



## SUMMERING AV ICRC 2014 FÖR SODAHUSKOMMITTEN

1 (12)

Handläggare	Datum	Vår referens
Kristian Rosenqvist/ Ragnar Stare	2014-08-14	232239
Tel +46 10 505 40 48	Sodahuskommittén	
Mobil +46 10 505 40 48		
Fax +46 10 505 00 10		
Kristian.rosenqvist@afconsult.com		

## Summering av ICRC 2014 för Sodahuskommittén

1	ICRC 2014 .....	2
2	SUMMERING AV KONFERENSEN .....	3
2.1	Sodapannans design och drift .....	4
2.2	Drift- och energioptimering.....	5
2.3	Säkerhet kring sodapannan .....	6
2.4	Lutssystem och lutsprutor .....	7
2.5	Förbränning och lutkemi .....	7
2.6	Finska sodahuskommitténs temadag .....	8
2.6.1	Inflytelserik forskning kring sodapannor, "Highlights" .....	9
3	REFERENSER .....	12

### 1 ICRC 2014

ICRC (International chemical recovery conference) är en konferens som har hållits vart tredje år sen 1980-talet, och det är den ledande konferensen inom kemisk återvinning i massa- och pappersindustrin. Konferensen fokuserar på alla områden inom kemisk återvinning, inklusive miljö, drift, ny teknik och tekniska beskrivningar av hållbara lösningar. Denna rapport är en sammanställning av intryck och erfarenheter från de första tre dagarna under konferensen, men i första hand så är den en teknisk sammanställning av flera av de olika föredragen med tillhörande slutsatser. Temablocken under årets konferens speglar fokus på effektivitetshöjande åtgärder, energi och kostnadsdriven utveckling. En återkommande trend är det ökade intresset och framförallt den ökade forskningen kring massabrukets roll som ett bioraffinaderi, där inte bara massa utan även högvärdiga kemikalier och kondensel kan produceras. Under konferensen presenterades även sodapannans tekniska historia och en lista över vad man ansåg vara de 10 viktigaste framstegen inom forskning på området.

## 2 Summering av konferensen

ICRC 2014 hölls i totalt fem dagar, varav den sista utgjordes av ett studiebesök på en fabrik. Stämningen var god, och det var ett välkommet möte mellan industri, konsulter, forskningsinstitutioner och leverantörer. Tillvaron präglades av Finlands starka vilja att satsa på sin massa- och pappersindustri- inte bara som en producent av kemikalier, men också som en del i energisystemet. Ett överhängande tema som återkom i många diskussioner var sodapannans framtid som en betydande elproducent. Högtrycksånga kändes hetare än någonsin, och det fanns en gemenskap i kampen mot överhettarkorrosion och annan problematik som branschen står inför. Föredragen under konferensen var indelade i ett antal block som sammanfattas i huvuddelen av denna rapport. De teman som presenteras har valts efter en bedömning av vad som skulle vara mest intressant för Sodahuskommittén.

Block 1 som handlade om drift och design hade stort fokus på maximering av elgenerering ifrån sodapannan. Det presenterades bland annat studier från Japan där man gjort korrosionstester med ångkylda mätprober vid temperaturer på över 540°C. Man presenterade även en studie där man tittat på energibalanser för olika fabrikskoncept i syfte att maximera elgenerering.

Block 2 hade huvudsakligt fokus på energieffektivisering, med viss tyngd på förbättrad sotblåsning. I takt med att intresset för produkter från bioraffinaderier ökar så drivs också värdet av sänkta energikostnader upp. Innan man tar ut antingen kondensat eller en bioraffinaderiprodukt så finns inget incitament att spara ånga i brukets processer under den nivå som genereras av sodapannan vid normal drift. I detta block presenterades bland annat studier på hur man med ånga av lägre tryck kunde få samma kraft i sotblåsningsstrålen, och därmed öppna för möjligheter att öka elproduktionen.

Block 3 som handlade om säkerhet hade stort fokus på sodapannans smälta och de säkerhets- och arbetsmiljöproblem som finns vid löprännor. Det gjordes en sammanställning av orsakerna till smältarusning, och gavs exempel på hur en fabrik lyckats lösa en del av sina säkerhetsproblem genom multivariatanalys av en stor mängd driftdata.

Block 4 präglades av studier av hur svartluten beter sig i och efter lutsprutorna. Bland annat så presenterades en studie där man försökt ta fram en modell för hur flashning sker i lutsprutorna, och hur detta kan användas för att styra droppstorleken.

