK/år om oljepris kan tas ut för biokolet.

14.3.2 Biokol till barkpanna jämfört med blandslam till barkpanna, marginalbränsle olja

Besparingspotentialen uppskattas för det fall då biokol produceras med HTC för intern användning som bränsle. Jämförelse görs mot intern förbränning av blandslammet i barkpanna. Marginalbränslet i barkpannan är olja.

Bruket eldar slam i barkpanna som är trång på rökgassidan. För att kunna producera processens ångbehov används olja som marginalbränsle. Då det våta slammet byts mot ett torrare biokol minskar rökgasflödet. En optimering av bränslemixen kan göras så att oljeanvändningen minskas och barkanvändningen ökas till dess att maximalt rökgasflöde åter uppnåts. Optimeringen av bränslemixen görs mot en ångproduktion som motsvarar ursprungligt ångbehov samt HTC-anläggningens ångbehov.

ÅFs beräkningsprogram FIRE har använts för optimeringen av bränslemix.

Tabell 14-9 Bränsleoptimering vid biokol i stället för blandslam till barkpanna som är rökgasbegränsad
Table 14-9 Fuel optimization when replacing mixed sludge with biocoal in bark boiler limited on flue gas capacity

Bränsleoptimering		
Minskning oljeanvändning	21,0	GWh/år
Ökning barkanvändning	23,4	GWh/år

Tabell 14-10 Biokol till barkpanna jämfört med blandslam till barkpanna, marginalbränsle olja, besparingspotential
Table 14-10 Biocoal to bark boiler compared with mixed sludge to bark boiler, oil marginal fuel, saving potential

Intäkter och rörliga kostnader		
Intäkter		
Minskat behov olja	21,0	GWh/år
	8,4	MSEK/år
Kostnader		
Ökat behov extern bark	23,4	GWh/år
(inkl HTC-anläggningens ångbehov)	4,0	MSEK/år
Kostnad ökad	1611	t/år
COD till rening	0,4	MSEK/år
Kostnad UH	0,3	MSEK/år
Kostnad drift	0,2	MSEK/år
Summering		
Intäkter – kostnader	3,5	MSEK/år

Besparingspotentialen uppgår till 3,5 MSEK/år om biokolet kan användas internt i barkpannan och i och med att biokolet är ett bättre och torrare bränsle än blandslam möjliggöra byte av oljeanvändning mot biobränsleanvändning.

14.4 ÅTERBETALNINGSTID

Investeringskostnaden är enligt specifikation tidigare i detta kapitel 34 MSEK. Här antas att markarbeten, eventuell byggnad, inkoppling till styrsystem och projektering av detta samt framdragning av inkopplingar till befintlig process uppgår till en kostnad av 6 MSEK. Detta ger en sammanlagd, grov, investeringskostnad om 40 MSEK.

Investeringskostnaden är framtagen för en anläggning som kan behandla 25 000 t våt biomassa/år, vilket enligt tidigare resonemang är en lämplig anläggningsstorlek både för behandling av 10 t TS/d bioslam (17% TS) och för en anläggning som behandlar 20 t TS/d blandslam (30% TS).

Nedan sammanställs rak återbetalningstid samt återbetalningstid där hänsyn tas till en kalkylränta på 7%, enligt sambandet:

$$t_{\text{återbetalning}} = - \frac{\ln\left(1 - \frac{\text{Investeringskostnad}}{\text{Årlig besparing}} \cdot \text{Ränta}\right)}{\ln(1 + \text{Ränta})}$$

Tabell 14-11 Sammanställning återbetalningstid för HTC-behandling av bioslam

Table 14-11 Summary payback-times of HTC-treatment of biosludge

HTC-behandling av bioslam	Besparing [MSEK/år]	Rak åter- betalningstid [år]	Återbet. tid, kalkylränta 7% [år]
Biokol externt som bränsle jämfört med bioslam externt som jordförbättring, antaget biobränslepris för biokol	9,2	4,3	5,4
Biokol externt som bränsle jämfört med bioslam externt som jordförbättring, antaget oljepris för biokol	12,5	3,2	3,7
Biokol till barkpanna jämfört med bioslam till barkpanna, marginalbränsle biobränsle	-	-	-
Biokol till barkpanna jämfört med bioslam till barkpanna, marginalbränsle olja	7,3	5,5	7,2

För bioslam där bruket betalar 400 kr/vått ton slam för en extern behandling ger en HTC-anläggning en rak återbetalningstid på 3 – 5 år om det producerade biokolet kan säljas som bränsle till oljepris resp biobränslepris (antaget oljepris 400 kr/MWh inkl skatter och utsläppsrätter och biobränslepris 170 kr/MWh). Om en kalkylränta på 7% ansätts blir återbetalningstiden 4 – 6 år.

