

Sodahuskommittén

Handläggare
Mikael Ahlroth, Innventia
Kristian Rosenqvist, ÅF
och
Kajsa Fougner, ÅF

Datum
2019-08-20

Utgåva
1

Kajsa Fougner
Mobil: +46-(0)10-505 54 80
kajsa.fougner@afconsult.com

Rapport 2019 - 3

Erfarenhet av ny teknik och lösningar vid Sodahuskommitténs medlemsbruk, forskning och nya produkter

Innehåll

1	Inledning	4
2	Erfarenhet av ny teknik och lösningar vid Sodahuskommitténs medlemsbruk	5
2.1	<i>Lutsystem</i>	5
2.2	<i>Luftsystem</i>	6
2.3	<i>Reduktion, förbränning och utsläpp</i>	7
2.4	<i>Vatten- och ångsystem</i>	8
2.5	<i>Sotblåsning</i>	9
2.6	<i>Rökgas och stoftbehandling</i>	10
2.7	<i>Asksystem</i>	11
2.8	<i>Lösartank</i>	11
2.9	<i>Material och korrosion</i>	12
2.10	<i>Övrigt sodapanna och säkerhet</i>	13
3	Forskning och nya produkter	15
3.1	<i>Lut och förbränning</i>	15
3.1.1	Förbränningsegenskaper för svartlutar med reducerat lignininnehåll	15
3.1.2	Svällningsprocessen vid lutförbränning	15
3.1.3	Effekten av tillsatta bränslen på svartlutförbränningen	16
3.1.4	Ultraljud som mätmetod för flödesprofiler i lutsprutan	16
3.1.5	Modell för flashing i lutsprutor	17
3.2	<i>Luftsystem</i>	17
3.3	<i>Drift- och energioptimering</i>	17
3.3.1	CFD-modellering som hjälpmedel vid panndrift	17
3.4	<i>Sotblåsning</i>	18
3.4.1	Sotblåsning med 10-14 bars ånga	18
3.4.2	Soottech	18
3.5	<i>Rökgas och stoftbehandling</i>	18
3.5.1	Modellering av temperaturens inverkan på uppkomsten av förångad alkali och påslag på tuber i en sodapanna	18
3.5.2	Uppkomsten av gasformiga emissioner i en sodapanna	19
3.5.3	NO _x -bildning i sodapannan	19
3.5.4	Katalytisk NO _x -reduktion	20
3.6	<i>Mätteknik</i>	20
3.6.1	Reduktionsgradsmätning med onlineinstrument	20
3.6.2	Indikation på carry-over	20
3.6.3	Mätning av svavelsyra i rökgaser	20
3.6.4	Akustisk torrhaltsmätning	20
3.6.5	Mjukvarubaserade sensorer (Softsensors)	20
3.7	<i>Material och korrosion</i>	21
3.7.1	Maximering av elgenereringen från japanska sodapannor	21
3.7.2	Svavelsyrakorrosion	21

3.7.3	Korrosionsfenomenet	22
3.8	<i>Lösarplan</i>	22
3.8.1	Smältbäddens dynamik och reaktioner	22
3.8.2	Smältarusningsproblematik och bakomliggande orsaker	23
3.8.3	Grönlutsflashning	24
4	Referenser	25
5	Lista med AF&PA publikationer	29
5.1	<i>Riktlinjer och utbildning</i>	29
5.2	<i>Pannstudier</i>	29
6	Ansvarsfriskrivning	30

1 Inledning

På uppdrag av Sodahuskommittén har ÅF och Innventia gjort en studie som sammanställer erfarenhet av ny teknik och lösningar vid Sodahuskommitténs medlemsbruk, forskning och nya produkter.

Studien sammanställer aktuell information om förbättringsmöjligheter i sodahusprocessen, och då med ett särskilt fokus på säkerhetsförbättringar, från:

- *Högskolor och universitet*
Tappi, BLRBC, AF&PA, Åbo Universitet, Toronto Universitet, KTH, Chalmers, Lund mm
- *Leverantörer av hård- och mjukvara*
T ex Acosence, Andritz, Clyde Bergemann, Soottech, Valmet mm
- *Sodahuskommitténs medlemsbruk*
Frågeformulär med frågor vad bruken använder idag och hur man ser på resultatet, om man därutöver har egenfunna lösningar på säkerhetsproblem mm

Syftet med studien är att den ska utgöra en lättöverskådlig sammanställning över vilka förbättringsmöjligheter som används vid andra bruk, finns som produkt på marknaden och som det forskas kring på universitet och högskolor.

Informationen är insamlad under en längre tid, åren 2017 – 2018.

2 Erfarenhet av ny teknik och lösningar vid Sodahuskommitténs medlemsbruk

2.1 Lutsystem

	Vilken teknik/ mätning/ styrning/ arbetssätt/ egen lösning?	Hur länge har Ni erfarenhet av denna teknik/ arbetssätt?	Hur anser Ni att resultatet är? (t ex förbättrad drift, svårare hantering, förbättrad säkerhet, snabbare uppstart, mindre avsättningar, ökad korrosion, minskade utsläpp etc)
Ny processutrustning			
BillerudKorsnäs Gävle	Beer cans	Några månader	Vi hade mycket problem med rusningar. Problemet berodde säkert inte på munstyckena, men det uppstod ett motstånd bland operatörerna mot att fortsätta provet. Munstyckena brändes också sönder efter kort tid så det tog slut på munstycket.
BillerudKorsnäs Skärblacka	Lutspruta i material Alstel	6mån	Väsentligt längre hållbarhet. Andra kan brinna upp på en dag, denna har suttit 6 mån
BillerudKorsnäs Skärblacka	Reglerventiler lutsprutor i kerammaterial. (testat olika modeller, även helt i duplex höll ej)	12mån	Inga skador vid kontroll på kerammodellen, alla övriga hade skador. =>byter alla till keram
BillerudKorsnäs Skärblacka	Styrning lutsprutevagg/spruthållare från trekantig till fyrkantig styrning	18mån	Slangen tyngde ner på ena sidan och gjorde att lutsprutan hamnade snett. Bytet till fyrkantig styrning=>läppen ligger rakt
Nordic Paper Bäckhammar	Kyllda/självrengörande lutsprutor	Ca 6 mån	Förbättrad drift och förbättrad säkerhet
Södra Cell Mönsterås	Fullkonsdysa lövlut	Några timmar	Fungerade ej, täckte ej botten.
Södra Cell Mönsterås	Läppdysa med vinkel vid eldning av lövlut	2 år	Bättre lutfördelning, minskad igensättning.
SCA Munksund	Lutmunstycken. Beercan	4-5 år	Bättre hållbarhet, läpparna brann upp. Bättre lutspridning nedåt mot bädd, mindre överbäring.
Ny mätutrustning			
BillerudKorsnäs	Dubbelmontage av	-	Förbättrad säkerhet

s Gruvön	refraktometer tjocklut till eldstad		
BillerudKorsnäs Gävle	Viskositetsmätare för brännlut	1 månad	Mätaren ser ut att mäta viskositet☺ Vi kommer att använda mätvärdet för att temperaturreglera brännluten. Målet är stabilare drift, mindre rusningar och bättre reduktionsgrad.
BillerudKorsnäs Skärblacka	Raka massflödesmätare på brännlut till lutsprutor	4 år	Funkar lika bra som magör + du får densitet
Södra Cell Värö	Kompletterat torrhaltsmätningen med en tredje refraktometer		Bättre tillgänglighet i och med funktionen 2 av 3.
Ny styrning			
BillerudKorsnäs Gävle	Last- och effektstyrning av sodapannorna	2 år resp. 3 månader	Laststyrningen ger en stabilare drift av sodapannorna och mindre emissioner. Effektregeringen var ett prov där mängden tillförd brännlut styrde mot ett börvärde för avgiven effekt, baserad på ångflöde, tryck och temperatur.
Nya arbetssätt, rutiner			
-			
Egen lösning för förbättrad drift/ säkerhet			
-			