Block 5 hade temat förbränning och lutkemi. Här presenterades nya forskningsresultat som kan ligga till grund för förbättrade modeller av hur lutdroppar brinner. Här hade man även gjort studier av vilka effekter man får av att elda ligninutarmad lut i en sodapanna, och hur förbränningsförloppet för en sådan lut ser ut.

Den tredje dagen präglades av den finska sodahuskommitténs 50-årsjubileum, och utöver flera intressanta föreläsningar om teknikutveckling så var det också en sammanfattning av inte bara sodapannans, men hela industrins historia och framsteg.

## 2.1 Sodapannans design och drift

Det inledande anförandet gav ett perspektiv från Japan där med olika uppsättningar av energibalanser för japanska massa- och pappersbruk studerat korrosion i sodapannans överhettarområde. 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. Målet med studien var 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 sektionerna 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 (bild 1). 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. För att verifiera konceptet behöver man göra ytterligare studier med prober i primäröverhettarregionen.

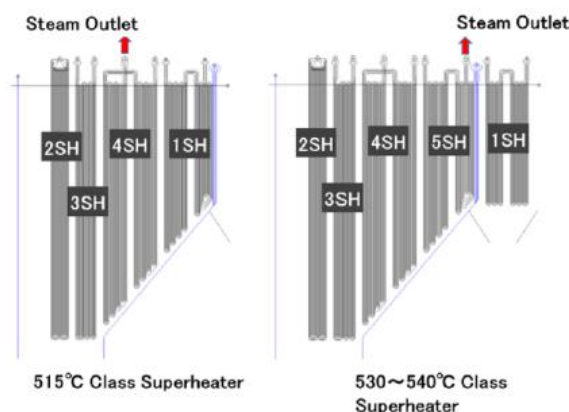


Figure 20. Superheater Arrangement of Existing and Higher Steam Temperature Boilers

### Bild 1 Förslag på överhettarrangemang

Nästa anförande hade också utgångspunkten att maximera elgenerering genom att studera energibalanser för ett antal massabrukskoncept med olika förutsättningar, både med och utan biopannor, och med olika ångtemperatur och last för sodapannorna.

Slutsatser ifrån arbetet var att de moderna alternativen gav en mer lönsam elgenerering än äldre alternativ. Man hade även provat ett "reheating koncept" (en teknik där man tar tillbaka ånga som delvis har gått igenom en turbin till överhettarna). För de nyare koncepten verkade detta bara ge marginellt bättre elproduktion. En ytterligare ökning av ångtemperatur och tryck tycktes vara det mest lönsamma alternativet i fråga om elgenerering, förutsatt att man kan lösa problemen med högttemperaturkorrosion.

Segmentet avslutades med en genomgång av ett projekt i Metsä Board Husum där en av tre sodapannor nått sin ekonomiska och tekniska livslängd och behövde stängas ner eller bytas ut av Valmet. Man stod mellan alternativen att antingen bygga en ny panna med kapacitet för hela produktionen, stora ombyggnationer av en av pannorna, eller uppgraderingar av två av de äldre pannorna. Man fann alternativet med att bygga om de två andra pannorna som mest lönsamt, och anförandet var ett exempel på hur det går att finna potential i befintlig utrustning med lite kreativ ingenjörskonst. Viktiga frågeställningar att ta med sig var: När är det värt att bygga nytt? Och till vilken grad kan man återanvända det befintliga?

### 2.2 Drift- och energioptimering

I det första anförandet diskuterades "high power features" av Valmet. På grund av ett ökat globalt energibehov, ökade elpriser och incitament för förnybar energi så är det fördelaktigt att maximera elgenereringen från pannor inom massa- och pappersindustrin. Ett annat incitament för att elgenereringen i just sodapannor är bränslebesparingar för barkpannor.

I presentationen hade man beräknat elgenereringen för ett antal basfall med olika "high power features". För beräkningarna användes ett speciellt verktyg som presenterades. De olika funktionerna i genomgången var; hög luttorrhalt, luftförvärmning, fullt trycksatt matarvattentank, matarvattenförvärmning, värmeåtervinning från imångor, rökgaskylning och höga ångdata. Man kan öka energieffektiviteten för en existerande panna genom att installera några av dessa funktioner.