För ett bruk där ett vått bioslam eldas i barkpannan och där det höga vatteninnehållet i slammet och begränsad pannkapacitet på rökgassidan framtvingar oljeanvändning kan en HTC-anläggning ge en rak återbetalningstid på 5,5 år (7,2 år med kalkylränta 7%).

Tabell 14-12 Sammanställning återbetalningstid för HTC-behandling av blandslam

Table 14-12 Summary payback-times of HTC-treatment of mixed sludge

HTC-behandling av blandslam	Besparing [MSEK/år]	Rak åter- betalningstid [år]	Återbet. tid, kalkylränta 7% [år]
Biokol externt som bränsle jämfört med blandslam externt som jordförbättring, antaget biobränslepris för biokol	11,0	3,6	4,3
Biokol externt som bränsle jämfört med blandslam externt som jordförbättring, antaget oljepris för biokol	18,4	2,2	2,4
Biokol till barkpanna jämfört med blandslam till barkpanna, marginalbränsle olja	3,5	11,4	23,8

För blandslam där bruket betalar 300 kr/vått ton slam för en extern behandling ger en HTC-anläggning en återbetalningstid på 2 – 4 år om det producerade biokolet kan säljas som bränsle till oljepris resp biobränslepris (antaget oljepris 400 kr/MWh inkl skatter och utsläppsrätter och biobränslepris 170 kr/MWh).

För ett bruk där ett vått blandslam eldas i barkpannan och där det höga vatteninnehållet i slammet och begränsad pannkapacitet på rökgassidan framtvingar oljeanvändning kan en HTC-anläggning ge en rak återbetalningstid på 11 år (ca 24 år med kalkylränta 7%).

14.5 KÄNSLIGHETSANALYS OLJEPRIS

Då oljepriset varierar kraftigt och bedömare är oense om vilken prisnivå på oljan som är sannolik om ett par år görs här en enkel jämförelse av lönsamhet vid ett lägre resp högre oljepris. Känslighetsanalysen har gjorts för raka återbetalningstider.

I lönsamhetstabellen nedan studeras lönsamheten för HTC-behandling av bioslam vid oljepriset 300, 400 resp 500 kr/MWh. Övriga priser och antaganden är oförändrade.

Tabell 14-13 Sammanställning rak återbetalningstid för HTC-behandling av bioslam vid oljepris 300, 400 resp 500 kr/MWh

Table 14-13 Summary straight payback-times of HTC-treatment of biosludge at oilprice 300, 400 and 500 kr/MWh

HTC-behandling av bioslam	Rak åter- betalningstid vid oljepris 300 kr/MWh [år]	Rak åter- betalningstid vid oljepris 400 kr/MWh [år]	Rak åter- betalningstid vid oljepris 500 kr/MWh [år]
Biokol externt som bränsle jämfört med bioslam externt som jordförbättring, antaget biobränslepris för biokol	4,3	4,3	4,3
Biokol externt som bränsle jämfört med bioslam externt som jordförbättring, antaget oljepris för biokol	3,7	3,2	2,9
Biokol till barkpanna jämfört med bioslam till barkpanna, marginalbränsle biobränsle	-	-	-
Biokol till barkpanna jämfört med bioslam till barkpanna, marginalbränsle olja	9,8	5,5	3,8

I lönsamhetstabellen nedan studeras lönsamheten för HTC-behandling av blandslam vid oljepriset 300, 400 resp 500 kr/MWh. Övriga priser och antaganden är oförändrade.