2.2 Luftsyst

	Vilken teknik/ mätning/ styrning/ arbetssätt/ egen lösning?	Hur länge har Ni erfarenhet av denna teknik/ arbetssätt?	Hur anser Ni att resultatet är? (t ex förbättrad drift, svårare hantering, förbättrad säkerhet, snabbare uppstart, mindre avsättningar, ökad korrosion, minskade utsläpp etc)
Ny processutrustning			
BillerudKorsnäs Gävle	Monterat förstrypta dysor i tertiärregistret för att få högre tryck.	1 år	Bättre penetration av luft och mindre problem med CO.
Södra Cell Värö	Ombyggnation av luftsystemet i samband		

	med kap.ökning, större och färre luftportar		
Ny mätutrustning			
BillerudKorsnäs Gävle	Monterat flera tryckuttag på venturimetrarna för att få en stabilare flödesmätning vid stor turbulens i luftkanalerna.	2 år	En väsentligt stabilare signal för flödet som ger bättre förutsättningar för flödesregulatorerna att reglera.
Stora Enso Skoghall	Förbättrad övervakning av avloppen från imgasåtervärmaren	Ingen ny teknik	Minskad risk för tvättvatten till tertiärluftkanal
Ny styrning			
BillerudKorsnäs Gävle	Egen CO-styrning	1,5 år	Ger mindre luftöverskott då styrningen hela tiden mäter O2 och CO och styr överluftflödet till minsta möjliga O2-halt
Nya arbetssätt, rutiner			
-			
Egen lösning för förbättrad drift/ säkerhet			
BillerudKorsnäs Skärblacka	Öppen dränering från imgasförvärmare	3år	Öppen dränering –rör ner i tratt på manöverplan Nu ser vi dagligen att det inte är något gallet med dränaget utan att vatten från renspolningen med dysor kommer ut som det ska
SCA Obbola	Dräneringar från imånga/svaga gaser har förbättrats.	1år	Säkerhet för att inte få in vatten i sekundärluften.

2.3 Reduktion, förbränning och utsläpp

	Vilken teknik/ mätning/ styrning/ arbetssätt/ egen lösning?	Hur länge har Ni erfarenhet av denna teknik/ arbetssätt?	Hur anser Ni att resultatet är? (t ex förbättrad drift, svårare hantering, förbättrad säkerhet, snabbare uppstart, mindre avsättningar, ökad korrosion, minskade utsläpp etc)
Ny processutrustning			
Stora Enso Skoghall	Metanolbrännare	Ca: 3 år	Avlastar gaspannan
Ny mätutrustning			

Södra Cell Mönsterås	FITNIR	Drifttagen maj 2017	Fungerar bra. Kort erfarenhet än så länge.
Ny styrning			
-			
Nya arbetssätt, rutiner			
-			
Egen lösning för förbättrad drift/ säkerhet			
Stora Enso Skoghall	Metanolventiler m.m har installerats i ett slutet rum med evakueringsfläktar		

2.4 Vatten- och ångsystem

	Vilken teknik/ mätning/ styrning/ arbetssätt/ egen lösning?	Hur länge har Ni erfarenhet av denna teknik/ arbetssätt?	Hur anser Ni att resultatet är? (t ex förbättrad drift, svårare hantering, förbättrad säkerhet, snabbare uppstart, mindre avsättningar, ökad korrosion, minskade utsläpp etc)
Ny processutrustning			
SmurfitKappa Piteå	Avspänning av bottenblåsning mot matarvattentanken	3 år	Lägre ångförbrukning
SmurfitKappa Piteå	Kör matarvattenpumparna reglering enbart på frevensomriktarstyrning Matarvattenventilen är alltid fullt öppen	3 år	Lägre elförbrukning
BillerudKorsnä s Gävle	Blandbäddsfiler för returkondensat	4 år	Bättre kvalitet på mava. Var nödvändigt då en ny biobrännspanna skulle byggas med högre ångdata.
Ny mätutrustning			
-			
Ny styrning			
BillerudKorsnä s Skärblacka	Vid normallast kör vi med domnivåreglering direkt med mavapumpars frekvensdrift, reglerventiler fullt öppna	4 år	Bra, bättre än med ventilerna inblandade Om vi kör utan lut i pannan kommer vi ner så lågt i last tt reglerventilerna måste användas

BillerudKorsnäs Skärblacka	Har en uppkörningskurva i system. Friblåsningssystemet reglerar upp trycket enligt leverantörens anvisning. Inmatning minöppning o målnivå	4 år	Funkar utmärkt. Inga problem att blåsa ur överhettare med tryckupptagningen inkopplad. Funderar på att ha larm/påminnelse när det är dags att tända en oljebrännare till
Nya arbetssätt, rutiner			
Nya arbetssätt, rutiner	Testade digitalröntgen på T-stycken, böjar etc. totalt ca 150 punkter	2016	Bra! Hittade ett 10-tal saker att åtgärda
Egen lösning för förbättrad drift/ säkerhet			
-			

2.5 Sotblåsning

	Vilken teknik/ mätning/ styrning/ arbetssätt/ egen lösning?	Hur länge har Ni erfarenhet av denna teknik/ arbetssätt?	Hur anser Ni att resultatet är? (t ex förbättrad drift, svårare hantering, förbättrad säkerhet, snabbare uppstart, mindre avsättningar, ökad korrosion, minskade utsläpp etc)
Ny processutrustning			
SmurfitKappa Piteå	Bytt sotalansar till Geninin	5 år	
Nordic Paper Bäckhammar	4 st nya sotare i problemområde	Sedan sep 2017	Ihop med ombyggnation av konvektion så har vi mindre igensättningar.
Ny mätutrustning			
-			
Ny styrning			
SmurfitKappa Piteå	Sootech sotarstyrning	5år	Bra. Minskar ångförbrukning och högre tillgänglighet
BillerudKorsnäs Gruvön	HISS-sotning	April 2016	Bra resultat. Minskad mängd sotånga samt möjlighet att sota mer vid behov
MetsäBoard Husum			Vi har förskjutit starten av sotblåsarparet så att dem startar lite förskjutna i förhållande till varandra
Södra Cell Mönsterås	Lagt över styrning i DCS	Hösten 2016	Bättre uppföljning och reglerbarhet
Stora Enso	Har provat att sänka	Ca: 5 år	Har återgått p.g.a. högre

Skoghall	trycket vid returen för att spara ånga.		pannlast vilket gav mera beläggningar i sekundäröverhettaren
Nya arbetssätt, rutiner			
-			
Egen lösning för förbättrad drift/ säkerhet			
-			

2.6 Rökgas och stoftbehandling

	Vilken teknik/ mätning/ styrning/ arbetssätt/ egen lösning?	Hur länge har Ni erfarenhet av denna teknik/ arbetssätt?	Hur anser Ni att resultatet är? (t ex förbättrad drift, svårare hantering, förbättrad säkerhet, snabbare uppstart, mindre avsättningar, ökad korrosion, minskade utsläpp etc)
Ny processutrustning			
Södra Cell Mönsterås	Uppgradering till 3-fas likriktare samt ny fördelningskärn och antisnikers	Uppgraderingen pågår	Många "barnsjukdomar" som har resulterat i ombyggnationer men när det fungerar ger tillfredställande stofthalter.
Ny mätutrustning			
BillerudKorsnäs Skärblacka	Kontinuerlig stoftmätning efter varje elfilter	4år	Bra
BillerudKorsnäs Skärblacka	pH mätning med renspolning på skrubbercirkulation	2 år	Bra, drev tidigare iväg pga beläggningar på ett par dagar
Stora Enso Skoghall	Kontinuerlig stoftmätare (Palgo)		
Ny styrning			
BillerudKorsnäs Skärblacka	Styrning av stoftutsläpp från elfilter mha ström sista sektion	4år	Bra, elbesparing
Stora Enso Skoghall	OptOp styrning	Ca. 5 år	Lägre elförbrukning, förbättrad övervakning av elfiltren (fjärrövervakning av GE)
Nya arbetssätt, rutiner			
-			
Egen lösning för förbättrad drift/ säkerhet			
BillerudKorsnäs	Kör LKA i	6 mån	Mindre TOC i avlopp,

s Skärblacka	skrubberinloppet för nivåhållning		vattebesparing + sätter inte igr sig (har tom rensat sig själv efter bytet)
Nordic Paper Bäckhammar	Konvektion ombyggd så att rökgaserna går tvärs igenom	Sep 2017	Lägre rökgashastighet vilket medför mindre igensättningar