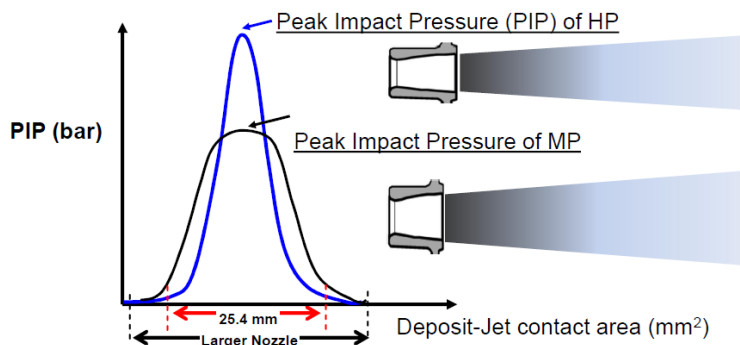
De huvudsakliga parametrarna som påverkas är ångflöde, kylning, temperaturdifferens mellan ångdom och sista ekonomiser, rökgastemperaturen och området för kladdig aska. Detta måste tas hänsyn till då det kan finnas flera begränsningar för många av dessa funktioner. Baserat på det presenterade beräkningsverktyget är det lätt att estimerar möjliga vinster med installation av moderna funktioner i en befintlig panna när priset för varje funktion är känt.

Temat fortsatte med fokus på sotblåsning. Effektiviteten i sotblåsning är en funktion av kraften utövad av sotblåsningstrålen på tubbeläggningar. På grund av en mindre tubdelning i tubsats- och ekonomiser området blir framkomligheten av strålen begränsad. University of Toronto presenterade sitt arbete med att försöka verifiera CFD-modeller med vad som verkligen händer i trånga sotblåsningsområden, i ett försök att bättre förstå sotblåsningens mekanismer. Framtida arbeten för dem är att när de är färdiga med sin modell, applicera den med möjligheten att minska på sotblåsningkostnader.

Även nästa presentation hade fokus på sotblåsning. Majoriteten av sotblåsare i sodapannor använder sig av ånga med 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. Artikeln som presenterades går igenom ett koncept för att realisera effektiv sotblåsning med lägre tryck. Konceptet kan förklaras med bild 2 nedan, där man med ett kortare munstycke ökar kontaktytan och på så sätt kan bibehålla kraften i sotblåsarstrålen även vid lägre tryck. Visserligen kommer man med ett sådant koncept att behöva ett högre flöde av lågvärdig ånga, men nettoeffekten blev en ekonomisk vinst med de elpriser studien baserats på.

### MP (9-14 bar) vs HP (>28 bar): A comparison



PIP of HP is higher than the PIP of MP, but the area under the curve (which is the jet force) of HP and MP can be made equal / comparable.

**Bild 2 Principen för sotblåsning med lägre tryck**

Segmentet avslutades med en presentation av tester av Metso Automations onlineinstrument för reduktionsgradmätning. Data visar att ändringar i primär-och sekundärluftningen har en betydligt starkare 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.

### 2.3 Säkerhet kring sodapannan

Det inledande anförandet var en genomgång av problemen med smältarusning, och vad det beror på. Detta är av stort intresse för många pannägare då det spelar en betydande roll i många lösartankeexplosioner 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 (Sulfiditeten påverkar smälttemperaturen. Lägre sulfiditet ger högre smälttemperaturer, men fabriker som har avsevärt mycket högre sulfiditet har också en hög smälttemperatur vilket natriumsulfidbaserade fabriker som Domsjö visar). 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.

Nästa anförande handlade om multivariatanalys för att förstå anledningen bakom spräckta löprännor. Om det inte upptäcks i tid kan läckande vatten ifrån löprännan ge upphov till destruktiva smälta-vatten explosioner. Man samlade stora mängder data för att analysera kopplingar mellan smältaflödes- och panndriftdata. Man kunde se ett samband mellan sulfiditeten och oregelbundenheter i smältaflödet. Resultaten från analysen hjälpte fabriken att stabilisera sina smältaflöden, dock kvarstår problemen med löprännorna. Ett bra exempel på hur det kan löna sig att göra analyser av driftdata, trots att man kanske inte löser det man tänkt sig från början.

### **2.4 Lutssystem och lutsprutor**

Det inledande anförandet handlade om en studie där man som ett första steg tog fram en simuleringsmodell för en flashning i lutsprutor. En detaljerad expansionsmodell för ångbubblor i överhettad svartlut har utvecklats och implementerats som källa till ånga i den övergripande flerfas-flödesmodellen. Modellen som presenterades tar hänsyn till den snabba värmeöverföringen till bubblans yta och en modifierad version av Rayleigh-Plesset ekvationen för konservering av radial kinetisk energi, vilket också inkluderar icke-newtonska effekter på viskositet.