Tabell 14-14 Sammanställning rak återbetalningstid för HTC-behandling av blandslam vid oljepris 300, 400 resp 500 kr/MWh

Table 14-14 Summary straight payback-times of HTC-treatment of mixed sludge at oilprice 300, 400 and 500 kr/MWh

HTC-behandling av blandslam	Rak återbetalningstid vid oljepris 300 kr/MWh [år]	Rak återbetalningstid vid oljepris 400 kr/MWh [år]	Rak återbetalningstid vid oljepris 500 kr/MWh [år]
Biokol externt som bränsle jämfört med blandslam externt som jordförbättring, antaget biobränslepris för biokol	3,6	3,6	3,6
Biokol externt som bränsle jämfört med blandslam externt som jordförbättring, antaget oljepris för biokol	2,6	2,2	1,8
Biokol till barkpanna jämfört med blandslam till barkpanna, marginalbränsle olja	29	11,4	7,1

Den raka återbetalningstiden för en HTC-anläggning i de fall då slam resp biokol går till extern användning påverkas i viss mån av oljepriset, dock ej kraftigt.

Oljepriset påverkar den raka återbetalningstiden kraftigt för det fall där biokol produceras för att eldas i stället för slam som ett bättre bränsle i brukets barkpanna och då det bättre bränslet används för att minska användningen av marginalbränslet olja och växla detta mot biobränsle.

15 Aktivitets- och tidplan för HTC-anläggning

En aktivitets- och tidsplan till demonstrationsanläggning sammanfattas nedan. Här innefattas inte eventuell tid för ansökan och beviljande av offentligt stöd för demonstrationsanläggning.

Tabell 15-1 Aktivitets- och tidplan för HTC-anläggning vid pappers- och massabruk

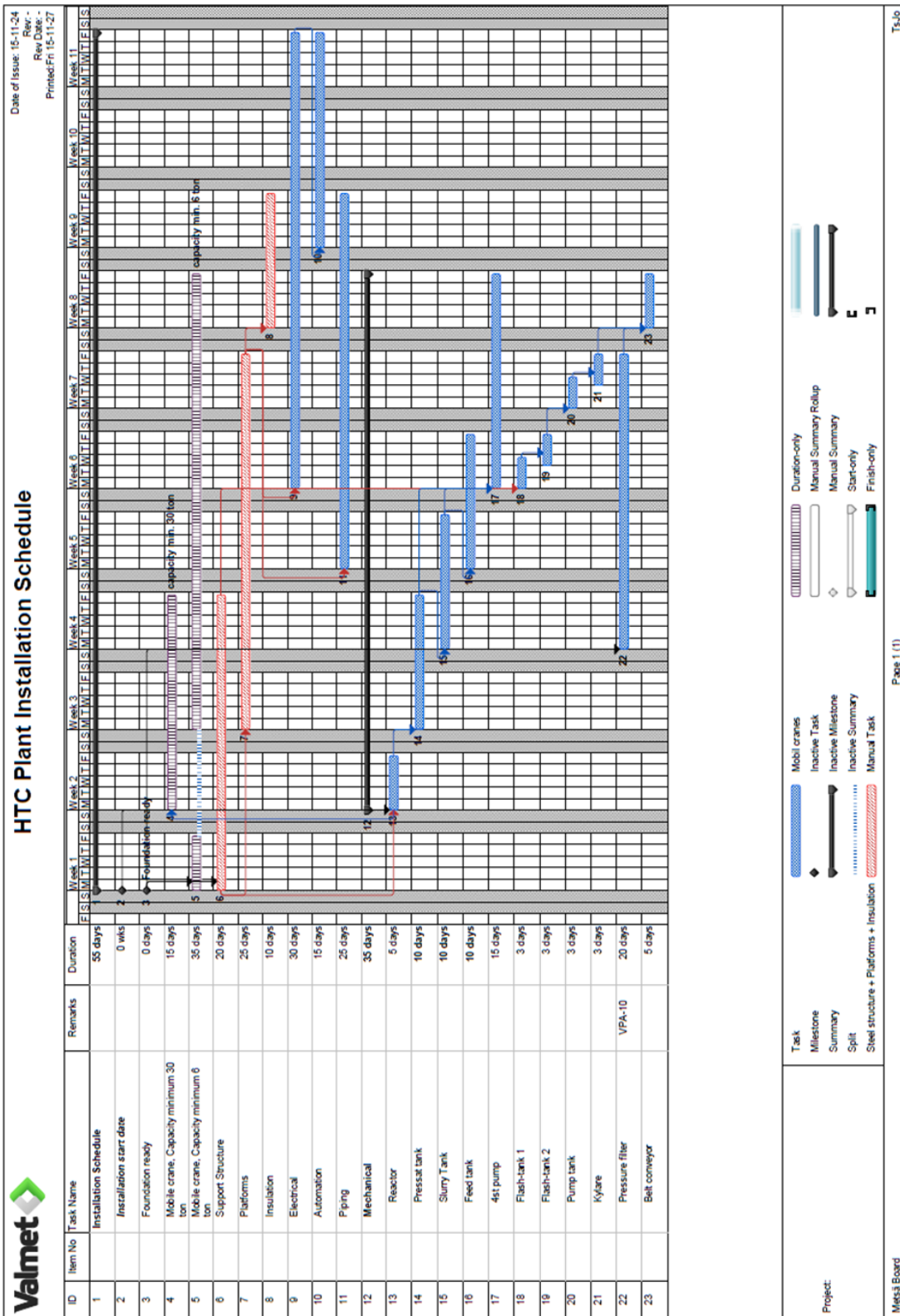
Table 15-1 Activity and time schedule to a pulp- and paper mill HTC-plant