2.7 Asksystem

	Vilken teknik/ mätning/ styrning/ arbetssätt/ egen lösning?	Hur länge har Ni erfarenhet av denna teknik/ arbetssätt?	Hur anser Ni att resultatet är? (t ex förbättrad drift, svårare hantering, förbättrad säkerhet, snabbare uppstart, mindre avsättningar, ökad korrosion, minskade utsläpp etc)
Ny processutrustning			
-			
Ny mätutrustning			
-			
Ny styrning			
-			
Nya arbetssätt, rutiner			
Nordic Paper Bäckhammar	Blanda askan i m-tjocklut	Mars 2018	Mindre igensättningar i industningen. Mindre med pluggningar i mixtank.
Egen lösning för förbättrad drift/ säkerhet			
-			

2.8 Lösartank

	Vilken teknik/ mätning/ styrning/ arbetssätt/ egen lösning?	Hur länge har Ni erfarenhet av denna teknik/ arbetssätt?	Hur anser Ni att resultatet är? (t ex förbättrad drift, svårare hantering, förbättrad säkerhet, snabbare uppstart, mindre avsättningar, ökad korrosion, minskade utsläpp etc)
Ny processutrustning			
SmurfitKappa Piteå	Nya omrörare och pumpar	3 år	Jämnare TTA
SmurfitKappa Piteå	Spettningssroboten för löprännor	5 år	Säkrare arbetsmiljö för operatörer
Södra Cell Mönsterås	Byggt om doghousespolning och ångsplittring	Bra	Hade problem med sönderbrända rör och mkt UH i doghouse, som nu är borta.

			Bättre placerad splittring. Splittern följer löprännan numera istället för fast monterad i doghouse.
Ny mätutrustning			
SmurfitKappa Piteå	On-line mätning för grönlut	2 år	Jämnare TTA
BillerudKorsnäs Gävle	Radarmätare för redundans	1 månad	God mätnoggrannhet. Problem med att det bygger i genomföringen som leder till felvisning. Spolanordning har nyligen monterats för utvärdering.
Stora Enso Skoghall	Acosens	Nytt	Ännu för tidigt att utvärdera tekniken
Ny styrning			
SmurfitKappa Piteå	Ny TTA styrning på grönlut från lösaren. Med temperaturstyrning	2 år	Jämnare TTA
Nya arbetssätt, rutiner			
BillerudKorsnäs Skärblacka	Dosering av inkrustermedel in till lösaren	1,5 år	Tidigare stopp var 4:e månad för HT-spol omrörare. Nu körning utan problem mellan två revisionsstopp
Egen lösning för förbättrad drift/ säkerhet			
BillerudKorsnäs Skärblacka	Snabbknappar i system för att få stopp på vätska till sodalöare	Har inte behövt använda dem än	
Stora Enso Skoghall	Byggt om provtagningssskåpet med grövre provtagningsledningar för att undvika inkruster	2 år	Säkrare provtagning

2.9 Material och korrosion

Vilket material och i vilken position?	Hur länge har Ni erfarenhet av detta material?	Hur anser Ni att resultatet är? (t ex minskad korrosion, ingen förändring i korrosion etc)
SmurfitKappa Piteå		
Påläggsvetsad Alloy 625 pirmärlluftsportar	3 år	Mycket bra

BillerudKorsnäs Gävle		
Sanicro 67	3 år	Kort tid för att dra några slutsatser men ingen korrosion har kunnat upptäckas hittills.
Sanicro 38	10 år	Korrosion har upptäckts på bottentuber efter endast 2 års drift.
MetsäBoard Husum		
Löphålsöppningar Alloy 625		Positivt, minskat slitage jmf med compound
Nordic Paper Bäckhammar		
Sanicro 67	Sep 2015	Ingen skillnad mot sanicro 38
Södra Cell Mönsterås		
Löpöppning, sanicro 38	2002 till 2016	I stort sett intakt efter 14 år, byttes till sanicro 67.
Stora Enso Skoghall		
Byter från Sanicro 38 till Sanicro 67 i sekundär och startbrännaröppningar	3-4 år	Korrosionen har minskat

2.10 Övrigt sodapanna och säkerhet

Förändring	Hur länge?	Erfarenhet/ resultat?
SmurfitKappa Piteå		
Utcheckningsrutiner för alla säkerhetsrestar gällande sodapannans säkerhet	6 år	Mycket goda. Både högre tillgänglighet och bättre utbildade operatörer
Uppdaterade lokal säkerhetsrutiner vid oönskade händelser sodapannan med stöd av sodahus kommitteens rekommendationer	Under 1 år	För tidigt att säga ännu
Uppgraderat sodapannesimulator i utbildningssyfte för operatörer	4 år	Mycket goda. Både högre tillgänglighet och bättre utbildade operatörer
BillerudKorsnäs Skärblacka		
Talande utrymningslarm utomhus utanför sodapannan vid sodahuslarm	2 mån	Funkade bra, men behöver komplettera med engelskt tal

MetsäBoard Husum		
Löprännornas kylsystem, totalavsaltat vatten. Tidigare mekrenat vatten	3 år	Positivt, löprännorna håller 12 månader. Inga byten mellan UH stoppen
Stora Enso Skoghall		
Nya förreglingar och mätutrustning för att förebygga tvättvatten från imkondensorn att nå tertiärluftkanalen	3-4 år	Inga nya incidenter

3 Forskning och nya produkter

3.1 Lut och förbränning

Ett flertal studier har under de senaste åren gjorts inom framförallt området lutförbränning, men även lutens fysikaliska egenskaper. Modeller för förbrännings- förlopp och egenskaper för olika typer av lutar har studerats i detalj, och nedan är ett urval av de publikationer som bedöms vara mest relevanta.

3.1.1 Förbränningsegenskaper för svartlutar med reducerat lignininnehåll

Om ett massabruk avlastar sodapannan med hjälp av Lignoboost-utfällning av lignin, kommer svartlutens egenskaper att förändras. Förbränningsegenskaperna har studerats av Vähä-Savo et al. (2014). Två svartlutar från sulfatbruk och en sodalut alla med reducerat lignininnehåll studerades i en droppförbränningsreaktor. Även ursprungslutarna utan reducerat lignininnehåll studerades.

Under förbränningen mättes total förbränningstid, svällningsvolym, NOX-bildning, cyanatbildning i smältafasen samt svavelavgång. Resultaten visar följande:

- Koksförbränningen påverkades av ligninuttaget
- Ingen större skillnad kunde ses i avgasningen av lätta kolväten
- Ingen större skillnad kunde noteras för den totala brinntiden för ligninutarmad lut, den var lika vanlig brännlut
- Svällningsvolymen ändrade signifikant, detta kan påverka carry-overn
- Ytterligare studier om hur ligninutarmad lut beter sig vid insprutningen in i pannan krävs, för att kunna dra några slutsatser om carry-overn.

Äldre sodapannor med generellt lägre temperatur i lutsprutezonen och i smältabädden behöver justera sina förbränningsförhållanden vid eldning av ligninutarmad lut för att bibehålla temperaturen. I annat fall kan svavelutsläppen öka pga. kall smältabädd.

Baserat på denna studie är det möjligt att elda ligninutarmad lut utan större förbränningstekniska åtgärder i sodapannan.

3.1.2 Svällningsprocessen vid lutförbränning

I en studie av Liming Zhao och Honghi Tran (2014) presenteras en systematisk studie av svällningsprocessen vid förbränning för olika lutar. Studien är baserad på lutar från ett flertal bruk (från sulfat, sulfit, dissolving och NH₄ baserade processer). Man använde sig av en termogravimetrisk förbränningskammare (TG) där lutdropparnas beteende studerades under förbränningsförloppet.

Över 300 tester gjordes i studien, med en kontrollerad temperatur på 830°C. Bland annat drogs slutsatserna att sulfat- och dissolvinglut svällde mest, medan sulfitlut också svällde fast i lägre utsträckning.