Med modellen klar var nästa del av studien att ta fram nya designmöjligheter efter den. Under presentationen visades ett antal exempel på hur flashningen kan kontrolleras med små ändringar i sprutans geometri. Man kom t. ex fram till att en minskning av öppningsytan har en väldigt marginell effekt på utloppshastigheten eftersom detta även minskar flashningen i sprutan. Vid 50% öppningsgrad så skedde ingen flashning i sprutan, och bubblor börjar växa först efter utloppet. Denna studie öppnar för möjligheterna att i framtiden mer detaljerat kunna styra droppstorleken i Sodapannan, och som följd av detta ha bättre kontroll över förbränningen. Potentiellt kanske man också kan minska överbäring av oförbränt material i pannor med lågviskösa lövlutar och väldigt liten droppstorlek.

Avsnittet fortsatte med en preliminär studie av applicering av mätmetoden UVP (Ultrasound Velocity Profiling) för att mäta hastigheter inne i lutsprutorna. Experimenten utfördes på ett bruk där svartlut togs direkt ifrån sodapannans lutsystem och sprutades genom ett specialgjort munstycke med en "splash-plate". Slutsatserna var att tekniken visade stor potential för reologisk onlinemätning för svartlutens förbränning. Dock krävs mer utveckling av UVP instrumenten och metodiken för att få den robusthet som krävs för detta ändamål.

### **2.5 Förbränning och lutkemi**

I den första presentationen i detta tema presenterades inledningsvis en systematisk studie av svällningsprocessen vid förbränning för olika lutar. Studien baserades på lutar från ett flertal bruk (från sulfat, sulfid, dissolving och  $\text{NH}_4$  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  $830^\circ\text{C}$ . 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 3 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. Arbetet med att kartlägga hur förbränningsförloppet för svartlut ser ut är nyckeln till att industrin ska kunna förbättra sina modeller över hur sodapannor fungerar, både i design och i effektiviseringssyfte.

Nästa anförande behandlade förbränning av ligninutarmade lutar. Ett ökande intresse för gröna kemikalier och biodrivmedel från biomassa skapar incitament för massabruk att utforska nya möjligheter att ta tillvara på värdefulla kemikalier från ved som en del i fabriksprocessen. En möjlighet som har vuxit fram på senare tid är att separera lignin ifrån svartlut. Studien som presenterades hade som mål att bestämma förbränningsegenskaperna för svartlut med reducerade mängder lignin i labbskala. Man mätte förbränningstid, svällningsvolym, bildning av NO och cyanat och avgång av svavel för ett antal lutar, och upprepade sedan dessa experiment med olika grad av ligninutarmning. Studien gjordes med uttag på upp till 25% lägre lignin, och experimenten utfördes vid 900°C och 10% O<sub>2</sub>.

Studien har gett ny information om hur ligninutarmade lutar beter sig vid förbränning, någonting som är av stor vikt för massabruk som väljer att ta vara på lignin. Slutsatsen av studien är att förbränning av denna typ av lut är möjlig i sodapannor utan att man behöver göra stora förändringar.

Avlägsning av lignin minskade på kväveinnehållet i samtliga lutar. Det ökade också halten oorganiskt material vilket påverkar både svällning och koksförbränning. I samtliga prov så påverkades förbränningstiden av att lignin avlägsnades, dock så var det väldigt små skillnader. Författarna noterar att stora förändringar i svällningsvolym kan ha en viss effekt på överbäring, men detta behöver studeras vidare.

NO påverkades väldigt lite och utsläppen förväntas inte öka signifikant vid avlägsning av lignin. Det bör noteras att om man räknar utsläpp baserat på ton producerad massa så kommer dessa att gå ner eftersom mängden svartlut per ton massa kommer att minska. Vad gäller svavel så bedöms dessa utsläpp ligga på samma nivåer eller något lägre. Äldre pannor med lägre temperaturer vid lutsprutenivån kommer att behöva anpassa eldningen så att temperaturen kan hållas upp, annars kommer svavelutsläppen att öka på grund av låga temperaturer i ugnen.