	Aktivitet	Tidplan
Förstudie	Definiera 1-3 koncept	2016-04 till
	Budgetofferter för huvudutrustning	2016-07
	Kostnadskattningar för övrigt	
	Noggrannhet +/- 20%	
Förprojekt	Definiera detaljerat koncept inkluderande alla projektdiscipliner	2016-09 till 2017-02
	Skarpa offerter för huvudutrustning	
	Anbudsutvärdering	
	Förbättra övriga kostnadskattningar	
	Noggrannhet +/- 10%	
Genomförande	Ta in övriga offerter	2017-04 till
	Teknisk/ekonomisk förhandling med leverantörer	2018-12
	Beställning av utrustning	
	Bygg & installation	
	Idrifttagande	

Utrustningen som ingår i HTC-anläggningen är i huvudsak standardutrustning. Den mekaniska pressen för avvattning, en kammarfilterpress, har dock relativt lång leveranstid på ca 8 månader.

Nedan visas ett exempel på tidplan för installation av HTC-anläggning.

En HTC-anläggning installerad vid ett massa- och pappersbruk med rätt förutsättningar skulle kunna vara verklighet under 2018.



Figur 15-2 Tidplan installation av HTC-anläggning (Valmet)

Figure 15-2 HTC-plant installation schedule (Valmet)

16 Slutsatser

Hydrotermisk karbonisering (HTC) av slam från pappers- och massa industrin har genomförts i pilotskala i AVA-CO2s forskningsanläggning i Karlsruhe. Ett bioslam och ett blandslam har behandlats. Båda slammen karboniserades väl och det producerade biokolet uppnådde ett värmevärde (torrt, askfritt) på ca 29 MJ/kg, vilket överstiger värmevärdet hos brunkol.

En egenskap som ofta lyfts fram hos biokol jämfört med slam är att det ska vara lättavvattnat. Torrhalter på 70% nämns i litteraturen som möjliga att nå med endast mekanisk avvattning. För att grovt bedöma vilken torrhalt som kan nås på biokol från slam från pappers- och massa industrin med mekanisk avvattning genomfördes avvattningstester på det producerade biokolet. Testerna gjordes i labskale kammarfilterpress hos Metso i Sala. I avvattningstesterna uppnåddes en torrhalt på ca 45%. I utvärderingen av HTC har antagits att avvattningen kan optimeras något och att en torrhalt på 50% kan nås vid mekanisk avvattning.

Utifrån resultaten från pilotkörningarna hos AVA-CO2 och från avvattningstesterna så har nyckeldata ställts samman för HTC-behandling av slam från pappers- och massa industrin.

Nyckeldata har använts för att grovt beskriva två industriella HTC- anläggningar, en för behandling av 10 t TS/d bioslam och en för behandling av 20 t TS/d blandslam.

Modellbruken "modellbruk kraftliner" (ett bruk med sulfatmassaproduktion) och "modellbruk magazine" (ett bruk med produktion av mekanisk massa) har använts för att kunna relatera förbrukningar, utsläpp etc från de tänkta HTC-anläggningarna till data för dessa bruk.