Då lutdroppen fördes in i kammaren gick den igenom tre faser: Torkning, pyrolys och koksförbränning/smälta (eller ask) –bildning. Den totala tiden för fullständig förbränning berodde till störst del på koksförbränningen, vilken varierade kraftigt mellan de olika lutarna. Förbränningstiden för lutdroppar som svällde mer var längre än för lutdroppar med

liten svällning. Ytterligare minskning av förbränningstid kunde inte observeras för lutar som svällde till mer än 25 gånger ursprungsvolymen.

3.1.3 Effekten av tillsatta bränslen på svartlutsförbränningen

Moderna sodapannor beställs ibland med överkapacitet i förhållande till nuvarande massaproduktion på ett massabruk. På detta vis fås marginal för produktionsökningar. Ett alternativ för överstora sodapannor kan vara att elda ett biobränsle vid sidan av svartlut för ökad produktion av grön el. DeMartini et al (2010) studerade detta 2010. I dessa labtest blandades svartlut med bark, flis, torv eller bioslam. De tre första bränslena tillsattes med en torrhalt på ca 95%. Två blandningar gjordes med varje tillsatsbränsle, 13 och 26 mass-%, av blandningens TS. Bioslam tillsattes vid 22% torrhalt med ett inblandningsförhållande på 0,8 och 1,8 mass-% av blandningens TS.

Droppar av dessa blandningar provförbrändes i en reaktor och dokumenterades. Resultaten visade att blandningar av svartlut och bark, träflis eller bioslam brann i stort sett som ren svartlut. NOX-emissionen ökade något.

Torv ändrade svartlutens förbränningsbeteende radikalt. Koksförbränningen blev avsevärt mycket långsammare. Torvens höga halt av bundet kväve ledde även till mycket höga NOX-emissioner jämfört med svartlut. Detta bränsle rekommenderas inte som tillsatsbränsle i sodapannor.

Ännu högre inblandning av tillsatsbränsle studerades av Vähä-Savo et al (2011). Här blandades upp till 50 % tillsats av träflis eller bark. En långsammare koksförbränning noterades, medan avgasningen av kolväten inte påverkades av tillsatsbränslena. Denna studie visade på att det förbränningstekniskt är möjligt att flis eller bark elda upp till 25 - 30% av sodapannans totala bränslemängd in. Detta förutsätter dock att den ökade mängden koks kan förbrännas på ett bra sätt (och inte blir grönlutsslam i smältlösaren).

Alla tillsatsbränslen leder till ökat intag av PFG. Inverkan av detta måste studeras vidare. En första uppskattning på effekten av trä- och barkeldning som tillsatsbränsle i sodapannan på resten av kemikalieåtervinningen och lutcykeln gjordes av Ahlroth et al, 2014. En svensk sodapanna modellerades utgående från Innventias modellfabrik. Sodapannan eldades med trä- och barkpulver i separata brännare, ej som inblandning i svartluten. Resultaten visar att trä är ett möjligt tillsatsbränsle i sodapannor, det är i vissa avseenden renare än svartlut. Dock finns det risk att Cl och K ökar, så en askbehandlingsutrustning sannolikt behövs. Bark är däremot inte lämpligt som tillsatsbränsle i sodapannor..

3.1.4 Ultraljud som mätmetod för flödesprofiler i lutsprutan

I en preliminär studie av Sanna Haavisto et al (2014) användes ultraljudsprofilering för att erhålla hastighetsdata i lutsprutor i realtid. Resultaten visade på god överstämmelse med pilotdata, och hade en avvikelse på under 10%. Slutsatser från studien var att "inline"-reologiska mätningar med ultraljudspektroskopisk teknik visar på god potential för applicering på svartlut. För att nå högre robusthet krävs vidare utveckling av instrumenteringen.

3.1.5 Modell för flashing i lutsprutor

En normal svartlut befinner sig i rumstemperatur i stelnat tillstånd. För att kunna pumpa luten så värms den upp till 130-150°C, vilket innebär att man normalt överskrider kokpunkten vid atmosfäriskt tryck. När luten sprutas ut i pannan mot lägre tryck så resulterar denna temperaturförhöjning i en potential för flashing av lutång. Det har visat sig att ånggenereringen i munstycket kan påverka den initiala hastigheten från sprutan med en faktor på 2-4, vilket har en stor påverkan på hur förbränningen i pannan ser ut.

Flashingen har också en direkt inverkan på droppstorleken, vilket kan resultera i förändringar i lutöverbäring. Mika Järvinen et al (2014) har gjort en rad experiment för att ta fram en ny simuleringsmodell för experimentell validering av flashing i lutsprutor. Detaljerade ekvationer för modellen återfinnes i publikationen i referenserna nedan. Grunden för modellen bygger på en numerisk lösning av en 1-dimensionell pluggflödesmodell. Modellen tar även hänsyn till de icke-Newtonska egenskaperna för svartlut. Ekvationerna från studien kan komma att vara användbara i framtida simuleringsprojekt och optimering av munstycken för lutsprutor.

Med modellen som utgångspunkt undersöktes nya designmöjligheter. Man kom t.ex fram till att en minskning av öppningsytan har en väldigt marginell effekt på utloppshastigheten eftersom detta även minskar flashingen i sprutan. Vid 50% öppningsgrad så skedde ingen flashing i sprutan, och bubblor börjar växa först efter utloppet.

3.2 Luftsysteem

Ökade möjligheter till strömningstekniska simuleringar genom CFD-beräkningar (computational fluid dynamics) har förbättrat möjligheten att optimera moderna luftsysteem.

En optimal blandning av luft och lut säkerställer att man kan nå högsta möjliga kapacitet för pannan, samtidigt som man motverkar problem som har kopplingar till dålig förbränning- t.ex smältarusningar på lösarplan. Tydliga trender för moderna ombyggnationer är ett ökat fokus på stora kvartärportar där man kan säkerställa att CO från processen förbränns, och motstående portar som går omlott med reducerade flöden (bromsstrålar) i sekundärnivåerna.

3.3 Drift- och energioptimering

Gällande energi- och driftoptimering har utvecklingen av flödesmodeller för sodapannor bidragit till ökade möjligheter att optimera körsätt av pannan.

3.3.1 CFD-modellering som hjälpmedel vid panndrift

Vid drift av en sodapanna kan det uppstå situationer med asymmetrisk temperaturfördelning i ugnen. Engblom et al (2012) har modellerat ugnen i en 4450 tTS/24h sodapanna med CFD för att studera hur pannlast och lutinsprutningen påverkar asymmetrisk temperaturfördelning.

Resultaten visar att en viss mängd asymmetri kan förväntas pga. variationer i förbränningsluftflödena och lutförbränningen, vilka kan bero på luftportars inställning,

slitage, försmutsning, antalet lutsprutor samt deras vinkel. En minskning av pannlasten kan orsaka eller förvärra en snedfördelning av temperaturen. Det kan vara svårt att motverka denna. När pannlasten ändras, kan även små skillnader i lutsprutornas vinkel påverka snedfördelningen.

3.4 Sotblåsning

Inom området sotblåsning pågår studier för ökad effektivisering. På University of Toronto arbetar man till exempel med flödesmodeller för hur strålarna från sotblåsare påverkas av kringliggande geometri. Framförallt så tittar man på möjligheterna att spara energi genom att gå ner i tryck på sotblåsningsånga.

3.4.1 Sotblåsning med 10-14 bars ånga

Danny Tandra et al (2014) beskriver möjligheterna med att använda 10-14 bars sotånga istället för konventionellt mellantryck. Majoriteten av sotblåsare i sodapannor använder sig av ånga kring 28 bar(g) tryck eller högre för att rengöra tuberna från beläggningar.

Signifikanta energibesparingar kan göras vid användning av ånga med lägre tryck, som t.ex mellantrycksånga från turbin med tryck 9- 14 bar(g), förutsatt att sotblåsningens effektivitet inte försämras. Publikationen går igenom ett koncept för att realisera effektiv sotblåsning med lägre tryck. Konceptet kan förklaras med att ett kortare och bredare munstycke ökar kontaktytan och på så sätt kan bibehålla kraften i sotblåsarstrålen även vid lägre tryck. Med ett sådant koncept behövs ett högre flöde av lågvärdig ånga, men nettoeffekten blev en ekonomisk vinst med de elpriser studien baserats på.