### **2.6 Finska sodahuskommitténs temadag**

Denna dag var en genomgång av den stora utveckling som sodapannan har gått igenom under de senaste tiotals åren. Det är inte bara högre fokus på energi, man bygger också pannor av storlekar man inte ens trodde var möjliga tidigare. I en



presentation av Valmet fick man följa den tekniska utvecklingen och tankarna som drev på pannor i storleken "XXL", med luteldningskapaciteter på 8000 tts/dygn och uppåt. Även sotblåsningens utveckling stod i fokus, och man poängterade hur vikten av att energieffektivisera har präglat teknikens nuvarande utseende. En av de mest fascinerande presentationerna var en sammanställning av forskning som under de senaste åren har haft stor betydelse. En summering av detta finns i avsnittet nedan.

### **2.6.1 Inflytelserik forskning kring sodapannor, "Highlights"**

Tekniken har kommit långt för sodapannor sedan de första installationerna på 1930-talet. Det har skett förbättringar inom de flesta tekniska aspekter av pannan, men de kanske mest spännande forskningsresultaten har varit kopplade till förbränningen. En djupare och mer detaljerad förståelse för processerna i sodapannans ugn har varit nyckeln till ett flertal stora förbättringar av tekniken. För den finska sodahuskommitténs 50-årsjubileum så gav Mikko Hupa från Åbo akademi en sammanställning av de enligt honom 10 mest inflytelserika framstegen inom forskning kring sodapannor.

Den samlade litteraturen för sodapannor innefattar idag ca 8000 publikationer, varav 1100 av dessa handlar specifikt om förbränning av svartlut. Under de senaste åren har det publicerats ca 20 nya artiklar per år. Fokus för presentationen låg på svartlut och förbränning. Topp 10-listan är baserad på en längre lista som har sällats ner och utvärderats av en panel bestående av 4 experter inom området som representerade konsulter, leverantörer och fabriker. Nedan följer listan som presenterades med tillhörande motivering:

#### **1. Korrosion i nedre delen av eldstaden**

Den här forskningen banade vägen för att ersätta ugnens tuber i kolstål med compoundmaterial. Compoundtuberna består av två legeringar som är metallurgiskt bundna. Den yttre legeringen- Cr rostfritt stål- tål korrosionen på eldstadssidan, medan det inre kålstålet är det traditionellt accepterade materialet för tryckkärl. De första compoundtuberna installerades 1972 i Sverige. Vid 1982 fanns det redan 30 ugnar med compoundmaterial i hela Skandinavien, och idag är materialet standard.

#### **2. Askans sammansättning och smältförlopp**

Arbetet visade hur de karakteristiska temperaturerna för en given stoftsammansättning kunde bestämmas genom fasdiagram, och senare genom avancerade termodynamiska jämviktsberäkningar. Baserat på detta kunde kladd- och smälttemperaturer för aska sedan relateras till halten av Cl och K i svartluten. Arbetet banade vägen för en bättre förståelse av vilka material och ångtemperaturer som var möjliga för en modern panna, och är en viktig del av designarbetet för att undvika igensättningar.

### 3. "Single droplet combustion"

"Single droplet"-tekniken har använts mycket för att ge experimentell information för matematiska modeller av förbränningen av lutdroppar. Modellerna har varit essentiella komponenter för att förstå processerna i ugnen. Tekniken utvecklades sedan vidare med ett antal olika analysmetoder för att studera vad som händer med svavel, kväve och natrium i förbränningsprocessen.

### 4. CFD-modellering

Detaljerade beräkningsmodeller för att förutsäga gasflödena och förbränningen i sodapannan har varit ett viktigt bidrag för utvecklingen av ny teknik. Modellerna används idag som standardverktyg när man överväger uppgraderingar och nya features, eller när man har problem med panndriften som behöver lösas med hjälp av flödessimulering. Den dramatiska ökningen i sodapannors storlek har varit möjlig till stor del genom avancerade CFD-modeller.

### 5. Eldning med höga luttorrhalter

Arbetet inom detta område drevs kanske i första hand av stigande energipriser. Under förhållanden då olja var billig fanns det ingen drivkraft att indunsta svartlut till de höga torrhalter som eldas idag. Elimineringen av SO<sub>2</sub> från rökgaser ledde till stora förändringar i ugn- och rökgaskemi. Stoffpartiklarna blev mer alkaliska och tidigare problem med kladdig aska orsakad av sura sulfater försvann. Kloridens väg genom pannan förändrades helt. Vid höga torrhalter stannar kloriden i stoftet och utblödning av HCl i rökgaserna kunde upphöra. Det visade sig också senare att eldning vid höga torrhalter kunde realiserats utan någon signifikant ökning av NO<sub>x</sub> utsläpp.