En HTC-anläggning designad för att behandla slam från ett bruk är en förhållandevis liten anläggning. Ångförbrukningen är liten och påverkan på brukets energisituation med eventuell produktion av mottryckskraft är försumbar. Processvattnet från HTC-anläggningen kommer dock att innehålla relativt stora mängder organiskt material och närsalter och mindre mängder av metaller. Om processvattnet från en HTC-anläggning går till externrening utan reningssteg kommer belastningen på externreningen att öka. En membranfiltrering kan användas för att återföra organiskt material till HTC-processen och få ett renare vatten till reningen och samtidigt öka utbytet av biokol. Ytterligare reningssteg kan läggas till vid behov. Vilka mängder organiskt material, närsalter och metaller som kan tillåtas i processvattnet från en HTC-anläggning till externrening måste bedömas för specifikt bruk, och därmed vilka reningssteg som behövs på processvattnet.

En ekonomisk bedömning har gjorts och resultaten kan sammanfattas enligt nedan.

För bioslam där bruket betalar 400 kr/vått ton slam för en extern behandling ger en HTC-anläggning en rak återbetalningstid på 3 – 5 år om det producerade biokolet kan säljas som bränsle till oljepris resp biobränslepris (antaget oljepris 400 kr/MWh inkl skatter och utsläppsrätter och biobränslepris 170 kr/MWh). Om en kalkylränta på 7% ansätts blir återbetalningstiden 4 – 6 år.

För ett bruk där ett vått bioslam eldas i barkpannan och där det höga vatteninnehållet i slammet och begränsad pannkapacitet på rökgassidan framtvingar oljeanvändning kan en HTC-anläggning ge en rak återbetalningstid på 5,5 år (7,2 år med kalkylränta 7%).

För blandslam där bruket betalar 300 kr/vått ton slam för en extern behandling ger en HTC-anläggning en återbetalningstid på 2 – 4 år om det producerade biokolet kan säljas som bränsle till oljepris resp biobränslepris (antaget oljepris 400 kr/MWh inkl skatter och utsläppsrätter och biobränslepris 170 kr/MWh).

För ett bruk där ett vått blandslam eldas i barkpannan och där det höga vatteninnehållet i slammet och begränsad pannkapacitet på rökgassidan framtvingar oljeanvändning kan en HTC-anläggning ge en rak återbetalningstid på 11 år (ca 24 år med kalkylränta 7%).

HTC-behandling av bioslam eller blandslam för att åstadkomma ett bättre internt bränsle till barkpannan då bruket har biobränsle som marginalbränsle är ekonomiskt ointressant. Då har dock inte beaktats att de våta slammen i vissa fall ger upphov till problem med panndriften, stopp, ökat underhåll etc.

En HTC-anläggning installerad vid ett massa- och pappersbruk med rätt förutsättningar skulle kunna vara verklighet under 2018.

17 Diskussion

Hydrotermisk karbonisering, HTC, har i pilotförsök i detta arbete visat sig vara ett möjligt sätt att omvandla skogsindustriella slam till ett bränsle med bättre egenskaper än det ursprungliga slammet.

För bruk som idag låter slammet gå till extern hantering mot en förhållandevis hög kostnad kan HTC vara ett lönsamt sätt att omvandla slammet till ett bränsle som kan användas internt eller externt bruket.

Möjligheterna till deponitäckning, ett användningsområde som står för ca 25% av användningen av slam från svensk skogsindustri, kommer med stor sannolikhet att minska framöver vilket ökar behovet att finna andra användningsområden för slam.

Biokol innehåller till stora delar samma oorganiska ämnen, metaller etc som det ursprungliga slammet gjorde. En intern användning i en barkpanna där tidigare slammet eldades är därför oproblematiske med avseende på oorganiskt innehåll i biokolet. Om biokolet ska gå till extern användare som bränsle kommer dock innehållet av oorganiska ämnen att påverka möjligt pris för biokolet.

Förslag på framtida arbeten kring biokol och HTC, näraliggande en skogsindustriell HTC-applikation:

- Genomföra pilotförsök i stor skala (14 m³ jämfört med 335 l) för att säkerställa och resultaten från pilotförsöken.
- Undersöka möjligheten att reducera oorganiskt innehåll i biokolet för att förbättra biokolet som bränsle och evtl möjliggöra andra mer värdefulla användningsområden.
- Undersöka möjligheten att ta till vara på värdefulla grundämnen i slammet, t ex fosfor och aluminium.
- Lönsamheten för en HTC-anläggning blir högre ju större anläggning som kan byggas och användas. Undersöka möjligheter och hinder för en gemensam HTC-behandling som samlar slam från olika näraliggande anläggningar.
- Kartlägg förhållandena vid externreningen vid utvalt bruk och hur dessa skulle påverkas vid implementering av en HTC-anläggning. Behövs extra reningssteg på processvattnet från HTC-anläggningen?