3.4.2 Soottech

Soottech har utvecklat konceptet HISS (High Impact Soot System) som bygger på kunskapen om att sotningen sker till nära 100% under sotlansens väg in i pannan och att den ånga som används för sotning under sotblåsarens väg tillbaka gör mer skada än nytta.

Flera sotblåsare körs parallellt och utan returånga vilket ger mer sotning, kortare tid mellan sotning och mer lättstodat aska, samt mindre sotångeförbrukning.

3.5 Rökgas och stoftbehandling

Flera relevanta studier har gjorts inom området rökgas och stoftbildning under de senaste åren. Bland annat har uppkomsten av gasformiga emissioner vid förbränning av svartlut studerats i detalj.

3.5.1 Modellering av temperaturens inverkan på uppkomsten av förångad alkali och påslag på tuber i en sodapanna

En av svårigheterna med att modellera fysikalisk-kemiska reaktioner i en sodapanna är att temperaturen påverkar alla reaktioner och fysikaliska fenomen mycket kraftigt. Dessvärre är det svårt, eller nästintill omöjligt, att med noggrannhet mäta temperaturen i vissa positioner.

I en studie från Åbo Akademi (Brink et al, 2010) jämförs prestandan på IR (4,6 µm

våglängd) pyrometer, sugpyrometer och oskyddade termoelement vid en mätkampanj i en 4450 tTS/24h sodapanna. Av dessa tre var IR pyrometern det mest robusta instrumentet.

Fluktuationer i temperaturen, som de två andra metoderna inte detekterade, kunde fångas med IR. Nackdelen med denna teknik är att en exakt mätpunkt inte kan fås, då instrumentet ”ser” genom ett gasflöde och mäter genomsnittet. Termoelement störs av strålningen från smältbädden och bör användas endast ovanför näsan, i ”skuggan”. Sugpyrometern gav mätvärden liknande IR pyrometerns utslag, men kunde endast användas i de högre delarna av pannan. Längre ner pluggades instrumentet.

3.5.2 Uppkomsten av gasformiga emissioner i en sodapanna

På området förgasning av natrium från svartlutsdroppar finns nya resultat från Saw et al 2009 och Saw et al 2010. Här utfördes experiment med förbränning av svartlutsdroppar från torksteget till smältfasen. Hela förloppet studerades med PLIF (planar laser-induced fluorescence). Studierna visar att avgången av atomärt natrium under torkning- och avgasningsfasen är beroende på lutdroppens yttre area, dvs. droppens diameter. Däremot var natriumförgasningen låg under koks-fasen i slutet av droppens förbränning, men ökade igen i smältfasen. Vidare konstaterades att signifikanta mängder av natrium kan förgasas under förbränningen av små droppar.

NO_x-emissioner från sodapannor är ett fenomen som studeras intensivt. Brink et al., 2007, kombinerar CFD-beräkningar med detaljerade reaktionsberäkningar för att undersöka NO emissionen från en sodapanna. Resultaten visar att, pga. temperaturfördelningen i sodapannan, så kommer nästan allt bränslekväve som frigörs från lutdropparna att oxideras till NO. Lutsprutorna påverkar också, mindre droppar ger högre NO-emission än stora droppar. Dock kan dropparna inte vara överdrivet stora, eftersom bädden i så fall blir sur och svartnar.

3.5.3 NO_x-bildning i sodapannan

Ytterligare resultat gällande NO_x-bildning i sodapannan, närmare bestämt hur bundet kväve i lutkoxen reagerar under förbränningen, har presenterats av Vähä-Savo et al. (2014). I denna studie studeras det bundna kvävet omvandling till NaOCN i kokset i lutdropparna samt hur detta cyanat bryts ner i en labreaktor. I carry-over partiklar i den uppåtgående rökgasen förfaller det som om kvävet inte oxideras till NO i någon högre grad. Dock krävs mer forskning kring detta. Kvävet i den koks som når smältbädden sönderfaller och bildar NO och N₂ eller följer med smältan till smältlösaren. Hur fördelningen blir beror på nivån av koksförbränning i suspension ovanför bädden och temperaturen i den nedre delen av eldstaden.

Resultaten ovan omsattes till simuleringar av Engblom et al (2014). I denna studie simuleras NO_x-bildning i både en stor BFB-barkpanna och en 3000 tTS/24h sodapanna. Resultaten för barkpannan visar att NH₃ och NO bildas i sandbädden och reagerar med sekundär- och tertiärluften. En avsevärd NO_x-reduktion erhålls.

För sodapannans del är situationen komplex. NO och NH₃ bildas inte endast i den omedelbara närheten av smältbädden, utan också i andra positioner. Därtill finns bundet kväve i carry-over lutkoxen (se ovan). Vid lämpliga temperaturförhållanden reducerar

NH₃ NO till N₂, vid ofördelaktiga temperaturförhållanden och närvarande syre oxideras NH₃ till NO. En slutsats är att stegad förbränning med många höglutsregister behövs för att den förstnämnda reaktionen skall favoriseras i rökgasstråket.

3.5.4 Katalytisk NO_x-reduktion

NO_x-reduktion med katalytisk rening är en teknik som numera finns tillgänglig från Valmet för både nya och äldre pannor, med begränsningar i driftområdet p.g.a. eventuella SO₂-emissioner över 5 ppm.

3.6 Mätteknik

Ett antal mättekniker för förbättrad uppföljning av sodapannans drift har dykt upp under de senaste åren.

3.6.1 Reduktionsgradsmätning med onlineinstrument

Reduktionsgraden är en viktig parameter för att följa upp sodapannans prestanda och drift. Nya instrument från Valmet möjliggör online reduktionsgradsmätning. I en publikation av Jeff Butler et al (2014) har instrumentet använts för att se hur styrningen av bland annat förbränningsluften påverkar reduktionsgraden i en sodapanna. Data visar att ändringar i primär-och sekundärluftningen har en betydlig effekt på reduktionsgraden enligt resultaten. Flera mätningar visade på skillnader på så mycket som 1-2 %-enheter . Den sökta korrelationen mellan svartlutens eldningstemperatur och reduktionsgrad kunde inte påvisas.

3.6.2 Indikation på carry-over

Ett sätt att snabbt få indikativa mätvärden på carry-over har presenterats av Vähä-Savo et al, 2010. Denna metod baserar sig på en snabb mätning av antalet carry-over påslag på en okyld sond (10-30 s). Den uppkomna beläggningen fotograferas och behandlas med ett bildbehandlingsprogram. Sedan kan mängden carry-over beräknas med hjälp av en serie referensbilder.

3.6.3 Mätning av svavelsyra i rökgaser

Korrosion genom kondensation av svavelsyra är ett välkänt fenomen i pannor med svavelhaltiga bränslen. Dock har det varit svårt att mäta svavelsyrhalten i rökgasen. En ny, enkel och billig metod har utvecklats av Vainio et al (2013). Rökgasen suges genom en saltfylld teflontub, varefter saltet löses upp i vatten och analyseras. Bäst selektivitet hade NaCl och KCl.

3.6.4 Akustisk torrhaltsmätning

Acosense är ett svenskt företag, som tillverkar och utvecklar akustiska mätmetoder för diverse tillämpningar. På sodapanneområdet finns en tillämpning som kan användas till att mäta torrhalt på tjock- och brännlut (Johansson, 2014). Test har gjorts på åtminstone en svensk sodapanna. Det är inte känt om tekniken blivit kommersiell ännu.

3.6.5 Mjukvarubaserade sensorer (Softsensors)

Mjukvarubaserade sensorer är en ny idé som utnyttjar befintlig mätutrustning för att räkna fram processparametrar vilka normalt inte mäts. Denna teknik har en stor potential i

sodapannor, då det kan vara svårt eller praktiskt omöjligt att mäta ett visst värde. En applikation på industare har presenterats av Kaneko och Funatsu, 2009.

Innventia är involverat i ett projekt med Stora Enso, där mängden påslag på tuberna i konvektionstubsatsen mäts indirekt med hjälp av befintlig mätutrustning (Wolf et al., 2016).