### 6. NO<sub>x</sub>-formation

En av de överraskande upptäckterna var att ca 20-40% av svartlutens kväve kunde hamna löst i smältan. Kvävet i denna form identifierades som Natriumcyanat, NaOCN. Några av de första mätningarna på bruk visade att fördelningen mellan kvävet som NO eller cyanat i smältan kan påverkas starkt av hur sodapannan körs. I lösartanken och grön- och vitluten så övergår kvävet till ammoniakföreningar. Denna ammoniak visade sig vara en potentiell källa av utsläpp som man inte hade kontroll över- beroende på hur brukets återvinningsprocess var utformad.

### 7. Alkali- klorid- korrosion

Forskningen gav en ökad förståelse för de olika korrosionsmekanismerna vid högtemperaturkorrosion. Med kunskapen från detta så kan orsakerna bakom korrosionsförlopp i pannor förklaras i de flesta fallen. Denna kunskap är av yttersta vikt vid design och körning av pannor med höga ångdata då det finns direkta kopplingar mellan lutens kalium/klorid-innehåll och korrosion i heta tuber. Forskningen har ännu inte hittat en lösning på hur dessa korrosionsproblem ska hanteras vid höga ångdata i en alkalikloridmiljö.

### **8. Sura sulfater**

Kladdig aska uppstår när saltet Natriumbisulfat ( $\text{NaHSO}_4$ ) bildas på ytan av stoftpartiklar. Detta salt har en låg smältpunkt. Bisulfaten bildas via en reaktion med  $\text{SO}_3$  och vatten i rökgaserna.  $\text{SO}_3$  kan bildas när en liten del av  $\text{SO}_2$  i rökgaserna reagerar med syre när rökgaserna kyls. Detta kan orsaka problem med korrosion i lågtemperaturområden i rökgasvägen, som t. ex genom en rökgaskylare. Bisulfaten kan upptäckas genom sänkt pH i stoftet.

### **9. Storleksmätning av luddroppar**

Olika experimentella tekniker har tagits fram för att karakterisera sprejer av svartlut med avancerad videoteknik. Mycket ny information har tagits fram om faktorer som påverkar droppbildningen. Storlek- och hastighetsdistributioner har kartlagts under ett flertal olika förhållanden. Förståelsen för hur dropparna beter sig har varit en nyckel till bra förbränning, speciellt i stora ugnar.

### **10. Partial Autokaustisation**

Denna forskning inkluderade laboratoriska experiment med termodynamiska modeller för den exakta stökiometrin och utbytet i smälta-borat reaktioner under olika förhållanden. Partial autokaustisation testades och applicerades i full skala i flera pannor. Trots mycket kreativ forskning så har dock bor-tekniken funnit begränsad användning i praktiken.

### 3 Referenser

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

Esa K. Vakkilainen et al. *"Increasing electricity generation from recovery boilers"*, TAPPI ICRC Proceedings, 2014

Anders Fransson *"Closing of a recovery boiler –a success story!"* TAPPI ICRC Proceedings, 2014

Jarmo Mansikkasalo *"Improving energy efficiency of existing recovery boilers"*, TAPPI ICRC Proceedings, 2014

Shahed Doroudi et al. *"Modeling sootblower jet effectiveness with ansys fluent"*, TAPPI ICRC Proceedings, 2014

Danny Tandra et al. *"Energy saving & cost reduction through the use of 10 - 14 bar steam from turbine extraction for sootblowing"*, TAPPI ICRC Proceedings, 2014

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

Honghi Tran et al. *"Understanding the recovery boiler smelt run-off phenomena"*, TAPPI ICRC Proceedings, 2014

Jeff Wagoner et al. *"Use of Multi-Variant analysis to understand the root causes of premature smelt spout failures on recovery boilers"*, TAPPI ICRC Proceedings, 2014

Markus Bussmann et al. *"Experimental studies on smelt shattering and dissolution in recovery boiler dissolving tanks"*, TAPPI ICRC Proceedings, 2014

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

Niklas Vähä-Savo et al. *"Combustion properties of reduced lignin black liquors"*, TAPPI ICRC Proceedings, 2014

Mikko Hupa *"Recovery boiler research highlights - 10 steps forward"*, TAPPI ICRC Proceedings, 2014