18 Referenser

Ahloth, M. och Sivard, Å.: Hur påverkas slamhanteringen av nya och förväntade lagar och förordningar?, Rapport 795, Värmeforsk, Stockholm, 2002

AVA-CO2, personlig kontakt, november 2015

Dahlbom, J. "Effekter av PFG vid indunstning och förbränning av bioslam i ett massabruks sodapanna", Rapport 798, Värmeforsk, Stockholm, 2003

Dahlbom, J. och Wadsborn, R. "Effekter av PFG för integrerade pappersbruk vid indunstning och förbränning av bioslam i sodapannan", Rapport 939, Värmeforsk, Stockholm, 2005

Delin et al., "Energy consumption in the pulp and paper industry -Model mills 2010. Kraftliner mill and Magazine Paper mill", Åforsk, 2011

Eklund, A. och Eriksson, L. "Processlösning för vakuumtorkning av skogsindustriellt slam", Rapport 769, Värmeforsk, Stockholm, 2002

Eklund, A. "Demonstration av vakuumtorktekniken på skogsindustriellt slam", Rapport 794, Värmeforsk, Stockholm, 2002

Ekström, M., SCA Edet bruk, personlig kontakt, oktober 2015

Europeiska gemenskapernas kommission, Meddelande från kommissionen till rådet och Europaparlamentet, Tolkningsmeddelande om avfall och biprodukter, KOM(2007) 59 slutlig, Bryssel den 21.2.2007 (Kan laddas ner via Naturvårdsverkets hemsida www.naturvardsverket.se)

Ganroth, M., BillerudKorsnäs Gruvön, personlig kontakt, november 2015

Gyllenhammar, M., Herstad Svärd, S., Kjörk, A., Larsson, S., Wennberg, O., Eskilsson, D. och Åmand, L-E. "Branschprogram; Slam från skogsindustrin fas II", Rapport 840, Värmeforsk, Stockholm, 2003

Hultman, B. och Löwén, M. "Combined phosphorus removal and recovery", Polish-Swedish report, No 9, sid 11-18, 2001

Ingvarsson, D. "Analys av termiska torktekniker avsedda för torkning av skogsindustriellt avloppsslam", Examensarbete vid ÅF, Stockholm 2004

Jönsson, B. "Skruvat slam", Kemivärlden med kemisk tidskrift, 10, 2004

Ramke H.-G. et al. "Hydrothermal Carbonization of Organic Waste", Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia, Italy, 05-09 October 2009, 2009

Sivard, Å. och Simon, O. "Aerob rening med lägre elförbrukning – Sammanställning av enkätsvar från svenska skogsindustrier med biologisk rening", Rapport 1161, Värmeforsk, Stockholm, 2010

Skogsindustriernas Miljödatabas 2014, www.skogsindustrierna.org

SunCoal, "Boost Efficiency in Dewatering Industrial Organic Sludge", available online at http://www.suncoal.de/uploads/20130313_Sludge_Article_Final.pdf, accessed 2015

Westin, G. "Torkning av slam", Processum rapport, 2011-09-16

Westin, G. "Torkning av bioslam i DMR", Processum rapport, 2012-10-01

ÅF 2012, Internt material ÅF framtaget tillsammans med Innventia i ansökan till Vinnova "Restströmmen som dold resurs"

BIOKOL FRÅN BIOSLAM – PILOTFÖRSÖK

Pappers- och massaindustrin i Sverige producerar varje år stora mängder bioslam. Detta slam kan förädlas till ett bränsle som är mer högvärdigt än att förbränna slammet i sin avvattnade form. Projektet har genom ett pilotförsök visat att hydrotermisk karbonisering är en process som kan användas för att omvandla bioslam från massabrukets rening till ett biokol med betydligt bättre bränsleegenskaper. Utvärderingen visar att en investering i en sådan anläggning för massabruk som idag låter behandla sitt slam externt till en förhållandevis hög kostnad kan vara en lönsam investering, antaget att biobränslepris eller oljepris kan fås för producerat biokol.

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