3.7 Material och korrosion

Arbetet med att ta fram nya material och studera korrosionsproblemen i sodapannan fortskrider. Ett antal studier har gjorts under de senaste åren, där fokus har legat på material och tekniker för att realisera möjligheten att öka elproduktionen med höjda ångtryck och temperaturer från sodapannan. Detta, samt korrosionsförloppen och förväntade effekter på nya material är en del av de publikationer som har bedömts vara relevanta för denna rapport.

3.7.1 Maximering av elgenereringen från japanska sodapannor

I dagsläget är det vanligt med höga temperaturer och tryck i japanska sodapannor och panndesign, teknik, drift och överhettarmaterial för pannor med en utgående ångtemperatur på 515°C är väl etablerat. Yoshihisa Arakawa et al har genomfört en studie för att få bättre förståelse för hur korrosionsförloppen ser ut vid temperaturen 540°C och ta fram ett koncept för att praktiskt nå denna temperatur.

I studien gjorde man korrosionstester med ångkylda mätprober i närheten av ugnens utlopp, med materialtemperaturer på upp till 570°C i vissa delar. Resultaten från testerna visade på mycket hastig lokal korrosion i de sektioner med hög temperatur.

Det föreslogs ett arrangemang för hur överhettarna skulle kunna sitta i en panna där man realiserar ångtemperaturen 540°C. Det krävs ytterligare en överhettare installerad längre bak i pannan där miljön är mindre korrosiv. Fördelen med att ha utloppet i denna del av pannan är att rökgasen är mer oxiderande och innehåller färre, och mindre kladdiga stoftpartiklar från överbäring. Nackdelen med detta koncept är att man i 540°C designen behöver ca 30% mer värmeyta än för det tidigare fallet, vilket kommer att öka kostnaderna.

3.7.2 Svavelsyrakorrosion

Korrosion på utrustningen i den kalla delen av rökgasstråket i en sodapanna har historiskt ansetts vara beroende på kondensation av svavelsyra. Denna vedertagna sanning har ifrågasatts av Vainio et al (2014). I denna studie mättes gasformig svavelsyra efter elfiltret i en modern sodapanna samt en sulfitpanna. Vidare mättes gasformig svavelsyra i ekonomisern och i den övre delen av pannan vid eldning av svavelhaltig, tung brännolja i den moderna sodapannan. Svavelsyran mättes med en ny metod (se avsnitt 7.3) samt med en kommersiell mätsond. Vidare mättes korrosionshastigheten med en luftkyld sond.

Det oväntade resultatet var att ingen kondensation av svavelsyra kunde detekteras, varken i den moderna sodapannan eller i sulfitpannan. När temperaturen på den luftkylda sonden hölls över vattnets daggpunkt, förekom ingen korrosion. När sondens temperatur sänktes under vattnets daggpunkt, hittades korrosion.

Dessa totalt oväntade resultat kommer säkerligen att diskuteras under kommande år.

3.7.3 Korrosionsfenomenet

Korrosion i stålmaterial är ett fenomen som alltid är aktuellt för sodapannor. Ett omfattande arbete utfördes av Skrivfars et al (2008). I denna studie studerades syntetiska saltblandningar innehållande natrium- och kaliumsulfater och -klorider vid 450°C till 600°C. Sex olika stål typiska för överhettare undersöktes: 10CrMo9-10, T91, Esshete, Sanicro28, HR11N och Sanicro63. Total exponeringstid i ugn var 168 timmar.

Saltblandningarnas sammansättning varierades så att T0 blev olika för varje blandning.

Resultaten visade att:

- Närvaro av smält fas ökade korrosionshastigheten signifikant. Klor var närvarande i samtliga smältor.
- Även nickelhaltiga stål är känsliga för korrosion om temperaturen höjdes över saltblandningens T0.
- Korrosion inträffade även vid temperaturer klart under smältpunkten för saltblandningen när klor var närvarande i saltet. När klor inte var närvarande, detekterades låg eller mycket låg korrosionshastighet. Mycket lite klor behövs för att initiera korrosionen vid temperaturer under T0.

Resultaten visar på att för att upprätthålla höga ångtemperaturer i sodapannan måste askbehandlingsanläggningen för utstötning av klor och kalium fungera mycket effektivt.

3.8 Lösarplan

Flera studier har under de senaste åren gjorts med avseende på de stora säkerhetsriskerna som uppstår på lösarplan. Nedan är ett urval av de mest relevanta publikationerna, som rör smältarusningar och reaktionerna i bädden.

3.8.1 Smältabäddens dynamik och reaktioner

Sodapannans smältabädd intar en central del i en lyckad kemikalie-återvinningsprocess. I smältabädden sker reduktionsreaktionerna, vilka får sitt bränsle från koks som tillförs bädden med de nerfallande koks/smältadropparna från lutsprutenivån. Efter att reaktionerna skett i smältabäddens aktiva, övre lager, rinner saltsmältan ner i lösartanken genom löphålen och löprännorna.

Åbo Akademi har ägnat mycket tid och resurser till att försöka förstå och modellera denna komplexa miljö med samtida fysikaliska och kemiska skeenden. På den rent grundläggande nivån finns det arbete som Lindberg et al (2007) gjort med att jämföra och optimera de kända termodynamiska data som finns tillgängliga, vilka används generellt till att simulera och modellera alkaliska saltsmältor.

Nästa steg är att försöka modellera smältabäddens form dynamiskt, Engblom et al (2008).

Denna modell är implementerad i CFD-mjukvara och testad genom beräkning av smältabädden i en 3150 tTS/24h sodapanna. Modellen visade sig beskriva förändringarna i bäddens form relativt väl. Den simulerade modellen återspeglade förändringar i lutdropparnas medelstorlek, större droppar gav snabbare tillväxt av bädden.

Nästa steg är att sammanlänka CFD-baserade ugnsmodeller med CFD-baserade smältabäddmodeller, Bergroth et al (2010) och Engblom et al (2010). I det första av dessa två arbeten studerades interaktionen mellan ugnsmodellen och smältabäddmodellen. Samma 3150 tTS/24h sodapanna användes som simuleringsobjekt. Två olika primärluftsfordelningar och två olika reduktionsgrader i koks/smältapartiklarna som faller ner i bädden beräknades. Slutsatsen var att denna integrerade modell kunde beskriva de kemiska reaktionerna i smältabädden vid fortfarighetstillstånd med relativt stor noggrannhet.

I det andra arbetet studerades storleken på lutdropparna i suspension och smältabäddens form med den integrerade CFD-modellen. Simuleringarna visar att lutdropparnas storlek påverkar inte bara mängden brännbart material i bädden utan också vilken del av koksförbränningen som sker genom oxidation eller förgasning. Dropparnas storlek påverkar också koksförbränningen genom påverkan på smältabäddens form då luftstrålarnas flödesmönster ändras eller försämras. En slutsats är att även om bäddens form inte påverkar förbränningen i bädden, så kan bäddens storlek och form påverkas med lutdropparnas storlek.

Engblom et al (2012) har fortsatt med arbetet om smältabädden med en studie om dynamiken i koksförbränning i gasfasen. Förbränningen sker antingen som oxidation eller som förgasning. Simuleringarna visade god samstämmighet med experimentella data.

3.8.2 Smältarusningsproblematik och bakomliggande orsaker

En sammanfattning av problematiken med smältarusning gjordes av Honghi Tran et al (2014) under ICRC. Smältarusningar spelar en betydande roll i många lösartankeksplosioner och utgör en arbetsmiljörisk för personal i området. Man konstaterade att det under smältarusning kan röra sig om smältamängder som ligger 3-5 gånger över det normala.

Geometrin i den lägre delen av pannan spelar en viktig roll i smältarusningen - pannor med lutande botten är mer benägna att bygga upp områden med mycket smälta som sedan rusar. Låg sulfiditet resulterar i smälta med hög smälttemperatur*, vilket kan göra det svårare för smältan att flöda.

Sulfatrika beläggningar från övre delen av pannan kan öka problematiken med smältarusning genom att skapa dammar och plugga igen löprännor, sänka bäddtemperaturen och underlätta för smältan att byggas upp i områden.

*Sulfiditeten påverkar smälttemperaturen. Lägre sulfiditet ger högre smälttemperatur. Fabriker som har avsevärt mycket högre sulfiditet har också en hög smälttemperatur vilket natriumsulfitbaserade fabriker visar.

3.8.3 Grönlutsflashning

Grönlutsflashning från Valmet möjliggör sänkningar av temperaturen in lösartanken på 5-10°C, samtidigt som ett tillskott av ånga erhålls till processen.

4 Referenser

Bergroth, N., Engblom, M., Mueller, C., Hupa, M., CFD-based modeling of kraft char beds - Part 1: Char bed burning model, *Tappi Journal* 9 (2010) 2, 6-13

Brink, A., Engblom, M., Hupa, M., Investigation of nitrogen oxide emission formation in a black liquor boiler using CFD combined with a detailed reaction mechanism, *Proceedings: 2007 International Chemical Recovery Conference*, May 29-June 1, 2007, Quebec City, Quebec, Canada, TAPPI Press, ISBN 978-1-897023-31-0

Brink, A., Laurén, T., Hupa, M., Koschack, R., Mueller, C., In-furnace temperature and heat flux mapping in a kraft recovery boiler, *Proceedings: 2010 International Chemical Recovery Conference*, March 29-April 1, 2010, Williamsburg, VA, USA, TAPPI Press, 2010. Se även *Tappi Journal* 9 (2010) 7, 7-11

DeMartini, N., Monedero, E., Yrjas, P., Hupa, M., Co-firing black liquor and biomass in a laboratory single droplet reactor - Effects on emissions and combustion characteristics, *Proceedings: 2010 International Chemical Recovery Conference*, March 29-April 1, 2010, Williamsburg, VA, USA, Vol. II: 24-32, TAPPI Press, 2010. Se även *Tappi Journal* 9 (2010) 9, 29-34

Engblom, M., Mueller, C., Brink, A., Hupa, M., Jones, A., Towards predicting the char bed shape in kraft recovery boilers, *Proceedings: 2007 International Chemical Recovery Conference*, May 29-June 1, 2007, Quebec City, Quebec, Canada, TAPPI Press, ISBN 978-1-897023-31-0. Se även *TAPPI Journal*, 7 (2008) 10, 12-16

Engblom, M., Brink, A., Rönnqvist, A., Mueller, C., Jones, A., Hupa, M., Recovery boiler char bed dynamics - Measurements and modeling, *Proceedings: 2010 International Chemical Recovery Conference*, March 29-April 1, 2010, Williamsburg, VA, USA, Vol. I, 119-133, TAPPI Press, 2010

Engblom M., Bergroth, N., Mueller, C., Jones, A., Brink, A., Hupa, M., CFD-based modeling of kraft char beds - Part 2: A study on the effects of droplet size and bed shape on bed processes, *Tappi Journal* 9 (2010) 2, 15-20

Engblom, M., Brink, A., Mueller, C., Hupa, M., Jones, A., Influence of reactions in the boundary layer on kraft char-bed burning, *Journal of Science & Technology for Forest Products and Processes* 2 (2012) 1, 32-42 (PAPTAC, ISSN: 1927-6311)

Engblom, M., Miikkulainen, P., Brink, A., Hupa, M., CFD-modeling for more precise operation of the kraft recovery boiler, *TAPPI Journal* 11 (2012) 11, 19-27 (TAPPI Publishing, ISSN: 0734-1415)

Engblom M., Vainio E., Brink A., Huo M., Välimäki E., Heikkilä V.-P., Understanding the formation of NO_x in pulp mill boilers, *Proceedings: 2014 International Chemical Recovery Conference*, June 9 – 12 1, 2014, Tampere, Finland TAPPI Press, 2014

Fleig, D., Vainio, E., Andersson, K., Brink, A., Johnsson, F., Hupa, M., Evaluation of SO₃ measurement techniques in air and oxy-fuel combustion, *Energy & Fuels* 26 (2012) 9, 5537-5549 (ACS Publications, ISSN: 0887-0624)

Jeff Butler et al. "Online recovery boiler reduction degree data review", TAPPI ICRC Proceedings, 2014

Johansson, C., Analys av tjocklut med akustisk spektroskopi - Prediktering av torrhalt, Examensarbete, Karlstads Universitet, 2014

Kaneko, M.; Funatsu, K., Soft sensor technology for stabilization and efficiency of plant operation, *Bunri Gijutsu*, Volume 39, Issue: 3, Pages: 167-173, 2009, ISSN 1343-7860

Kinnunen, K., Bankiewicz, D., Lindberg, D., Enestam, S., Haaga, K., Hupa, M., Influence of the deposit CO₃/SO₄ ratio on superheater corrosion, *Proceedings of the 2014 International Chemical Recovery Conference, Volume 2. (2014)*

Koivisto, L., Saviharju, K., Skrifvars, B-J., Backman, R., Hupa, M., Risk of acidic sulphate corrosion in recoverys boiler today, *Proceedings: 2007 International Chemical Recovery Conference*, May 29-June 1, 2007, Quebec City, Quebec, Canada, TAPPI Press, ISBN 978-1-897023-31-0

Li, B., Brink, A., Hupa, M., CFD investigation of slagging on a super-heater tube in a Kraft recovery boiler, *Fuel Processing Technology*, 105 (2013) 1, 149-153 (Elsevier B.V., ISSN: 0378-3820)

Liming Zhao and Honghi Tran "Combustion behaviours of spent pulping liquors", TAPPI ICRC Proceedings, 2014

Lindberg, D., Backman, R., Chartrand, P., Thermodynamic evaluation and optimization of the (Na₂CO₃ + Na₂SO₄ + Na₂S+K₂CO₃ + K₂SO₄ + K₂S) system, *Journal of Chemical Thermodynamics* 39 (2007) 6, 942-960

Lindberg, D., Backman, R., Chartrand, P., Thermodynamic evaluation and optimization of the (NaCl + Na₂SO₄ + Na₂CO₃ + KCl + K₂SO₄ + K₂CO₃) system, *Journal of Chemical Thermodynamics* 39 (2007) 7, 1001-1021

Lindberg, D., Backman, R., Chartrand, P., Hupa, M., A critical thermodynamic evaluation of the melting properties of alkali salt mixtures in the recovery boiler, *Proceedings: 2007 International Chemical Recovery Conference*, May 29-June 1, 2007, Quebec City, Quebec, Canada, TAPPI Press, ISBN 978-1-897023-31-0

Lindberg, D., Niemi, J., Engblom, M., Yrjas, P., Laurén, T., Hupa, M., Changes in Composition of Superheater Deposits due to Temperature Gradients. Proceedings of the 2014 International Chemical Recovery Conference, (2014)

Lindberg, D., Engblom, M., Yrjas, P., Laurén, T., Lindholm, J., Hupa, M., Influence of

deposit aging on superheater corrosion, *Proceedings of the 2014 International Chemical Recovery Conference*, Volume 2. (2014)

Saw, W.L., Nathan, G.J., Ashman, P.J., Alwahabi, Z.T., Forssén, M., Hupa, M., Assessment of the release of sodium from a burning liquor droplet using planar laser-induced fluorescence (PLIF) and smelt analysis, *Proceedings: 2007 International Chemical Recovery Conference*, May 29-June 1, 2007, Quebec City, Quebec, Canada, TAPPI Press, ISBN 978-1-897023-31-0, 97-100

Saw, W.L., Nathan, G., Ashman, P., Alwahabi, Z., Hupa, M., Simultaneous measurement of the surface temperature and the release of atomic sodium from a burning black liquor droplet, *Combustion and Flame* 157 (2010) 4, 769-777

Saw, W.L., Nathan, G.J., Ashman, P. J., Hupa, M., Influence of droplet size on the release of atomic sodium from a burning black liquor droplet in a flat flame, *Fuel* 89 (2010) 8, 1840-1848

Skrifvars, B-J., Silvander, L., Hupa, M., Salmenoja, K., Vakkilainen, E., Laboratory Studies of the Corrosion of Superheater Materials Covered with Alkali Salt Mixtures, *Proceedings: 2007 International Chemical Recovery Conference*, May 29-June 1, 2007, Quebec City, Quebec, Canada, TAPPI Press, ISBN 978-1-897023-31-0

Skrifvars, B.-J., Backman, R., Hupa, M., Salmenoja, K., Vakkilainen, E., Corrosion of superheater steel materials under alkali salt deposits - Part 1: The effect of salt deposit composition and temperature, *Corrosion Science* 50 (2008) 5, 1274-1282

Skrifvars, B-J., Westén-Karlsson, M., Hupa, M., Salmenoja, K., Corrosion of super-heater steel materials under alkali salt deposits - Part 2: SEM analyses of different steel materials, *Corrosion Science* 52 (2010) 3, 1011-1019

Yoshihisa Arakawa et al. "Maximizing the electricity generation capacity of recovery boilers in Japanese pulp and paper mills", TAPPI ICRC Proceedings, 2014

Vainio, E., Brink, A., DeMartini, N., Hupa, M., Vesala, H., Tormonen, K., Kajolinna, T., In-furnace measurement of sulphur and nitrogen species in a recovery boiler, *Journal of Pulp and Paper Science* 36 (2011) 3-4, 135-142 (TAPPI Press, ISSN: 0826-6220). Also in *Proceedings: 2010 International Chemical Recovery Conference*, March 29-April 1, 2010, Williamsburg

Vainio, E., Fleig, D., Brink, A., Andersson, K., Johansson, F., Hupa, M., Experimental evaluation and field application of a salt method for SO₃ measurement in flue gases, *Energy Fuels* 27(2013) 5, 2767-2777 (ACS publications, ISSN: 0887-0624)

Vainio, E., Laurén, T., DeMartini, N., Brink, A., Hupa, M., Sulfuric acid induced low temperature corrosion in recovery boilers, *Proceedings of the 2014 International Chemical Recovery Conference*, Volume 2. (2014)

Vainio, E.; Laurén, T.; DeMartini, N.; Brink, A.; Hupa, M. Understanding low-temperature corrosion in recovery boilers: risk of sulphuric acid dew point corrosion? *The journal of science and technology for forest products and processes*, (2015), 4(6), 14-22.

Wolf, J., Ahlroth, M., Anheden, M., Modellbaserad tillståndsuppföljning av Sodapanna 7 i Skutskär, *Sodahuskonferensen 2016*, ÅF

Vähä-Savo, N., Yrjas, P., Laurén, T., Hupa, M., Development and application of a short-time probe for measuring carryover in a recovery boiler, *Proceedings: 2010 International Chemical Recovery Conference*, March 29-April 1, 2010, Williamsburg, TAPPI Press, 2010

Vähä-Savo, N., DeMartini, N., Hupa, M., Combustion of Black Liquor_Solid Biomass Mixtures in a Single Particle Reactor—Characteristics and Fate of Nitrogen, *Energy & Fuels* 2011, 25, pp 4944–4951

Vähä-Savo, N., Yrjas, P., Laurén, T., Hupa, M., Development and application of a short-time probe for measuring carryover in a recovery boiler, *Journal of Pulp and Paper Science* 36 (2011) 3-4, 143-150 (TAPPI Press, ISSN: 0826-6220)

Vähä-Savo N., DeMartini, N., Ziesig, R., Tomani, P., Theliander, H., Välimäki, E., Hupa, M., Combustion properties of reduced-lignin black liquors. *Tappi Journal*, 13(8) (2014). Also in *Proceedings: 2014 International Chemical Recovery Conference*, June 9 – 12 1, 2014, Tampere, Finland TAPPI Press, 2014

Vähä-Savo N., DeMartini, N., Engblom M., Brink A., Hupa, M., The fate of char N in black liquor combustion – cyanate formation and decomposition, *Proceedings: 2014 International Chemical Recovery Conference*, June 9 – 12 1, 2014, Tampere, Finland TAPPI Press, 2014

5 Lista med AF&PA publikationer

5.1 Riktlinjer och utbildning

- Recovery Boiler Training Program (revision 1996). Ett dokument på 1400 sidor med 9 moduler för utbildning av sodapanneoperatörer.
- CBT-Based Recovery Boiler Training Program. En webbaserad version av utbildningspaketet ovan. Tillhandahålls av en underleverantör till AF&PA.
- Recovery Boiler Reference Manual (revision 1991 och 1994). Denna tredelade referensmanual är till för operatörer, driftsansvariga, UH-ansvariga och panninspektörer. Den innehåller följande delar:
 - o Vol 1: inspektioner och ickeförstörende provning
 - o Vol2: underhåll och reparationer samt riktlinjer och ”best practice”
 - o Vol3: driftsfrågor samt en omfattande historik över olika incidenter i sodapannor
- Recovery Boiler Safety Audit Guidelines (revision 2012). Detta dokument är utvecklat av AF&PA:s UH och driftsutskott och används vid genomgångar av en sodapannans säkerhetsituation och driftsförhållanden.
- Guidelines and Checklist for Specification and Construction of Black Liquor Recovery Boilers (revision 2011). Detta dokument är utvecklat av AF&PA:s UH och driftsutskott. Det används som referens och checklista vid konstruktion av nya anläggningar samt vid ombyggnad av gamla. Syftet är att medverka till säkrare och mer tillförlitliga sodapannor.
- Kraft Recovery Boilers (revision 1997). Detta är den ”blå boken” som används av så gott som samtliga inom branschen som referens och uppslagsverk. Bokne är skriven av de mest framstående forskarna inom förbränning, oorganisk kemi, korrosion och svartlutsegenskaper i Usa, Kanada och Norden. En ny utgåva är under arbete, dock inte klarlagt när den blir färdig för publicering. Utgivare är Tappi Press.

5.2 Pannstudier

Rapporterna kan köpas för \$3000/st.

Titel	Utgivningsår
Test av driftsförhållandenas inverkan på korrosion i vattenförande panntuber i sodapannor	1995
AF&PA och BLRBAC korrosionsseminarium	1996
En strategi för att övervaka panntubers korrosion i sodapannor	1997
Modellering av svartlutsförbränning i en sodapanna	1998
Kylning av smältabädden vid nödnedeldning – överblick av tillgängliga metoder	1999
Kylning av smältabädden vid nödnedeldning – överblick och tolkning av tillgänglig information	1999

AF&PA och BLRBAC seminarium om reparationsmetoder av tryckbärande delar i en sodapanna	2000
Kylning av smältabädden vid nödnedeldning Del 2 Test kylmetoder vid Willamettes massabruk i Albany	2001
Studie av sambandet mellan designen på sodapannans ugn och explosionsskador – beskrivning av explosionsskador	2001
Övervakning av korrosivitet i sodapannor	2002
Undersökning branschens erfarenheter av läckor i sodapannors bottentuber	2003
Termisk karakterisering av koksbäddens material	2003
Praktiska konsekvenser av bruket av kylmedel i smältabädden	2003
Skademekanismer som påverkar fast utrustning i massa- och pappersindustrin	2004
AF&PA och BLRBAC seminarium om vatten- och kemisk rengöring	2005
Undersökning om orsakerna till skador i sodapannornas ekonomisera – identifiering av sätt att undvika dessa	2006
Ickeförstörande metoder att detektera vattensidiga beläggningar i sodapannor	2008
En överblick av explosioner i smältalösare 1973 - 2008	2008
Undersökning av sodapannors överhettare	2008
Beräkning av grönlutsdensitet mot TTA	2009

6 Ansvarsfriskrivning

Detta dokument utgör en studie kring ”Nya produkter, analyser och styrstrategier för ökad säkerhet i sodahusprocessen”. Informationen i detta dokument är enbart avsedd för Sodahuskommitténs medlemmar. Det är upp till varje medlem eller annan part som tar del av innehållet i dokument att på egen risk och eget ansvar följa de rekommendationer och riktlinjer som i förekommande fall kan anses följa av dokumentets innehåll. Sodahuskommittén fränkskriver sig allt ansvar för fel och skada oavsett orsak som kan följa av att rekommendationer eller riktlinjer följs. Det är upp till varje medlem eller annan part att själva, i sin riskbedömning, avgöra om man vill följa Sodahuskommitténs rekommendationer och riktlinjer. Det åligger varje medlem eller annan part att, vid tillämpningen av rekommendationer och riktlinjer, stämma av med tillämpliga myndigheter att rekommendationerna och riktlinjerna är i överensstämmelse med gällande rätt och andra föreskrifter.